



TUGAS AKHIR - MN141581

**PENGUJIAN GERAK TURNING CIRCLE PADA KAPAL
CEPAT TWIN SCREW BERKEMUDI EKOR IKAN FORKED
MENGUNAKAN TEKNIK OPEN FREE RUNNING TEST**

GALUH EKO DELFTIANTO
NRP. 4108 100 032

Aries Sulisetyono, ST., M.A.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



FINAL PROJECT - MN141581

**TURNING CIRCLE MANOUVERING MODEL TEST OF
FAST BOAT TWIN SCREW WITH FORKED RUDDER TAIL
TYPE USING OPEN FREE RUNNING TEST TECHNIQUE**

GALUH EKO DELFTIANTO
NRP. 4108 100 032

Aries Sulisetyono, ST., M.A.Sc., Ph.D.

NAVAL ARCHITECTURE AND SHIP BUILDING DEPARTEMENT
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUJIAN GERAK TURNING CIRCLE PADA KAPAL CEPAT TWIN SCREW BERKEMUDI IKAN FORKED MENGUNAKAN TEKNIK OPEN FREE RUNNING TEST

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GALUH EKO DELFTIANTO
NRP. 4108 100 032

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Aries Sulisetvono, ST., M.A.Sc., Ph.D.
NIP. 197103201991521002

SURABAYA, 28 Desember 2015

LEMBAR REVISI

PENGUJIAN GERAK TURNING CIRCLE PADA KAPAL CEPAT TWIN SCREW BERKEMUDI IKAN FORKED MENGUNAKAN TEKNIK OPEN FREE RUNNING TEST

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 15 Januari 2016

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan - Hidrodinamika
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GALUH EKO DELFTIANTO
NRP. 4108 100 032

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.
3. Teguh Putranto, S.T., M.T.
4. Dony Setyawan, S.T., M.Eng

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Aries Sulisetyono, S.T., M.Eng., Ph.D.



SURABAYA, 21 JANUARI 2016

PENGUJIAN GERAK TURNING CIRCLE PADA KAPAL CEPAT TWIN SCREW BERKEMUDI EKOR IKAN FORKED MENGGUNAKAN TEKNIK OPEN FREE RUNNING TEST

Nama Mahasiswa : Galuh Eko Delftianto
NRP : 4108 100 320
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Aries Sulisetyono, ST., M.A.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Pembuatan sebuah kapal pada awalnya terinspirasi oleh bentuk ikan yang berenang. Aspek-aspek bentuk badan, gaya dorong, maupun hambatan, semuanya berawal dari pengujian bentuk ikan. Pada dewasa ini, bagian badan ikan semakin menginspirasi dalam pembuatan kapal. Bahkan sampai pada bentuk daun kemudi yang sangat mempengaruhi gerak manuver kapal.

Tugas akhir ini bertujuan untuk memprediksi gerak manuver kapal yang dilakukan dengan pengujian *free running model*. Pengujian ini hanya bisa dilakukan oleh beberapa laboratorium hidrodinamika di Indonesia. Sehingga, diperlukan banyak biaya untuk dapat melakukan pengujian. Dalam penelitian ini metode pengujian *free running model* dikembangkan agar dapat dilakukan dengan biaya yang terjangkau dan efisien.

Saat ini telah ditemukan inovasi desain kemudi baru yang dapat meningkatkan performa *maneuverability* kapal, yaitu kemudi ekor ikan. Secara perhitungan jenis kemudi ini sudah terbukti lebih baik dibanding jenis kemudi konvensional (biasa), namun hasil tersebut masih harus divalidasi dengan pengujian model pada kolam terbuka. Metode yang cocok untuk pengujian ini adalah pengujian *free running model* dimana gerakan model kapal dapat dikendalikan dari tepi kolam melalui sistem komputerisasi. Sistem ini dapat mengendalikan kapal layaknya kapal nyata dimana dapat mengatur dengan bebas kecepatan dan sudut beloknya.

Model *Free Running Test* yang telah dilakukan dengan metode GPS dalam pengujian model ini telah membuktikan hasil performa manuver kapal untuk *turning circle test* yang cukup bagus dibandingkan dengan hasil numeris.

Desain jenis kemudi tipe ekor ikan *forked* (Tipe B) dalam *free running model test* dengan *turning circle test* telah menunjukkan performa manuver yang lebih baik dibandingkan dengan kemudi tipe konvensional (Tipe A) dan kemudi tipe Lancelotte (Tipe C).

Kata kunci: *maneuverability, free running model test, forked rudder tail, turning circle test.*

TURNING CIRCLE MANOUVERING MODEL TEST OF FAST BOAT TWIN SCREW WITH FORKED RUDDER TAIL TYPE USING OPEN FREE RUNNING TEST TECHNIQUE

Student Name : Galuh Eko Delftianto
Student ID No : 4108 100 320
Department : Naval Architecture & Ship Building
Faculty : Marine Technology
Supervisor : Aries Sulisetyono, ST., M.A.Sc.,Ph.D.

ABSTRACT

The manufacture of a ship was originally inspired by the shape of the fish that swim in the ocean. The aspects of a ship body shape such as thrust, or resistance, etc. it all started from the test of a fish shape. Now a days the fish's body is getting inspired in the shipbuilding technology and ship design. Even the shape of a rudder which affect greatly the motion of the ship maneuver is greatly inspired by the fish body.

This final project aims to predict the ship maneuver performance by using free running test model's technique. This model test can be only done by several hydrodynamics laboratories in Indonesia. It shall take a lot of costs to be able to do the model test. In this study the free running model test method is developed, sothat it can be done at reasonable costs and with an efficient manner in the future.

In the last decade it has been invented a new design of the ship rudder types which can improve the maneuverability performances of ships, namely fish tail rudder types. In some numerical calculation this rudder type has been proven better than conventional rudder types (regular types), but the results are still needed to be validated by a model test in an open water condition. A suitable technigue for this model test is a free running ship models test which can be controlled from the onshore using a computerized control system. This system can control the ship manouver like in a real condition that can be set freely the ship velocity and its angle of manouver.

Free Running Model Test with GPS method has shown that the performance results to maneuver of the ship with turning circle test are pretty good compared with the numerical results.

Rudder design types forked fish tail type (Type B) in free running test with the turning circle maneuver test has shown better performance than the conventional type rudder (Type A) and Lancelotte rudder type (Type C).

Key words: maneuverability, free running model test, forked rudder tail, turning circle test

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERUNTUKAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ixi
DAFTAR TABEL	xiii
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.2.1. Permasalahan	2
I.2.2. Batasan Masalah	3
I.3. Manfaat Tugas Akhir	3
I.4. Hipotesis Awal.....	4
I.5. Metodologi.....	4
I.6. Sistematika Penulisan	5
Bab II LANDASAN TEORI	7
II.1. Kemampuan Manuver Gerak Kapal (<i>Ship Manouverability</i>).....	7
II.2. Mekanisme Putar (<i>Turning</i>).....	10
II.3. Gerak Manuver (<i>Manouver</i>)	10
II.3.1. <i>Manouver Turning</i>	10
II.3.2. Tahapan Putar (<i>Phase Turning</i>).....	12
II.4. Peraturan Tentang Manuver (<i>International Maritime Organization/ IMO</i>).....	14
II.5. <i>Free Running Model Test</i>	15
II.6. Sistem Koordinat	16
II.7. <i>Global Positioning System</i>	17
II.8. Citra Digital (Kamera)	17
Bab III METODOLOGI PENELITIAN	19
III.1. Flowchart Pengerjaan	19
III.2. Bahan dan Peralatan	20
III.3. Model Kapal dan <i>Rudder Arrangement</i>	28
III.4. Penentuan Titik Berat Memanjang.....	30
III.5. Kolam Yang Dipakai.....	31
III.6. Kalibrasi Model.....	31
III.6.1. GPS	31
III.6.2. Kalibrasi Dengan Program SURSIM.....	31
III.7. Prosedur Pengambilan Data	31

III.8.	Metode Pengolahan Data	37
Bab IV	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	41
IV.1.	Klasifikasi Pengujian.....	41
IV.2.	Kondisi Pengujian	41
IV.3.	Hasil Simulasi Numerik dengan SURSIM.....	43
IV.4.	Hasil Pengujian Free Running Model	46
IV.5.	Pembahasan Hasil Pengujian	47
IV.6.	Pembahasan Jenis kemudi	49
IV.6.1.	<i>Running Circle</i> hasil <i>Free Running</i>	49
IV.6.2.	Perbandingan Performa Manuvering Masing Masing Jenis Kemudi	51
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN	55
V.1.	Kesimpulan	55
V.2.	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
 LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Inherent dynamics stability.....	7.
Gambar 2.2. Course-keeping ability.....	8.
Gambar 2.3. Hubungan antara Initial turning ability dan keamanan navigasi	9.
Gambar 2.4. Hubungan antara Turning ability dan keamanan navigasi	9.
Gambar 2.5. Hubungan antara Ship maneuverability dan navigasi yang ekonomis	10.
Gambar 2.6. Lintasan belok kapal saat maneuver turning circle.....	11.
Gambar 2.7. Tahapan pertama kapal saat putar/ berbelok	12.
Gambar 2.8. Tahapan kedua kapal saat putar/ berbelok	12.
Gambar 2.9. Koordinat sistem gerakan kapal	17.
Gambar 2.10. Representasi citra digital	18.
Gambar 3.1. Flowchart pengerjaan tugas akhir	19.
Gambar 3.2. Motor DC.....	20.
Gambar 3.3. ESC SEAKING 180A.....	21.
Gambar 3.4. Prinsip Kerja Modul XBee	22.
Gambar 3.5. Modul Wireless Radio 2.4 GHz XBee Pro.....	22.
Gambar 3.6. Modul Ardvino Shield	24.
Gambar 3.7. Modul EMS XBee Shield	24.
Gambar 3.8. Rangkaian Sistem Kontrol.....	24.
Gambar 3.9. Rangkaian Sistem Kontrol Terhubung GPS	25.
Gambar 3.10. Rangkaian GPS dengan Pemancar di Pohon	25.
Gambar 3.11. Motor Servo.....	26.
Gambar 3.12. Kemudi Konvensional/ Tipe A.....	26.
Gambar 3.13. Kemudi Ekor Ikan Forked/ Tipe B	27.
Gambar 3.14. Kemudi Lancelotte/ Tipe C	27.
Gambar 3.15. Baterai Li-Po 500 mAh.....	28.
Gambar 3.16. Model Kapal SIGMA	29.
Gambar 3.17. Rudder Arrangement Konvensional/ Tipe A.....	29.
Gambar 3.18. Rudder Arrangement Ekor Ikan Forked/ Tipe B	30.

Gambar 3.19. Rudder Arrangement Lancelotte/ Tipe C	30.
Gambar 3.20. Kolam 8 Area Uji Fre Running Model Test	32.
Gambar 3.21. Lokasi Antena di Pohon	33.
Gambar 3.22. Persiapan Kapal Uji Trial	34.
Gambar 3.23. Perbaikan dan Penyesuaian Alat Uji.....	34.
Gambar 3.24. Start Awal Pengujian Free Running Model Test.....	35.
Gambar 3.25. Pengujian Free Running Model Test Satu Putaran Penuh.....	35.
Gambar 3.26. Perekaman Koordinat GPS dengan Laptop	35.
Gambar 3.27. Perekaman Lintasan Model Test dengan Laptop.....	36.
Gambar 3.28. Perekaman dan Kontrol Lintasan Putara Penuh dengan Laptop	37.
Gambar 3.29. Data Log Uji Free Running Model Test dari GPS	37.
Gambar 3.30. Data .DAT di Notepad.....	38.
Gambar 3.31. Data Olah dengan SURSIM dari .EXE ke .SOT	38.
Gambar 3.31. Hasil Akhir Free Running Model Test	39.
Gambar 4.1. Grafik perbedaan turning Kemudi Konvensional/ Tipe A dengan Numeris	45.
Gambar 4.2. Grafik turning circle Kemudi Konvensional/ Tipe A dengan FRMT.....	46.
Gambar 4.3. Turning circle Free Running Model Test Kemudi Konvensional/ tipe A	49.
Gambar 4.4. Turning circle Free Running Model Test Kemudi Konvensional/ tipe B	50.
Gambar 4.5. Turning circle Free Running Model Test Kemudi Konvensional/ tipe C	50.

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Standar baku skala Beaufort.....	42.
Tabel 4.2. Hasil Koordinat Numeris dengan SURSIM Kemudi Konvensional/ Tipe A.....	44.
Tabel 4.3. Hasil Simulasi Numeris dengan SURSIM	44.
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Free Running Model Test Kemudi.....	46.
Tabel 4.5. Perbedaan Numeris dengan Free Running Test Kemudi Tipe A	47.
Tabel 4.6. Analisa Perbedaan Performa Manuver antara Hasil Simulasi Numeris dengan Software SURSIM dan Free Running Model Test.....	48.
Tabel 4.7. Perbandingan Performa Manuver Free Running Test Kemudi Tipe A dengan Kemudi Tipe B	51.
Tabel 4.8. Perbandingan Performa Manuver Free Running Test Kemudi Tipe A dengan Kemudi Tipe C	52.
Tabel 4.9. Perbandingan Performa Manuver Free Running Test Kemudi Tipe B dengan Kemudi Tipe C	52.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Pembuatan sebuah kapal pada awalnya terinspirasi oleh bentuk ikan yang berenang. Aspek-aspek bentuk badan, gaya dorong, maupun hambatan, semuanya berawal dari pengujian bentuk ikan. Pada dewasa ini, bagian badan ikan semakin menginspirasi dalam pembuatan kapal. Bahkan sampai pada bentuk daun kemudi yang sangat mempengaruhi gerak manuver kapal.

Untuk memprediksi gerak manuver kapal harus dilakukan pengujian *free running* model. Pengujian ini hanya bisa dilakukan oleh beberapa laboratorium hidrodinamika di Indonesia. Sehingga, diperlukan banyak biaya untuk dapat melakukan pengujian. Dalam penelitian ini metode pengujian *free running* model dikembangkan agar dapat dilakukan dengan biaya yang terjangkau dan efisien.

Saat ini telah ditemukan inovasi desain kemudi baru yang dapat meningkatkan performa *maneuverability* kapal, yaitu kemudi menyerupai ekor ikan. Secara perhitungan jenis kemudi ini sudah terbukti lebih baik dibanding jenis kemudi konvensional (biasa), namun hasil tersebut masih harus divalidasi dengan pengujian model pada kolam terbuka. Metode yang cocok untuk pengujian ini adalah pengujian *free running* model dimana gerakan model kapal dapat dikendalikan dari tepi kolam melalui sistem komputerisasi. Sistem ini dapat mengendalikan kapal layaknya kapal nyata dimana dapat mengatur dengan bebas kecepatan dan sudut beloknya. Untuk mendapatkan data gerakan manuver kapal ada beberapa pilihan metode yang dapat diterapkan pada penelitian ini, yaitu metode *image processing*, metode gelombang radio, dan metode gelombang satelit via GPS (*Global Positioning System*).

Kapal perang merupakan jenis kapal yang sangat membutuhkan tingkat manuver tinggi untuk dapat melaju dalam medan pertempuran. Oleh karena itu, kapal perang secara umum memiliki dua baling-baling (*twin screw*) agar memperoleh daya dorong yang lebih besar dan memiliki daya gerak (manuver) tinggi. Pada peraturan IMO ditetapkan bahwa kemudi kapal memiliki masing-masing minimal 1 pada tiap baling-balingnya.

Dengan penelitian ini diharapkan bahwa karakteristik kemudi ekor ikan memiliki pengaruh signifikan terhadap model kapal perang yang membutuhkan daya manuver tinggi. Dalam penelitian *free running test* sebelumnya, kapal hanya memiliki variasi kecepatan yang terbatas. Itu dikarenakan mesin yang dipakai tidak terintegrasi dengan kemudi jarak jauh yang memiliki perekam kecepatan dan sudut belok. Diharapkan pada penelitian ini karakteristik kemudi ekor ikan akan lebih tampak pada kapal perang dua baling-baling (*twin screw*).

Dengan adanya 2 percobaan terhadap kemudi, konvensional dan kemudi ekor ikan, diharapkan data yang diperoleh dapat menentukan dimana kemudi yang paling cocok terhadap kapal dua baling-baling (*twin screw*). Kedua kemudi akan memberikan hasil sudut hadap maupun jarak *advance* yang berbeda bergantung dari ciri khas kemudi masing-masing. Nilai itulah yang akan menjadi salah satu pertimbangan untuk pemilihan kemudi kedepannya pada kapal *twin screw* berdasar penelitian yang ada. Selanjutnya hasil *free running test* tersebut divalidasi dengan hasil perhitungan numerik dengan menggunakan software untuk manuver kapal milik LHI-BPPT.

I.2. Perumusan Masalah

I.2.1. Permasalahan

Peralatan untuk percobaan *free running* model memerlukan pengujian untuk mengetahui performa yang dimilikinya. Performa yang didapatkan dari pengujian ini akan mengindikasikan layak atau tidak alat tersebut digunakan untuk melakukan pengujian lebih lanjut. Pengujian performa GPS yang dilakukan meliputi pengujian tingkat akurasi data yang dapat direkam oleh GPS dengan melakukan percobaan membawa alat GPS dengan berjalan kaki maupun dengan kendaraan bermotor. Sedangkan untuk pengujian performa model kapal meliputi tahapan pendistribusian beban pada model karena penempatan alat *free running* pada model. Penempatan alat disetiap titik sepanjang model kapal akan mempengaruhi gerak manuver, karena berpengaruh pada titik berat model secara memanjang.

Gerak manuver merupakan gerak mengatur perubahan arah berdasar trek lintasan yang telah ditentukan. Perhatian utama tentang gerak manuver ini adalah perubahan arah dengan radius, sudut, jarak, dan kecepatan tertentu.

Kemudi kapal dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu kemudi kapal konvensional dan kemudi kapal ekor ikan *forked* (*forked rudder tail*). Setelah pengujian *free running* model akan diketahui perbedaan performa setiap kemudi dengan perbandingan aspek-aspek berdasar standart IMO yang telah dilakukan pengujian pada model kapal. Hasil akhir yang diharapkan

adalah mengetahui performa alat *free running* yang dipasang melalui gerak manuver dan performa kemudi yang terpasang.

I.2.2. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Model kapal adalah kapal perang *twin screw* dengan skala 1:34.5 dan menggunakan bahan kayu. Ukuran utama model kapal adalah sebagai berikut:
 - Loa = 302.9 cm
 - Lwl = 287 cm
 - B = 40 cm
 - T = 10.6 cm
 - LCB = 152.13 cm (diukur dari FP)
 - Cb = 0.673
2. Bentuk *propeller* yang dipergunakan adalah *propeller* berdaun 3 yang umum dipergunakan.
3. Gerakan manuver yang dilakukan adalah gerakan berputar (*turning circle*).
4. Kemudi yang digunakan adalah kemudi ekor ikan *forked (forked rudder tail)* dan konvensional.
5. Tidak menghitung hambatan kapal.
6. Hasil dari Tugas Akhir ini dari penyusunan model sampai prosedur teknik pengambilan data dan analisa data dari jenis kemudi yang dipakai, digunakan untuk memperoleh performa gerakan *turning circle* kapal yang baik dan sesuai dengan prosedur teknis yang berlaku.

I.3. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari penelitian ini adalah, dapat mendapatkan nilai percobaan *free running test* pada kapal *twin crew* dengan ciri kemudi ekor ikan dibanding konvensional.

I.4. Hipotesis Awal

Dengan percobaan *free running test* di kolam terbuka akan didapatkan data gerakan *turning circle* pada kapal *twin screw* dengan karakteristik kemudi ekor ikan lebih baik dibanding kemudi konvensional.

I.5. Metodologi

Metodologi yang dipakai dalam *free running test* ini dari pembuatan model kapal hingga prosedur pengambilan data dan analisa data dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Bahan/material/peralatan

- Motor penggerak kapal (motor DC)
- Gyro compass
- Controller
- Poros propeller
- Propeller
- Kemudi ekor ikan dan konvensional
- Model kapal dengan ukuran
 - $L_{wl} = 2,87$ meter
 - $Loa = 3,029$ meter
 - $B = 0,4$ meter
 - $T = 0,106$ meter
 - $H = 0,25$ meter
 - $C_b = 0,452$
 - Skala 1:34.5

2. Lokasi pelaksanaan/pengerjaan/survei

Pembuatan model kapal dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHi-BPPT) yang terletak di dalam kampus ITS. Sedangkan lokasi pengujian berada di kolam Politeknik Perkapalan Surabaya. Lokasi pembuatan controlling, mesin dan perekam gerakan berada di Lab Control Politeknik Perkapalan Surabaya.

3. Proses pengerjaan

Proses pengerjaan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- *Rudder arrangement*

Adalah bagian untuk menentukan besaran kemudi sirip ikan dan konvensional yang akan dipergunakan.

- Pengambilan data

Pengambilan data berupa percobaan *free running* untuk gerak *turning circle*. Penangkapan gerak dengan menggunakan GPS yang telah terpasang pada kapal dan *controller* yang terintegrasi dengan komputer. Pengambilan pencitraan langsung menggunakan kamera.

- Pengolahan data

Data yang didapatkan dari chart yang dihasilkan akan dibandingkan dengan rute dari pencitraan langsung yang telah diambil dengan kamera digital.

- Analisa data dan Pembahasan

Hasil pengamatan dari 2 sisi baik dari komputerisasi maupun dari pencitraan divalidasi dengan analisa numerik dengan menggunakan software untuk kapal yang sebenarnya akan menghasilkan kesimpulan penelitian

- Kesimpulan dan rekomendasi

Dari hasil analisa dan pembahasan ditarik kesimpulan. Rekomendasi akan diberikan untuk penyempurnaan studi lebih lanjut dan tinjauan terhadap aspek-aspek yang belum dipertimbangkan dalam Tugas Akhir ini.

I.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan Tugas Akhir ini disusun sesuai dengan kaidah dalam penulisan Tugas Akhir di ITS dengan urutan sebagai berikut:

ABSTRAK

Abstrak berisi ringkasan dari maksud penyusunan Tugas Akhir, metode yang dipakai dan hasil yang diharapkan serta kata-kata kunci yang penting.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian secara umum dan singkat meliputi latar belakang masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan dari tugas akhir yang disusun.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi penjelasan tentang berbagai referensi dan teori yang terkait dengan judul penelitian yang meliputi, teori maneuvering kapal, metode pengambilan data, karakteristik kemudi kapal dan cara pengolahan data.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi langkah-langkah selama penelitian, mulai dari tahap persiapan sampai tahap penyusunan laporan penelitian.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisa data hasil pengujian dan pembahasan masing-masing jenis kemudi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta rekomendasi dan saran untuk penelitian selanjutnya.

LAMPIRAN

Semua data hasil pengerjaan *free trial running model* dan dokumentasi dalam pengerjaan ini dilampirkan dalam lampiran sebagai pendukung dan untuk evaluasi pengerjaan selanjutnya.

BAB II

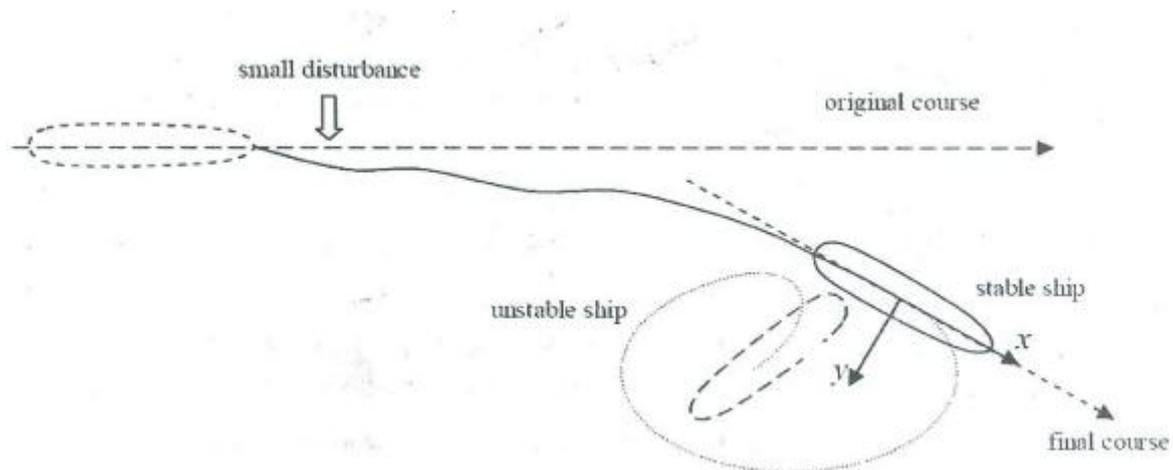
LANDASAN TEORI

II.1. Kemampuan Manuver Gerak Kapal (*Ship Manouverability*)

Manuver gerak kapal (*Ship maneuverability*) adalah kemampuan sebuah kapal untuk berbelok dengan kecepatan tertentu. Kemampuan tersebut dibagi menjadi beberapa macam, yaitu:

1. *Inherent dynamics stability*

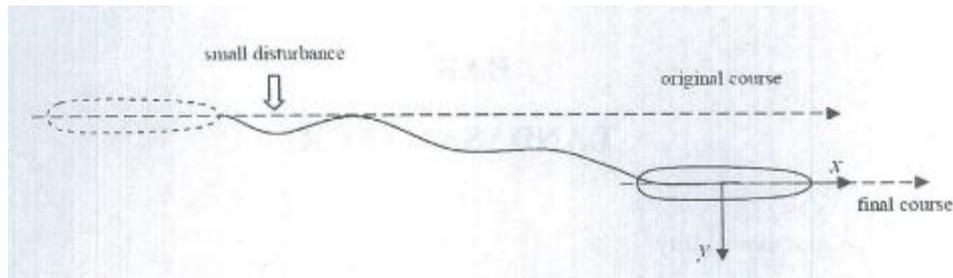
Kapal yang memiliki kemampuan untuk bergerak lurus ke depan stabil. Apabila ada gaya yang mengenai kapal tersebut, maka kapal akan berubah arah dan kemudian tetap bergerak lurus ke depan (seperti pada gambar 2.1). gerakan ini disebut juga *straight line stability*.



Gambar 2.1 *Inherent dynamics stability*

2. *Course-keeping ability*

Course keeping ability adalah kemampuan kapal untuk dapat kembali ke arah semula setelah ada gaya yang mengenai kapal tersebut. Gerakan ini dapat dilihat pada gambar 2.2. Kapal yang mengalami *inherent dynamics stability* juga dapat mempertahankan gerakan kapal agar bergerak ke arah semula dengan mengontrol kemudinya. Gerakan ini juga disebut *directional stability*.



Gambar 2.2 Course-keeping ability

3. *Initial turning/Course-changing ability*

Initial turning ability dan *course changing ability* adalah kemampuan kapal untuk berubah arah/berbelok akibat respon dari gerakan kemudi. Kapal dengan *initial turning ability* atau *Course-changing ability* yang baik adalah kapal yang mempunyai respon berbelok yang cepat setelah kemudi digerakkan.

4. *Yaw checking ability*

Yaw checking ability adalah kemampuan kapal untuk merespon gerakan kemudi yang digerakkan berlawanan arah dalam suatu keadaan tertentu.

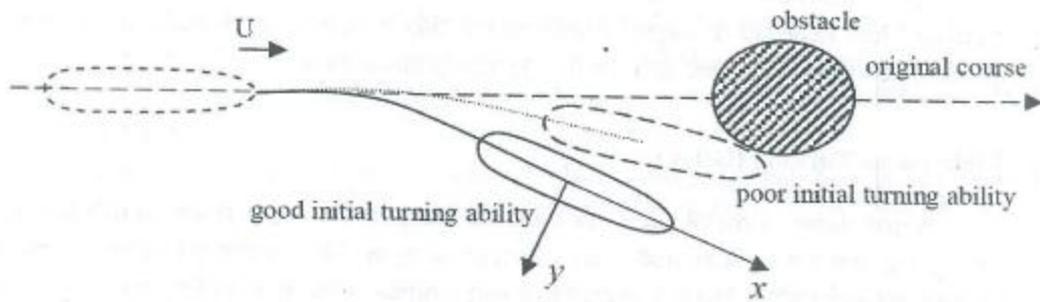
5. *Turning ability*

Turning ability sebuah kapal adalah kemampuan kapal untuk berbelok dengan gerakan kemudi yang signifikan.

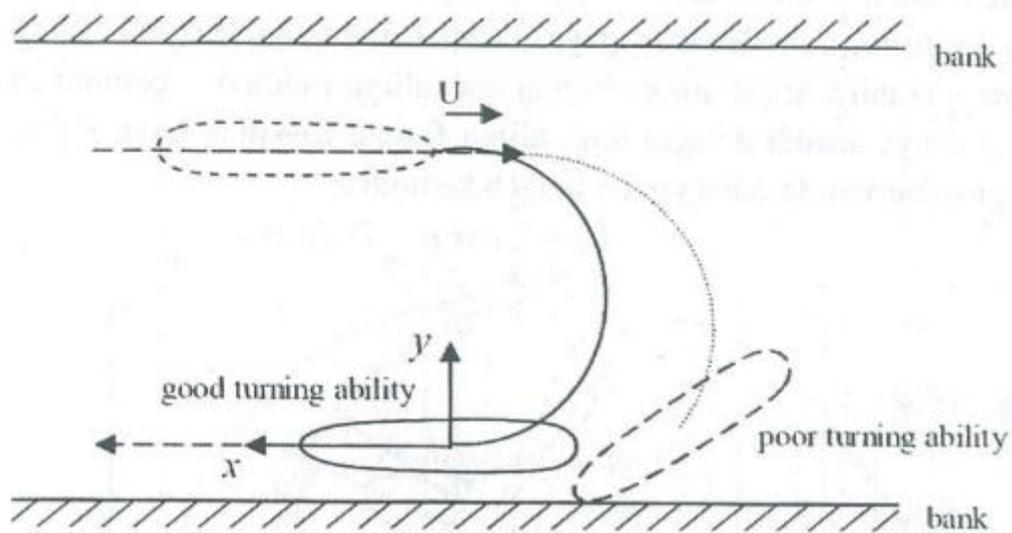
6. *Stopping ability*

Stopping ability adalah kemampuan kapal untuk berhenti dengan mematikan mesin (*inertia stop*) atau dengan memutar *propeller* ke arah yang berlawanan (*crash stop*) dengan kecepatan penuh.

Ship maneuverability erat kaitannya dengan navigasi yang aman dan ekonomis. Untuk maneuvering kapal yang sedang berlayar pada kondisi lautan yang buruk atau sedang berada di perairan yang terbatas (pelabuhan) kecelakaan dapat terjadi apabila kapal tersebut tidak memiliki *maneuverability* yang baik. Sebagai contoh, untuk kapal yang *initial turning ability* yang buruk, tidak akan dapat menghindari tabrakan dengan kapal lain atau kandas akibat menabrak perairan yang sempit, seperti pada gambar 2.3 dan gambar 2.4 berikut ini

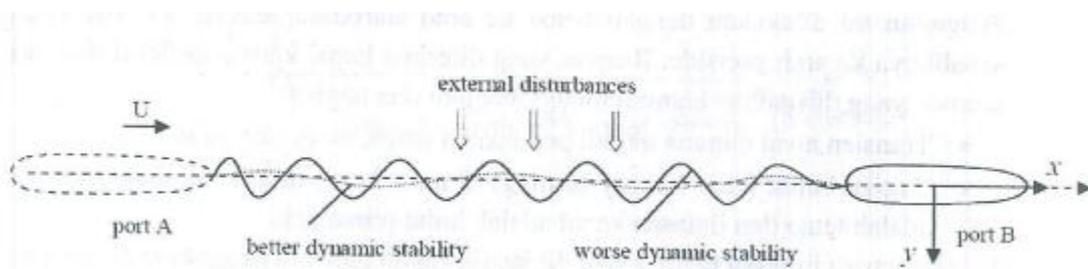


Gambar 2.3 Hubungan antara *initial turning ability* dan keamanan navigasi



Gambar 2.4 Hubungan antara *turning ability* dan keamanan navigasi

Selain itu, kapal yang tidak stabil atau yang memiliki *dynamic stability* yang buruk hanya bisa mempertahankan arah gerakannya dengan berulang-ulang menggerakkan peralatan kemudi, sehingga selain kerugian bukan hanya terdapat pada jalur pelayaran yang lebih jauh dari yang direncanakan sebelumnya, namun juga membutuhkan energi yang lebih untuk peralatan kemudi (seperti gambar 2.5).



Gambar 2.5 Hubungan antara *ship maneuverability* dan navigasi yang ekonomis

Pada kenyataannya, *ship maneuverability* bukanlah satu-satunya factor yang menyebabkan kecelakaan kapal. Masih ada 2 faktor lain, yaitu kondisi perairan seperti angin, gelombang, dan arus, dan faktor manusia (*human error*).

II.2. Mekanisme Putar (*Turning*)

Kapal dapat berputar/ berbelok ke arah *portside* maupun *starboard* disebabkan oleh adanya gaya yang bekerja pada kemudi. Jarak kemudi dengan berat kapal secara memanjang dapat diartikan pula sebagai lengan, sehingga momen putar akan timbul oleh adanya gaya yang dikalikan lengan tersebut.

Sebuah kemudi yang membentuk sudut besar α pada aliran fluida yang memiliki kecepatan U akan menimbulkan gaya F . gaya ini terletak pada sebuah titik yang disebut center of pressure, CP . Resultan gaya F dapat diuraikan menjadi komponen gaya angkat (*lift*) L , yang arahnya tegak lurus dengan arah aliran fluida dan komponen gaya seret (*drag*) D , yang arahnya searah dengan arah aliran fluida. Resultan gaya F juga dapat diuraikan menjadi gaya normal terhadap garis tengah kemudi F_N .

II.3. Gerak Manuver (*Manouver*)

II.3.1. *Manouver Turning*

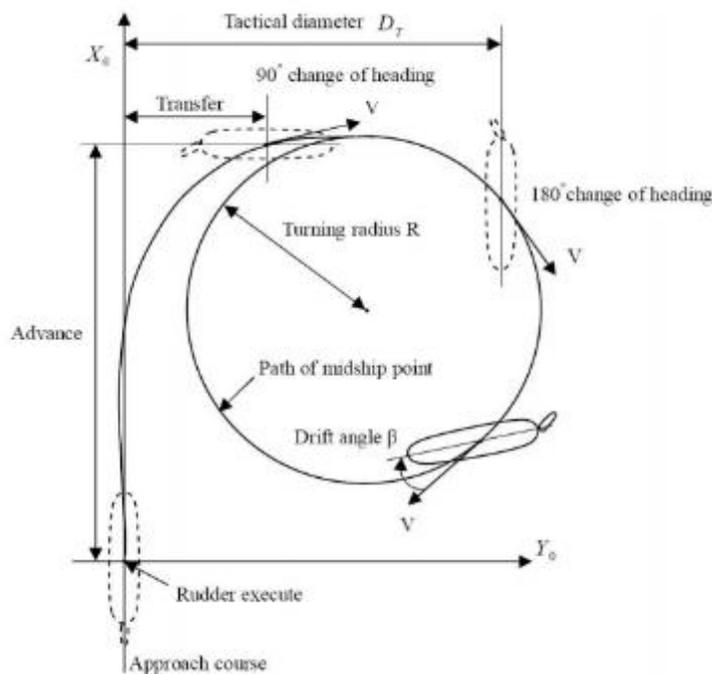
Turning test dilakukan untuk mengetahui kemampuan belok/ putar (*turning*) sebuah kapal. Pengujian ini dilakukan dengan belok ke arah *starboard* 35° dan begitu pula sebaliknya ke arah *portside*. Respons yang diterima kapal karena defleksi dan gaya serta momen yang dihasilkan kemudi dibagi menjadi dua bagian:

- Transien awal dimana terjadi percepatan *surge*, *sway* dan *yaw*.
- Bagian belok tetap (*steady turning*) dimana kecepatan belok dan kecepatan maju adalah tetap dan lintasan kapal bulat (*circular*).

Umumnya lintasan belok kapal diklasifikasikan dalam 4 pengukuran numerik:

- **Advance:**
Jarak dari titik awal (origin) pelaksanaan, terhadap sumbu x kapal, bila sumbu berbelok 90° . Jarak maksimum *advance* yang diijinkan untuk bergerak putar (*turning*) adalah tidak lebih atau sama dengan $4,5 L_{pp}$.

- **Transfer:**
Jarak dari *origin approach course* terhadap *origin* kapal bila sumbu x telah berbelok 90° .
- **Tactical Diameter:**
Jarak dari *approach course* terhadap sumbu x kapal saat sumbu tersebut telah belok 180° . *Tactical diameter* maksimum yang diinginkan adalah tidak lebih atau sama dengan $5 L_{pp}$.
- **Steady Turning diameter:**
Karakteristik diameter kemampuan putar kapal digambarkan dalam gambar 2.6 berikut.



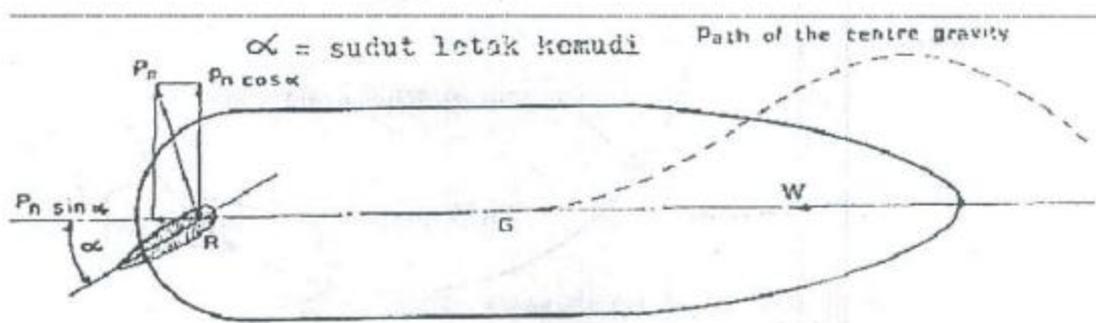
Gambar 2.6 Lintasan belok kapal saat maneuver turning circle

Paremeter lintasan putar/ belok kapal berguna untuk memberikan gambaran karakteristik maneuver kapal di laut terbuka. Gambar 2.7 juga menunjukkan posisi dari *pivot point* pada putar/ belok (*steady turn*). Titik ini menarik karena dari pengamatan saat kapal berbelok ini terlihat seperti bila kapal berputar terhadap sebuah titik, biasanya dibelakang badan kapal. Pada titik ini, karena kombinasi *drift angle* pada kapal dan rotasi kapal, aliran air yang melintasi kapal sejajar dengan sumbu x kapal.

II.3.2. Tahapan Putar (*Phase Turning*)

Pada perubahan letak kemudi ke samping kiri atau kanan di kapal, maka akan terjadi gaya yang baru, yaitu merupakan tekanan normal pada setiap kemudi gaya itu membuat pergerakan tertentu dari kapal menuju ke arah pusat gaya. Jadi sesudah perubahan letak kemudi membentuk sudut dari sumbu tangen maka gerakan kapal akan mengarah pada gerakan lama dan titik berat kapal dan mengadakan putaran mengelilingi putaran titik itu. Jadi luasan putaran territorial gerakan kapal tersebut dinamakan Sirkulasi (*circulation*). Waktu sirkulasi terbagi dalam 3 Tahapan (*phase*), dimana batas pemisah dari setiap *phase* sangat kabur.

Tahapan pertama: Mulai pada saat diputar sehingga membentuk sudut kemudi, sampai pada saat kapal mulai berputar (waktunya relative kecil, dianggap =0). (Gambar 2.7)

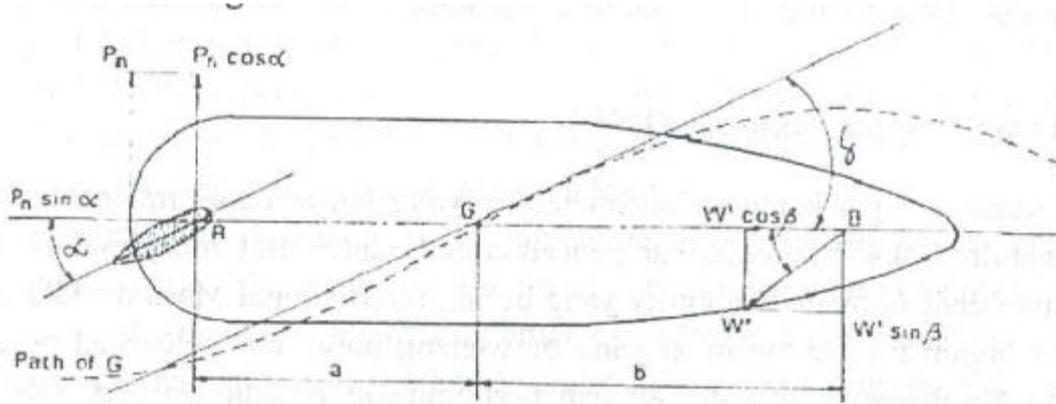


Gambar 2.7 Tahapan pertama kapal saat putar/ belok

Seperti di katakana di depan, apabila daun kemudi di putar sehingga membentuk sudut kemudi α , maka akan timbul sebuah gaya kemudi P_n , tegak lurus ke daun kemudi (dianggap bekerja pada poros kemudi). Komponen gaya ini ke arah memanjang adalah $P_n \sin \alpha$ dengan tahanan kapal W akan menghambat gerakan maju kapal.

Komponen gaya ke arah melintang adalah $P_n \cos \alpha$ akan menyebabkan kapal bergerak ke samping. Pada permulaan tahapan ini oleh momen inersia kapal belum dapat mengimbangi momen kopel yang dibuat oleh gaya $P_n \cos \alpha$ sebesar $P_n \cos \alpha \times$ lengan RG , sehingga menyebabkan kapal miring misalnya *portside* (samping kiri) apabila kemudi di putar ke *starboard side* (samping kanan) atau sebaliknya dan sesaat kemudian langsung diikuti oleh gerakan berputar. Biasanya tahapan ini cepat sekali dan langsung diikuti phase kedua dimana kapal mulai bergerak ke kanan sebagai akibat kopel $P_n \cos \alpha \times RG$.

Tahapan Kedua: Mulai pada saat ini kecepatan sudut putar bertambah, dimana : σ = drift angle.



Gambar 2.8 Phase kedua kapal saat belok

Sebagai akibat gerakan ke samping dalam tahapan pertama dan gerakan putar pada permulaan tahapan kedua tahanan W yang tadinya bekerja pada centerline kapal, berangsur-angsur berpindah ke belakang menjadi W' dan membentuk sudut dengan bidang centerline ke *portside* (missal jika kemudi diputar ke *starboard side*). Komponen memanjang kapal $W' \cos \beta$ dan $P_n \sin \alpha$ akan menghambat kapal.

Sedang komponen kesamping $W' \sin \beta$ mengimbangi $P_n \cos \alpha$ sehingga kemiringan *portside* pada tahapan pertama mulai berkurang. Kopel $W' \sin \beta \times BG$ membantu kopel $P_n \cos \alpha \times RG$, sehingga kecepatan sudut gerakan putar bertambah. Oleh pengaruh ini kapal akan mengikuti lengkungan dengan jari-jari yang makin berkurang dengan bertambahnya kecepatan sudut gerakan putar.

Pada keadaan tahanan W' bekerja diantara titik G dengan haluan (*bow*) kapal, kapal berputar dengan haluannya di dalam dan buritan (*stern*) di luar lengkungan lintasan titik G (*path of centre gravity G*). Pada gerakan ke samping (di muka oleh gaya $W' \sin \beta$ di belakang oleh $P_n \cos \alpha$) kapal mengalami tahanan air $W_b = W' \cos \beta$ di bagian muka *starboard* bekerja sejauh b dari titik G dan tahanan air $W_a = P_n \sin \alpha$ di bagian belakang *portside* kapal akan berubah, tetapi variasi perpindahan tahap kedua ke tahap ketiga tidak terlalu nyata/kabur. Transisi ini lebih disebabkan oleh beberapa hal :

- Karena perpindahan titik rangkap B dari gaya tahanan W' ke belakang sebagai akibat dari penambahan *drift angle*.
- Sebagai akibat pengaruh gerakan putaran aliran air di sekitar badan kapal.

Tahapan Ketiga: tahapan ini terjadi sebagai berikut

- Mulai saat keseimbangan tercapai percepatan sudut dan percepatan tangensial V , keduanya akan berhenti sedangkan gaya sentrifugal diimbangi oleh gaya-gaya tahanan air.

- Jari-jari kelengkungan R menjadi konstan dan akhirnya titik G akan keluar dari area putar (*turning circle*), maka periode ketiga akan berakhir.

Tahapan ketiga dicapai sesudah haluan mencapai sudut kira-kira 150° dari arah mula-mula. Pada waktu kapal berputar akan terlihat suatu titik yang seakan-akan titik tersebut tidak berputar, titik itu disebut : “*Centre of Pivoting*”

II.4. Peraturan Tentang Manuver (*International Maritime Organization/ IMO*)

Kapal dengan kemampuan manuver yang buruk dapat mengakibatkan kecelakaan yang nantinya akan menimbulkan pencemaran di laut. Untuk menghindari kapal-kapal yang dibangun dengan *maneuverability* yang buruk, *International Maritime Organization (IMO)*, sebuah organisasi internasional yang berwenang untuk mengeluarkan peraturan-peraturan tentang keselamatan jiwa di laut dan perlindungan lingkungan laut, telah mengeluarkan peraturan tentang *maneuverability*. Pada bulan Desember 2002, IMO menetapkan *resolution MSC.137 (76)*, “*Standarts for Ship Manoeuverability*”. Standart ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan manuver kapal yang isinya adalah sebagai berikut :

- *Turning ability*

Jarak *advance* tidak boleh melebihi 4.5 kali panjang kapal dan besar *tactical* diameternya tidak boleh melebihi dari 5 kali panjang kapal pada gerakan manuver *turning circle*.

- *Initial turning ability*

Ketika kemudi di belokkan 10° ke arah *starboard* atau *portside*, kapal tidak boleh bergerak sejauh 2.5 kali panjang kapal ketika arahnya diubah sebesar 10° dari arah semula.

- *Yaw checking dan course-keeping abilities*

1. Sudut *overshoot* yang pertama pada $10^\circ/10^\circ$ pengujian *zig-zag* tidak boleh melebihi 10° jika L/V kurang dari 10 detik, 20° jika L/V sebesar 30° atau lebih, dan $5 + \frac{1}{2} (L/V)$ derajat jika L/V sebesar 10° atau lebih, tetapi kurang dari 30 detik.
2. Sudut *overshoot* yang kedua $10^\circ/10^\circ$ pengujian *zig-zag* tidak boleh melebihi 25° jika L/V kurang dari 10° , 40° jika L/V sebesar 30 detik atau lebih, dan $17.5 + 0.75 (L/V)$ derajat jika L/V sebesar 10° atau lebih, tetapi kurang dari 30 detik.
3. Sudut *overshoot* yang pertama pada $20^\circ/20^\circ$ pengujian *zig-zag* tidak boleh melebihi 25° .

- *Stopping ability*

Jarak pengujian *stopping full stern* tidak boleh melebihi 15 kali panjang kapal.

Tetapi, nilai ini dapat berubah untuk kapal dengan displasemen yang besar. Namun tetap tidak boleh melebihi 20 kali panjang kapal

II.5. Free Running Model Test

Free running model test merupakan salah satu jenis eksperimen yang sangat penting dalam bidang stabilitas dan dinamika gerak kapal. Menurut Lewis (1989) *free running model test* lebih praktis dengan memanfaatkan model kapal yang dilengkapi dengan propeller sendiri dengan skala tertentu. Sehingga dapat dilakukan gerakan maneuver yang sebenarnya dapat ditentukan hal apa aja yang kurang.

Peralatan untuk melakukan *free running model test* yang digunakan oleh Umeda (1995) dan Hamamoto (1996) terdiri dari dua bagian besar, yaitu peralatan-peralatan yang terpasang di model kapal (*on board equipments*), dimana peralatan-peralatan ini ikut bergerak dengan model kapal, dan peralatan-peralatan yang tidak terpasang di kapal, yaitu peralatan-peralatan yang diletakkan di darat (*ground facilities*). Peralatan yang *on board* di model kapal antara lain terdiri dari peralatan untuk mengendalikan kemudi model kapal yang digerakkan dengan *stepping monitor*, peralatan untuk merekam data posisi dari model kapal tersebut, dan juga motor untuk menggerakkan *propeller*.

Free running model test memerlukan model dengan putaran *propeller* dan posisi *control-surface* yang dikontrol dan dicatat sebagai fungsi waktu. *Free running model* ini juga memerlukan kolam percobaan maneuver yang cukup luas, untuk mendapatkan data koordinat sumbu X_0 dan Y_0 , keduanya sebagai dari fungsi waktu. Dengan menggunakan intruksi-intruksi diatas untuk kapal skala penuh, gerakan maneuver *turning circle* dapat dilakukan dengan *free running model* dan hasil karakteristik dari maneuver ini bisa digunakan. Untuk alasan inilah *free running model test* masih tetap digunakan untuk memperkirakan karakteristik gerak maneuver model kapal.

Dengan memakai model dengan skala tertentu yang diletakkan dalam kolam air, dalam beberapa saat dapat diketahui tinggi sarat haluan dan sarat butiran serta kemiringan yang terjadi dapat diukur. Standart pengujian dengan teknik *free running model test* mengacu pada ketentuan internasional yang telah disepakati bersama untuk memastikan kualitas serta ketersediaan hasil pengujian. Standart pengujian yang digunakan mengacu pada organisasi ITTC tahun 2000 dan 2001 (23rd ITTC Manouvering Committee Report, 2002).

Perlu diingat bahwa pengaruh skala pada maneuver kapal belum diketahui secara pasti, semakin besar model kapal yang digunakan semakin kecil error yang timbul akibat penskalaan.

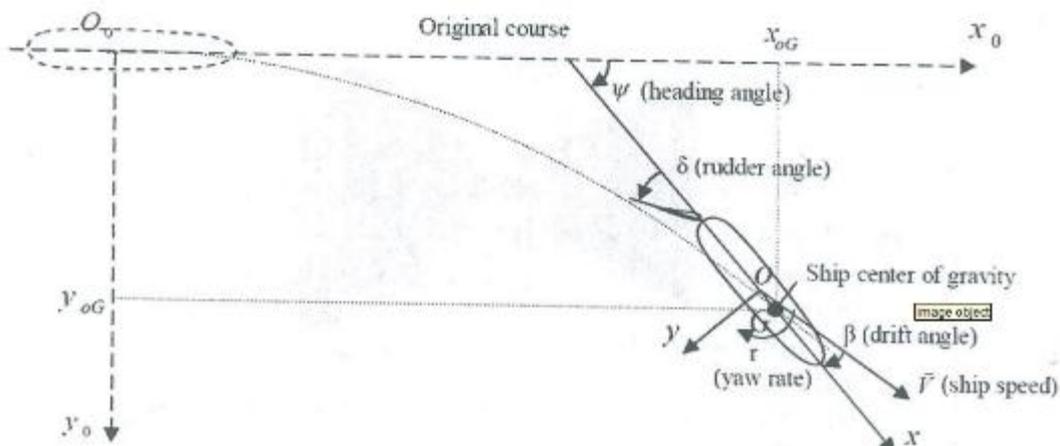
Dan juga ukuran sesungguhnya dari kolam test dalam hubungannya dengan luas area test harus diperhatikan sehingga mampu untuk melakukan test peralatan pendukung lainnya. Dalam pemakaian model fisik untuk melakukan pengujian, hasil yang diperoleh harus dapat ditransfer dari skala model ke skala penuh.

II.6. Sistem Koordinat

Untuk meneliti kemampuan maneuver kapal dengan cara matematik, dipakai dua system koordinat kartesius pertama system koordinat global $x_0y_0z_0$ dan system koordinasi local xyz yang sumbunya bergerak bersama model kapal. Karena yang diamati dalam penelitian ini adalah gerakan kapal secara horizontal maka sumbu x_0 dan sumbu x disebut *heading angel* ψ .

Gerakan maneuver model kapal pada bidang horizontal diuraikan dengan kecepatan V gerakan translasi. Komponen kecepatan V pada sumbu x dan y adalah u dan v . sudut antara arah kecepatan V dan sumbu x didefinisikan sebagai *drift angel*, β (Gambar 2.9) dapat juga ditulis sebagai :

$$U = V \cos \beta \quad v = -V \sin \beta \quad \text{dengan } V = |V|$$



Gambar 2.9 Koordinat system gerak kapal

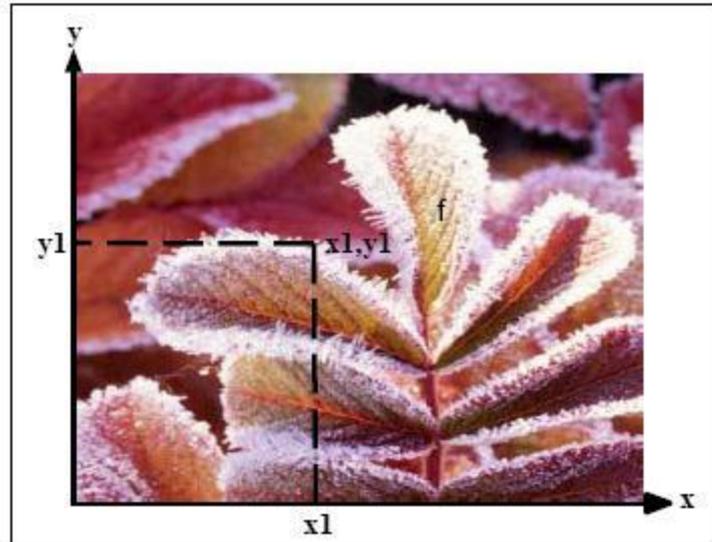
II.7. Global Positioning System

Global Positioning System(GPS) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Beberapa kemampuan GPS antara lain dapat memberikan informasi tentang posisi, kecepatan, dan waktu secara cepat, akurat, murah, dimana saja di bumi ini tanpa tergantung cuaca. Prinsip penentuan posisi dengan GPS yaitu

menggunakan metode reseksi jarak, dimana pengukuran jarak dilakukan secara simultan ke beberapa satelit yang telah diketahui koordinatnya. Untuk aplikasi sipil, GPS memberikan nilai ketelitian posisi dalam spektrum yang cukup luas, mulai dari meter sampai dengan millimeter. Di Indonesia sendiri pengguna GPS sudah mulai sejak beberapa tahun yang lalu dan terus berkembang hingga saat ini baik dalam volume maupun jenis aplikasinya.

II.8. Citra Digital (Kamera)

Metode lain yang dapat digunakan untuk mengambil data pengujian *free running model* adalah dengan citra digital. Citra digital tersusun dalam bentuk raster (*grid*). Setiap kotak (*tile*) yang berbentuk disebut *pixel* (*picture element*) dan memiliki koordinat(x,y). Setiap *pixel* memiliki nilai (*value* atau *number*) yang menunjukkan intensitas keabuan pada *pixel* tersebut. Contohnya dapat dilihat pada Gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.10 Representasi citra digital

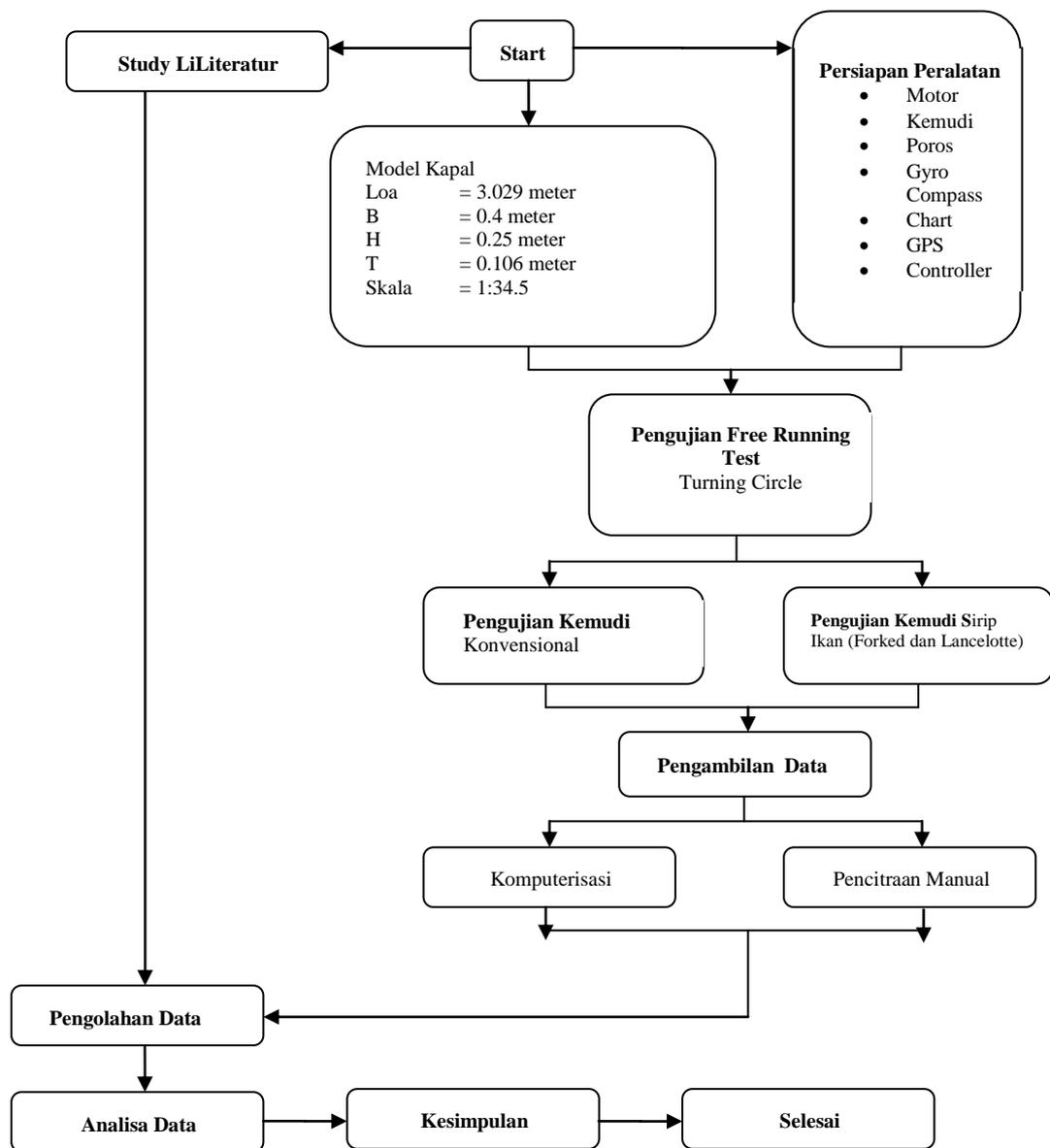
Baik buruknya citra digital dipengaruhi oleh besar kecilnya resolusi. Resolusi menunjukkan kerincian suatu citra dan dapat dinyatakan sebagai banyak *pixel* per satuan panjang, *pixel per inch* (*dot per inch – dpi*). Dpi makin besar, maka resolusi semakin tinggi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

I.1. Flowchart Pengerjaan

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan diagram air metodologi penelitian seperti di bawah ini gambar 3.1:



Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan

I.2. Bahan dan Peralatan

Pada tugas akhir ini, dipergunakan sejumlah peralatan untuk membantu proses penelitian, dimana tiap peralatan memiliki fungsi yang berbeda-beda untuk setiap tahapan penelitian. Adapun peralatan yang dipakai pada tahapan penelitian ini antara lain:

1. Rangkaian Motor DC

1.1 Motor DC

Motor yang dipergunakan untuk pengujian adalah tipe motor listrik DC sebanyak 2 (dua), dimana masing-masing menggerakkan 1 (satu) buah propeler. Jenis motor penggerak adalah motor yang biasa dipergunakan pada RC (*Radio Control racing, motor DC brushless*).

Motor Leopard 3500W 1500KV ini membutuhkan daya 120 Ampere, dan menggunakan baterai Lippo-Cell 4-9s. Sesuai dengan namanya, motor ini mempunyai kekuatan sebesar 1500KV, atau 1500 RPM/Volt. Adapun poros *propeller* yang bisa dipasang sebesar 5mm.



Gambar 3.2 Motor DC

1.2 Electronic Sircuit Control (ESC)

Kontrol Kecepatan Elektronik atau yang biasa disingkat ESC adalah, sirkuit elektronik yang berfungsi untuk memvariasi kecepatan motor listrik dengan pengaturan fase tegangan yang diterima. Pada kasus ini ESC 180 A (Gambar 3.3), berfungsi untuk mengatur kecepatan motor *Leopard Brushless* yang digunakan sebagai motor penggerak utama, dengan karakteristik sebagai berikut ini:



Gambar 3.3. ESC SEAKING 180 A

- Dirancang khusus untuk RC boat, dengan sangat baik start-up, akselerasi dan fitur linearitas.
- Menggunakan komponen elektronik kualitas terbaik untuk meningkatkan kemampuan daya tahan ESC.
- Dengan sistem pendingin air dan mekanisme ESC adalah tahan air supaya tahan lebih lama.
- 2 mode running, "*Forward Only*" mode dan "*Foward / Backward*" mode untuk berbagai kapal.
- Beberapa fitur *protection: low voltage cut-off protection* baterai *lithium* atau *nikel / Over-heat protection / Throttle signal loss protection*
- 8 langkah penyesuaian waktu, kompatibel dengan semua jenis sensor yang brushless motor.

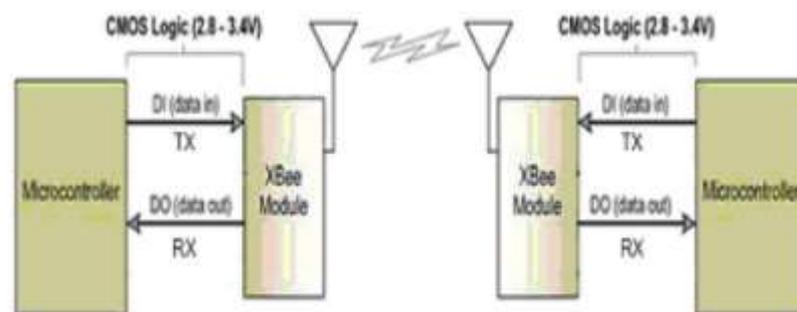
2. Rangkaian kontrol

Dalam penelitian ini, model kapal digerakkan dengan sistem komputerisasi *semi-automatic*, yang berarti model dikontrol melalui perangkat komputer dengan bantuan

perangkat lunak (*software*). Kelebihan dengan menggunakan kontrol ini, model dapat bergerak pada trek yang diinginkan berdasar lintasan yang telah diatur sebelumnya. Namun demikian, untuk mencapai kontrol *semi-automatic* dibutuhkan rangkaian kontrol yang terhubung dengan motor penggerak utama. Rangkaian ini sendiri terdiri dari beberapa modul.

2.1 Modul Wireless Radio frekuensi 2.4GHz XBee Pro

Radio Frequency atau pengirim dan penerima frekuensi radio ini berfungsi untuk komunikasi secara full duplex. Radio frekuensi transceiver ini merupakan sebuah modul yang terdiri dari RF Receiver dan RF transmitter dengan sistem interface serial UART asynchronous (Gambar 3.4 dan 3.5)



Gambar 3.4. Prinsip kerja modul XBee

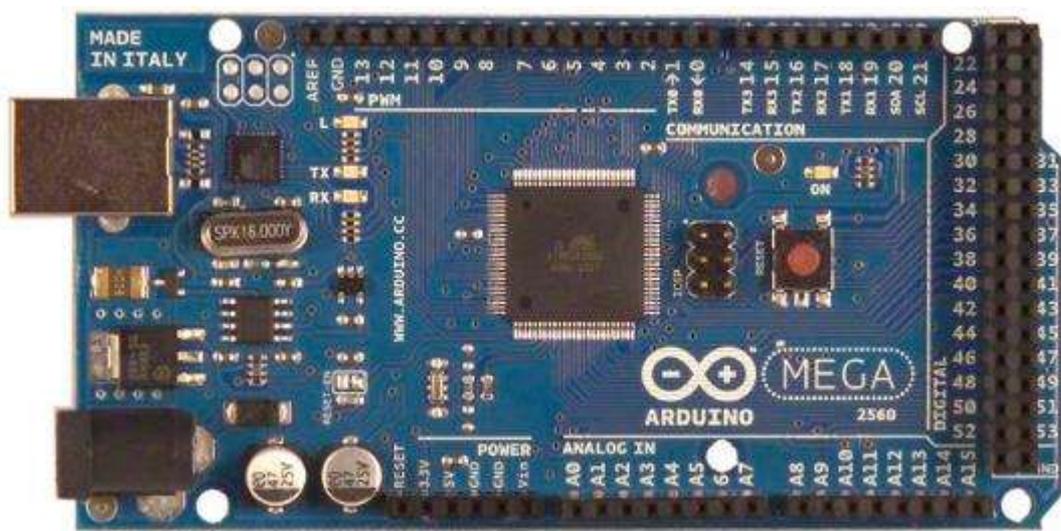


Gambar 3.5 Modul Wireless Radio 2.4GHz XBee Pro

2.2 Arduino Mega 2560

Arduino Mega2560 (Gambar 3.6) adalah papan mikro kontroler berbasis *ATmega2560* (*data sheet ATmega2560*). *Arduino Mega2560* memiliki 54 *pin digital*

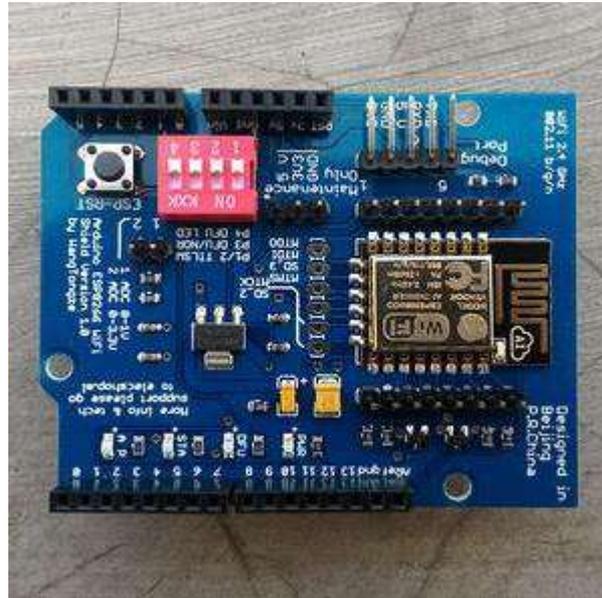
input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM, 16 pin sebagai *input* analog, dan 4 pin sebagai UART (*port serial hardware*), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, *jack power*, *header* ICSP, dan tombol reset. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau *power* dihubungkan dengan *adaptor* AC-DC atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. *Arduino Mega2560* kompatibel dengan sebagian besar *shield* yang dirancang untuk *Arduino Duemilanove* atau *Arduino Diecimila*. *Arduino Mega2560* adalah versi terbaru yang menggantikan versi *Arduino Mega*.



Gambar 3.6 Modul *Arduino Mega2560*

2.3 EMS XB Shield

EMS XB Shield merupakan sebuah modul *add-on/Shield* untuk modul *DT-AVR Innoduino* ataupun modul *Arduino™ / Arduino™ Compatible*. Dengan menggunakan modul ini maka modul *Xbee®/Xbee-PRO®* dapat dengan mudah dihubungkan dengan modul *Arduino™ / Arduino™ Compatible* lain tanpa harus mengkhawatirkan level tegangan dan layout koneksi pin. Selain itu kebebasan dalam menentukan jenis *Xbee* yang akan digunakan juga tersedia, karena modul *EMS XB Shield* ini kompatibel dengan *Xbee®* dan *Xbee-PRO®*. (Gambar 3.7)



Gambar 3.7 Modul *EMS XB Shield*

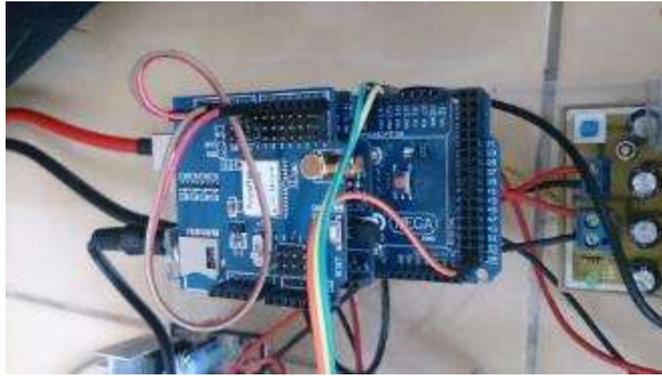
2.4 Rangkaian Sistem Kontrol

Adapun perangkat-perangkat yang telah dijelaskan diatas, dirangkai menjadi 2 bagian utama. Yang pertama, sistem kontrol dari ESC-mesin yang akan terhubung pada software untuk menjalankan kapal.



Gambar 3.8 Rangkaian Sistem Kontrol

Yang berikutnya rangkaian kontrol yang terhubung pada GPS seperti terlihat pada Gaambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9 Rangkaian Sistem Kontrol Terhubung ke GPS

3. GPS dan Pemancar

Arduino GPS shield modul GPS breadout papan dirancang penerima *Global Positioning System* dengan *SD interface*. Hal ini mudah digunakan untuk merekam data posisi ke kartu *memory SD*. Sumber tegangan operasi yang di butuhkan 5V / 3.3V tegangan yang kompatibel membuatnya kompatibel dengan *Arduino board, leafmaple, IFlat32* dan *Arduino board* lain yang kompatibel.



Gambar 3.10 Rangkaian GPS dengan Pemancar

4. Motor Cervo

Motor servo (Gambar 3.11) adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (*servo*), sehingga dapat di *set-up* atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros *output motor*. *Motor servo* merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian *gear*, rangkaian kontrol dan *potensio meter*. Serangkaian *gear* yang melekat pada poros *motor DC* akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi *motor servo*, sedangkan *potensiometer* dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros *motor servo*.



Gambar 3.11 Motor Servo

5. Baling-baling (*Propeller*)

Baling-baling yang dipergunakan adalah baling-baling dari bahan kuningan yang dibuat dengan cara dicor pada cetakan. Baling-baling ini memiliki daun 3, dan diameter sebesar 5 cm yang dipasang sebanyak 2 buah (*double screw*).

6. *Rudder*

Pada pengujian ini dibuat 3 tipe kemudi untuk dibandingkan hasil performanya, yaitu kemudi konvensional (biasa), kemudi ekor ikan *forked* dan kemudi *lancelote*, yang seluruhnya dibuat dari bahan kayu. Untuk menghilangkan kesalahan persepsi dalam laporan ini maka untuk selanjutnya jenis kemudi biasa seperti Gambar 3.12 di bawah ini disebut tipe A.



Gambar 3.12 Kemudi Tipe Konvensional (biasa)/Tipe A

Kemudian jenis kemudi ekor ikan *forked* seperti Gambar 3.13 dibawah ini disebut Tipe B. Jenis kemudi ini memiliki penampang yang berbeda dengan kemudi tipe A. Dengan luasan sama, kemudi ekor ikan *forked* memiliki bentuk seperti ekor ikan yang memiliki panjang pada bagian tengah dan kedua ujung atas bawah yang berbeda.



Gambar 3.13 Kemudi Tipe Ekor Ikan *Forked*/ Tipe B

Dan untuk jenis kemudi yang terakhir adalah kemudi *lancelotte*. Kemudi ini selanjutnya disebut tipe C seperti Gambar 3.14 di bawah ini.



Gambar 3.14 Kemudi Tipe *Lancelotte*/ Tipe C

7. Baterai

Untuk memenuhi daya mesin maupun *servo* yang masing-masing berjumlah 2 buah, dipergunakan baterai *lipo 5000mAh* (Gambar 3.15) yang memiliki spesifikasi sebagai berikut. Kapasitas daya baterai sebesar 5000mAh, dengan voltase sebesar 7.4 V. Adapun ukuran baterai adalah 138mm x 46mm x 25mm, dengan berat 309 gram. Baterai mampu menjalankan kapal kurang lebih 15 menit sekali jalan, dengan *resting time* 10 sampai 15 menit untuk pendinginan. Total lama waktu pemakaian yang bisa tertempuh sekitar 45 menit, kemudian baterai perlu untuk *discharge* ulang.



Gambar 3.15. Batere Li-Po 5000mAh

I.3. Model Kapal dan *Rudder Arrangement*

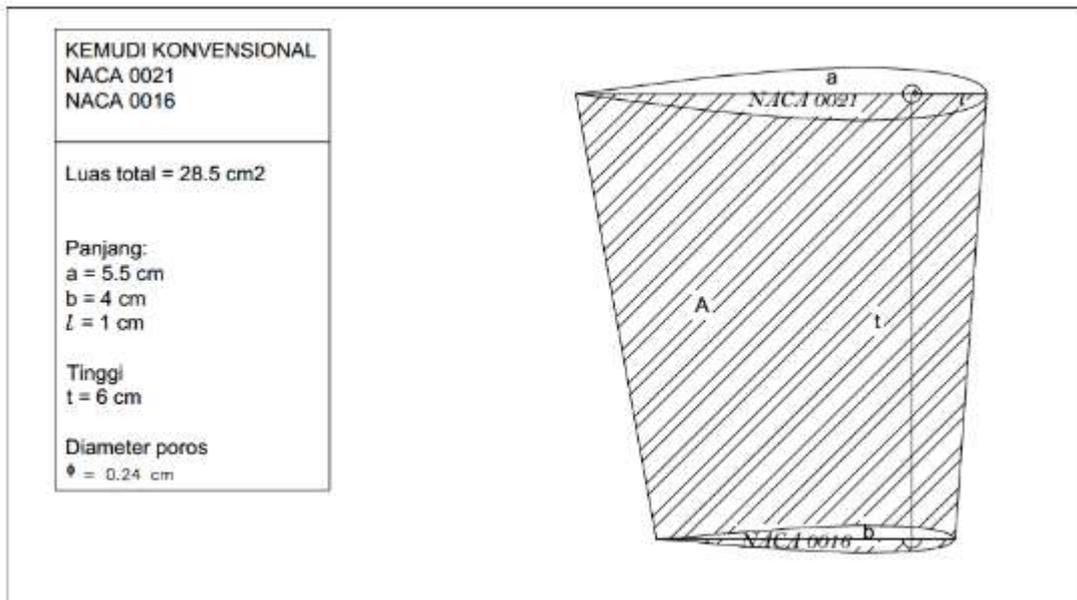
Dalam percobaan ini model kapal yang digunakan adalah model kapal patroli SIGMA (Gambar 3.16) dengan ukuran utamanya sebagai berikut:

Skala	=	1:34.5
Lwl	=	2,87 meter
Loa	=	3,029 meter
B	=	0,4 meter
T	=	0,106 meter
H	=	0,25 meter
Cb	=	0,452

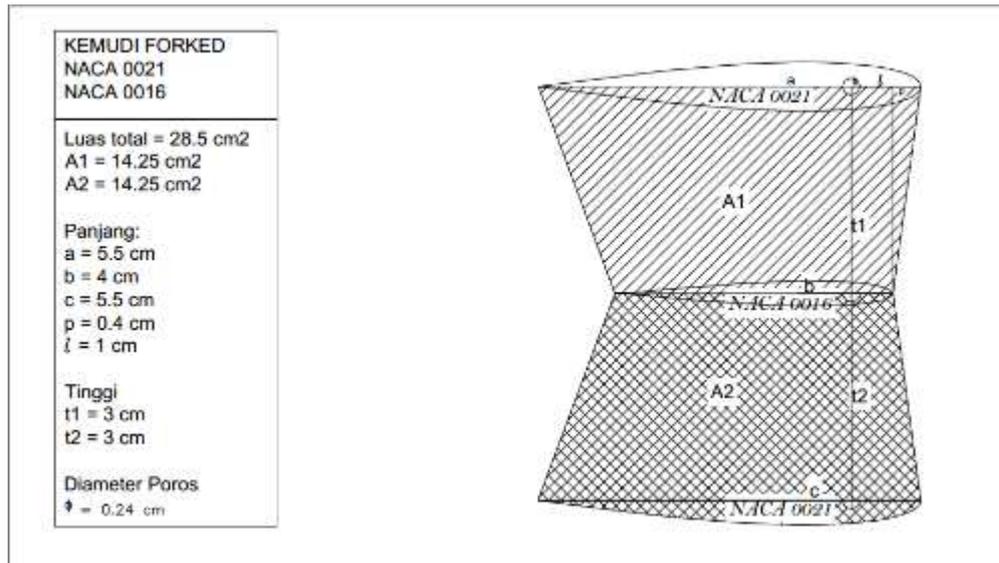


Gambar 3.16 Model kapal SIGMA

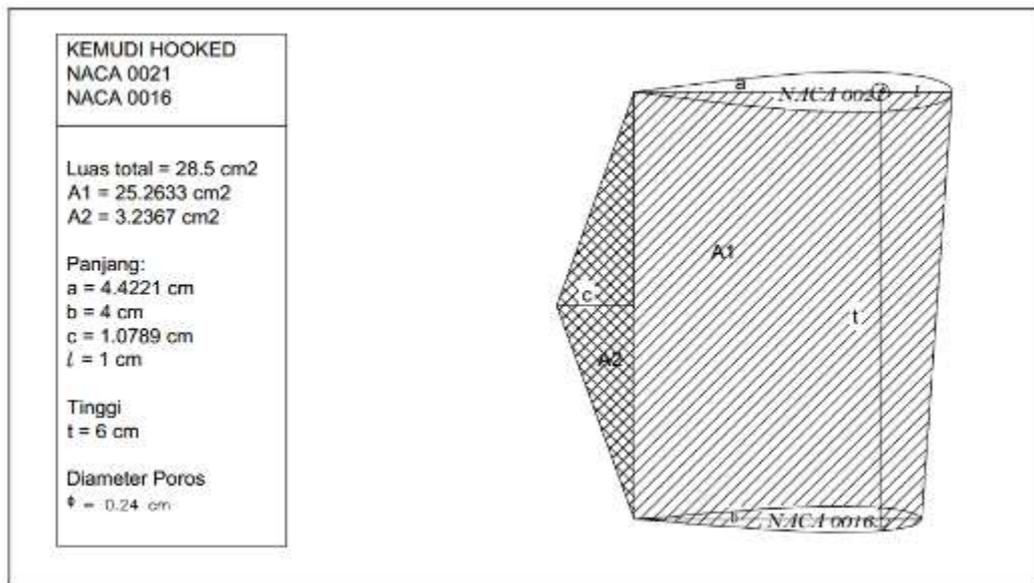
Untuk lebih mudah menentukan posisi baling-baling dan kemudi maka dibutuhkan gambar *rudder arrangement*. Berikut adalah gambar *rudder arrangement* dari model kapal yang digunakan. (Gambar 3.17, 3.18 dan 3.19)



Gambar 3.17 Rudder arrangement Konvensional/ Tipe A



Gambar 3.18 Rudder arrangement model Ekor Ikan Forked/ Tipe B



Gambar 3.19 Rudder arrangement model Lancelotte/ Tipe C

I.4. Penentuan Titik Berat Memanjang

Pengujian ini berfungsi untuk mencari letak titik berat memanjang dari model kapal akibat penempatan peralatan *free running*. Karena dalam *maneuvering* letak titik berat memanjang berpengaruh terhadap momen puntir akibat gaya yang dialami oleh kemudi.

Untuk mengetahui letak titik apung ini, model akan ditimbang dengan timbangan. Dan untuk menyesuaikan letak titik berat memanjangnya digunakan *ballast*.

I.5. Kolam Yang Dipakai

Kolam yang dipakai pada awalnya sebanyak 3 tempat, yakni pertama adalah kolam uji PPNS sebesar 16 x 18 meter dan memiliki kedalaman kurang lebih 2 sampai 3 meter, kedua adalah kolam Graha ITS yang memiliki ukuran 17 x 45 meter dan memiliki kedalaman kurang lebih 2 meter dan ketiga adalah kolam perumahan dosen ITS atau lebih dikenal dengan kolam delapan. Kolam delapan inilah yang akhirnya dipakai sebagai kolam tetap untuk pengujian sehingga mencapai hasil yang memuaskan. Adapun ukuran kolam delapan adalah 18 x 32 meter dan memiliki kedalaman 4 sampai 5 meter. Kolam delapan dipilih berdasarkan kriteria hipotesa *tactical diameter* yang akan dihasilkan yaitu kurang lebih sebesar 5 kali panjang kapal, sehingga kolam yang dipilih adalah kolam yang dapat menampung luasan tersebut. Selain itu kondisi kolam yang ideal untuk meletakkan peralatan-peralatan dan lokasi yang tidak terlalu jauh dari tempat bengkel kapal.

Adapun Kolam Delapan yang dipakai telah dilakukan perhitungan untuk mengetahui apakah kolam uji yang dipakai telah memenuhi syarat kedalaman sesuai dengan perairan pada kapal sebenarnya. Perhitungan yang dimaksud adalah perbandingan antara kedalaman kolam dengan sarat kapal model. Perbandingan tersebut harus memenuhi kriteria agar dapat dikatakan perairan dalam sesuai dengan perairan kapal sebenarnya. Adapun rumus perbandingan yang dimaksudkan adalah,

$$\frac{h}{T} > 10$$

Dimana:

h = kedalaman kolam

T = sarat kapal

Kolam yang dipergunakan (Kolam Delapan), memiliki kedalaman 4 meter, dan kapal model yang diujikan memiliki sarat sebesar 0,106 meter. Apabila kita masukkan dalam persamaan diatas, nilai perbandingan yang kita miliki sebesar 37,736. Yang berarti bahwa, kolam yang dipakai dapat dikatakan sebagai perairan dalam karena memiliki nilai perbandingan melebihi 10.

I.6. Kalibrasi Model

I.6.1. GPS

Dari hasil kalibrasi, GPS dapat mengambil point tiap 2 cm. Metode penggunaan GPS dirasa mampu untuk mengatasi permasalahan pada pengujian ini. Kalibrasi ini dilakukan dengan membawa GPS berjalan kaki membentuk lingkaran berdiameter 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 meter.

I.6.2. Kalibrasi Dengan Program SURSIM

Salah satu pengambilan data untuk pengujian *free running model* ini adalah dengan menggunakan program SURSIM milik LHI-BPPT. Program ini menggunakan data dari software yang terpasang pada *control system*, yang kemudian diolah menjadi data *maneuvering*.

I.7. Prosedur Pengambilan Data

Berikut ini adalah prosedur pengujian untuk mengambil data mulai dari peletakan peralatan di sekitar kolam hingga pengujian berlangsung :

- Menentukan kolam terbuka yang dapat digunakan untuk pengujian *free running*. Dalam pengujian ini kolam yang dipilih adalah kolam delapan di perumahan dosen ITS. Posisi kolam yang berada dekat bengkel dan sisi kolam yang luas, memudahkan untuk proses pengambilan data. Kolam delapan berukuran 18 x 32 meter dan memiliki kedalaman 4 sampai 5 meter. (Gambar 3.20)



Gambar 3.20 Kolam 8 Area Uji *Free Running* Modet Test

- Mengatur posisi antena penerima sinyal GPS agar kapal tidak kehilangan jejak manuver. Posisi antena diusahakan setinggi mungkin agar dapat menjangkau area yang lebih luas. Pohon disekitar kolam dipergunakan sebagai tiang pancang antena. Tapi karena langsung terhubung oleh perangkat CPU/Laptop, antena tidak bisa ditempatkan terlalu tinggi. Lihat Gambar 3.21 dibawah ini posisi dari Antena GPS.



Gambar 3.21 Lokasi antena yang terpasang pada pohon

- Setelah antena sudah berada di posisinya maka langkah selanjutnya mengatur koneksi GPS dengan laptop yang berada di pinggir kolam untuk monitoring dan mengontrol kapal.

- GPS terus menerus memberikan posisi koordinat kapal untuk direkam. Sebelum pengujian dan pengambilan data dilakukan uji coba/ trial (Gambar 3.22) untuk mendeteksi apakah sistem berjalan sesuai dengan rencana dan data yang direkam sesuai dengan rencana pengujian. Jika sistem menunjukkan sistem kerja yang kurang sesuai dilakukan perbaikan. (Gambar 3.23) . Kegiatan ini diulang-ulang sehingga sistem menghasilkan data yang representatif dan sesuai dengan rencana percobaan.



Gambar 3.22 Persiapan Kapal Uji Trial



Gambar 3.23 Perbaikan dan Penyesuaian Alat Uji

- Sebelum pengujian dimulai, kecepatan angin dicek agar tidak mengganggu gerak dan kestabilan kapal.
- Model kapal dijalankan dan direkam gerakan manuvernya. Posisi awal lintasan kapal ditentukan (Gambar 3.24).



Gambar 3.24 Start awal Pengujian Free Running Model

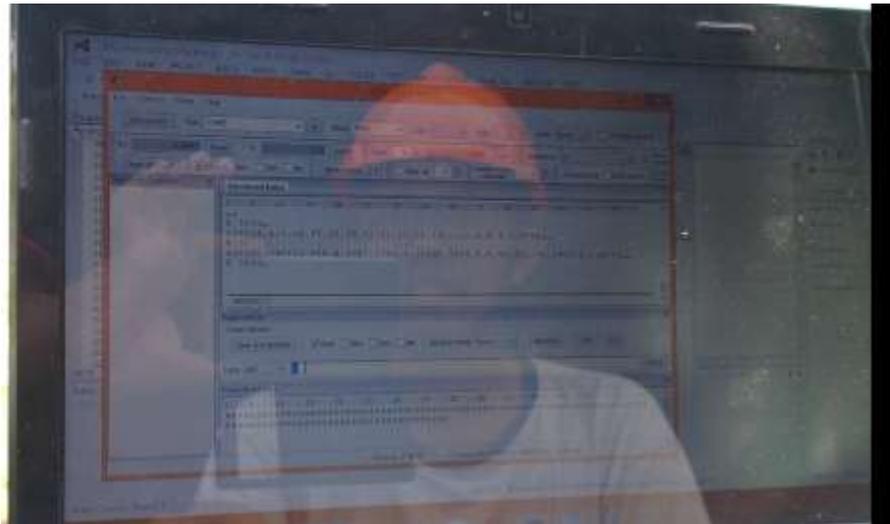
- Jika uji *free running model* kapal sudah mencapai satu putaran, dilakukan evaluasi dan pengecekan data untuk pengujian berikutnya (Gambar 3.25)



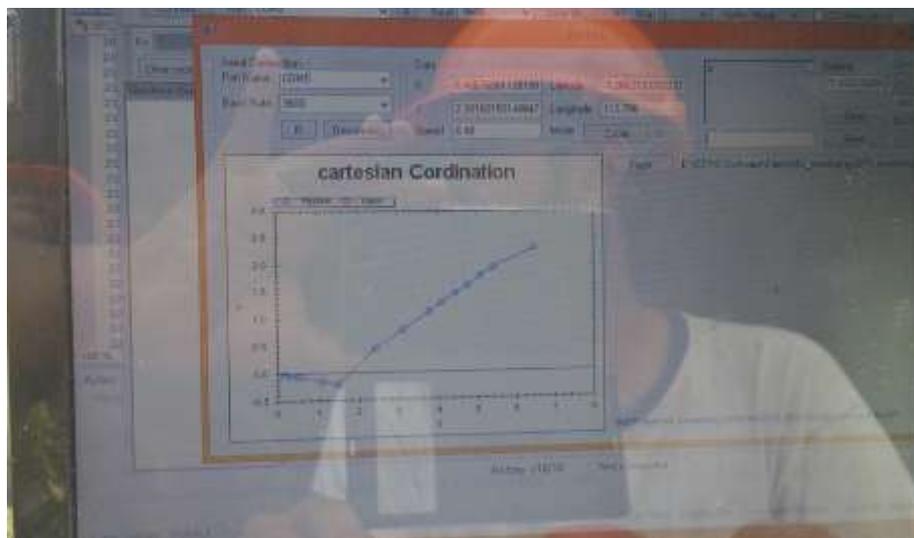
Gambar 3.25 Pengujian Free Running Model Satu Putaran Penuh

- Proses pengambilan data

Perekaman data dilakukan dengan menghubungkan GPS dengan komputer secara langsung untuk direkam koordinat GPS dan lintasan kapal seperti terlihat pada Gambar 3.26, Gambar 3.27 dan Gambar 3.28 dibawah ini.



Gambar 3.26 Perekaman Koordinat GPS dengan Laptop



Gambar 3.27 Perekaman Lintasan Model Test dengan Laptop

Gambar 3.29. Data Log dari Uji free Running Model dari GPS



Gambar 3.30 Data .Dat di notepad

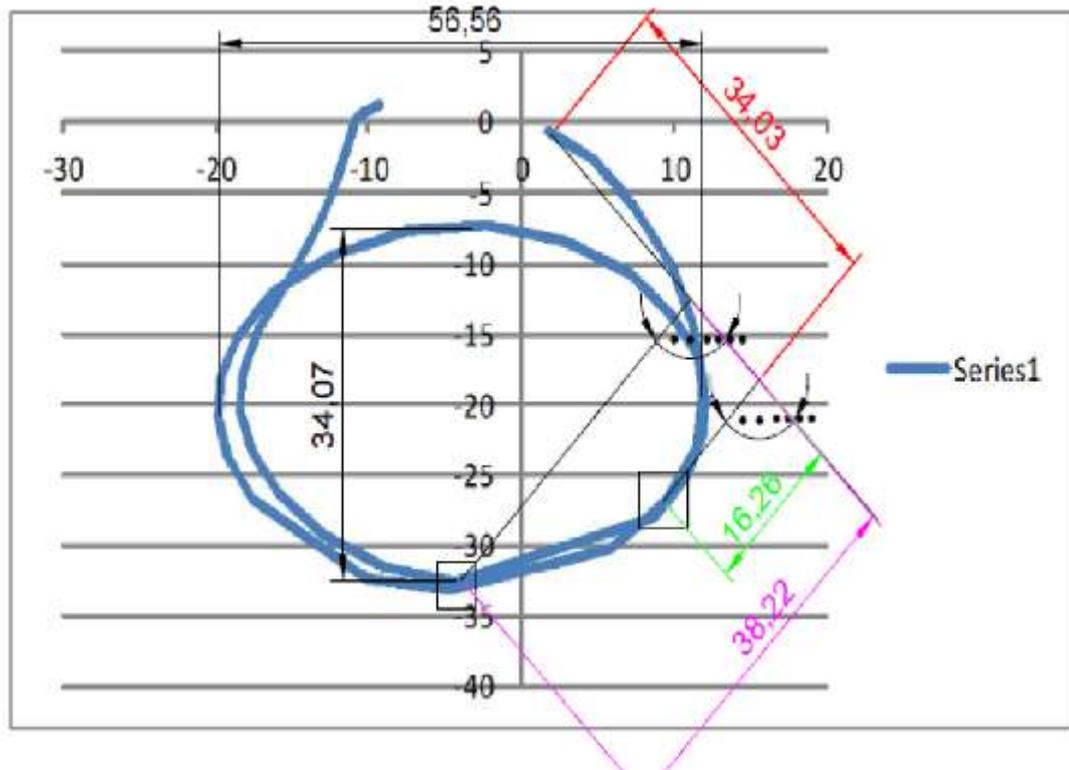
- Data dari notepad data log yang telah di upload kemudian diubah menjadi data .SOT yang kemudian akan diimport kembali ke software lain. Software yang digunakan adalah SURSIM, software ini dapat mengimport file system coordinate (.exe) kemudian dimasukkan data ukuran asli dan diambil datanya. (Gambar 3.31)

Time	Speed	Distance	Altitude	Heading	Course	Roll	Yaw	Pitch
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
2	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
3	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
4	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
5	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
6	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
7	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
8	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
9	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
10	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
11	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
12	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
13	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
14	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
15	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
16	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
17	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
18	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
19	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
20	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
21	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
22	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
23	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
24	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
25	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
26	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
27	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
28	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
29	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
30	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
31	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
32	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
33	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
34	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
35	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
36	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
37	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
38	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
39	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
40	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
41	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
42	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
43	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
44	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
45	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
46	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
47	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
48	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
49	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
50	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
51	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
52	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
53	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
54	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
55	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
56	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
57	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
58	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
59	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
60	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
61	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
62	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
63	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
64	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
65	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
66	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
67	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
68	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
69	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
70	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
71	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
72	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
73	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
74	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
75	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
76	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
77	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
78	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
79	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
80	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
81	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
82	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
83	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
84	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
85	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
86	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
87	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
88	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
89	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
90	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
91	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
92	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
93	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
94	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
95	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
96	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
97	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
98	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
99	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
100	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

Gambar 3.31. Data Olah Dengan SURSIM setelah diubah dari .exe ke .SOT.

- Data hasil analisa dengan SURSIM selanjutnya diconvert dari .SOT ke file data sheet Excell *.xls. Data tersebut selanjutnya dibuat grafik lintasan free

running untuk dipindahkan ke file AUTOCAD *.dwg, seperti terlihat dalam Gambar 3.32 dibawah ini.



Gambar 3.32 Hasil Akhir Free Running Model Test

1.8.2. Skala Datalog

Datalog yang terekam pada GPS masih berupa raw data. Yang dimaksudkan adalah, data yang terekam masih berupa koordinat kartesian tanpa satuan. Ini dikarenakan adanya perbedaan sinkronisasi antara software perekam data dengan GPS yang terpasang. Dari hasil kalibrasi, GPS merekam titik point kapal setiap 20 cm. Sebelum melangkah ke analisa data, hasil dari datalog yang telah direkam dan dikonversikan harus diskala dari satuan kartesian ke satuan meter.

Kita ambil contoh hasil dari datalog yang telah ditunjukkan pada gambar 3.32. Hasil perhitungan sementara tersebut akan diskala dari kartesian tanpa satuan menjadi tiap point berjarak 20 cm.

- Tactical diameter = 38.22 = 38.22 x 0.2 = 7.644 meter
- Jarak advance = 34.03 = 34.03 x 0.2 = 6.806 meter
- Jarak transfer = 16.26 = 16.26 x 0.2 = 3.252 meter
- Turning diameter = 56.56 = 56.56 x 0.2 = 11.312 meter

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

I.9. Klasifikasi Pengujian

Pengujian *free running model* dilakukan untuk mengetahui karakteristik model kapal dengan beberapa jenis kemudi tertentu pada gerakan manuver *turning circle*. Sudut kemudi yang digunakan maksimal sebesar 35°. Jenis kemudi yang dibandingkan adalah kemudi konvensional (Tipe A), kemudi Ekor Ikan *Forked* (Tipe B), dan kemudi *lancelote* (Tipe C). Pembahasan jenis kemudi tersebut sudah dilakukan oleh penulis sebelumnya. Penelitian ini hanya sebatas menguji ketiga jenis kemudi tersebut dengan pengujian *free running model*.

I.10. Kondisi Pengujian

Ada beberapa yang harus ditentukan sebelum melakukan pengujian karena pengujian ini dilakukan di kolam terbuka. Faktor cuaca menjadi hal yang sangat berpengaruh. Pengujian ini dilakukan pada siang hari karena kecepatan angin relatif kecil. Faktor kecepatan angin juga dapat mempengaruhi gerakan *turning circle* model. Oleh karena itu pengujian dilakukan ketika kecepatan angin kecil. Untuk mengetahui besarnya kecepatan angin dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.1 Standart Baku Skala Beaufort

Skala Beaufort	Kategori	Satuan dalam km/jam	Satuan dalam knots	Keadaan di daratan	Keadaan di lautan
0	Udara Tenang	<1	<1	Asap bergerak secara vertikal	Permukaan laut seperti kaca
1-3	Angin lemah	1 - 19	1 - 10	Angin terasa di wajah; daun-daun berdesir; kincir angin bergerak oleh angin	riuk kecil terbentuk namun tidak pecah; permukaan tetap seperti kaca
4	Angin sedang	20-29	11-16	Mengangkat debu dan menerbangkan kertas; cabang pohon kecil bergerak	Ombak kecil mulai memanjang; garis-garis buih sering terbentuk
5	Angin segar	30-39	17-21	Pohon kecil berayun; gelombang kecil terbentuk di perairan di darat	Ombak ukuran sedang; buih berarak-arak
6	Angin kuat	40- 50	22- 27	Cabang besar bergerak; siulan terdengar pada kabel telepon; payung sulit digunakan	Ombak besar mulai terbentuk, buih tipis melebar dari puncaknya, kadang-kadang timbul percikan
7	Angin ribut	51- 62	28 ~33	Pohon-pohon bergerak; terasa sulit berjalan melawan arah angin	Laut mulai bergolak, buih putih mulai terbawa angin dan membentuk alur-alur sesuai arah angin
8	Angin ribut sedang	63~ 75	34- 40	Ranting-ranting patah; semakin sulit bergerak maju	Gelombang agak tinggi dan lebih panjang; puncak gelombang yang pecah mulai bergulung; buih yang terbesar anginnya semakin jelas alur-alurnya
9	Angin ribut kuat	76- 87	41- 47	Kerusakan bangunan mulai muncul; atap rumah lepas; cabang yang lebih besar patah	Gelombang tinggi terbentuk buih tebal berlajur-lajur; puncak gelombang roboh bergulung-gulung; percik-percik air mulai mengganggu penglihatan

10	Badai	88– 102	48~ 55	Jarang terjadi di daratan; pohon-pohon tercabut; kerusakan bangunan yang cukup parah	Gelombang sangat tinggi dengan puncak memayungi; buih yang ditimbulkan membentuk tampal-tampal buih raksasa yang didorong angin, seluruh permukaan laut memutih; gulungan ombak menjadi dahsyat; penglihatan terganggu
11	Badai kuat	103 ~117	56~ 63	Sangat jarang terjadi-kerusakan yang menyebar luas	Gelombang amat sangat tinggi (kapal-kapal kecil dan sedang terganggu pandangan karenanya), permukaan laut tertutup penuh tampal-tampal putih buih karena seluruh puncak gelombang menghamburkan buih yang terdorong angin; penglihatan terganggu
12+	Topan	>118	>64		Udara tertutup penuh oleh buih dan percik air; permukaan laut memutih penuh oleh percik-percik air yang terbanyut angin; penglihatan amat sangat terganggu

Dari Tabel 4.1 di atas dapat dilihat bahwa dalam pengujian ini bahwa kecepatan angin dalam keadaan tenang dengan kecepatan angin di bawah 1 knots karena kondisi air saat pengujian dalam keadaan tenang seperti kaca. Sedangkan temperatur air ketika pengujian sebesar 28° - 30° Celcius.

I.11. Hasil Simulasi Numerik dengan SURSIM

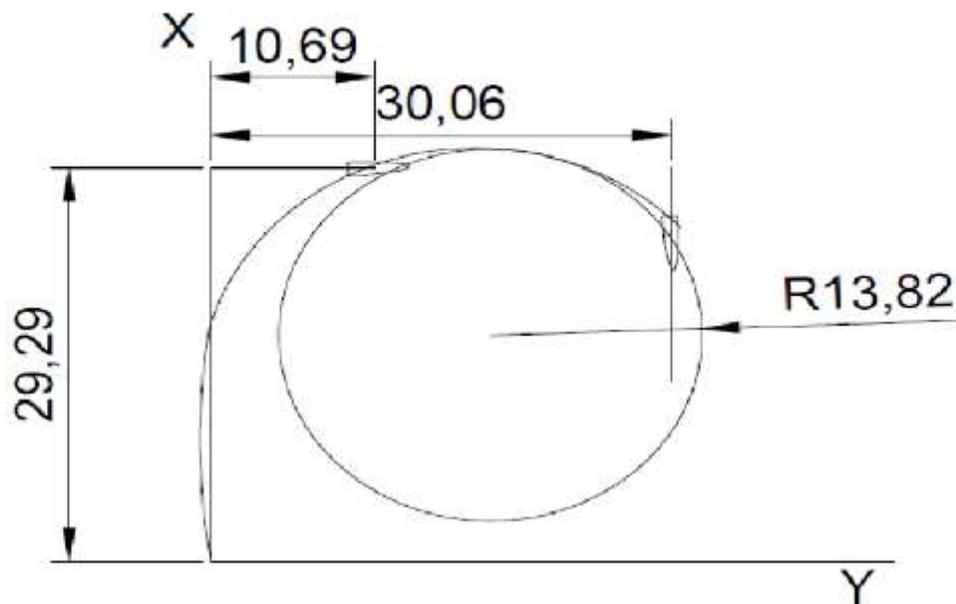
Model yang dipakai pada penelitian tugas akhir ini merupakan model dari kapal patroli SIGMA. Model ini selain diuji oleh praktikan, juga disimulasikan dengan metode numerik. Pengujian tersebut menggunakan skala model sebenarnya. Contoh hasil simulasi numerik *running circle* untuk ke tiga jenis model kemudi tersebut dapat dilihat pada table 4.2 di bawah ini.

Dari hasil simulasi numerik model didapatkan koordinat gerakan kearah melintang kapal (*sway*) sebagai sumbu *x* dan gerakan kearah memanjang kapal (*surge*) sebagai sumbu *y*. seperti yang terdapat pada tabel 4.2 dibawah ini. Untuk hasil numeris ketiga model kemudi yang ada dapat dilihat di Lampiran

Tabel 4.2 Hasil Koordinat Numeris Dengan SURSIM (Kemudi Konvensional/ Tipe A)

Time	X-pos.	Y-pos.	Time	X-pos.	Y-pos.
(s)	(m)	(m)	(s)	(m)	(m)
0	0	0			
5	35.95	-0.23	80	2.18	109.79
10	71.35	0.53	85	-1.15	84.23
15	104.45	6.71	90	3.44	58.86
20	132.1	20.6	95	15.52	36.09
25	152.05	41.24	100	33.94	18.05
30	163.4	66.08	105	56.96	6.46
35	166	92.47	110	82.42	2.41
40	160.22	117.94	115	107.91	6.28
45	146.94	140.18	120	131.02	17.7
50	127.54	157.2	125	149.57	35.6
55	103.9	167.48	130	161.81	58.29
60	78.26	170.09	135	166.58	83.63
65	53.03	164.78	140	163.44	109.21
70	30.61	152.06	145	152.68	132.64
75	13.11	133.14	150	135.31	151.69

Sedangkan plotting lintasan *turning circle* hasil model numeris untuk kemudi konvensional/ tipe A dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini. Untuk Gambar hasil numeris dengan menggunakan software SURSIM untuk semua model kemudi dapat dilihat di Lampiran.



Gambar 4.1 Grafik *Turning Circle* Kemudi Konvensional/ Tipe A dengan Numeris dengan SURESIM

Hasil rangkuman performa menuvering untuk ke tiga jenis kemudi dengan menggunakan numeris dapat dilihat pada table 4.3. dibawah ini.

Tabel 4.3. Hasil Simulasi Numeris dengan SURESIM

Numerik SURESIM		
Parameter	Konvensional	skala 1:34.5
Advance (m)	515.93	14.95
Transverse (m)	223.91	6.49
Tactical Diameter (m)	546.56	15.84
Turning Diameter (m)	431.97	12.52

Ukuran kapal yang sama dilakukan pemodelan numerik dengan software MPP-1.3 dari *Department of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan* , seperti yang telah dilakukan dalam penelitian numeris sebelumnya oleh Ismail Syahputra (2013).

Hasil performa manuver ini dibanding dengan hasil dari software SURESIM dapat dilihat pada table dibawah ini:

Tabel 4.4 Hasil Numeris SURSIM vs MPP-1.3

Numerical Model				
Parameter	SURSIM		MPP-1.3	
	Ukuran Riel	skala 1:34.5	Ukuran Riel	skala 1:34.5
Advance (m)	515.93	14.95	336.33	9.75
Transverse (m)	223.91	6.49	202.51	5.87
Tactical Diameter (m)	546.56	15.84	446.63	12.95
Turning Diameter (m)	431.97	12.52	433.04	12.55

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Model Numeris dengan SURSIM dan MPP-1.3

Numerik Skala Model SURSIM LHI vs MPP-1.3				
Parameter	Konvensional (Tipe A)		Selisih %	Keterangan MPP-1.3 terhadap SURSIM
	SURSIM	MPP-1.3		
Advance (m)	14.95	9.75	-34.81%	Lebih kecil
Transverse (m)	6.49	5.87	-9.56%	Lebih kecil
Tactical Diameter (m)	15.84	12.95	-18.28%	Lebih kecil
Turning Diameter (m)	12.52	12.55	0.25%	Lebih kecil

Dari table diatas terlihat terjadi perbedaan hasil model numeris antara dengan SURSIM dan MPP-1.3, dimana hasil nilai model numeris dengan MPP-1.3 umumnya lebih kecil dibanding dengan hasil model numeris dengan SURSIM. Untuk nilai jarak advance selisihnya sampai 34.8% sedang untuk tactical diameter selisihnya 18.28%.

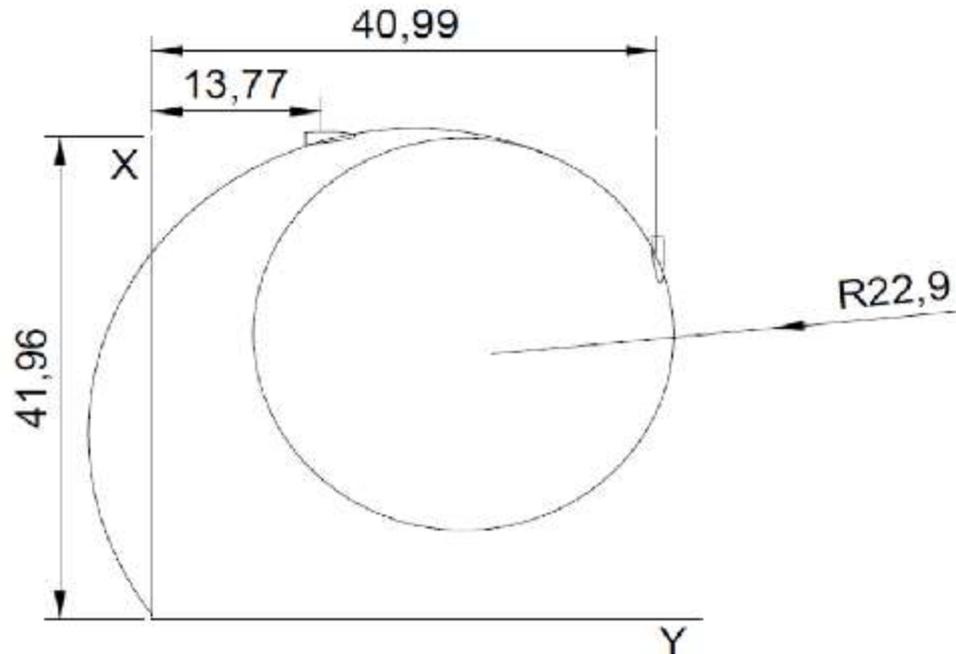
I.12. Hasil Pengujian Free Running Model

Berikut adalah hasil pengujian *free running model* dengan skala model λ sebesar 15 untuk beberapa jenis kemudi (Tabel 4.4). Metode pengujian yang digunakan telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Free Running Model Test Kemudi (Skala 1 : 34.5)

Free-Running test			
Parameter	Konvensional	Forked	Lancelotte
	(Tipe A)	(Tipe B)	(Tipe C)
Advance (m)	8.392	6.806	9.078
Transverse (m)	2.754	2.452	2.41
Tactical Diameter (m)	8.198	7.644	9.286
Turnng Diameter (m)	9.16	9.14	9.298

Sedangkan plotting gambar turning circle hasil free running model test untuk kemudi konvensional/ tipe A, dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini. Untuk gambar turning circle untuk ketiga model kemudi dapat dilihat pada pembahasan dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik Turning Circle Kemudi Konvensional/ Tipe A dengan Free Running

I.13. Pembahasan Hasil Pengujian

Dari table di atas dapat di lihat bahwa terjadi perbedaan antara simulasi numerik dan pengujian *free running* yang dilakukan saat ini, seperti terlihat pada Tabel 4.5 dibawah ini perbandingan antara hasil simulasi numeris dengan free running model test untuk kemudi konvensional (tipe A).

Tabel 4.7 Perbedaan Numeris dengan Free Running Test untuk Kemudi Tipe A

Numeris SURSIM- LHI v Model test				
Parameter	Konvensional (Tipe A)	Free Running Test	Selisih	Keterangan
	Numeris		%	FRT terhadap Numeris
Advance (m)	14.95	8.39	-43.88%	Lebih kecil
Transverse (m)	6.49	2.75	-57.57%	Lebih kecil
Tactical Diameter (m)	15.84	8.20	-48.25%	Lebih kecil
Turning Diameter (m)	12.52	9.16	-26.84%	Lebih kecil

Dari table 4.7 di atas terlihat perbedaan yang jelas antara performa maneuver dengan simulasi numeris dan *free running model test* untuk kemudi konvensional/ tipe A. Secara umum

nilai performa maneuver dengan *free running model test* mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dengan nilai hasil simulasi numeris. Selisih nilai antara hasil simulasi numeris dengan *free running model test* hingga 30% sampai dengan 66%.

Salah satu faktor yang menjadi penyebab terjadinya perbedaan adalah pengaruh faktor hambatan pada model yang diakibatkan antara lain oleh angin, gerakan air/ gelombang bangkitan yang diakibatkan oleh gerakan kapal, respons kemudi, dll. Faktor utama penyebab perbedaan adalah kondisi lokasi model. Kondisi lokasi pengujian model seharusnya memiliki kesamaan geometris dan karakteristik yang sama, baik untuk pemodelan numeris maupun pemodelan *free running test*. Kondisi ini sangat sulit dicapai pada waktu pengujian *free running test* berlangsung, terutama respons kemudi (*steering*) pada model kapal (Bhattacharyya,1978). Secara ringkas pembahasan perbedaan hasil performa maneuvering model numeris dengan *free running test* dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4.8 Analisa Perbedaan Hasil Performa Manuver antara Hasil Simulasi Numeris dengan Software dan *Free Running Model Test*

Parameter	Simulasi Numerik	<i>Free Running Model</i>
Metode Pengujian	Metode simulasi dengan kondisi alam dan factor luar yang dapat dikontrol bebas sesuai penguji.	<i>Free-running test</i> dengan control manual dan pengambilan data melalui GPS tracking pada kolam dengan kondisi alam bebas.
Kontrol Manuver	Manuver dijalankan sempurna tanpa hambatan dan kendala pada pengoperasian.	Kontrol manuver melalui sinyal pengirim elektronik nonkabel yang melalui mediasi udara. Tingkat sinyal penerimaan sangat dipengaruhi cuaca.
Pengaruh Angin	Tidak ada	Ada. Dirasa angin memiliki tingkat teredah

		pada hari itu.
Kondisi Kolam Perairan	Simulasi tanpa hambatan baik tumbuhan, hewan, dan kondisi geografis.	Kolam alami memiliki bermacam ekosistem yang bisa menghambat, contohnya lumut, ikan, dsb.
Pengambilan Data	Data diambil dengan perhitungan dan simulasi.	Ketajaman tingkat pengambilan point dari GPS.
Respon Kemudi	Kemudi secara otomatis terekam sudut derajatnya.	Respon dari pusat control ke kemudi membutuhkan waktu yang memungkinkan adanya perbedaan jarak tempuh.

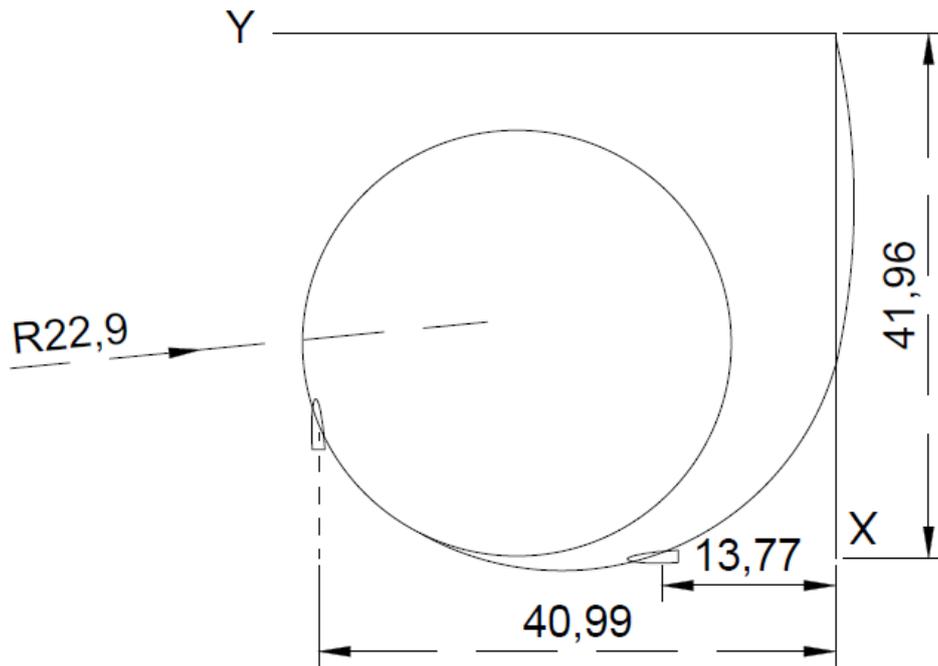
Seperti disampaikan dalam dasar teori bahwa kriteria kemampuan manuever sebuah kapal dibedakan atas kriteria keselamatan dan efisiensi/ ekonomis. Kriteria keselamatan manuever sebuah kapal telah ditetapkan oleh IMO. Dalam beberapa paper dan jurnal ilmiah, *free running model test* adalah metode yang terbaik, dengan hasil kualitas yang baik dalam waktu yang pendek (*high quality within a short time*). Disamping itu *free running model test* lebih praktis dengan memanfaatkan model kapal yang dilengkapi dengan propeller sendiri dengan skala tertentu. Sehingga dapat dilakukan gerakan manuever yang sebenarnya dapat ditentukan hal apa aja yang kurang. Dengan teknologi IT dan control yang berkembang system ini kedepan akan lebih bisa disempurnakan dengan mempertimbangkan factor factor yang berpengaruh, seperti kondisi perairan, factor skala, dll. Hasil pembahasan sebelumnya telah menunjukkan bahwa hasil *free running model* menunjukkan nilai kemiripan dengan hasil simulasi numeris.

I.14. Pembahasan Jenis kemudi

Hasil dari pengujian *free running* untuk masing masing jenis kemudi dapat dilihat dibawah ini.

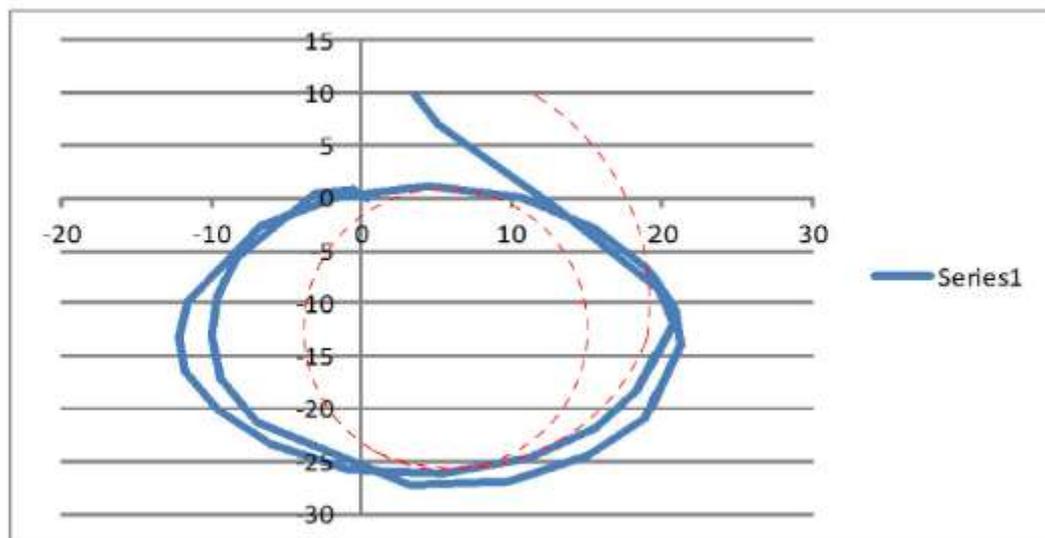
I.14.1. *Running Circle* hasil *Free Running*

Hasil performa menuvering kamudiberupa grafik running circle untuk ketiga jenis kemudi dapat dilihat pada Gambar 4.3, 4.4 dan 4.5 dibawah ini.



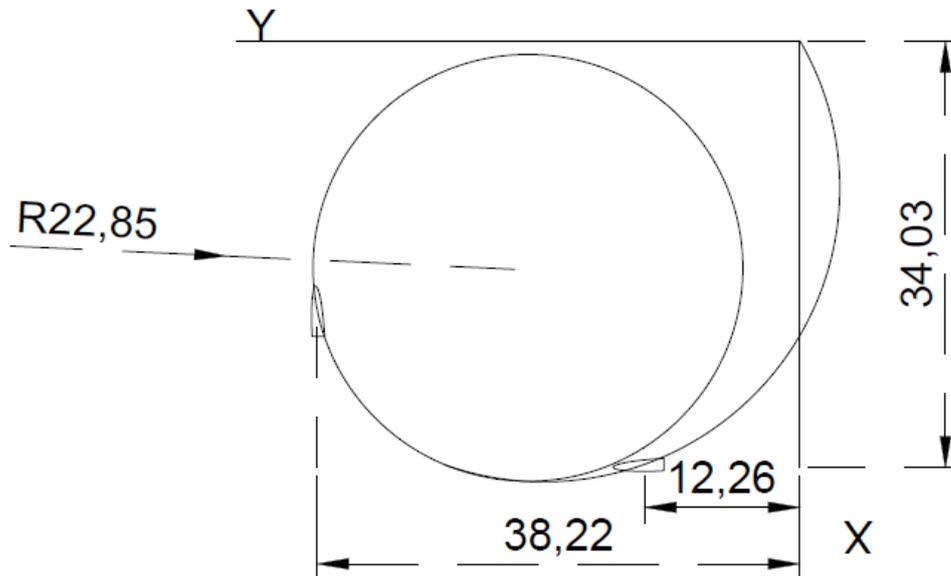
Gambar 4.3 *Turning Circle Free Running* Kemudi Konvensional/ Tipe A

KONVENSIONAL



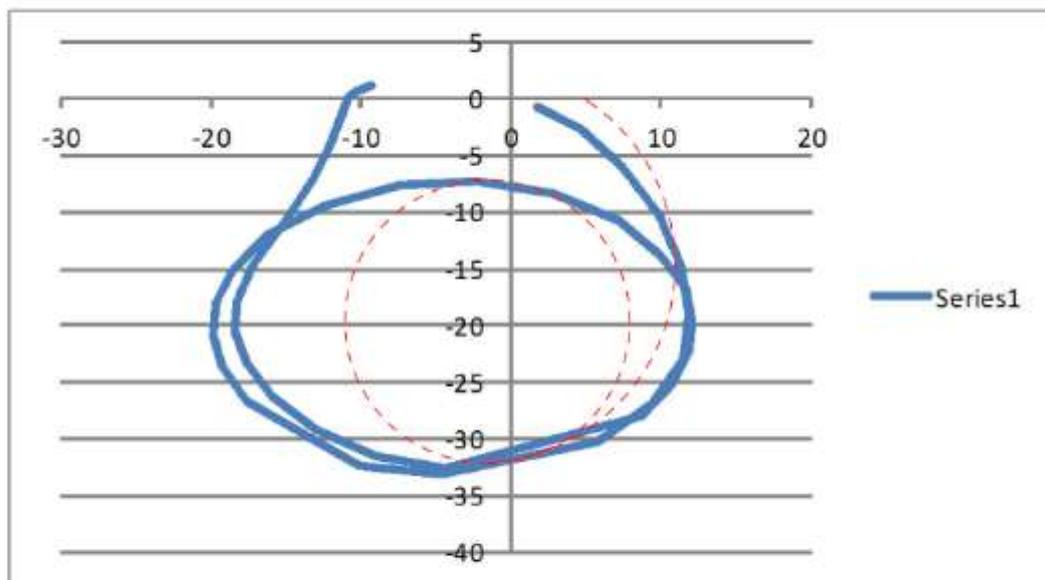
- Plot GPS
- Standart IMO

Gambar 4.4 Perbandingan hasil *Turning Circle Free Running* Kemudi Konvensional/ Tipe A antara hasil Plot GPS dengan Plot Standart IMO



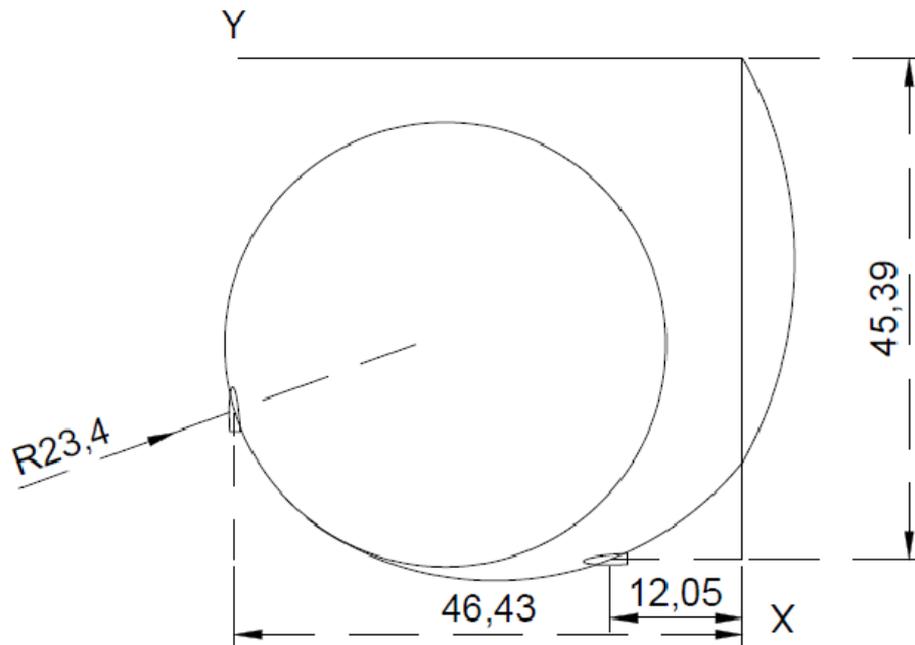
Gambar 4.5 *Turning Circle Free Running* Kemudi Tipe Ekor Ikan Forked (Tipe B)

FORKED



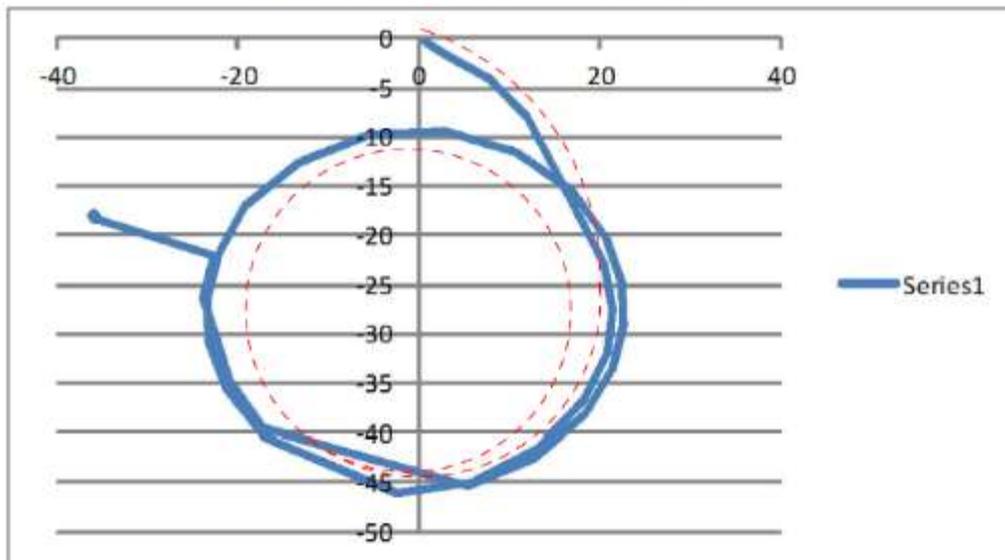
- Plot GPS
- Standart IMO

Gambar 4.6 Perbandingan hasil *Turning Circle Free Running* Kemudi *Forked/ Tipe B* antara hasil Plot GPS dengan Plot Standart IMO



Gambar 4.7 *Turning Circle Free Running* Kemudi Tipe Lancelotte (Tipe C)

LANCELOTTE



- Plot GPS
- Standart IMO

Gambar 4.8 Perbandingan hasil *Turning Circle Free Running* Kemudi *Lancelotte/ Tipe C* antara hasil Plot GPS dengan Plot Standart IMO

Dari Gambar 4.3 s/d 4.8 diatas, terlihat bahwa lintasa turning circle hasil free running dari ketiga kemudi diatas memiliki pola lintasan yang hampir sempurna berbentuk lingkaran. Bentuk lintasan terlihat tidak menguikuti lingkaran yang sempurna dibandingkan dengan hasil numeris, dikarenakan banyak faktor seperti yang disebutkan di tabel sebelumnya, mempengaruhi hasil free running test. Hal ini telah diprediksi sebelumnya oleh Bhattacharyya (1978).

I.14.2. Perbandingan Performa Manuvering Masing Masing Jenis Kemudi

Berdasarkan tabel dan gambar sebelumnya dapat dirangkum perbandingan performa manuver kemudi konvensional (Tipe A), Kemudi Ekor Ikan Forked (Tipe B) dan Kemudi Lancelotte (Tipe C) seperti terlihat pada tabel-tabel dibawah ini.

Perbandingan performa manuver dari free running model test antara kemudi konvensional/ Tipe A dengan Kemudi Ekor Ikan Forked/ Tipe B dapat dilihat pada tabel 4.9

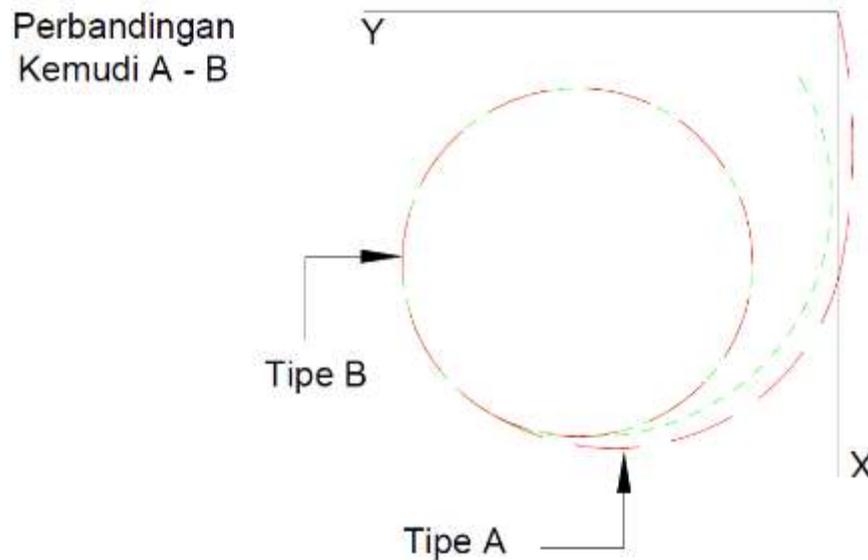
Tabel 4.9 Perbandingan Performa Manuver Hasil Free Running Model Test Kemudi Tipe A dengan Tipe B

Selisih Forked Terhadap Konvensional				
Parameter	Konvensional	Forked	Selisih B thd A	Keterangan B thd A
	(Tipe A)	(Tipe B)	%	
Advance (m)	8.392	6.806	-18.90%	Lebih kecil
Transverse (m)	2.754	2.452	-10.97%	Lebih kecil
Tactical Diameter (m)	8.198	7.644	-6.76%	Lebih kecil
Turning Diameter (m)	9.16	9.14	-0.22%	Lebih kecil

Dari tabel 4.9 diatas dapat dilihat bahwa nilai performa manuver untuk Kemudi Tipe Ekor Ikan *Forked* (tipe B) nilainya lebih kecil dibandingkan dengan kemudi konvensional (tipe A).

- Jarak advance pada kemudi B mempunyai nilai 6,806 meter, yang berarti 18,90% lebih kecil dibandingkan dengan kemudi A yang bernilai 8,392 meter.
- Tactical diameter kemudi B juga mempunyai nilai lebih kecil dengan selisih 6,76% lebih kecil dibanding kemudi A dengan nilai 7,644 meter untuk kemudi B dan 8,198 meter untuk kemudi tipe A.

- Jarak *transverse* pada kemudi Tipe B bernilai 2,452 meter, dengan selisih 10,97% lebih kecil dibanding kemudi Tipe A yang bernilai 2,754 meter.
- Turning diameter kemudi Ekor Ikan *Forked* (Tipe B) mempunyai nilai lebih kecil dibandingkan dengan kemudi konvensional (Tipe A), dengan selisih 0.22% dengan nilai 9,14 meter untuk kemudi B dan 9,16 untuk kemudi A.



Gambar 4.9 Perbandingan Kemudi Tipe A - Tipe B

Dari gambar diatas perbedaan kedua kemudi tidak begitu nampak kecuali pada 1 parameter, yaitu Jarak Advance. Pada Gambar 4.9 terlihat sekali bahwa titik mulai kapal dibandingkan dengan lintasan putar pada tiap kemudi berbeda. Pada kemudi Tipe B, jarak antara titik mulai dengan lintasan putar kapal sangat berdekatan. Sedangkan pada tipe A, lintasan putar memiliki jarak yang cukup jauh bila dibandingkan pada titik mulai kapal.

Dari pembahasan diatas terlihat bahwa untuk kecepatan kapal yang sama dan derajat kemudi yang sama, performa manuver kemudi tipe Ekor Ikan *Forked* (Tipe B) secara umum lebih bagus dibandingkan dengan kemudi tipe konvensional (Tipe A) dengan asumsi ke empat parameter lebih kecil.

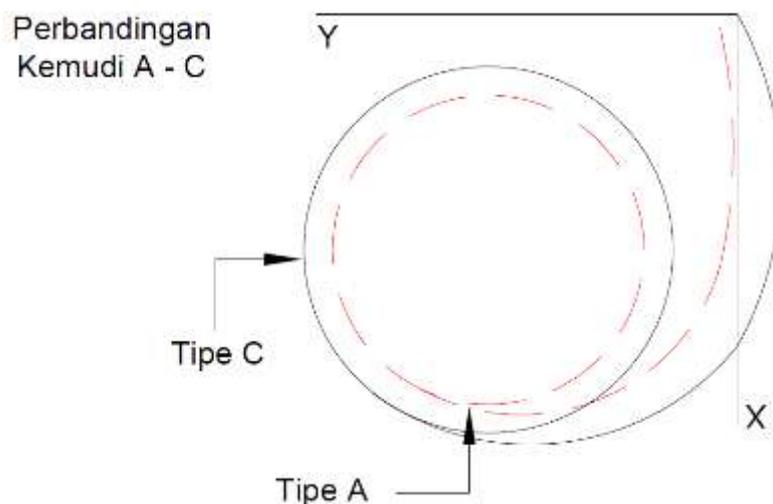
Perbandingan performa manuver dari *free running model test* antara kemudi konvensional/ Tipe A dengan Kemudi Tipe Lancelotte (tipe C) dapat dilihat pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Perbandingan Performa Manuver Hasil Free Running Model Test Kemudi Tipe A dengan Kemudi Tipe C

Selisih Lancelotte Terhadap Konvensional				
Parameter	Konvensional	Lancelotte	Selisih C thd A	Keterangan
	(Tipe A)	(Tipe C)	%	C thd A
Advance (m)	8.392	9.078	8.17%	Lebih besar
Transverse (m)	2.754	2.41	-12.49%	Lebih kecil
Tactical Diameter (m)	8.198	9.286	13.27%	Lebih besar
Turning Diameter (m)	9.16	9.298	1.51%	Lebih besar

Dari tabel 4.10 diatas terlihat bahwa performa manuver kemudi Tipe *Lancelotte* (Tipe C) mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kemudi konvensional (Tipe A) secara umum. Berikut ulasannya:

- Jarak advance pada kemudi C mempunyai nilai 9,078 meter, yang berarti 8,17% lebih besar dibandingkan dengan kemudi A yang bernilai 8,392 meter.
- Tactical diameter kemudi C juga mempunyai nilai lebih besar dengan selisih 13,27% lebih kecil dibanding kemudi A dengan nilai 9,286 meter untuk kemudi C dan 8,198 meter untuk kemudi tipe A.
- Jarak *transverse* pada kemudi Tipe C bernilai 2,41 meter, dengan selisih 12,49% lebih kecil dibanding kemudi Tipe A yang bernilai 2,754 meter.
- Turning diameter kemudi Ekor Ikan *Lancelotte* (Tipe C) mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dengan kemudi konvensional (Tipe A), dengan selisih 1,51% dengan nilai 9,298 meter untuk kemudi C dan 9,16 untuk kemudi A.



Gambar 4.10 Perbandingan Kemudi Tipe A - Tipe C

Dari gambar diatas terlihat bahwa:

- Turning diameter Tipe A lebih kecil dari Tipe C. Parameter ini terlihat dari perbedaan besar lintasan putar yang ada pada Gambar 4.10 diatas. Lintasan putar kemudi Tipe A terlihat kecil bila dibandingkan dengan Tipe C.
- Jarak Advance Tipe A lebih pendek dari Tipe C. Parameter ini dapat dilihat pada titik awal mulai kapal yang tidak berada pada satu titik. Pada kemudi Tipe A, titik awal mulai kapal terlihat sedikit mengambang bila dibandingkan pada Tipe C.

Semua parameter pada Kemudi *Lancelotte* (Tipe C) memiliki nilai lebih besar dibanding Kemudi Konvensional (Tipe A) kecuali untuk jarak *transfer* nilainya lebih kecil 12.49%. Sehingga dapat dinyatakan, bahwa kemudi tipe *Lancelotte* (Tipe C) mempunyai performa manuver lebih jelek dibandingkan dengan kemudi konvensional (tipe A) berdasarkan perbandingan parameter yang telah dibahas diatas.

Perbandingan performa manuver dari *free running model test* antara kemudi Tipe Ekor Ikan Forked (Tipe B) dengan Kemudi Tipe *Lancelotte* (tipe C) dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini.

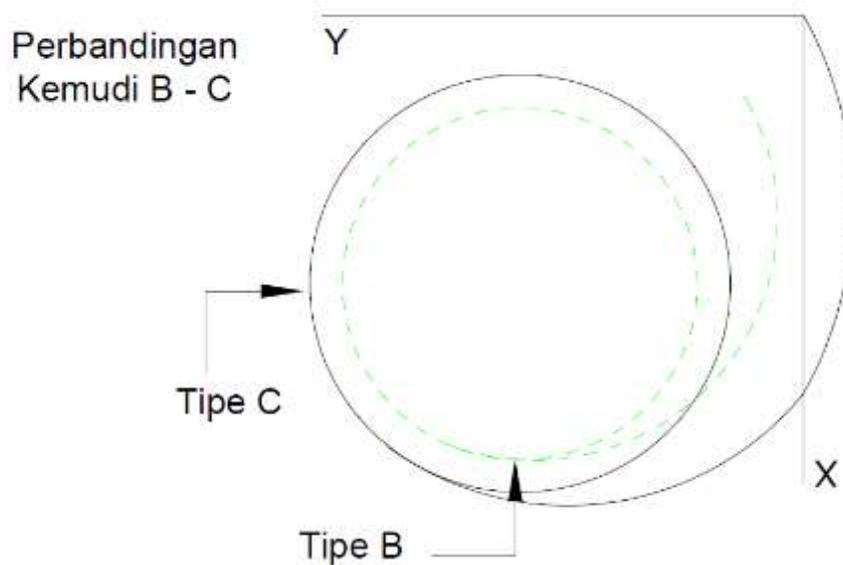
Tabel 4.11 Perbandingan Performa Manuver Hasil Free Running Model Test Kemudi Tipe B dengan Kemudi Tipe C

Selisih Forked Terhadap Lancelotte				
Parameter	Lancelotte (Tipe C)	Forked (Tipe B)	Selisih B thd C %	Keterangan B thd C
Advance (m)	9.078	6.806	-25.03%	Lebih kecil
Transverse (m)	2.41	2.452	1.74%	Lebih besar
Tactical Diameter (m)	9.286	7.644	-17.68%	Lebih kecil
Turning Diameter (m)	9.298	9.14	-1.70%	Lebih kecil

Dari tabel 4.11 diatas terlihat bahwa performa manuver kemudi Tipe *Lancelotte* (Tipe C) mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kemudi Tipe Ekor Ikan Forked (Tipe B) untuk semua parameter performa manuver kecuali parameter jarak transfer lebih kecil 1.74%.

- Jarak advance pada kemudi B mempunyai nilai 6,806 meter, yang berarti 25,03% lebih kecil dibandingkan dengan kemudi C yang bernilai 9,078 meter.

- Tactical diameter kemudi B juga mempunyai nilai lebih kecil dengan selisih 17,68% lebih kecil dibanding kemudi C dengan nilai 7,644 meter untuk kemudi B dan 9,286 meter untuk kemudi tipe C.
- Jarak *transverse* pada kemudi Tipe B bernilai 2,452 meter, dengan selisih 1,74% lebih besar dibanding kemudi Tipe C yang bernilai 2,41 meter.
- Turning diameter kemudi Ekor Ikan *Forked* (Tipe B) mempunyai nilai lebih kecil dibandingkan dengan Kemudi *Lancelotte* (Tipe C), dengan selisih 0.22% dengan nilai 9,14 meter untuk kemudi B dan 9,298 untuk kemudi C.



Gambar 4.11 Perbandingan Kemudi Tipe B - Tipe C

Dari gambar diatas terlihat bahwa:

- Turning diameter Tipe B lebih kecil dari Tipe C. Parameter ini dapat dilihat pada perbedaan besar radius diantara kedua kemudi.
- Jarak Advance Tipe B lebih pendek dari Tipe C. Parameter ini dapat dilihat pada titik awal mulai kapal yang tidak berada pada satu titik. Pada kemudi Tipe B, titik awal mulai kapal terlihat jauh sekali bila dibandingkan dengan Tipe C.

Pada keempat parameter diatas, dapat dilihat bahwa Kemudi Tipe B memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan Kemudi Tipe C, kecuali pada parameter *Jarak Transverse*. Sehingga dapat dinyatakan, bahwa kemudi tipe Lancelotte (Tipe C) mempunyai performa manuver lebih jelek dibandingkan dengan kemudi Tipe Ekor Ikan Forked (tipe B).

Dari tabel 4.10 dan 4.11 di atas terlihat bahwa kemudi tipe Lancelotte (Tipe C) mempunyai nilai jarak transfer terkecil dibanding dengan kemudi konvensional (tipe A) dan kemudi tipe Ekor Ikan Forked (Tipe B).

Dari hasil pembahasan di atas dapat dilihat bahwa kemudi tipe ekor ikan *forked* (Tipe B) mempunyai nilai parameter manuver lebih rendah untuk semua parameter dibandingkan dengan kemudi konvensional (Tipe A). Sedangkan dibandingkan dengan performa manuver Kemudi tipe *Lancelotte* (Tipe C) nilai parameter performa manuver untuk kemudi tipe Ekor Ikan Forked (Tipe B) semuanya juga lebih rendah kecuali untuk jarak *transfer*.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kemudi tipe ekor ikan *forked* (Tipe B) mempunyai performa manuver yang terbaik dibandingkan dengan tipe kemudi konvensional (Tipe A) dan kemudi tipe Lancelotte (Tipe C).

Mengacu pada “Mulyasari, Hardina. (2013). Analisis Penggunaan Flap pada Modifikasi Kemudi Menyerupai Bentuk Ekor Ikan Terhadap Maneuverability Kapal. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.” yang melakukan penelitian terkait pada ketiga kemudi di atas dengan pendekatan simulasi CFD, bahwa Kemudi Ikan Forked mempunyai performa yang lebih baik diantara ketiga kemudi. Adapun nilai kemudi tersebut pada parameter *Turning Diameter* adalah, Kemudi *Forked* (Tipe B) mempunyai nilai 3,59% lebih kecil dibanding Kemudi Konvensional (Tipe A), Kemudi *Lancelotte* (Tipe C) memiliki nilai 0,94% lebih besar dibanding kemudi Konvensional (Tipe A), dan Kemudi *Forked* (Tipe B) memiliki nilai 4,49% lebih kecil dibanding Kemudi *Lancelotte* (Tipe C). Dengan demikian dapat dibuktikan dalam dua penelitian bahwa Kemudi Forked (Tipe B) mempunyai performa yang lebih bagus dibandingkan dengan kedua kemudi yang lain.

LAMPIRAN

S U R S I M DATE : 4/2/2012
-----Time : 13:13:16

Version v99

Results of the ship Manoeuvr Simulation Program SURSIM
(Water depth = 300 m)

PROGRAM S U R S I M DATE: 4/2/2012 TIME: 13:13:16 PAGE: 1

Example ship 1
PC - SURSIM 99_1

INFORMA ABOUT TURNING CIRCLE MANOEUVRE:

Initial speed = 7.72 (m/s) = 15 (kn)
Rudder 1 angle = 30 (deg)
Point of 90 degrees Sim. time = 95 (s) :
Advance = 515.93 (m) = 3.44*LPP
Transfer = 223.91 (m) = 1.49*LPP
Point of 180 degrees Sim. time = 196.1 (s) :
Tactical diameter = 546.56 (m) = 3.64*LPP
End of simulation Sim. time = 350 (s) :
Final results at -301.9 degrees
Maximum rate of turn = -1.17 (deg/s)
Constant rate of turn = -0.78 (deg/s)
Final diameter = 431.97 (m) = 2.88*LPP
Final speed = 2.94 (m/s) = 5.71 (kn)
= 0.38 * init. speed
Drift angle in COG = 21.83 (deg)

PROGRAM S U R S I M DATE: 4/2/2012 TIME: 13:13:16 PAGE: 2

Example ship 1
PC - SURSIM 99_1

Time (s)	X-pos. (m)	Y-pos. (m)	Heading (deg)	X-speed (m/s)	Y-speed (m/s)	Yaw (deg/s)	rate
0	0	0	0	7.72	0	0	
5	38.57	0.06	-0.2	7.71	0.06	-0.12	
10	77.01	0.24	-1.44	7.66	0.23	-0.39	
15	115.07	0.18	-4.11	7.55	0.46	-0.66	
20	152.56	-0.8	-7.92	7.41	0.7	-0.85	
25	189.34	-3.29	-12.5	7.24	0.91	-0.97	
30	225.16	-7.68	-17.59	7.05	1.1	-1.06	
35	259.77	-14.2	-23.02	6.84	1.25	-1.11	
40	292.9	-22.94	-28.67	6.61	1.37	-1.14	
45	324.29	-33.87	-34.45	6.38	1.47	-1.16	
50	353.74	-46.89	-40.28	6.15	1.54	-1.17	
55	381.07	-61.84	-46.12	5.92	1.58	-1.17	
60	406.15	-78.52	-51.92	5.7	1.61	-1.15	
65	428.89	-96.69	-57.65	5.49	1.62	-1.14	
70	449.24	-116.12	-63.28	5.29	1.63	-1.12	
75	467.21	-136.56	-68.81	5.1	1.62	-1.1	
80	482.81	-157.76	-74.26	4.92	1.61	-1.08	
85	496.09	-179.52	-79.61	4.76	1.59	-1.06	
90	507.1	-201.63	-84.86	4.6	1.58	-1.04	
95	515.93	-223.91	-90	4.46	1.55	-1.02	
100	522.66	-246.2	-95.05	4.33	1.53	-1	
105	527.4	-268.34	-99.99	4.21	1.51	-0.98	
110	530.23	-290.21	-104.85	4.1	1.48	-0.96	
115	531.26	-311.69	-109.62	3.99	1.46	-0.95	
120	530.59	-332.67	-114.32	3.9	1.43	-0.93	
125	528.32	-353.06	-118.95	3.81	1.41	-0.92	
130	524.55	-372.8	-123.51	3.73	1.39	-0.91	
135	519.37	-391.79	-128.02	3.65	1.37	-0.9	
140	512.89	-409.99	-132.47	3.58	1.35	-0.89	
145	505.18	-427.33	-136.88	3.52	1.33	-0.88	
150	496.35	-443.76	-141.24	3.46	1.32	-0.87	
155	486.47	-459.24	-145.56	3.41	1.3	-0.86	
160	475.64	-473.74	-149.85	3.36	1.29	-0.85	
165	463.94	-487.21	-154.1	3.31	1.27	-0.85	
170	451.45	-499.63	-158.33	3.27	1.26	-0.84	
175	438.26	-510.97	-162.53	3.23	1.25	-0.84	
180	424.45	-521.21	-166.7	3.19	1.24	-0.83	
185	410.09	-530.33	-170.86	3.15	1.23	-0.83	
190	395.27	-538.32	-174.99	3.12	1.22	-0.82	
195	380.07	-545.17	-179.1	3.09	1.21	-0.82	

PROGRAM S U R S I M DATE: 4/2/2012

Example ship 1
PC - SURSIM 99_1

Rudder angles
Time Rudder 1
(s) (deg)

0	0
5	13.5
10	27
15	29.97
20	30
25	30
30	30
35	30
40	30
45	30
50	30
55	30
60	30
65	30
70	30
75	30
80	30
85	30
90	30
95	30
100	30
105	30
110	30
115	30
120	30
125	30
130	30
135	30
140	30
145	30
150	30
155	30
160	30
165	30
170	30
175	30
180	30
185	30
190	30
195	30

PROGRAM SURSIM DATE: 4/2/2012

Example ship 1
PC - SURSIM 99_1

Rudder angles
Time Rudder 1
(s) (deg)

200	30
205	30
210	30
215	30
220	30
225	30
230	30
235	30
240	30
245	30
250	30
255	30
260	30
265	30
270	30
275	30
280	30
285	30
290	30
295	30
300	30
305	30
310	30
315	30
320	30
325	30
330	30
335	30
340	30
345	30
350	30

PROGRAM S U R S I M DATE: 4/2/2012

Example ship 1
 PC - SURSIM 99_1

Propeller Time (s)	settings RPM (1/min)	(-)	1 P/D (kW)	1 Power (kNm)	1 Torque	1
0	77		0.73 10524.22	1305.18		
5	77		0.73 10523.9	1305.14		
10	77		0.73 10439.8	1294.71		
15	77		0.73 10211.82	1266.44		
20	77		0.73 9956.46	1234.77		
25	77		0.73 9769.3	1211.56		
30	77		0.73 9686.48	1201.29		
35	77		0.73 9702.49	1203.27		
40	77		0.73 9810.97	1216.73		
45	77		0.73 9994.52	1239.49		
50	77		0.73 10234.69	1269.27		
55	77		0.73 10515.82	1304.14		
60	76.29		0.73 10415.9	1303.76		
65	75.53		0.73 10297.71	1302.03		
70	75.14		0.73 10388.36	1320.28		
75	74.37		0.73 10253.71	1316.64		
80	73.6		0.73 10109.63	1311.65		
85	72.82		0.73 9945.25	1304.23		
90	72.1		0.73 9803.51	1298.45		
95	71.71		0.73 9815.55	1307.12		
100	71.24		0.73 9768.93	1309.52		
105	70.5		0.73 9572.74	1296.55		
110	70.47		0.73 9711.65	1316.05		
115	69.69		0.73 9466.55	1297.11		
120	69.68		0.73 9585.25	1313.64		
125	69.06		0.73 9396.97	1299.29		
130	68.9		0.73 9417.66	1305.22		
135	68.82		0.73 9468.37	1313.82		
140	68.35		0.73 9324.62	1302.74		
145	68.46		0.73 9447.09	1317.8		
150	68.08		0.73 9331.31	1308.96		
155	68.1		0.73 9401.1	1318.27		
160	67.82		0.73 9320.8	1312.46		
165	67.81		0.73 9367.06	1319.03		
170	67.53		0.73 9277.33	1311.93		
175	67.53		0.73 9316.22	1317.47		
180	67.24		0.73 9222.13	1309.62		
185	67.24		0.73 9251.88	1314.01		
190	67.24		0.73 9282.26	1318.33		
195	66.95		0.73 9180.77	1309.41		

University of Michigan
Department of Naval Architecture and Marine Engineering

Maneuvering Prediction Program (MPP-1.3) by M.G. Parsons

References: Clarke, D., Gedling, P., and Hine, G.,
"The Application of Manoeuvring Criteria in Hull
Design using Linear Theory," Trans. RINA, 1983
Lyster, C., and Knights, H. L.,
"Prediction Equations for Ships" Turning Circles,"
Trans. NECIES, 1978-1979

Run Identification:

Input Verification:

Length of Waterline LWL (m)	=	99.00
Maximum Beam on LWL (m)	=	14.00
Mean Draft (m)	=	3.70
Draft Forward (m)	=	3.70
Draft Aft (m)	=	3.70
Block Coefficient on LWL CB	=	0.4960
Molded Volume (m ³)	=	2543.59
Center of Gravity LCG (%LWL; + Fwd)	=	-4.6600
Center of Gravity LCG (m from FP)	=	54.11
Midships to Rudder CE XR (%LWL; + Aft)	=	49.0000
Rudder Center of Effort XR (m from FP)	=	98.01
Initial Ship Speed (knots)	=	12.00
Initial Ship Speed (m/s)	=	6.1733
Water Type	=	Salt@15C
Water Density (kg/m ³)	=	1025.87
Kinematic Viscosity (m ² /s)	=	0.118831E-05
Yaw Radius of Gyration K33/LWL	=	0.2900
Water Depth to Ship Draft Ratio H/T	=	1000.00
Steering Gear Time Constant (s)	=	2.50
Total Rudder Area - Fraction of LWL*T	=	0.0150
Number of Propellers	=	2
Number of Rudders	=	2
Submerged Bow Area - Fraction of LWL*T	=	0.0000

University of Michigan
 Department of Naval Architecture and Marine Engineering
 Maneuvering Prediction Program (MPP-1.3) by M.G. Parsons

*** Linear Maneuvering Criteria Option ***

Reference: Clarke, D., Gedling, P., and Hine, G.,
 "The Application of Manoeuvring Criteria in Hull
 Design using Linear Theory," Trans. RINA, 1983

Run Identification:

Linear Maneuvering Derivatives

Nondimensional Mass	M prime	=	0.005243
Nondimensional Mass Moment	I sub zz	=	0.000441
Sway Velocity Derivative	Y sub v	=	-0.008187
Sway Acceleration Derivative	Y sub v dot	=	-0.005258
Yaw Velocity Derivative	N sub v	=	-0.002340
Yaw Acceleration Derivative	N sub v dot	=	-0.000002
Sway Velocity Derivative	Y sub r	=	0.002404
Sway Acceleration Derivative	Y sub r dot	=	-0.000208
Yaw Velocity Derivative	N sub r	=	-0.001518
Yaw Acceleration Derivative	N sub r dot	=	-0.000301
Sway Rudder Derivative	Y sub delta	=	0.001682
Yaw Rudder Derivative	N sub delta	=	-0.000824

Time Constants and Gains for Nomoto's Equation

Dominant Ship Time Constant	T1 prime	=	4.9242
Ship Time Constant	T2 prime	=	0.4174
Numerator Time Constant	T3 prime	=	0.7719
Numerator Time Constant	T4 prime	=	0.2718
1st Order Egn. Time Constant	T prime	=	4.5697
Rudder Gain Factor	K prime	=	-2.8217
Rudder Gain Factor	K sub v prime	=	1.1837
Steering Gear Time Constant	TE prime	=	0.1559

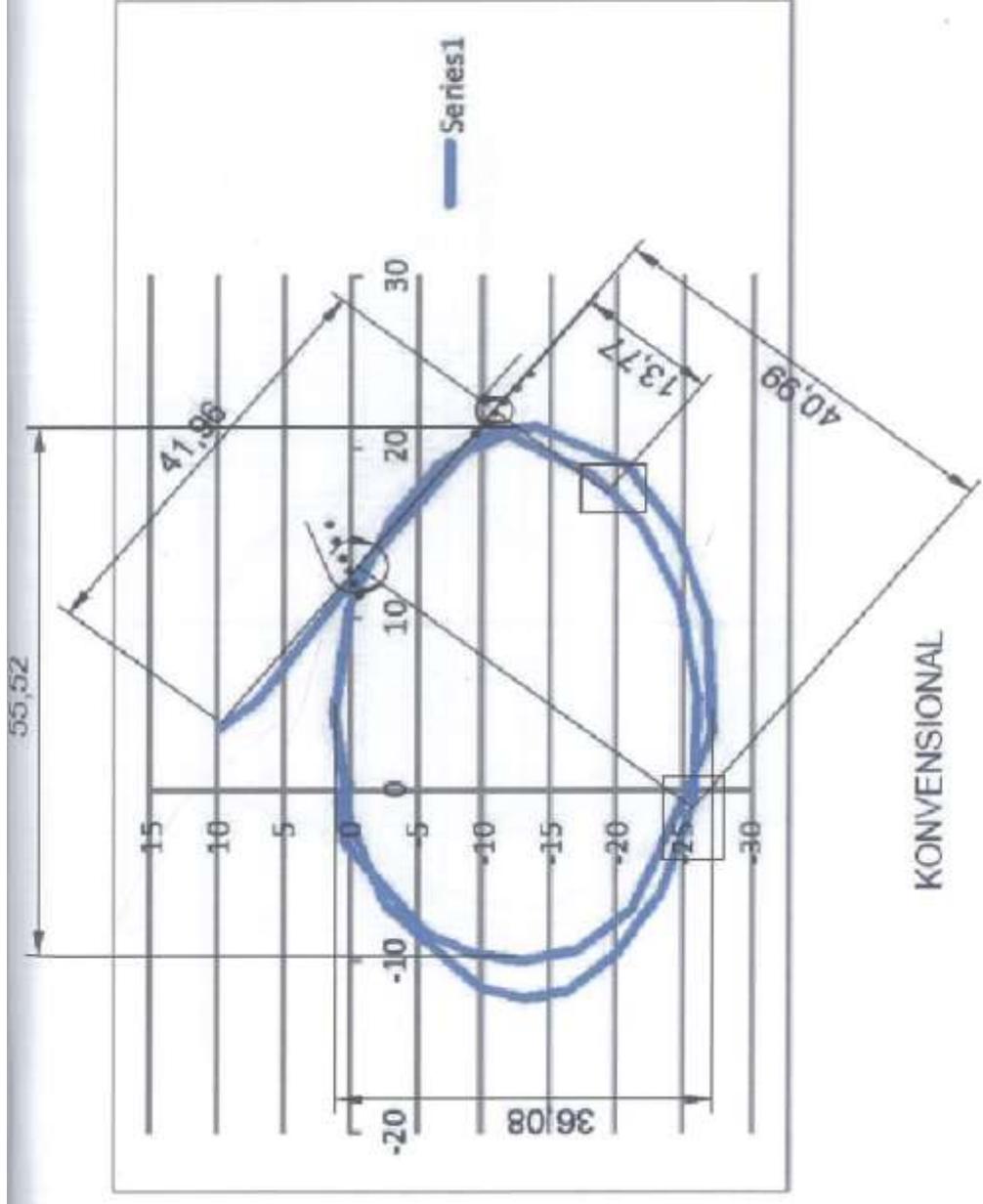
Evaluation of Turning Ability and Stability

Inverse Time Constant	$1/ T \text{ prime} $	=	0.2188
Inverse Gain Factor	$1/ K \text{ prime} $	=	0.3544
Clarke's Turning Index	P	=	0.3847
Linear Dynamic Stability Criterion	C	=	0.0000038

Vessel is hydrodynamically open loop course stable

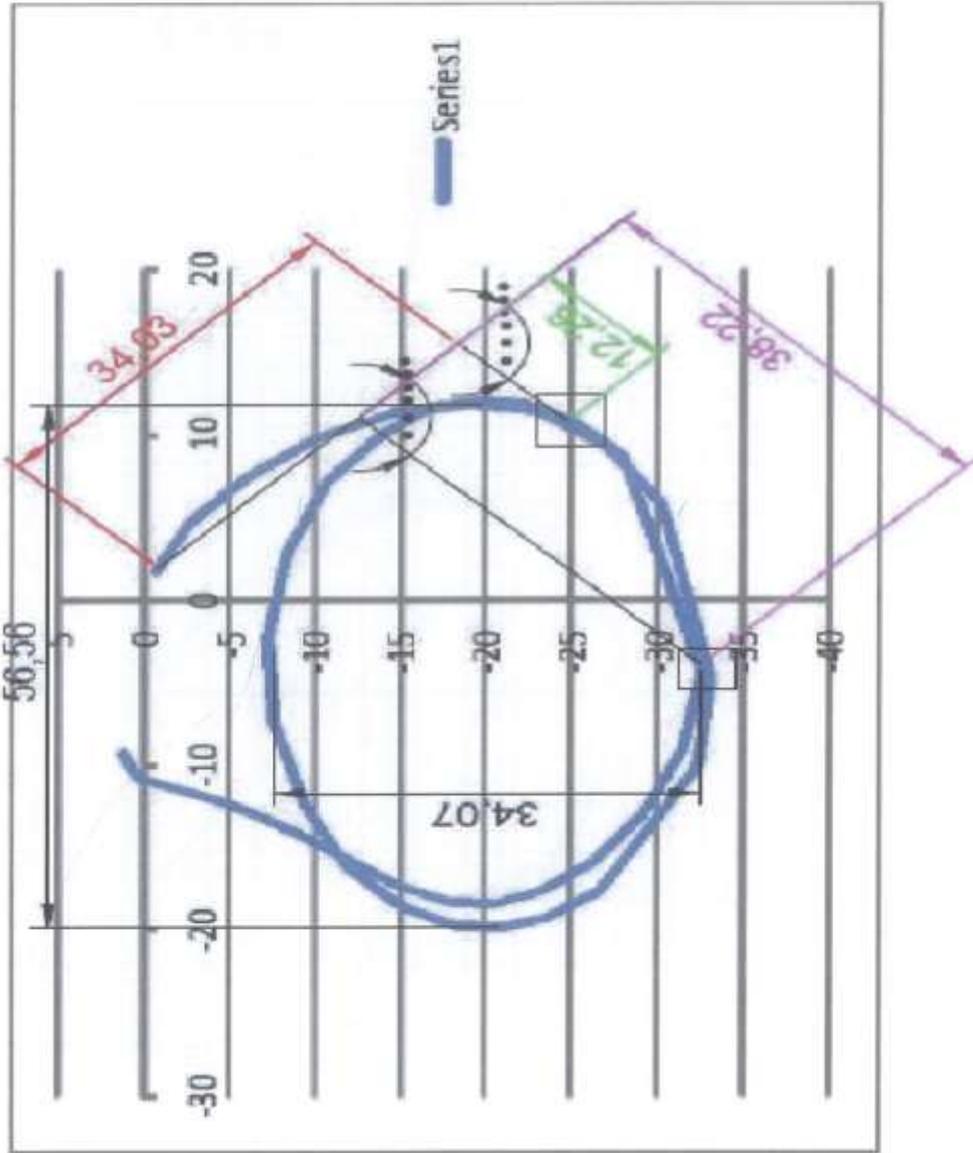
Closed Loop Phase Margin with Steering Engine = 20.6519 degrees

ADVAN 41.96
TRANSFER 13.77
TAC DIAM 40.99
TURN DIAM 45.8

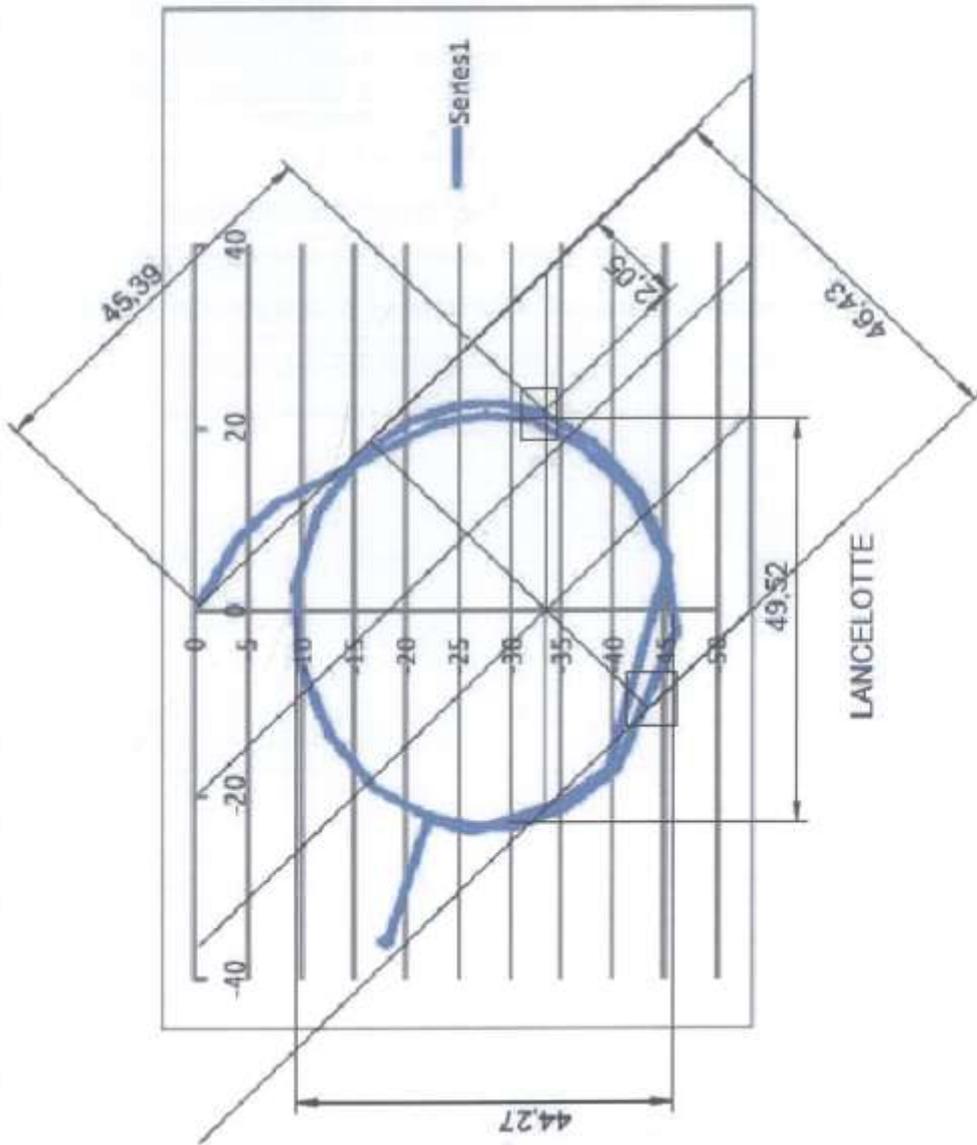


KONVENSIONAL

ADVAN 34.03
TRANSF 16.26
TAC DIAM 38.22
TURN DIAM 45.7



advan 45.39
transfer 12.05
tac diameter 46.43
turn diameter 46.9



BAB V

KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan simulasi numeris dan *free running model* untuk ketiga tipe model kemudi dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Prosedur pengujian model kemudi yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini sudah memenuhi persyaratan untuk melakukan pengujian *free running test* di kolam terbuka. Perbedaan hasil pengujian *free running test* dibandingkan dengan simulasi numeris yang menggunakan software SURSIM dan MPP-1.3 mempunyai nilai lebih kecil untuk semua parameter. Kondisi lokasi pengujian merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan perbedaan tersebut.
- Model *Free Running Test* yang telah dilakukan dengan metode GPS dalam pengujian model ini telah membuktikan dapat memberikan hasil performa maneuver kapal untuk *turning circle test* yang cukup bagus.
- Performa manuver kemudi tipe Ekor Ikan *Forked* (Tipe B) secara umum lebih bagus dibandingkan dengan kemudi konvensional (tipe A) dan kemudi tipe *Lancelotte* (tipe C), yakni dengan nilai lebih kecil. Kecuali untuk jarak *transfer* nilai kemudi tipe *Lancelotte* (Tipe C) lebih rendah dibanding dengan kemudi tipe Ekor Ikan *Forked* (Tipe B), walaupun selisihnya sangat kecil 1.74%.
- Desain kemudi tipe *Lancelotte* (Tipe C) terbukti memiliki performa maneuver yang paling buruk dari jenis kemudi tipe A dan B. Karena nilai parameter performa maneuver semuanya paling besar dari ketiga tipe kemudi tersebut. Akan tetapi kemudi tipe *Lancelotte* (Tipe C) mempunyai nilai jarak *transfer* terkecil dibanding dengan kemudi konvensional (tipe A) dan kemudi tipe Ekor Ikan *Forked* (Tipe B).

DAFTAR PUSTAKA

- Abkowitz, Martin A. (1998). *Stability and Control of ocean Vehicle*. MIT Press. Cambridge.
- Barnaby, Kenneth C. (1969). *Basic Naval Architechture*. Hutchinson Scientific and Technical. London.
- Bhattacharyya, Rameswar. (1978). *Dynamics of marine vehicles*. Jhon wiley & sons. New York.
- Lewis, Edward V. (1989). *Principles of Naval Architecture Second Revision. Volume III, Motions in waves and Controllability*. The Society of Naval Architecture and Marine Engineers. Jersey City.
- Heriseputra, Rizky. (2010). TA. *Pengembangan Metodologi Open Free Running Model Test pada Pengujian Prototipe Kemudi Ber-tail Flap*. Teknik Perkapalan. Instittut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Journee, J.M.J, and Pinkster, Jacob. (2002). *Introduction in Ship Hydromechanics*. Delft University of Technology.
- Mainal, Mohd. Ramzan, and Kamil, Mohd. Salim. (1996). *Estimation Of Ship Manoeuvring Characteristics In The Conceptual Design Stage*, Jurnal Mekanikal, Jilid I, UTM Malaysia.
- Quadvlieg, F.H.H.A. and van Coevorden, P. (2003). *Manoeuvring Criteria: More Than IMO A751 Requirements Alone*. MARIN. Netherlands
- Zaojian, Zou. (2006). *Ship Manouvering and Seakeeping*. Jiao Tong University. Shanghai.
- Mulyasari, Hardina. (2013). TA. *Analisis Penggunaan Flap pada Modifikasi Kemudi Menyerupai Bentuk Ekor Ikan Terhadap Maneuverability Kapal*. Teknik Perkapalan. Instittut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

BIODATA PENULIS



Dilahirkan di Kediri pada 23 Maret 1990, Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar mulai playgroup di Kediri kemudian SD Kalisari II Surabaya, SMP I Surabaya dan SMA V Surabaya. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2008 melalui jalur PMDK Undangan.

Di Jurusan Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal dan banyak terlibat dalam kegiatan-kegiatan Tridharma Perguruan Tinggi yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. Selama masa studi di ITS, selain aktif berkegiatan di berbagai Unit Kegiatan Mahasiswa dan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan (Himatekpal), Penulis juga mempunyai banyak kegiatan di luar kampus yang berhubungan dengan kegiatan sosial dan kemanusiaan.

Email: delftianto@gmail.com