



**TUGAS AKHIR - ME 184834**

**KONSEP DESAIN DYNAMIC POSITIONING  
KAPAL TUNDA UNTUK OPERASIONAL DI  
PT. PERTAMINA (PERSERO) MARINE  
REGION IV CILACAP**

Muhammad Satrio Budi Prakosa  
NRP. 0421154000038

Dosen Pembimbing  
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.  
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**





**TUGAS AKHIR - ME 184834**

**KONSEP DESAIN DYNAMIC POSITIONING KAPAL TUNDA UNTUK  
OPERASIONAL DI PT. PERTAMINA (PERSERO) MARINE REGION  
IV CILACAP**

Muhammad Satrio Budi Prakosa  
NRP. 0421154000038

Dosen Pembimbing  
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.  
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**BACHELOR THESIS - ME 184834**

**CONCEPT DYNAMIC POSITIONING DESIGN OF TUGBOAT FOR  
OPERATIONAL IN PT. PERTAMINA (PERSERO) MARINE REGION  
IV CILACAP**

Muhammad Satrio Budi Prakosa  
NRP. 0421154000038

Supervisor  
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.  
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**KONSEP DESAIN DYNAMIC POSITIONING KAPAL TUNDA UNTUK  
OPERASIONAL DI PT. PERTAMINA (PERSERO)  
MARINE REGION IV CILACAP**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

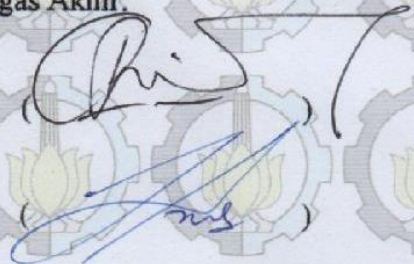
Oleh:

**Muhammad Satrio Budi Prakosa**  
NRP. 04211540000038

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. I. Made Ariana, S.T., M.T.

Juniarko Prananda, S.T., M.T.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**LEMBAR PENGESAHAN**

**KONSEP DESAIN DYNAMIC POSITIONING KAPAL TUNDA UNTUK  
OPERASIONAL DI PT. PERTAMINA (PERSERO)  
MARINE REGION IV CILACAP**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Muhammad Satrio Budi Prakosa**

**NRP. 0421154000038**

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT.**

**NIP. 197708022008011007**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**CONCEPT DYNAMIC POSITIONING DESIGN OF TUGBOAT FOR  
OPERATIONAL IN PT. PERTAMINA (PERSERO)  
MARINE REGION IV CILACAP**

**Name** : Muhammad Satrio Budi Prakosa  
**Student ID** : 0421154000038  
**Department** : Marine Engineering  
**Supervisor** : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.  
**Co-Supervisor** : Juniarko Prananda, S.T., M.T.

**ABSTRACT**

An accident happened in tug operation at PT. Pertamina (Persero) Marine Region IV Cilacap where the ship was hit and damaged a berthing dolphin which occurred due to slow response of tugs operation to the environmental disturbance. Responding to this accident, it is needed to find technology that allows the tugboat to have a faster response to the environmental forces which technology is DP (dynamic positioning) system. The first method of this research is collecting data from the related company and use it as the base model for the dynamic positioning tugboat arrangement. Then, the concept design of dynamic positioning tugboat is designed by arranging the propulsion system model and DP control system of a tugboat, and model simulation of the existing tugboat is arranged, simulated, and validated by MATLAB software to prove that in the case of achieving faster response to environmental force, DP tugboat is truly needed. After that, desired trajectory and disturbance variable are added to the simulation. From all the simulation results of the DP tugboat response, it was found that the tugboat response generally requires three main specifications, which are 10.27% maximum overshoot, 14.1499 seconds time settling, and 5% steady-state error of the expected stable value. The type of propulsion drive that can better meet these specifications is the Voith Schneider Propeller (VSP) compared to the propulsion drive in the existing model and Azimuth Thruster. It was also found that the concept design of DP tugboat could increase the effectiveness and safety of tug operation which approved by the result of the DP tugboat model simulation that DP tugboat could reduce ship velocity when bumping into the berthing dolphin down to 0.065371 m/s when receiving disturbance valued at 0.38995 m/s and where the allowed safe velocity was between 0.09 m/s and 0.15 m/s.

**Keyword:** *Control System, Dynamic Positioning, Tugboat, VSP.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**KONSEP DESAIN DYNAMIC POSITIONING KAPAL TUNDA UNTUK  
OPERASIONAL DI PT. PERTAMINA (PERSERO)  
MARINE REGION IV CILACAP**

**Nama** : **Muhammad Satrio Budi Prakosa**  
**ID Mahasiswa** : **0421154000038**  
**Departemen** : **Marine Engineering**  
**Pembimbing 1** : **Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.**  
**Pembimbing 2** : **Juniarko Prananda, S.T., M.T.**

**ABSTRAK**

Kecelakaan terjadi pada operasi penundaan di PT. Pertamina (Persero) Marine Region IV Cilacap, yaitu kapal sandar menabrak dan merusak *berthing dolphin* karena lambatnya respons kapal tunda terhadap gaya lingkungan sekitar. Menanggapi hal tersebut, perlunya didapati teknologi yang memungkinkan respons kapal tunda meningkat terhadap gaya lingkungan yaitu dengan sistem DP (*dynamic positioning*). Penelitian diawali dengan pengambilan data di perusahaan terkait sebagai model dasar dari DP kapal tunda yang akan dirancang. Perancangan konsep desain DP kapal tunda dilakukan terhadap pemilihan model sistem propulsi dan sistem kontrol DP kapal tunda. Kemudian, dilakukan perancangan, simulasi, dan validasi model simulasi *existing* dengan perangkat lunak MATLAB sebagai model dasar pembuktian bahwa kapal tunda *existing* membutuhkan sistem DP. Setelah itu, trayektori kapal dan variabel gangguan dimasukkan pada sistem. Adapun dari keseluruhan hasil simulasi respons DP kapal tunda, didapati bahwa respons kapal tunda secara umum membutuhkan tiga spesifikasi utama, yaitu *maximum overshoot* 10.27%, *time settling* 14.1499 detik, dan *error steady state* 5% dari nilai stabil yang diharapkan. Adapun tipe penggerak yang lebih dapat memenuhi spesifikasi tersebut adalah tipe propulsi *Voith Schneider Propeller* (VSP) dibandingkan sistem propulsi pada model *existing* dan *Azimuth Thruster*. Begitu pula, dari hasil simulasi respons DP kapal tunda didapati bahwa rancangan DP kapal tunda dapat meningkatkan efektivitas dan keselamatan penundaan. Hal ini dibuktikan dengan hasil simulasi DP kapal tunda yang dapat mereduksi kecepatan kapal saat menabrak *berthing dolphin* hingga kecepatan 0.065371 m/s dari kecepatan saat menerima gangguan senilai 0.38995 m/s dan dengan kecepatan aman sandar kapal yang diperbolehkan saat menabrak *berthing dolphin* adalah senilai 0.09 m/s hingga 0.15 m/s.

**Kata Kunci:** *Dynamic Positioning, Kapal Tunda, Sistem Kontrol, VSP.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia yang telah diberikan sehingga tugas akhir dengan judul “Konsep Desain Dynamic Positioning Kapal Tunda pada Operasional di PT. Pertamina (Persero) Marine Region IV Cilacap” dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak berikut karena selesainya tugas akhir ini pun tak lepas dari bantuan, doa, dan dukungan mereka, antara lain:

1. Keluarga penulis, Bapak Wihartono, Ibu Rachmawati, Rizki Putri Almira, Mustiko Budi Wiryawan, dan Muhammad Deverianto yang selalu mendoakan, memberi semangat, dan dukungan.
2. Dr. Eng. Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS yang telah membimbing penulis selama menjalani beragam kegiatan di Kampus ITS, baik kegiatan akademik maupun non-akademik.
3. Dr. I Made Ariana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama penulis yang senantiasa menuntun dan memberikan solusi dikala penulis mendapati permasalahan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Juniarko Prananda, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua penulis yang selalu membantu, mengajarkan, dan memberikan saran terhadap pengerjaan tugas akhir ini.
5. Tommy Pratama yang telah membantu penulis dalam mengajarkan dan mengerjakan permodelan dinamika kapal pada perangkat lunak MATLAB Simulink.
6. Ir. Hari Prastowo, M.Sc. selaku dosen wali penulis yang senantiasa membimbing penulis dalam menjalani kegiatan akademik di Kampus ITS.
7. Seluruh anggota laboratorium RAMS yang telah memberikan dukungan, waktu, dan ilmu kepada penulis selama perkuliahan di Kampus ITS.
8. Seluruh dosen, tenaga kependidikan, manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
9. Teman-teman di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS yang selalu mendukung, bekerja sama, dan memberikan kritik serta saran kepada penulis.
10. Kepada pihak yang sekiranya tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa terdapat kekurangan, dimulai dari pengerjaan selama penelitian hingga hal kecil seperti kesalahan penulisan pada laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis terbuka dengan kritik dan saran agar tugas akhir ini dapat disempurnakan pada penelitian sejenis lainnya. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, baik itu bagi akademisi, masyarakat, hingga bangsa Indonesia.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>ABSTRAK</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Perumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	4
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	7
<b>2.1 PT. Pertamina (Persero)</b> .....	7
2.1.1 Tata Letak Marine Region IV Cilacap .....	7
2.1.2 Frekuensi Kedatangan Kapal Marine Region IV Cilacap .....	8
2.1.3 Fasilitas Marine Region IV Cilacap .....	9
2.1.4 Data Kapal Sandar/Lepas di SPM.....	9
2.1.5 Data Kapal Tunda.....	10
<b>2.2 Kegiatan Pelayanan Jasa Pemanduan dan Penundaan Kapal</b> .....	10
2.2.1 Pemanduan .....	10
2.2.2 Penundaan .....	11
<b>2.3 <i>Dynamic Positioning</i> Kapal Tunda</b> .....	12
<b>2.4 Kapal Tunda dengan Sistem <i>Dynamic Positioning</i></b> .....	15
<b>2.5 Sistem Propulsi pada Sistem <i>Dynamic Positioning</i></b> .....	16
<b>2.6 Standardisasi pada <i>Dynamic Positioning</i></b> .....	17
2.6.1 Persyaratan Umum dan Notasi DP .....	19
2.6.2 Pengaturan Umum DP.....	21
2.6.3 Sistem Kontrol DP .....	24
2.6.4 Sistem Penggerak DP .....	24

2.7	Permodelan Dinamika Kapal.....	27
2.8	Sistem Kendali PID.....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>33</b>
3.1	Metodologi Penelitian.....	33
3.2	Perumusan Masalah.....	34
3.3	Studi Literatur.....	34
3.4	Pengambilan Data.....	34
3.5	Pemilihan Kapal Tunda Acuan (DP & Non DP) sesuai Kebutuhan Kapal Sandar.....	34
3.6	Perancangan Konsep Desain <i>Dynamic Positioning</i> Kapal Tunda ...	35
3.7	Perancangan Model Simulasi Respons Kapal Tunda <i>Existing</i> (Non-DP).....	35
3.8	Simulasi Model Respons Kapal Tunda <i>Existing</i> (Non-DP) dengan MATLAB.....	35
3.9	Validasi Model.....	35
3.10	Perancangan Model Simulasi Respons dengan DP Kapal Tunda...	35
3.11	Analisis Perbandingan Hasil Simulasi Respons DP dan Non-DP Kapal Tunda.....	36
3.12	Kesimpulan dan Saran.....	36
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>37</b>
4.1	Pengumpulan Data Kapal Sandar.....	37
4.2	Pengumpulan Data Kapal Tunda Acuan dengan DP.....	37
4.3	Parameter Keamanan Sandar Kapal.....	38
4.4	Penentuan Trayektori Kapal.....	38
4.5	Perancangan Model Simulasi Respons Kapal Tunda dengan DP...	40
4.5.1	Pembuatan Diagram Blok Sistem Kendali DP.....	40
4.5.2	Permodelan Dinamika Kapal Sandar.....	41
4.5.3	Perancangan Kontrol PID.....	44
4.6	Simulasi Respons Model Kapal Tunda tanpa DP.....	45
4.7	Simulasi Respons Model Kapal Tunda dengan DP.....	46
4.7.1	Simulasi Respons Model DP Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus.....	47

4.7.2	Simulasi Respons Model DP Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus .....	54
<b>4.8</b>	<b>Analisis Hubungan Sistem Propulsi terhadap Respons DP Kapal Tunda.....</b>	<b>58</b>
4.8.1	Analisis Respons DP Kapal Tunda dengan Azimuth Thruster ....	59
4.8.2	Analisis Respons DP Kapal Tunda dengan Voith Schneider Propeller.....	59
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN.....</b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan .....</b>	<b>61</b>
<b>5.2</b>	<b>Saran.....</b>	<b>61</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>65</b>
	<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>101</b>

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Kondisi Lingkungan Daerah Operasi Non-DP (kiri) dan DP (kanan) Kapal Tunda .....	3
Gambar 2.1 Tata Letak Alur dan Dermaga MR IV Cilacap .....	8
Gambar 2.2 Grafik Frekuensi Kedatangan Kapal .....	8
Gambar 2.3 Dynamic Positioning System .....	12
Gambar 2.4 Skema Diagram dari General Sistem DP .....	13
Gambar 2.5. Struktur Simulasi Alur Kerja Sistem DP.....	14
Gambar 2.6 Ocean Wave Tugboat dengan Azimuth Thruster .....	16
Gambar 2.7 Voith Schneider Propeller (VSP) .....	17
Gambar 2.8 Skema Sistem Kendali PID .....	32
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian .....	33
Gambar 4.1 Trayektori Sandar Kapal .....	39
Gambar 4.2 Diagram Blok Sistem Kendali DP.....	40
Gambar 4.3 Permodelan Dinamika Kapal Sandar pada MATLAB Simulink ...	43
Gambar 4.4 Grafik Respons Posisi dengan Tuning PID Metode Trial and Error .....	44
Gambar 4.5 Model Respons Kapal Tunda tanpa DP .....	45
Gambar 4.6 Simulasi Respons Model Kapal Tunda tanpa DP .....	45
Gambar 4.7 Model Respons DP Kapal Tunda terhadap Kecepatan Arus.....	46
Gambar 4.8 Grafik Respons Model DP Kapal Tunda terhadap Kecepatan Arus .....	47
Gambar 4.9 Model Respons DP Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step.....	48
Gambar 4. 10 Simulasi Respons Posisi Model DP Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step .....	49
Gambar 4.11 Simulasi Respons Posisi Model DP Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step (Error Steady-State).....	49
Gambar 4.12 Simulasi Respons Kecepatan Model Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step .....	50
Gambar 4.13 Model Respons DP Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number .....	51
Gambar 4.14 Gangguan Kecepatan Arus Tipe Random Number dengan Rata-rata 0.15 m/s .....	52
Gambar 4.15 Simulasi Respons Model Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number .....	52

Gambar 4.16 Simulasi Respons Kecepatan Model Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number .....	53
Gambar 4.17 Model Respons DP Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step.....	54
Gambar 4.18 Simulasi Respons Model Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus tipe Step .....	55
Gambar 4.19 Simulasi Respons Kecepatan Model Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus tipe Step.....	55
Gambar 4.20 Model Respons DP Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number .....	56
Gambar 4.21 Gangguan Kecepatan Arus Tipe Random Number dengan Rata-rata 0.3 m/s.....	57
Gambar 4.22 Simulasi Respons Kecepatan Model Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number.....	57
Gambar 4.23 Trayektori Sandar Kapal dengan DP Kapal Tunda dan Gangguan Kecepatan Arus .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Ketentuan Penggunaan Kapal Tunda .....	1
Tabel 1.2 Sejarah Kecelakaan dari Kegiatan Penundaan .....	2
Tabel 2.1 Sarana Tambat MR IV Cilacap .....	9
Tabel 2.2 Data Kapal Sandar/Lepas .....	9
Tabel 2.3 Data Pengadaan Kapal Tunda .....	10
Tabel 2.4 Ketentuan Penggunaan Kapal Tunda .....	11
Tabel 2.5 Notasi 6 Derajat Kebebasan pada Kapal .....	13
Tabel 2.6 Spesifikasi Umum Ocean Tugboat.....	15
Tabel 2.7 Klasifikasi DP dari Badan Klasifikasi berdasarkan IMO .....	18
Tabel 2.8 Notasi Kelas DP berdasarkan DNV .....	19
Tabel 2.9 Pengaturan Umum Sistem DP.....	21
Tabel 2.10 Perbedaan antara notasi DPS-series dan DYNPOS-series .....	23
Tabel 2.11 Karakteristik Penggerak .....	25
Tabel 2.12 Prime-System I.....	30
Tabel 2.13 Karakteristik Sistem Kendali PID .....	31
Tabel 4.1 Ukuran Utama Kapal Sandar .....	37
Tabel 4.2 Ukuran Utama Kapal Tunda .....	37
Tabel 4.3 Rekomendasi Kecepatan Sandar dalam m/s .....	38
Tabel 4.4 Normalisasi Persamaan Data Kapal Sandar .....	42
Tabel 4.5 Nilai Koefisien Hidrodinamis Non-Dimensional Kapal Sandar .....	42
Tabel 4.6 Ringkasan Hasil Analisis Hubungan Sistem Propulsi terhadap Respons DP Kapal Tunda .....	60

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pada kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan kapal di Indonesia, telah ditetapkan aturan mengenai kebutuhan jumlah minimal kapal tunda beserta spesifikasi daya dan *bollard pull* minimalnya berdasarkan ukuran panjang kapal tertentu yang dimuat dalam PM 57 Tahun 2015 tentang Pemanduan dan Penundaan Kapal. Aturan tersebut tepatnya terkandung pada Bab VI Pasal 38 Ayat 3 dari PM 57 Tahun 2015 pada Tabel 1.1 berikut.

Tabel 1.1 Ketentuan Penggunaan Kapal Tunda

<b>Panjang Kapal Sandar/Lepas</b>	<b>Jumlah Kapal Tunda</b>	<b>Jumlah Daya Kapal Tunda</b>	<b>Jumlah <i>Bollard Pull</i> Kapal Tunda</b>
70 – 150 meter	Minimal 1 unit	Paling rendah 2000 DK	Paling rendah 24 ton <i>bollard pull</i>
150 - 250 meter	Minimal 2 unit	Paling rendah 6000 DK	Paling rendah 65 ton <i>bollard pull</i>
250 meter ke atas	Minimal 3 unit	Paling rendah 11000 DK	Paling rendah 125 ton <i>bollard pull</i>

Sumber: PM 57 Tahun 2015 Bab VI Pasal 38 Ayat 3

Ketentuan penggunaan kapal tunda ini merupakan pedoman yang hingga saat ini digunakan oleh PT. Pertamina (Persero) sebagai acuan dalam menetapkan jumlah minimal kapal tunda pada kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan kapal miliknya. Akan tetapi, ketentuan ini tidak menjelaskan secara spesifik mengenai kondisi lingkungan tempat pelaksanaan kegiatan pemanduan dan penundaan. Adapun kondisi lingkungan tersebut akan sangat mempengaruhi spesifikasi yang diperlukan oleh kapal tunda, salah satunya terkait DP (*dynamic positioning*) kapal tunda itu sendiri. *Dynamic positioning* akan sangat mempengaruhi efektivitas penundaan terutama pada daerah operasi SPM (*Single Point Mooring*) dan CIB (*Crude Berth Island*) karena merupakan daerah operasi dengan kapasitas penerimaan kapal terbesar di MR IV Cilacap. Selain itu, lokasi SPM yang berada di laut lepas sehingga kapal yang berada di daerah tersebut tidak bisa menggunakan jangkar untuk mempertahankan posisinya dan SPM menjadi daerah operasi dengan kondisi lingkungan paling ekstrem di PT. Pertamina (Persero) Marine Region IV Cilacap. Berikut merupakan sejarah kecelakaan dari kegiatan penundaan pada periode 2014-2016.

Tabel 1.2 Sejarah Kecelakaan dari Kegiatan Penundaan

No.	Kecelakaan Kegiatan Pelayanan Jasa Pemanduan dan Penundaan Kapal	Tanggal Kecelakaan
1.	MT. Gamalama menabrak <i>Berthing Dolphin</i> CIB 2	12 Agustus 2014
2.	MT. Martha Petrol kandas di luar alur pelayaran	3 Mei 2015
3.	MT. Permata Niaga menabrak <i>Jetty II</i> Area 60	10 Agustus 2015
4.	MT. Fastron menabrak <i>Jetty I</i> Area 70	18 September 2015
5.	Benturan antara MT. Atlantic Point dengan MT. Sinar Busan dan <i>Berthing Dolphin Jetty II</i> Area 70	28 Maret 2016

Sumber: Berita acara PT. Pertamina (Persero) Marine Region IV Cilacap

Tabel 1.2 merupakan sejarah kecelakaan kapal pada kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan kapal di MR IV Cilacap periode 2014-2016. Kecelakaan tersebut disinyalir terjadi akibat gaya yang diberikan oleh kapal tunda saat melakukan penundaan terlalu berlebih karena kapal sendiri sudah menerima gaya dorong dari angin, arus, dan gelombang pada saat yang bersamaan sehingga mengakibatkan gaya total yang diterima oleh kapal menjadi terlalu besar dan mengakibatkan gerakan kapal yang terlalu berlebihan dan menabrak bangunan stasioner di dekatnya. Menanggapi hal tersebut, PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap berusaha mendapati teknologi yang memungkinkan respons daripada pergerakan kapal tunda tersebut meningkat terhadap gaya yang bekerja di sekitar operasi penundaan seperti angin, arus, dan gelombang. Adapun salah satu dari aplikasi teknologi yang dianjurkan untuk meningkatkan respons tersebut salah satunya berupa *dynamic positioning* kapal tunda.

Beberapa keunggulan dari penggunaan sistem DP pada kapal tunda sehingga mendorong penggunaannya, antara lain untuk memudahkan kapal dalam menyesuaikan lokasi baik dalam berpindah maupun menetap di posisi tertentu. Hal ini sangat sesuai dengan operasi kapal tunda yang dituntut untuk menjalankan operasi yang aktif berpindah menjemput, menyandarkan, dan melepaskan kapal. Keunggulan tersebut juga dimanfaatkan oleh kapal tunda tidak hanya untuk mempertahankan posisinya sendiri melainkan posisi kapal yang disandar/lepaskan. Selain itu, keunggulan lainnya adalah peningkatan kemampuan manuver kapal tunda sehingga meningkatkan efektivitas operasi penundaan yang diberikan oleh kapal tunda. Terakhir, keunggulan utama dan yang paling berhubungan khususnya untuk tipe operasi di SPM, MR IV Cilacap adalah peningkatan *respond* terhadap gaya lingkungan dan memungkinkan kapal tunda untuk beroperasi baik pada perairan laut dalam. Kedua hal tersebut sangat cocok dengan kondisi di daerah operasi SPM, MR IV Cilacap sehingga sistem DP dapat saja menjadi sebuah solusi atas kebutuhan akan peningkatan efektivitas dan keselamatan penundaan milik MR IV Cilacap.



Gambar 1.1 Grafik Kondisi Lingkungan Daerah Operasi Non-DP (kiri) dan DP (kanan) Kapal Tunda.  
 Sumber: <http://www.buoyweather.com/>

Gambar 1.1 (kanan) merupakan kondisi lingkungan daerah operasi, *US East Coast*, dari salah satu kapal tunda yang mengadopsi sistem *dynamic positioning*. Kapal tunda yang dimaksud adalah "*Ocean Wave*". TB. *Ocean Wave* memiliki *dynamic positioning level 1*. Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa penggunaan kapal tunda dengan sistem DP sudah dipergunakan pada DP level 1, maka dari itu untuk daerah operasi yang lebih ekstrem seharusnya menggunakan DP level yang lebih tinggi. Adapun rata-rata kecepatan angin dan ketinggian gelombang daerah tersebut senilai 22 knot kecepatan angin dan 5 meter ketinggian gelombang. Dibandingkan dengan Gambar 3 (kiri) merupakan kondisi lingkungan daerah operasi MR IV Cilacap dengan kapal tunda non-

DP. Adapun didapati bahwa tinggi gelombang pada MR IV Cilacap hampir sebanding dengan tinggi gelombang pada daerah operasi *TB. Ocean Wave*. Oleh karena itu, perlunya dilakukan penelitian tentang desain konsep dan analisis *dynamic positioning* kapal tunda untuk operasional di PT. Pertamina (Persero) Marine Region IV Cilacap, khususnya pada daerah operasi CIB dan SPM, guna memberikan sebuah solusi atas kecelakaan yang terjadi serta mewujudkan peningkatan efektivitas dan keselamatan operasional penundaan kapal.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan pada sub-bab 1.1 Latar Belakang Masalah, perlunya dirancang perumusan masalah agar hasil penelitian menjadi tepat sasaran guna menyelesaikan permasalahan yang ada. Adapun perumusan masalah pada penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana konsep desain *dynamic positioning* sistem kapal tunda untuk meningkatkan efektivitas dan keselamatan penundaan di daerah operasi CIB dan SPM, PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap?
2. Bagaimana perbandingan respons kapal tunda *existing* dengan DP kapal tunda beserta variasi tipe propulsi pada operasi penundaan untuk daerah operasi CIB dan SPM di PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini dilakukan hanya pada kapal sandar ukuran terbesar dan kapal tunda dengan tipe propulsi *existing*, *Azimuth Thruster*, dan *Voith Schneider Propeller (VSP)* di daerah operasi CIB (*Crude Island Berth*) dan SPM (*Single Point Mooring*), PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berikut tujuan dari diakannya penelitian ini, antara lain:

1. Merancang konsep desain *dynamic positioning* sistem kapal tunda untuk daerah operasi CIB dan SPM di PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap sehingga dapat meningkatkan efektivitas dan keselamatan operasi penundaan.
2. Menganalisis perbandingan respons kapal tunda *existing* dengan DP kapal tunda beserta variasi tipe propulsi pada operasi penundaan untuk daerah operasi CIB dan SPM di PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan dan hasil dari penelitian ini, diharapkan penelitian ini mampu memberikan manfaat bagi Indonesia secara umum serta PT. Pertamina (Persero) dan akademisi secara khusus. Secara khusus, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai konsep desain *dynamic positioning* sistem kapal tunda untuk meningkatkan efektivitas dan keselamatan daerah operasi SPM di PT. Pertamina

(Persero) MR IV Cilacap. Adapun dengan adanya penelitian tersebut, sesuai hasil akhir dari penelitian, yaitu rekomendasi konsep desain *dynamic positioning* sistem kapal tunda untuk operasional di PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap sehingga dapat menjamin efektivitas dan keselamatan operasi penundaan, diharapkan PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap dapat meningkatkan efektivitas kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan kapal terutama efektif mampu menangani kegiatan penundaan dengan tetap memperhatikan faktor kondisi lingkungan dan keselamatan penundaan. Begitu pula, penelitian ini diharapkan dapat membantu dan dimanfaatkan sebagai referensi bagi para akademisi dalam merancang penelitian sejenis. Terakhir, secara umum, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan perkembangan teknologi Indonesia dengan adanya peningkatan aplikasi teknologi pada operasional PT. Pertamina (Persero) sebagai salah satu raksasa perusahaan minyak dan gas di Indonesia.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II DASAR TEORI**

### **2.1 PT. Pertamina (Persero)**

PT. Pertamina (Persero), dengan visi menjadi perusahaan energi nasional kelas dunia, adalah perusahaan yang melakukan kegiatan usaha migas pada sektor hulu hingga sektor hilir. Sektor hilir PT. Pertamina (Persero) ini terbagi menjadi tujuh jajaran unit pengolahan, salah satunya adalah Unit Pengolahan IV Cilacap. Unit Pengolahan IV Cilacap memiliki kapasitas produksi terbesar dibandingkan dengan unit pengolahan lainnya, yakni sebesar 348.000 barel/hari. Unit Pengolahan IV Cilacap atau kilang ini memasok 34% kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) nasional atau 60% kebutuhan BBM di Pulau Jawa. Adapun kilang ini terbagi menjadi tiga kilang, antara lain:

1. Kilang Minyak I

Kilang Minyak I memiliki kapasitas 118.000 barel/hari. Kilang ini dirancang untuk memproses bahan baku minyak mentah dari Timur Tengah guna mendapatkan BBM. Selain itu, kilang ini dimaksud untuk mendapatkan produk NBM yaitu bahan dasar minyak pelumas dan aspal.

2. Kilang Minyak II

Kilang Minyak II memiliki kapasitas 230.000 barel/hari. Pembangunan kilang ini didasarkan atas pemenuhan kebutuhan BBM dalam negeri yang terus meningkat. Kilang ini mengolah minyak campuran, tidak hanya dari dalam negeri tetapi juga dari luar negeri.

3. Kilang *Paraxylene*.

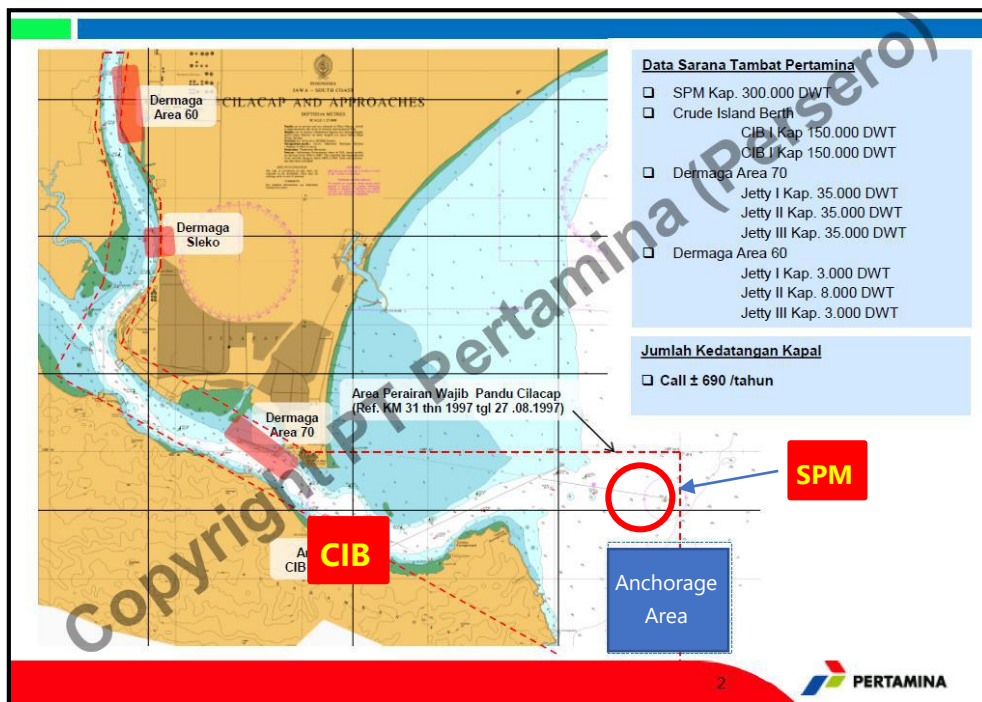
Kilang *Paraxylene* merupakan kilang penghasil produk NBM dan Petrokimia. Pembangunan kilang ini didasari atas beberapa pertimbangan, antara lain terkait ketersediaan bahan baku Naptha yang cukup dari Kilang Minyak II, adanya saran pendukung berupa dermaga tangki dan utilitas, serta terdapat peluang pasar baik di dalam maupun di luar negeri.

PT. Pertamina (Persero) Unit Pengolahan IV Cilacap memiliki sebuah terminal yang dipergunakan sebagai sarana operasional sandar/lepas dari kapal-kapal pengangkut produk hasil ketiga kilang tersebut. Terminal ini kemudian disebut dengan Marine Region IV Cilacap yang akan dibahas lebih lanjut, khususnya mengenai letak dan kondisi geografis serta fasilitas penunjang terminal untuk melengkapi data-data pada pembahasan di penelitian ini. Berikut tata letak, kondisi geografis, fasilitas dan data-data terkait MR IV Cilacap.

#### 2.1.1 Tata Letak Marine Region IV Cilacap

Berdasarkan data yang diperoleh untuk mengetahui lebih lanjut tentang tata letak Marine Region IV Cilacap. Berikut tata letak PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap tersebut. Garis putus-putus pada Gambar 2.1 merupakan area perairan wajib pandu Cilacap menurut KM 31 Tahun 1997. Daerah operasi CIB ditandai dengan kotak merah bertuliskan CIB sedangkan SPM pada lingkaran merah. Tepat di bawah SPM terdapat

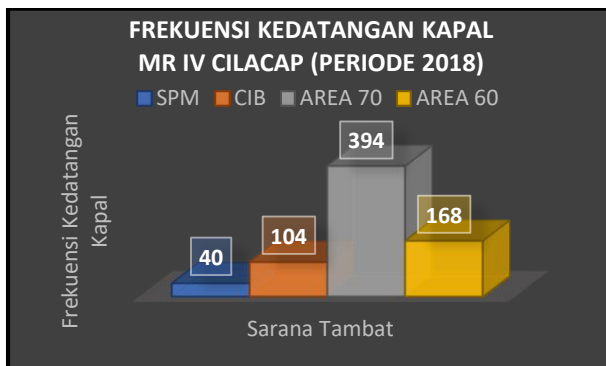
daerah pelepasan jangkar yang digunakan oleh kapal-kapal untuk menunggu giliran sandar apabila terjadi penungguan.



Gambar 2.1 Tata Letak Alur dan Dermaga MR IV Cilacap  
 Sumber: PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap

2.1.2 Frekuensi Kedatangan Kapal Marine Region IV Cilacap

Frekuensi kedatangan kapal di MR IV Cilacap tergolong sedikit, terkhusus di daerah operasi SPM. Akan tetapi, hal tersebut jangan sampai mengurangi kualitas penanganan PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap terhadap segala operasi yang dilaksanakan. Berikut merupakan Gambar 2.2 frekuensi kedatangan kapal di MR IV Cilacap.



Gambar 2.2 Grafik Frekuensi Kedatangan Kapal  
 Sumber: PT. Pertamina (Persero) Marine Region IV Cilacap



### 2.1.3 Fasilitas Marine Region IV Cilacap

PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap memiliki beragam fasilitas penunjang operasional. Adapun fasilitas yang dijadikan sebagai data penunjang pada penelitian ini, antara lain:

#### 1. Sarana Tambat

Berikut merupakan data mengenai sarana tambat yang terdapat pada MR IV Cilacap. Adapun data terkait ukuran kapasitas (DWT) kapal sandar/lepas pada setiap sarana tambat tercantum pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Sarana Tambat MR IV Cilacap

<b>Nama Sarana Tambat</b>	<b>Sarat Maksimum (m)</b>	<b>Kapasitas (DWT)</b>
<b>Area 60</b>	<i>Jetty I</i>	5
	<i>Jetty II</i>	6
	<i>Jetty III</i>	5
<b>Area 70</b>	<i>Jetty I</i>	10,5
	<i>Jetty II</i>	10,5
	<i>Jetty III</i>	9,5
<b>Crude Island Berth (CIB)</b>	CIB I	12,5
	CIB II	12,5
<b>Single Point Mooring (SPM)</b>	-	300.000

Sumber: PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap

### 2.1.4 Data Kapal Sandar/Lepas di SPM

Data kapal sandar/lepas yang dimaksud pada penelitian ini adalah kapal sandar/lepas pada daerah operasi SPM di PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap. SPM sendiri memiliki kapasitas 300.000 DWT sehingga kapal sandar/lepas tentunya memiliki kapasitas lebih kurang sama. Berikut Tabel 2.2 merupakan data dari salah kapal sandar/lepas yang didapati kedatangannya.

Tabel 2.2 Data Kapal Sandar/Lepas

<b>DATA KAPAL SANDAR/LEPAS</b>	
<b>Nama Kapal</b>	SUCCESS FORTUNE XL
<b>IMO Number</b>	9243150
<b>Panjang Kapal (LOA)</b>	332 meter
<b>Lebar Kapal (Breadth)</b>	58.04 meter
<b>Sarat Kapal (Draught)</b>	20.8 meter
<b>Gross Tonnage</b>	158993
<b>Deadweight</b>	298555
<b>Tahun Pembuatan</b>	2013

Sumber: <https://www.marinetraffic.com/>

### 2.1.5 Data Kapal Tunda

Tabel 2.3 Data pengadaan kapal tunda

<b>Nama Kapal</b>	<b>LOA (m)</b>	<b>Daya (DK)</b>	<b>Bollard Pull (kN)</b>	<b>Daerah Operasi</b>	<b>Biaya Sewa/Bulan</b>	<b>Periode Sewa</b>
<b>TB. Patra Tunda 01</b>	34	4200	48	SPM	Rp 790.000.000	2016 - 2018
<b>TB. Patra Tunda 02</b>	34	4200	48	CIB	Rp 790.000.000	2016 - 2018
<b>TB. Aria Citra VII</b>	36	3200	55	CIB	Rp 490.000.000	2018 - 2019
<b>TB. Transko Murai</b>	32	3200	38	Area 60 & 70	Rp 1.345.025.000	2018 - 2026
<b>TB. Midai</b>	32	3000	32	Area 60 & 70	-	-

Sumber: PT. Pertamina (Persero) Marine Region IV Cilacap

Tabel 2.3 merupakan data pengadaan kapal tunda yang saat ini ada di MR IV Cilacap dengan kapal tunda “TB. Patra Tunda 01” sebagai kapal tunda yang dioperasikan pada daerah operasi SPM. Adapun sehubungan dengan waktu kontrak “TB. Patra Tunda 01” yang sudah habis, PT. Pertamina (Persero) Marine Region IV Cilacap memiliki kesempatan untuk kali ini dapat melakukan pengadaan kapal tunda baru.

## 2.2 Kegiatan Pelayanan Jasa Pemanduan dan Penundaan Kapal

Perlu diketahui beberapa pengertian dalam kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan kapal agar dapat dipahami operasi mana yang menjadi fokus pembahasan nantinya. Berdasarkan PM 57 Tahun 2015 tentang Pemanduan dan Penundaan, pada Bab I Pasal 1, dideskripsikan pengertian manajemen operasional pemanduan adalah seluruh aktivitas untuk mengatur dan mengatur faktor-faktor pelaksanaan pemanduan secara selamat, efektif, dan efisien. Kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan dimaksud sebagai segala kegiatan atau operasi yang dilakukan untuk menyandarkan dan melepas atau menambat dan melepas tambat kapal dari atau ke fasilitas tambat di terminal, dimulai sejak kapal masuk melewati *outer buoy (Actual Time Arrival)* hingga kapal keluar melewati *outer buoy (Actual Time Departure)*. Berikut dua operasi utama pada kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan kapal.

### 2.2.1 Pemanduan

Berdasarkan PM 57 Tahun 2015 Bab I Pasal 1, Pemanduan adalah kegiatan pandu dalam membantu, memberikan saran dan informasi kepada Nakhoda tentang keadaan perairan setempat yang penting agar navigasi-pelayaran dapat dilaksanakan dengan selamat, tertib, dan lancar demi keselamatan kapal dan lingkungan. Pemanduan secara umum tidak menjadi fokus pada penelitian ini, akan tetapi bagian dari pemanduan, yaitu penundaan, adalah bagian yang menjadi fokus pada penelitian ini.

### 2.2.2 Penundaan

Berdasarkan PM 57 Tahun 2015 Bab I Pasal 1, Penundaan adalah bagian dari pemanduan yang meliputi kegiatan mendorong, menarik, menggandeng, mengawal (*escort*), dan membantu (*assist*) kapal yang berolah-gerak di alur-pelayaran, daerah labuh jangkar maupun kolam pelabuhan, baik untuk bertambat ke atau untuk melepaskan dari dermaga, *jetty*, *trestle*, *pier*, pelampung, *dolphin*, kapal, dan fasilitas tambat lainnya dengan mempergunakan kapal tunda sesuai dengan ketentuan yang diprasyarakatkan. Dari pengertian tersebut, diketahui bahwa perlunya mengikuti ketentuan yang diprasyarakatkan dalam mempergunakan kapal tunda selama proses penundaan. Adapun ketentuan yang dimaksud berada pada PM 57 Tahun 2015 Bab VI Pasal 38 Ayat 3 (Tabel 2.4), yaitu:

Tabel 2.4 Ketentuan Penggunaan Kapal Tunda

Panjang Kapal Sandar/Lepas	Jumlah Kapal Tunda	Jumlah Daya Kapal Tunda	Jumlah <i>Bollard Pull</i> Kapal Tunda
70 – 150 meter	Minimal 1 unit	Paling rendah 2000 DK	Paling rendah 24 ton <i>bollard pull</i>
150 - 250 meter	Minimal 2 unit	Paling rendah 6000 DK	Paling rendah 65 ton <i>bollard pull</i>
250 meter ke atas	Minimal 3 unit	Paling rendah 11000 DK	Paling rendah 125 ton <i>bollard pull</i>

Sumber: PM 57 Tahun 2015 Bab VI Pasal 38 Ayat 3

Dari tabel 2.4, didapati bahwa terdapat 4 variabel yang menjadi parameter dalam penentuan penggunaan kapal tunda. Adapun pengertian pada masing-masing variabel antara lain:

#### 1. Panjang Kapal

Kapal yang dimaksud pada panjang kapal ini adalah kapal yang dilakukan kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan yaitu kapal yang melakukan proses penyandaran dan pelepasan. Berbeda dengan PM 57 Tahun 2015 Bab VI Pasal 38 Ayat 3, pada penelitian ini, kluster kapal sandar dibuat berdasarkan ukuran DWT kapal sandar tetapi dibuat sedemikian rupa agar tetap sesuai dengan skala panjang kapal seperti pada tabel 1. Ketentuan penggunaan kapal tunda.

#### 2. Jumlah Kapal Tunda

Kapal tunda, berdasarkan PM 57 Tahun 2015 Bab 1 Pasal 1, yang berfungsi sebagai Sarana Bantu Pemanduan adalah kapal dengan karakteristik tertentu digunakan untuk kegiatan mendorong, menarik, menggandeng, mengawal (*escort*), dan membantu (*assist*) kapal yang berolah-gerak di alur-pelayaran, daerah labuh jangkar maupun kolam pelabuhan, baik untuk bertambat ke atau untuk melepaskan dari dermaga, *jetty*, *trestle*, *pier*, pelampung, *dolphin*, kapal, dan fasilitas tambat lainnya. Jadi yang dimaksud dengan jumlah kapal tunda adalah jumlah kapal tunda yang dibutuhkan sebagai sarana bantu pemanduan agar proses pemanduan dapat berlangsung dengan selamat dan aman.

##### a. *Bollard Pull*

Berdasarkan pengertian kapal tunda dari PM 57 Tahun 2015 Bab 1 Pasal 1, kapal tunda sebagai sarana bantu pemanduan memiliki karakteristik tertentu

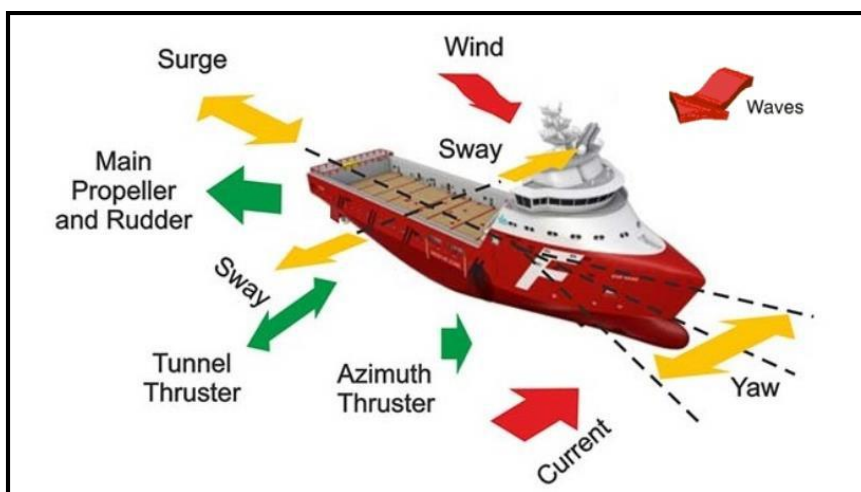
untuk melakukan proses penundaan. Karakteristik yang dimaksud pada pengertian ini merupakan jumlah daya dan *bollard pull* yang dimiliki. Jadi *bollard pull* adalah karakter dari kapal tunda yang menggambarkan kekuatan kapal untuk menarik beban atau biasa disebut dengan gaya tarik.

b. Daya

Selain *bollard pull*, daya merupakan karakteristik kapal tunda berdasarkan pengertian kapal tunda pada PM 57 Tahun 2015 Bab 1 Pasal 1. Daya yang dimaksud pada tabel 1. Ketentuan penggunaan kapal tunda, adalah daya mesin kapal tunda atau disebut juga *brake horse power (BHP)*. Daya tersebut merupakan spesifikasi dari mesin kapal tunda yang dirancang untuk memenuhi daya efektif penundaan. Daya efektif sendiri merupakan daya yang dibutuhkan untuk dapat menarik sebuah kapal tanpa menggunakan sistem propulsi dari kapal tersebut (Harvald, 1983).

### 2.3 Dynamic Positioning Kapal Tunda

*Dynamic positioning* adalah sebuah sistem yang bertujuan untuk mempertahankan posisi kapal dengan menggunakan propeler dan gaya dorong kapal itu sendiri. Sistem ini dapat terlihat rumit karena dalam mempertahankan posisi yang dimaksud dibutuhkan kombinasi posisi dari beberapa sensor antara lain, sensor angin dan sensor gerak untuk memperhitungkan dampak dari gaya lingkungan yang mempengaruhi posisi kapal. Cara kerja dari *dynamic positioning* antara lain, terdapat sebuah kontrol panel yang mencatat data setiap perubahan angin dan gelombang, lalu mengirimkan sinyal data tersebut ke propeler sehingga dapat mempertahankan dan menjaga posisi kapal.



Gambar 2.3 Dynamic Positioning System  
Sumber: <https://www.offshoreengineering.com/>

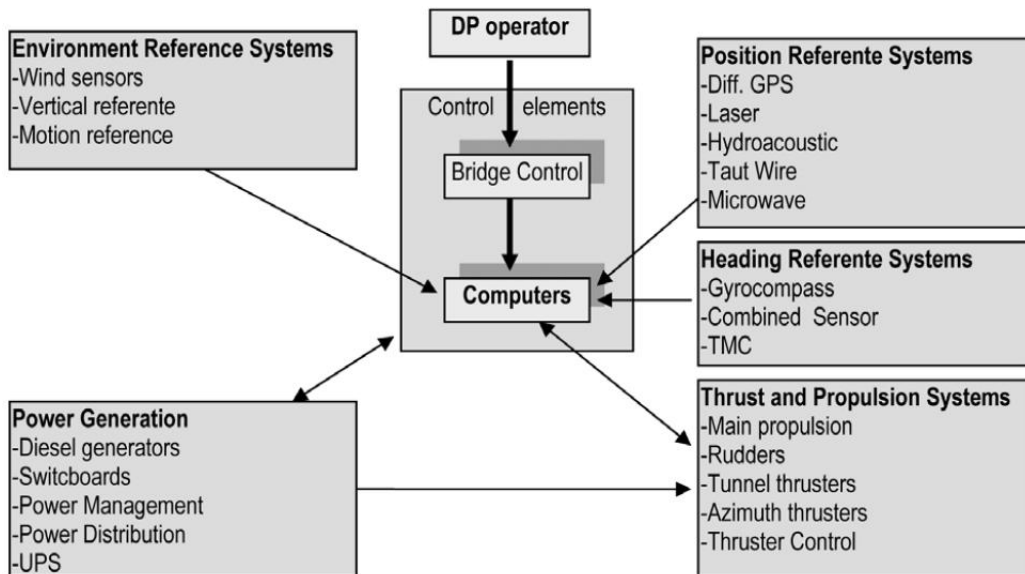
Gambar 2.3 merupakan visualisasi sistem *dynamic positioning* pada kapal. Adapun panah berwarna hijau merupakan gaya dorong kapal, yaitu dengan adanya propeler utama dan kemudi, *tunnel thruster*, dan *azimuth thruster*. Berikutnya, panah kuning merupakan olah gerak kapal, yaitu *surge*, *sway*, dan *yaw* sedangkan panah merah merupakan gaya

yang bekerja terhadap kapal, yaitu gaya angin, gelombang, dan arus. Inti dari Gambar 4 merupakan sistem kerja yang dimiliki kapal untuk mempertahankan posisinya tanpa perlu menurunkan jangkar. Berikut Tabel 2.5 merupakan notasi yang mewakili 6 derajat kebebasan (*Degree of Freedom*) pada Gambar 2.3.

Tabel 2.5 Notasi 6 Derajat Kebebasan pada Kapal

No.	DOF	Gaya dan Momen	Kecepatan Linear dan Angular	Posisi dan Sudut Euler
1.	Gerak pada sumbu x ( <i>surge</i> )	X	u	x
2.	Gerak pada sumbu y ( <i>sway</i> )	Y	v	y
3.	Gerak pada sumbu z ( <i>heave</i> )	Z	w	z
4.	Rotasi pada sumbu x ( <i>roll</i> )	K	p	$\phi$
5.	Rotasi pada sumbu y ( <i>pitch</i> )	M	q	$\theta$
6.	Rotasi pada sumbu z ( <i>yaw</i> )	N	r	$\psi$

Adapun komponen utama dari sistem *dynamic positioning* antara lain, *positioning system*, komputer *dynamic positioning*, dan *thruster*. Biasanya digunakan GPS sebagai *positioning system* untuk memonitor posisi kapal. ketika kapal bergerak menjauhi posisi yang ditentukan, komputer akan memperhitungkan gaya dorong yang harus dikeluarkan oleh *thruster* untuk menjaga kapal tetap pada posisi yang ditentukan.



Gambar 2.4 Skema Diagram dari General Sistem DP

Sumber: ("(PDF) Introduction to ship dynamic positioning systems," n.d.)

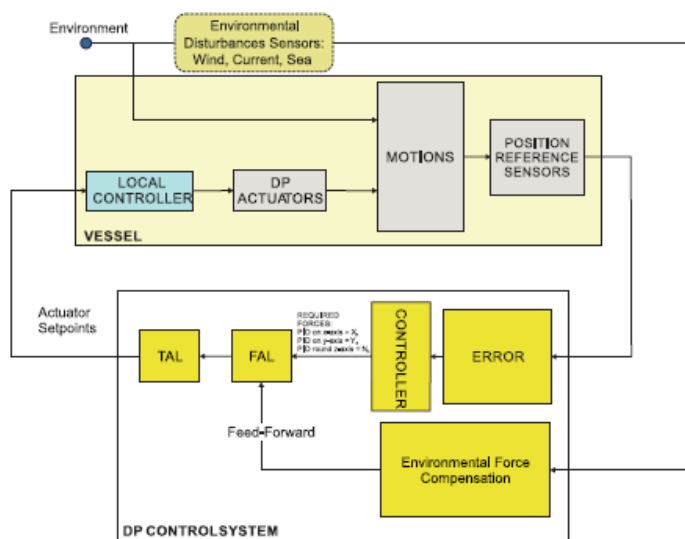
Gambar 2.4 merupakan skema diagram dari sistem DP secara umum yang terdiri dari komponen-komponen penting utama pada sistem, antara lain komponen kondisi lingkungan, komponen sistem pertahanan posisi, komponen sistem *heading*, komponen sistem penggerak dan propulsi, dan generator. Adapun pada skema, kondisi lingkungan, sistem pertahanan posisi, dan *heading* serta DP operator sebagai *input*. Begitu pun, daya

generator dan penggerak serta propulsi sebagai *output*. Skema dimulai dengan penangkapan sensor angin, *vertical reference*, dan *motion reference* yang dikirim langsung menuju komputer DP. Komputer DP mendapati posisi kapal berubah dengan adanya *Diff. GPS*, *laser*, *hydroacoustic*, *gyrocompass*, dan sensor gerak. Jarak perubahan posisi tersebut tercatat pada alat-alat tersebut. Komputer DP kemudian memberikan respons terhadap perubahan tersebut sehingga mengontrol sistem penggerak dan propulsi pada kapal antara lain propulsi utama, *rudder*, penggerak untuk menghasilkan gaya sesuai yang dibutuhkan untuk mengembalikan kapal ke posisi semula. Berikut merupakan keunggulan dari penggunaan sistem DP, antara lain:

1. Kapal menjadi *fully self-propelled*
2. Memudahkan kapal dalam menyesuaikan lokasi baik dalam berpindah maupun menetap di posisi tertentu
3. Meningkatkan *maneuverability* kapal
4. Meningkatkan *respond* kapal terhadap gaya lingkungan yang bekerja terhadap kapal
5. Memungkinkan kapal untuk bekerja pada perairan laut dalam
6. Mencegah risiko kerusakan dasar laut akibat pelepasan jangkar

Adapun kerugian dari penggunaan sistem DP, antara lain:

1. Nilai *CAPEX* dan *OPEX* yang tergolong tinggi
2. Dapat terjadi kesalahan penetapan posisi akibat dari kerusakan salah satu komponen
3. Konsumsi bahan bakar umumnya lebih tinggi
4. Penggerak (*Thruster*) ketika bekerja akan berbahaya bagi penyelam
5. Dapat meloloskan posisi apabila pada cuaca yang terlalu ekstrem atau perairan terlalu dangkal dan pasang tinggi
6. Membutuhkan personel lebih banyak untuk mengoperasikan dan merawat komponen



Gambar 2.5. Struktur Simulasi Alur Kerja Sistem DP

Sumber: (Donnarumma et al., 2018)

Gambar 2.5 merupakan gambar struktur simulasi alur kerja sistem DP. Sensor berasal dari gaya lingkungan, yaitu angin, arus, dan gelombang. Sensor tersebut mengarah pada dua sistem. Pertama, sistem kapal yaitu memberikan sebuah *motion* atau gerakan terhadap kapal dan kedua, sistem kontrol DP yaitu menjadi kompensasi gaya lingkungan yang akan dibaca kemudian sebagai *Force Allocation Logic (FAL)* dan *TAL*. *Motion* pada kapal memicu perubahan pada sensor posisi sehingga mengakibatkan perubahan posisi disebut *error*. *Error* kemudian dibaca oleh *controller* dan *controller* memberikan data berupa gaya yang perlu dikeluarkan terhadap arah sumbu x, y, dan z kapal ke *FAL* dan *TAL*. Setelah itu, *local controller* pada kapal menggerakkan aktuator DP sehingga memberikan gaya sesuai yang dibutuhkan berupa *motion* yang mempertahankan posisi daripada kapal.

## 2.4 Kapal Tunda dengan Sistem *Dynamic Positioning*

Berbeda dari sejarah awalnya, sistem *dynamic positioning* saat ini tidak hanya digunakan oleh usaha-usaha *offshore* saja tetapi juga digunakan oleh kapal tunda pada proses pemanduan dan penundaan. Karena sistem DP saat ini tidak hanya dimanfaatkan untuk mempertahankan posisi sebuah kapal tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk memprogram kapal tunda berlayar melalui jalur-jalur tertentu yang ditentukan sistem dalam membantu proses penundaan kapal. Adapun contoh kapal tunda yang mengadopsi sistem DP dalam operasi penundaan beserta spesifikasinya adalah *Ocean Tugboat*. Terdapat empat *Ocean Tugboat* yang ada, antara lain:

1. *Ocean Sky and Ocean Sun – DP Level 2*
2. *Ocean Wave and Ocean Wind – DP Level 1*

Berikut Tabel 2.6 merupakan spesifikasi umum dari *Ocean Tugboat* baik dengan sistem DP level 1 maupun 2.

Tabel 2.6 Spesifikasi Umum *Ocean Tugboat*

<b>Flag</b>	<i>United State</i>	<b>Emergency Generator</b>	125 kW Caterpillar C-6.6 Tier II*
<b>Port of Registry</b>	<i>Lake Charles, LA</i>	<b>Harbor Generator</b>	340 kW Caterpillar C-18 Tier II*
<b>Builder</b>	<i>Bollinger Shipyards – Amelia, LA</i>	<b>Main Engines</b>	Caterpillar C-280-12 Tier II* Developing 10,880 (8,113 kW) Total BHP
<b>Overall Dimensions</b>	146' (44.4 m) <i>Ocean Wind / Ocean Wave</i> 156' (47.5 m) <i>Ocean Sky / Ocean Sun</i>	<b>Propellers</b>	(2) 4 Blades Cu-Ni-Al CPP 153.5" (3.9 m) Diameter
<b>Breadth</b>	46' (14.03 m)	<b>Nozzles</b>	High Efficiency
<b>Depth</b>	25' (7.62 m)	<b>Shaft Generators</b>	(2) 1,475 KVA <i>Ocean Wind / Ocean Wave</i> (2) KATO rated 1.5 MW each, <i>Ocean Sky / Ocean Sun</i>
<b>Design Draft</b>	21' (6.4 m)		
<b>Full Capacity</b>	234,738 Gallons (888,58 m <sup>3</sup> ) <i>Ocean Wind / Ocean Wave</i> 251,700 Gallons (973.20 m <sup>3</sup> ) <i>Ocean Sky / Ocean Sun</i>		

Tabel 2.6 Spesifikasi Umum *Ocean Tugboat* (lanjutan)

<i>Construction</i>	<i>Steel</i>	<i>Speed</i>	<i>16 Knots</i>
<b>TONNAGE</b>	1600 GRT	<b>Reduction Gears</b>	(2) Reintjes LAF5666
<b>Fuel Oil Overflow</b>	2,118 gal. (8.02 m <sup>3</sup> )	<b>Stern Thruster</b>	(1) Berg 500 HP – Ocean Sky / Ocean Sun
<b>Fresh Water</b>	19,060 gal. (72.15 m <sup>3</sup> ) Ocean Wind / Ocean Wave 24,700 gal. (93.5 m <sup>3</sup> ) Ocean Sky / Ocean Sun	<b>Bow Thruster</b>	(1) Berg (Electric) VFD 850 HP, Ocean Wind / Ocean Wave (2) Berg (Electric) VFD 500 HP Ocean Sky / Ocean Sun
<b>Shark Jaws</b>	350 MT Triplex Quick Release	<b>Stern Roller</b>	6' (1.83 m) Diameter
<b>Navigation / Communications Equipment</b>	(2) Radar, (2) GPS, GMDSS, Autopilot, Gyrocompass, Depth Sounder – SOLAS Approved, (5) Radios, World Phone, (2) EPIRB, Dynamic Positioning	<b>Classification</b>	A1, Towing Service, AMS, ABS, ABC Fire Fighting Vessel Class 1, ABS DP-1 Ocean Wind/Ocean Wave, ABS DP-2 Ocean Sky/Ocean Sun, USCG Certificate of Inspection, Green Passport, SOLAS, International Load Line Certificate

*DP1 only specs listed in red / DP2 only in blue*

Sumber: [www.crowley.com/offshoreservices](http://www.crowley.com/offshoreservices)

## 2.5 Sistem Propulsi pada Sistem *Dynamic Positioning*

Pada sistem DP, komponen selain sistem kontrol yang berperan paling penting salah satunya adalah sistem propulsi. Sistem propulsi yang dipilih haruslah dapat menunjang gaya yang harus dikeluarkan atas tuntutan dari sensor pada sistem kontrol. Adapun sistem propulsi yang sering digunakan pada sistem DP terdapat dua, antara lain:

### 1. Azimuth Thruster

Salah satu penggunaan azimuth thruster antara lain pada *TB. Ocean Wave* dengan DP Level 1 sesuai pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Ocean Wave Tugboat* dengan Azimuth Thruster

Sumber: <http://www.professionalmariner.com/>



Adapun beberapa keunggulan terkait penggunaan azimuth *thruster* dibandingkan dengan tipe propulsi konvensional, antara lain:

- a. Keunggulan yang utama dari penggunaan *Azimuth Thruster* adalah kemampuannya untuk menghasilkan *thrust* yang optimal ke segala arah.
- b. Meningkatkan kemampuan manuver kapal
- c. Meningkatkan efisiensi elektrik
- d. Memberikan ruang kosong yang lebih besar pada kamar mesin
- e. Menurunkan biaya perawatan

## 2. Voith Schneider Propeler

Voith Schneider Propeller (VSP) merupakan tipe propulsi yang dikatakan paling baik untuk sistem DP di suatu kapal. VSP juga digunakan pada kapal tunda. Berikut merupakan visualisasi dari VSP pada kapal tunda sesuai pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Voith Schneider Propeller (VSP)

Sumber: "Voith Schneider Propeller VSP | Voith," n.d.

Adapun keunggulan-keunggulan dari penggunaan VSP pada sistem DP kapal tunda, antara lain:

- a. Respons sensitif yang berarti dapat memberikan variasi kecepatan dan arah *thrust* dengan mudah dan cepat
- b. Kemampuan manuver yang lebih tinggi dibanding *azimuth thruster*
- c. Efisiensi identik dalam setiap arah
- d. Distribusi daya yang simetris antara propeler dengan ujung kapal
- e. VSP membutuhkan lebih sedikit energi saat mengaktifkan sistem DP sehingga lebih menghemat penggunaan bahan bakar
- f. Umur daripada VSP cenderung awet walaupun sering dioperasikan pada kondisi lingkungan yang ekstrem
- g. Keandalan tinggi dan biaya perawatan yang rendah

## 2.6 Standardisasi pada *Dynamic Positioning*

Pada Tabel 2.7 terdapat badan klasifikasi yang menetapkan standardisasi terkait pengertian beserta aturan-aturan pada perancangan *dynamic positioning*.

Tabel 2.7 Klasifikasi DP dari Badan Klasifikasi berdasarkan IMO

IMO equipment class	DP class notation											
	ABS American Bureau of Shipping (USA)	BV Bureau Veritas (France)	CCS China Classification Society (China)	DNV Det Norske Veritas (Norway)		GL Germanischer Lloyd (Germany)	IRS Indian Register of Shipping (India)	KR Korean Register of Shipping (Korea)	LR Lloyds Register (UK)	NK Nippon Kaiji Kyokai (Japan)	RINA Registro Italiano Navale (Italy)	RS Russian Maritime Register of Shipping (Russia)
	DPS-0	DYNAPOS SAM		DYNAPOS AUTS	DPS 0				DP (CM)		DYNAPOS SAM	
Class 1	DPS-1	DYNAPOS AM/AT	DP-1	DYNAPOS AUT	DPS 1	DP 1	DP(1)	DPS (1)	DP (AM)	Class A DP	DYNAPOS AM/AT	DYNPOS-1
Class 2	DPS-2	DYNAPOS AM/AT R	DP-2	DYNAPOS AUTR	DPS 2	DP 2	DP(2)	DPS (2)	DP (AA)	Class B DP	DYNAPOS AM/AT R	DYNPOS-2
Class 3	DPS-3	DYNAPOS AM/AT RS	DP-3	DYNAPOS AUTRO	DPS 3	DP 3	DP(3)	DPS (3)	DP (AAA)	Class C DP	DYNAPOS AM/AT RS	DYNPOS-3

Sumber: Internasional Maritime Organization

Terdapat tiga level redundansi dari komponen dan sistem pada *dynamic positioning* berdasarkan *International Maritime Organization (IMO) "Guidelines for Vessels and Units with Dynamic Positioning System"* yang didefinisikan dari konsekuensi akibat kehilangan kemampuan untuk mempertahankan posisi, antara lain:

1. Kelas 1 *Dynamic Positioning*, yaitu pada kapal yang apabila keluar dari posisinya, tidak membahayakan nyawa awak kapal dan lingkungan sekitar. Ini adalah sistem *dynamic positioning* yang paling dasar. Adapun pada level ini kemampuan kapal mempertahankan posisi dapat hilang apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen (*single fault*).
2. Kelas 2 *Dynamic Positioning*, yaitu pada kapal yang apabila keluar dari posisinya, dapat membahayakan nyawa awak kapal dan lingkungan sekitar. Pada level ini, kemampuan kapal mempertahankan posisi akan tetap terjaga walaupun terdapat kerusakan pada salah satu komponen atau sistem. Adapun kriteria salah satu komponen atau sistem yang mengalami kerusakan tersebut, antara lain:
  - a. Setiap komponen atau sistem aktif (*generator, thruster, switchboard, jaringan komunikasi, remote-controlled valves, dan lain-lain*), dan
  - b. Setiap komponen statis (*kabel, pipa, katup manual, dan lain-lain*) yang secara langsung dapat memengaruhi kemampuan kapal mempertahankan posisi atas suatu kegagalan.
3. Kelas 3 *Dynamic Positioning*, sama dengan sistem pada kelas 2 yaitu kemampuan kapal mempertahankan posisi akan tetap terjaga walaupun terdapat kerusakan ataupun kegagalan pada salah satu komponen atau sistem. Pada level 3 ini terdapat *back up dynamic positioning*. Level ini biasanya diaplikasikan pada kapal tanker yang melakukan pengeboran di laur dalam. Adapun kegagalan yang dimaksud, antara lain:
  - a. Setiap komponen atau sistem aktif dan komponen statis yang terdapat pada kelas 2,
  - b. Seluruh komponen pada setiap kompartemen kedap akan kebakaran atau banjir, dan
  - c. Seluruh komponen pada setiap *fire sub-division*, dari kebakaran atau banjir.

Salah satu badan klasifikasi yang dijadikan dasar pada penelitian ini adalah *Det Norske Veritas (DNV)*. DNV sendiri adalah badan klasifikasi dengan tujuan menjaga keselamatan properti dan lingkungan di laut dan pinggir laut. Standardisasi mengenai *dynamic positioning* tercantum pada *Rules for Classification of Ships Part 6 Chapter 7*,

*Dynamic Positioning System, July 2011* dan *Dynamic Positioning Vessel Design Philosophy Guidelines, DNVGL-RP-E306, July 2015*. Adapun perihal yang terkandung pada standarisasi ini akan dibahas lebih lanjut pada sub bab berikut.

### 2.6.1 Persyaratan Umum dan Notasi DP

Persyaratan umum yang dimaksud berlaku untuk sistem *dynamic positioning* kapal dan *offshore* unit. Pada persyaratan umum, ditentukan sebuah kelas notasi yang selaras maknanya dengan komponen kelas atau level *redundancy* pada IMO MSC/Circ.645 “*Guidelines for vessels with dynamic positioning systems*”. Kelas notasi pada DNV sendiri terbagi menjadi dua seri yang dibedakan berdasarkan persyaratan spesifik terkait tingkat ketersediaan dan kekuatan. Adapun dua seri tersebut adalah *DYNPOS-series notations* dan *DPS-series notations* dengan *DYNPOS-series notations* merupakan notasi seri yang memiliki tingkat ketersediaan dan kekuatan lebih tinggi dibandingkan *DPS-series notations*. Berikut Tabel 2.8 merupakan detail perbedaan antar kedua notasi.

Tabel 2.8 Notasi Kelas DP berdasarkan DNV

IMO Kelas Komponen	Hierarki Notasi	Deskripsi
Tidak diterapkan	<i>DPS 0</i>	Sistem DP tanpa <i>redundancy</i>
	<i>DYNPOS-AUTS</i>	Sistem DP tanpa <i>redundancy</i> . Persyaratan tambahan diperlukan untuk mendapatkan tingkat ketersediaan dan kekuatan yang lebih tinggi dibanding dengan <i>DPS 0</i> .
Kelas 1	Notasi tidak memerlukan <i>redundancy</i>	<i>DPS 1</i>
		Sistem DP dengan <i>independent joystick system back-up</i> dan <i>position reference back-up</i> . Sistem DP dengan <i>independent joystick system back-up</i> dan <i>position reference back-up</i> . Persyaratan tambahan diperlukan untuk mendapatkan tingkat ketersediaan dan kekuatan yang lebih tinggi dibanding dengan <i>DPS 1</i> .
Kelas 2	Notasi memerlukan <i>redundancy</i>	<i>DPS 2</i>
		Sistem DP dengan <i>redundancy</i> pada desain teknis dan dengan penggunaan <i>independent joystick system back-up</i> . Sistem DP dengan <i>redundancy</i> pada desain teknis dan dengan penggunaan <i>independent joystick system back-up</i> . Persyaratan tambahan diperlukan untuk mendapatkan tingkat ketersediaan dan kekuatan yang lebih tinggi dibanding dengan <i>DPS 2</i> .

Tabel 2.8 Notasi Kelas DP berdasarkan DNV (lanjutan)

IMO Kelas Komponen	Hierarki Notasi	Deskripsi
Kelas 3	DPS 3	Sistem DP dengan <i>redundancy</i> pada desain teknis dan dengan penggunaan <i>independent joystick system back-up</i> , ditambah dengan cadangan sistem kontrol DP pada pusat kontrol darurat DP, yang didesain dengan <i>physical separation</i> untuk komponen-komponen <i>redundancy</i> .
	Notasi memerlukan <i>redundancy</i> dan pemisahan sistem DYNPOS-AUTRO	Sistem DP dengan <i>redundancy</i> pada desain teknis dan dengan penggunaan <i>independent joystick system back-up</i> , ditambah dengan cadangan sistem kontrol DP pada pusat kontrol darurat DP, yang didesain dengan <i>physical separation</i> untuk komponen-komponen <i>redundancy</i> . Persyaratan tambahan diperlukan untuk mendapatkan tingkat ketersediaan dan kekuatan yang lebih tinggi dibanding dengan DPS 3.

*DYNPOS-series* mencakup *DYNPOS-AUTS*, *DYNPOS-AUT*, *DYNPOS-AUTR*, dan *DYNPOS-AUTRO notations* sedangkan *DPS-series* mencakup *DPS 0*, *DPS 1*, *DPS 2*, dan *DPS 3 notations*.

Sumber: "DNV-RP-H103: Modelling and Analysis of Marine Operations," 2011

Adapun beberapa definisi terkait sistem DP yang perlu diketahui dalam perancangan sistem DP pada kapal, antara lain:

1. Sistem kontrol DP, adalah seluruh sistem kontrol dan komponen, perangkat keras, dan perangkat lunak yang dibutuhkan untuk mempertahankan posisi kapal secara dinamis. Adapun sistem kontrol DP terdiri dari:
  - a. Komputer kontrol DP
  - b. Sistem sensor
  - c. Sistem tampilan (*Display system*)
  - d. Panel operator
  - e. Sistem referensi posisi (*Positioning reference system*)
  - f. *Associated cabling and cable routing*
2. Sistem DP, adalah seluruh instalasi yang diperlukan untuk mempertahankan posisi kapal secara dinamis, terdiri dari:
  - a. Sistem daya (*Power system*)
  - b. Sistem penggerak (*Thruster system*)
  - c. Kontrol sistem DP
  - d. *Independent joystick system*
3. Kapal DP, adalah kapal yang mampu mempertahankan posisinya (posisi tetap atau posisi dalam bentuk jalur) secara otomatis dengan menggunakan gaya dari penggerak kapal tersebut.
4. *Joystick*, adalah alat yang digunakan untuk mengatur arah vektor dari keluaran penggerak termasuk momen putaran.

5. Mode operasional adalah tingkah laku kontrol dari operasi sistem DP, antara lain:
  - a. Mode otomatis (*automatic position and heading control*)
  - b. Mode joystick (*manual position control with selectable automatic or manual heading control*)
  - c. Mode manual (*individual control of thrust, azimuth, start/stop of each thruster*)
  - d. Mode lacak otomatis (*considered as a variant of automatic position control, with programmed movement of reference point*)
6. Sistem referensi posisi (*Position/heading reference system*), adalah seluruh perangkat keras, perangkat lunak, dan sensor yang menyuplai informasi dan atau koreksi yang dibutuhkan untuk memberikan referensi posisi, termasuk *power supply*.
7. Sistem daya (*Power system*), adalah seluruh komponen dan sistem yang dibutuhkan untuk menyuplai sistem DP dengan daya. Adapun sistem daya terdiri dari:
  - a. Penggerak utama dengan sistem bantu yang dibutuhkan termasuk perpipaan
  - b. Generator
  - c. *Switchboards*
  - d. *Uninterruptible power supplies* (UPS) dan baterai
  - e. Sistem distribusi termasuk *cabling* dan *cable routing*
  - f. Untuk *DYNPOS-AUTR* dan *DYNPOS-AUTRO*: sistem manajemen daya (*Power management system*).
8. *Redundancy* adalah seluruh komponen dan sistem yang ditujukan untuk menanggulangi kegagalan tunggal.
9. Sistem penggerak adalah seluruh komponen dan sistem yang dibutuhkan untuk menyuplai sistem DP dengan gaya dorong dan arah dorongan. Adapun sistem penggerak terdiri:
  - a. Penggerak dengan *drive units* dan sistem bantu yang dibutuhkan termasuk perpipaan
  - b. Kontrol penggerak (*thruster control*)
  - c. *Associated cabling* dan *cable routing*
  - d. Propeler dan kemudi utama jika terdapat kontrol pada sistem DP

### 2.6.2 Pengaturan Umum DP

Keperluan umum untuk desain sistem DP terkait pengaturan sistem dan *redundancy* terdapat pada Tabel 2.9. Berikut merupakan pengaturan umum yang dimaksud.

Tabel 2.9 Pengaturan Umum Sistem DP

Sub-sistem atau Komponen		Persyaratan minimal untuk notasi kelas			
		<i>DYNPOS-AUTS</i> <i>DPS 0</i>	<i>DYNPOS-AUT</i> <i>DPS 1</i>	<i>DYNPOS-AUTR</i> <i>DPS 2</i>	<i>DYNPOS-AUTRO</i> <i>DPS 3</i>
Sistem daya kelistrikan	Sistem kelistrikan	<i>No-Redundancy</i>	<i>No-Redundancy</i>	<i>Redundancy</i> pada desain teknis	<i>Redundancy</i> pada desain teknis dan kompartemen terpisah
	<i>Main switchboard</i>	1	1	1	2 pada kompartemen terpisah

Tabel 2.9 Pengaturan Umum Sistem DP (lanjutan)

Sub-sistem atau Komponen	Persyaratan minimal untuk notasi kelas				
	<i>DYNPOS-AUTS</i>	<i>DYNPOS-AUT</i>	<i>DYNPOS-AUTR</i>	<i>DYNPOS-AUTRO</i>	
	<i>DPS 0</i>	<i>DPS 1</i>	<i>DPS 2</i>	<i>DPS 3</i>	
Sistem daya kelistrikan	Sistem kelistrikan	<i>No-Redundancy</i>	<i>No-Redundancy</i>	<i>Redundancy</i> pada desain teknis	<i>Redundancy</i> pada desain teknis dan kompartemen terpisah
	<i>Main switchboard</i>	1	1	1	2 pada kompartemen terpisah
	<i>Bus-tie breaker</i>	0	0	1	2, 1 <i>breaker</i> pada tiap <i>MSB</i>
	Sistem distribusi	<i>Non-Redundant</i>	<i>Non-Redundant</i>	<i>Redundant</i>	<i>Redundant</i> , melalui kompartemen terpisah
	Manajemen daya	Tidak	Tidak	<i>AUTR</i> : Ya <i>DPS 2</i> : Tidak	<i>AUTRO</i> : Ya <i>DPS 3</i> : Tidak
Penggerak	Pengaturan dari penggerak	<i>No-Redundancy</i>	<i>No-Redundancy</i>	<i>Redundancy</i> pada desain teknis	<i>Redundancy</i> pada desain teknis dan kompartemen terpisah
	<i>Single levers</i> untuk setiap penggerak pada pusat kontrol DP utama	Ya	Ya	Ya	Ya
Sistem kontrol posisi	Kontrol otomatis; jumlah sistem komputer	1	1	2	2+1 dalam pusat kontrol alternatif
	Kontrol manual; <i>independent joystick system</i> dengan AHC	Tidak	Ya	Ya	Ya
	<i>Position reference system</i>	1	2	3	3 dengan 1 di dalam pusat kontrol alternatif
Sensor	Angin	1	1	2	2 dengan 1 di dalam pusat kontrol alternatif
	Sensor Eksternal <i>Gyro compass</i>	1	1	3	3 dengan 1 di dalam pusat kontrol alternatif
	<i>Vertical reference sensor (VRS)</i>	1	1	<i>AUTR</i> : Ya <i>DPS 2</i> : Tidak	3 dengan 1 di dalam pusat kontrol alternatif
	<i>Uninterruptible power supplies (UPS)</i>	0	1	2	2+1 dalam kompartemen terpisah
	Printer	Ya	Ya	Ya	Ya
	Pusat kontrol alternatif untuk unit cadangan kontrol DP	Tidak	Tidak	Tidak	Ya

Sumber: "DNV-RP-H103: Modelling and Analysis of Marine Operations," 2011

Adapun perbandingan utama antara notasi *DPS-series* dan *DYNPOS-series* ditampilkan pada Tabel 2.10 perbedaan dinyatakan pada ketentuan masing-masing komponen teknis. Berikut merupakan perbandingan yang dimaksud.

Tabel 2.10 Perbedaan antara notasi *DPS-series* dan *DYNPOS-series*

Komponen teknis	Referensi aturan	Notasi Kelas							
		<i>DPS 0</i>	<i>DYNPOS-AUTS</i>	<i>DPS 1</i>	<i>DYNPOS-AUT</i>	<i>DPS 2</i>	<i>DYNPOS-AUTR</i>	<i>DPS 3</i>	<i>DYNPOS-AUTRO</i>
Konfigurasi penggerak tanpa penggerak pada <i>stern</i> ; penggerak samping berdasarkan kombinasi kemudi dan propeler	Sec. 4 A201 & A301	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
<i>Redundancy</i> dapat didasari atas perubahan dari penggerak tunggal di <i>stern</i>	Sec. 2 B202 & 204	NA	NA	NA	NA	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
Persyaratan pemantauan untuk <i>steering gear</i>	Pt. 4 Ch. 14 Sec. 1 E802	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
Sistem manajemen daya yang dibutuhkan	Sec. 5 C101	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya
Komponen statis dapat diterima pada <i>redundant</i> oli bahan bakar, pendingin air tawar, dan sistem pneumatis	Sec. 6 B101 & Sec. 2 B401	NA	NA	NA	NA	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
Jumlah dari VRS yang dibutuhkan	Sec. 2 C101 & Table C1	1	1	1	1	2	3	3	3
<i>Loop monitoring of emergency stop loops</i>	Sec. 4 A405	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya
HMI untuk sistem referensi posisi yang dibutuhkan di luar	Sec. 3 E200	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
Sistem kontrol DP utama harus menggunakan mode <i>joystick</i>	Sec. 3 C107	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
ERN yang dibutuhkan	Sec. 1 A701 & Sec. 7	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya

NA = *Not Applicable*

Sumber: "DNV-RP-H103: Modelling and Analysis of Marine Operations," 2011

### 2.6.3 Sistem Kontrol DP

Sistem kontrol DP merupakan bagian yang krusial dalam proses desain. Sertifikasi bahkan diperlukan atas sistem kontrol DP yang di desain untuk memastikan desain telah memenuhi notasi kelas dari badan klasifikasi. Adapun faktor yang perlu diperhatikan dalam memilih sistem kontrol DP, antara lain:

1. Keandalan dan ketersediaan komponen, sub-sistem, dan sistem
2. Model matematis untuk mengoptimalkan kontrol
3. *Sensor handling*
4. Batasan daya
5. *Independent joystick system*, pada notasi DPS 1 memiliki ketentuan sebagai berikut:
  - a. *Independent joystick system* harus mampu mengontrol penggerak secara manual dengan *joystick independent* yang umum dari sistem kontrol DP. *Independent joystick system* harus termasuk kontrol heading otomatis (*automatic heading control*).
  - b. Setiap kegagalan pada *independent joystick system* harus dapat diketahui dengan alarm
  - c. Setiap kegagalan yang menyebabkan hilangnya kontrol operator terhadap penggerak pada *independent joystick system* harus dapat menghentikan perintah penggerak atau mengontrol kembali penggerak ke titik nol.
6. *Positioning reference system*, pada notasi DPS 1 memiliki ketentuan sebagai berikut:
  - a. Dibutuhkan lebih dari satu jumlah pemasangan *positioning reference system*, minimal dua.
  - b. Pada pengawasan *positioning reference system* harus terdapat alarm untuk fungsi kinerja elektrik dan mekanik, adapun alarm terkait daya, tekanan, temperatur, dan lain-lain.
  - c. *Positioning reference system* harus menyediakan data posisi terbaru dengan *refresh rate* dan akurasi yang tinggi dan cocok terhadap operasi DP. Akurasi yang dimaksud antara lain radius dari 2% kedalaman air untuk *bottom-based system* dan radius dari 3 meter untuk *surface-based system*.
  - d. Diperlukan alarm untuk kegagalan terhadap *positioning reference system* yang dapat menyebabkan pengurangan kualitas, kehilangan sinyal posisi atau *redundancy*.
  - e. Apabila dibutuhkan lebih dari satu *positioning reference system*, maka masing-masingnya harus mandiri terhadap transmisi sinyal dan *interfaces*.

### 2.6.4 Sistem Penggerak DP

Sistem penggerak yang dimaksud di sini adalah propulsi daripada kapal dengan tujuan untuk mempertahankan posisi atau jalur kapal sesuai kebutuhan dengan sistem DP. Pada desain propulsi untuk memenuhi kebutuhan tersebut, desainer dituntut untuk memiliki prinsip desain dalam mendesain propulsi kapal, yaitu dengan mengutamakan keandalan, *redundancy*, efisiensi, kekuatan, keringkasan, lingkungan operasi, dan kemudahan perawatan sistem propulsi yang didesain. Berikut pembahasan lebih lanjut mengenai hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain sistem propulsi, antara lain:

1. Penggerak Kapal dengan Sistem DP



Adapun penggerak yang digunakan pada umumnya untuk kapal dengan sistem DP antara lain:

- a. Model penggerak *azimuth*
- b. Model penggerak *fixed direction*
- c. Kombinasi antara tipe penggerak *azimuth* dan *fixed direction*

## 2. Karakteristik Penggerak Kapal dengan Sistem DP

Adapun karakteristik dari model penggerak kapal dengan sistem DP yang disebutkan pada Tabel 2.11 berikut karakteristik yang dimaksud.

Tabel 2.11 Karakteristik penggerak

<b>Tipe</b>	<b>Kegunaan</b>	<b>Keuntungan</b>	<b>Kerugian</b>
Model penggerak <i>fixed direction</i>			
Sistem propulsi konvensional <i>in-line</i>	Umumnya digunakan untuk transit dan pertahanan posisi (menyediakan dorongan pada arah membujur) suatu kapal dengan sistem DP ( <i>Diving support vessels, pipe-laying vessels, older generation of drill vessels</i> ).	Ringkas, andal, dan kuat. Perawatan sangat jarang, efisiensi tinggi untuk DP dengan <i>ducted propellers</i> .	Memerlukan <i>reverse gear</i> atau <i>CP</i> propeler untuk mengubah arah dari <i>AHEAD</i> ke <i>STERN</i> . Penggerak cadangan dibutuhkan untuk penggerak melintang pada bagian <i>forward</i> dan <i>aft</i> . Berkurangnya efisiensi saat operasi terbalik ( <i>reverse operation</i> )
Penggerak melintang ( <i>Transverse tunnel thruster</i> )	Biasa dipasang pada haluan dan/atau buritan kapal untuk memberikan dorongan melintang dan gaya untuk manuver <i>yaw</i>	Pemasangan yang ringkas, terproteksi dengan baik, <i>hydrodynamically smooth uniform operation</i> , tahan lama	<i>Mediocre performance</i> (tergantung pada panjang <i>tunnel</i> , konfigurasi keluar/masuk <i>tunnel</i> ). Pada propeler FP, diperlukan putaran balik dari perputaran <i>sense</i> untuk mengubah arah dorongan. Tidak ada ruang untuk perawatan. Pemasangan atau pelepasan komponen memerlukan <i>drydocking</i> . Terakhir, dapat kehilangan dorongan ketika kapal bergerak dengan ekstrem.
<i>Ducted transverse thruster</i>	Biasa dipasang di bawah lambung, <i>forward</i> dan <i>after</i> untuk memberikan dorongan melintang; sering kali dipasang pada <i>retractable container</i> .	Performa tinggi pada tiap arah. Desain ringkas dan kokoh. Kemudahan akses perawatan.	Pada propeler FP, memerlukan putaran balik dari perputaran <i>sense</i> untuk mengubah arah dorongan.

Tabel 2.11 Karakteristik Penggerak (lanjutan)

Tipe	Kegunaan	Keuntungan	Kerugian
Model penggerak dengan kontrol arah dorongan			
<i>Azimuth thruster</i>	Merupakan penggerak yang paling populer digunakan untuk <i>transit</i> dan mempertahankan posisi untuk <i>DP MODU's (Mono hull and column stabilized)</i> . Biasanya dipasang di bawah lambung sehingga meninggikan sarat kapal. Kapal kecil dengan sistem DP	Desain yang terbukti keandalannya, performa tinggi. Mudah dalam perawatan dan tidak perlu <i>drydocking</i> untuk perawatan. <i>Containerized azimuth thruster</i> : penggerak ini dipasang dalam kontainer kedap air yang di dalamnya terdapat motor penggerak dan sistem bantu. Kontainer tersebut dapat	Pemasangan di dalam air, rumit dalam proses bongkar, dan memakan waktu lama. Sering kali membutuhkan kapal bantu. <i>Retractable azimuth thruster</i> tanpa kontainer secara mekanik sangat kompleks, mahal, dan membutuhkan perawatan terbaik. Perawatan membutuhkan <i>drydocking</i> .
<i>Azimuth thruster</i>	Menggunakan <i>azimuth thruster</i> dipasang pada <i>steg</i> kapal (di atas <i>base line</i> ). Pemasangan pada <i>forward</i> memerlukan <i>retractable azimuth thruster</i> untuk meminimalkan sarat saat <i>transit</i> .	dipindahkan posisinya di atas garis air. Tipe pemasangan ini merupakan yang paling optimum untuk aplikasi DP.	
<i>Voith Schneider Propeller (VSP)</i>	Tipe penggerak yang sangat spesial untuk operasi DP. VSP merupakan <i>cycloidal propeller</i> yang beroperasi pada aksis vertikal.	VSP merupakan penggerak yang ideal untuk DP dengan mengombinasikan karakteristik propeler CP dengan kontrol arah dari dorongan dalam 360 derajat. VSP memungkinkan gaya yang sia-sia dari kontrol penggerak dalam memberikan dorongan sesuai arah yang diperlukan. VSP dapat disuplai dengan <i>integral active anti-roll system</i> .	Kompleks secara mekanis, biaya yang diperlukan tergolong mahal, dan perawatan yang dibutuhkan sangat presisi. VPS membatasi aplikasi kapal dengan sarat rendah dan sering kali digunakan hanya pada operasi khusus.

Sumber: "DNVGL-RP-E306 Dynamic Positioning Vessel Design Philosophy Guidelines," 2015

### 3. Motor Penggerak Propulsi Kapal dengan Sistem DP

Adapun motor penggerak propulsi pada kapal dengan sistem DP yang dapat digunakan, antara lain:

- a. Motor elektrik – induksi AC, sinkronis, DC (digunakan frekuensi yang lebih rendah), merupakan motor penggerak yang paling banyak digunakan dalam sistem DP.
- b. Motor hidrolik, merupakan motor penggerak yang paling jarang digunakan.

- c. Motor yang digerakkan langsung oleh mesin diesel, merupakan motor penggerak yang umum digunakan pada kapal logistik.

## 2.7 Permodelan Dinamika Kapal

Berdasarkan (Fossen, 1994), permodelan dinamika kapal didapatkan dari turunan Hukum Newton II berikut.

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

Dengan,

- $M$  = Matriks Inersia  
 $C(v)$  = Matriks coriolis  
 $D(v)$  = Matriks redaman  
 $g(\eta)$  = Vektor gaya dan momen gravitasi  
 $\tau$  = Vektor masukan kendali

Persamaan 2.1 merupakan persamaan umum yang digunakan dalam permodelan dinamika kapal dengan 6 DOF. Persamaan ini kemudian diturunkan menjadi persamaan (2.2) sampai (2.7) berikut.

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

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

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

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

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

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

Adapun pada persamaan kendali dilakukan asumsi sebagai berikut.

1. Distribusi massa homogen dan bidang xz simetri ( $I_{xy} = I_{yz} = 0$ )
2. Gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch* diabaikan ( $w = p = q = \dot{w} = \dot{p} = \dot{q} = 0$ )

Berikut perubahan yang terjadi pada persamaan (2.2) hingga (2.7) berdasarkan kedua asumsi tersebut.

$$Sway : m(\dot{v} + ur + x_G\dot{r}) = Y \quad (2.8)$$

$$Yaw : I_z\dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) = N \quad (2.9)$$

Permodelan dinamika kapal yang digunakan adalah permodelan Davidson dan Schiff. Berikut persamaan (2.8) dan (2.9) dapat diubah menjadi persamaan (2.10) dan (2.11) berdasarkan pernyataan teori linear terhadap gaya hidrodinamik dan momen.

$$Sway : Y = Y_{\dot{v}}\dot{v} + Y_{\dot{r}}\dot{r} + Y_v v + Y_r r + Y_{\delta}\delta_R \quad (2.10)$$

$$Yaw : N = N_{\dot{v}}\dot{v} + N_{\dot{r}}\dot{r} + N_v v + N_r r + N_{\delta}\delta_R \quad (2.11)$$

Kemudian, berikut persamaan (2.12) dan (2.13) merupakan hasil substitusi persamaan (2.8) dan (2.9) ke dalam persamaan (2.10) dan (2.11).

$$Sway : m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) = Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_v v + Y_r r + Y_{\delta} \delta_R \quad (2.12)$$

$$Yaw : I_z \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) = N_{\dot{v}} \dot{v} + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_v v + N_r r + N_{\delta} \delta_R \quad (2.13)$$

Adapun persamaan (2.12) dan (2.13) diubah menjadi persamaan (2.14) dan (2.15) berikut untuk menyisakan masukan kendali pada sisi kanan.

$$(m - Y_{\dot{v}}) \dot{v} + (mx_G - Y_{\dot{r}}) \dot{r} - Y_v v + (mu - Y_r) r = Y_{\delta} \delta_R \quad (2.14)$$

$$(mx_G - N_{\dot{v}}) \dot{v} + (I_z - N_{\dot{r}}) \dot{r} - N_v v + (mx_G u - N_r) r = N_{\delta} \delta_R \quad (2.15)$$

Berdasarkan persamaan gerak kapal (2.16) dengan  $v = [v, r]^T$  *state vector* dan  $\delta_R$  adalah sudut aktuator kapal. Oleh karena itu, didapat matriks inersia atau  $M$  (2.17), matriks redaman  $N(u_0)$  (2.18), dan matriks gaya atau momen aktuator (2.19).

$$M \dot{v} + N(u_0) v = b \delta_R \quad (2.16)$$

$$M = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mx_G - Y_{\dot{r}} \\ mx_G - N_{\dot{v}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$N(u_0) = \begin{bmatrix} -Y_v & mu - Y_r \\ -N_v & mx_G u - N_r \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

$$b = \begin{bmatrix} Y_{\delta} \\ N_{\delta} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Diketahui bahwa matriks  $N(u_0)$  merupakan persamaan yang didapat dari penjumlahan *linear damping*  $D$  dan *Coriolis and centripetal terms*  $C(u_0)$  sehingga,

$$N(u_0) = C(u_0) + D \quad (2.20)$$

Berdasarkan (Rowell, 2002), model *state space* yang berhubungan dengan persamaan gerak kapal (2.16) diperoleh dengan menjadikan  $\dot{x} = [v, r]^T$  sebuah *state vector* dan  $u = \delta_R$ . Berikut merupakan persamaan model *state space* yang terdapat pada persamaan (2.21) hingga (2.23).

$$\dot{x} = Ax + b_1 u \quad (2.21)$$

$$A = -M^{-1}N = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$b_1 = M^{-1}b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Pada persamaan (2.22) dan (2.23) terdapat determinan matriks M dan matriks N yang nilainya didapat dengan menggunakan persamaan (2.24) dan (2.25) berikut.

$$\det(M) = (m - Y_{\dot{v}})(I_z - N_{\dot{r}}) - (mx_G - N_{\dot{v}})(mx_G - Y_{\dot{r}}) \quad (2.24)$$

$$\det(N) = Y_v(N_r - mx_G u_0) - N_v(Y_r - mu_0) \quad (2.25)$$

Selain daripada determinan matriks M dan matriks N, koefisien yang terdapat pada persamaan (2.22) dan (2.23) dapat diketahui dengan persamaan (2.26) hingga (2.31) berikut.

$$a_{11} = \frac{(I_z - N_{\dot{r}})Y_{\dot{v}} - (mx_G - Y_{\dot{r}})N_v}{\det(M)} \quad (2.26)$$

$$a_{12} = \frac{(I_z - N_{\dot{r}})(Y_r - mu_0) - (mx_G - Y_{\dot{r}})(N_r - mx_G u_0)}{\det(M)} \quad (2.27)$$

$$a_{21} = \frac{(m - Y_{\dot{v}})N_v - (mx_G - N_{\dot{v}})Y_{\dot{v}}}{\det(M)} \quad (2.28)$$

$$a_{22} = \frac{(m - Y_{\dot{v}})(N_r - mx_G u_0) - (mx_G - N_{\dot{v}})(Y_r - mu_0)}{\det(M)} \quad (2.29)$$

$$b_1 = \frac{(I_z - N_{\dot{r}})Y_{\delta} - (mx_G - Y_{\dot{r}})N_{\delta}}{\det(M)} \quad (2.30)$$

$$b_2 = \frac{(m - Y_{\dot{v}})N_{\delta} - (mx_G - N_{\dot{v}})Y_{\delta}}{\det(M)} \quad (2.31)$$

Berikut merupakan parameter yang digunakan dalam hidrodinamika kapal.

- $m$  = Massa Kapal
- $x_G$  = *Specific gravity*
- $I_z$  = Momen inersia pada sumbu z
- $u_0$  = Kecepatan linear pada sumbu x
- $Y_{\dot{v}}$  = Turunan gaya arah *sway* terhadap  $\dot{v}$
- $Y_{\dot{r}}$  = Turunan gaya arah *sway* terhadap  $\dot{r}$
- $Y_v$  = Turunan gaya arah *sway* terhadap v
- $Y_r$  = Turunan gaya arah *sway* terhadap r
- $N_{\dot{v}}$  = Turunan momen *sway* terhadap  $\dot{v}$
- $N_{\dot{r}}$  = Turunan momen *yaw* terhadap  $\dot{r}$
- $N_v$  = Turunan momen *sway* terhadap v
- $N_r$  = Turunan momen *yaw* terhadap r
- $Y_{\delta}$  = Gaya aktuator pada sumbu y
- $N_{\delta}$  = Momen aktuator di sekitar sumbu z

Koefisien hidrodinamika yang digunakan pada matriks (2.17) hingga matriks (2.19) merupakan hasil dari regresi linier Clarke (1982) yang merupakan persamaan empiris. Berikut merupakan persamaan regresi Clarke (2.32) hingga (2.43).

$$\frac{-Y'_{\dot{v}}}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.16 \frac{C_{BB}}{T} - 5.1 \left(\frac{B}{L}\right)^2 \quad (2.32)$$

$$\frac{-Y'_{\dot{r}}}{\pi(T/L)^2} = 0.67 \left(\frac{B}{L}\right) - 0.0033 \left(\frac{B}{T}\right)^2 \quad (2.33)$$

$$\frac{-N'_{\dot{v}}}{\pi(T/L)^2} = 1.1 \left(\frac{B}{L}\right) - 0.041 \left(\frac{B}{T}\right) \quad (2.34)$$

$$\frac{-N'_{\dot{r}}}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{12} + 0.017 \frac{C_{BB}}{T} - 0.33 \left(\frac{B}{L}\right) \quad (2.35)$$

$$\frac{-Y'_{\dot{v}}}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.40 \frac{C_{BB}}{T} \quad (2.36)$$

$$\frac{-Y'_{\dot{r}}}{\pi(T/L)^2} = -\frac{1}{2} + 2.2 \left(\frac{B}{L}\right) - 0.08 \left(\frac{B}{T}\right) \quad (2.37)$$

$$\frac{-N'_{\dot{v}}}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{2} + 2.4 \left(\frac{T}{L}\right) \quad (2.38)$$

$$\frac{-N'_{\dot{r}}}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{4} + 0.039 \left(\frac{B}{T}\right) - 0.56 \left(\frac{B}{L}\right) \quad (2.39)$$

$$Y'_{\delta} = \frac{\pi A_{\delta}}{4LT} \quad (2.40)$$

$$N'_{\delta} = -\frac{1}{2} Y'_{\delta} \quad (2.41)$$

$$I'_{\dot{r}} = m' \cdot r'^2 \quad (2.42)$$

$$I'_{\dot{z}} = m' X'_G + I'_{\dot{r}} \quad (2.43)$$

Matriks (2.17) hingga (2.19) membutuhkan koefisien hidrodinamika *dimensional* sedangkan koefisien hidrodinamika dari hasil regresi Clarke pada persamaan (2.32) hingga (2.43) merupakan koefisien hidrodinamika *non-dimensional*. Oleh karena itu, digunakan sebuah metode normalisasi untuk mengubah koefisien hidrodinamika *dimensional* tersebut menjadi *non-dimensional*. Adapun metode tersebut adalah metode *Prime-System* SNAME. Metode ini terdiri dari tiga jenis, yaitu *Prime-System I*, *Prime-System II*, dan *Bis-System*. *Prime-System I* menggunakan 2 parameter, yaitu kecepatan kapal ( $U$ ) dan panjang kapal ( $L = L_{PP}$ ). *Prime-System II* digunakan akibat adanya *wing theory* sedangkan *Bis-System* digunakan pada bangunan lepas pantai yang diam di laut. Adapun koefisien hidrodinamika yang didapat akan dinormalisasikan dengan menggunakan *Prime-System I* sesuai Tabel 2.12 berikut.

Tabel 2.12 Prime-System I

Satuan	<i>Prime-System I</i>
Panjang	L
Massa	$\frac{1}{2} \rho L^3$
Momen Inersia	$\frac{1}{2} \rho L^5$
Waktu	L/U
Area Referensi	L <sup>2</sup>
Posisi	L

Tabel 2.12 Prime-System I (lanjutan)

Satuan	<i>Prime-System I</i>
Sudut	1
Kecepatan Linear	U
Kecepatan Angular	U/L
Percepatan Linear	U <sup>2</sup> /L
Percepatan Angular	U <sup>2</sup> L <sup>2</sup>
Gaya	$\frac{1}{2} \rho U^2 L^2$
Momen	$\frac{1}{2} \rho U^2 L^3$

Berikut normalisasi yang digunakan pada persamaan (2.44) merupakan normalisasi kombinasi antara variabel keadaan aktual dengan *non-dimensional* model parameter.

$$\begin{bmatrix} \frac{L}{U^2} m'_{11} & \frac{L^2}{U^2} m'_{12} \\ \frac{L}{U^2} m'_{21} & \frac{L^2}{U^2} m'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{U} n'_{11} & \frac{L}{U} n'_{12} \\ \frac{1}{U} n'_{21} & \frac{L}{U} n'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b'_1 \\ b'_2 \end{bmatrix} \delta_R \quad (2.44)$$

## 2.8 Sistem Kendali PID

Sistem kendali PID merupakan kendali yang memiliki tingkat kesederhanaan dan keandalan tinggi pada beragam skenario operasi. Persamaan (2.45) berikut merupakan fungsi dari sistem kendali PID.

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.45)$$

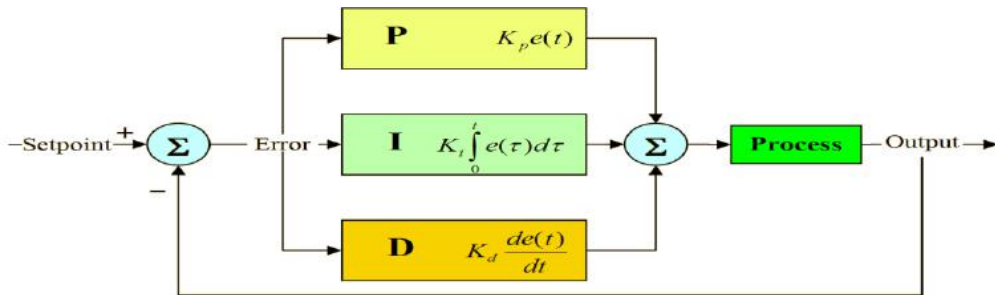
Pada persamaan (2.45) terdapat tiga parameter utama sistem kendali PID, antara lain  $K_p$  (*Gain Proportional*),  $K_i$  (*Gain Integral*), dan  $K_d$  (*Gain Derivative*). Ketiga parameter ini memiliki peran fungsi masing-masing dalam respons sistem kendali sehingga dengan mengatur ketiga parameter ini, maka dapat dihasilkan respons sistem kendali yang optimal. Respons sistem kendali optimal yang dimaksud adalah respons dengan nilai maksimal dalam meminimalkan waktu respons, nilai *error steady state*, dan *overshoot*. Tabel 2.13 berikut merupakan karakteristik dari masing-masing parameter pada sistem kendali PID.

Tabel 2.13 Karakteristik Sistem Kendali PID

<i>Controller Response</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Steady State-Error</i>
<b>Kp</b>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Small Change</i>	<i>Decrease</i>
<b>Ki</b>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Increase</i>	<i>Eliminate</i>
<b>Kd</b>	<i>Small Change</i>	<i>Decrease</i>	<i>Decrease</i>	<i>Small Change</i>

Pada tabel 15 diketahui bahwa masing-masing parameter kendali PID memiliki karakteristik yang saling berkaitan. Salah satu keterkaitan tersebut dapat diamati apabila

nilai  $K_p$  meningkat yang mengakibatkan nilai *overshoot* pun meningkat, maka nilai *overshoot* perlu dikurangi dengan meningkatkan nilai  $K_d$  yang menurunkan nilai *overshoot* sehingga *overshoot* sistem menjadi stabil pada nilai yang diinginkan. Adapun skema sistem kendali PID yang tergambar pada Gambar 2.8 berikut.



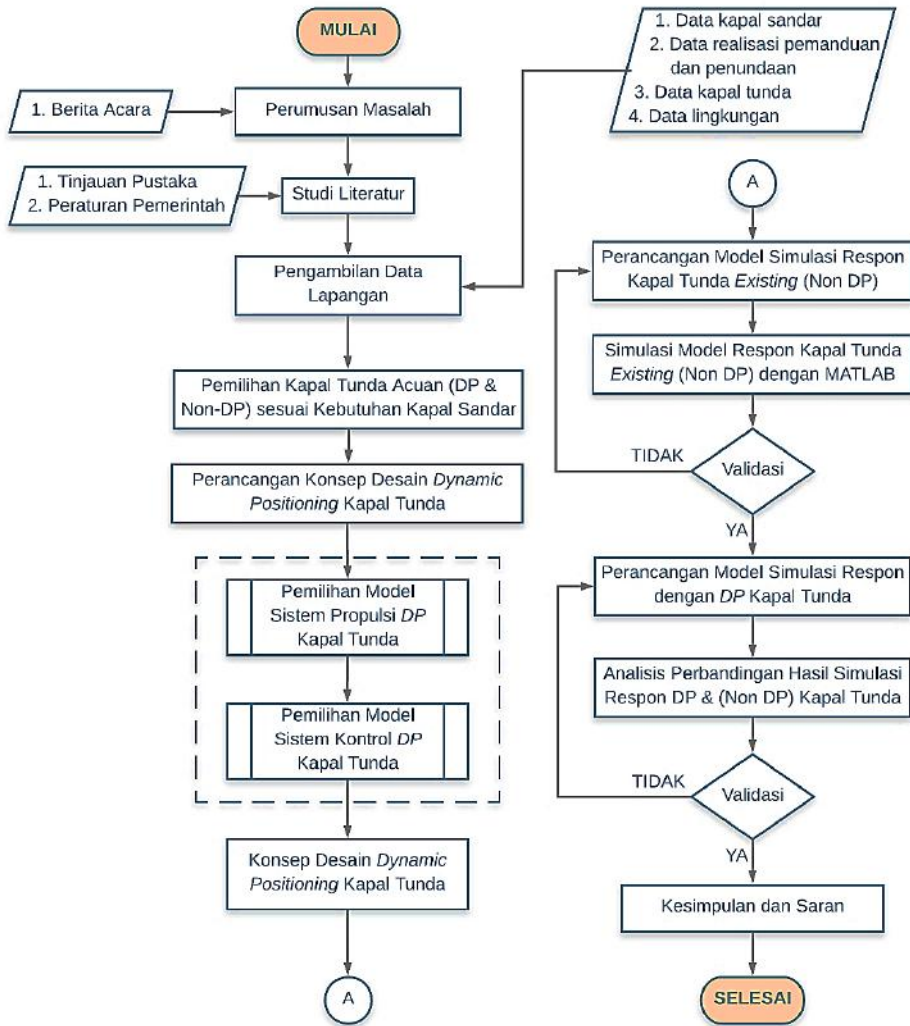
Gambar 2.8 Skema Sistem Kendali PID

Gambar 2.8 menggambarkan skema daripada sistem kendali PID. Sistem kendali dimulai dari masukan berupa *error set point* yang merupakan kesalahan dari hasil keluaran, kemudian *error set point* ini diterima oleh ketiga parameter kendali P, I, dan D. Parameter PID berfungsi untuk mengoreksi nilai *error* yang didapat sehingga dapat menghasilkan nilai keluaran sesuai keinginan untuk digunakan pada *process*. Akan tetapi, untuk menghasilkan kendali PID yang dapat mengeluarkan nilai koreksi sesuai kebutuhan perlu dilakukan *tuning* terlebih dahulu. Adapun *tuning* pada penelitian ini dilakukan dengan metode *trial and error*.



# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian merupakan ulasan mengenai metode kajian yang dilakukan untuk mencapai sebuah solusi dari suatu permasalahan dalam penelitian. Adapun metode kajian yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode kajian ekonomis pengadaan kapal tunda. Pada Gambar 3.1 terdapat langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini, dimulai dari perumusan masalah hingga pada akhirnya mendapatkan rekomendasi dan saran sebagai hasil akhir dari penelitian. Penjelasan lebih lanjut mengenai langkah-langkah tersebut akan dibahas pada sub bab berikut.

### 3.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini dilatar belakangi oleh suatu permasalahan yang didapat dari berita acara kecelakaan dan kerugian kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan kapal pada perusahaan terkait. Pada proses kajian, penelitian dilakukan fokus pada rumusan masalah dan tujuan tertentu serta dengan batasan-batasan permasalahan yang dirancang agar hasil dari penelitian menjadi tepat sasaran.

### 3.3 Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini meliputi data umum perusahaan, data tata letak dan fasilitas terminal, data kapal tunda sewa dan milik, serta data dan frekuensi kapal sandar/lepas pada kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan kapal perusahaan terkait. Data rujukan tersebut merupakan data yang masih relevan dengan keadaan terkini sehingga hasil dari pengolahan data nantinya dapat dimanfaatkan sesuai keadaan terkini.

### 3.4 Pengambilan Data

Setelah mendapat studi literatur sebagai rujukan penelitian, selanjutnya dilakukan pengambilan data sebagai bahan utama penelitian. Pengambilan data ini dilakukan agar penelitian memiliki kualitas yang dapat dipertanggungjawabkan karena data atau bahan penelitian sesuai dengan kondisi riil di lapangan. Adapun data yang diambil pada perusahaan terkait sebagai bahan penelitian, antara lain:

1. Data kapal sandar
2. Data realisasi pemanduan dan penundaan
3. Data kapal tunda
4. Data lingkungan

### 3.5 Pemilihan Kapal Tunda Acuan (DP & Non DP) sesuai Kebutuhan Kapal Sandar

Berdasarkan data lapangan yang telah diamati, maka selanjutnya dapat dilakukan pemilihan kapal tunda acuan (DP & Non DP atau *existing*) berdasarkan kebutuhan kapal sandar/lepas di daerah operasi CIB dan SPM, PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap. Kapal tunda pilihan tersebut yang akan digunakan sebagai dasar perancangan konsep desain DP kapal tunda. Adapun pemilihan dilakukan terhadap hal-hal berikut, antara lain:

1. Ukuran utama kapal tunda
2. Daya dan jumlah mesin utama kapal tunda
3. *Bollard pull* kapal tunda
4. DP dan Non-DP atau *existing* kapal tunda

### 3.6 Perancangan Konsep Desain *Dynamic Positioning* Kapal Tunda

Pada metode kajian ini, dilakukan perancangan konsep desain *dynamic positioning* kapal tunda. Langkah dalam perancangan dilakukan dengan tujuan agar DP kapal tunda yang di desain sesuai dengan kebutuhan operasi penundaan tempat penelitian dilakukan serta meningkatkan efektivitas dan keselamatan penundaan. Adapun perancangan dilakukan dengan acuan kapal tunda yang telah dipilih sebelumnya, antara lain:

1. Pemilihan model sistem propulsi DP kapal tunda
2. Pemilihan model sistem kontrol DP kapal tunda

### 3.7 Perancangan Model Simulasi Respons Kapal Tunda *Existing* (Non-DP)

Perancangan model simulasi *existing* dilakukan sebagai model dasar yang nanti akan digunakan sebagai perbandingan, maka model dirancang berdasarkan kondisi riil di lapangan tempat penelitian berlangsung. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang dapat mewakili kondisi riil tersebut.

### 3.8 Simulasi Model Respons Kapal Tunda *Existing* (Non-DP) dengan MATLAB

Model simulasi *existing* yang telah dirancang lalu dilakukan *running* dengan menggunakan perangkat lunak aplikasi MATLAB. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil dari model simulasi yang nanti akan dibandingkan dengan data pada kondisi riil. Adapun hasil dari model simulasi ini perlu divalidasi terlebih dahulu sebelum nantinya digunakan sebagai acuan perbandingan.

### 3.9 Validasi Model

Validasi dilakukan setelah model simulasi *existing* dilakukan *running* dengan perangkat lunak. Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi model *existing* dapat mewakili sistem kondisi riil. Apabila model simulasi telah mewakili maka dapat digunakan sebagai perbandingan saat diberikan variabel-variabel tambahan nantinya sebagai acuan permodelan berikutnya, tetapi jika tidak maka perancangan model simulasi *existing* perlu dilakukan pengulangan.

### 3.10 Perancangan Model Simulasi Respons dengan DP Kapal Tunda

Apabila model simulasi telah didapati valid, maka dapat dirancang model simulasi dengan variasi variabel. Adapun variabel yang dimaksud pada penelitian ini adalah dengan melakukan *input* sistem DP pada kapal tunda *existing*. Selain itu juga dibandingkan pada operasi penundaan kapal saat kondisi statis dan dinamis dengan gangguan berupa kecepatan arus tipe *step* dan *random number* serta dengan variasi sistem propulsi yaitu sistem propulsi *existing*, *Azimuth Thruster* dan *Voith Schneider Propeller* (VSP). Hal ini dilakukan untuk kemudian dilihat perbandingan hasil simulasi masing-masing model tersebut.

### 3.11 Analisis Perbandingan Hasil Simulasi Respons DP dan Non-DP Kapal Tunda

Setelah dirancang model simulasi dengan sistem DP kapal tunda dan Non-DP kapal tunda, maka dilakukan perbandingan hasil dari masing-masing model simulasi. Hipotesis awal mendapati bahwa dengan menambahkan sistem DP seharusnya hasil daripada sistem menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan tanpa sistem DP pada kapal tunda. Akan tetapi, apabila hasil simulasi respons dengan DP kapal tunda didapati tidak lebih baik daripada *existing* atau Non-DP, maka dilakukan perancangan ulang terhadap model simulasi respons dengan DP kapal tunda agar didapati hasil simulasi yang lebih baik dibandingkan kondisi *existing*.

### 3.12 Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir pada penelitian ini, yaitu mengambil sebuah kesimpulan dari keseluruhan metode kajian yang telah dilakukan. Kesimpulan ini berupa konsep desain *dynamic positioning* kapal tunda yang dapat meningkatkan efektivitas dan keselamatan operasi penundaan pada daerah operasi CIB di PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap. Adapun kesimpulan ini yang nantinya akan dijadikan sebagai saran atas penyelesaian masalah sesuai perumusan masalah dari latar belakang terciptanya penelitian ini, dan diharapkan kesimpulan dan saran ini dapat memberikan manfaat bagi Indonesia secara umumnya, perusahaan terkait kegiatan pelayanan jasa pemanduan dan penundaan kapal dan akademisi yang ingin melakukan penelitian sejenis sehingga disertakan pula beberapa saran agar rekomendasi dari penelitian ini dapat disempurnakan pada penelitian-penelitian selanjutnya.

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada Bab IV berikut akan dijabarkan mengenai hasil dari pengumpulan data-data, pengolahan data, hingga analisis data dan pembahasan dari hasil analisis data itu sendiri. Tahap pengolahan data yang dimaksud merupakan perancangan model simulasi respons kapal tunda DP sedangkan pengumpulan data adalah perlengkapan awal yang diperlukan untuk membuat sebuah model. Adapun pengumpulan data yang dimaksud adalah data terkait kapal sandar, kapal tunda dengan DP, serta parameter keamanan sandar/lepas di PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap. Begitu pula dengan analisa data dan pembahasan dilakukan dengan simulasi model dari data yang telah diolah. Berikut penjabaran dari pengumpulan data serta perancangan model simulasi respons kapal tunda dengan DP yang merupakan proses pengolahan data hingga proses analisis data serta pembahasannya.

### 4.1 Pengumpulan Data Kapal Sandar

Tabel 4.1 berikut merupakan data ukuran utama dari kapal sandar dengan kapasitas DWT terbesar yang masuk pada sarana tambat PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap yaitu Success Fortune XL.

Tabel 4.1 Ukuran Utama Kapal Sandar

Data Kapal	Nilai	Satuan
<b>LPP</b>	320	m
<b>LWL</b>	329,6	m
<b>U (Kecepatan)</b>	2,057776	m/s
<b>B (Lebar)</b>	58,04	m
<b>T (Sarat)</b>	20,8	m
<b>C<sub>B</sub> (Koefisien Blok)</b>	0,861340997	-
<b>X<sub>G</sub> (Center of Gravity)</b>	10,90165184	m
<b>A<sub>δ</sub> (Luasan Kemudi)</b>	104,832	m <sup>2</sup>
<b>Δ (Displacement)</b>	341067	Ton
<b>r (Jari-jari Girasi)</b>	56,24394095	m

Sumber: PT. Pertamina (Persero) Marine Region IV Cilacap

### 4.2 Pengumpulan Data Kapal Tunda Acuan dengan DP

Tabel 4.2 berikut berisikan salah satu data kapal tunda milik PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap yaitu TB. Patra Tunda 4202 terkait data ukuran utama kapal yang diperlukan nantinya untuk proses perancangan model.

Tabel 4.2 Ukuran Utama Kapal Tunda

Data Kapal	Nilai	Satuan
<b>LPP</b>	31,53	m
<b>LWL</b>	32,5	m
<b>U (Kecepatan)</b>	5,14444	m/s

Tabel 4.2 Ukuran Utama Kapal Tunda (lanjutan)

Data Kapal	Nilai	Satuan
B (Lebar)	10,6	m
T (Sarat)	4,4	m
$C_B$ (Koefisien Blok)	0,527425048	-
$X_G$ (Center of Gravity)	1,146532421	m
$A_\delta$ (Luasan Kemudi)	2,8890939	m <sup>2</sup>
$\Delta$ (Displacement)	795	Ton
r (Jari-jari Girasi)	7,291322498	M

Sumber: <http://www.bki.co.id/shipregister-8518.html>

### 4.3 Parameter Keamanan Sandar Kapal

Parameter keamanan sandar/lepas merupakan kecepatan maksimum sandar kapal yang dinyatakan aman bagi kapal untuk melakukan sandar. Parameter ini didasarkan atas standar yang diambil oleh PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap. Berikut merupakan parameter keamanan yang digunakan (Lacet, 2002), yaitu berdasarkan kecepatan maksimum sandar kapal yaitu senilai 0.15 m/s, berdasarkan tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Rekomendasi Kecepatan Sandar dalam m/s

Vessel displacement in tonnes	Favourable Condition	Moderate Conditions	Unfavourable Conditions
Under 10,000	0.20 – 0.16	0.45 – 0.30	0.60 – 0.40
10,000 – 50,000	0.12 – 0.80	0.30 – 0.15	0.45 – 0.22
50,000 – 100,000	0.08	0.15	0.20
Over 100,000	0.08	0.15	0.20

**Taken from the Spanish ROM Standard 0.2-90**

Sumber: PIANC Guidelines for the Design of Fender Systems (2002)

### 4.4 Penentuan Trayektori Kapal

Penentuan trayektori kapal merupakan penentuan terhadap titik-titik yang akan dilalui oleh kapal atau lintasan kapal. Trayektori kapal ditentukan pada area khusus yaitu di dalam kolam pelabuhan. Berikut merupakan koordinat kapal khusus di dalam area kolam pelabuhan tersebut.

1. Koordinat Kapal saat Kapal Kondisi Statis
  - a. Posisi Akhir  
7° 45' 35.19" LS dan 109° 1' 16.57" BT  
Koordinat ini direpresentasikan dalam koordinat XY kuadran I dengan sebuah titik ( $X_0$ ,  $Y_0$ ) m, yaitu titik (0, 0) m
2. Koordinat Kapal saat Kapal Kondisi Dinamis
  - a. Posisi Awal  
7° 45' 24.98" LS dan 109° 2' 22.10" BT  
Koordinat ini direpresentasikan dalam koordinat XY kuadran I dengan sebuah titik ( $X_0$ ,  $Y_0$ ) m, yaitu titik (0, 0) m
  - b. Posisi 2  
7° 45' 27.63" LS dan 109° 2' 10.78" BT

Koordinat ini direpresentasikan dalam koordinat XY kuadran I dengan sebuah titik  $(X_1, Y_1)$  m, yaitu titik  $(359.6, 82.33)$  m

c. Posisi 3

$7^\circ 45' 37.64''$  LS dan  $109^\circ 1' 57.25''$  BT

Koordinat ini direpresentasikan dalam koordinat XY kuadran I dengan sebuah titik  $(X_2, Y_2)$  m, yaitu titik  $(758.77, 398.61)$  m

d. Posisi 4

$7^\circ 45' 41.76''$  LS dan  $109^\circ 1' 40.92''$  BT

Koordinat ini direpresentasikan dalam koordinat XY kuadran I dengan sebuah titik  $(X_3, Y_3)$  m, yaitu titik  $(1357.34, 553.32)$  m

e. Posisi 5

$7^\circ 45' 38.86''$  LS dan  $109^\circ 1' 25.56''$  BT

Koordinat ini direpresentasikan dalam koordinat XY kuadran I dengan sebuah titik  $(X_3, Y_3)$  m, yaitu titik  $(1898.99, 470.49)$  m

f. Posisi Akhir

$7^\circ 45' 35.19''$  LS dan  $109^\circ 1' 16.57''$  BT

Koordinat ini direpresentasikan dalam koordinat XY kuadran I dengan sebuah titik  $(X_3, Y_3)$  m, yaitu titik  $(2198.92, 353.31)$  m

Berikut gambar 4.1 merupakan ilustrasi dari titik-titik koordinat pada area kolam yang membentuk lintasan sandar kapal. Adapun untuk kapal kondisi dinamis dimulai dari posisi awal, posisi 2, posisi 3, posisi 4, posisi 5, hingga posisi akhir sedangkan untuk kapal kondisi statis yaitu pada posisi kapal sama dengan posisi akhir kapal kondisi dinamis. Adapun pada penelitian ini, titik trayektori fokus pada saat kapal sandar merapatkan posisi ke *dolphin* yaitu pada koordinat Y kuadran I di posisi akhir.



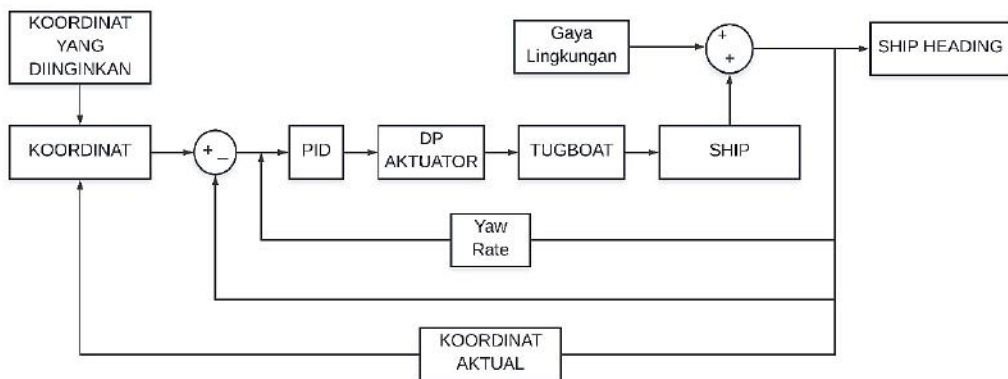
Gambar 4.1 Trayektori Sandar Kapal

#### 4.5 Perancangan Model Simulasi Respons Kapal Tunda dengan DP

Perancangan model dilakukan berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan dan dijabarkan pada Sub-Bab 4.1 hingga 4.3. Langkah awal dalam perancangan model setelah mendapatkan data-data tersebut adalah membuat diagram blok sistem kendali dari objek yang akan dilakukan simulasi. Adapun objek yang dimaksud adalah sistem kendali DP sebagai respons dari kapal tunda terhadap gaya lingkungan yang bekerja terhadap kapal sandar. Diagram blok ini juga merupakan logika dasar dalam melakukan simulasi. Diagram blok tersebut terdiri dari komponen-komponen yang saling berpadu membentuk sebuah sistem. Adapun langkah selanjutnya yaitu melakukan permodelan matematis untuk setiap komponen agar dapat diproses menggunakan perangkat lunak MATLAB sebagai langkah terakhir sebelum akhirnya melakukan analisis hasil. Berikut penjabaran mengenai diagram blok sistem kendali DP beserta permodelan matematis komponen diagram blok tersebut.

##### 4.5.1 Pembuatan Diagram Blok Sistem Kendali DP

Gambar 4.2 berikut merupakan rancangan diagram blok sistem kendali DP yang digunakan sebagai logika dasar dalam perancangan model simulasi respons kapal tunda dengan DP.



Gambar 4.2 Diagram Blok Sistem Kendali DP

Berdasarkan Gambar 4.2, dapat diamati alur logika sistem kendali DP. Logika sistem dimulai dengan sebuah masukan berupa titik koordinat tujuan dari objek yaitu kapal sandar sebagai referensi untuk keluaran yang diharapkan. Adapun untuk menunjang sistem agar dapat memosisikan kapal sandar sesuai koordinat yang diharapkan, diperlukan komponen-komponen penunjang yaitu kendali PID dan kapal tunda beserta propeler sebagai aktuator dari kapal tunda itu sendiri. Kendali PID tersebut berfungsi menerjemahkan koordinat yang merupakan masukan dari sistem untuk kemudian menentukan besar arah aktuator kapal tunda sehingga kapal tunda dapat bergerak mengarahkan kapal sandar sesuai pada koordinat atau posisi yang diharapkan. Keluaran dari sistem ini dapat mengalami kesalahan akibat adanya gaya lingkungan selain daripada gaya kapal tunda yang bekerja terhadap kapal sandar. Oleh karena itu, untuk mengatasi adanya gaya eksternal ini, perlu dirancang sebuah sistem respons balik.



Sistem respons balik pada sistem ini terdiri dari beberapa komponen, intinya adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk membaca dan mengirimkan kembali informasi kepada kendali PID atau disebut dengan *feedback*. *Feedback* ini menyatakan bahwa keluaran sistem mengalami kesalahan. Sebagai fungsi utama kendali PID, maka kendali PID akan menerjemahkan *feedback* menjadi nilai perbaikan arah aktuator kapal tunda sehingga kesalahan keluaran berupa posisi kapal sandar dapat diperbaiki menjadi sesuai dengan keluaran yang diharapkan. Adapun sistem respons balik ini bersifat *looping*, yaitu akan terus berulang untuk mempertahankan keluaran yang diharapkan dari efek gaya lingkungan. Berikut merupakan penjabaran lebih rinci mengenai komponen-komponen penunjang sistem respons balik, antara lain:

1. *Position Reference Sensors* (PRS), merupakan komponen yang berfungsi membaca kesalahan pada keluaran sistem yaitu apabila koordinat aktual dari kapal sandar tidak sesuai dengan koordinat yang diharapkan.
2. *Controller*, merupakan komponen dengan fungsi untuk menerjemahkan besar total gaya yang diperlukan untuk merespons kesalahan yang terbaca oleh PRS sehingga kapal dapat kembali ke koordinat yang diharapkan.
3. *Environmental Force Compensation*, adalah komponen yang membaca besar gaya eksternal yang bekerja terhadap kapal sehingga koordinat aktual kapal dapat mengalami kesalahan seperti yang telah dibaca oleh PRS.
4. *Force Allocation Logic*, yaitu komponen kendali dengan fungsi untuk mengatur besar gaya yang perlu dikeluarkan pada setiap aktuator.
5. *Thrust Allocation Logic* adalah komponen kendali yang berfungsi mengontrol arah gaya yang harus dikeluarkan oleh setiap aktuator.

#### 4.5.2 Permodelan Dinamika Kapal Sandar

Permodelan dinamika kapal sandar merupakan proses pengolahan data-data terkait ukuran utama kapal yang telah didapat menjadi suatu bentuk matematis agar dapat dilakukan simulasi pada perangkat lunak simulasi MATLAB nantinya. Adapun metode yang digunakan untuk permodelan ini adalah dengan metode *State Space*. Adapun sebelum masuk pada metode tersebut, perlu didapatkan persamaan olah gerak kapal dengan menggunakan Model Davidson dan Schiff. Sebelum akhirnya mendapatkan persamaan tersebut, terdapat beberapa tahap yang perlu dilakukan yaitu sebagai berikut.

##### 1. Perhitungan Nilai Koefisien Hidrodinamis

Nilai koefisien hidrodinamis didapatkan menggunakan regresi Clarke dengan persamaan (2.32) hingga (2.43). Perlu diketahui, bahwa koefisien hidrodinamis dengan regresi Clarke menghasilkan nilai persamaan yang bersifat *non-dimensional* sehingga untuk mendapatkan nilai tersebut diperlukan pula persamaan data yang bersifat *non-dimensional*. Adapun normalisasi persamaan data dari yang bersifat *dimensional* menjadi *non-dimensional* dan sebaliknya dapat dilakukan menggunakan metode *Prime-System SNAME* yaitu *Prime-System I* dengan parameter kecepatan kapal ( $U$ ) dan panjang kapal ( $L$ ) sesuai pada Tabel 4.4. Berikut merupakan normalisasi persamaan data kapal yang diperlukan untuk perhitungan nilai koefisien hidrodinamis.

Tabel 4.4 Normalisasi Persamaan Data Kapal Sandar

Data Kapal <i>Non-Dimensional</i>	Nilai	Satuan
$U'$ (Kecepatan <i>Non-Dimensional</i> )	1	-
$m'$ (Massa <i>Non-Dimensional</i> )	0,02031	-
$X_G'$ ( <i>Specific Gravity Non-Dimensional</i> )	0,034067662	-
$r'$ (Jari-jari Girasi <i>Non-Dimensional</i> )	0,17576	-

Berdasarkan data kapal sandar pada Tabel 4.1 dan persamaan data kapal yang telah dilakukan normalisasi dalam bentuk *non-dimensional* pada Tabel 4.4, maka didapatkan hasil perhitungan nilai koefisien hidrodinamis kapal sandar dengan menggunakan regresi yang tertera pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Nilai Koefisien Hidrodinamis Non-Dimensional Kapal Sandar

Koefisien Hidrodinamis <i>Non-Dimensional</i>	Nilai
$Y'_{\dot{v}}$	-0,0161424
$Y'_{\dot{r}}$	-0,0012713
$N'_{\dot{v}}$	-0,0011291
$N'_{\dot{r}}$	-0,0008535
$Y'_{\dot{v}}$	-0,0260208
$Y'_{\dot{r}}$	0,0043011
$N'_{\dot{v}}$	-0,0087028
$N'_{\dot{r}}$	-0,0034129
$Y'_{\delta}$	12,6728438
$N'_{\delta}$	-6,3364219
$I'_{\dot{r}}$	0,0006274
$I'_{\dot{z}}$	0,0013193

## 2. Matriks Koefisien Hidrodinamis Non-Dimensional

Matriks koefisien hidrodinamis *non-dimensional* didapatkan berdasarkan persamaan (2.17) hingga (2.19). Adapun koefisien sebagai variabel di dalam matriks didapat dari perhitungan yang telah dilakukan sesuai pada Tabel 4.5. Berikut merupakan matriks koefisien hidrodinamis *non-dimensional* dari kapal sandar.

$$M' = \begin{bmatrix} 0,0364521 & 0,001963 \\ 0,0018210 & 0,002173 \end{bmatrix}$$

$$N'(u_0) = \begin{bmatrix} 0,026021 & 0,016008 \\ 0,008703 & 0,004105 \end{bmatrix}$$

$$b' = \begin{bmatrix} 12,67284 \\ -6,33642 \end{bmatrix}$$

### 3. Normalisasi Matriks Koefisien Hidrodinamis Non-Dimensional

Normalisasi dilakukan pada matriks koefisien hidrodinamis *non-dimensional* menjadi *dimensional* sebelum akhirnya dimasukkan sebagai nilai perhitungan parameter fungsi transfer Nomoto. Normalisasi dilakukan dengan metode *Prime-System SNAME* yaitu *Prime-System I* dengan parameter kecepatan kapal (U) dan panjang kapal (L) yang tertera pada persamaan (2.44). Berikut perubahan matriks dari nilai koefisien hidrodinamis *non-dimensional* menjadi *dimensional*.

$$M = \begin{bmatrix} 2,754688 & 47,474783 \\ 0,137611 & 52,545119 \end{bmatrix}$$

$$N(u_0) = \begin{bmatrix} 0,0012645 & 2,489409 \\ 0,004229 & 0,638323 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 12,67284 \\ -6,33642 \end{bmatrix}$$

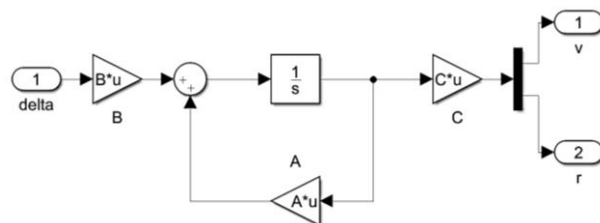
Setelah mendapatkan nilai matriks  $M$ , matriks  $N(u_0)$ , dan matriks  $b$ , maka didapatkan persamaan *state space* dengan mencari nilai matriks  $A$  dan matriks  $b_1$  sesuai pada persamaan (2.21). Berikut merupakan nilai matriks  $A$  dan matriks  $b_1$ .

$$A = \begin{bmatrix} -0.00335470854061093 & -0.727156738010145 \\ -7.16975291847372e - 05 & -0.0102437342301135 \end{bmatrix}$$

$$b_1 = \begin{bmatrix} 6.99231338517630 \\ -0.138902325775444 \end{bmatrix}$$

Adapun setelah diketahui nilai matriks  $A$  dan matriks  $b_1$ , maka didapat pula persamaan *state space* berikut sebagai model dari olah gerak kapal sandar dan Gambar 4.3 merupakan permodelan dinamika kapal pada MATLAB Simulink.

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.00335470854061093 & -0.727156738010145 \\ -7.16975291847372e - 05 & -0.0102437342301135 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 6.99231338517630 \\ -0.138902325775444 \end{bmatrix} \delta_R$$



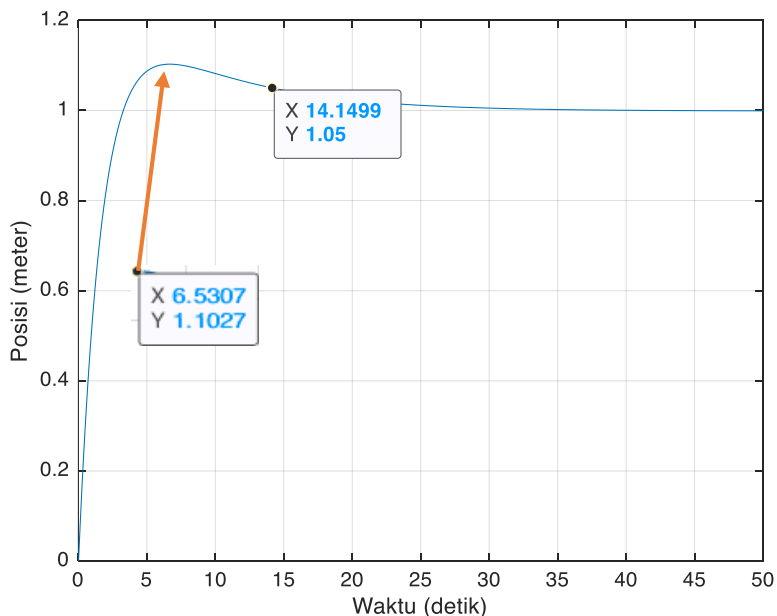
Gambar 4.3 Permodelan Dinamika Kapal Sandar pada MATLAB Simulink

Gambar 4.3 merupakan permodelan dinamika kapal sandar pada MATLAB Simulink dengan metode *state space* dan matriks A dan  $b_1$  yang telah didapatkan. Permodelan dinamika kapal tunda beserta DP aktuator disederhanakan dalam satu kesatuan permodelan kapal sandar.

#### 4.5.3 Perancangan Kontrol PID

Pada tahap ini dilakukan perancangan kontrol atau *tuning* PID dengan menggunakan metode *trial and error* untuk didapatkan nilai dari P, I, dan D. Adapun terdapat tiga parameter yang perlu diamati untuk memastikan bahwa hasil *tuning* PID telah valid. Ketiga parameter tersebut adalah *maximum overshoot*, *time settling*, dan *error steady state*. *Maximum overshoot* dari hasil *tuning* PID yang diperbolehkan adalah tidak lebih dari 20% dari nilai stabil yang dituju. Kemudian, *time settling* yang dirancang semaksimalnya tidak lebih lambat dari 10 detik. Terakhir, nilai daripada *error steady state* dari hasil *tuning* PID dikatakan valid apabila didapati tidak lebih dari 5% nilai stabil yang dituju. Adapun nilai *error steady state* didapat dari besar amplitudo pada kondisi stabil. Berikut Gambar 4.4 merupakan grafik respons yang menggambarkan nilai-nilai dari ketiga parameter tersebut setelah kendali PID dirancang dengan P, I, dan D senilai 0.01, 0, dan 0.1, yaitu:

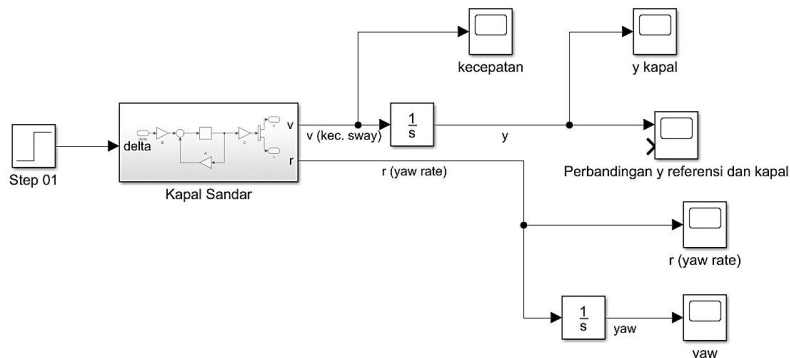
1. *Maximum overshoot* senilai 10.27%
2. *Time settling* senilai 14.1499 detik
3. *Error steady state* senilai 5% dari nilai stabil yang dituju



Gambar 4.4 Grafik Respons Posisi dengan Tuning PID Metode Trial and Error

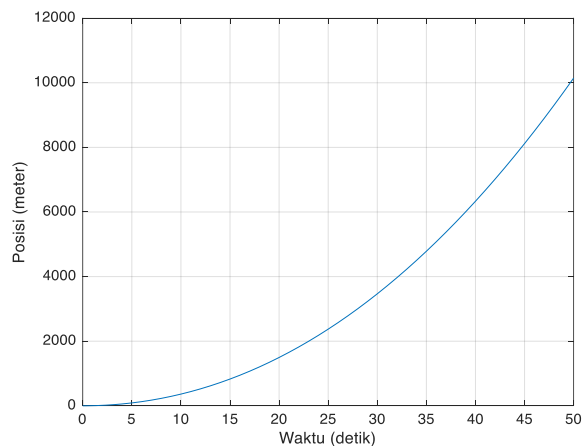
#### 4.6 Simulasi Respons Model Kapal Tunda tanpa DP

Sebelum menjalankan simulasi respons model kapal tunda dengan DP, terlebih dahulu dilakukan simulasi respons model kapal tunda tanpa DP atau *tuning* PID untuk membuktikan bahwa kapal tunda tanpa DP dapat mengalami kehilangan kendali setelah menerima masukan berupa posisi yang diharapkan. Oleh karena itu, dirancang sebuah model respons kapal tunda tanpa DP pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Model Respons Kapal Tunda tanpa DP

Gambar 4.5 merupakan model respons kapal tunda tanpa DP yang dirancang menggunakan MATLAB Simulink. Pada model ini, dirancang sebuah masukan berupa nilai pergerakan kapal sandar. Kapal sandar yang dijadikan model pun adalah kapal sandar terbesar yang telah dirancang pada Bab IV. Dari model ini, dapat diamati bahwa pergerakan kapal sandar tidak dikendalikan oleh DP kapal tunda karena DP kapal tunda seharusnya diletakkan di antara masukan dan *plant* berupa kapal sandar. Begitu pun dengan menggunakan model ini, dapat diamati keluaran berupa kecepatan kapal dan posisi kapal sehingga dapat diketahui bagaimana pergerakan kapal sandar apabila tidak dikendalikan oleh DP kapal tunda. Berikut merupakan hasil simulasi dari model respons kapal tunda tanpa DP pada Gambar 4.6.

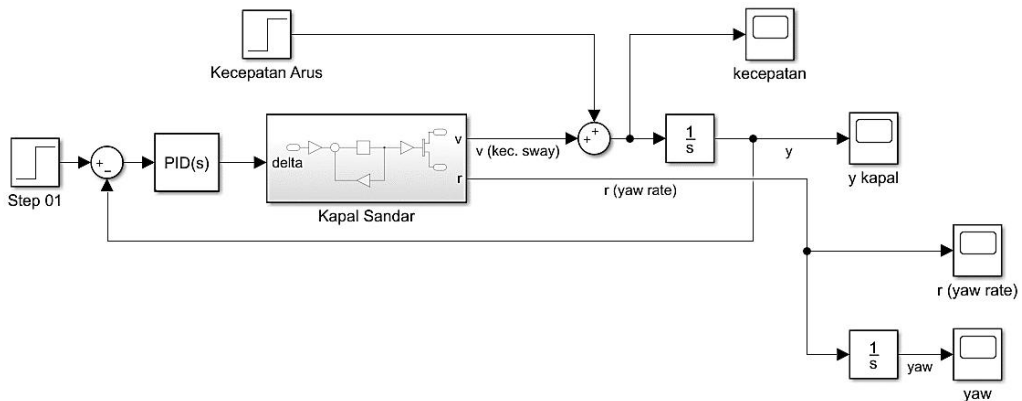


Gambar 4.6 Simulasi Respons Model Kapal Tunda tanpa DP

Gambar 4.6 merupakan hasil respons dari kapal tunda yang tidak menggunakan DP. Hasil respons ditampilkan dengan grafik hubungan pergerakan posisi kapal dalam meter terhadap waktu selama 50 detik dengan masukan berupa nilai posisi kapal sandar. Adapun hasil respons menggambarkan bahwa posisi kapal akan terus bergerak naik seiring berjalannya waktu tanpa arah dan kecepatan yang terkendali untuk mempertahankan posisi kapal pada jalur ataupun posisi tertentu. Hal ini merupakan bukti bahwa kapal tunda memerlukan DP untuk dapat mempertahankan posisi kapal tetap pada jalur atau titik tertentu yang diharapkan.

#### 4.7 Simulasi Respons Model Kapal Tunda dengan DP

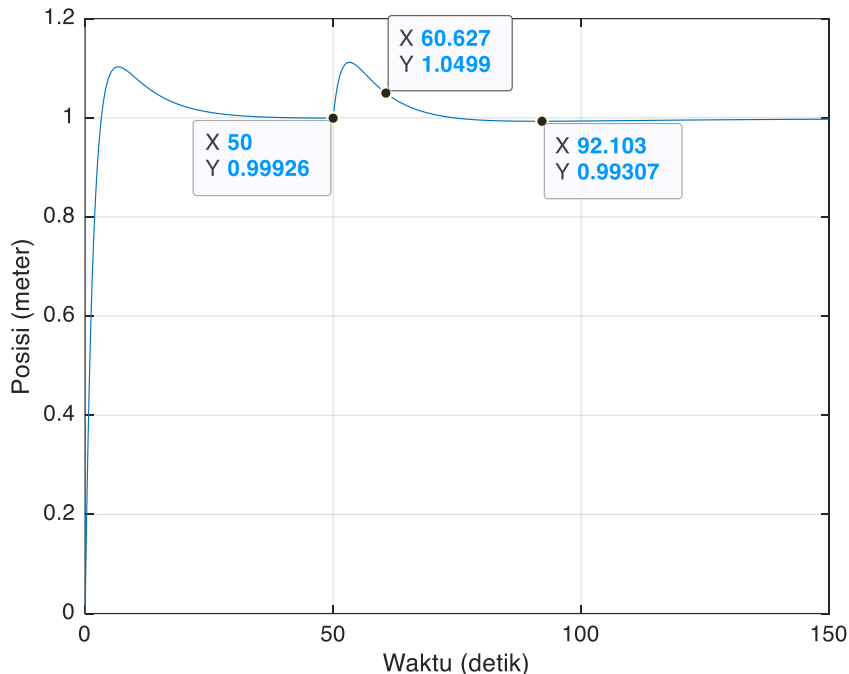
Setelah dilakukan perancangan model simulasi respons dari konsep desain kapal tunda dengan DP, maka dapat dilakukan simulasi respons dari model tersebut. Simulasi model respons dilakukan terhadap penundaan yang dipengaruhi oleh gaya lingkungan berupa kecepatan arus pada kondisi statis dan dinamis dengan kapal sandar pada sarat maksimum. Kondisi statis yang dimaksud adalah ketika kapal tunda berusaha mempertahankan posisi kapal sandar pada satu titik sedangkan kondisi dinamis adalah ketika kapal tunda melakukan penundaan kapal sandar dari posisi di titik satu ke titik lainnya membentuk alur penundaan yang telah disesuaikan dengan alur penundaan di PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap. Adapun sebelum menjalankan simulasi model respons yang dipengaruhi kecepatan arus pada kedua kondisi tersebut, dilakukan simulasi terlebih dahulu untuk memastikan bahwa DP yang dirancang mampu mengembalikan posisi kapal setelah menerima gaya lingkungan. Berikut Gambar 4.7 merupakan rancangan model respons kapal tunda dengan DP terhadap gaya lingkungan.



Gambar 4.7 Model Respons DP Kapal Tunda terhadap Kecepatan Arus

Gambar 4.7 merupakan model respons kapal tunda yang telah dilengkapi dengan sistem DP berupa *tuning* PID. Sistem DP diletakkan antara masukan dan *plant* dengan masukan berupa nilai pergerakan dan *plant* berupa kapal sandar. Adapun nilai kecepatan arus ditambahkan pada kecepatan kapal sandar. Setelah mendapat keluaran berupa kecepatan kapal sandar yang telah dipengaruhi kecepatan arus, dilakukan integral terhadap nilai keluaran tersebut sehingga mendapatkan posisi daripada kapal sandar setelah terkena pengaruh kecepatan arus. Nilai posisi tersebut merupakan nilai *error* yang kemudian menjadi *feedback* dan akan diolah kembali oleh sistem DP pada kapal tunda.

Hal ini dilakukan agar sistem DP dapat memperbaiki nilai *error* tersebut sehingga menghasilkan keluaran sesuai yang diharapkan. Berikut Gambar 4.8 merupakan hasil simulasi respons model kapal tunda dengan DP terhadap gaya lingkungan berdasarkan model respons yang telah dirancang pada Gambar 4.7.



Gambar 4.8 Grafik Respons Model DP Kapal Tunda terhadap Kecepatan Arus

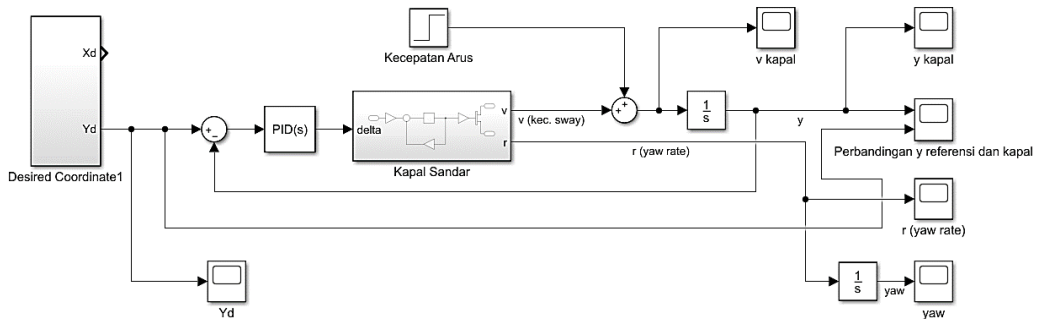
Dari Gambar 4.8 dapat diamati hasil simulasi respons dari model kapal tunda dengan DP terhadap kecepatan arus. Pada simulasi ini, olah gerak kapal sandar dipengaruhi oleh kecepatan arus senilai 0.1 m/s pada detik ke 50. Diketahui bahwa model kapal tunda dengan DP telah memosisikan kapal sandar pada kondisi *steady state* yaitu saat kapal sandar telah berada di posisi stabil sesuai nilai masukan yang diharapkan. Kemudian, setelah menerima gangguan oleh kecepatan arus, model kapal tunda dengan DP dapat mengembalikan posisi kapal sandar sesuai posisi yang diharapkan dalam waktu 10.7397 detik dengan *error* posisi senilai 5% dan *error steady-state* pada sistem senilai 0.307%. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, maka dapat diketahui bahwa sistem DP dapat mengembalikan posisi kapal sandar sesuai yang diharapkan setelah kapal sandar terkena gangguan dari kecepatan arus. Berikut pembahasan lebih lanjut mengenai simulasi respons model kapal tunda dengan DP terhadap gaya lingkungan pada kondisi statis dan dinamis.

#### 4.7.1 Simulasi Respons Model DP Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus

Simulasi respons dirancang dengan adanya pengaruh dari kecepatan arus. Hal ini dilakukan agar nantinya dapat dilihat respons model kapal tunda terhadap gangguan.

Gangguan berupa kecepatan arus pada simulasi ini terbagi menjadi dua tipe, yaitu tipe step dan tipe *random number*. Tipe step adalah ketika gangguan timbul hanya pada satu waktu tertentu saja dan dengan nilai yang konstan sedangkan tipe *random number* adalah ketika gangguan timbul pada waktu yang acak dan dengan nilai yang acak pula. Akan tetapi, nilai gangguan pada tipe *random number* diambil dari nilai rata-rata yang dirancang untuk diberikan kepada sistem. Berikut analisis lebih lanjut mengenai gangguan berupa kecepatan arus dengan masing-masing tipe tersebut pada kondisi statis.

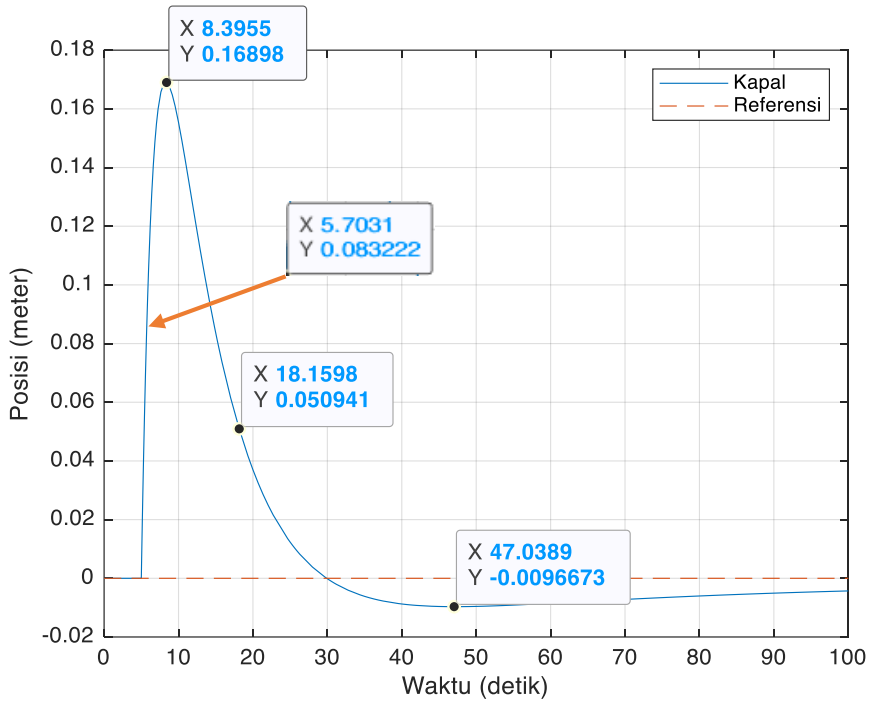
#### 4.7.1.1 Simulasi Respons pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step



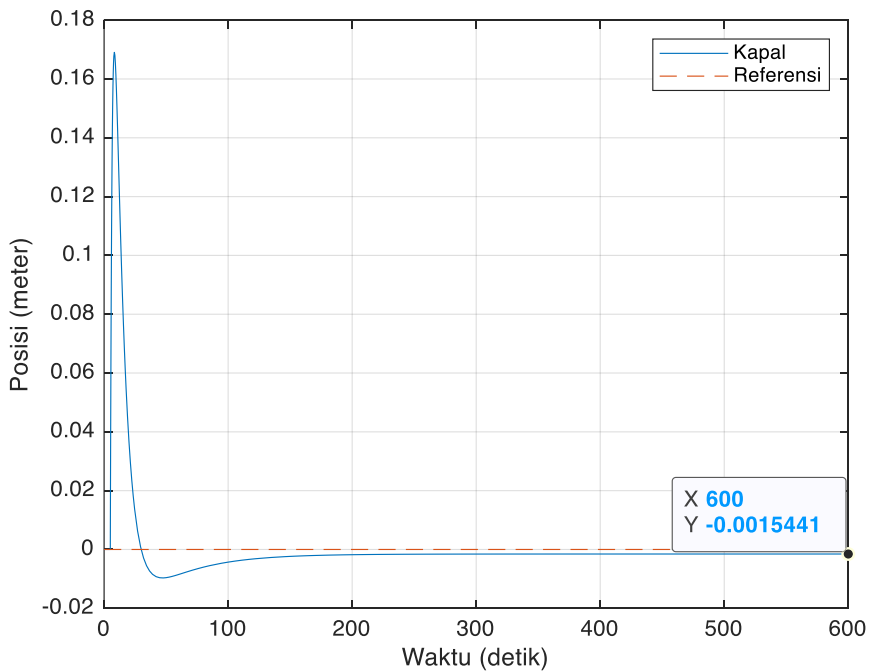
Gambar 4.9 Model Respons DP Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step

Gambar 4.9 berikut merupakan model respons DP kapal tunda terhadap gangguan berupa kecepatan arus dengan tipe step pada kondisi statis. Pada model ini, masukan sistem berupa koordinat Y. Karena simulasi pada model ini dijalankan pada kondisi statis, maka koordinat Y memiliki nilai konstan nol yang berarti bahwa DP kapal tunda harus mempertahankan posisi kapal sandar tetap pada posisi nol tersebut. Adapun nilai kecepatan arus yang dijadikan masukan pada sistem adalah senilai 0.15 m/s. Setelah sistem terpengaruh oleh kecepatan arus, maka nilai *error* posisi akan direspons balik menuju DP kapal tunda. Respons tersebut berlangsung secara terus menerus tiap satuan waktu hingga nilai keluaran sesuai dengan yang diharapkan. Nilai keluaran yang diamati dari model ini yaitu berupa kecepatan kapal sandar dan posisi kapal sandar pada tiap satuan waktu. Berikut Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 merupakan plot hasil simulasi respons model kapal tunda pada kondisi statis dengan DP kapal tunda dan kapal sandar sebagai *plant* pada sarat maksimum serta pengaruh kecepatan arus tipe step.



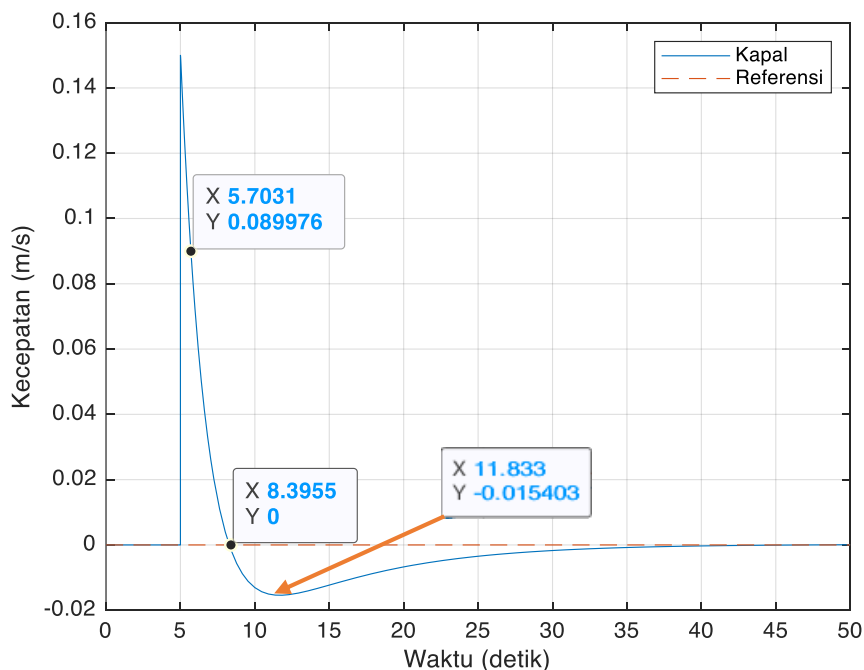


Gambar 4. 10 Simulasi Respons Posisi Model DP Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step



Gambar 4.11 Simulasi Respons Posisi Model DP Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step (Error Steady-State)

Plot hasil simulasi respons pada Gambar 4.10 ditampilkan dengan grafik hubungan antara posisi kapal sandar dalam satuan meter terhadap satuan waktu per detik. Kondisi statis kapal sandar pada grafik tergambar dalam bentuk garis merah putus-putus di nol meter posisi koordinat Y sedangkan garis biru pada grafik merupakan posisi riil kapal sandar yang telah terpengaruh oleh kecepatan arus. Kecepatan arus pada simulasi ini dirancang senilai 0.15 m/s dan memengaruhi sistem pada detik ke 5. Dari hasil simulasi ini, dapat diamati bahwa respons kapal terhadap kecepatan arus tipe step senilai 0.15 m/s yang memengaruhi gerak kapal pada detik ke 5 hingga posisi kapal berada 0.16898 meter pada detik 8.3955 dari posisi yang diharapkan dapat direspons balik oleh DP kapal tunda dengan *error* posisi senilai 5% dalam waktu 13.1598 detik. Adapun jarak 0.16898 meter dapat disimpulkan sebagai *error* maksimum dari posisi kapal sandar. Selain itu, dapat diamati pula nilai *time settling* dari respons DP kapal tunda yaitu senilai 42.0389 detik dengan *error steady state* senilai 0.15441% dari posisi yang diharapkan pada Gambar 4.11.

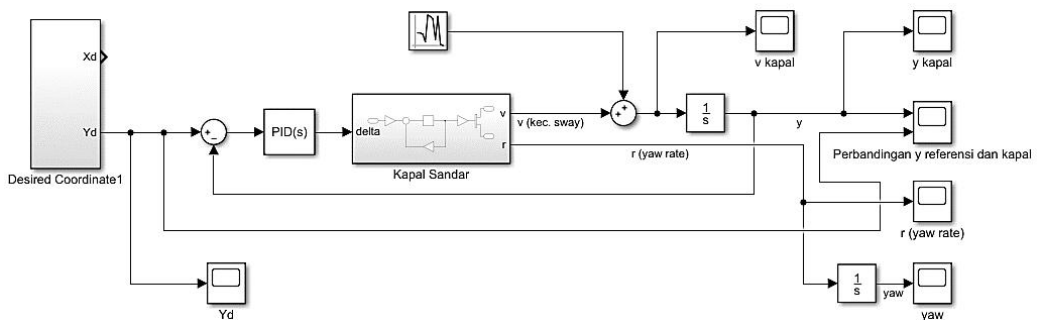


Gambar 4.12 Simulasi Respons Kecepatan Model Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step

Berbeda dengan grafik pada Gambar 4.10, grafik pada Gambar 4.12 merupakan plot antara kecepatan kapal sandar dengan satuan waktu per detik dari hasil simulasi respons model DP kapal tunda pada kondisi statis terhadap kecepatan arus tipe step. Garis merah putus-putus pada grafik merupakan kecepatan kapal sandar yang diharapkan yaitu 0 m/s karena posisi kapal bertahan pada posisinya. Setelah diberikan gangguan berupa kecepatan arus senilai 0.15 m/s pada detik ke 5, pergerakan kapal sandar tergambar dalam bentuk garis biru pada grafik. Adapun dapat diamati dari hasil simulasi pada Gambar 4.12 bahwa kecepatan kapal sandar telah mencapai 0 m/s pada detik ke 8.3955 atau posisi

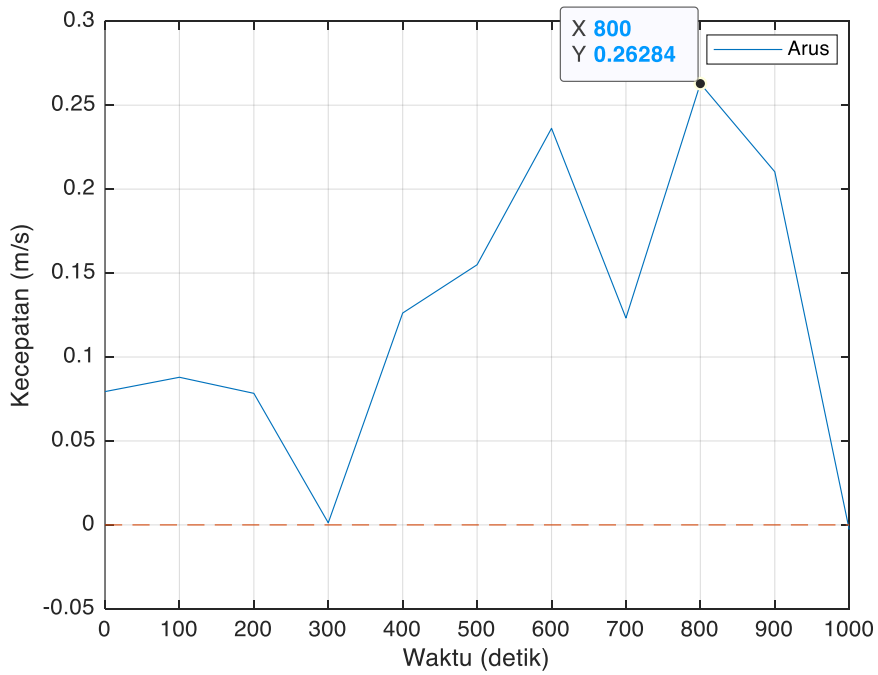
*error* maksimum pada Gambar 20 sehingga apabila pada jarak tersebut terdapat objek lain maka kapal tidak akan memberikan dampak kerusakan terhadap objek tersebut. Diketahui kecepatan aman kapal sandar saat menabrak *berthing dolphin* adalah senilai 0.09 m/s hingga 0.15 m/s dan setelah dilakukan simulasi, kecepatan kapal sandar saat mencapai 0.09 m/s adalah pada *error* posisi senilai 0.083 meter dari posisi yang diharapkan, yaitu 0.7031 detik setelah gangguan. Terakhir, dapat diamati bahwa nilai *time settling* dari respons DP kapal tunda pada simulasi respons kecepatan ini senilai 11.833 detik dengan *error steady state* senilai 1.54% dari kecepatan semula.

#### 4.7.1.2 Simulasi Respons pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number

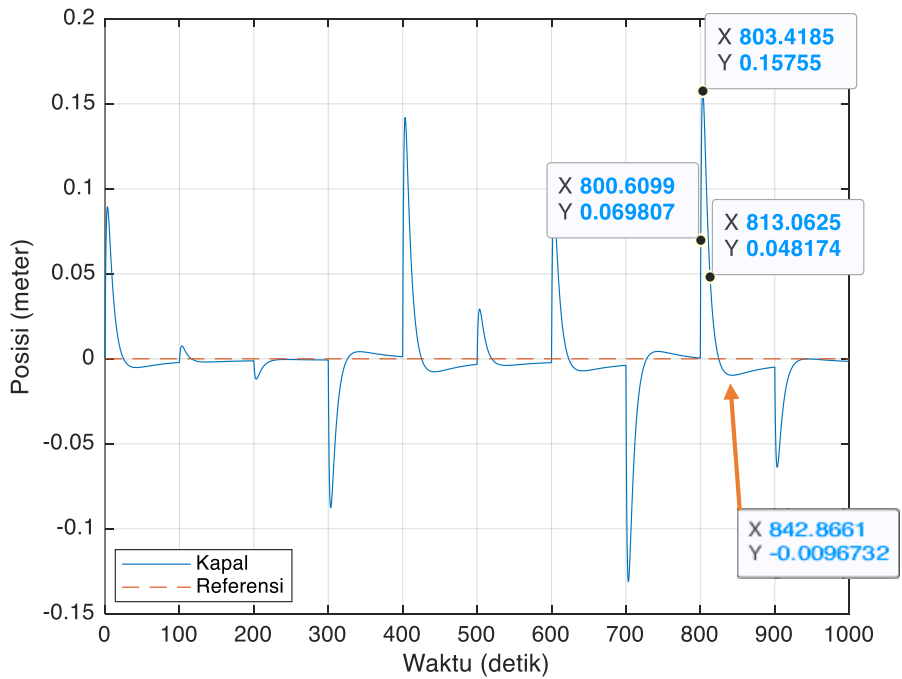


Gambar 4.13 Model Respons DP Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number

Gambar 4.13 merupakan model respons DP kapal tunda terhadap gangguan berupa kecepatan arus dengan tipe *random number* pada kondisi statis. Sama halnya dengan model respons DP kapal tunda saat diberi gangguan kecepatan arus dengan tipe step, masukan pada sistem berupa koordinat Y dengan nilai konstan berupa posisi nol pada koordinat Y. Adapun nilai rata-rata kecepatan arus yang dimasukkan adalah senilai 0.15 m/s, nilai *variance* dari kecepatan arus senilai 0.01, dan *sample time* setiap 100 detik sekali. Model ini dirancang agar dapat diamati waktu respons DP kapal tunda untuk menstabilkan posisi serta kecepatan kapal sandar sesuai dengan kondisi riil di lapangan yaitu saat gangguan datang pada waktu dan besaran yang acak. Berikut Gambar 4.14 dan 4.15 merupakan plot hasil simulasi respons model kapal tunda pada kondisi statis dengan kapal sandar pada sarat maksimum dan pengaruh kecepatan arus.

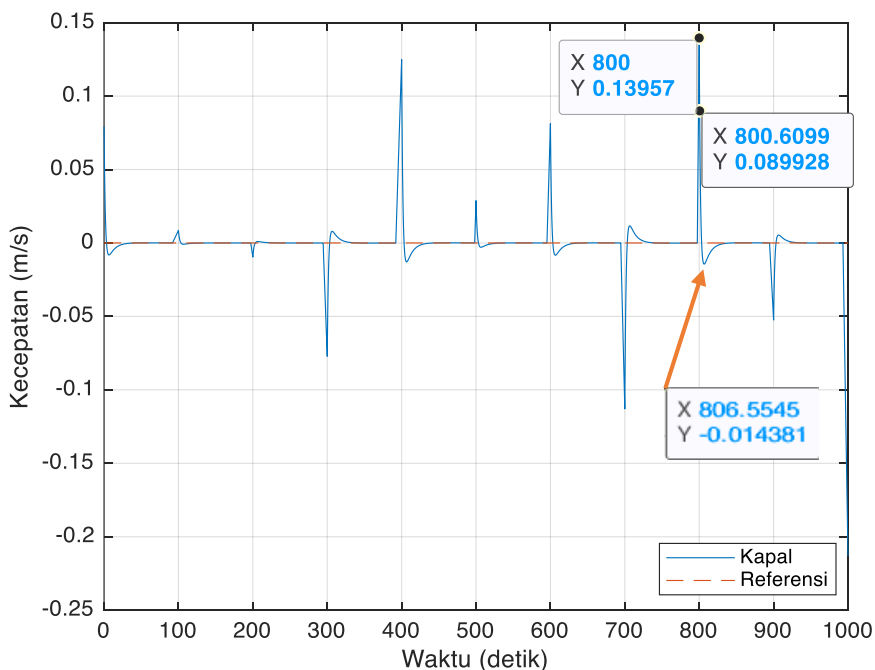


Gambar 4.14 Gangguan Kecepatan Arus Tipe Random Number dengan Rata-rata 0.15 m/s



Gambar 4.15 Simulasi Respons Model Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number

Gambar 4.15 menampilkan plot hasil simulasi respons model kapal tunda pada kondisi statis terhadap kecepatan arus tipe *random number*. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk grafik posisi kapal sandar dalam meter terhadap waktu per detik. Adapun garis biru pada grafik merupakan posisi riil dari kapal sandar per detiknya sedangkan garis merah putus-putus merupakan posisi kapal sandar yang diharapkan. Posisi kapal sandar yang diharapkan berada pada nilai konstan nol karena diharapkan kapal tetap dapat mempertahankan posisinya setelah menerima gangguan berupa kecepatan arus tipe *random number*. Dari hasil simulasi, dapat diamati bahwa respons kapal terhadap kecepatan arus tipe *random number* senilai maksimum 0.26284 m/s saat kondisi statis di waktu 800 detik sesuai pada Gambar 4.14, memengaruhi posisi kapal maksimum hingga 0.15755 m dengan waktu respons 13.0625 detik menuju *error* posisi senilai 5% dari posisi yang diharapkan. Terakhir, dapat diamati bahwa nilai *time settling* dari respons DP kapal tunda pada simulasi respons posisi ini senilai 42.8661 detik dengan *error steady state* senilai 0.967% dari posisi yang diharapkan.



Gambar 4.16 Simulasi Respons Kecepatan Model Kapal Tunda pada Kondisi Statis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number

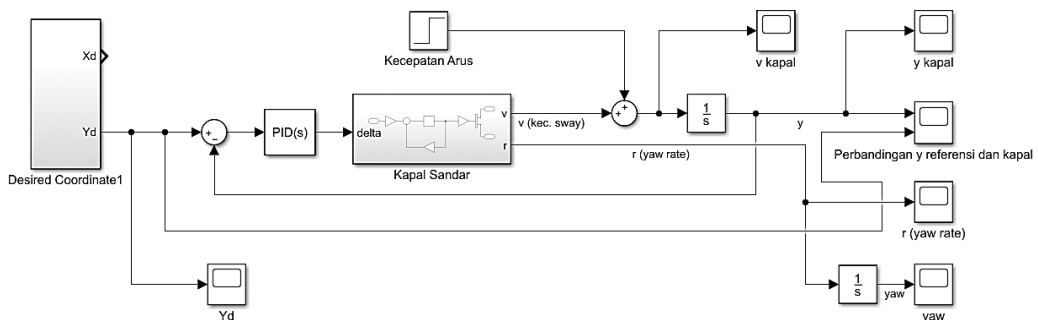
Gambar 4.16 merupakan plot hasil simulasi respons model kapal tunda pada kondisi statis terhadap kecepatan arus tipe *random number*. Plot disajikan dengan menampilkan grafik hubungan antara kecepatan gerak kapal sandar per satuan detik. Garis biru pada grafik merupakan kecepatan gerak riil kapal sandar setelah menerima gangguan berupa kecepatan arus tipe *random number* sedangkan garis merah putus-putus merupakan kecepatan gerak kapal sandar tanpa gangguan kecepatan arus. Dari hasil simulasi, dapat diamati bahwa kecepatan gerak kapal sandar paling tinggi dengan nilai 0.13957 adalah saat simulasi berjalan di detik ke 800 yaitu saat DP kapal tunda berusaha

merespons balik dari gangguan dengan nilai tertinggi di detik 800 pada Gambar 4.14. Adapun respons kecepatan yang diberikan oleh DP kapal tunda terhadap kecepatan arus tipe random number dengan maksimum nilai 0.26284 m/s tersebut hanya memengaruhi gerak kapal hingga 0.13957 m/s yaitu tidak melebihi 0.15 m/s kecepatan aman sandar kapal ketika menabrak *berthing dolphin* dan kecepatan dapat direduksi hingga mencapai kecepatan aman minimal saat menabrak *berthing dolphin* yaitu senilai 0.09 m/s dalam waktu 0.6099 detik.

#### 4.7.2 Simulasi Respons Model DP Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus

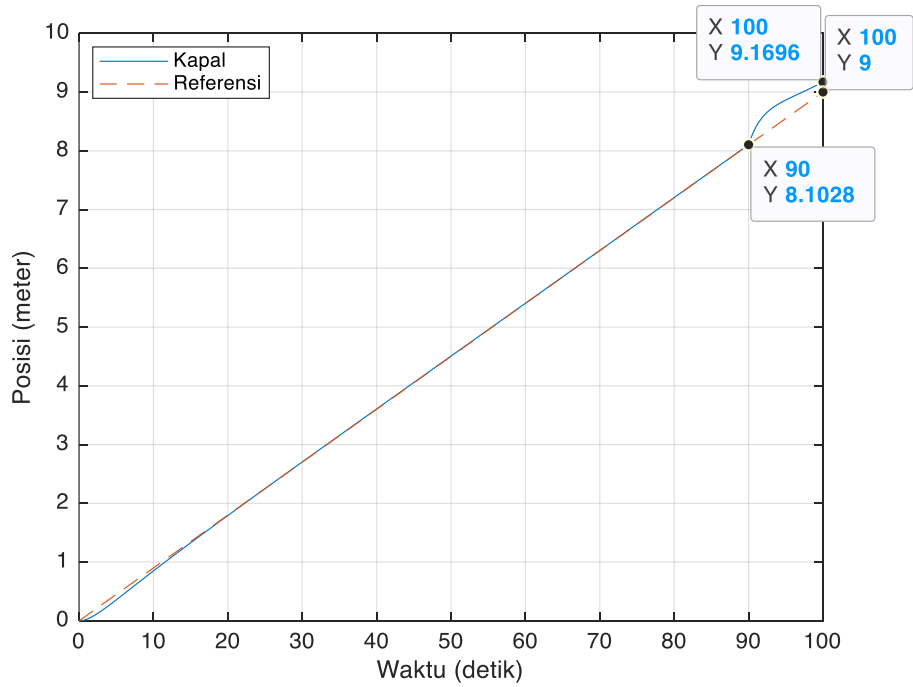
Setelah melakukan simulasi respons model DP kapal tunda pada kondisi statis, maka dapat dilakukan simulasi pada kondisi dinamis. Kondisi dinamis yang dimaksud adalah kondisi saat kapal bergerak mengikuti trayektori sesuai masukan berupa koordinat Y. Adapun karena simulasi dilakukan saat kondisi dinamis, koordinat Y yang dijadikan masukan sistem tidak lagi konstan pada nilai nol tetapi meningkat ataupun menurun. Pada penelitian ini, koordinat Y dirancang menurun dengan maksud bahwa kapal sandar bergerak secara dinamis mendekati *berthing dolphin* dengan kecepatan tertentu. Adapun kecepatan aman kapal sandar yang diperbolehkan saat menabrak *berthing dolphin* adalah 0.09 m/s hingga 0.15 m/s. Berikut merupakan pembahasan lebih lanjut mengenai simulasi respons pada kondisi dinamis terhadap kecepatan arus.

##### 4.7.2.1 Simulasi Respons pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step

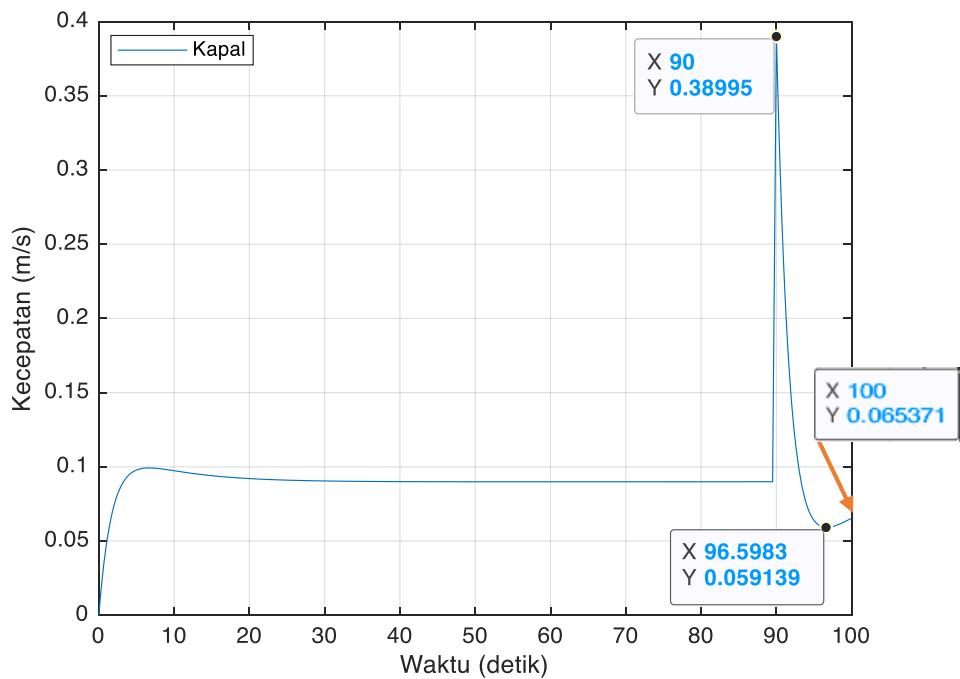


Gambar 4.17 Model Respons DP Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus Tipe Step

Pada Gambar 4.17, dapat diamati bahwa masukan berupa koordinat Y. Koordinat Y pada model ini merupakan titik-titik trayektor yang akan dilalui oleh kapal sandar.. Koordinat Y dirancang senilai 9 meter dari *berthing dolphin*. Pada proses sandar, parameter yang diperhatikan saat kapal menabrak *berthing dolphin* adalah kecepatan dari kapal sandar sehingga kecepatan kapal sandar yang dirancang pada model disesuaikan dengan kecepatan aman sandar yaitu senilai 0.09 m/s. Adapun gangguan pada model ini berupa kecepatan arus dengan tipe step senilai 0.3 m/s pada detik ke 89 yaitu 1 meter sebelum kapal menabrak *berthing dolphin*. Berikut Gambar 4.18 dan 4.19 merupakan hasil simulasi respons DP kapal tunda pada kondisi dinamis terhadap kecepatan arus tipe step agar dapat diamati respons DP kapal tunda saat kapal sedang bergerak melakukan penyandaran ke *berthing dolphin*.



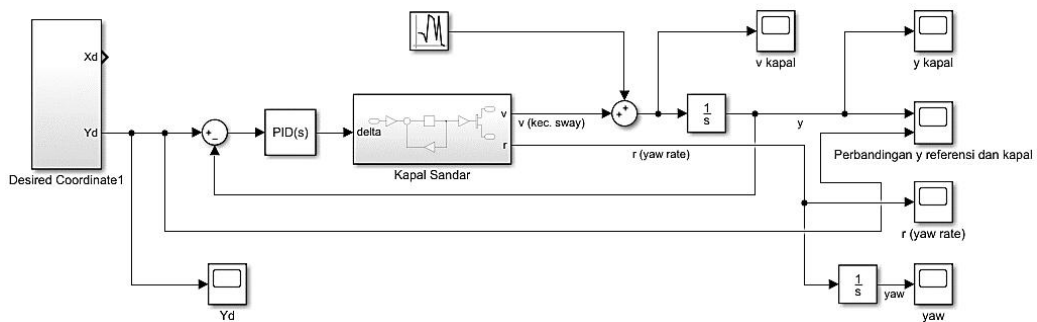
Gambar 4.18 Simulasi Respons Model Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus tipe Step



Gambar 4.19 Simulasi Respons Kecepatan Model Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus tipe Step

Berdasarkan Gambar 4.19, dapat diamati bahwa kecepatan *settling* dari kapal sandar berada pada 0.09 m/s, kemudian model diberikan gangguan berupa kecepatan arus senilai 0.3 m/s pada detik ke 89 yaitu 1 meter sebelum kapal sandar menabrak *berthing dolphin* yang dapat diamati pada Gambar 4.18. Setelah menerima gangguan, kecepatan kapal sandar pun terpengaruh hingga 0.38995 m/s, tetapi dalam waktu 10 detik yaitu saat kapal sandar menabrak *berthing dolphin*, kecepatan kapal sandar sudah terkendali hingga didapati kecepatan senilai 0.065371 m/s. Adapun nilai kecepatan kendali tersebut tergolong aman karena parameter kecepatan aman sandar kapal adalah sekitar 0.09 m/s hingga 0.15 m/s saat menabrak *berthing dolphin*.

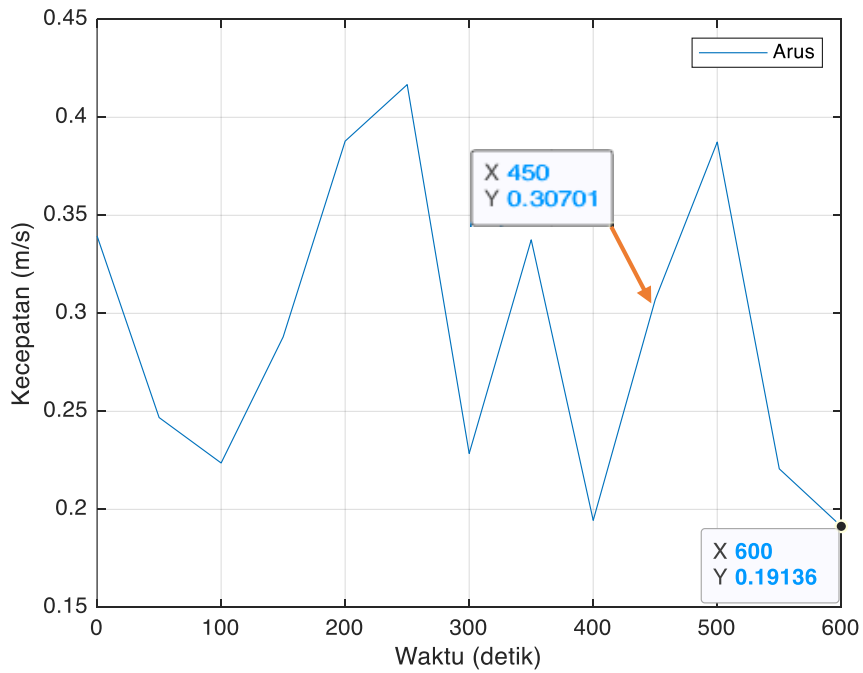
#### 4.7.2.2 Simulasi Respons pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number



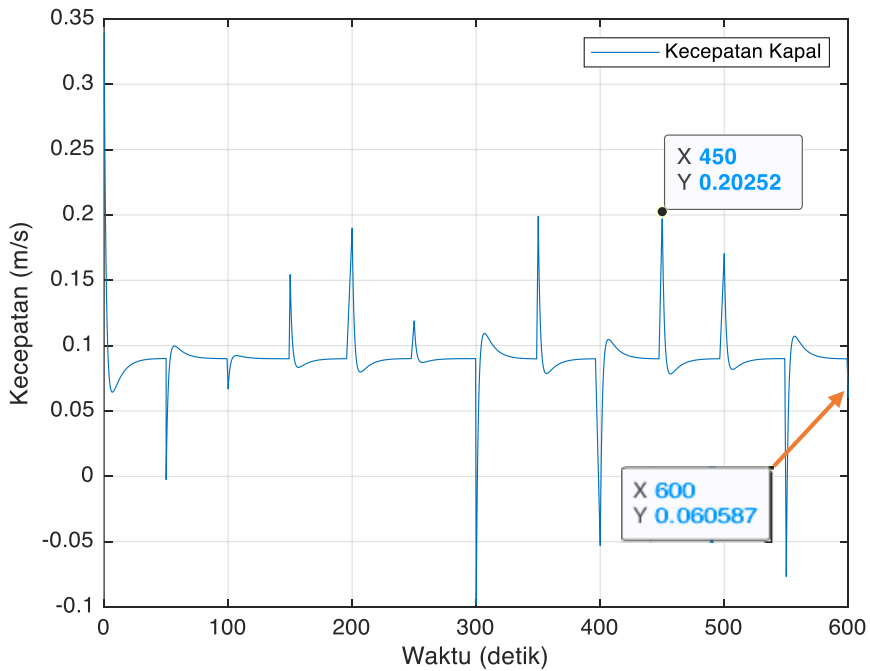
Gambar 4.20 Model Respons DP Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus Tipe Random Number

Gambar 4.20 merupakan model respons DP kapal tunda terhadap gangguan berupa kecepatan arus dengan tipe *random number* pada kondisi dinamis. Masukan pada sistem berupa koordinat Y yang menyesuaikan trayektori kapal sandar khususnya terhadap pergerakan *sway* kapal saat sandar. Koordinat Y kapal sandar yang dirancang pun berjarak 54 meter dari *berthing dolphin*. Dikarenakan kondisi pada model adalah kondisi dinamis, maka kapal sandar pada model ini memiliki kecepatan sandar yaitu dirancang pada 0.09 m/s. Adapun nilai rata-rata kecepatan yang dimasukkan adalah senilai 0.3 m/s dengan nilai *variance* senilai 0.01, *seed* senilai 150, dan *sample time* setiap 50 detik. Kecepatan arus tersebut yang nantinya akan memengaruhi kecepatan sandar kapal sebagai gangguan dengan begitu model ini dapat digunakan untuk mengamati waktu respons DP kapal tunda untuk mempertahankan posisi kapal sandar serta kecepatan aman sandar kapal khususnya ketika kapal sandar menabrak *berthing dolphin* yaitu senilai 0.09 m/s hingga 0.15 m/s. Berikut Gambar 4.21 merupakan nilai gangguan berupa kecepatan arus pada satuan waktu dan Gambar 4.22 plot hasil simulasi respons model DP kapal tunda pada kondisi dinamis dengan sarat maksimum kapal sandar dan pengaruh kecepatan arus tipe *random number*.



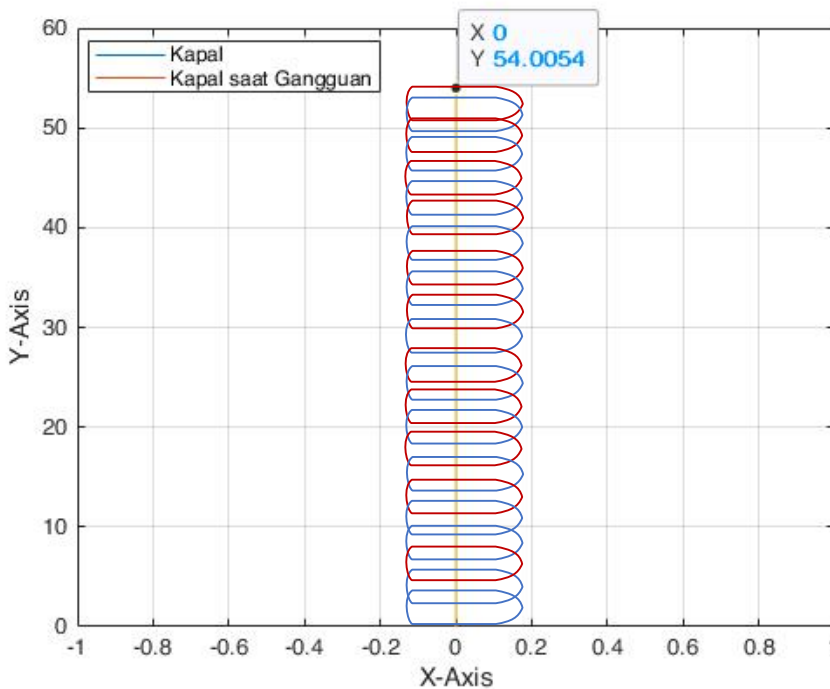


Gambar 4.21 Gangguan Kecepatan Arus Tipe Random Number dengan Rata-rata 0.3 m/s



Gambar 4.22 Simulasi Respons Kecepatan Model Kapal Tunda pada Kondisi Dinamis terhadap Kecepatan Arus Tipe *Random Number*

Berdasarkan Gambar 4.21 dapat diamati grafik hubungan antara kecepatan arus sebagai gangguan pada proses penyandaran terhadap satuan waktu. Nilai kecepatan arus yang dimasukkan adalah tipe *random number* dengan nilai rata-rata 0.3 m/s dan didapati nilai maksimal kecepatan arus yang memberi pengaruh terbesar terhadap kecepatan kapal sandar adalah senilai 0.30701 m/s di detik ke 450. Perlu diketahui bahwa gangguan ini hanya timbul satu detik pada waktu gangguan tersebut muncul sehingga pada detik itu pula gangguan akan hilang dan timbul kembali di waktu kemunculan berikutnya. Kemudian, dapat diamati pada Gambar 4.22 hubungan antara kecepatan kapal sandar pada satuan waktu. Adapun dengan mengamati kedua gambar tersebut, dapat diketahui kecepatan sandar dan kecepatan arus yang memengaruhinya pada tiap satuan waktu. Diketahui pula bahwa detik ke 600 adalah saat kapal sandar menabrak *berthing dolphin*. Oleh karena itu, kecepatan kapal sandar pada detik ke 600 tidak boleh melebihi 0.15 m/s dan didapati bahwa nilai kecepatan kapal sandar saat menabrak *berthing dolphin* di detik ke 600 adalah senilai 0.060587 m/s dengan gangguan kecepatan arus senilai 0.19136 m/s. Berikut Gambar 4.23 merupakan trayektori kapal sandar dari hasil simulasi model respons DP kapal tunda pada kondisi dinamis terhadap kecepatan arus tipe *random number*.



Gambar 4.23 Trayektori Sandar Kapal dengan DP Kapal Tunda dan Gangguan Kecepatan Arus

#### 4.8 Analisis Hubungan Sistem Propulsi terhadap Respons DP Kapal Tunda

Dari seluruh hasil simulasi yang telah dilakukan, telah diketahui kecepatan respons yang dibutuhkan oleh DP kapal tunda untuk meningkatkan efektivitas dan keselamatan penundaan. Kecepatan respons tersebut dapat tercapai apabila sistem pada DP kapal

tunda mampu memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan. Spesifikasi yang dibutuhkan berdasarkan hasil simulasi (Gambar 4.4), antara lain:

1. Maksimum *overshoot* senilai 10.27%, artinya sebelum sistem memosisikan arah dan besar *thrust* sesuai perintah kontrol, terdapat kesalahan berupa arah *thrust* dengan nilai maksimum 10.27% dari arah yang dituju dalam waktu 6.5307 detik.
2. *Time settling* senilai 14.1499 detik, artinya sistem dapat memosisikan arah dan besar *thrust* sesuai perintah kontrol dalam waktu tersebut dengan kesalahan berupa arah *thrust* senilai 5% dari arah yang dituju.
3. *Error steady-state* senilai 5% dari nilai stabil yang dituju, artinya ketika sistem telah memosisikan arah dan besar *thrust* sesuai perintah kontrol, nilai stabil terhadap arah dan besar *thrust* tersebut memiliki batas wajar kesalahan senilai 5% dari nilai yang diharapkan.

Adapun untuk memenuhi ketiga spesifikasi tersebut, sistem pada DP kapal tunda yang dimaksud adalah sistem propulsi dari DP kapal tunda dan analisis pada penelitian ini fokus pada penggunaan sistem propulsi *Azimuth Thruster* dan *Voith Schneider Propeller*. Berikut pembahasan lebih lanjut mengenai kedua sistem propulsi tersebut untuk dapat diketahui sistem propulsi mana yang mampu memenuhi spesifikasi sesuai kebutuhan DP kapal tunda.

#### 4.8.1 Analisis Respons DP Kapal Tunda dengan Azimuth Thruster

Analisis respons DP kapal tunda dengan sistem propulsi tipe *Azimuth Thruster* dilakukan berdasarkan spesifikasi atau sifat dasar yang dimilikinya. Spesifikasi atau sifat dasar yang dimiliki ini diharuskan dapat memenuhi kebutuhan DP kapal tunda akan tiga spesifikasi respons. Berikut spesifikasi atau sifat-sifat dasar sistem propulsi *Azimuth Thruster* yang dapat dan tidak dapat memenuhi kebutuhan DP kapal tunda, antara lain:

1. Kemampuan menghasilkan *thrust* yang optimal ke segala arah. Dibandingkan dengan sistem propulsi *existing* atau konvensional, *Azimuth Thruster* memiliki keunggulan untuk dapat menghasilkan *thrust* dalam 360° arah dengan rata-rata *gyration speed* senilai 180°/12 detik. Nilai tersebut memungkinkan sistem untuk dapat memberikan respons terhadap arah *thrust* yang diharapkan dalam waktu 12 detik atau *time settling* senilai 12 detik.
2. Inefisiensi *thrust* saat transisi arah. *Thrust* yang diberikan tidak efisien saat propulsi sedang melakukan transisi arah. Hal ini karena *thrust* diberikan tidak hanya pada 180° sudut putar tetapi selama propulsi berputar dari 0° menuju 180° yang mengakibatkan *error* posisi pada kapal. Pada respons DP kapal tunda, *error* posisi ini memperlambat nilai *time settling* yang seharusnya 12 detik dan mengurangi nilai *error steady-state*.

#### 4.8.2 Analisis Respons DP Kapal Tunda dengan Voith Schneider Propeller

Begitu pun analisis respons DP kapal tunda dengan sistem propulsi *Voith Schneider Propeller* dilakukan berdasarkan spesifikasi atau sifat dasar yang dimiliki sistem propulsi tersebut dalam memenuhi kebutuhan respons DP kapal tunda. Berikut merupakan spesifikasi dari sistem propulsi *Voith Schneider Propeller* yang mendukung atau pun tidak mendukung kebutuhan respons DP kapal tunda, antara lain:

1. Respons sensitif dengan rata-rata *gyration speed* senilai  $180^\circ/6$  detik sehingga dapat memberikan variasi kecepatan dan arah *thrust* lebih efektif dan efisien. Hal ini berarti VSP dapat meminimal nilai *overshoot* dan memaksimalkan nilai *time settling*.
2. Pendistribusian daya yang simetris dalam setiap arah antara propeler dengan ujung kapal (minimum *error steady-state*). Sifat ini memungkinkan sistem propulsi untuk memberikan *thrust* hanya pada arah yang diperintahkan oleh DP kapal tunda sehingga dapat meningkatkan efisiensi *thrust* dan meminimalkan terdapatnya gaya-gaya dorong yang dapat menyebabkan *error* posisi hingga kapal dapat menabrak ke bangunan stasioner di dekatnya.
3. Voith Roll Stabilization (VRS) merupakan sifat dari VSP untuk dapat meningkatkan stabilitas kapal dengan meniadakan gerakan roll kapal walaupun pada kondisi lingkungan yang ekstrem. Hal ini meningkatkan kemampuan sistem untuk meminimalkan nilai dari *error steady-state*.
4. VSP membutuhkan lebih sedikit energi saat mengaktifkan sistem DP sehingga lebih menghemat penggunaan bahan bakar.

Berdasarkan seluruh spesifikasi pada kedua sistem propulsi yang telah dilakukan analisis, terlampir DP kapal tunda yang menggunakan sistem propulsi *Azimuth Thruster* dan *Voith Schneider Propeller* terlampir pada Lampiran XI dan XII. Berikut Tabel 4.6 merupakan ringkasan dari hasil analisis hubungan sistem propulsi terhadap respons DP kapal tunda.

Tabel 4.6 Ringkasan Hasil Analisis Hubungan Sistem Propulsi terhadap Respons DP Kapal Tunda

Spesifikasi DP Kapal Tunda	Spesifikasi atau Sifat Dasar Sistem Propulsi					
	Azimuth Thruster			Voith Schneider Propeller		
	Sebab	Akibat	Nilai	Sebab	Akibat	Nilai
<b>Maksimum overshoot senilai 10.27%</b>	Optimalisasi <i>thrust</i>	Meminimalkan nilai <i>overshoot</i>	✓	Respons sensitif	Meminimalkan nilai <i>overshoot</i>	✓
<b>Time settling senilai 14.1499 detik</b>	<i>gyration speed</i> senilai $180^\circ/12$ detik	<i>Time settling</i> 12 detik	✓	Respons sensitif senilai $180^\circ/6$ detik	<i>Time settling</i> 6 detik	✓
	Inefisiensi distribusi <i>thrust</i>	<i>Error</i> posisi yang mengurangi <i>time settling</i>	×	Distribusi daya yang simetris pada segala arah	Meniadakan inefisiensi distribusi <i>thrust</i>	✓
<b>Error steady-state senilai 5% dari nilai stabil yang dituju</b>	Inefisiensi distribusi <i>thrust</i>	<i>Error steady-state</i> lebih dari 5% saat detik yang diharapkan	×	<i>Voith Roll Stabilization</i> (VRS)	Meminimalkan <i>error steady-state</i>	✓

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah menyelesaikan seluruh metode penelitian, didapati beberapa kesimpulan sebagai hasil akhir dari penelitian. Adapun kesimpulan dari penelitian ini, antara lain:

1. Konsep desain sistem DP kapal tunda untuk meningkatkan efektivitas dan keselamatan pada daerah operasi CIB dan SPM di PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap adalah menggunakan kendali PID atau DP kapal tunda dengan P, I, dan D senilai 0.01, 0, 0.1 sehingga memiliki tiga parameter nilai, yaitu *maximum overshoot* 10.27%, *time settling* 14.1499 detik, dan maksimal *error steady state* 5% dari nilai stabil yang diharapkan. Adapun tipe penggerak yang dapat memenuhi spesifikasi tersebut adalah tipe propulsi *Voith Schneider Propeller* (VSP) dibandingkan dengan tipe penggerak pada model *existing* dan *Azimuth Thruster*. Hal ini dikarenakan karakteristik VSP yang memungkinkan sistem memiliki nilai minimum dari *overshoot* dan *error steady-state*, yaitu dengan respons sensitif senilai 180°/6 detik, VRS, dan pendistribusian daya yang simetris dalam setiap arah.
2. Konsep desain DP kapal tunda dapat meningkatkan efektivitas dan keselamatan pada operasi penundaan di CIB dan SPM, PT. Pertamina (Persero) MR IV Cilacap dibandingkan dengan kapal tunda *existing*. Hal ini dibuktikan dari hasil simulasi respons model DP kapal tunda yang menyatakan bahwa DP kapal tunda dapat mengurangi kecepatan kapal sandar saat menabrak *berthing dolphin* hingga 0.065371 m/s dari 0.38995 m/s saat sistem menerima gangguan berupa kecepatan arus senilai 0.3 m/s atau dua kali kecepatan semula kapal sandar dengan kecepatan aman sandar kapal senilai 0.09 m/s hingga 0.15 m/s saat menabrak *berthing dolphin*.

#### **5.2 Saran**

Pada penelitian ini terdapat beberapa kekurangan yang dapat dijadikan saran sebagai perbaikan agar penelitian berikutnya yang sejenis dengan penelitian ini dapat menjadi lebih sempurna. Adapun beberapa saran tersebut antara lain:

1. Saran atas penggunaan DP kapal tunda, khususnya untuk operasi penundaan di CIB dan SPM, PT. Pertamina (Persero) MR IV, karena terbukti bahwa DP kapal tunda dapat meningkatkan efektivitas dan keselamatan penundaan dengan kondisi lingkungan.
2. Pada saat merancang DP kapal tunda secara nyata, disarankan untuk memastikan lebih lanjut bahwa spesifikasi penggerak DP kapal tunda yang digunakan dapat memenuhi kecepatan respons model yang dirancang, terutama dari spesifikasi motor pada *thruster* DP kapal tunda.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Blanke, M., Lindegaard, K.-P., Fossen, T.I., 2000. Dynamic Model for Thrust Generation of Marine Propellers. *IFAC Proc.* Vol. 33, 353–358.
- Bui, V.P., Kawai, H., Kim, Y.B., Lee, K.S., 2011. A Ship Berthing System Design with Four Tugboats. *J. Mech. Sci. Technol.*
- Chas, C.S., Ferreiro, R., 2008. Introduction to Ship Dynamic Positioning Systems. *J. Marit. Res.* V, 19.
- Chen, X.T., Tan, W.W., 2010. A Type-2 Fuzzy Logic Controller for Dynamic Positioning Systems. *IEEE.*
- Desai-Patil, V., Ayare, A., Mahajan, B., Bade, S., 2015. A Review of Azimuth Thruster. *Int. J. Mech. Eng.* 2, 38–41.
- Dev, A.K., 2011. Dynamic Positioning and its Application in Accommodation Barges and Anchor Handling Tugs, in: *MTEC2011*. Singapore, p. 7.
- DNVGL-RP-E306 Dynamic Positioning Vessel Design Philosophy Guidelines, 2015. 168.
- DNV-RP-H103: Modelling and Analysis of Marine Operations, 2011. 150.
- Donnarumma, S., Figari, M., Martelli, M., Vignolo, S., Viviani, M., 2018. Design and Validation of Dynamic Positioning for Marine Systems: A Case Study. *IEEE J. Ocean. Eng.* 43, 677–688.
- Donnarumma, S., Figari, M., Martelli, M., Vignolo, S., Viviani, M., 2017. Design and Validation of Dynamic Positioning for Marine Systems - A Case Study. *IEEE J. Ocean. Eng.* 12.
- Fossen, T.I., 1994. *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. John Wiley & Sons Ltd., England.
- Halvorsen, H., Breivik, M., Hovstein, V.E., 2008. *Dynamic Positioning for Unmanned Surface Vehicles*. Norwegian University of Science and Technology, Norway.
- Lacet, P., 2002. *Guidelines for Design Fender Systems*. International Navigation Association, Belgium.
- Ngongi, W.E., Du, J., Wang, R., 2015. Robust Fuzzy Controller Design for Dynamic Positioning System of Ships. *Int. J. Control Autom. Syst.*
- Rowell, D., 2002. *State-Space Representation of LTI Systems* 18.
- Thoresen, C.A., 2003. *Port Designers Handbook*, 2nd. ed. ed. Thomas Telford, London.
- Voith Schneider Propeller VSP | Voith [WWW Document], n.d. URL <http://voith.com/corp-en/drives-transmissions/voith-schneider-propeller-vsp.html?> (accessed 2.27.19).
- Wiraputra, A.S., Masroeri, A.A., Prananda, J., 2019. Perancangan Sistem Kendali Kemudi Kapal Menggunakan Kontrol PID dengan Metode Tuning Genetic Algorithm. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**LAMPIRAN I: PERMODELAN DINAMIKA KAPAL  
(STATE SPACE)**

## I. DATA KAPAL SUCCESS FORTUNE XL

Data Kapal	Nilai	Satuan
LPP (Panjang)	320	<i>m</i>
LWL (Panjang)	329.6	<i>m</i>
U (Kecepatan)	2.057776	m/s
B (Lebar)	58.04	<i>m</i>
T (Sarat)	20.8	<i>m</i>
$C_B$ (Koefisien Blok)	<b>0.861340997</b>	-
$X_G$ (Center of Gravity)	<b>10.90165184</b>	<i>m</i>
$A_\delta$ (Luasan Rudder)	<b>104.832</b>	<i>m</i> <sup>2</sup>
$\Delta$ (Displacement)	<b>341067</b>	ton
r (Jari-jari Girasi)	<b>56.24394095</b>	<i>m</i>

Konversi parameter kapal dengan metode *Prime-System 1*, yaitu merubah parameter dari dimensional menjadi non-dimensional

$$X'_G = \frac{X_G}{L_{PP}} \quad r' = \frac{r}{L_{PP}} \quad m' = \frac{m}{0,5\rho L_{PP}^3} \quad U' = \frac{U}{U}$$

Data Kapal Non-Dimensional	Nilai	Satuan
U' (Kecepatan Non-Dimensional)	1.00000	-
m' (Massa Non-Dimensional)	0.02031	-
$X'_G$ '(Spesific Gravity Non-Dimensional)	0.034067662	-
r' (Jari-jari Girasi Non-Dimensional)	0.17576	-

Fn	0.03619
LCB	3.3075% from graphic of LCB

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$I = \frac{1}{120} \pi \rho L B T (4T^2 + L^2)$$

$A = Displacement$

## II. KOEFISIEN HIDRODINAMIS NON-DIMENSIONAL

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

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

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

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

$$\frac{-Y'_v}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.40 \frac{C_B B}{T}$$

$$\frac{-Y'_r}{\pi(T/L)^2} = -\frac{1}{2} + 2.2 \left(\frac{B}{L}\right) - 0.080 \left(\frac{B}{T}\right)$$

$$\frac{-N'_v}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{2} + 2.4 \left(\frac{T}{L}\right)$$

$$\frac{-N'_r}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{4} + 0.039 \left(\frac{B}{T}\right) - 0.56 \left(\frac{B}{L}\right)$$

$$Y'_\delta = \frac{\pi A_\delta}{4LT}$$

$$N'_\delta = -\frac{1}{2} Y'_\delta$$

$$I'_r = m' \cdot r'^2$$

$$I'_z = m' X'_G + I'_r$$

Sumber: Regresi Linier Clarke (1982)

Koefisien Hidrodinamis Non-Dimensional	Nilai
$Y'_{\dot{v}}$	-0.0161424
$Y'_{\dot{r}}$	-0.0012713
$N'_{\dot{v}}$	-0.0011291
$N'_{\dot{r}}$	-0.0008535
$Y'_v$	-0.0260208
$Y'_r$	0.0043011
$N'_v$	-0.0087028
$N'_r$	-0.0034129
$Y'_\delta$	12.6728438
$N'_\delta$	-6.3364219
$I'_r$	0.0006274
$I'_z$	0.0013193

### III. MATRIKS KOEFISIEN HIDRODINAMIS NON-DIMENSIONAL

$$M\dot{v} + N(u_0)v = b\delta_R \quad (2.16)$$

$$M = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mx_G - Y_{\dot{r}} \\ mx_G - N_{\dot{v}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$N(u_0) = \begin{bmatrix} -Y_v & mu - Y_r \\ -N_v & mx_G u - N_r \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

$$b = \begin{bmatrix} Y_\delta \\ N_\delta \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Nilai Matriks Hidrodinamika Non-Dimensional					
Inersia (M')		Redaman ( $N'(u_0)$ )		Gaya Rudder (b')	
m'11	0.036452	n'11	0.026021	b'1	12.67284
m'12	0.001963	n'12	0.016008		
m'21	0.001821	n'21	0.008703	b'2	-6.33642
m'22	0.002173	n'22	0.004105		

Sehingga didapat nilai matriks sebagai berikut.

$$M' = \begin{bmatrix} 0.03645 & 0.00196 \\ 0.00182 & 0.00217 \end{bmatrix} \quad N'(u_0) = \begin{bmatrix} 0.02602 & 0.016008 \\ 0.00870 & 0.004105 \end{bmatrix}$$

$$b' = \begin{bmatrix} 12.67284 \\ -6.33642 \end{bmatrix}$$

## VI. MATRIKS KOEFISIEN HIDRODINAMIS DIMENSIONAL

Metode normalisasi yang digunakan adalah metode *Prime-System SNAME* yaitu *Prime-System I* dengan parameter kecepatan kapal (U) dan panjang kapal (L)

Tabel *Prime-System I*

Satuan	<i>Prime-System I</i>
Panjang	$L$
Massa	$0,5\rho L^3$
Momen Inersia	$0,5\rho L^5$
Waktu	$L/U$
Area Referensi	$L^2$
Posisi	$L$
Sudut	1
Kecepatan Linier	$U$
Kecepatan Angular	$U/L$
Percepatan Linier	$U^2/L$
Percepatan Angular	$U^2/L^2$
Gaya	$0,5\rho U^2 L^2$
Momen	$0,5\rho U^2 L^3$

Normalisasi kombinasi antara variabel keadaan actual dengan non-dimensional model parameter.

$$\begin{bmatrix} \frac{L}{U^2} m'_{11} & \frac{L^2}{U^2} m'_{12} \\ \frac{L}{U^2} m'_{21} & \frac{L^2}{U^2} m'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{U} n'_{11} & \frac{L}{U} n'_{12} \\ \frac{1}{U} n'_{21} & \frac{L}{U} n'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b'_1 \\ b'_2 \end{bmatrix} \delta_R$$

Nilai Matriks Hidrodinamika Dimensional					
Inersia (M)		Redaman ( N(u <sub>0</sub> ))		Gaya Rudder (b)	
m11	2.754688	n11	0.012645	b1	12.67284
m12	47.474783	n12	2.489409		
m21	0.137611	n21	0.004229	b2	-6.33642
m22	52.545119	n22	0.638323		

Sehingga didapat nilai matriks sebagai berikut.

$$M = \begin{bmatrix} 2.754688 & 47.47478 \\ 0.137611 & 52.54512 \end{bmatrix} \quad N(u_0) = \begin{bmatrix} 0.012645 & 2.489409 \\ 0.004229 & 0.638323 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 12.67284 \\ -6.33642 \end{bmatrix}$$

## VI. PERMODELAN STATE SPACE

Digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\dot{x} = Ax + b_1 u \quad A = -M^{-1}N \quad b_1 = M^{-1}b$$

dengan,

$$\det(M) = (m - Y_{\dot{\psi}})(I_z - N_r) - (m x_G - N_{\dot{\psi}})(m x_G - Y_r)$$

$$\det(N) = Y_v(N_r - m x_G u_0) - N_v(Y_r - m u_0)$$

sehingga,

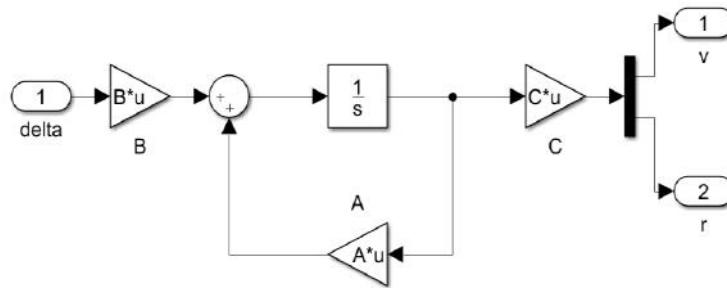
Dengan nilai dari det matriks M dan N sebagai	
det (M)	138.2123578
det (N)	-0.002456654

dan didapatkan nilai persamaan berikut.

Matriks A		Matriks b1	
A11	-0.003355	$b_1 1$	6.992313385
A12	-0.727157	$b_1 2$	-0.138902326
A21	-0.000072		
A22	-0.010244		

$$A = \begin{bmatrix} -0.00335470854061093 & -0.727156738010145 \\ -7.16975291847372e-05 & -0.0102437342301135 \end{bmatrix}$$

$$b_1 = \begin{bmatrix} 6.99231338517630 \\ -0.138907375775444 \end{bmatrix}$$



Permodelan Dinamika Kapal Sandar pada MATLAB Simulink

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**LAMPIRAN II: TRAYEKTORI SANDAR KAPAL  
(DESIRED COORDINATE – Y)**

Time	Y-Value	Time	Y-Value	Time	Y-Value	Time	Y-Value
0	0.00	39	3.51	78	7.02	117	10.53
1	0.09	40	3.60	79	7.11	118	10.62
2	0.18	41	3.69	80	7.20	119	10.71
3	0.27	42	3.78	81	7.29	120	10.80
4	0.36	43	3.87	82	7.38	121	10.89
5	0.45	44	3.96	83	7.47	122	10.98
6	0.54	45	4.05	84	7.56	123	11.07
7	0.63	46	4.14	85	7.65	124	11.16
8	0.72	47	4.23	86	7.74	125	11.25
9	0.81	48	4.32	87	7.83	126	11.34
10	0.90	49	4.41	88	7.92	127	11.43
11	0.99	50	4.50	89	8.01	128	11.52
12	1.08	51	4.59	90	8.10	129	11.61
13	1.17	52	4.68	91	8.19	130	11.70
14	1.26	53	4.77	92	8.28	131	11.79
15	1.35	54	4.86	93	8.37	132	11.88
16	1.44	55	4.95	94	8.46	133	11.97
17	1.53	56	5.04	95	8.55	134	12.06
18	1.62	57	5.13	96	8.64	135	12.15
19	1.71	58	5.22	97	8.73	136	12.24
20	1.80	59	5.31	98	8.82	137	12.33
21	1.89	60	5.40	99	8.91	138	12.42
22	1.98	61	5.49	100	9.00	139	12.51
23	2.07	62	5.58	101	9.09	140	12.60
24	2.16	63	5.67	102	9.18	141	12.69
25	2.25	64	5.76	103	9.27	142	12.78
26	2.34	65	5.85	104	9.36	143	12.87
27	2.43	66	5.94	105	9.45	144	12.96
28	2.52	67	6.03	106	9.54	145	13.05
29	2.61	68	6.12	107	9.63	146	13.14
30	2.70	69	6.21	108	9.72	147	13.23
31	2.79	70	6.30	109	9.81	148	13.32
32	2.88	71	6.39	110	9.90	149	13.41
33	2.97	72	6.48	111	9.99	150	13.50
34	3.06	73	6.57	112	10.08	151	13.59
35	3.15	74	6.66	113	10.17	152	13.68
36	3.24	75	6.75	114	10.26	153	13.77
37	3.33	76	6.84	115	10.35	154	13.86
38	3.42	77	6.93	116	10.44	155	13.95

Time	Y-Value	Time	Y-Value	Time	Y-Value	Time	Y-Value
156	14.04	195	17.55	234	21.06	273	24.57
157	14.13	196	17.64	235	21.15	274	24.66
158	14.22	197	17.73	236	21.24	275	24.75
159	14.31	198	17.82	237	21.33	276	24.84
160	14.40	199	17.91	238	21.42	277	24.93
161	14.49	200	18.00	239	21.51	278	25.02
162	14.58	201	18.09	240	21.60	279	25.11
163	14.67	202	18.18	241	21.69	280	25.20
164	14.76	203	18.27	242	21.78	281	25.29
165	14.85	204	18.36	243	21.87	282	25.38
166	14.94	205	18.45	244	21.96	283	25.47
167	15.03	206	18.54	245	22.05	284	25.56
168	15.12	207	18.63	246	22.14	285	25.65
169	15.21	208	18.72	247	22.23	286	25.74
170	15.30	209	18.81	248	22.32	287	25.83
171	15.39	210	18.90	249	22.41	288	25.92
172	15.48	211	18.99	250	22.50	289	26.01
173	15.57	212	19.08	251	22.59	290	26.10
174	15.66	213	19.17	252	22.68	291	26.19
175	15.75	214	19.26	253	22.77	292	26.28
176	15.84	215	19.35	254	22.86	293	26.37
177	15.93	216	19.44	255	22.95	294	26.46
178	16.02	217	19.53	256	23.04	295	26.55
179	16.11	218	19.62	257	23.13	296	26.64
180	16.20	219	19.71	258	23.22	297	26.73
181	16.29	220	19.80	259	23.31	298	26.82
182	16.38	221	19.89	260	23.40	299	26.91
183	16.47	222	19.98	261	23.49	300	27.00
184	16.56	223	20.07	262	23.58	301	27.09
185	16.65	224	20.16	263	23.67	302	27.18
186	16.74	225	20.25	264	23.76	303	27.27
187	16.83	226	20.34	265	23.85	304	27.36
188	16.92	227	20.43	266	23.94	305	27.45
189	17.01	228	20.52	267	24.03	306	27.54
190	17.10	229	20.61	268	24.12	307	27.63
191	17.19	230	20.70	269	24.21	308	27.72
192	17.28	231	20.79	270	24.30	309	27.81
193	17.37	232	20.88	271	24.39	310	27.90
194	17.46	233	20.97	272	24.48	311	27.99

Time	Y-Value	Time	Y-Value	Time	Y-Value	Time	Y-Value
312	28.08	351	31.59	390	35.10	429	38.61
313	28.17	352	31.68	391	35.19	430	38.70
314	28.26	353	31.77	392	35.28	431	38.79
315	28.35	354	31.86	393	35.37	432	38.88
316	28.44	355	31.95	394	35.46	433	38.97
317	28.53	356	32.04	395	35.55	434	39.06
318	28.62	357	32.13	396	35.64	435	39.15
319	28.71	358	32.22	397	35.73	436	39.24
320	28.80	359	32.31	398	35.82	437	39.33
321	28.89	360	32.40	399	35.91	438	39.42
322	28.98	361	32.49	400	36.00	439	39.51
323	29.07	362	32.58	401	36.09	440	39.60
324	29.16	363	32.67	402	36.18	441	39.69
325	29.25	364	32.76	403	36.27	442	39.78
326	29.34	365	32.85	404	36.36	443	39.87
327	29.43	366	32.94	405	36.45	444	39.96
328	29.52	367	33.03	406	36.54	445	40.05
329	29.61	368	33.12	407	36.63	446	40.14
330	29.70	369	33.21	408	36.72	447	40.23
331	29.79	370	33.30	409	36.81	448	40.32
332	29.88	371	33.39	410	36.90	449	40.41
333	29.97	372	33.48	411	36.99	450	40.50
334	30.06	373	33.57	412	37.08	451	40.59
335	30.15	374	33.66	413	37.17	452	40.68
336	30.24	375	33.75	414	37.26	453	40.77
337	30.33	376	33.84	415	37.35	454	40.86
338	30.42	377	33.93	416	37.44	455	40.95
339	30.51	378	34.02	417	37.53	456	41.04
340	30.60	379	34.11	418	37.62	457	41.13
341	30.69	380	34.20	419	37.71	458	41.22
342	30.78	381	34.29	420	37.80	459	41.31
343	30.87	382	34.38	421	37.89	460	41.40
344	30.96	383	34.47	422	37.98	461	41.49
345	31.05	384	34.56	423	38.07	462	41.58
346	31.14	385	34.65	424	38.16	463	41.67
347	31.23	386	34.74	425	38.25	464	41.76
348	31.32	387	34.83	426	38.34	465	41.85
349	31.41	388	34.92	427	38.43	466	41.94
350	31.50	389	35.01	428	38.52	467	42.03

Time	Y-Value	Time	Y-Value	Time	Y-Value	Time	Y-Value
468	28.08	507	31.59	546	35.10	585	38.61
469	28.17	508	31.68	547	35.19	586	38.70
470	28.26	509	31.77	548	35.28	587	38.79
471	28.35	510	31.86	549	35.37	588	38.88
472	28.44	511	31.95	550	35.46	589	38.97
473	28.53	512	32.04	551	35.55	590	39.06
474	28.62	513	32.13	552	35.64	591	39.15
475	28.71	514	32.22	553	35.73	592	39.24
476	28.80	515	32.31	554	35.82	593	39.33
477	28.89	516	32.40	555	35.91	594	39.42
478	28.98	517	32.49	556	36.00	595	39.51
479	29.07	518	32.58	557	36.09	596	39.60
480	29.16	519	32.67	558	36.18	597	39.69
481	29.25	520	32.76	559	36.27	598	39.78
482	29.34	521	32.85	560	36.36	599	39.87
483	29.43	522	32.94	561	36.45	600	39.96
484	29.52	523	33.03	562	36.54		
485	29.61	524	33.12	563	36.63		
486	29.70	525	33.21	564	36.72		
487	29.79	526	33.30	565	36.81		
488	29.88	527	33.39	566	36.90		
489	29.97	528	33.48	567	36.99		
490	30.06	529	33.57	568	37.08		
491	30.15	530	33.66	569	37.17		
492	30.24	531	33.75	570	37.26		
493	30.33	532	33.84	571	37.35		
494	30.42	533	33.93	572	37.44		
495	30.51	534	34.02	573	37.53		
496	30.60	535	34.11	574	37.62		
497	30.69	536	34.20	575	37.71		
498	30.78	537	34.29	576	37.80		
499	30.87	538	34.38	577	37.89		
500	30.96	539	34.47	578	37.98		
501	31.05	540	34.56	579	38.07		
502	31.14	541	34.65	580	38.16		
503	31.23	542	34.74	581	38.25		
504	31.32	543	34.83	582	38.34		
505	31.41	544	34.92	583	38.43		
506	31.50	545	35.01	584	38.52		

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LAMPIRAN III: PEMODELAN DINAMIKA KAPAL DAN  
TABEL PENGAMATAN (MATLAB CODING)**

```

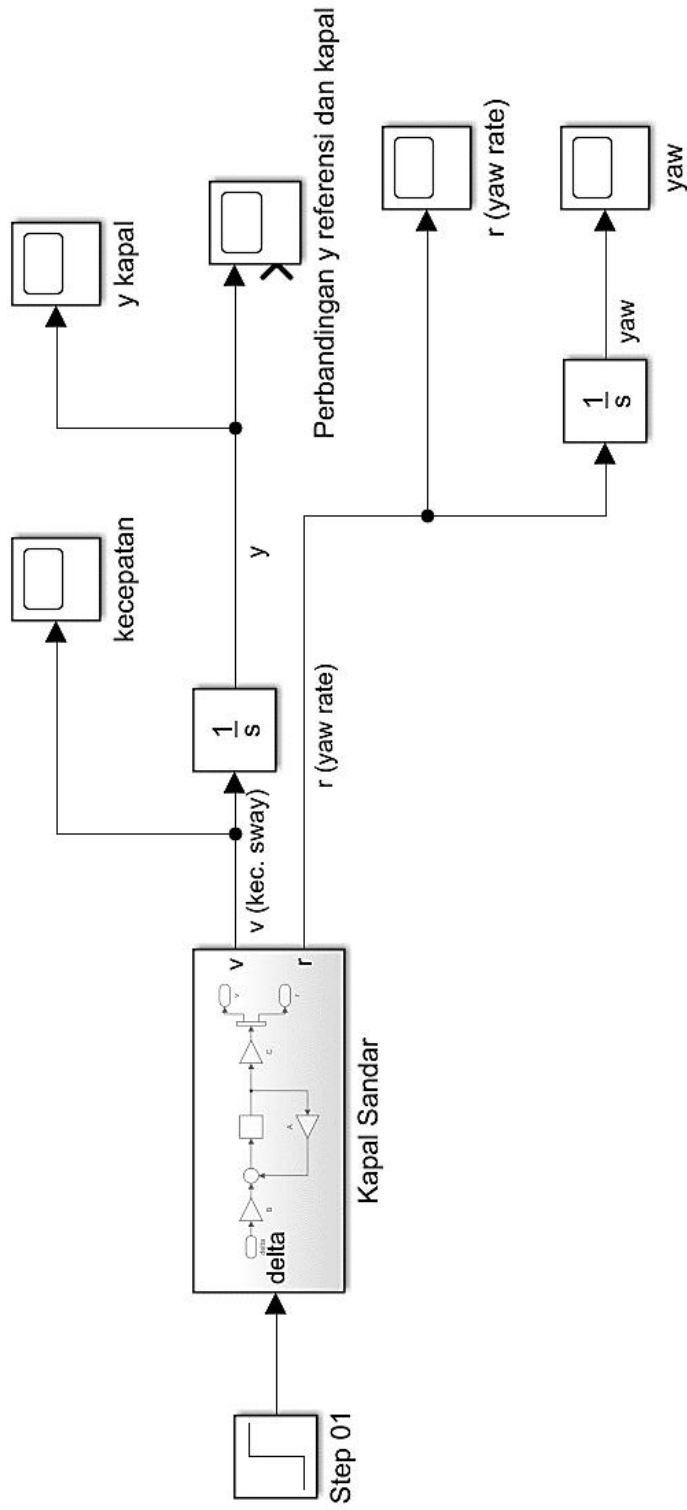
load('Y_baru.mat','Y');
M = [2.754688 47.474783; 0.137611 52.545119];
N = [0.012645 2.489409; 0.004229 0.638323];
b = [12.667284; -6.33642];

A = inv(M)*-N;
B = inv(M)*b;
C = eye(2);
%% perbandingan kapal dan referensi
plot(out.sinn(:,1),out.sinn(:,2));
hold on;
plot(out.reff(:,1),out.reff(:,2),'--');
legend('Kapal','Referensi')
xlabel('Waktu (detik)'); ylabel('Posisi (meter)');
grid;
%% kecepatan kapal statis
plot(out.sinn1(:,1),out.sinn1(:,2));
hold on;
plot(out.reff(:,1),out.reff(:,2),'--');
legend('Kapal','Referensi')
xlabel('Waktu (detik)'); ylabel('Kecepatan (m/s)');
grid;
%% kecepatan kapal dinamis
plot(out.sinn1(:,1),out.sinn1(:,2));
hold on;
legend('Kecepatan Kapal')
xlabel('Waktu (detik)'); ylabel('Kecepatan (m/s)');
grid;
%% gangguan arus
plot(out.sinn2(:,1),out.sinn2(:,2));
hold on;
legend('Arus')
xlabel('Waktu (detik)'); ylabel('Kecepatan (m/s)');
grid;
%% plot map
plot(zeros(length(out.sinn(:,1))),out.sinn(:,2));
hold on;
legend('Kapal','Kapal saat Gangguan')
xlabel('X-Axis'); ylabel('Y-Axis');
grid;
%% plot openloop, step
plot(out.sinn(:,1),out.sinn(:,2));
xlabel('Waktu (detik)'); ylabel('Posisi (meter)');
grid;

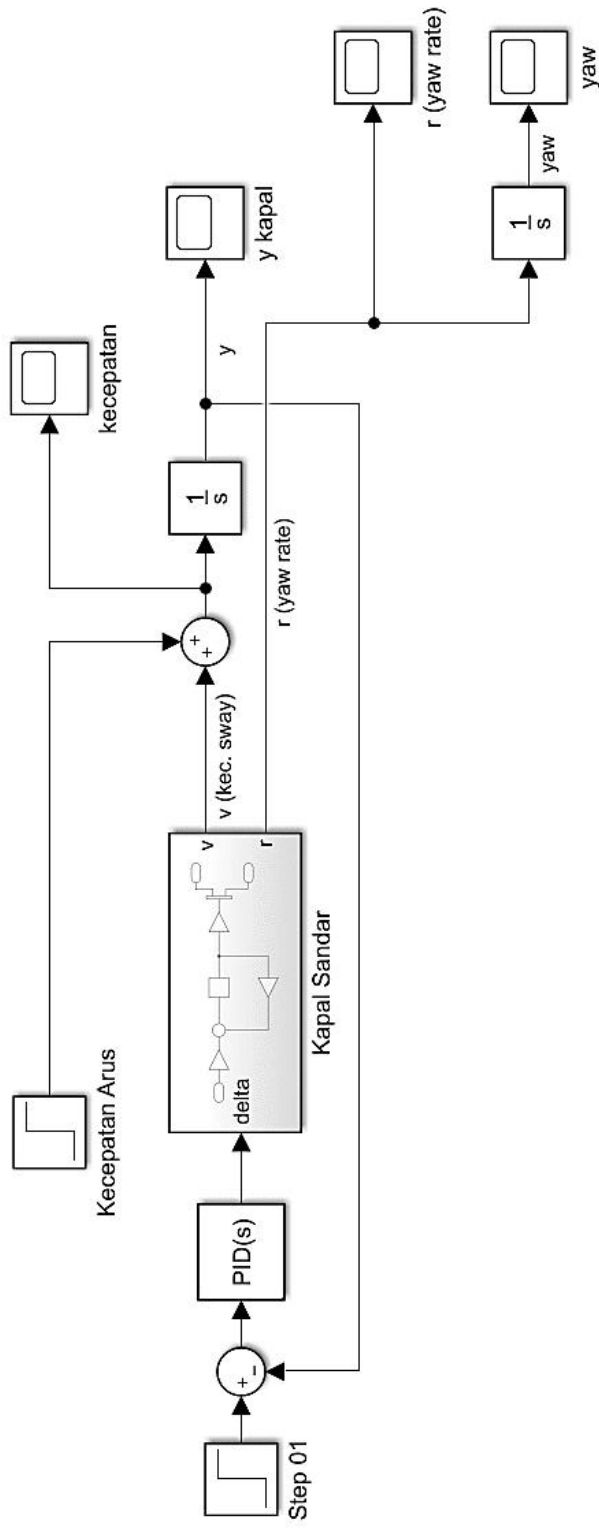
```



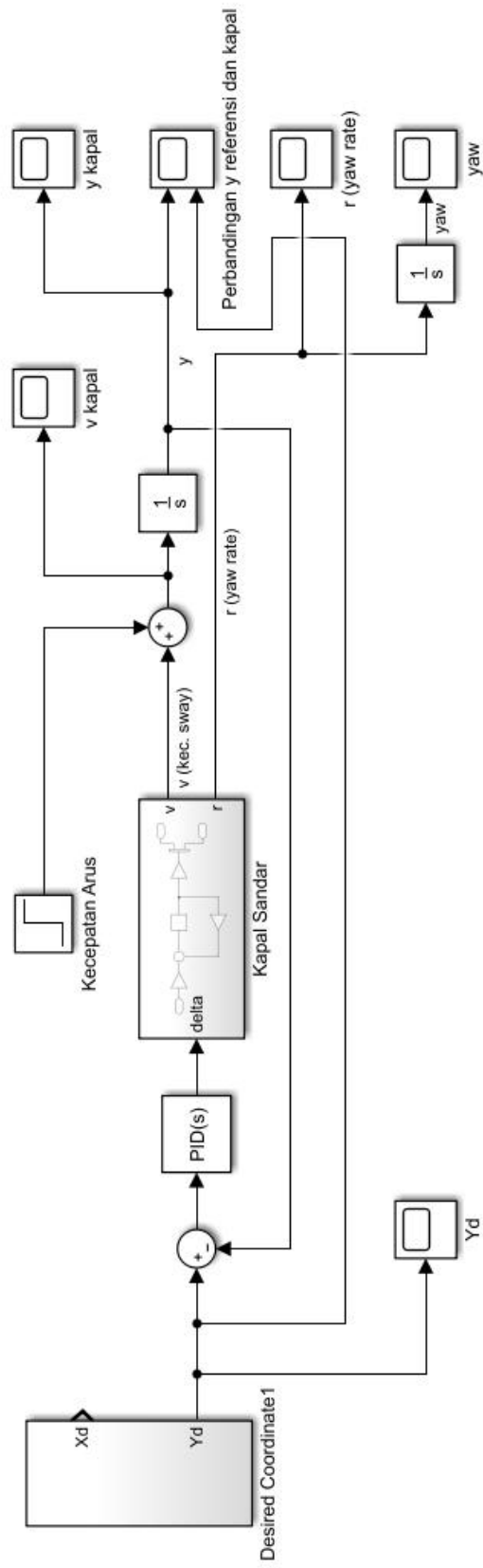
**LAMPIRAN IV: MODEL SIMULASI RESPONS KAPAL  
TUNDA TANPA DP (MATLAB SIMULINK)**



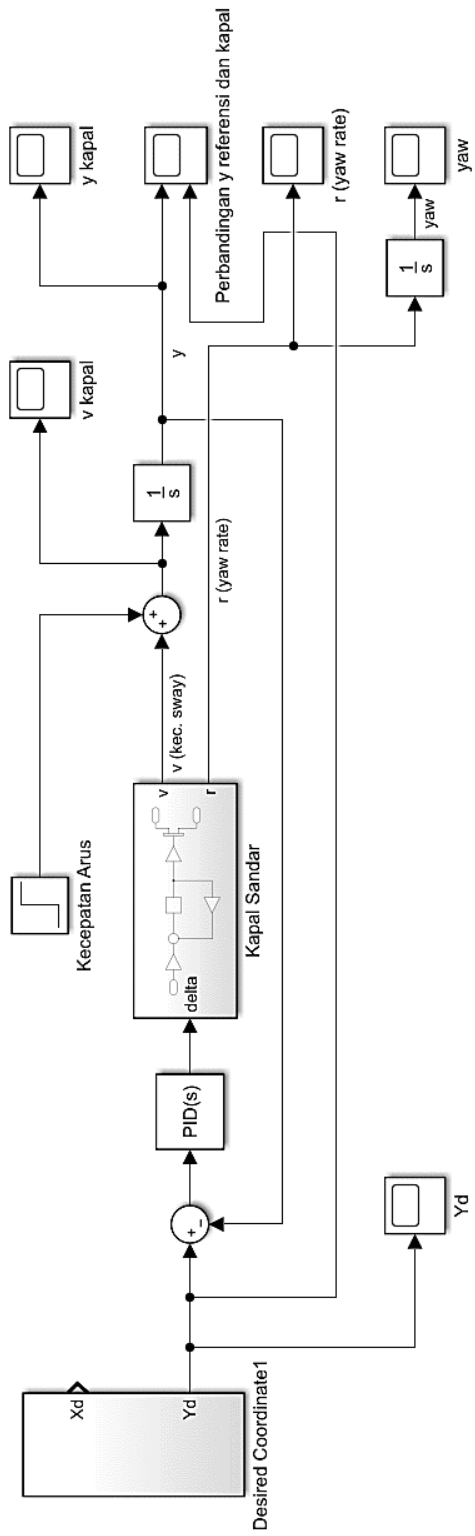
**LAMPIRAN V: MODEL SIMULASI RESPONS KAPAL  
TUNDA DENGAN DP TERHADAP KECEPATAN ARUS  
(MATLAB SIMULINK)**



**LAMPIRAN VI : MODEL SIMULASI RESPONS DP  
KAPAL TUNDA TERHADAP GANGGUAN KECEPATAN  
ARUS TIPE STEP (MATLAB SIMULINK)**



**LAMPIRAN VII: MODEL SIMULASI RESPONS DP  
KAPAL TUNDA PADA KONDISI STATIS TERHADAP  
GANGGUAN KECEPATAN ARUS TIPE STEP (MATLAB  
SIMULINK)**

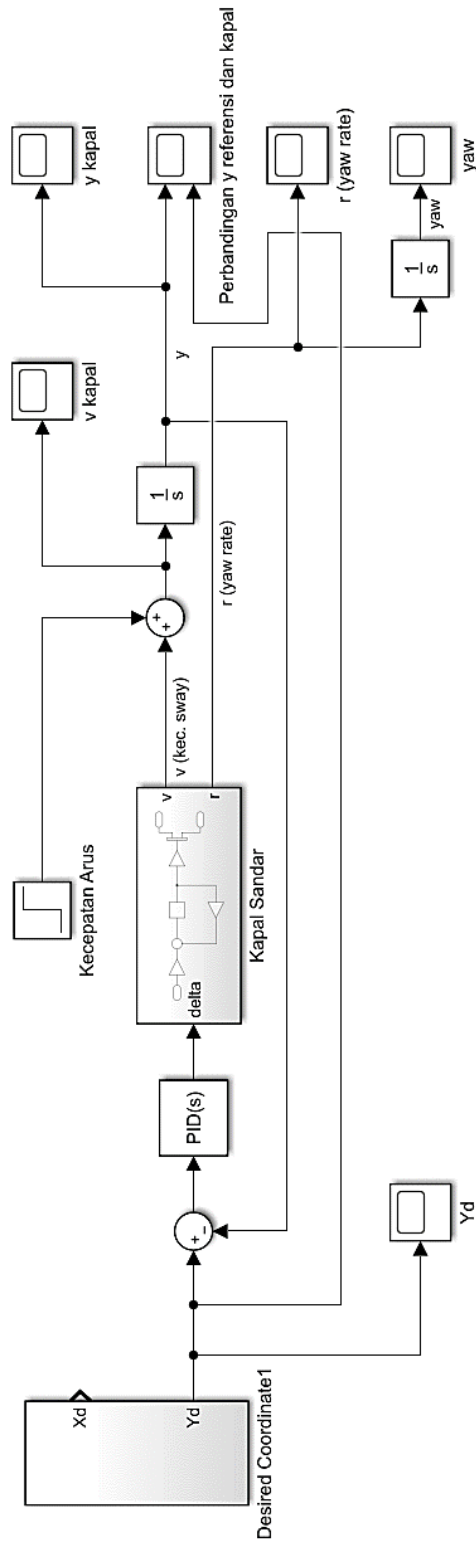




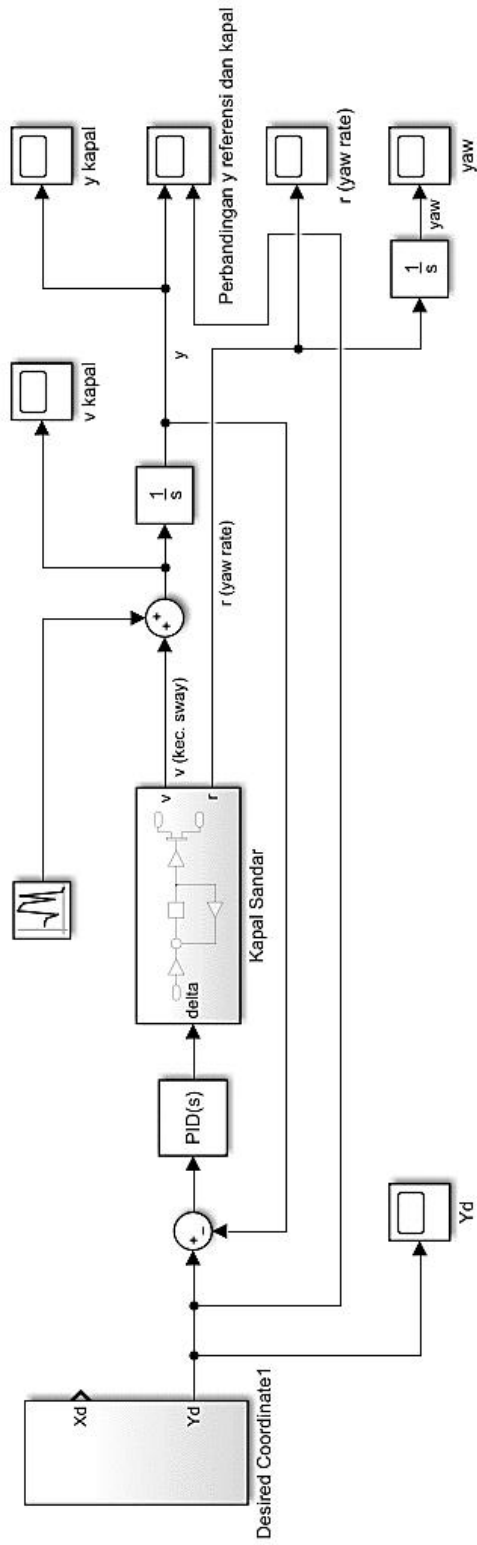
**LAMPIRAN VIII: MODEL SIMULASI RESPONS DP  
KAPAL TUNDA PADA KONDISI STATIS TERHADAP  
GANGGUAN KECEPATAN ARUS TIPE RANDOM  
NUMBER (MATLAB SIMULINK)**



**LAMPIRAN IX: MODEL SIMULASI RESPONS DP  
KAPAL TUNDA PADA KONDISI DINAMIS TERHADAP  
GANGGUAN KECEPATAN ARUS TIPE STEP (MATLAB  
SIMULINK)**



**LAMPIRAN X: MODEL SIMULASI RESPONS DP  
KAPAL TUNDA PADA KONDISI DINAMIS TERHADAP  
GANGGUAN KECEPATAN ARUS TIPE RANDOM  
NUMBER (MATLAB SIMULINK)**



**LAMPIRAN XI: SPESIFIKASI DP KAPAL TUNDA  
DENGAN SISTEM PROPULSI AZIMUTH THRUSTER  
(SAN CIRIACO)**

## San Ciriaco - Azimuth stern drive tugs



[Download pdf data sheet](#)

<b>TYPE</b>	Tug Aut- Ums Fire Fighting Ship
<b>FLAG</b>	Italian
<b>PORT OF REGISTRY</b>	Ravenna
<b>N° OF REGISTRY</b>	197
<b>TYPE OF NAVIGATION</b>	Unrestricted
<b>IMO N°</b>	9229219
<b>CALL SIGN</b>	IZOR
<b>YEAR</b>	2002
<b>YARD</b>	Damen Shipyard Bregum (The Netherland)
<b>CLASS SOCIETY</b>	R.I.N.A. Registro Italiano Navale
<b>ASSIGNED CLASS</b>	C+
<b>ADD.CLASS NOTATION</b>	AUT + UMS
<b>RADIO STATION AREA</b>	A1+A2

### Main Particulars

<b>Lenght Overall</b>	30,82 mt
<b>Lenght Overall With Platform</b>	
<b>Beam</b>	10,20 mt
<b>Maximum Draft</b>	4,80 mt
<b>Minimum Draft</b>	3,50 mt
<b>Gross Tonnage</b>	312 Tons
<b>Net Tonnage</b>	93 Tons
<b>Bollard pull</b>	539 Kn (55 Tons)

### Machinery

<b>Main Engines</b>	Cat. 3516 TA/HD (2 units)
<b>Powers</b>	3372 Kw - 4520 Bhp
<b>Propulsion</b>	N°2 Azimuth Thrust. RR205
<b>Aux Generators</b>	CAT. 33048 100KW/h (2 Units)

### Tanks Capacity

<b>Ballast</b>	42,6 m/c
<b>Fuel Oil</b>	135 m/c
<b>Fresh Water</b>	19,2 m/c
<b>Lube Oil</b>	3,9 m/c
<b>Hydraulic Oil</b>	0
<b>Dirty Oil</b>	0
<b>Foam</b>	23,6 m/c
<b>Dispersant</b>	0

### Accommodations

<b>Single cabin</b>	3
<b>Double Cabin</b>	2
<b>Crew messroom</b>	1
<b>Total accommodation</b>	7

### Towing Equipments

<b>AFT. TOWING WINCH</b> Krasljeveid	
<b>Winch Wire capacity</b>	600 mt Ø48
<b>Brake Holding capacity</b>	1300 Kn
<b>FOW. TOWING WINCH</b> Krasljeveid	
<b>Winch Wire capacity</b>	500 mt Ø48
<b>Brake Holding capacity</b>	1300 Kn

### Performance and indicative consumptions

<b>Maximum Speed</b>	13 Knots
<b>Cruising Speed</b>	12 Knots
<b>Economical Speed</b>	10 Knots
<b>Maximum fuel consumpt.</b>	10 M.T./ day
<b>Cruising load fuel consumpt.</b>	9 M.T./ day
<b>Economical load fuel consumpt.</b>	7 M.T./day
<b>Range in miles at economical speed</b>	4560 NM

### Special Equipment

<b>Anchor-Chain</b>	2 x 660 Kg Stocklees anchor - Chain Ø22
<b>Fifi Pumps</b>	Vickers Eaton Norway 1200Lt
<b>Fifi Monitors</b>	Monitor Jason Norway 1200 Lt
<b>Deck Crane</b>	Cytecma ck - 103/2SFC 3.2 Tons - 10,2 mt
<b>Survival Craft</b>	Duarry 3 (10+10+10)
<b>Rescue Boat</b>	Duarry (710 Kg 6 pers)
<b>Dispersant System</b>	Itur pump + lateral arms
<b>Oily Water Separator</b>	Coffin world USA



**LAMPIRAN XII: SPESIFIKASI DP KAPAL TUNDA  
DENGAN SISTEM PROPULSI VOITH SCHNEIDER  
PROPELLER (LUCA – VB TALISMAN)**



## “LUCA – VB TALISMAN”

GENERAL DETAILS	NAME	Luca - VB TALISMAN
	TYPE	VSP
	OWNER	S.E.R.S. s.r.l.
	DELIVERY	2000
	BUILDER	ROSETTI MARINO s.p.a. (ITA)
	FLAG	Italy - Spain
	PORT OF REGISTRY	Ravenna - Castellon
	IMO NUMBER	9225172
	CALL SIGN	I I T N 2 - E A K Z
	CLASSIFICATION	CLASSIFICATION SOCIETY
CLASS NOTATION		★100 - A - 1.1, Escort Tug, ☒Fire Fighting Ship 1, Waterspray, ☒AUT- UMS, Unrestricted Navigation
MAIN CHARACTERISTICS	LENGTH OVERALL [m]	32,5
	BEAM OVERALL [m]	11,5
	DEPTH [m]	4
	MAX. DRAUGHT [m]	5,55
	GROSS TONNAGE	443
PERFORMANCES	NET TONNAGE	132
	SPEED [kt]	12
	BOLLARD PULL [t]	55
PROPULSION and MACHINERY	MAIN ENGINES	2 x Deutz SBV9M628, 1.900kW at 925 rpm

DECK EQUIPMENT	PROPULSION	2x VSP 28 G-II
	GENSET	2x IVECO AIFO 8210 SRM36 200kVA 400V/50Hz
	HARBOUR GENSET	-
	FWD TOWING WINCH	RRM Rauma, hydraulic single drum, 150 t
	AFT TOWING WINCH	RRM Rauma, hydraulic, double drum, 150 t
	FWD TOWING HOOK	-
TANK CAPACITIES	AFT TOWING HOOK	1x Seebeck 55t SWL
	WINDLASS	2x Rauma, hydraulic
	FENDERING	Sausage, vertical blocks and side D fender
	FUEL OIL [m <sup>3</sup> ]	232
	FRESH WATER [m <sup>3</sup> ]	37
	LUBE OIL [m <sup>3</sup> ]	7,9
BRIDGE EQUIPMENT	FOAM [m <sup>3</sup> ]	14,5
	SEWAGE [m <sup>3</sup> ]	3,1
	ORO [m <sup>3</sup> ]	110,4
	NAVIGATION EQUIPMENT	Radars, DGPS, magnetic compass, autopilot, navtex, echosounder, speed log, AIS, BNWAS
	COMMUNICATION EQUIPMENT	VHF, SSB, Inmarsat (A1+A2+A3)
	SINGLE CABINS	4
ACCOMMODATION	DOUBLE CABINS	2
	QUADRUPLE CABINS	0
	MAX. SOLAS PERSON ONBOARD	8
	ALL ACCOMMODATION ARE FULLY AIR CONDITIONED [Y/N]	Y
	FIRE FIGHTING	FiFi 1 Class system
	PUMPS	1.200 + 1.500
EMERGENCY RESPONSE EQUIPMENT	MONITORS	2x 1.200 m <sup>3</sup> /h + 300 m <sup>3</sup> /hFoam
	SELF PROTECTION WATERSPRAY SYSTEM [Y/N]	Y

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Muhammad Satrio Budi Prakosa, merupakan anak dari Ir. Wihartono dan Dra. Rachmawati. Penulis lahir pada tanggal 3 Agustus 1997, di Banda Aceh. Penulis telah menyelesaikan jenjang Pendidikan formal dasar di SD Al Azhar 5 Kemandoran, jenjang menengah pertama di SMP Al Azhar 4 Kemandoran, jenjang menengah atas di SMA Al Azhar 1 Jakarta Pusat, dan saat ini sedang menyelesaikan Pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Program Sarjana Reguler, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi

Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di bidang *Marine Power Plant* (MPP). Selama menjalani perkuliahan di kampus ITS, penulis juga mengikuti kegiatan organisasi departemen yaitu himpunan dan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM), tepatnya dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (Himasiskal) FTK-ITS dan UKM Musik ITS. Penulis mengemban amanah sebagai *project officer* dari Biro *Big Event*, Himasiskal FTK-ITS yaitu *Marine Icon 2018* sedangkan pada UKM Musik ITS, penulis berperan sebagai Ketua Departemen Eksternal. Pada kedua posisi tersebut, penulis berperan sebagai pemimpin yang mengatur dan memastikan adanya perencanaan dan manajemen strategis terhadap pengembangan organisasi. Penulis juga berperan sebagai pencetus program-program unggulan selama menjabat, yaitu kegiatan "*Job Training*" atau pelatihan bersertifikasi untuk meningkatkan kecakapan dari lulusan S1 dan sederajat serta kegiatan "*Joox goes to Campus*" sebagai kegiatan yang membuka jalur kerjasama antara UKM Musik ITS dengan JOOX Indonesia. Penulis pun berperan sebagai wajah dari organisasi dengan menerima wawancara oleh *media partner*, *sponsorship*, dan rekan kerja lainnya. Adapun kegiatan terakhir yang penulis jalankan adalah "*One Week Experience in Kobe University*" yaitu kegiatan pengenalan tentang beragam penelitian yang dijalankan oleh Kobe University pada tanggal 1 hingga 5 Juli 2019 di Kobe, Jepang. Sekiranya itu pengenalan singkat mengenai diri penulis dan penulis berharap dapat dihubungi apabila terdapat kritik dan saran melalui [msatriobp@gmail.com](mailto:msatriobp@gmail.com).