



TUGAS AKHIR TF141581

PERANCANGAN SISTEM KENDALI *PLATFORM SEMI-SUBMERSIBLE* MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY

NUR KHOLISH JAUHARI
NRP. 2411 100 093

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT.
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc, PhD.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT TF141581

**DESIGN CONTROL SYSTEM OF SEMI-
SUBMERSIBLE PLATFORM USING FUZZY
LOGIC CONTROL**

NUR KHOLISH JAUHARI
NRP. 2411 100 093

Supervisor
Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT.
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc, PhD.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI PLATFORM
SEMI-SUBMERSIBLE MENGGUNAKAN METODE
LOGIKA FUZZY**

TUGAS AKHIR

Oleh:

**NUR KHOLISH JAUHARI
NRP. 2411 100 093**

**Surabaya, Januari 2015
Mengetahui/Menyetujui**

Pembimbing I



**Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.
NIP. 1966011619890321001**

Pembimbing II



**Prof. Ir. Eko B. Djatmiko, MSc, PhD
NIP. 195808071984031001**

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika, FTI - ITS**



**Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA
NIP. 196503091990021001**

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI PLATFORM
SEMI-SUBMERSIBLE MENGGUNAKAN METODE
LOGIKA FUZZY**


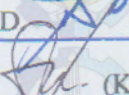



TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NUR KHOLISH JAUHARI
NRP 2411 100 093

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.  (Pembimbing I)
2. Prof.Ir. Eko B Djatmiko, MSc.PhD  (Pembimbing II)
3. Fitri Adi Iskandarianto, ST, MT.  (Ketua Tim Penguji)
4. Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc.  (Penguji I)
5. Arief Abdurrahman, ST, M.T.  (Penguji II)

SURABAYA,
JANUARI 2015

PERANCANGAN SISTEM KENDALI PLATFORM SEMI-SUBMERSIBLE MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY

Nama : Nur Kholish Jauhari
NRP : 2411 100 093
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc, PhD

Abstrak

Atlantis PQ Platform merupakan Semi-Submersible rig yang berfungsi sebagai drilling rig. Dalam keperluan eksplorasi O&G, platform ini melakukan pengeboran dengan posisi tertentu. Adanya gelombang laut membuat aktivitas tersebut terganggu sehingga diperlukan pengendalian mengenai stabilitas platform. Pada penelitian ini dilakukan perancangan pengendalian stabilitas platform dengan kendali logika fuzzy (KLF). Pengujian sistem dinamika platform dilakukan dengan melihat respon sistem secara open loop dan close loop. Respon open loop sistem tanpa gangguan dalam uji swaying dan yawing menghasilkan error steady state sebesar 0.064% dan 15.75%. Sedangkan uji close loop swaying tanpa gangguan mampu mengurangi error steady state sebesar -0.005% untuk KLF 1 dan 0.033% untuk KLF 2. Dengan gangguan gelombang laut normal, dengan sudut 30° dan 60° respon close loop menghasilkan nilai maksimum overshoot untuk swaying sebesar 0.1577%, 0.0993%, dan 0.1162% untuk KLF 1 dan 0.1285%, 0.0525%, dan 0.0759%. Sedangkan arah yawing tidak ada penurunan nilai error steady state. Selanjutnya, uji dengan gangguan gaussian noise menghasilkan nilai maksimum overshoot pada keadaan swaying dan yawing sebesar 0.1021% dan 41.17% untuk KLF 1 dan 0.0859% dan 2.94% untuk KLF 2. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa performansi KLF 2 mampu mengendalikan stabilitas platform dengan lebih baik pada saat ada gangguan maupun tanpa gangguan.

Kata Kunci : Semi-Submersible, Kendali Logika Fuzzy, Stabilitas, Swaying, Yawing.



“Halaman ini memang dikosongkan”

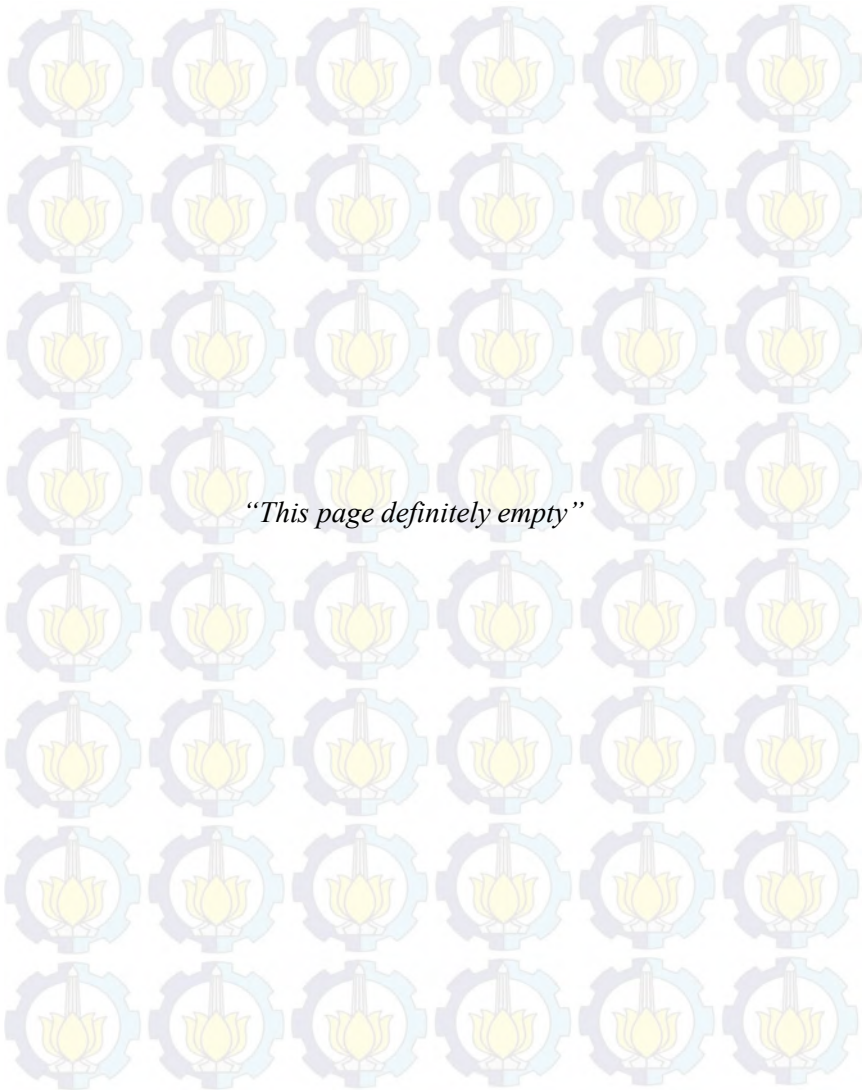
DESIGN CONTROL SYSTEM OF SEMI-SUBMERSIBLE PLATFORM USING FUZZY LOGIC CONTROL

Name : Nur Kholish Jauhari
NRP : 2411 100 093
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc, PhD

Abstract

Atlantis PQ platform is one of the buildings structure that serves as a marine drilling Semi-Submersible rig. In the purposes of O & G exploration, this platform drilling with a particular position. Disruption of ocean waves can have a significant impact on the stability of the platform so that the necessary controls are good for maintaining the stability of the platform. In this research design platform stability control with fuzzy logic control (FLC) as an effort to improve the performance of previous research. System testing is done by looking at the dynamics response of the platform as open loop system and closed loop. Open-loop response of the system without any interruption in the swaying and yawing test produces a steady state error of 0.064% and 15.75%. While testing swaying close loop without interruption able to reduce the steady state error of -0.005% for the FLC 1 and 0.033% for the FLC 2. With disruption of normal ocean waves, with a 30° and 60° angle of arrival, close loop response generate overshoot maximum value for the swaying of 0.1577%, 0.0993%, and 0.1162% for the FLC 1 and 0.1285%, 0.0525% and 0.0759% for the FLC 2. While the direction of yawing no impairment of error steady state. Furthermore, the test with gaussian noise disturbance produce maximum value of overshoot on the state of swaying and yawing is 0.1021% and 41.17% for the FLC 1 and 0.0859% and 2.94% for the FLC 2. From the simulation results can be seen that the performance of the FLC 2 is able to control the stability of the platform better than FLC 1 both when there are disturbances or without interruption.

Keyword : Semi-Submersible, Fuzzy Logic Control, Stability, Swaying, Yawing.



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, puji syukur Penulis haturkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, serta melimpahkan kesehatan dan petunjuk bagi Penulis. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir beserta pembuatan laporan yang berjudul:

PERANCANGAN SISTEM KENDALI PLATFORM SEMI-SUBMERSIBLE MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan bagi seorang mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan kali ini Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesainya laporan Tugas Akhir ini, khususnya kepada :

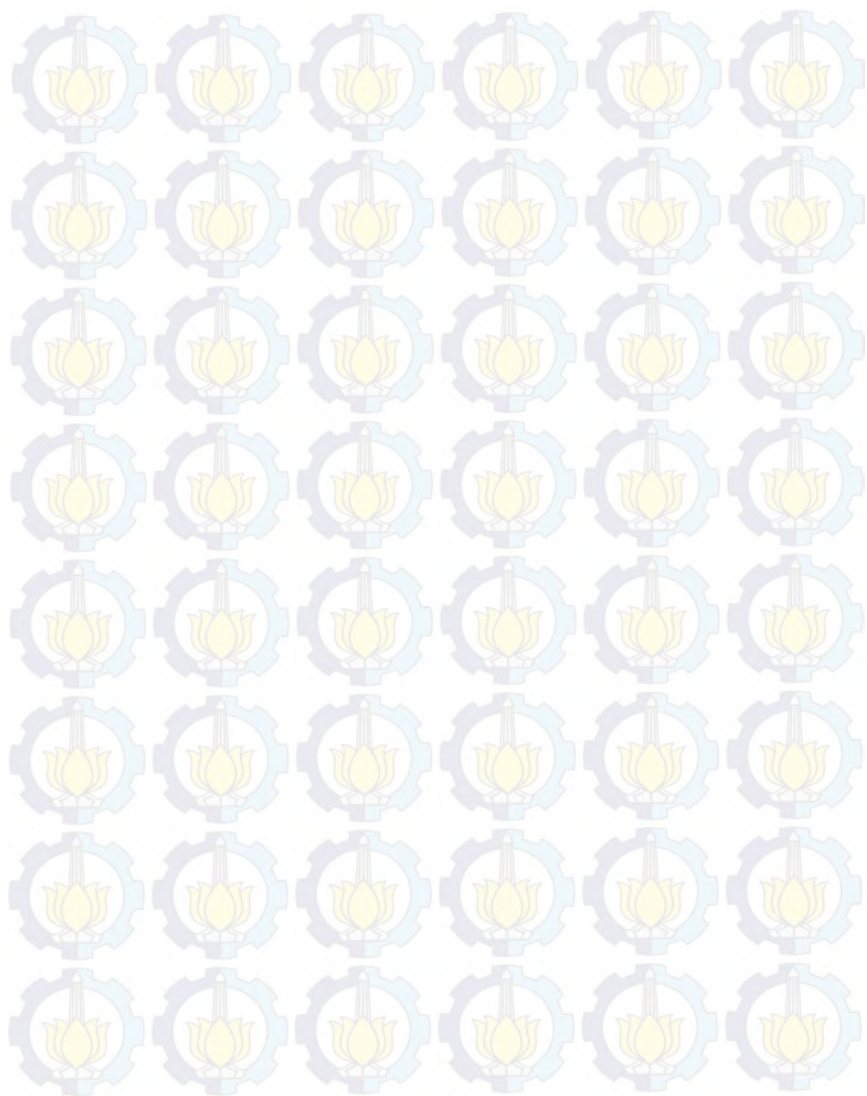
1. Ibu...Ibu...Ibu...dan Bapak yang tiada hentinya memberikan doa dan semangat selama dari sewaktu kecil hingga sampai saat ini.
2. Ibu Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T dan Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc, PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu mengarahkan penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
3. Ibu Dyah Sawitri, S.T,M.T. selaku dosen wali yang memberi motivasi kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Fisika.
4. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku ketua Jurusan Teknik Fisika, FTI – ITS.

5. Bapak Ir. Ya'umar, M.T. selaku kepala Laboratorium Rekayasa Instrumentasi atas segala saran dan kemudahan.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmunya dengan ikhlas sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah sampai tugas akhir ini.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. KH. Mohammad Nuh, DEA selaku Menteri Pendidikan Nasional beserta Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2011-2015.
8. Seluruh saudara dari penulis yang telah memberikan semangat, doa dan keceriaan selama ini.
9. Teman-teman asisten Laboratorium Pengukuran Fisis atas segala keceriaan dan solidaritasnya.
10. Teman-teman angkatan 2011, dan adik-adik 2012, 2013 dan 2014 serta rekan-rekan penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis sangat menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan untuk menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini. Jazakumullah khoiron Katsiro. Salam Satu Bendera. Vivat TF!!!

Surabaya , Januari 2015

Penulis



DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II	
TEORI PENUNJANG	5
2.1 <i>Semi-Submersible Rig</i>	5
2.2 <i>Atlantis PQ Platform</i>	5
2.3 Model Dinamika Benda Apung di Laut	7
2.4 Dinamika Gangguan Gelombang	12
2.4.1 Model Gangguan Gelombang dalam Frekuensi Rendah	12
2.4.2 Model Gangguan Gelombang dalam Frekuensi Tinggi	14
2.5 Model Persamaan Sistem	15
2.6 Gangguan Perairan Laut	16
2.6.1 Gelombang	16
2.7 Aktuator <i>Platform</i>	19
2.8 Logika Fuzzy	20
2.9 Kriteria Keterkendalian dan Keteramatan	24

BAB III	
METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Studi Literatur	27
3.2 Pengambilan Data	28
3.3 Pemodelan Dinamika <i>Platform</i>	28
3.3.1 Gelombang Frekuensi Rendah	29
3.3.2 Gelombang Frekuensi Tinggi	30
3.4 Validasi Model Dinamika Sistem	34
3.5 Diagram Blok Sistem Kontrol <i>Stabilization Platform</i>	34
3.6 Perancangan Pengendali Logika Fuzzy	36
BAB IV	
ANALISIS DATA dan PEMBAHASAN	45
4.1 Analisis Keterkendalian dan Keteramatan	45
4.2 Pengujian Sistem <i>Open Loop</i>	45
4.3 Pengujian Sistem <i>Close Loop</i>	52
BAB V	
PENUTUP	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Notasi yang digunakan untuk kapal	7
Tabel 2.2 Variabel-variabel normalisasi untuk <i>Bis System</i>	10
Tabel 2.3 Deskripsi Laut.....	16
Tabel 3.1 Basis aturan kendali logika fuzzy	41
Tabel 4.1 Perbandingan Performansi KLF untuk respon <i>yaw</i>	59
Tabel 4.2 Perbandingan Performansi KLF untuk respon <i>sway</i>	60
Tabel 4.3 Perbandingan rancangan kendali logika fuzzy dengan LQR pada arah <i>sway</i>	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Atlantis PQ Platform.....	6
Gambar 2.2 Gerakan 6 DOF.(dengan $u_1 = surge$, $u_2 = sway$, $u_3 = heave$, $u_4 = roll$, $u_5 = pitch$ dan $u_6 = yaw$).....	8
Gambar 2.3 Dinamika Gelombang Di Laut.....	12
Gambar 2.4 Gangguan Gelombang dengan Sudut β	19
Gambar 2.5 Struktur Kontrol Logika Fuzzy.....	21
Gambar 2.6 Grafik Fungsi Keanggotaan Segitigadan Trapesium.....	21
Gambar 2.7 Macam-macam distribusi fungsi keanggotaan	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Secara Detail	27
Gambar 3.3 Diagram Blok Pengendalian	35
Gambar 3.4 Diagram Blok Pengendalian Ruang Keadaan.....	35
Gambar 3.5 Kendali Logika Fuzzy Takagi Sugeno	37
Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan <i>error yaw rate</i> (e^*)	37
Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan <i>error yaw</i> (r).....	38
Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan Keluaran Kendali.....	39
Gambar 3.9 <i>Rule Editor</i> Kendali Logika Fuzzy	41
Gambar 3.10 <i>Surface</i> Tiga Dimensi Kendali Logika Fuzzy	43
Gambar 4.1 Diagram Blok <i>Simulink</i> Sistem <i>Platform</i> tanpa Kendali.....	46
Gambar 4.2 Respon <i>Open Loop</i> Gaya <i>Yaw</i> tanpa kendali.....	46
Gambar 4.3 Respon <i>Open Loop</i> dari Gaya <i>Sway</i> tanpa Kendali.....	47
Gambar 4.4 Respon <i>Open Loop</i> dengan Gangguan Gelombang terhadap gaya <i>Yaw</i> tanpa kendali.....	48
Gambar 4.5 Respon <i>Open Loop</i> dengan Gangguan Gelombang terhadap gaya <i>Sway</i> tanpa Kendali.....	48
Gambar 4.6 Respon <i>Open Loop</i> dengan Gangguan Gelombang sudut 30° terhadap gaya <i>Yaw</i> tanpa kendali.....	49
Gambar 4.7 Respon <i>Open Loop</i> dengan Gangguan Gelombang sudut 30° terhadap gaya <i>Sway</i> tanpa Kendali.....	49

Gambar 4.8 Respon Open Loop dengan Gangguan Gelombang sudut 60° terhadap gaya <i>Yaw</i> tanpa kendali.....	50
Gambar 4.9 Respon Open Loop dengan Gangguan Gelombang sudut 60° terhadap gaya <i>Sway</i> tanpa kendali.....	50
Gambar 4.10 Respon Open Loop dengan Gangguan <i>Gaussian</i> <i>Noise</i> terhadap gaya <i>Yaw</i> tanpa kendali.....	51
Gambar 4.11 Respon <i>Open Loop</i> dengan Gangguan <i>Gaussian</i> <i>Noise</i> terhadap gaya <i>Sway</i> tanpa kendali.....	52
Gambar 4.12 Diagram Blok Sistem <i>Close Loop</i> tanpa Gangguan.	54
Gambar 4.13 Respon <i>Close Loop</i> tanpa Gangguan terhadap gaya <i>Yaw</i>	54
Gambar 4.14 Respon <i>Close Loop</i> tanpa Gangguan terhadap gaya <i>Sway</i>	55
Gambar 4.15 Respon Gaya <i>Yawing Close Loop</i> dengan Gangguan Gelombang.....	55
Gambar 4.16 Respon Gaya <i>Swaying Close Loop</i> dengan Gangguan Gelombang.....	56
Gambar 4.17 Respon Gaya <i>Yawing Close Loop</i> dengan Gangguan Gelombang sudut datang 30°	56
Gambar 4.18 Respon Gaya <i>Swaying Close Loop</i> Sistem dengan Gangguan Gelombang sudut datang 30°	57
Gambar 4.19 Respon Gaya <i>Yawing Close Loop</i> Sistem dengan Gangguan Gelombang sudut datang 60°	57
Gambar 4.20 Respon Gaya <i>Swaying Close Loop</i> Sistem dengan Gangguan Gelombang sudut Datang 60°	58
Gambar 4.21 Respon Gaya <i>Yawing Close Loop</i> dengan Gangguan <i>Gaussian Noise</i>	58
Gambar 4.22 Respon Gaya <i>Swaying Close Loop</i> dengan Gangguan <i>Gaussian Noise</i>	59

DAFTAR NOTASI

η	=	vektor orientasi arah
x	=	posisi <i>surge</i> (m)
y	=	posisi <i>sway</i> (m)
z	=	posisi <i>heave</i> (m)
ϕ	=	sudut <i>roll</i> (rad)
θ	=	sudut <i>pitch</i> (rad)
ψ	=	sudut <i>yaw</i> (rad)
ψ_L	=	sudut <i>yaw</i> frekuensi rendah (rad)
ψ_H	=	sudut <i>yaw</i> frekuensi tinggi (rad)
u	=	kecepatan <i>surge</i> (m/s)
v	=	kecepatan <i>sway</i> (m/s)
w	=	kecepatan <i>heave</i> (m/s)
p	=	kecepatan <i>roll</i> (rad/s)
q	=	kecepatan <i>pitch</i> (rad/s)
r	=	kecepatan <i>yaw</i> (rad/s)
\dot{v}	=	percepatan <i>sway</i> (m/s ²)
\dot{p}	=	percepatan <i>roll</i> (rad/s ²)
\dot{r}	=	percepatan <i>yaw</i> (rad/s ²)
$J(\eta)$	=	matriks transformasi
X	=	gaya <i>surge</i> (N)
Y	=	gaya <i>sway</i> (N)
Z	=	gaya <i>heave</i> (N)
K	=	momen <i>roll</i> (Nm)
M	=	momen <i>pitch</i> (Nm)
N	=	momen <i>yaw</i> (Nm)
M_{RB}	=	matriks massa dan inersia kapal
Y_{\dots}	=	turunan gaya <i>sway</i> terhadap ...
K_{\dots}	=	turunan gaya <i>roll</i> terhadap ...
N_{\dots}	=	turunan momen <i>yaw</i> terhadap ...
M	=	matriks inersia
D	=	matriks redaman
m	=	massa kapal
$Y_{\dot{v}}$	=	turunan gaya arah <i>sway</i> terhadap \dot{v} (Ndet ² /m)

$Y_{\dot{p}}$	=	turunan gaya arah <i>sway</i> terhadap \dot{p} (Ndet ²)
$Y_{\dot{r}}$	=	turunan gaya arah <i>sway</i> terhadap \dot{r} (Ndet ²)
$K_{\dot{v}}$	=	turunan momen <i>roll</i> terhadap \dot{v} (Ndet ² /m)
$K_{\dot{p}}$	=	turunan momen <i>roll</i> terhadap \dot{p} (Ndet ²)
$K_{\dot{r}}$	=	turunan momen <i>roll</i> terhadap \dot{r} (Ndet ²)
$N_{\dot{v}}$	=	turunan momen <i>yaw</i> terhadap \dot{v} (Ndet ² /m)
$N_{\dot{p}}$	=	turunan momen <i>yaw</i> terhadap \dot{p} (Ndet ²)
$N_{\dot{r}}$	=	turunan momen <i>yaw</i> terhadap \dot{r} (Ndet ²)
Y_v	=	turunan gaya arah <i>sway</i> terhadap v (Ndet/m)
Y_p	=	turunan gaya arah <i>sway</i> terhadap p (N/det)
Y_r	=	turunan gaya arah <i>sway</i> terhadap r (N/det)
K_v	=	turunan momen <i>roll</i> terhadap v (Ndet/m)
K_p	=	turunan momen <i>roll</i> terhadap p (Ndet ²)
K_r	=	turunan momen <i>roll</i> terhadap r (Ndet ²)
N_v	=	turunan momen <i>yaw</i> terhadap v (Ndet/m)
N_p	=	turunan momen <i>yaw</i> terhadap p (Ndet ²)
N_r	=	turunan momen <i>yaw</i> terhadap r (Ndet ²)
I_z	=	momen inersia terhadap sumbu z (Nm)
I_r	=	momen inersia terhadap sumbu r (Nm)
I_x	=	momen inersia terhadap sumbu x (Nm)
Y''	=	gaya <i>sway</i> non dimensi
K''	=	momen <i>roll</i> non dimensi
N''	=	momen <i>yaw</i> non dimensi
u_c	=	Kecepatan arah <i>surge</i> (m/detik)
β_c	=	Arah arus laut (rad)
v_c	=	Kecepatan arus arah <i>sway</i> (m/detik)
r_c	=	Kecepatan arus arah <i>yaw</i> (rad/detik)
δ	=	defleksi rudder (derajat)
x_G	=	pusat massa sumbu x (m)
z_G	=	pusat massa sumbu z (m)
ρ	=	rapat massa air laut (1014 kg/m ³)
g	=	percepatan gravitasi bumi (9.8 m/det ²)
$L = L_{pp}$	=	panjang <i>platform</i> (m)
U	=	kecepatan <i>platform</i> (m/det)
B	=	lebar kapal (m)

T	=	kedalaman <i>platform</i> (m)
∇	=	<i>hull displacement</i> (m ³)
C_B	=	koefisien blok
V_L	=	vektor kecepatan kapal frekuensi rendah (m/det)
V_c	=	vektor kecepatan arus (m/det)
ξ_y	=	posisi <i>sway</i> pada gelombang frekuensi tinggi (m)
ξ_p	=	posisi <i>roll</i> pada gelombang frekuensi tinggi (rad)
ξ_ψ	=	posisi <i>yaw</i> pada gelombang frekuensi tinggi (rad)
\dot{y}_H	=	laju <i>sway</i> akibat gelombang frekuensi tinggi (m/detik)
$\dot{\phi}_H$	=	laju <i>roll</i> akibat gelombang frekuensi tinggi (rad/detik)
$\dot{\psi}_H$	=	laju <i>yaw</i> akibat gelombang frekuensi tinggi (rad/detik)
x	=	variabel state
\dot{x}_L	=	variabel state frekuensi rendah
A_L	=	matriks sistem frekuensi rendah
x_L	=	variabel state frekuensi rendah
B_L	=	matriks aktuator sistem frekuensi rendah
τ_L	=	kontrol input frekuensi rendah
E_L	=	matriks gangguan frekuensi rendah
w_L	=	vektor gangguan frekuensi rendah dengan <i>zero mean Gaussian white noise process</i>
a_{11}	=	konstanta pada baris ke-1 dan kolom ke-1 dari matriks A pada <i>sway-yaw sub-system</i>
a_{12}	=	konstanta pada baris ke-1 dan kolom ke-2 dari matriks A pada <i>sway-yaw sub-system</i>
a_{31}	=	konstanta pada baris ke-3 dan kolom ke-1 dari matriks A pada <i>sway-yaw sub-system</i>
a_{33}	=	konstanta pada baris ke-3 dan kolom ke-3 dari matriks A pada <i>sway-yaw sub-system</i>
b_1	=	konstanta pada baris ke-1 dari matriks B pada <i>sway-yaw sub-system</i>
b_2	=	konstanta pada baris ke-2 dari matriks B pada <i>sway-yaw sub-system</i>

\dot{x}_H	=	variabel laju state frekuensi tinggi
A_H	=	matriks sistem frekuensi tinggi
B_H	=	matriks input frekuensi rendah
w_H	=	vektor gangguan frekuensi tinggi dengan <i>zero mean Gaussian white noise process</i>
μ_o	=	parameter kelajuan arus pada persamaan Gauss Markov orde 1
w_L	=	vektor gangguan dengan distribusi Gaussian
w_u	=	gangguan arah <i>surge</i> berdistribusi Gaussian
w_v	=	gangguan arah <i>sway</i> berdistribusi Gaussian
w_r	=	gangguan arah <i>yaw</i> berdistribusi Gaussian
V_R	=	kecepatan relatif angin (knot)
ρ_a	=	rapat massa udara (1.224 kg/m ²)
$V_w(10)$	=	kecepatan relatif angin pada 10 m di atas permukaan laut (m/det)
$S(\omega)$	=	fungsi kecepatan <i>spectral</i> (m ² /det)
H_s	=	tinggi gelombang signifikan (m)
$P_{yy}(\omega)$	=	spektrum kerapatan daya (m ² /det)
σ_ω	=	intensitas gelombang
ε	=	koefisien redaman
α	=	koefisien spektrum PM
β	=	sudut datang gelombang
ω_0	=	frekuensi modal gelombang (rad/det)
$H(s)$	=	fungsi transfer gelombang
K_w	=	konstanta pada fungsi transfer gangguan gelombang
y	=	matriks keluaran
I	=	matriks identitas
Ψ_d	=	<i>heading</i> yang diharapkan (derajat)
δ_d	=	<i>demand rudder</i> yang diharapkan (derajat)
u	=	vektor input
z	=	variabel pengukuran
K_o	=	<i>gain state feedback</i>
ξ	=	rasio redaman sistem
ω_n	=	frekuensi alami sistem

C	=	keluaran sistem
R	=	masukan sistem
U_k	=	matriks <i>controllability</i>
V_k	=	matriks <i>observability</i>
$H = C$	=	matriks output sistem
K	=	gain state <i>feedback</i>
u	=	sinyal kontrol (keluaran controller)
y	=	keluaran dari sistem yang dikontrol
T_o	=	gaya dorong dari <i>thruster</i> dalam N (kgf, lbf)
P	=	daya dari <i>propeller thruster</i> dalam kW (PS, hp)
D	=	diameter <i>propeller thruster</i> dalam m (m, ft)
K	=	konstanta <i>thruster</i> 1250 (103.8, 103.7)
F_1^1	=	fuzzy set ke-1
Y^1	=	keluaran logika fuzzy ke-1
$L^{(1)}$	=	kaidah/Aturan ke-1
C_0^1	=	konstanta logika fuzzy Takagi-Sugeno ke-1



DAFTAR PUSTAKA

- ABS.2013. Guide for Dynamic Positioning Systems. New York.
- Aisjah, S. Aulia. (2009). The Expert Control Designing of Tanker Ship Maneuvering by Optimal Control as a Reference Model. IPTEK. *The Journal for Technology and Science, Vol. 20, No. 1.*
- Arifin, Syamsul. Pengantar Sistem Fuzzy. Jurusan Teknik Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Bai, Y. (2003). Marine Structural Design. Kidlington, Offshore: Elsevier Science.
- Baihaqie, M. Z.(2014). Analisis Gerakan Sway, Heave, dan Roll pada Offshore Platform Menggunakan Metode Kontrol Optimal Linear Quadratic Regulator. Jurusan Teknik Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Bertram, Volker. (2000). Practical Ship Hydrodynamics. Planta Tree.
- BP.(2013). Atlantis Field Fact Sheet. Dipetik 28 November 2014, dari http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Atlantis_Fact_Sheet_6_14_2013.pdf
- Cogley, Thomas., Paquette, Jonathan., Rehouma, Hichem. Senior Design Project in Electrical Engineering “Dynamic Positioning System”. Electrical and Computer Engineering Section. USCG Academy.
- Deter, Dietmer. (1997). Principle Aspects of Thruster Selection. Dynamic Positioning Conference on Marine Technology Society. Nautex(Houston).
- Djarmiko, E. B.(2012). Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut diatas Gelombang Acak. ITS Press. Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Engineers, S. o. (1989). Principles of Naval Architecture Volume III. Dalam Motion in Waves and Controllability. United States.

Fossen, T. I. (1994). Guidance and Control of Ocean Vehicles. John Wiley and Sons.

Fossen, T. I. (2005). A Nonlinear Unified State-Space Model for Ship Maneuvering and Control in a Seaway. Journal of Bifurcation and Chaos, 5.

Fossen, T. I. (2011). Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. John Wiley and Sons.

Hamid, M.Imran. 2006. *Implementasi Sistem Kendali Berbasis Logika Fuzzy pada Pengendalian Eksitasi Generator*. Padang.

Kovačić, Z., Bogdan, Stjepan. (2006). Fuzzy Controller Design Theory and Applications. Taylor & Francis Group, LLC. New York.

Ogata, Katsuhiko. (2002). Modern Control Engineering. Tom Robbins. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Sandvick, K., Eie, R., Advocaat, J.-D., Godejord, A., O.Hæreid, K., Høyland, K., & Olsen, T. O. (2004). Offshore Structures – A New Challenge. XIV National Conference on Structural Engineering. Acapulco.

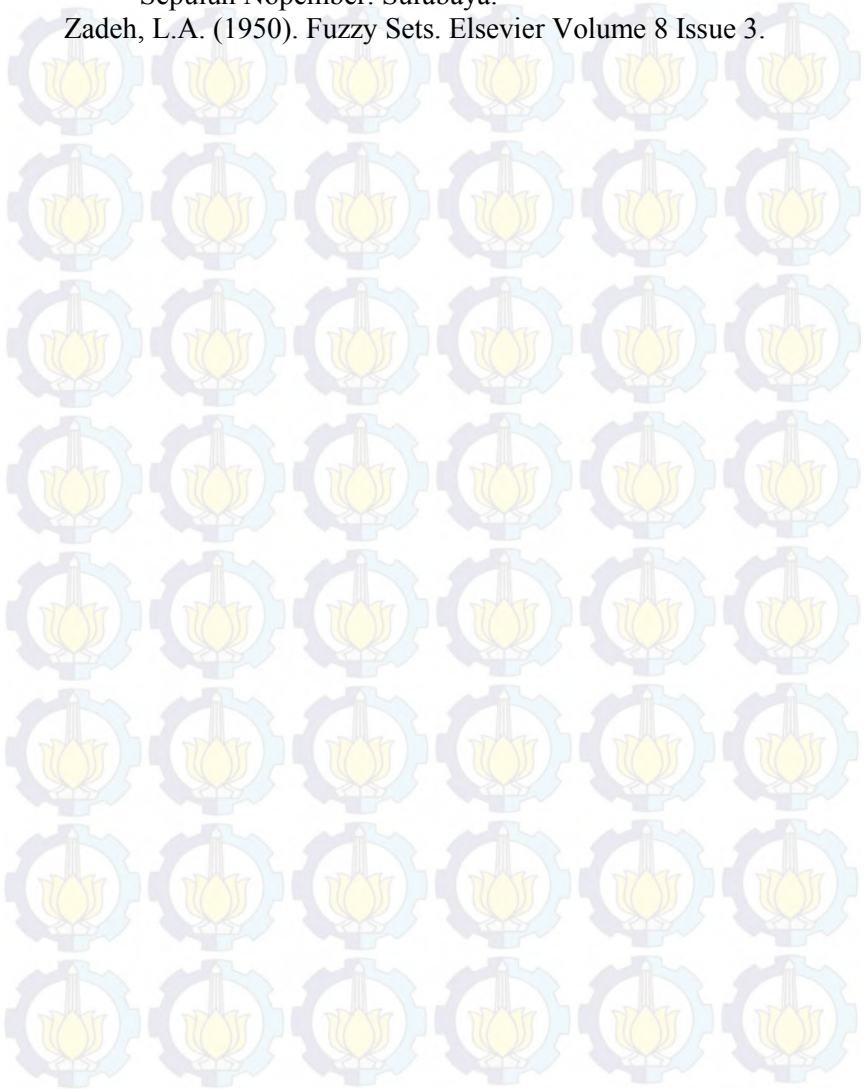
Technology, O.(2010). Atlantis Deepwater Oil and Gas Platform, Gulf of Mexico, United States of America. Dipetik 28 November 2014, dari <http://www.offshoretechnology.com/projects/atlantispatform/>

Yamamoto, M., Morooka, C.K.(2005). Dynamic Positioning System of Semisubmersible Platform Using Fuzzy Control. Department of Petroleum Engineering. State University of Campinas. Brazil.

Yuda, M. Hafiez. (2014). Desain Dan Analisa Sistem Kontrol Logika Fuzzy Untuk Kestabilan Seakeeping Pada

Kapal Sigma. Jurusan Teknik Fisika. Institut Teknologi
Sepuluh Nopember. Surabaya.

Zadeh, L.A. (1950). Fuzzy Sets. Elsevier Volume 8 Issue 3.



BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kota Tuban 17 April 1993. Penulis menempuh pendidikan di MI Salafiyah Kerek lulus tahun 2005, MTs Salafiyah Kerek lulus tahun 2008, dan SMAN 2 Tuban lulus tahun 2011. Pendidikan sarjana ditempuh di Jurusan Teknik Fisika ITS melalui jalur SNMPTN 2010 dan mendapat bantuan finansial dengan Program Bidik Misi. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi kemahasiswaan HMTF selama periode 2012-2013 & 2013-2014 dalam Departemen Hubungan Luar. Selain aktif dalam berorganisasi, penulis juga aktif dalam kegiatan akademik sebagai asisten Laboratorium Pengukuran Fisis selama periode 2013-2014 & 2014-2015. Pengalaman *internship program* selama 1 bulan di PT. Petrokima Gresik. Bidang minat penulis adalah sistem pengukuran, elektronika, instrumentasi dan kontrol. Penulis dapat dihubungi di email jauhari_nk@ymail.com.

*“Maka nikmat Allah mana yang engkau dustakan..”
Q.S. Ar-rahmaan.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses eksplorasi *Oil and Gas (O&G)* dilakukan dengan dua cara yaitu *Onshore* dan *Offshore*. *Onshore* merupakan penambangan minyak dan gas di daratan sedangkan *Offshore* merupakan penambangan minyak dan gas di perairan lepas pantai. Jenis penambangan *Offshore* dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan kedalaman laut dan struktur bangunannya. Terdapat dua struktur utama yakni struktur terpancang dan struktur terapung.

Struktur bangunan laut yang digunakan pada laut dangkal adalah struktur terpancang seperti *Jack-Up Rig* dan juga *Fixed Platform (Steel Jacket)*. Sedangkan struktur bangunan laut yang dapat digunakan dalam eksplorasi (*O&G*) pada kedalaman laut lebih dari 1000 m adalah struktur terapung seperti *Drillships* dan juga *Semi-Submersible Platform* (Sandvick, et al., 2004). Struktur bangunan apung mempunyai sifat lebih mudah dipindahkan.

Struktur bangunan laut yang terapung mendapatkan gangguan dari gaya-gaya dan momen yang diakibatkan oleh lingkungan (angin, gelombang dan arus laut). Hal ini akan menyebabkan stabilitas dari struktur tersebut menurun. Keadaan ini akan mengganggu proses eksplorasi (*O&G*). Hal ini dikarenakan pada saat kegiatan eksplorasi dilakukan, struktur tersebut harus dijaga untuk tetap berada pada daerah referensi dari titik eksplorasi. Sehingga dibutuhkan gaya maupun momen untuk melawan gangguan yang diakibatkan oleh lingkungan tersebut.

Salah satu solusi untuk menangani adanya gangguan dari lingkungan pada struktur bangunan laut yang terapung yaitu *Dynamic Positioning System (DPS)*. *DPS* ini akan mengendalikan *3 Degree of Freedom (DOF)* yaitu *surge*, *sway* dan *yaw*. Struktur dari *DPS* ini terdiri dari pengendali, sensor, *Thruster System* dan juga *Power System*. Dimana pengendali akan mengirimkan sinyal kendali ke *Thruster* dengan referensi masukan dari sensor

mengenai pergeseran *platform*, dan juga gangguan dari lingkungan (Yamamoto, et al., 2005).

Penelitian sebelumnya telah dilakukan perancangan sistem kendali menggunakan metode *linier quadratic regulator (LQR)* pada *platform* Atlantis PQ dengan tinjauan arah *sway*, *heave* dan *roll*. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah sistem kendali yang dirancang mampu mengendalikan dinamika *platform* dengan baik namun masih belum mampu untuk memberikan nilai *error* yang rendah pada sistem yang dikenai gangguan dengan frekuensi tinggi (Baihaqie, 2014).

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan peninjauan gerak dari *platform* secara 3 *DOF* yaitu *sway*, *roll* dan *yaw*. Ketiga gerakan ini dipilih karena ketiga gerakan tersebut memiliki hubungan satu sama lain (*coupling*) (Djarmiko, 2012). Perancangan kendali pada *platform* ini menggunakan metode Kendali Logika Fuzzy (KLF) yang baik untuk diaplikasikan pada sistem dengan gangguan yang bersifat deterministik.

1.2 Perumusan masalah

Dari paparan latar belakang diatas, maka permasalahan dari pelaksanaan program ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang kendali pada *Semi-Submersible Offshore Rig* dengan metode KLF ?
2. Bagaimana analisis hasil respon gerakan *Semi-Submersible Offshore Rig* terhadap gelombang dengan frekuensi tinggi untuk gerakan *swaying* dan *yawing*?

1.3 Batasan masalah

Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini antara lain:

1. Penerapan sistem kendali pada tipe *Semisubmersible Offshore Rig*.
2. Maksimum pada kriteria *sea state 6 very rough (4,0-6,0 meters wave height)*.

3. Pemodelan dinamika sistem menggunakan pendekatan lambung tunggal.
4. Sistem KLF digunakan untuk pengendalian stabilitas rig terhadap gelombang air laut.
5. Variabel kendali pada gerakan *3 Degree of Freedom* (*Yaw, Sway*, dan *Roll*), dan untuk *3 Degree of Freedom* (*Surge, Heave* dan *Pitch*) diabaikan.
6. *Thruster* dan *Ballast Control System* berada dibawah lambung. Simulasi menggunakan software MatLab/Simulink.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang diberikan pada penelitian ini antara lain:

1. Memperoleh rancangan kendali pada *Semi-Submersible Offshore Rig* dengan metode KLF yang sesuai dengan kriteria kestabilan dari *platform*.
2. Memperoleh hasil respon dan performansi KLF pada *Semi-Submersible Offshore Rig* terhadap gelombang dengan frekuensi tinggi untuk gerakan *swaying*, dan *yawing*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk menentukan parameter kendali dari *Offshore Stabilization Control Structure* dengan menggunakan Sistem KLF untuk melihat seberapa besar optimalisasi dari metode kendali ini.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 *Semi-Submersible Rig*

Semi-Submersible merupakan salah satu karya dari teknologi eksplorasi *O&G* pada laut dalam. *Platform* ini merupakan tipe struktur bangunan laut terapung dengan adanya *Ballast System* dan *Hull* dengan operasi pada kedalaman laut 300-3000m. *Rig/platform* ini didirikan dengan menambahkan *Mooring System* yang biasanya sebanyak 8-12 *mooring line* dengan massa jangkar 300.000lbs pada *platform* tersebut (Yamamoto, et al., 2005). *Platform* ini juga dilengkapi dengan *thruster* pada sekelilingnya untuk menjaga dinamika posisi dari *platform* tersebut. Dengan gangguan lingkungan yang dinamik, *platform* ini di lengkapi dengan *motion compensator* untuk mengatasi adanya gerakan *sway*, *roll* dan *yaw* sehingga posisi *platform* ini relative stabil. Hal ini dikarenakan kestabilan *platform* (*stabilization and positioning*) dari adanya gangguan lingkungan yang menyebabkan adanya gerakan tersebut akan menghambat proses eksplorasi *O&G*.

2.2 *Atlantis PQ Platform*

Atlantis PQ (Production Quarter) merupakan *platform* lepas pantai yang dioperasikan oleh BP dan BHP Biliton yang berlokasi di Green Canyon 310 km dari selatan New Orleans Meksiko. Pembuatan konstruksi lambung dari *platform* ini dibangun di Okpo, Korea, dan bagian atasnya dibangun di Morgan City, Louisiana. Untuk integrasi bagian lambung dan bagian atasnya terjadi di Portland, Texas. *Platform* ini merupakan salah satu *platform Semi-Submersible* yang menggunakan *Mooring System* terdalam didunia. *Platform* ini dioperasikan pada kedalaman 2.156 m dan dirancang untuk menghasilkan 200.000 bopd (*barrel oil per day*) (BP, 2013). Stabilitas dari *platform* dijaga dengan menggunakan *mooring system* dan juga pergerakan dari *thruster* yang telah terdapat pada *hull* dari *platform* tersebut. Dengan menggunakan sinyal kendali dari kendaliler *thruster* tersebut digunakan untuk mengatasi adanya gerakan *sway*, *roll* dan *yaw*

dari *platform*. Bentuk fisik dari *platform* Atlantis PQ dapat dilihat dari Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Atlantis PQ Platform (Technology, 2010).

Adapun spesifikasi dari *Semi-Submersible platform* dari Atlantis PQ *platform* adalah sebagai berikut (BP, 2013).

Class & Type : *Moored Semi-Submersible ABS Classed & Certified "Floating Offshore Installation"*

Tonnage (M) : 30882 metric tons

Displacement (∇) : 88975 metric tons

Length (L_{pp}) : 129.07 m

Beam (B) : 116.1 m

Draught (T) : 26 m

Depth : 52 m

Block Coef. : 0.5737

Data spesifikasi di atas digunakan untuk pemodelan dinamika dari *platform* dengan pendekatan lambung tunggal. Dimana nilai-nilai di atas nantinya akan digunakan untuk

menghitung koefisien-koefisien hidrodinamika dengan menggunakan Persamaan (2.10a-2.10h). Koefisien tersebut merupakan konstanta dalam bentuk non-dimensional yaitu suatu nilai konstanta yang diperoleh dari pembagian antara konstanta pengukuran dengan konstanta yang berupa normalisasi dari *Bis System* yang dinyatakan pada Tabel (2.2). Untuk menandakan konstanta tersebut merupakan normalisasi dari *Bis System* digunakan tanda (') pada setiap variabel normalisasi. Selanjutnya konstanta-konstanta tersebut disusun dalam bentuk matriks inersia dan redaman sesuai dengan persamaan kendaraan laut secara umum.

2.3 Model Dinamika Benda Apung di Laut

Pada studi gerakan benda apung di laut terdapat 6 DOF untuk mendefinisikan dan meng-orientasikan dari badan benda apung tersebut. Enam DOF yang dimaksud adalah *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Tiga kordinat yang pertama (*surge*, *sway* dan *heave*) menunjukkan posisi dan gerak translasi pada sumbu x, y dan z. Sedangkan untuk kordinat yang lainnya (*roll*, *pitch* dan *yaw*) digunakan untuk menunjukkan gerakan orientasi dan rotasi (Fossen, 1994). Penjelasan mengenai 6 DOF ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut dan Gambar 2.2 :

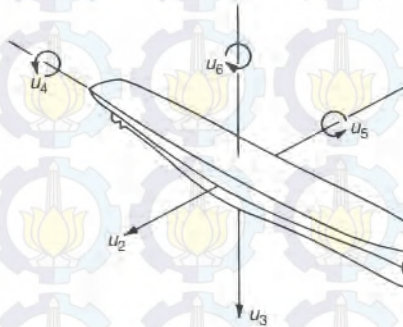
Tabel 2.1 Notasi yang digunakan untuk kapal (Fossen, 1994).

No.	DOF	Gaya dan momen	Kecepatan Linier dan angular	Posisi dan sudut Euler
1.	Gerakan pada sumbu x (<i>surge</i>)	X	U	X
2.	Gerakan pada sumbu y (<i>sway</i>)	Y	V	Y
3.	Gerakan pada sumbu z (<i>heave</i>)	Z	W	Z
4.	Rotasi pada sumbu x (<i>roll</i>)	K	P	Φ
5.	Rotasi pada sumbu y (<i>pitch</i>)	M	Q	Θ
6.	Rotasi pada sumbu z (<i>yaw</i>)	N	r	Ψ

Bentuk umum untuk pergerakan kendaraan laut dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut:

$$\mathbf{M}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{D}\mathbf{v} = \mathbf{L} \quad (2.1)$$

Dimana $\mathbf{v} = [v, p, r]^T$ merupakan vektor kecepatan, dan τ_L merupakan vektor kendali gaya dan momen. \mathbf{M} dan \mathbf{D} merupakan matrik inersia dan redaman yang diperoleh dari linierisasi persamaan gaya dan momen pada arah *sway*, *roll*, dan *yaw*.



Gambar 2.2. Gerakan 6 DOF. (dengan $u_1 = surge$, $u_2 = sway$, $u_3 = heave$, $u_4 = roll$, $u_5 = pitch$ dan $u_6 = yaw$) (Bertram, 2000).

Persamaan benda apung dalam 6 derajat kebebasan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{Surge} : X = m[\dot{u} - vr + wq - X_G(q^2 + r^2) + Y_G(pq - \dot{r}) + Z_G(pr + \dot{q})]$$

$$\text{Sway} : Y = m[\dot{v} - wp + ur - Y_G(r^2 + p^2) + Z_G(qr - \dot{p}) + X_G(qp + \dot{r})]$$

$$\text{Heave} : Z = m[\dot{w} - uq + vp - Z_G(p^2 + q^2) + X_G(rp - \dot{q}) + Y_G(rq + \dot{p})]$$

$$\text{Roll} : K = I_x \dot{p} + (I_z - I_y)qr + m[Y_G(\dot{w} - uq + vp) - Z_G(\dot{v} - wp + ur)]$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pitch} & : M = I_y \dot{q} + (I_x - I_z)rp + m[Z_G(\dot{u} - vr + wq) - \\
 & X_G(\dot{w} - uq + vp)] \\
 \text{Yaw} & : N = I_z \dot{r} + (I_y - I_x)pq + m[X_G(\dot{v} - wp + ur) - \\
 & Y_G(\dot{u} - vr + wq)] \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

Persamaan umum gerak benda apung di atas kemudian ditinjau dari 3 DOF (*sway*, *roll*, dan *yaw*) yang dijadikan sebagai pokok tinjauan dari penelitian tugas akhir ini sehingga menjadi persamaan umum gerak pada persamaan umum bentuk pergerakan benda di laut yang didasarkan pada asumsi gerakan 6 DOF yang menjadi penyebab terjadinya gerak pada *rig*, yakni :

1. Distribusi massa homogen dan bidang xz simetris ($I_{xy} = I_{yz} = 0$)
2. Mode *surge*, *pitch* dan *heave* dapat diabaikan ($u = w = q = \dot{u} = \dot{w} = \dot{q} = 0$)

Asumsi diatas dijadikan dasar dalam menurunkan persamaan dinamika *platform* dalam 3 derajat kebebasan sebagai berikut :

$$\text{Sway} : m[\dot{v} - Y_G(r^2 + p^2) + Z_G(-\dot{p}) + X_G(\dot{r})] = Y \quad (2.3)$$

$$\text{Roll} : I_x \dot{p} + m[Y_G(vp) - Z_G(\dot{v})] = K \quad (2.4)$$

$$\text{Yaw} : I_z \dot{r} + m[X_G(\dot{v}) - Y_G(-vr)] = N \quad (2.5)$$

Karena sistem pengendalian yang akan digunakan adalah sistem pengendalian pada sistem linier orde satu, maka jika diasumsikan bahwa orde tertinggi dari gangguan dapat diabaikan, maka persamaan *non-linier* gerak dapat ditulis :

$$\text{Sway} : m[\dot{v} + Z_G(-\dot{p}) + X_G(\dot{r})] = Y \quad (2.6)$$

$$\text{Roll} : I_x \dot{p} + m[Y_G(vp) - Z_G(\dot{v})] = K \quad (2.7)$$

$$\text{Yaw} : I_z \dot{r} + m[X_G(\dot{v}) - Y_G(-vr)] = N \quad (2.8)$$

Sehingga didapatkan $\mathbf{M}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{D}\mathbf{v} = \mathbf{L}$, dengan

$$M = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & -mZ_G - Y_{\dot{p}} & mX_G - Y_{\dot{r}} \\ -mZ_G - K_{\dot{v}} & I_x - K_{\dot{p}} & 0 \\ mX_G - N_{\dot{v}} & 0 & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix},$$

$$D = \begin{bmatrix} -Y_v & -Y_p & m u_0 - Y_r \\ -K_v & -K_p & -mZ_G u_0 - K_r \\ -N_v & -N_p & mX_G u_0 - N_r \end{bmatrix}$$

dan $L = TKu$ dengan $L = [Y \ K \ N]^T$ (2.9)

Pada pendekatan teori *slender body strip* turunan koefisien hidrodinamika dapat dinyatakan sebagai fungsi dari rasio panjang terhadap lebar dari kapal, dengan dikalikan sebuah konstanta tertentu. Smitt (1970), Norrbin (1971) dan Inoue (1981) mengembangkan suatu rumusan secara empiris dari beberapa persamaan turunan koefisien hidrodinamika yang dikemukakan oleh Clarke (1982). Untuk memperoleh besaran gaya dikalikan dengan $\mu\rho g\nabla$ dan momen dikalikan dengan $\mu\rho g\nabla L$ (Fossen, 1994). Dimana pada sistem ini ρ = rapat massa air laut (1024 kg/m^3), L = panjang kapal, g = percepatan gravitasi, B = lebar kapal, T = kedalaman kapal, C_B = koefisien blok, rasio massa dari *platform* dengan densitasnya $\mu = \frac{m}{\rho\nabla}$ dan juga ∇ yang merupakan pergeseran dari lambung *platform*.

Adapun persamaan turunan koefisien hidrodinamika yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$\frac{-Y_v'''}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.16 \frac{C_B B}{T} - 5.1 \left(\frac{B}{T}\right)^2 \quad \dots(2.10a)$$

$$\frac{-Y_p'''}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.4 \frac{C_B B}{T} \quad \dots(2.10b)$$

$$\frac{-Y_r'''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-Y_p'''}{\pi(T/L)^2} = -\frac{1}{2} + 2.2 \frac{B}{L} - 0.08 \frac{B}{T} \quad \dots(2.10c)$$

$$\frac{-Y_{\dot{r}}'''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-Y_p'''}{\pi(T/L)^2} = 0.67 \frac{B}{L} - 0.0033 \left(\frac{B}{T}\right)^2 \quad \dots(2.10d)$$

$$\frac{-N_r'''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-K_p'''}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{4} + 0.039 \frac{B}{T} - 0.56 \frac{B}{L} \quad \dots(2.10e)$$

$$\frac{-N_p''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-K_p''}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{12} + 0.017 \frac{C_{BB}}{T} - 0.33 \frac{B}{L} \quad \dots(2.10f)$$

$$\frac{-N_v''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-K_v''}{\pi(T/L)^2} = 0.5 \frac{B}{L} + 2.4 \left(\frac{B}{T}\right)^2 \quad \dots(2.10g)$$

$$\frac{-N_b''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-K_b''}{\pi(T/L)^2} = 1.1 \frac{B}{L} - 0.041 \frac{B}{T} \quad \dots(2.10h)$$

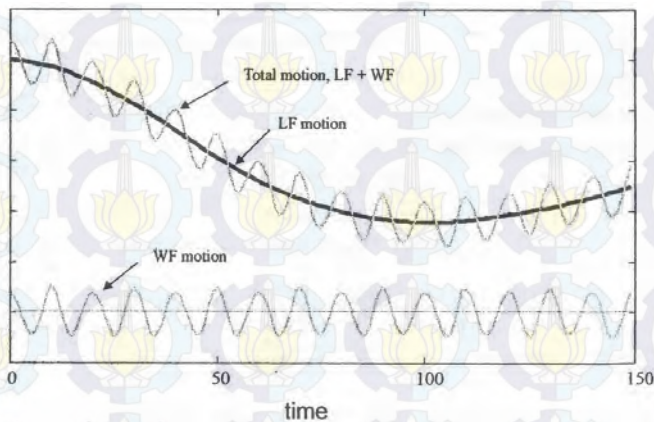
Bentuk normalisasi yang digunakan untuk persamaan gerak *platform* adalah *Bis System* dari SNAME (1950). Sistem ini menggunakan kecepatan kapal \sqrt{Lg} , panjang $L=L_{pp}$ (panjang antara bagian depan dan garis tegak lurus buritan), unit waktu $\sqrt{L/g}$ dan unit massa $\frac{1}{2}\mu\rho\nabla$ sebagai variabel normalisasi dengan mengambil harga $\mu = 1$ untuk *platform Semi-Submersible*. Variabel-variabel normalisasi dalam *Bis System* dapat dilihat pada Tabel 2.2. Kuantitas non-dimensional dalam *Bis System* dapat dinyatakan dengan tanda (") (Fossen, 2011).

Tabel 2.2 Variabel-variabel normalisasi untuk *Bis System* (Fossen, 2011).

<i>Unit</i>	<i>Bis System</i>
<i>Length</i>	L
<i>Mass</i>	$\frac{1}{2}\mu\rho\nabla$
<i>Inertia Moment</i>	$\frac{1}{2}\mu\rho\nabla L^2$
<i>Time</i>	$\sqrt{L/g}$
<i>Reference Area</i>	$\frac{2\nabla}{\mu} \frac{L}{L}$
<i>Position</i>	L
<i>Angle</i>	1
<i>Linear Velocity</i>	\sqrt{Lg}
<i>Angular Velocity</i>	$\frac{\sqrt{g}}{\sqrt{L}}$
<i>Linear Acceleration</i>	g
<i>Angular Acceleration</i>	$\frac{g}{L}$
<i>Force</i>	$\mu\rho g\nabla$
<i>Moment</i>	$\mu\rho g\nabla L$

2.4 Dinamika Gangguan Gelombang

Pemodelan dinamika *platform* dipengaruhi oleh adanya kondisi laut dalam keadaan tenang maupun beriak. Dari kondisi tersebut dapat diketahui bahwa *platform* akan menerima gangguan dari lingkungan yang merupakan gelombang. Dalam dinamika gangguan gelombang dibedakan jenis gelombang menurut frekuensinya menjadi 2 yaitu gelombang berfrekuensi rendah (*LF*) dan gelombang frekuensi tinggi (*WF*) (Fossen, 2011).



Gambar 2.3 Dinamika Gelombang Di Laut (Fossen, 2005).

Dalam melakukan perancangan sistem pengendalian dengan umpan balik, *WF motion* diperlakukan sebagai gangguan pengukuran yang dapat ditambahkan pada *LF motion*. Sehingga adanya *disturbance observer (wave filter)* dapat dirancang untuk mereduksi gelombang frekuensi tinggi dari umpan balik yang digunakan.

2.4.1 Model Gangguan Gelombang dalam Frekuensi Rendah

Gelombang laut memiliki frekuensi rendah dan tinggi sehingga mempengaruhi dinamika kapal. Model dinamika posisi kapal dalam frekuensi rendah dapat digambarkan dalam model linier *sway*, *roll*, dan *yaw*. Pada studi simulasi dan eksperimen,

menunjukkan bahwa Coriolis dan *damping non-linier* dapat diabaikan. Sehingga diperoleh pemodelan sebagai berikut :

$$\mathbf{M}\dot{v}_L + \mathbf{D}(v_L) = \tau_L + w_L \quad (2.11)$$

Dengan $v_L = [v_L, p_L, r_L]^T$ merupakan vektor kecepatan frekuensi rendah, τ_L vektor kendali gaya dan momen. Dan $w_L = [w_v, w_p, w_r]^T$ vektor gangguan dengan *zero Mean Gaussian white noise process*. Dengan menggunakan teori *slender body*, matriks inersia dan redaman diperoleh sebagai berikut :

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & -mZ_G - Y_{\dot{p}} & mX_G - Y_{\dot{r}} \\ -mZ_G - K_{\dot{v}} & I_x - K_{\dot{p}} & 0 \\ mX_G - N_{\dot{v}} & 0 & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} -Y_v & -Y_p & mu_0 - Y_r \\ -K_v & -K_p & -mZ_G u_0 - K_r \\ -N_v & -N_p & mX_G u_0 - N_r \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Dari hasil persamaan kinematika kapal. Dimana $\dot{\eta}_L = v_L$. Sehingga $\dot{\eta}_L = [y_L, \phi_L, \psi_L]^T$. Persamaan keadaan untuk dinamika posisi *platform* :

$$\dot{x}_L = A_L x_L + B_L \tau_L + E_L w_L \quad (2.13)$$

dimana $\dot{x}_L = [y_L, \phi_L, \psi_L, v_L, p_L, r_L]^T$ dan

$$A_L = \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & -M^{-1}D \end{bmatrix}, B_L = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}B \end{bmatrix}, E_L = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Dengan $-M^{-1}D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ dan

$$-M^{-1}B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Pada umumnya gerakan *platform* dengan arah roll tidak dapat di kendali dengan menggunakan *thruster* dan alternatif yang sering digunakan adalah dengan menambahkan *fin stabilizer* sebagai penyeimbang gerak *rolling* dari *platform* tersebut. Sehingga dengan metode dekomposisi pada gerakan *roll* dan *sway-yaw subsystems*, maka persamaan dinamika *platform* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{31} & a_{33} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ 0 \end{bmatrix} \tau_R \quad (2.16)$$

2.4.2 Model Gangguan Gelombang dalam Frekuensi Tinggi

Pergerakan frekuensi tinggi dari *platform* secara umum merujuk pada gangguan gelombang orde 2. Berdasarkan persamaan linier gerak frekuensi tinggi :

$$h(s) = \frac{K_w s}{s^2 + s + \omega_o} \quad (2.17)$$

dimana parameter K_w tergantung pada kondisi laut, ξ adalah rasio redaman relatif, dan ω_o adalah parameter perancangan. Nilai ω_o menunjukkan karakter gerakan *platform* (Fossen, 1994). Pemodelan *platform* frekuensi tinggi dalam *sway*, *roll*, dan *yaw* sebagai berikut :

$$\xi_y = y_H \quad (2.18a)$$

$$y_H = -2\zeta\omega_0 y_H - \omega_0^2 \xi_y + w_y \quad (2.18b)$$

$$\xi_\phi = \phi_H \quad (2.18c)$$

$$\phi_H = -2\zeta\omega_0 \phi_H - \omega_0^2 \xi_\phi + w_\phi \quad (2.18d)$$

$$\xi_\psi = \psi_H \quad (2.18e)$$

$$\psi_H = -2\zeta\omega_0\psi_H - \omega_0^2\xi_\psi + w_\psi \quad (2.18f)$$

Dengan ξ rasio redaman relatif yang dapat diperoleh berdasarkan kondisi sesungguhnya atau secara simulasi dan bernilai < 1.0 , nilai ω_0 menandakan komponen gerak frekuensi tinggi. w_y, w_ϕ, w_ψ merupakan *zero mean Gaussian white noise process*. Model gelombang frekuensi tinggi dapat dinyatakan dengan:

$$\dot{x}_H = A_H x_H + K_w w_H \quad (2.19)$$

Dimana

$$\dot{x}_H = [\dot{\xi}_y, \dot{\xi}_\phi, \dot{\xi}_\psi, y_H, \phi_H, \psi_H]^T, w_H = [w_y, w_\phi, w_\psi]^T \quad (2.20)$$

sehingga apabila dimodelkan dalam bentuk persamaan *state space* maka pemodelan gangguan gelombang frekuensi tinggi adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{y}_H \\ \dot{\phi}_H \\ \dot{\psi}_H \\ \dot{\xi}_y \\ \dot{\xi}_\phi \\ \dot{\xi}_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2\zeta\omega_0 & 0 & 0 & -\omega_0^2 & 0 & 0 \\ 0 & -2\zeta\omega_0 & 0 & 0 & -\omega_0^2 & 0 \\ 0 & 0 & -2\zeta\omega_0 & 0 & 0 & -\omega_0^2 \\ I_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_H \\ \phi_H \\ \psi_H \\ \xi_y \\ \xi_\phi \\ \xi_\psi \end{bmatrix} + K_w \begin{bmatrix} w_y \\ w_\phi \\ w_\psi \\ O_3 \quad I \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

2.5 Model Persamaan Sistem

Dari matriks pemodelan A, B, dan C yang diperoleh dari pemisahan model dalam frekuensi rendah dan frekuensi tinggi, maka pemodelan dengan gangguan zero mean gaussian sesuai dengan persamaan 2.20.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu + Ew \\ y &= Cx \end{aligned} \quad (2.22)$$

Persamaan 2.20 dapat dipisahkan dalam bentuk sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_L \\ \dot{x}_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_L & 0 \\ 0 & A_H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ x_H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_L \\ 0 \end{bmatrix} [\tau_L \quad \tau_H] + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_L \\ w_H \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

2.6 Gangguan Perairan Laut

Gangguan lingkungan yang dapat mempengaruhi gerak *platform* pada perairan laut ada 3 yaitu gelombang, angin dan arus laut. Pada tugas akhir ini hanya akan dibahas mengenai gangguan gelombang.

2.6.1 Gelombang

Model gelombang yang dibangkitkan oleh arus laut dikembangkan oleh Pierson dan Moskowitz (1963) dari analisa spektrum gelombang di samudra Atlantik Utara. Spektrum Pierson – Moskowitz (PM) dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut (Bai, 2003):

$$S(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp[-0.74 \left\{ \frac{\omega V_w}{g} \right\}^{-4}] \quad (2.24)$$

Dengan :

α : 0.00810

g : konstanta gravitasi

ω : frekuensi dari gelombang

V_w : kecepatan angin pada ketinggian 1.9 m

Dengan mengasumsikan bahwa gelombang dapat digambarkan dengan proses *random Gaussian*, spektrum PM dapat diformulasikan dalam bentuk tinggi gelombang signifikan, yaitu :

$$S(\omega) = A\omega^{-5} \exp(-B\omega^{-4}) \quad (2.25)$$

Dengan :

$$A = 8.1 \times 10^{-3} g^2, B = 0.74 \left(\frac{g}{V_w} \right)^4$$

$$\text{Atau} : B = 0.0323 \left(\frac{g}{H_s} \right)^2 = \frac{3.11}{H_s^2} \quad (2.26)$$

Berikut ini merupakan tabel deskripsi kondisi gelombang laut berdasarkan skala presentase kemungkinan terjadinya gelombang.

Tabel 2.3. Deskripsi Laut (Fossen, 1994).

Persentase probabilitas					
Kode laut	Deskripsi laut	gelomban g (m)	Dunia	Atlantik utara	Atlantik selatan
0	<i>Calm (glassy)</i>	0	-	-	-
1	<i>Calm (rippeld)</i>	0-0.1	11.248	8.3103	6.0616
2	<i>Smooth (wavelets)</i>	0.1-0.5	-	-	-
3	<i>Slight</i>	0.5-1.25	31.685	28.1996	21.5683
4	<i>Moderate</i>	1.25-2.5	40.194	42.0273	40.9915
5	<i>Rough</i>	2.5-4	12.8	15.4435	21.2383
6	<i>Very rough</i>	4-6	3.025	4.2938	7.0101
7	<i>High</i>	6-9	0.926	1.4968	2.6931
8	<i>Very high</i>	9-14	0.119	0.2263	0.4346
9	<i>Phenomenal</i>	Over 14	0.0009	0.0016	0.0035

Dari deskripsi ketinggian gelombang signifikan dengan prosentase probabilitas diberikan pada Tabel 2.3. Hubungan dari gelombang signifikan dengan kecepatan angin ini dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$H_s = 0.21 \frac{v^2}{g} \quad (2.27)$$

Frekuensi awal dari spektrum PM dapat dirumuskan :

$$\left(\frac{dS(\omega)}{d\omega}\right)_{\omega=\omega_0} = 0 \quad (2.28)$$

Dari hasil perhitungan didapatkan :

$$\omega_0 = \sqrt[4]{\frac{4B}{5}} \quad (2.29)$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt[4]{\frac{5}{4B}} \quad (2.30)$$

Dengan T_0 adalah periode awal. Dengan memasukkan nilai dari A dan B kedalam persamaan 2.25 didapatkan :

$$\omega_0 = 0.88 \frac{g}{V} = 0.40 \sqrt{\frac{g}{H_s}} \quad (2.31)$$

Perhitungan model gelombang ini digunakan untuk memperkenalkan istilah damping pada bentuk spektrum PM yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$h(s) = \frac{K_\omega s}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (2.32)$$

Untuk mendefinisikan konstanta gain yaitu :

$$K_\omega = 2\xi\omega_0\sigma_\omega \quad (2.33)$$

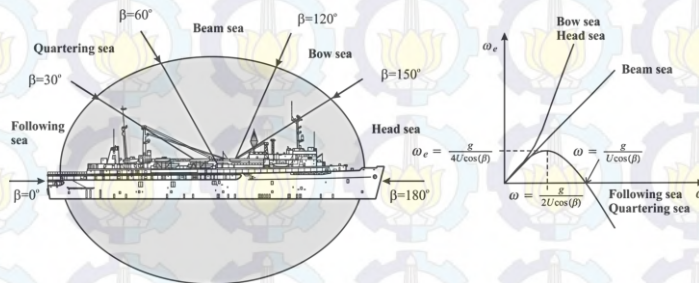
Dengan parameter σ_ω adalah konstanta intensitas dari gelombang laut yang datang, ξ adalah koefisien redaman pada respon osilasi gelombang sedangkan ω_0 adalah frekuensi awal dari gelombang.

Keadaan yang paling mungkin ditemui di laut adalah gelombang puncak dengan arah sudut tertentu. Pembagian daerah laut berdasarkan arah sudut datangnya gelombang laut dapat

dilihat pada gambar 2.4. Adanya fenomena tersebut dilihat sebagai penyimpangan puncak gelombang di sepanjang sudut kanan ke arah angin, sehingga dapat dimodelkan oleh spektrum gelombang 2-D sebagai berikut :

$$S(\omega, \beta) = S(\omega)f(\beta) \quad (2.34)$$

$$\text{Dengan } f(\beta) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \cos^2(\beta), & -\frac{\pi}{2} \leq \beta \leq \frac{\pi}{2} \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.35)$$



Gambar 2.4 Gangguan Gelombang dengan Sudut β (Fossen, 2011).

2.7 Aktuator Platform

Dalam menjaga stabilitas *platform* selain menggunakan *mooring system* juga dipakai suatu aktuator berupa *Thruster*. Jenis *thruster* yang biasa digunakan dalam DPS adalah *Dynamic Positioning (DP) Thruster*. Dengan keadaan laut dari *Semi-Submersible platform* penggunaan dari *thruster* ini harus mampu mengatasi gerakan-gerakan *platform* dalam arah *sway, roll* dan *yaw*. Salah satu tipe *thruster* yang sesuai dengan keadaan tersebut adalah *Rotatable (Azimuth) Thruster*. Pada tugas akhir kali ini digunakan *azimuth thruster* dengan spesifikasi daya sebesar 8000 *horse power* (5965.59 kW) dan diameter 16.4 *feet* (5 m) (Deter, 1997). Untuk menghitung gaya yang digunakan untuk menjaga stabilitas dari *platform* menggunakan persamaan berikut ini :

$$T_0 = K \cdot (P \cdot D)^{2/3} \quad (2.36)$$

Dengan :

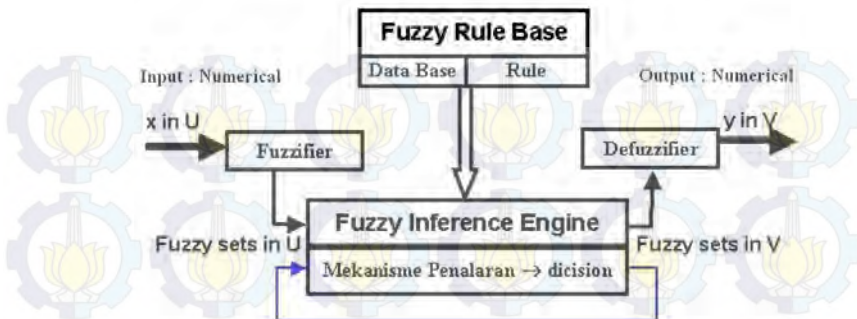
- T_0 : Gaya dorong dari *thruster* dalam N (kgf, lbf)
 P : Daya dari *propeller thruster* dalam kW (PS, hp)
 D : Diameter *propeller thruster* dalam m (m, ft)
 K : Konstanta *thruster* 1250 (103.8, 103.7)

2.8 Logika Fuzzy

Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh dari Universitas Berkeley, California pada tahun 1965 (Zadeh, 1950). Logika ini digunakan untuk pengolahan atau manajemen ketidakpastian yang didasarkan pada pola pikir manusia. Dalam penyajiannya variabel-variabel yang akan digunakan harus cukup menggambarkan ke-fuzzy-an tetapi di lain pihak persamaan-persamaan yang dihasilkan dari variabel-variabel itu haruslah cukup sederhana sehingga komputasinya menjadi cukup mudah. Karena itu Profesor Lotfi A Zadeh kemudian memperoleh ide untuk menyajikannya dengan menentukan “derajat keanggotaan” dari masing-masing variabelnya.

Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh logika fuzzy yaitu:

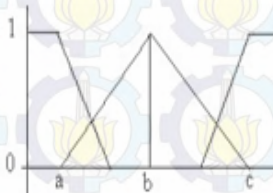
- a. Konsep logika fuzzy mudah dimengerti, dimana konsep matematis yang mendasari fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
- b. Logika fuzzy bekerja didasarkan pada bahasa alami.
- c. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
- d. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinier yang sangat kompleks.
- e. Logika fuzzy dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.



Gambar 2.5 Struktur Kendali Logika Fuzzy (Arifin).

Fungsi dari masing-masing bagian struktur dasar logika fuzzy adalah :

- **Fuzzifier** (Fuzzifikasi) berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat *crisp* ke himpunan fuzzy dengan menggunakan operator fuzzifikasi. Dalam fuzzifikasi terdapat fungsi keanggotaan himpunan fuzzy, merupakan sebuah kurva yang menggambarkan pemetaan dari masukan ke derajat keanggotaan antara 0 dan 1 (Zadeh, 1950).



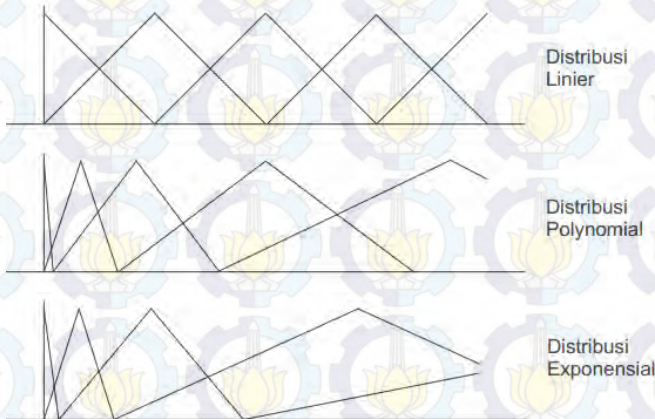
Gambar 2.6 Grafik Fungsi Keanggotaan Segitiga dan Trapesium (Zadeh, 1950).

Bentuk fungsi keanggotaan dalam *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini adalah fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium yang mempunyai persamaan fungsi matematis sebagai berikut :

$$\mu(x, a, b, c, d) = \left. \begin{array}{ll} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c < x \leq d \\ 0 & x > d \end{array} \right\} \quad (2.37)$$

$$f(x; a, b, c) = \left. \begin{array}{ll} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{array} \right\} \quad (2.38)$$

Proses fuzzifikasi dalam perancangan kendali logika fuzzy akan mempunyai performansi yang lebih baik jika proses penentuan fungsi keanggotaan dan nilai keanggotaan yang dipakai sesuai dengan karakteristik dari sistem yang akan dikendalikan. Berikut merupakan contoh *clustering* fungsi keanggotaan dan nilai keanggotaan yang mengacu pada beberapa sistem :



Gambar 2.7 Macam-macam distribusi fungsi keanggotaan (Kovacic, et al., 2006)

- **Fuzzy Rule Base** (Basis Pengetahuan) berisi basis data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan fuzzy atas daerah–daerah masukan dan keluaran. Kemudian menyusunnya dalam perangkat aturan kendali. Basis pengetahuan terdiri dari basis aturan (*Rule Base*) dan fakta (*Data Base*). Basis Aturan berisi informasi tentang cara membangkitkan fakta baru atau hipotesa fakta yang sudah ada. Sedangkan fakta merupakan bagian pengetahuan yang memuat informasi tentang objek, peristiwa, atau situasi. Fakta umumnya menyatakan kondisi statik dari suatu objek.
- **Fuzzy Inference System** (Logika Pengambil Keputusan) merupakan inti dari logika fuzzy yang mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil keputusan. Aksi atur fuzzy disimpulkan dengan menggunakan implikasi fuzzy dan mekanisme inferensi fuzzy.
- **Defuzzifier** (Defuzzifikasi) berfungsi untuk mentransformasikan kembali nilai yang bersifat fuzzy menjadi nilai sebenarnya yang bersifat crisp dengan menggunakan operator defuzzifikasi. Dalam menerapkan kendali logika fuzzy, metode defuzzifikasi yang sering digunakan adalah *mean of maximum* dan *center of area*. Metode center of area sering kali juga dinamakan metode *center of gravity* atau metode *centroid*. Hasil defuzzifikasi dengan metode ini diambil dari nilai dalam suatu *range* dimana luasan daerah dari *membership function* dibagi menjadi dua luasan yang sama besar.

Macam-macam logika fuzzy yaitu:

- **Logika Fuzzy Murni**
Masukan logika *fuzzy* murni berupa linguistik dan keluarannya juga berupa linguistik. Kaidah logika fuzzy murni dinyatakan sebagai berikut: If Input x_1 is F_1 and Input x_2 is F_2 , then Output y is G .
- **Logika Fuzzy Mamdani**
Masukan logika fuzzy Mamdani berupa numerik dan keluarannya juga berupa numerik.

- **Logika Fuzzy Takagi-Sugeno**

Masukan logika fuzzy Takagi-Sugeno berupa linguistik, sedangkan keluarannya berupa numerik. Kaidah logika fuzzy Takagi-Sugeno dinyatakan sebagai berikut:

$$L^{(l)} : \text{IF } x_1 \text{ is } F_1^1 \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } F_n^1, \text{ THEN } Y^1 = c_0^1 + c_1^1 x_1 + c_n^1 x_n \quad (2.39)$$

Dimana F_l^1 adalah set fuzzy, c_l adalah parameter berharga riil, y^l keluaran sistem oleh kaidah $L^{(l)}$ dengan $l = 1, 2, \dots, M$ adalah jumlah kaidah fuzzy (Aisjah, 2009).

2.9 Kriteria Keterkendalian dan Keteramatan

Kriteria *robust* pada suatu kendali sistem bergantung pada sebuah sitem kendali dapat dipenuhi apabila sistem yang dikendalikan mempunyai sifat *reachable* atau *controllable* (dapat dikendalikan) dan bersifat *observable*. Sistem tersebut dapat dikatakan seperti itu jika $x \in R^n$ dan $u \in R^n$, dikatakan *reachable controllable*.

Jika semua vector x adalah *reachable*, maka jika satu mampu menacari sebuah masukan kendali untuk menggerakkan sistem tersebut dari nol sampai pada kondisi *state* tertentu, sistem tersebut memiliki matriks *controllability*. Matriks tersebut didefinisikan sebagai berikut :

$$U_k = [B \ AB \ A^2B \ \dots \ A^{k-1}B] \quad (2.40)$$

Dan $\text{rank}(U_n) = n$

Sedangkan untuk uji *observability* diperlukan matriks C dan A dan digunakan persamaan 2.41 untuk menentukan bahwa sistem dinamika *platform* dikatakan *observable* apabila matriks V_k mempunyai $\text{rank} = n$.

$$V_k = [C \ CA \ \dots \ CA^{k-1}]^T \quad (2.41)$$

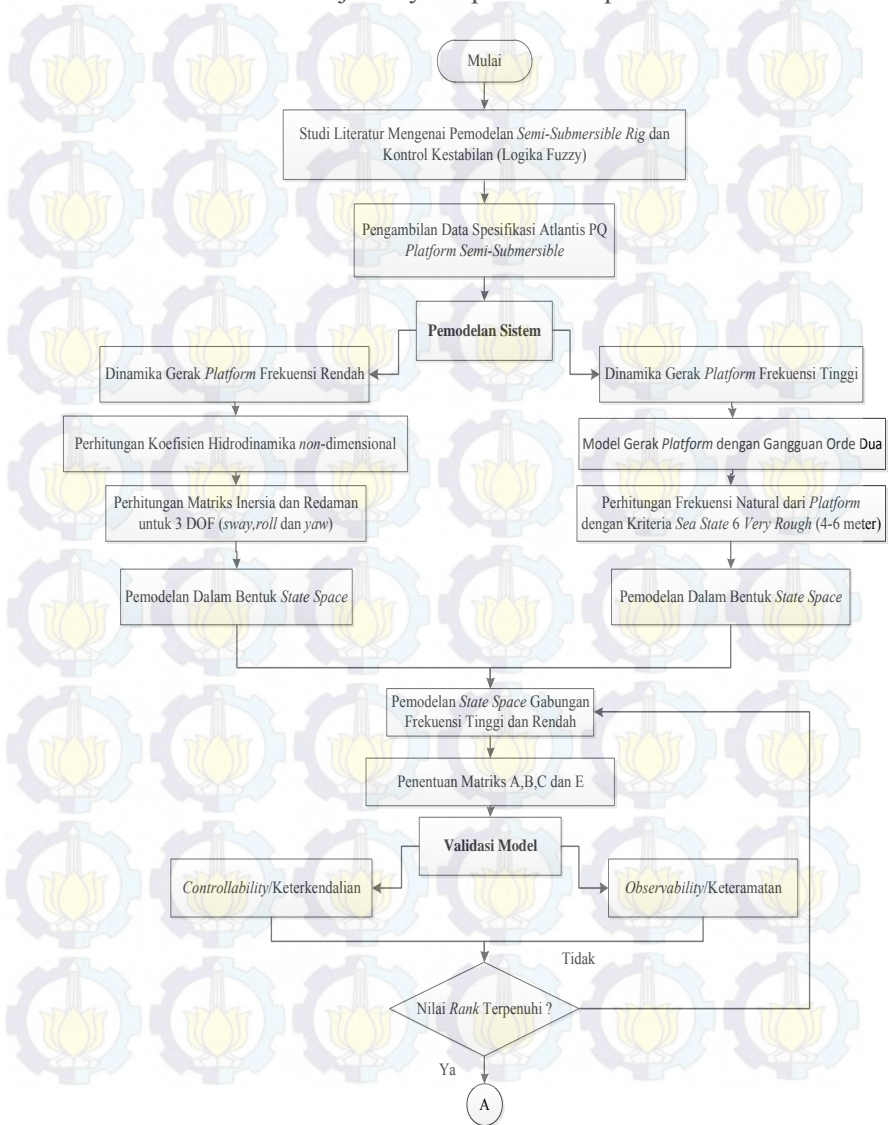
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

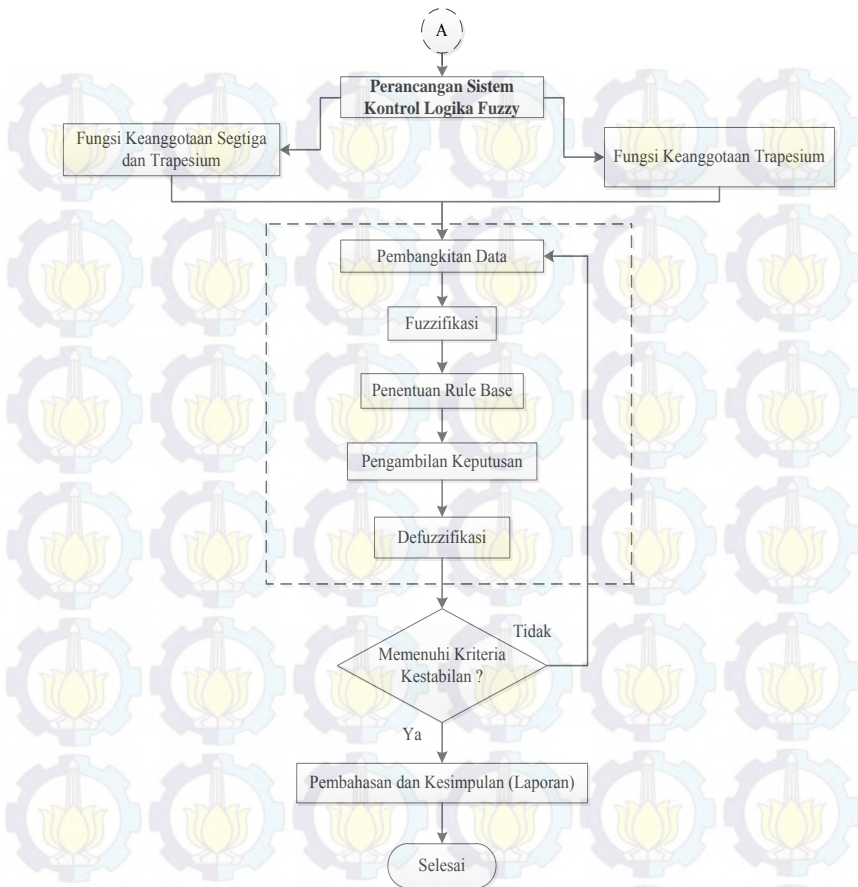
Bab ini berisi uraian tentang tahapan dalam penelitian tugas akhir, yaitu (i) studi literatur, (ii) pengambilan data, (iii) pemodelan dinamika *platform*, (iv) perancangan sistem kendali, (v) pengujian dan analisa, dan (vi) pengambilan kesimpulan. Gambar 3.1 di bawah ini merupakan diagram alir penelitian untuk mempermudah dalam memahami alur penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 merupakan diagram alir dari penelitian secara sederhana. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 3.2.





Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Secara Detail

3.1 Studi Literatur

Pemahaman mengenai dinamika *platform* dan sistem kendali yang akan digunakan harus dimiliki untuk melakukan sebuah penelitian. Dalam penelitian ini dilakukan penelusuran dari peneliti-peneliti sebelumnya, yang melakukan studi perancangan sistem kendali maupun perancangan sistem kendali yang telah diaplikasikan pada kestabilan *platform*.

3.2 Pengambilan Data

Data yang digunakan diambil dari spesifikasi *Semi-Submersible platform* Atlantis PQ yang meliputi :

<i>Tonnage (M)</i>	: 30882 metric tons
<i>Displacement (∇)</i>	: 88975 metric tons
<i>Length (L_{pp})</i>	: 129.07 m
<i>Beam (B)</i>	: 116.1 m
<i>Draught (T)</i>	: 26 m
<i>Depth</i>	: 52 m
<i>Block Coef.</i>	: 0.5737

3.3 Pemodelan Dinamika Platform

Pada tahap ini dilakukan pemodelan sistem dengan tujuan untuk merepresentasikan sistem yang sesungguhnya ke dalam bentuk model matematis dan dilakukan perancangan sistem pengendalian sehingga dapat dilakukan analisa sistem kendali pada kestabilan Atlantis PQ *platform* yang telah dirancang. Model dinamika *platform* menggunakan bentuk *state space* (ruang keadaan) yang ditunjukkan pada persamaan 2.20 dimana dilakukan pemisahan terhadap pemodelan frekuensi rendah dan frekuensi tinggi sesuai dengan persamaan 2.21. Adapun pemodelan pada frekuensi rendah berasal dari persamaan 2.13 yang di dalamnya terdapat komponen matriks M (inersia) dan D (redaman). Matriks ini mengandung parameter hidrodinamika kapal, yaitu sebagai berikut:

$$Y_v'' = 0.34614$$

$$Y_r'' = Y_p'' = -0.06841$$

$$N_r'' = K_p'' = 0.02166$$

$$N_v'' = K_v'' = -0.10275$$

$$Y_r'' = Y_p'' = -0.14292$$

$$N_r'' = K_p'' = 0.01014$$

$$N_v'' = K_v'' = -0.12531$$

$$Z_g'' = 0.07085$$

$$Y_v'' = 0.00315$$

$$I_r'' = 7.6264E - 06$$

$$I''_x = 9.3276E - 06 \quad (3.1)$$

Nilai koefisien hidrodinamika di atas diperoleh berdasarkan persamaan 2.10a - 2.10h. Nilai koefisien hidrodinamika tersebut merupakan koefisien pada matriks M dan D sesuai dengan persamaan dinamika platform 2.1.

$$-M^{-1}D = \begin{bmatrix} -2.584 & -0.363 & -0.363 \\ -6.475 & -2.193 & -1.724 \\ -6.545 & -1.734 & -2.202 \end{bmatrix} \text{ dan } -M^{-1}B = \begin{bmatrix} -0.018 \\ -0.025 \\ -0.088 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

3.3.1 Gelombang Frekuensi Rendah

Dengan menggunakan konsep invers matriks, diperoleh model persamaan ruang keadaan sebagai berikut,

$$\dot{X}_L = A_L X + B_u$$

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2.584 & -0.363 & 0 \\ -6.545 & -2.202 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.018 \\ -0.088 \\ 0 \end{bmatrix} \tau_R \quad (3.3)$$

Pemodelan selanjutnya dilakukan terhadap gelombang pada frekuensi rendah. Pemodelan yang dilakukan berdasarkan pada persamaan 2.13, dengan variabel keadaan \dot{x}_L adalah $\dot{x}_L = [y_L, \dot{y}_L, \psi_L, v_L, p_L, r_L]^T$. Kemudian dilakukan perhitungan A_L , B_L , dan E_L yang merupakan matrik sistem pada gangguan frekuensi rendah seperti yang terdapat pada persamaan 2.14.

$$A_L = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{I}_{3 \times 3} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & -2.584 & -0.363 & 0 \\ & -6.545 & -2.202 & 0 \\ & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$B_L = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3 \times 1} \\ -0.018 \\ -0.088 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$E_L = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3 \times 3} & & \\ -3.277 & -10.351 & -10.354 \\ -15.55 & -2.925 & -49.137 \\ -15.638 & -49.404 & -3.222 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Karena untuk pemodelan dari sistem berdasarkan gabungan dari gelombang frekuensi rendah dan tinggi maka diperlukan mencari nilai *state space* dari gelombang frekuensi tinggi.

3.3.2 Gelombang Frekuensi Tinggi

Model frekuensi tinggi merupakan pemodelan gangguan gelombang yang dilihat berdasarkan nilai tinggi gelombang. Pergerakan frekuensi tinggi dari *platform* secara umum merujuk pada gangguan gelombang orde 2. Berdasarkan persamaan linier gerak frekuensi tinggi:

$$h(s) = \frac{K_w s}{s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (3.7)$$

dimana parameter K_w tergantung pada kondisi laut, ζ adalah rasio redaman relatif, dan ω_0 adalah parameter perancangan. Nilai ω_0 yang tinggi menunjukkan pergerakan komponen frekuensi tinggi dapat diulang dan nilai ω_0 yang rendah menunjukkan kapal memiliki karakter pergerakan yang halus. Nilai ω_0 didapatkan dengan persamaan 2.29 dan nilai H didapatkan dari gambar 2.3 sehingga didapatkan fungsi transfer frekuensi tinggi dari *platform*.

Dari persamaan tersebut diambil nilai matriks berdasarkan *sea state* terbesar atau *sea state* 6 dikarenakan untuk gelombang laut diperairan dunia diasumsikan saat keadaan gelombang tinggi. Sehingga untuk frekuensi tinggi menghasilkan matriks

$$\dot{X}_H = A_H X + K_{wH}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{Y}_H \\ \dot{\Phi}_H \\ \dot{\Psi}_H \\ \dot{\xi}_y \\ \dot{\xi}_\phi \\ \dot{\xi}_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2\zeta\omega_0 & 0 & 0 & -\omega_0^2 & 0 & 0 \\ 0 & -2\zeta\omega_0 & 0 & 0 & -\omega_0^2 & 0 \\ 0 & 0 & -2\zeta\omega_0 & 0 & 0 & -\omega_0^2 \\ & & I_{3 \times 3} & & & \\ & & & O_{3 \times 3} & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_H \\ \Phi_H \\ \Psi_H \\ \xi_y \\ \xi_\phi \\ \xi_\psi \end{bmatrix} + K_w \begin{bmatrix} w_y \\ w_\phi \\ w_\psi \\ O_{3 \times 1} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Koefisien pada persamaan 3.8 adalah sebagai berikut,

$\zeta = 0.1$; $g = 9,8$ m/s; dengan tinggi gelombang $H = 4$ sesuai dengan tinggi gelombang yang ada pada *sea state* 6

$$\omega_0 = 0,4 \sqrt{\frac{g}{H}} = 0,4 \sqrt{\frac{9,8}{H}} = 0,4 \times 3,13049 \times H^{-0,5} = 0.5112$$

$$-2\zeta\omega_0 = -2 \times 0,1 \times 0,5112 = -0.1023;$$

Nilai H didapatkan pada Tabel 2.3 dengan *sea state* pada kondisi 6 dan diambil nilai rata-rata.

$$-\omega_0^2 = -0.2613$$

Sesuai dengan persamaan 2.31 untuk mendapatkan konstanta gain dari gelombang maka menghasilkan

$$K_w = 2\zeta\omega_0\tau_w$$

Dengan nilai $\tau_w = 3.16$ maka,

$$K_w = 2 \times 0,1 \times 0,5112 \times 3,16$$

$$K_w = 0.323$$

Maka persamaan *state space* gelombang radiasi atau gelombang frekuensi tinggi menjadi:

$$\begin{bmatrix} \dot{Y}_H \\ \dot{\Phi}_H \\ \dot{\Psi}_H \\ \dot{\xi}_y \\ \dot{\xi}_\phi \\ \dot{\xi}_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.1023 & 0 & 0 & -0.2613 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1023 & 0 & 0 & -0.2613 & 0 \\ 0 & 0 & -0.1023 & 0 & 0 & -0.2613 \\ & & & I_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} & \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_H \\ \Phi_H \\ \Psi_H \\ \xi_y \\ \xi_\phi \\ \xi_\psi \end{bmatrix} + 0.323 \begin{bmatrix} w_y \\ w_\phi \\ w_\psi \\ O_{3 \times 1} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Gaya gangguan gelombang dengan arah sudut $\beta = 30^\circ$ dan $\omega = 0.5112$ dengan menggunakan persamaan 2.34-2.35 didapatkan sebagai berikut :

$$f(\beta) = f(30) = 0.4777 \text{ dan } S(\omega) = S(0.5112) = 0.013471278$$

dan $K_w = 0.008201681$, maka persamaan gangguan gelombang orde dua dalam bentuk fungsi transfer adalah sebagai berikut :

$$h(s) = \frac{0.0082s}{s^2 + 0.1023s + 0.2613} \quad (3.10)$$

Selain pada sudut 30° juga dilakukan pada sudut 60° dengan $K_w = 0.00022$.

Model dinamika sistem dinyatakan dalam matriks *state-space* dalam bentuk frekuensi tinggi dan frekuensi rendah dinyatakan sesuai dengan persamaan (2.21) sebagai berikut :

$$A = \begin{bmatrix} A_L & 0 \\ 0 & A_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & -2.584 & -0.363 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.2613 & 0 & 0 \\ 0_{3 \times 3} & -6.545 & -2.202 & 0 & -0.1023 & 0 & 0 & 0 & -0.2613 & 0 & 0 \\ 0_{3 \times 3} & 0 & 1 & 0 & 0 & -0.1023 & 0 & 0 & 0 & -0.2613 & 0 \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0 & 0 & -0.1023 & 0_{3 \times 3} & 0 & 0 & 0 & -0.2613 \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$B = \begin{bmatrix} B_L \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0 & 0 & -0.018 \\ 0 & 0 & -0.088 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$C = \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$E = \begin{bmatrix} E_L \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ -3.277 & -10.351 & -10.354 & 0_{3 \times 3} \\ -15.55 & -2.925 & -49.137 & 0_{3 \times 3} \\ -15.638 & -49.404 & -3.222 & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & 0 & 0 & 0,9822 \\ 0_{3 \times 3} & 0 & 0 & 0,9822 \\ 0_{3 \times 3} & 0 & 0 & 0,9822 \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Masing-masing matrik diatas merupakan matrik gabungan dengan kondisi gangguan kondisi frekuensi rendah dan frekuensi tinggi sehingga menghasilkan matriks masing-masing 12x12. Sedangkan model pengukuran ditunjukkan dalam matriks z.

Dengan variabel keadaan sebagai berikut :

$$x = [y_L, \phi_L, \psi_L, v_L, p_L, r_L, \xi_y, \xi_\phi, \xi_\psi, y_H, \phi_H, \psi_H]^T,$$

$$u = \tau_R, w = [w_v, w_p, w_r, w_y, w_\phi, w_\psi]^T.$$

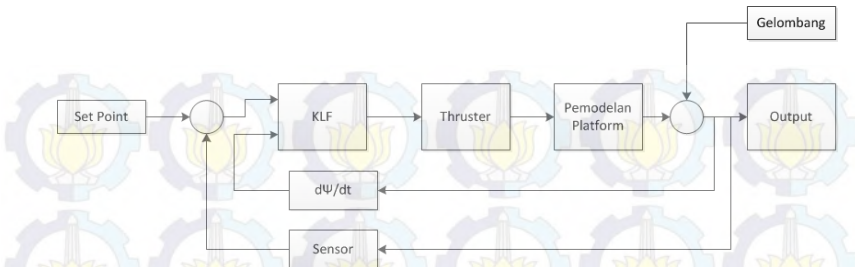
$$z_H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_L \\ \phi_L \\ \psi_L \\ v_L \\ p_L \\ r_L \\ y_H \\ \phi_H \\ \psi_H \\ \xi_y \\ \xi_\phi \\ \xi_\psi \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

3.4 Validasi Model Dinamika Sistem

Matriks A, B, dan C dalam pemodelan *state-space* untuk perancangan sistem kendali KLF dilakukan uji sesuai dengan syarat keterkendalian (*controllability*) dan keteramatan (*obsevability*) sesuai dengan persamaan (2.40 dan 2.41). Berdasarkan rank matriks dari U_k dan V_k , dapat dilihat matriks telah memenuhi *controllability* dan *observability* jika tidak ada kolom yang merupakan kelipatan kolom lainnya dan nilai rank matriksnya tidak sama dengan nol.

3.5 Diagram Blok Sistem Kendali *Stabilization Platform*

Setelah melakukan pemodelan dinamika *platform* dalam bentuk *state space* dilakukan penyusunan model dari sistem tersebut kedalam bentuk diagram blok. Berikut merupakan bentuk diagram blok dari sistem.



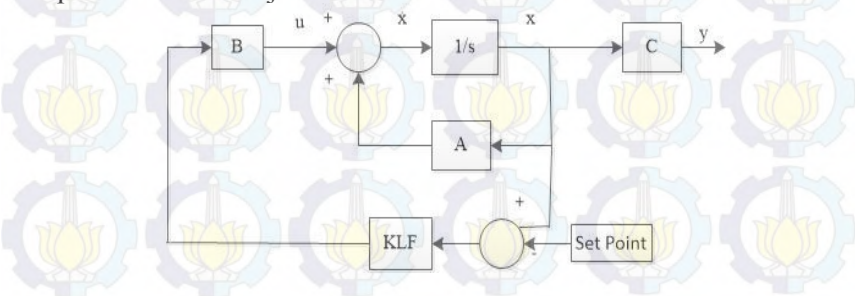
Gambar 3.3 Diagram Blok Pengendalian

Diagram blok pengendalian pada *Semi-Submersible* menggunakan kendali logika fuzzy. Masukan dari kendali logika fuzzy yaitu terdiri dari *yaw* dan *error yaw rate*. Untuk mendapatkan nilai *error yaw rate* nilai dari *yaw* diturunkan dan dikurangkan dengan *set point*. Nilai dari set point sebesar 0 dikarenakan kestabilan dari *platform*.

Sistem pengendalian pada penelitian ini diagram blok pada Gambar 3.3 dijadikan dalam bentuk persamaan ruang dan keadaan dengan bentuk:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ Y &= Cx \end{aligned} \quad (3.16)$$

Dalam bentuk persamaan ruang keadaan pemodelan kapal dan aktuator dijadikan dalam satu bentuk *state space* yang didapatkan dari gelombang eksitasi atau dalam gelombang frekuensi rendah. Maka diagram blok pengendalian dari penelitian ini menjadi:



Gambar 3.4 Diagram Blok Pengendalian Ruang Keadaan dengan Kendali Logika Fuzzy (Ogata,1997).

Suatu sistem dapat dibentuk dalam beberapa bentuk diantara yaitu dalam bentuk *state space* atau persamaan ruang keadaan. Dalam persamaan ruang keadaan terdapat matriks A, B, C sebagai matriks *state space* dan masukan serta keluarannya adalah u atau sinyal kendali dan y atau variabel keluaran. Nilai $u = -Kx$, K sebagai nilai gain yang akan di berikan dan x adalah nilai variabel keadaan atau gaya yang akan dipakai dalam pemodelan dari sistem. Matriks A merupakan matriks dari sistem yang merupakan karakter dari suatu plan. Matriks B merupakan matriks kendalier, dan matriks C merupakan matriks pengukuran. Maka untuk mencari nilai A, B, dan C menggunakan data dari nilai koefisien hidrodinamika. Nilai matriks A didapatkan melalui pemodelan sistem yang berdasarkan gangguan gelombang. Gangguan gelombang dibedakan menjadi gelombang frekuensi tinggi dan rendah. Nilai matriks B didapatkan berdasarkan koefisien hidrodinamika menggunakan variabel yang mengendalikan aktuator dalam penelitian ini adalah *thruster*. Variabel yang digunakan yaitu saat gaya *sway* dan *yaw*. Matriks C didapatkan melalui variabel apa saja yang akan mempengaruhi dalam penelitian ini. Karena yang dikendali dalam *platform* adalah aktuator yang akan bekerja secara penuh dalam penelitian ini aktuator merupakan *thruster* maka, *thruster* hanya akan bisa dikendali ketika ada perubahan sudut yang diterima. Perubahan sudut yang diterima hanya bisa dilakukan oleh gaya atau momen *surge*, *sway*, *roll* dan *yaw*. Sedangkan untuk gaya atau momen *heave* dan *pitch* pada *platform* tidak dapat dikendali. Penelitian ini menggunakan gaya *sway* dan momen *yaw* yang akan dikendali.

3.6 Perancangan Pengendali Logika Fuzzy

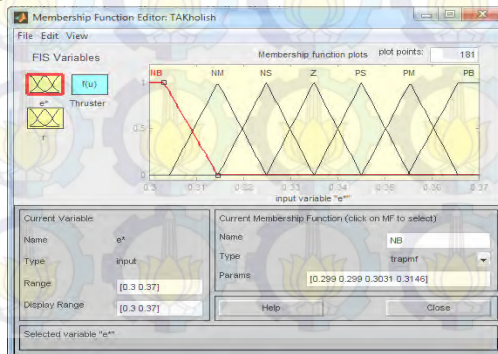
Fuzzy secara bahasa dapat diartikan samar, dengan kata lain logika fuzzy adalah logika yang samar. Dimana pada logika fuzzy suatu nilai dapat bernilai '*true*' dan '*false*' secara bersamaan. Tingkat '*true*' atau '*false*' nilai dalam logika fuzzy tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Logika fuzzy memiliki derajat keanggotaan rentang antara 0 hingga 1.

Pada penelitian ini, kendali kestabilan *platform* menggunakan kendali logika fuzzy takagi-sugeno yang terdiri dari dua masukan yang digunakan yaitu *error yaw rate* (e^*) dan *yaw* (r).



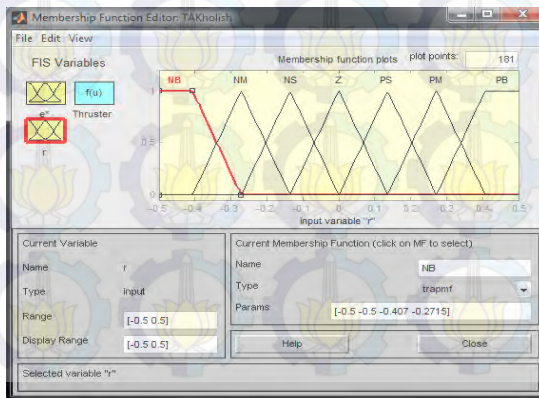
Gambar 3.5 Kendali Logika Fuzzy Takagi Sugeno

Perancangan kendali yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.5, dengan masukan *error yaw rate* dan *yaw* serta keluarannya berupa sudut *thruster* yang nantinya akan menjadi masukan untuk menggerakkan *platform* sesuai dengan *set point* sudut *heading* pada *platform*. Sifat *platform* yang menggerakkan *thruster* untuk mengatur *heading* ketika merespon gangguan gelombang laut, dibutuhkan sudut tertentu sehingga sistem tetap stabil.



Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan *error yaw rate* (e^*)

Clustering fungsi keanggotaan *error yaw rate* yang merupakan masukan dari kendali logika fuzzy ditunjukkan pada Gambar 3.6. Pada perancangan KLF pertama digunakan lima fungsi keanggotaan segitiga dan dua fungsi keanggotaan trapesium. Fungsi keanggotaan segitiga dipilih karena bersifat lebih fleksibel terhadap perubahan yang terjadi terhadap sistem (Yuda 2014). Sedangkan fungsi keanggotaan trapesium dipilih karena menghasilkan *range* masukan yang lebih besar dan keluaran yang lebih stabil. Untuk fungsi keanggotaan trapesium yaitu *Negative Big (NB)* dan *Positive Big (PB)*. Sedangkan untuk fungsi keanggotaan yang lainnya adalah *Negative Small (NS)*, *Negative Medium (NM)*, *Zero (Z)*, *Positive Small (PS)*, *Positive Medium (PM)*, *Positive Big (PB)*. Sedangkan pada perancangan KLF kedua digunakan fungsi keanggotaan trapesium yang telah dibagi menjadi 7 *cluster* yang sama seperti perancangan KLF pertama. Hal ini dilakukan untuk mengetahui performansi KLF yang mempunyai fungsi keanggotaan yang sesuai dengan sistem dinamika *platform*. Distribusi fungsi keanggotaan yang digunakan pada penelitian ini adalah distribusi linier. Hal ini dikarenakan dalam pemodelan dinamika sistem *platform* dilakukan dengan pendekatan sistem linier.



Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan *error yaw* (r)

Clustering fungsi keanggotaan *yaw* yang merupakan masukan dari kendali logika fuzzy ditunjukkan pada Gambar 3.7. Pada perancangan KLF pertama dirancang dengan lima fungsi keanggotaan segitiga dan dua fungsi keanggotaan trapesium. Dengan *clustering*, fungsi keanggotaan trapesium yaitu *Negative Big (NB)* dan *Positive Big (PB)*. Sedangkan untuk fungsi keanggotaan yang lainnya adalah *Negative Small (NS)*, *Negative Medium (NM)*, *Zero (Z)*, *Positive Small (PS)*, *Positive Medium (PM)*, *Positive Big (PB)*. Kemudian dilakukan *clustering* yang sama dengan 7 fungsi keanggotaan trapesium. Kedua perancangan KLF ini akan diuji performansinya untuk mendapatkan hasil yang terbaik dalam mengendalikan dinamika sistem dari *platform*. Distribusi fungsi keanggotaan yang digunakan pada penelitian ini adalah distribusi linier. Hal ini dikarenakan dalam pemodelan dinamika sistem *platform* dilakukan dengan pendekatan sistem linier.



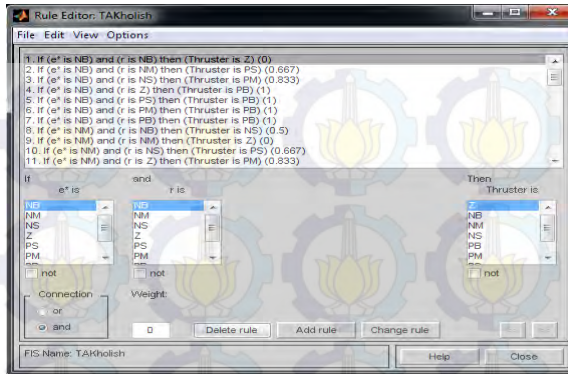
Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan Keluaran Kendali

Clustering fungsi keanggotaan dari nilai *gain* atau *K* ditunjukkan pada Gambar 3.8. Karena pada sinyal kendali $u = -Kx$ maka perlu dicari nilai *K* yang tepat untuk mengontrol *u* yang merupakan masukan pada aktuator. Nilai *K* merupakan keluaran dari kendali logika fuzzy. Masing-masing dirancang dengan lima keanggotaan segitiga dan dua keanggotaan trapesium. Fungsi

keanggotaan segitiga dipilih karena bersifat lebih fleksibel terhadap perubahan yang terjadi terhadap sistem. Sedangkan fungsi keanggotaan trapesium dipilih karena menghasilkan range masukan yang lebih besar dan keluaran yang lebih stabil. Untuk fungsi keanggotaan trapesium yaitu *Negative Big (NB)* dan *Positive Big (PB)*. Sedangkan untuk fungsi keanggotaan yang lainnya adalah *Negative Small (NS)*, *Negative Medium (NM)*, *Zero (Z)*, *Positive Small (PS)*, *Positive Medium (PM)*, *Positive Big (PB)*. Nilai K tersebut diberikan bobot bernilai range 0-1. Basis pengetahuan berisi basis data (*data base*) dan kaidah basis aturan (*rule base*). Basis data berfungsi sebagai mendefinisikan himpunan-himpunan fuzzy dari sinyal masukan dan sinyal keluaran agar dapat digunakan oleh variabel linguistik dalam basis aturan. Basis data digunakan dalam penelitian ini berdasarkan kepakaran dan penelitian terkait dengan *dynamic positioning system*. Terdapat 49 aturan (*rule base*) kendali sistem logika fuzzy dalam penelitian ini yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. Penentuan basis aturan digunakan dengan menggunakan *if...and.....then.... rule*. Basis aturan tersebut ditampilkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Basis aturan kendali logika fuzzy

e*/r	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



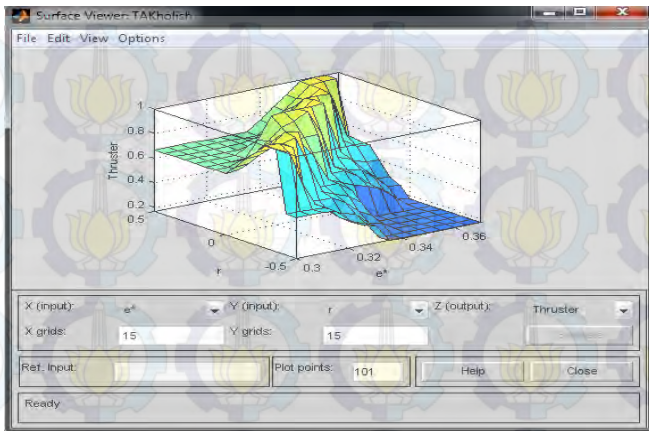
Gambar 3.9 Rule Editor Kendali Logika Fuzzy

Rules base dalam logika fuzzy sebagai berikut:

1. If e^* is NB and r is NB then K is Z (0)
2. If e^* is NB and r is NM then K is PS (0,667)
3. If e^* is NB and r is NS then K is PM (0,833)
4. If e^* is NB and r is Z then K is PB (1)
5. If e^* is NB and r is PS then K is PB (1)
6. If e^* is NB and r is PM then K is PB (1)
7. If e^* is NB and r is PB then K is PB (1)
8. If e^* is NM and r is NB then K is NS (0,5)
9. If e^* is NM and r is NM then K is Z (0)
10. If e^* is NM and r is NS then K is PS (0,667)
11. If e^* is NM and r is Z then K is PM (0,883)
12. If e^* is NM and r is PS then K is PB (1)
13. If e^* is NM and r is PM then K is PB (1)
14. If e^* is NM and r is PB then K is PB (1)
15. If e^* is NS and r is NB then K is NM (0,333)
16. If e^* is NS and r is NM then K is NS (0,5)
17. If e^* is NS and r is NS then K is Z (0)
18. If e^* is NS and r is Z then K is PS (0,667)
19. If e^* is NS and r is PS then K is PM (0,833)
20. If e^* is NS and r is PM then K is PB (1)
21. If e^* is NS and r is PB then K is PB (1)
22. If e^* is Z and r is NB then K is NB (0,1667)

23. If e^* is Z and r is NM then K is NM (0,333)
24. If e^* is Z and r is NS then K is NS (0,5)
25. If e^* is Z and r is Z then K is Z (0)
26. If e^* is Z and r is PS then K is PS (0,667)
27. If e^* is Z and r is PM then K is PM (0,833)
28. If e^* is Z and r is PB then K is PB (1)
29. If e^* is PS and r is NB then K is NB (0,1667)
30. If e^* is PS and r is NM then K is NB (0,1667)
31. If e^* is PS and r is NS then K is NB(0,1667)
32. If e^* is PS and r is Z then K is NS (0,5)
33. If e^* is PS and r is PS then K is Z (0)
34. If e^* is PS and r is PM then K is PS (0,667)
35. If e^* is PS and r is PB then K is PM (0,833)
36. If e^* is PM and r is NB then K is NB (0,1667)
37. If e^* is PM and r is NM then K is NB (0,1667)
38. If e^* is PM and r is NS then K is NB (0,1667)
39. If e^* is PM and r is Z then K is NM (0,333)
40. If e^* is PM and r is PS then K is NS (0,5)
41. If e^* is PM and r is PM then K is Z (0)
42. If e^* is PM and r is PB then K is PS (0,667)
43. If e^* is PB and r is NB then K is NB (0,1667)
44. If e^* is PB and r is NM then K is NB (0,1667)
45. If e^* is PB and r is NS then K is NB (0,1667)
46. If e^* is PB and r is Z then K is NB (0,1667)
47. If e^* is PB and r is NM then K is NM (0,333)
48. If e^* is PB and r is NS then K is NS (0,5)
49. If e^* is PB and r is Z then K is Z (0)

Defuzzifikasi merupakan proses mengubah besaran fuzzy dari bentuk himpunan fuzzy menjadi bentuk data *crisp* atau nilai tegas. Proses ini diperlukan karena sistem dinamika kapal hanya mengidentifikasi nilai tegas dalam memberikan respon. Metode *defuzzifikasi* dalam penelitian ini yaitu dengan metode *centroid*. Metode ini membagi dua kondisi, pertama berkaitan dengan fungsi keanggotaan dan yang kedua dengan nilai *crisp*. Nilai *crisp* didapatkan berdasarkan dengan titik berat kurva hasil proses pengambilan keputusan.



Gambar 3.10 *Surface* Tiga Dimensi Kendali Logika Fuzzy

Hubungan antara masukan *error yaw rate* dan *yaw* dengan keluaran *K* atau *gain* yang akan diberikan kepada sinyal kendali yang ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi ditunjukkan oleh Gambar 3.10. Dapat dilihat bahwa semakin besar nilai *error yaw rate* dan *yaw* maka akan semakin tinggi nilai *K* atau *gain*.

Perancangan kendali logika fuzzy ini diharapkan mampu memenuhi kriteria kestabilan dari *platform*. Untuk arah gerak *platform yaw* posisi kemiringan dari *platform* tidak diperbolehkan melebihi sudut kritis sebesar $\pm 20^\circ$ yang setara dengan ± 0.34 rad (Cogley, et al.). Sedangkan untuk arah gerak *platform sway* posisi *platform* tidak boleh bergeser dari posisi referensi sebesar 2%-6% dari kedalaman laut pada *platform* (Yamamoto, et al., 2005). Jika pada perancangan awal dari kendali logika fuzzy yang digunakan tidak memenuhi kriteria kestabilan dari *platform* tersebut maka diperlukan perancangan kembali sehingga didapatkan hasil yang memenuhi kriteria kestabilan tersebut.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

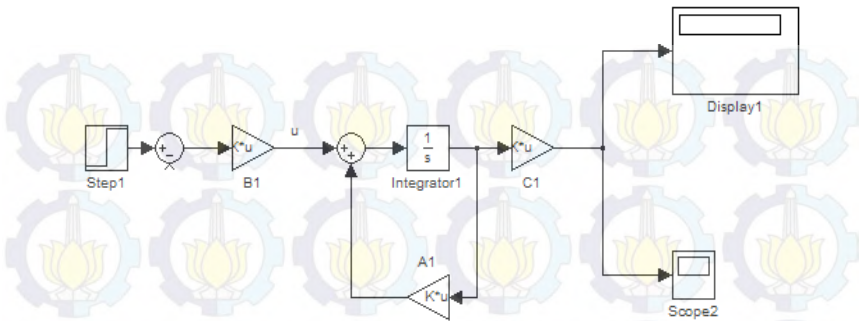
Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi yaitu berupa uji *open loop* dan *close loop* dengan tanpa gangguan dan dengan gangguan yaitu berupa gelombang dan angin. Pada uji *close loop* kendali yang digunakan yaitu menggunakan logika fuzzy dengan dua masukan yaitu *error yaw rate* dan *yaw*. Dari hasil respon tersebut akan dianalisa mengenai kestabilan berdasarkan fungsi domain waktu. Simulasi dijalankan dengan menggunakan software MatLab R2009a. Pembahasan hasil simulasi yaitu dilihat terhadap respon stabilitas *sway* dan *yaw*.

4.1 Analisis Keterkendalian dan Keteramatan

Pengujian diawali dengan melakukan uji keterkendalian dan keteramatan pada model sistem melalui persamaan (2.40) dan (2.41). Berdasarkan rank matriks dari U_k dan V_k , yang didapatkan dari uji dengan menggunakan software MatLab R2009a maka didapatkan hasil *rank* matriks keterkendalian $U_k = 8$ dan keteramatan $V_k = 3$ yang berarti bahwa matrik tersebut telah memenuhi persyaratan keterkendalian (*controllability*) dan keteramatan (*observability*) karena tidak ada kolom yang merupakan kelipatan kolom lainnya dan nilai rank tidak sama dengan nol.

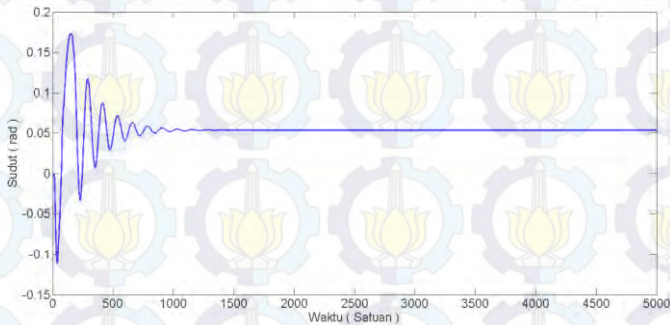
4.2 Pengujian Sistem Open Loop

Pengujian secara *open-loop* ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik keluaran performansi sistem. Dari uji ini dapat diamati apakah keluaran sistem telah sesuai dengan *set-pointnya* atau tidak. Pengujian secara *open-loop* dilakukan dengan memberikan masukan *step* yang mempunyai *final value* 1 dengan dan tanpa masukan gangguan yang berupa gangguan gelombang dan gangguan *Zero Mean Gaussian* yang dilakukan pada tinggi gelombang dalam rentang *sea state 6 (very rough)*. Pengujian secara *open-loop* dilakukan sesuai dengan diagram blok pada gambar 4.1 dengan menggunakan *software* Simulink 7.3 MatLab R2009a.



Gambar 4.1 Diagram Blok *Simulink* Sistem *Platform* tanpa kendali

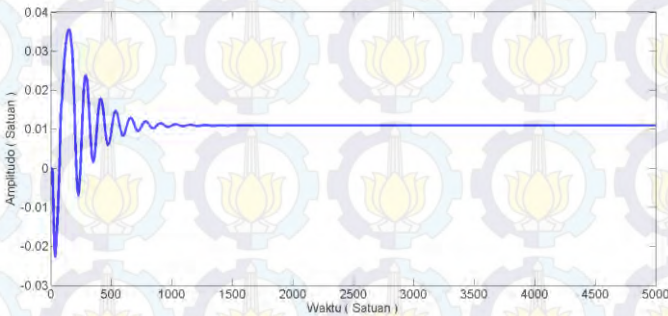
Dari diagram blok tersebut didapatkan respon dari sistem dinamika *platform* sebagai berikut :



Gambar 4.2 Respon *Open Loop* Gaya *Yaw* tanpa kendali

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa respon *open loop* dari gaya *yaw* memiliki maksimum *overshoot* sebesar 51.47% dari kondisi kritis dengan *error steady state* sebesar 15.75% dari kondisi kritis dalam waktu 7.2 menit . Nilai *Yawing* yang diperbolehkan untuk tetap menjaga *platform* dalam keadaan stabil adalah 20° atau setara dengan ± 0.34 rad. Karena dalam perhitungan maksimum *overshoot* maupun *error steady state*

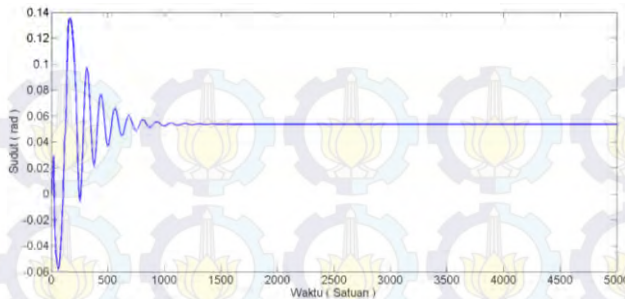
menggunakan pembanding kondisi kritis maka sistem dikatakan tidak stabil jika nilai dari maksimum *overshoot* maupun *error steady state* melebihi 100%. Sehingga dapat diketahui bahwa pada respon *open loop* sistem masih berada pada daerah kestabilan dari sistem dinamika *platform*.



Gambar 4.3 Respon *Open Loop* dari Gaya *Sway* tanpa kendali

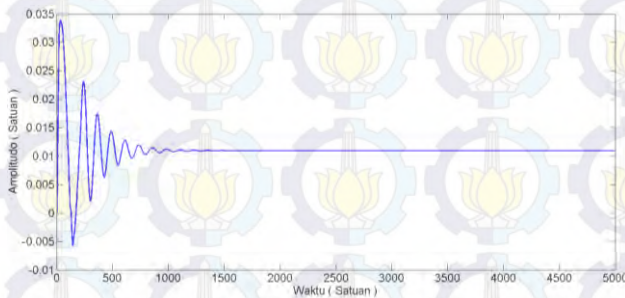
Pada gambar 4.3 dapat diketahui bahwa respon *open loop* dari gaya *sway* memiliki maksimum *overshoot* sebesar 0.21% dengan *error steady state* 0.064% dan terlihat stabil dalam waktu 7.8 menit . Nilai *Swaying* yang diperbolehkan untuk dapat dikatakan bahwa *platform* dalam keadaan stabil sebesar 2% dari kedalaman *platform* yang digunakan yaitu sekitar 50 m. Karena nilai dari maksimum *overshoot* masih jauh dibawah dari batas yang diperbolehkan maka sistem dinamika *platform* dapat dikatakan dalam kondisi stabil.

Untuk mengetahui ketahanan sistem dalam menjaga stabilitas dari *platform* dilakukan pengujian *open loop* dengan gangguan dan didapatkan hasil respon sistem dinamika *platform* sebagai berikut :



Gambar 4.4 Respon Open Loop dengan Gangguan Gelombang terhadap gaya *Yaw* tanpa kendali

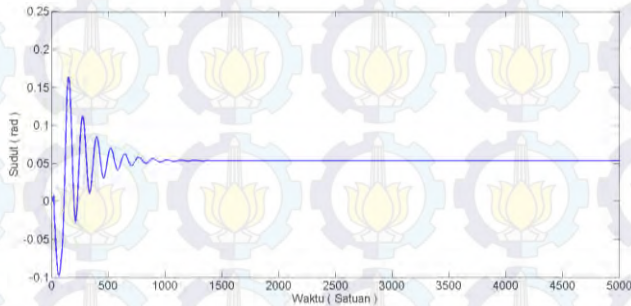
Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa sistem mempunyai respon *open loop* terhadap gaya *yaw* dengan maksimum *overshoot* 40.88% dari konisi kritis dengan *error steady state* sebesar 15.75% dalam waktu 7.8 menit. Sehingga dapat diketahui bahwa sistem mampu mencapai kondisi stabil.



Gambar 4.5 Respon *Open Loop* dengan Gangguan Gelombang terhadap gaya *Sway* tanpa kendali

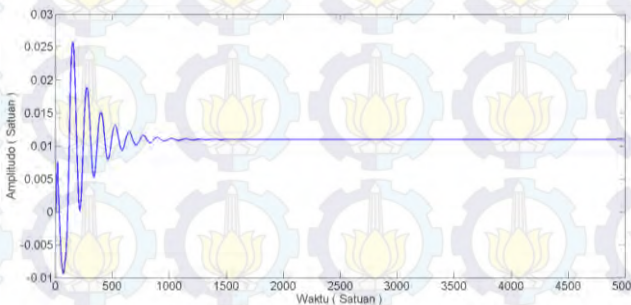
Pada gambar 4.5 terlihat bahwa respon sistem *open loop* dengan gangguan terhadap gaya *sway* mempunyai maksimum *overshoot* 0.2% dengan *error steady state* sebesar 0.064% dalam waktu 7.8 menit. Jadi dapat diketahui bahwa dinamika sistem dari *platform* masih dalam keadaan stabil meskipun telah diberi gangguan gelombang.

Probabilitas terjadinya fenomena dari gangguan gelombang yang mempunyai arah tertentu sering dialami oleh bangunan struktur laut sehingga dilakukan uji *open loop* sistem dengan gangguan gelombang yang datang dengan arah sudut 30° dan 60° . Dari hasil simulasi didapatkan respon sebagai berikut :



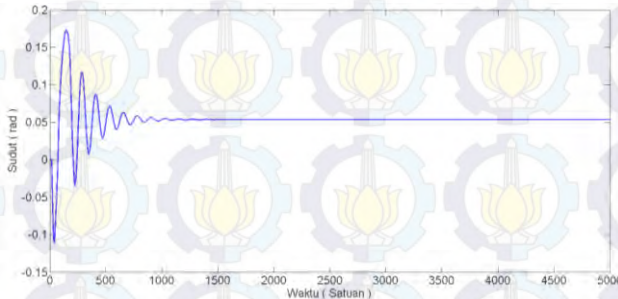
Gambar 4.6 Respon *Open Loop* dengan Gangguan Gelombang sudut 30° terhadap gaya *Yaw* tanpa kendali

Pada gambar 4.6 terlihat bahwa respon sistem tanpa kendali memiliki maksimum *overshoot* 50% dari kondisi kritisnya dengan *error steady state* 15.75% dalam waktu 8.4 menit. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sistem dinamika dari *platform* dengan gangguan gelombang 30° masih dalam keadaan stabil.



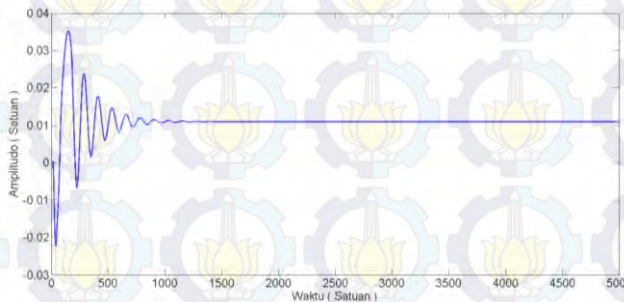
Gambar 4.7 Respon *Open Loop* dengan Gangguan Gelombang sudut 30° terhadap gaya *Sway* tanpa kendali

Pada gambar 4.7 terlihat bahwa respon sistem dengan gangguan gelombang 30° memiliki maksimum *overshoot* 0.15% dengan *error steady state* 0.064% dengan waktu 7.2 menit. Dari respon *open loop* ini terlihat bahwa *platform* masih berada pada keadaan stabil.



Gambar 4.8 Respon *Open Loop* dengan Gangguan Gelombang sudut 60° terhadap gaya *Yaw* tanpa kendali

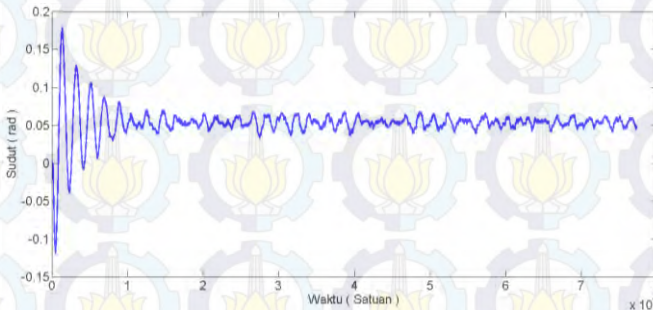
Pada gambar 4.8 terlihat bahwa respon sistem tanpa kendali memiliki maksimum *overshoot* 45.58% dari kondisi kritisnya dengan *error steady state* 15.75% dalam waktu 8.4 menit. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sistem dinamika dari *platform* dengan gangguan gelombang 60° masih dalam keadaan stabil.



Gambar 4.9 Respon *Open Loop* dengan Gangguan Gelombang sudut 60° terhadap gaya *Sway* tanpa kendali

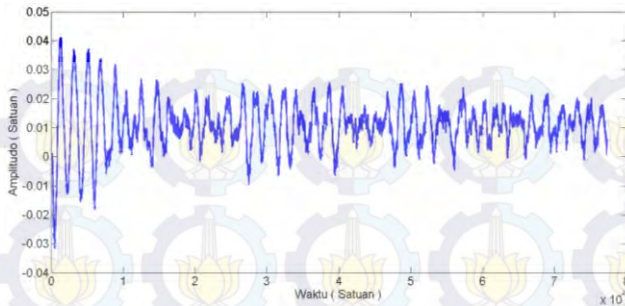
Pada gambar 4.9 terlihat bahwa respon sistem dengan gangguan gelombang 60° memiliki maksimum *overshoot* 0.21% dengan *error steady state* 0.064% dengan waktu 7.2 menit. Dari respon *open loop* ini terlihat bahwa *platform* masih berada pada keadaan stabil.

Selain dilakukan pengujian terhadap gelombang, sistem juga diuji dengan menggunakan gangguan dari *zero mean gaussian noise* didapatkan respon sistem dinamika *platform* yang ditunjukkan pada Gambar 4.10-4.11.



Gambar 4.10 Respon *Open Loop* dengan Gangguan *Gaussian Noise* terhadap gaya *Yaw* tanpa kendali

Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa respon *open loop* sistem dengan gangguan *gaussian noise* mempunyai maksimum *overshoot* sebesar 52.94% dari kondisi kritis. Pada seluruh waktu uji terlihat bahwa respon sistem masih berada pada daerah kestabilan dari dinamika sistem *platform*.



Gambar 4.11 Respon *Open Loop* dengan Gangguan *Gaussian Noise* terhadap gaya *Sway* tanpa kendali

Pada Gambar 4.11 terlihat bahwa respon *open loop* sistem dengan gangguan *gaussian noise* mempunyai maksimum *overshoot* sebesar 0.23%. Pada seluruh waktu uji terlihat bahwa respon sistem masih berada pada daerah kestabilan dari dinamika sistem *platform*.

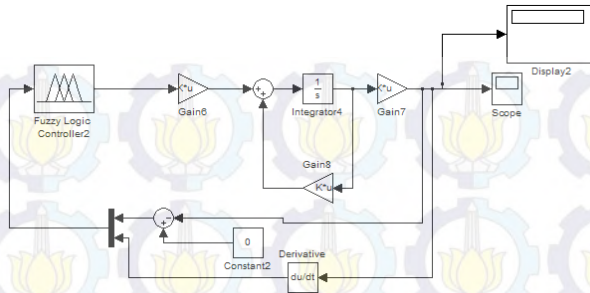
4.3 Pengujian Sistem *Close Loop*

Setelah dilakukan pengujian sistem secara *open loop* maka dapat dilihat respon dari sistem dan digunakan untuk merancang kendali logika fuzzy yang tepat. Dalam tugas akhir ini dilakukan perancangan kendali logika fuzzy dengan metode Takagi-Sugeno dengan masukan berupa *error yaw* dengan *range* ± 0.34 rad dan *yawrate* dengan rentang ± 0.5 rad/s. Masing-masing masukan yang digunakan dalam perancangan kendali logika fuzzy ini diterjemahkan dalam bahasa fuzzy atau fuzzifikasi. Setelah diterjemahkan kedalam bahasa fuzzy maka variabel-variabel masukan ini dipisahkan menurut menjadi 7 fungsi keanggotaan. Dengan fungsi keanggotaan trapesium yaitu *Negative Big (NB)* dan *Positive Big (PB)*. Sedangkan untuk fungsi keanggotaan yang lainnya adalah *Negative Small (NS)*, *Negative Medium (NM)*, *Zero (Z)*, *Positive Small (PS)*, *Positive Medium (PM)*, *Positive Big (PB)* dengan bentuk segitiga. Setelah dilakukan *clustering* masukan dalam bentuk fungsi keanggotaan langkah selanjutnya adalah menentukan *rule base* yang akan digunakan untuk

membuat keputusan dengan mengeluarkan sinyal keluaran yang sesuai dengan fungsi keanggotaannya.

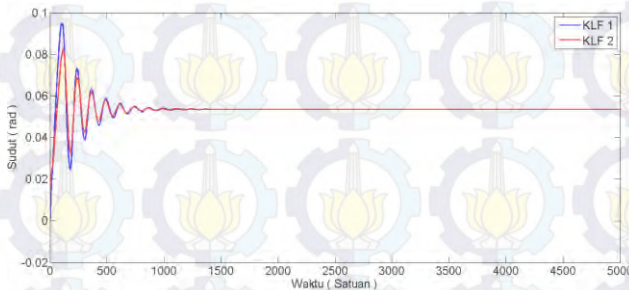
Basis aturan yang dipakai pada tugas akhir ini sebanyak 49 aturan yang mencakup setiap fungsi keanggotaan dari masing-masing masukan. Pada metode fuzzy takagi sugeno ini keluaran dari metode ini adalah sinyal kendali berupa numerik yaitu $u = -Kx$. Sehingga nilai K inilah yang nantinya akan menjadi parameter kendali sebagai *Gain* kendali yang bernilai 0-1. Pada bagian keluaran dari kendali logika fuzzy ini juga dipisahkan sebanyak fungsi keanggotaan yang sama seperti sebelumnya. Setelah semua proses diatas terlewati bagian terakhir dari perancangan kendali logika fuzzy ini adalah mengubah bahasa fuzzy menjadi nilai-nilai numerik dengan cara defuzzifikasi. Hasil *defuzzifikasi* dengan metode ini diambil dari nilai dalam suatu *range* dimana luasan daerah dari fungsi keanggotaan dibagi menjadi dua luasan yang sama besar. Pada metode ini nilai *crisp* keluarannya diperoleh berdasarkan titik berat dari kurva hasil proses pengambilan keputusan. Kendali logika fuzzy yang telah dirancang divalidasi dengan cara melakukan simulasi pengendalian pada simulink. Tolok ukur keberhasilan perancangan kendali logika fuzzy ini didasarkan pada kemampuannya dalam menjaga kestabilan dari dinamika *platform*.

Pengujian *Close Loop* sistem ini dilakukan dengan membuat diagram blok sistem pengendalian menggunakan kendali berupa logika fuzzy sebagai berikut :



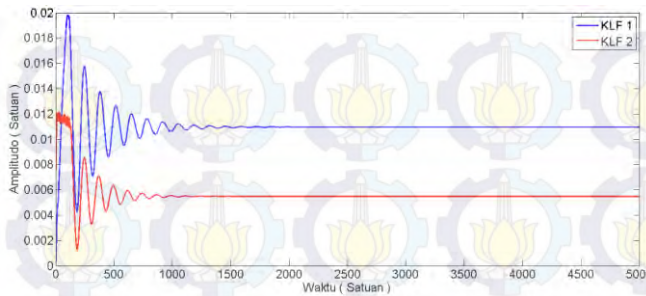
Gambar 4.12 Diagram Blok *Simulink* Sistem *Close Loop* tanpa Gangguan

Hasil simulasi dari sistem dalam keadaan *close loop* ditunjukkan pada Gambar 4.13-4.22.



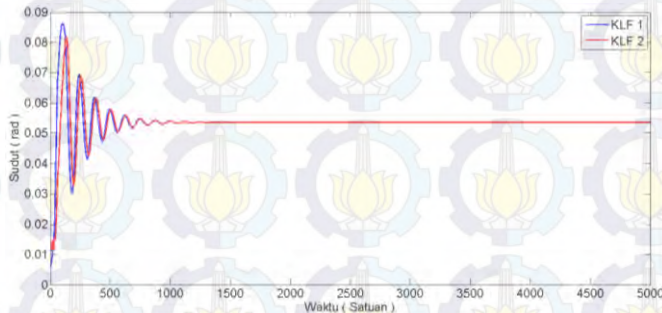
Gambar 4.13 Respon *Close Loop* tanpa Gangguan terhadap gaya *Yaw*

Pada gambar 4.13 dapat dilihat bahwa respon sistem dinamika *platform* dalam bentuk *close loop* terhadap gaya *yaw* mempunyai nilai maksimum *overshoot* sebesar 28.82% dari kondisi kritis untuk KLF 1 dan 24.11% dari kondisi kritis untuk KLF 2 dengan *error steady state* sebesar 15.75% dalam waktu 6.6 menit. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan kendali logika fuzzy yang kedua mempunyai performansi yang lebih baik. Nilai maksimum *overshoot* pada kedua respon tersebut masih berada dalam batas toleransi yaitu dibawah ± 0.34 rad. Sehingga dapat diketahui bahwa dengan menambahkan kendali logika fuzzy ini dapat mengurangi nilai dari maksimum *overshoot* sistem.



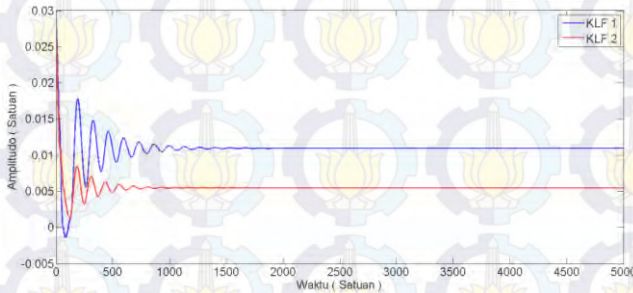
Gambar 4.14 Respon *Close Loop* tanpa Gangguan terhadap gaya *Sway*

Pada gambar 4.14 terlihat bahwa respon sistem *close loop* dari dinamika *platform* terhadap gaya *sway* mempunyai nilai maksimum *overshoot* 0.11% pada KLF 1 dan 0.07% pada KLF 2 dengan masing-masing *error steady state* 0.069% dan 0.031% dalam waktu 9 menit dan 5.94 menit. Dari hasil ini terlihat bahwa kendali logika fuzzy yang kedua mempunyai performansi yang lebih baik. Karena hasil maksimum *overshoot* dari respon masih berada pada rentang 2-6 % dari kedalaman laut maka kendali logika fuzzy telah dideasin mampu menjaga stabilitas dari *platform*.



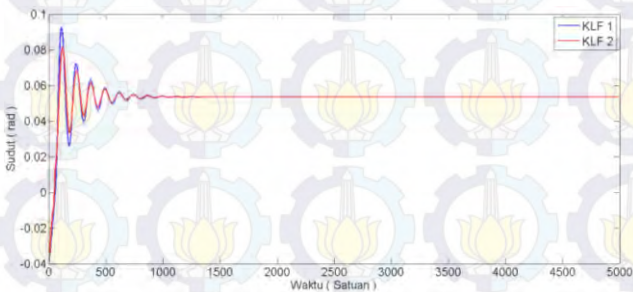
Gambar 4.15 Respon Gaya *Yawing Close Loop* dengan Gangguan

Respon sistem dinamika *platform* pada arah gerak *yaw* dengan gangguan secara *close loop* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.15 memiliki perbedaan pada maksimum *overshoot* dengan *error steady state* 15.75% dari kondisi kritisnya dalam waktu 7.2 menit. Hal ini menunjukkan bahwa sistem masih berada pada kondisi stabil.



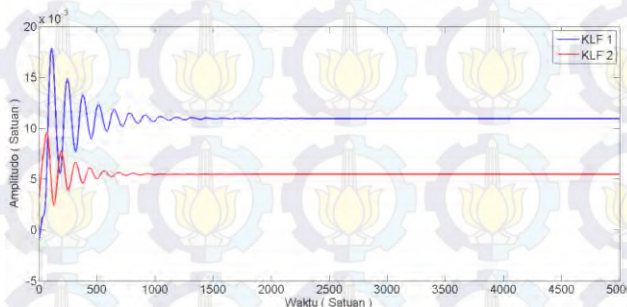
Gambar 4.16 Respon Gaya *Swaying Close Loop* dengan Gangguan

Respon dinamika *platform* pada arah *sway* dengan gangguan ditunjukkan pada gambar 4.16. Dengan *error steady state* 0.069% untuk KLF 1 dan 0.031% untuk KLF 2. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *steady* untuk KLF 1 adalah 9 menit dan 5.94 menit untuk KLF2.



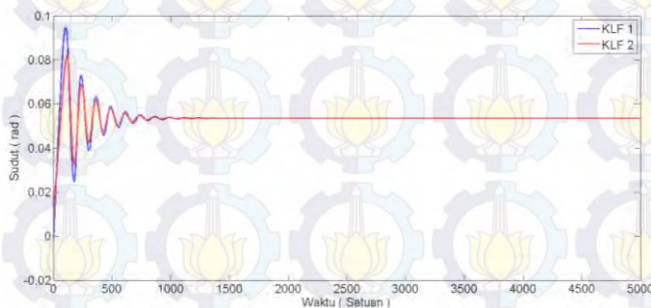
Gambar 4.17 Respon Gaya *Yawing Close Loop* dengan Gangguan Gelombang Sudut Datang 30°

Respon dinamika *platform* pada arah *yaw* terhadap gangguan gelombang dengan sudut datang 30° yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 memiliki *error steady state* yang sama dalam waktu yang sama untuk KLF 1 dan KLF 2 dengan harga masing-masing adalah 15.75% dan 6 menit.



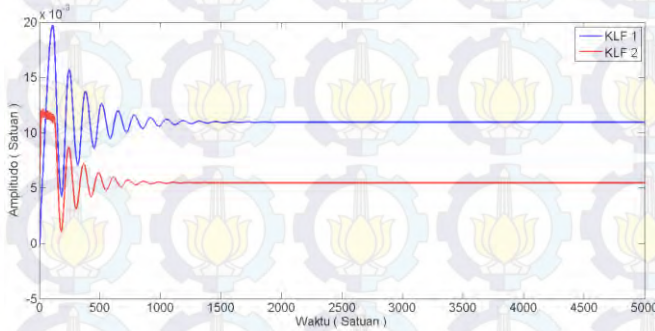
Gambar 4.18 Respon Gaya *Swaying Close Loop* dengan Gangguan Gelombang Sudut Datang 30°

Respon dinamika *platform* pada arah *sway* terhadap gangguan gelombang dengan sudut datang 30° yang ditunjukkan pada Gambar 4.18 memiliki *error steady state* dan waktu *steady* masing-masing sebesar 0.069% dan 9 menit untuk KLF 1 sedangkan KLF 2 sebesar 0.031% dan 4.5 menit.



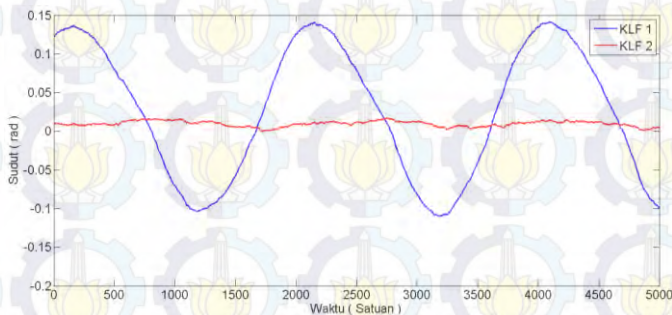
Gambar 4.19 Respon Gaya *Yawing Close Loop* dengan Gangguan Gelombang Sudut Datang 60°

Respon dinamika sistem pada arah *yaw* terhadap gangguan dengan sudut datang 60° ditunjukkan pada Gambar 4.19. Dengan nilai *error steady state* dan waktu *steady* yang sama untuk KLF 1 dan KLF 2 yaitu sebesar 15.75% selama 6 menit.



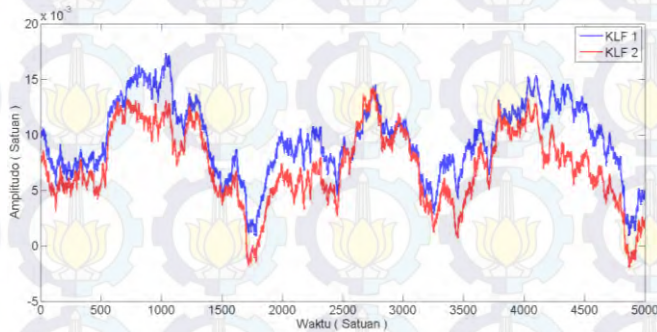
Gambar 4.20 Respon Gaya *Swaying Close Loop* dengan Gangguan Gelombang Sudut Datang 60°

Respon dinamika sistem dengan arah gerak *sway* terhadap gangguan dengan sudut datang 60° ditunjukkan pada Gambar 4.20. Dengan *error steady state* 0.069% dalam waktu 9 menit untuk KLF 1 dan 0.031% dalam waktu 5.94 menit untuk KLF 2.



Gambar 4.21 Respon Gaya *Yawing Close Loop* dengan Gangguan *Gaussian Noise*

Respon dinamika *platform* pada arah *yaw* dengan gangguan *gaussian noise* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.21 terlihat bahwa sistem masih berada pada daerah toleransi kestabilan dengan performansi kendali logika fuzzy yang lebih baik adalah KLF 2.



Gambar 4.22 Respon Gaya *Swaying Close Loop* dengan Gangguan *Gaussian Noise*

Respon dinamika *platform* pada arah *sway* dengan gangguan *gaussian noise* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.22 terlihat bahwa kendali logika fuzzy yang dirancang mampu untuk mengikuti pola gangguan dengan baik. Selain itu, nilai maksimum *overshoot* dari kedua KLF yang telah diancang masih berada pada kondisi stabil.

Berikut ini merupakan hasil perbandingan performansi dari kedua rancangan kendali logika fuzzy dari uji *close loop* sistem yang telah dilakukan.

Tabel 4.1 Perbandingan Performansi KLF untuk respon *yaw*.

Kondisi	Maksimum <i>Overshoot</i> (%)	
	KLF 1	KLF 2
Gangguan Gelombang	25.29	24.11
Gelombang sudut 30	25.88	23.82
Gelombang sudut 60	25.88	23.82
Gangguan Gaussian	41.17	2.94

Tabel 4.2 Perbandingan Performansi KLF untuk respon *sway*.

Kondisi	Maksimum <i>Overshoot</i> (%)	
	KLF 1	KLF 2
Gangguan Gelombang	0.1577	0.1285
Gelombang sudut 30	0.0993	0.0525
Gelombang sudut 60	0.1162	0.0759
Gangguan Gaussian	0.1021	0.0859

Dari Tabel 4.4 dan 4.2 terlihat bahwa performansi dari kendali logika fuzzy mempunyai keduanya mempunyai nilai dibawah dari ambang batas kestabilan *platform* namun dari kedua kendali logika fuzzy yang dirancang terdapat perbedaan respon terutama pada maksimum *overshoot* dari sistem tersebut. Terlihat bahwa kendali logika fuzzy yang kedua mempunyai performansi yang lebih baik dibandingkan dengan kendali logika fuzzy yang pertama.

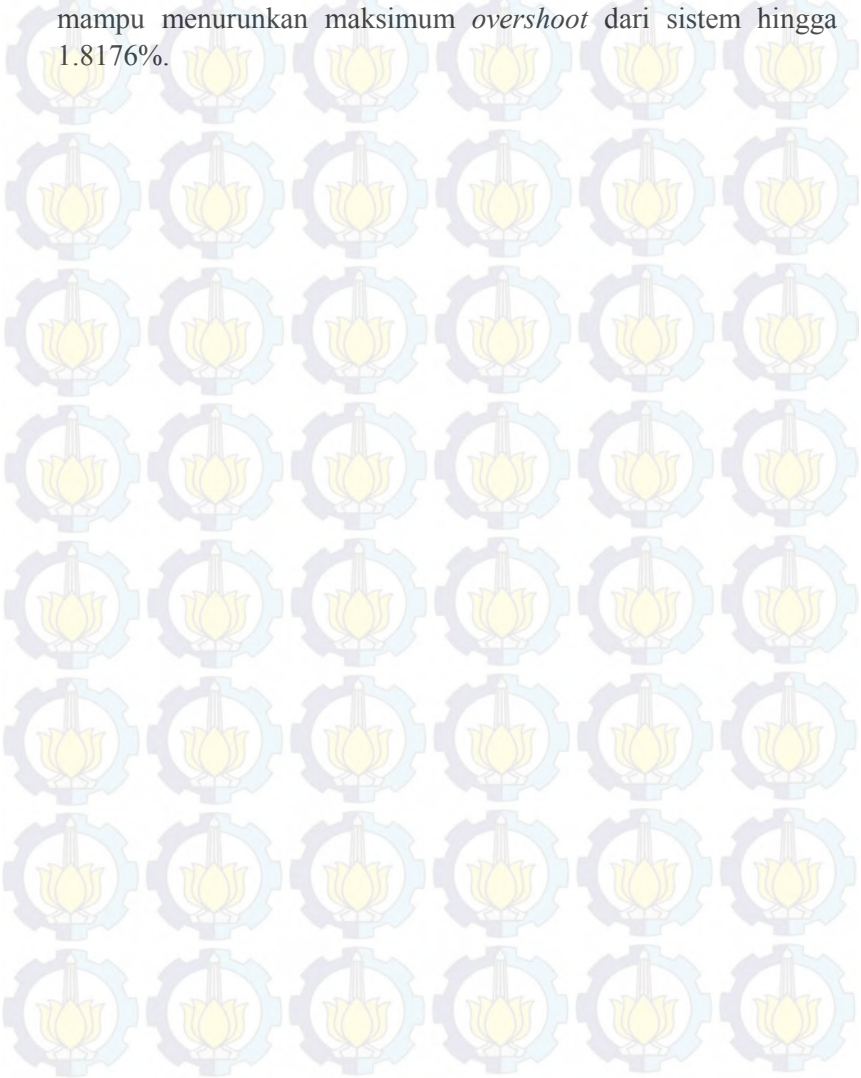
Pada penelitian sebelumnya dilakukan perancangan kendali untuk stabilisasi dari *offshore platform* dengan menggunakan kendali optimal *Linear Quadratic Regulator* (LQR) yang masih belum mampu untuk mengatasi adanya gangguan dari frekuensi tinggi. Berikut ini merupakan perbandingan antara perancangan stabilisasi dari *offshore platform* menggunakan LQR dan KLF :

Tabel 4.3 Perbandingan rancangan kendali logika fuzzy dengan LQR pada arah *sway*.

Kondisi	Maksimum <i>Overshoot</i> (%)		
	LQR	KLF 1	KLF 2
Tanpa Gangguan	1.8876	0.11	0.07
Gangguan Gaussian	0.3389	0.1021	0.0859

Dari perbandingan pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa kendali logika fuzzy yang telah dirancang mempunyai performansi yang lebih baik dibandingkan dengan kendali optimal LQR. Sehingga dapat dikatakan bahwa kendali logika

fuzzy yang telah dirancang mampu memperbaiki performansi dari kendali optimal LQR. Terlihat bahwa KLF yang telah dirancang mampu menurunkan maksimum *overshoot* dari sistem hingga 1.8176%.





BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada pengerjaan tugas akhir ini diperoleh beberapa kesimpulan

1. Telah dirancang kendali logika fuzzy Takagi-Sugeno untuk kestabilan *Platform Atlantis PQ* yang terdiri dari 49 basis aturan, 2 masukan yaitu *error yaw rate* dengan nilai ± 0.5 rad/s dan *error yaw* ± 0.34 rad, serta 1 keluaran berupa aksi kendali *command Thruster*.
2. Kendali logika fuzzy yang telah dirancang mampu menjaga stabilitas *platform* dengan maksimum *overshoot* terkecil 2.94% untuk arah *yaw* dan 0.052% untuk arah *sway*.
3. Performansi rancangan kendali logika fuzzy yang terbaik adalah rancangan KLF 2 dengan menggunakan fungsi keanggotaan trapesium.
4. Performansi dari kendali logika fuzzy yang telah dirancang mampu menurunkan maksimum *overshoot* hingga 0.253% dari rancangan kendali pada penelitian sebelumnya.

5.2 Saran

Penelitian ini masih perlu dikembangkan lagi, maka saran yang disampaikan yaitu dilakukannya pemodelan dinamika sistem dari *platform* dengan menambahkan efek *mooring system* dan juga gangguan dari angin dan arus laut. Selain itu juga bisa dilakukan penelitian lanjutan mengenai pemodelan *platform* dengan prinsip 2 lambung.



Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN A PEMODELAN DINAMIKA *PLATFORM*

Dinamika *platform* dimodelkan berdasar dari spesifikasi *platform*. *Platform* yang digunakan adalah *platform* jenis *Semi-Submersible*. Berikut spesifikasi umum dari *platform* Atlantis PQ :

<i>Class & Type</i>	: <i>Moored Semi-Submersible ABS Classed & Certified "Floating Offshore Installation"</i>
<i>Tonnage (M)</i>	: 30882 metric tons
<i>Displacement (∇)</i>	: 88975 metric tons
<i>Length (L_{pp})</i>	: 129.07 m
<i>Beam (B)</i>	: 116.1 m
<i>Draught (T)</i>	: 26 m
<i>Depth</i>	: 52 m
<i>Block Coef.</i>	: 0.5737
<i>Massa jenis air laut</i>	: 1024 kg/m ³

Pemodelan dilakukan berdasarkan model matematik yang diturunkan Nomoto:

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

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

$$\frac{-Y_r''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-Y_p''}{\pi(T/L)^2} = -\frac{1}{2} + 2.2 \frac{B}{L} - 0.08 \frac{B}{T}$$

$$\frac{-Y_r''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-Y_p''}{\pi(T/L)^2} = 0.67 \frac{B}{L} - 0.0033 \left(\frac{B}{T}\right)^2$$

$$\frac{-N_r''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-K_p''}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{4} + 0.039 \frac{B}{T} - 0.56 \frac{B}{L}$$

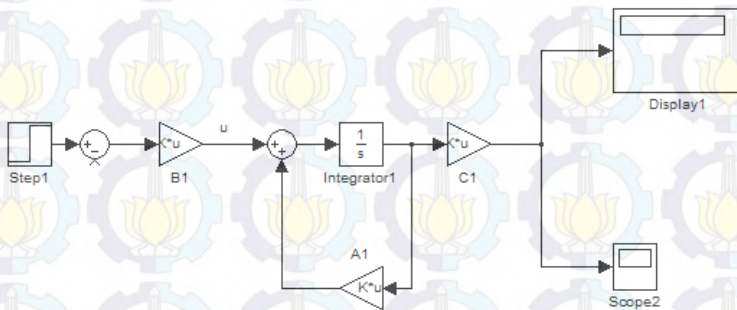
$$\frac{-N_r''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-K_p''}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{12} + 0.017 \frac{C_B B}{T} - 0.33 \frac{B}{L}$$

$$\frac{-N_v''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-K_v''}{\pi(T/L)^2} = 0.5 \frac{B}{L} + 2.4 \left(\frac{B}{T}\right)^2$$

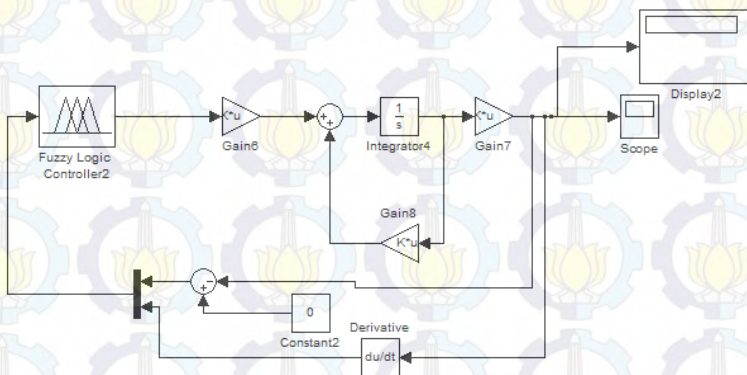
$$\frac{-N_v''}{\pi(T/L)^2} = \frac{-K_v''}{\pi(T/L)^2} = 1.1 \frac{B}{L} - 0.041 \frac{B}{T}$$

LAMPIRAN B

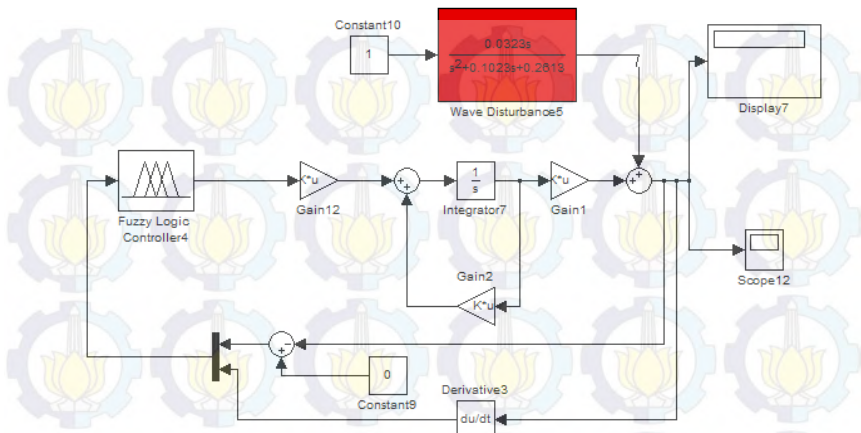
MODEL SIMULASI KONTROL *OPEN LOOP* & *CLOSED LOOP*



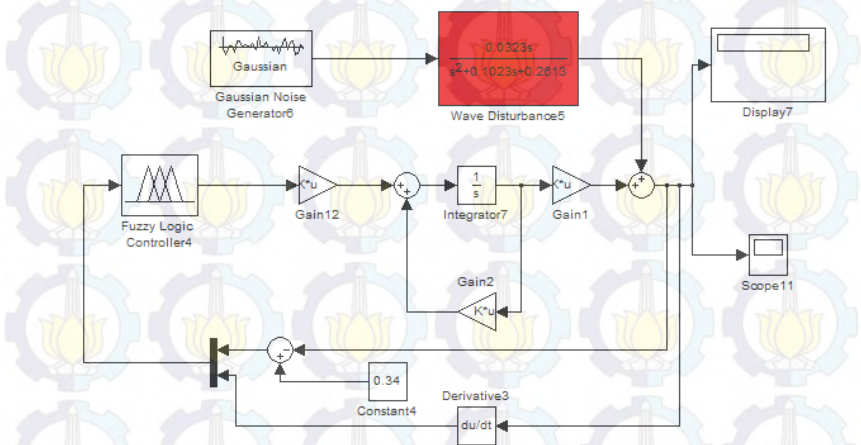
Open loop model state-space hidrodinamika platform



Close loop model State Space Hidrodinamika Platform tanpa Gangguan



Close loop model state space dengan Gangguan Gelombang



Close loop model state space dengan Gangguan Gaussian Noise