

**KOEFISIEN HIDRODINAMIKA *MANUEVERING* KAPAL
KATAMARAN TIPE ASIMETRIK DENGAN CFD**

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



MUHAMMAD YASIR

D091171001

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2022

**KOEFISIEN HIDRODINAMIKA *MANUEVERING* KAPAL
KATAMARAN TIPE ASIMETRIK DENGAN CFD**

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



MUHAMMAD YASIR

D091171001

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

KOEFISIEN HIDRODINAMIKA *MANUEVERING* KAPAL KATAMARAN TIPE ASIMETRIK DENGAN CFD

Disusun dan diajukan oleh:


MUHAMMAD YASIR
D091171001


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 16 Agustus 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

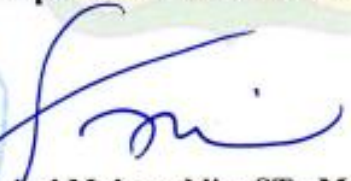
Pembimbing Pendamping,


Andi Haris Muhammad, ST., MT., Ph.D
NIP. 106904042000031002


Muhammad Iqbal Nikmatullah, ST., MT.
NIP.198701312019031007

Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan,




Dr. Eng Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng
NIP. 198102112005011003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Yasir

NIM : D091171001

Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul:

Koefisien Hidrodinamika Manuevering Kapal Katamaran Tipe Asimetrik
Dengan CFD

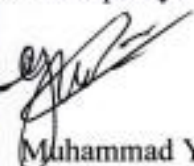
Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 19 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,




Muhammad Yasir

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmat kesehatan jasmani serta rohani yang diberikan kepada penulis. Shalawat serta salam kita kirimkan kepada Baginda Rasulullah Muhammad SAW, sahabat, keluarga, dan para pengikutnya. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Dalam proses penyusunan sampai dengan terselesaikannya skripsi yang berjudul **“Koefisien Hidrodinamika Manuevering Kapal Katamaran Tipe Asimetrik dengan CFD”** penulis sangat terbantu oleh banyak pihak, maka dari itu dengan segala kerendahan hati penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Ayahanda Abd. Salam dan Ibunda Syamsuryati serta keluarga yang senantiasa mengirimkan doa, motivasi, dukungan materi dan segala hal yang bisa mereka berikan untuk keberlangsungan perkuliahan.
2. Bapak Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D selaku Pembimbing Utama dan Ketua Laboratorium Propulsi Kapal yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan pengarahan, bimbingan, motivasi mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Muh. Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan pengarahan, bimbingan, motivasi mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
4. Bapak Prof Daeng Paroka, S.T., M.T., Ph.D dan bapak Rahimuddin S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam proses penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Ir. Syerly Klara, M.T, selaku dosen penasehat akademik yang telah membimbing dan memberikan motivasi selama proses perkuliahan.

6. Bapak Dr. Eng Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf., Tech., M,Eng. selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan
7. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
8. Staff Tata Usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan, yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Wafi, ST yang membantu penulis dalam proses pemodelan hingga proses simulasi
10. Kanda Fuad Mahfud S, S.T., M.T yang telah memberikan masukan dan saran terkait proses simulasi di Ansys untuk penelitian ini
11. Teman-teman dan kanda-kanda senior di laboratoium sistem propulsi kapal yang telah menjadi teman diskusi dan telah memberikan masukan selama penelitian serta kenangannya.
12. Teman-teman MIDSHIP angkatan 2017 Teknik sistem perkapalan atas segala kenangan yang tak terlupakan selama masa perkuliahan.
13. Zodara-zodara PERIZCOPE 2017 dan Teknik 2017
14. Kanda-kanda zenior dan adik-adik yang telah memacu saya sampai akhir dalam masa studi ini.
15. Teman-teman masa sekolah yang masih kebersamai hingga akhir studi ini.
16. Seluruh pihak yang telah membantu penulis.

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini tentu saja banyak kesalahan yang merupakan hal yang tak dapat terelakkan. Oleh karena itu saya memohon maaf dan meminta saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir selanjutnya.

Makassar, 19 Agustus 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT	xii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Katamaran.....	5
2.1.1. Kelebihan Katamaran	5
2.1.2 Tipe Katamaran	5
2.2 Manuver Kapal	6
2.2.1 Kriteria Maneuverabilitas	7
2.2.2 Persamaan Gaya Gerak Manuver	10
2.2.3 Gaya dan Momen yang Ditimbulkan Lambung	11
2.3 Tahanan Kapal	12
2.4 Konsep <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD).....	13
2.5 Simulasi <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD).....	18
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	22
3.2 Jenis Data.....	22
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	22

3.4	Prosedur Penelitian	24
3.5	Diagram Alir	26
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Gambaran Umum.....	27
4.2	Tahap Pemodelan.....	28
4.3	Tahap Simulasi	29
4.3.1	Simulasi CFD untuk Gaya dan Momen berdasarkan <i>Drift Test</i>	29
4.3.2	Simulasi CFD untuk Gaya dan Momen berdasarkan <i>Turning Circle</i> ...	33
4.4	Validasi <i>setup</i>	38
4.5	Hasil Simulasi CFD dan Pembahasan	39
4.5.1	Surge Force, Swaying Force, dan Yaw Moment Hydrodynamic dengan simulasi <i>Drift test</i>	39
4.5.2	<i>Surge Force, Swaying Force, dan Moment Hydrodynamic</i> dengan Simulasi <i>Turning Circle</i>	47
4.5.3	Koefisien Hidrodinamika Manuevering berdasarkan <i>drift test</i> dan <i>turning circle</i>	53
BAB 5. PENUTUP		56
5.1	Kesimpulan.....	56
5.2	Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA		58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tipe Katamaran	6
Gambar 2. 2 <i>Turning Ability</i>	8
Gambar 2. 3 Zig-zag Manuver parameter	9
Gambar 2.4 Sistem Koordinat Kapal	10
Gambar 3. 1 <i>Body Plan</i>	23
Gambar 3. 2 <i>Result Ansys CFX R18.1</i>	25
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 4. 1 Model Katamaran tipe asimetrik	28
Gambar 4. 2 Simulasi CFX Ansys R18.1	29
Gambar 4. 3 <i>Boundary Condition</i>	30
Gambar 4. 4 Contoh hasil meshing pada lambung kapal	31
Gambar 4. 5 Visualisasi aliran pada tahap <i>result</i>	33
Gambar 4. 6 Geometry kondisi <i>turning</i>	33
Gambar 4. 7 <i>Boundary Condition</i> kondisi <i>turning</i>	35
Gambar 4. 8 <i>Meshing</i> kondisi <i>turning</i>	36
Gambar 4. 9 Hasil visualisasi aliran pada Ansys CFX R18.1	38
Gambar 4. 10 Grafik Surge Force berdasarkan drift Model A	40
Gambar 4. 11 Grafik sway force berdasarkan drift Model A	41
Gambar 4. 12 Grafik yaw moment berdasarkan drift Model A	41
Gambar 4. 13 Grafik Surge Force berdasarkan drift Model B	42
Gambar 4. 14 Grafik sway force berdasarkan drift Model B	43
Gambar 4. 15 Grafik yaw moment berdasarkan drift Model B	44
Gambar 4. 16 Grafik Surge Force berdasarkan drift Model C	45
Gambar 4. 17 Grafik sway force berdasarkan drift Model C	45
Gambar 4. 18 Grafik yaw moment berdasarkan drift Model C	46
Gambar 4. 19 Grafik surge force berdasarkan turning circle Model A	47
Gambar 4. 20 Grafik sway force berdasarkan turning circle Model A	48
Gambar 4. 21 Grafik yaw moment berdasarkan turning circle Model A	48
Gambar 4. 22 Grafik surge force berdasarkan turning circle Model B	49
Gambar 4. 23 Grafik sway force berdasarkan turning circle Model B	50

Gambar 4. 24 Grafik yaw moment berdasarkan turning circle Model B.....	51
Gambar 4. 25 Grafik surge force berdasarkan turning circle Model C.....	52
Gambar 4. 26 Grafik sway force berdasarkan turning circle Model C	52
Gambar 4. 27 Grafik yaw moment berdasarkan turning circle Model C.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Ukuran Utama	23
Tabel 4. 1 Koreksi ukuran utama	28
Tabel 4. 2 Kondisi Fisik dan Aliran pada domain fluida stationer	31
Tabel 4. 3 Kondisi domain kapal	32
Tabel 4. 4 Kondisi Fisik dan Aliran pada domain fluida	36
Tabel 4. 5 Kondisi domain kapal	37
Tabel 4. 6 Validasi untuk nilai x^o	38
Tabel 4. 7 Estimasi Koefisien Hidrodinamika Manuvering.....	54

KOEFISIEN HIDRODINAMIKA MANUEVERING KAPAL KATAMARAN TIPE ASIMETRIK DENGAN CFD

Muhammad Yasir ¹⁾

Andi Haris Muhammad, ST., MT., Ph.D. ²⁾

Muhammad Iqbal Nikmatullah, ST., MT. ²⁾

¹⁾ Mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

²⁾ Dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

Email: muhyasir775@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menjelaskan mengenai estimasi koefisien hidrodinamika manuevering untuk kapal katamaran tipe asimetrik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi numerik menggunakan *software* Ansys CFX R18.1 dengan simulasi *drift test* dan *turning circle*. Simulasi menggunakan tiga jenis model dengan perbedaan jarak antar lambung katamaran. Koefisien tersebut didapatkan dari gaya dan momen yang berasal dari *result* CFX R18.1. Koefisien tersebut diturunkan berdasarkan perhitungan non dimensional *surge force*, *sway force*, dan *yaw moment hydrodynamic*. Hasil penelitian menunjukkan koefisien hidrodinamika yang didapatkan meliputi, X'_{vv} , Y'_{v} , Y'_{vvv} , N'_{v} , N'_{vvv} , X'_{rr} , Y'_{r} , Y'_{rrr} , N'_{r} , dan N'_{rrr} . Rata-rata perbedaan nilai koefisien hidrodinamika manuevering dari simulasi CFD dan pengujian model sebesar -0,58% untuk kondisi *drift test* dan -0,59% untuk *turning circle*. Koefisien hidrodinamika manuevering katamaran tipe asimetrik bukan hanya berpengaruh dengan jarak antar lambung katamaran tetapi dapat berpengaruh pada sudut *drift test* dan jarak *turning circle*.

Kata kunci: Katamaran, Koefisien Hidrodinamika, Manuevering, CFD

COEFFICIENT OF HYDRODYNAMIC IN MANEUVERING OF CATAMARAN ASYMMETRIC TYPE WITH CFD

Muhammad Yasir ¹⁾

Andi Haris Muhammad, ST., MT., Ph.D. ¹⁾

Muhammad Iqbal Nikmatullah, ST., MT. ¹⁾

¹⁾ Student of Marine Engineering Departement FT-UH

²⁾ Lecturer of Marine Engineering Departement FT-UH

Email: muhyasir775@gmail.com

ABSTRACT

This aim of this study is to describes the number of the hydrodynamic coefficient of maneuvering for asymmetric catamarans. The method that used in this research is numerical simulation by Ansys CFX R18.1 software, with simulation of drift test and turning circle. The simulation uses three types of models with different distances between the catamaran hulls. These coefficients are obtained from the forces and moments derived from the result of CFX R18.1. The coefficient is derived based on the calculation of non-dimensional surge force, sway force, and hydrodynamic yaw moment. The results showed that the hydrodynamic coefficients obtained and include X'_{vv} , Y'_{v} , Y'_{vvv} , N'_{v} , N'_{vvv} , X'_{rr} , Y'_{r} , Y'_{rrr} , N'_{r} , and N'_{rrr} . The average difference in the value of the maneuvering hydrodynamic coefficient from the CFD simulation and model testing is -0.58% for drift test conditions and - 0.59% for turning circles. The result of the research shows asymmetric type catamaran maneuvering hydrodynamic coefficient not only affects the distance between the catamaran hulls but can affect the drift test angle and turning circle distance.

Keywords: Catamaran, Hydrodynamic Coefficient, Manuevering, CFD

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap kapal yang berlayar akan mengalami oleh gerak kapal salah satunya adalah *maneuverability*. *Maneuverability* adalah kemampuan kapal untuk berbelok dan berputar saat berlayar. Sehingga performa *maneuverability* kapal harus didesain sejak tahap perancangan agar memenuhi persyaratan yang ada. Perancangan dari suatu *maneuverability* kapal sangat penting dikarenakan berhubungan dengan keselamatan kapal yang berlayar di laut, terutama di daerah pelayaran sempit [1].

Dengan memperhatikan aspek tersebut sehingga diperlukan pengujian. Pengujian tersebut diantaranya adalah pengujian kecepatan kapal dan pengujian olah gerak kapal yang disebut *maneuverabilitas* kapal. *Maneuverabilitas* merupakan hal yang sangat penting untuk memastikan kapal dapat beroperasi dengan aman dan dalam kondisi yang baik pula [2].

Karakteristik manuver kapal sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor eksternal atau faktor lingkungan seperti, angin, arus laut, kedalaman air, dan lain sebagainya sedangkan faktor internal seperti kondisi muatan kapal, mesin penggerak, dan desain kemudi [3].

Analisa manuvering kapal tidak hanya dilakukan pada kapal *monohull* tetapi dapat dilakukan pada kapal *demihull*. Salah satu jenis kapal *demihull* tersebut adalah katamaran. Penggunaan kapal katamaran juga meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini sangat penting terutama dalam peningkatan efisiensi hidrodinamika lambung kapal, efisiensi penggunaan daya serta kemampuan kapal beroperasi dalam gelombang [4].

Dalam perjalanannya banyak negara di Asia seperti halnya Indonesia, Cina dan Jepang, menggunakan tipe katamaran. Kapal tipe ini telah digunakan sebagai moda transportasi antar pulau sebagai kapal penyebrangan. Dengan desain geladak yang relatif luas dan biaya operasi yang rendah, kapal katamaran dapat dirancang sedemikian rupa sehingga menghasilkan kecepatan yang diperlukan dengan penggunaan daya mesin penggerak yang optimal.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kemampuan operasi kapal katamaran. Salah satu upaya adalah dengan melakukan kajian sejumlah parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik kapal, seperti halnya kecepatan, bentuk lambung (simetris dan asimetris), jarak rentang antar lambung katamaran, pengaruh kedalaman dan lebar perairan operasi kapal serta pemasangan *bulbous bow*.

Kapal katamaran memiliki sejumlah keuntungan dibandingkan kapal lambung tunggal diantaranya adalah kapal katamaran memiliki volume kapal bagian dalam yang besar, daerah bagian geladak yang luas, memiliki stabilitas *transversal* yang baik. Untuk mengurangi tahanan dan meningkatkan kualitas *seakeeping* kapal dapat dilakukan dengan mengoptimalkan jarak rentang antar lambung katamaran [5][6].

Selain katamaran dengan lambung simetrik saat ini telah pula dikembangkan katamaran dengan lambung asimetrik. Sebelumnya telah dilakukan kajian secara numerik dan eksperimen pengaruh bentuk lambung asimetrik terhadap pengurangan tahanan kapal dan peningkatan kualitas pergerakan kapal pada gelombang (*seakeeping*). Pada kecepatan rendah, kapal katamaran dengan lambung asimetrik menghasilkan *wake wash* yang rendah [7]. Dengan kualitas gelombang yang dihasilkan lebih kecil, hal tersebut dapat mengurangi terjadinya bahaya erosi pada daerah perairan dimana kapal tersebut dioperasikan. Sedangkan untuk kajian manuver jenis kapal katamaran asimetrik masih sangat kurang. Sebelumnya telah dilakukan secara numerik untuk gerak lurus kapal menggunakan *computational fluid dynamic* [8].

Bukan hanya gerak lurus yang dapat disimulasikan melalui simulasi numerik atau CFD tetapi gerak manuver sebuah kapal juga dapat disimulasikan. Gerak manuver sebuah kapal telah dilakukan dengan menghitung gaya hidrodinamika yang bekerja. Sehingga metode simulasi numerik semakin banyak digunakan dan terus berkembang begitupun dengan kepraktisan metode simulasi numerik [9]. Untuk itu simulasi manuver kapal tidak berlaku hanya pada kapal *monohull* saja tetapi pada kapal *demihull* sekalipun seperti katamaran. Penggunaan katamaran banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia untuk keperluan perikanan dan moda

transportasi, sehingga penelitian ini akan membahas koefisien hidrodinamika manuvering kapal katamaran melalui *Computational Fluid Dynamic* atau CFD

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat diidentifikasi beberapa rumusan masalah sebagaimana berikut ini:

1. Bagaimana menentukan koefisien hidrodinamika kapal katamaran asimetrik saat bermanuver dengan *CFD*?
2. Bagaimana perbedaan koefisien hidrodinamika kapal katamaran asimetrik saat bermanuver berdasarkan eksperimen dengan *CFD*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih fokus dan terarah, maka permasalahan yang akan dibahas dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Analisis manuver pada kondisi air tenang
2. Penelitian menggunakan software Ansys CFX R18.0
3. Variasi jarak antar lambung pada model yang digunakan adalah 0,844 m, 0,744 m, dan 0,944 m
4. Koefisien hidrodinamika yang diestimasikan adalah X'_{vv} , Y'_{v} , N'_{v} , X'_{rr} , Y'_{r} , dan N'_{r}
5. Perbandingan hasil simulasi CFD dengan hasil eksperimen pengujian model
6. Tidak mengikutsertakan pengaruh kemudi kapal

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui koefisien hidrodinamika kapal katamaran bentuk lambung asimetrik saat bermanuver
2. Untuk mengetahui perbedaan koefisien hidrodinamika kapal katamaran asimetrik saat bermanuver berdasarkan eksperimen dengan *CFD*?

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran koefisien hidrodinamika kapal katamaran khususnya tipe asimetrik pada saat manuver
2. Memberikan gambaran mengenai koefisien hidrodinamika dengan simulasi CFD

1.6 Sistematika Penulisan

Guna memudahkan penyusunan skripsi ini dan memudahkan pembaca memahami uraian secara sistematis, maka penelitian ini disusun dalam ringkasan sistematika penulisan ini sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan permasalahan secara umum yang meliputi : latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan tinjauan pustaka yang berkaitan dengan topik penelitian ataupun terkait dengan penelitian ini meliputi : katamaran, manuver kapal, tahanan kapal, konsep CFD, dan simulasi CFD

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan tentang metodologi penelitian yang menjelaskan lokasi dan waktu penelitian, metode pengambilan data, metode analisis data, dan kerangka penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini diuraikan hasil dan pembahasan yang meliputi penyajian data, analisis data, hasil penelitian yang diperoleh dan pembahasan hasil penelitian tersebut.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini disajikan kesimpulan dan saran.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Katamaran

Katamaran adalah tipe kapal yang memiliki dua buah lambung (*demihulls*) yang dihubungkan oleh suatu konstruksi sehingga menjadi sebuah kesatuan sebagai satu kapal. Struktur *bridging* ini merupakan sebuah kelebihan dari katamaran dikarenakan menambah tinggi lambung timbul (*freeboard*) sehingga kemungkinan terjadinya *deck wetness* dapat dikurangi. Kelebihan lain yang dimiliki katamaran adalah memiliki garis air lambung yang sangat ramping dengan tujuan untuk memperoleh hambatan yang rendah. Garis air yang ramping ini menyebabkan katamaran sensitif terhadap perubahan distribusi berat [10].

2.1.1. Kelebihan Katamaran

Katamaran memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan kapal *monohull*. Kelebihan tersebut antara lain:

- a. Memiliki *deck* yang lebih luas sehingga kapasitas muatan seperti penumpang dan barang menjadi lebih besar
- b. Bentuk lambung katamaran berperan penting untuk mengurangi tahanan kapal sehingga mampu menghasilkan kecepatan yang tinggi dan mengurangi konsumsi pada bahan bakar

2.1.2 Tipe Katamaran

Tipe katamaran dapat dibedakan berdasarkan bentuk bagian lambung yang berada di bawah air [7]. Adapun tipe katamaran berdasarkan bentuk lambung antara lain:

- a. Katamaran Asimetris

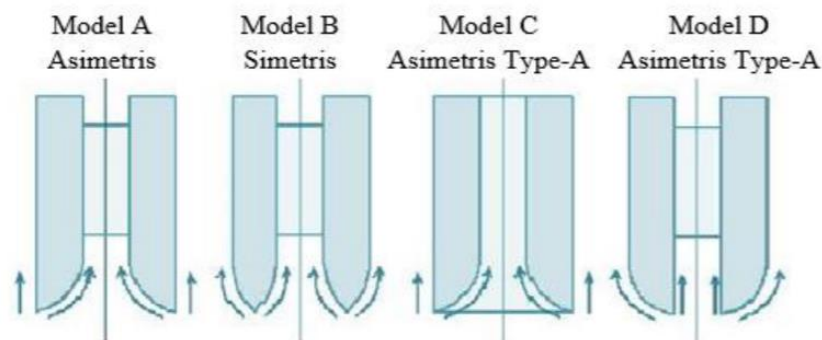
Katamaran asimetris adalah versi dasar dari katamaran. Tipe ini berupa sebuah *monohull* sederhana dengan *parit* yang memotong bagian tengah kapal. Bentuk lambung bagian dalam dari *demihull* bahkan dapat berupa bidang datar. Tipe asimetris populer pada awal tahun 1970-an.

b. Katamaran Simetris

Katamaran simetris berupa desain katamaran yang telah disempurnakan dengan dua buah bentuk lambung yang simetris dalam hal bentuk dan ukuran.

c. Katamaran *Wafe-Piercing*

Tipe ini merupakan katamaran simetris dengan tambahan struktur pada bagian haluannya. Desain bagian haluan ini mempunyai banyak versi, sebagian besar memiliki desain dasar yang runcing pada bagian ujung haluan. Desain ini memiliki tujuan untuk operasi dibawah permukaan air yaitu lebih dapat menembus gelombang daripada respon. Dengan asumsi kondisi air dibawah permukaan lebih stabil, maka katamaran tipe *wafe-piercing* memiliki kelebihan untuk kinerja hidrodinamika.



Gambar 2. 1 Tipe Katamaran

2.2 Manuver Kapal

Kelaiklautan kapal adalah hal yang mutlak dipenuhi sebagaimana ketentuan yang disyaratkan *International Safety Management (ISM) Code*. Ketentuan ini sejalan dengan Undang-Undang No. 17 Tahun 2018 tentang keselamatan pelayaran kapal yang beroperasi di perairan Indonesia. Kelaiklautan kapal adalah keadaan dimana kapal memenuhi persyaratan keselamatan, diantaranya aspek *ship maneuverability* atau kemampuan kapal untuk berbelok dan berputar saat berlayar, khususnya saat kapal beroperasi di perairan terbatas atau berada di sekitar pelabuhan [11].

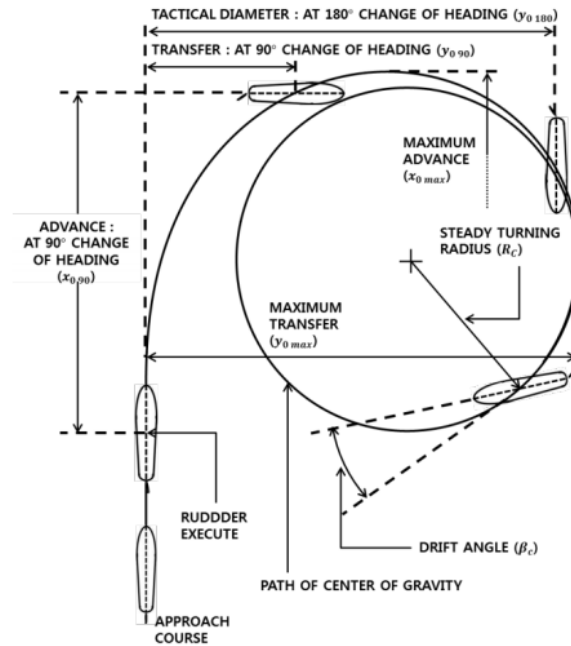
Berbicara tentang manuver kapal tidak lepas dari karakteristik maneuveringnya. Sehingga setiap kapal memiliki karakter maneuveringnya masing-masing. Terdapat tiga gerakan kapal yang tidak mampu direspon kapal adalah *surging*, *swaying*, dan *yawing*. Untuk mengendalikan gerakan tersebut diperlukan manuver kapal. Secara prinsip faktor dari dalam kapal yang mempengaruhi manuver kapal adalah rancangan kapal yang bersifat tetap seperti bentuk kapal, jumlah mesin, *propeller*, bentuk dan ukuran kemudi serta yang bersifat tidak tetap seperti sarat, trim, keadaan pemuatan, serta faktor dari luar kapal seperti angin, gelombang, dalam dan lebarnya perairan [12]. Kemampuan manuver kapal adalah performa hidrodinamika yang sangat penting yang berhubungan dengan keselamatan navigasi [13].

Sehubungan dengan hal tersebut untuk mengetahui respon kapal sesuai yang dipersyaratkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) sejumlah kriteria standar keselamatan kapal diantaranya adalah *Turning Ability* dan *Course Keeping-Yaw Checking Ability* saat manuver [14].

2.2.1 Kriteria Maneuverabilitas

Berdasarkan kriteria IMO untuk manuver kapal kualitas yang signifikan untuk evaluasi karakteristik manuver kapal yaitu :

- a. *Turning Ability* adalah kemampuan kapal bergerak melingkar dengan membentuk lintasan dengan sudut kemudi dan kecepatan penuh sebagaimana pada Gambar 2.2:



Gambar 2. 2 *Turning Ability*

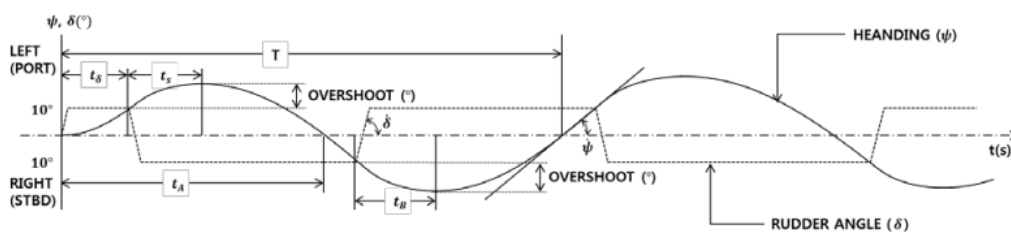
(Sumber : ITTC Recommended Procedure and Guidelines (5), 2017)

Beberapa parameter yang digunakan untuk mendefinisikan kinerja kapal pada saat berputar antara lain :

- 1) *Tactical diameter* merupakan jarak dari jalur awal ke sumbu x pada kapal ketika kapal telah berbelok 180°.
- 2) *Advance*, merupakan jarak dari pelaksanaan awal ke sumbu x pada kapal ketika kapal telah berbelok 90°.
- 3) *The Transfer*, merupakan jarak dari jalur ke awal mula kapal ketika sumbu x pada kapal telah berbelok 90°.
- 4) *Drift angle* atau sudut drift merupakan sudut antara haluan kapal dan arah gerakan. Sudut tersebut bervariasi sepanjang kapal.
- 5) *The diameter of the steady turning circle*, diameter dari lingkaran yang terus menerus berputar. Kondisi tetap biasanya dihubungkan pada beberapa titik antara perubahan sudut 90° dan sudut 180° dari perubahan pos.

Nilai-nilai yang khas adalah *tactical diameter* dari 4,5-7 L untuk yang ramping, 2,4 - 4 L untuk kapal yang pendek dan kapal yang penuh.

b. *Zig Zag manuver (Z manuver)*, merupakan kondisi membalikkan kemudi secara bergantian terhadap sudut tertentu ke kedua sisi dari jalur utama. Pengetesan zig-zag manuver harus dimulai untuk kedua bagian starboard atau kanan kemudian sisi portside atau kiri dengan menerapkan perubahan sudut kemudi. Untuk penjelasan parameter zig-zag manuver sebagaimana gambar dibawah ini:



Gambar 2. 3 Zig-zag Manuver parameter
(Sumber: ITTC Recommended Procedure and Guidelines (6), 2017)

Beberapa parameter dari zig-zag manuver antara lain:

- 1) *Overshoot angle* adalah jumlah dari pertambahan heading setelah kemudi berbalik. Sudut *overshoot* pertama dan kedua sesuai dengan sudut heading maksimum yang dicapai setelah eksekusi kedua dan ketiga
- 2) *Time to check yaw (t_s, t_B)*, merupakan waktu antara eksekusi kemudi dan waktu perubahan *heading* maksimum ke arah aslinya.
- 3) *Heading*, merupakan deviasi jalur dari jalur awal yang lurus
- 4) Waktu untuk membalikkan kemudi pertama dan perubahan maksimum *heading* pertama.

Dua jenis tes zig-zag standar, yaitu 10°/10° dan 20°/20°. Tes zig-zag 10°/10° menggunakan sudut kemudi 10° pada kedua sisi heading 10°. Sedangkan tes zig-zag 20°/20° menggunakan sudut kemudi 20° pada heading 20°. Informasi penting yang akan diperoleh dari tes ini adalah sudut *overshoot*, waktu perubahan awal ke *execute* kedua dan waktu memeriksa *yaw*.

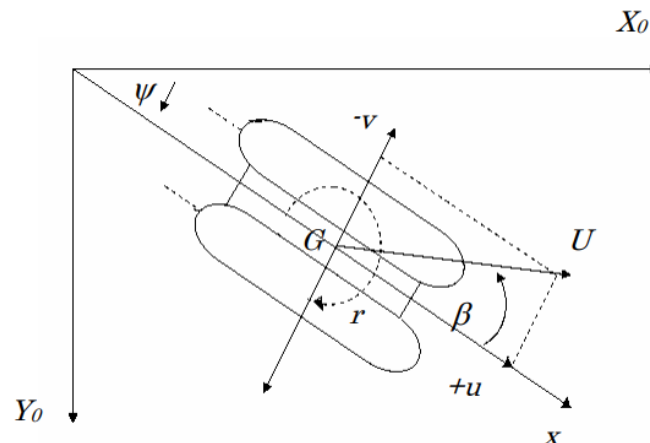
2.2.2 Persamaan Gaya Gerak Manuver

Dalam proses analisis manuver kapal melalui simulasi numerik, pemodelan, matematika adalah penting untuk dikembangkan. Pada penelitian ini model matematika yang dikembangkan berdasarkan persamaan gerak kapal (tiga derajat kebebasan) yaitu gerak *surge*, *sway*, dan *yaw*.

Untuk *surge* merupakan pergerakan lurus ke depan dan belakang lambung kapal. *Sway* adalah pergeseran kapal dari kiri ke kanan atau horizontal. Sedangkan *yaw* merupakan pergerakan memutar sisi bagian kapal agar dapat dikemudikan.

Persamaan gaya gerak manuver dalam proses analisa melalui simulasi komputer dikembangkan berdasarkan konsep MMG (*Mathematical Modelling Group*), persamaan tersebut meliputi pengujian persamaan terpisah komponen lambung, propeller, kemudi, dan gaya luar serta komponen interaksi antara keempatnya (lambung, propeller, kemudi, dan gaya luar) [15] [16].

Persamaan matematika gerak manuver kapal tersebut dapat diinterpretasikan sesuai sistem koordinat pada Gambar 2.4:



Gambar 2.4 Sistem Koordinat Kapal

(Sumber : A. Haris dan Yasukawa, 2009)

Berdasarkan gambar terlihat kurva garis hubung sejumlah koefisien hidrodinamika [18]. Notasi dari u , v , dan r adalah komponen kecepatan terhadap titik berat kapal (G), U adalah komponen resultan kecepatan kapal, selanjutnya X, Y , dan N sebagai gaya dan momen hidrodinamika kapal.

Gaya dan momen hidrodinamika tersebut dapat didefinisikan secara terpisah ke dalam berbagai fisik elemen gaya dan momen kapal sesuai dengan konsep yang dikembangkan oleh *MMG* sebagaimana persamaan beriku:

$$X = X_H + X_R + X_P + X_E \quad (2.1)$$

$$Y = Y_H + Y_R + Y_P + Y_E \quad (2.2)$$

$$N = N_H + N_R + N_P + N_E \quad (2.3)$$

Dimana, *H*, *R*, dan *P* adalah sebagai elemen lambung (*hull*), daun kemudi (*rudder*), *propeller*, dan *external force* (gaya luar) [17].

Berikut persamaan gaya gerak manuver berdasarkan kondisi *drift test* [19]:

$$X = X + X_{vv}u^2 \quad (2.4)$$

$$Y = Y_vu + Y_{vvv}u^3 \quad (2.5)$$

$$N = N_vu + N_{vvv}u^3 \quad (2.6)$$

Berikut persamaan gaya gerak manuver berdasarkan *rotating arm (steady pure yaw)* [19]:

$$X = X + X_{rrr}r^2 \quad (2.7)$$

$$Y = Y_r r + Y_{rrr}rv^3 \quad (2.8)$$

$$N = N_r r + N_{rrr}r^3 \quad (2.9)$$

2.2.3 Gaya dan Momen yang Ditimbulkan Lambung

Adapun persamaan gaya dan momen yang ditimbulkan oleh lambung (X_h, Y_h, N_h), pada prinsipnya sebuah pendekatan dari regresi *polynomial* dari \dot{u} , \dot{y} , dan \dot{r} [17]. Untuk menghitung *drag* (X) dan *lift* (Y) pada suatu lambung kapal dapat digunakan persamaan berikut:

$$X = F_D \cos \beta + F_D \sin \beta \quad (2.10)$$

$$Y = -F_L \sin \beta + F_L \sin \beta \quad (2.11)$$

Pengukuran gaya dan momen hidrodinamika dalam non-dimensional yang bekerja pada lambung kapal seperti pada persamaan berikut:

$$X'_H, Y'_H = \frac{X_H, Y_H}{\frac{1}{2}\rho L_{pp} dU^2} \quad (2.12)$$

$$N'_H = \frac{N}{\frac{1}{2}\rho L p p^2 d U^2} \quad (2.13)$$

Dimana,

X'_H, Y'_H, N'_H = koefisien hidrodinamika

U = kecepatan kapal

2.3 Tahanan Kapal

Tahanan atau *resistance* pada kapal adalah gaya fluida yang bekerja melawan arah gerak kapal. Tahanan terdiri dari beberapa komponen, komponen tersebut ialah; tahanan gesek (R_f) dan tahanan sisa (R_r). Tahanan sisa terdiri dari beberapa komponen, yakni tahanan viskositas (R_v), tahanan tekanan (R_p), tahanan gelombang (R_w), dan tahanan tambahan (R_{app}) dari anggota badan kapal [20].

Dengan beroperasinya kapal pada suatu kecepatan, maka terdapat tahanan kapal yang berlawanan dengan kecepatan kapal tersebut. Tahanan total (R_t) dapat dihitung menggunakan metode Holtrop-Mennen (1982), yang menyatakan bahwa tahanan total merupakan fungsi serentak dari Bilangan Reynolds dan Bilangan Froude melalui persamaan Harvald P sebagaimana persamaan dibawah ini [20]:

$$R_T = C_T \left(\frac{1}{2} \rho V_s^2 S \right) \quad (2.14)$$

Dimana,

R_T = Tahanan total kapal (kN)

C_T = Koefisien tahanan total

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

V_s = Kecepatan kapal (m/s)

S = luas bidang basah (m^2)

Untuk menghitung koefisien tahanan total pada persamaan diatas adalah sebagai berikut:

$$C_T = C_R + C_F + C_A \quad (2.15)$$

Dimana,

C_R = koefisien tahanan sisa

C_F = koefisien tahanan gesek

C_A = koefisien tahanan tambahan

Perhitungan tahanan kapal dapat dilakukan pada simulasi numerik khususnya CFD. Hal ini dapat dilihat pada penelitian sebelumnya. Kajian tahanan total kapal sebagaimana gaya drag maupun gaya sisi berdasarkan kondisi *drift test* [21].

Daya efektif (P_E) adalah daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (*hull*), sehingga kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan servis (V_S). Daya efektif merupakan fungsi dari besarnya gaya hambatan total (R_T) dan kecepatan kapal (V_S). Besarnya daya efektif sebagaimana persamaan berikut:

$$P_E = R_T \cdot V_S \quad (2.16)$$

Dimana,

P_E = daya efektif (kW)

R_T = hambatan total (N)

V_S = kecepatan servis (m/s)

Propeller akan berakselerasi dengan air ketika kapal bergerak maju, hal ini akan meningkatkan momentum air. Berdasarkan hukum kedua Newton, gaya ekuivalen dengan peningkatan akselerasi momentum air ini disebut *thrust*.

Semakin cepat kecepatan kapal, hambatan yang diterima akan semakin besar juga. Sehingga, untuk dapat mempertahankan kecepatannya, kapal harus mampu mengatasi tahanan tersebut dengan daya gaya dorong (*thrust*) dari kerja *propeller*. Selain itu, faktor perkiraan daya (*power prediction factor*) ($1 + x$) juga perlu diperhatikan. Faktor ini dipakai dalam perhitungan pengaruh skala pada tahanan dan propulsi, pengaruh struktur lambung, dan pengaruh kondisi cuaca.

2.4 Konsep Computational Fluid Dynamic (CFD)

CFD adalah metode perhitungan, memprediksi dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. CFD juga didefinisikan sebagai suatu proses analisa terhadap suatu sistem tertentu yang melibatkan masalah perpindahan panas, aliran fluida, distribusi kecepatan dan fenomena terkait dengan dinamika fluida dimana proses perhitungan dan analisa dilakukan dengan menggunakan komputer [22].

Penggunaan CFD secara umum dapat digunakan untuk memprediksi:

1. Aliran suatu fluida beserta distribusi suhunya
2. Transfer massa
3. Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan
4. Reaksi kimia seperti oksidasi
5. Gerakan mekanis seperti piston, fan dan propeller pada kapal
6. Tegangan dan tumpuan pada benda solid
7. Gelombang electromagnet

Program CFD terdiri dari tiga tahap, yaitu: *Pre-processor*, *Processor*, dan *post-processor*. *Pre-processor* merupakan tahap dimana serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Pada tahap ini juga sebuah objek atau benda dan ruangnya yang melingkupinya akan dianalisis dengan membagi-bagi dengan jumlah *grid* tertentu. Hal ini sering disebut dengan *meshing*. *Processor* merupakan tahap dilakukannya proses perhitungan data-data *input* dengan persamaan yang terlibat secara *iterative*.

Pada tahap ini perhitungan dilakukan hingga menuju *error* terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Perhitungan ini dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit. *Post-processor*, merupakan tahap dimana hasil perhitungan diinterpretasikan kedalam gambar grafik bahkan animasi dengan berbagai pola tertentu [22].

Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan CFD antara lain:

1. Meminimalkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi
2. Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan eksperimen
3. Memiliki kemampuan untuk studi dibawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan)
4. Keakuratannya akan selalu dikontrol proses desain

Dalam prosesnya metode yang digunakan dalam sebuah analisa data dapat berupa eksperimen maupun solusi numerik dalam hal ini CFD. Perbedaan tingkat akurasi eksperimen dengan CFD berdasarkan pada alat yang digunakan. Sedangkan akurasi dari CFD bergantung pada kualitas diskritisasi yang digunakan. Diskritisasi merupakan persamaan yang digunakan untuk menghasilkan persamaan *continue* yang dapat diinput ke dalam komputer. Diskritisasi sendiri adalah proses untuk membagi suatu domain ke dalam bentuk *cell* atau *grid*. CFD disusun berdasarkan algoritma numerik yang mampu mengatasi masalah aliran fluida. Komponen-komponen yang dibutuhkan dalam algoritma numerik adalah model matematika dan metode diskritisasi.

Terdapat tiga macam teknik solusi numerik yaitu beda hingga (*finite difference*), elemen hingga (*finite element*) dan metode *spectral*. Berikut penjelasan dari ketiga teknik tersebut:

1. Metode Beda Hingga bekerja dengan mengganti suatu persamaan differensial dengan syarat batas menjadi sebuah sistem persamaan linier yang dilakukan dengan mendiskretisasi daerah asal dan mengubah turunan pada persamaan.
2. Metode Elemen Hingga adalah suatu metode yang membagi benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda ini disebut *meshing*.
3. Metode *Spectral* adalah formulasi dari metode elemen hingga yang menggunakan polinomial *Piecewise*. Metode Spektral lebih memilih fungsi fungsi basis polinomial berdimensi tinggi yang tidak seragam.

Pada dasarnya CFD mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) dirubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga). Proses perhitungan untuk aliran fluida diselesaikan dengan menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas.

Persamaan yang digunakan adalah persamaan *Navier-stokes*, persamaan ini ditemukan oleh G.G. Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya adalah sebagai berikut:

1. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.17)$$

2. Persamaan Momentum

Momentum ke arah sumbu X

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial y} + \right. \\ \left. \frac{\partial(\tau_{xz})}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Momentum ke arah sumbu Y

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{yy})}{\partial y} + \right. \\ \left. \frac{\partial(\tau_{yz})}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2.20)$$

Momentum ke arah sumbu Z

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial(\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{yz})}{\partial y} + \right. \\ \left. \frac{\partial(\tau_{zz})}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2.21)$$

3. Persamaan Energi

$$\begin{aligned} \frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_w)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_v)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_v)}{\partial z} = -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} + \frac{1}{Re_r Pr_r} + \\ \left(\frac{\partial(q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(q_z)}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re_r} \left(\frac{\partial}{\partial x} (U\tau_{xx} + U\tau_{xy} + U\tau_{xz}) + C v\tau_{yy} + \right. \\ \left. w\tau_{yz} \right) + \frac{\partial}{\partial z} (U\tau_{xz} + U\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \end{aligned} \quad (2.22)$$

Dimana,

x = koordinat Sumbu X

y = koordinat Sumbu Y

z = koordinat Sumbu Z

u = komponen Kecepatan U (m/s)

v = komponen Kecepatan V (m/s)
 w = komponen Kecepatan W (m/s)
 t = waktu (s)
 ρ = densitas (kg/m^3)
 E_t = energi Total (J)
 p = tekanan (N/m^2)
 q = heat Flux (kW/m^2)
 Re = bilangan Reynold
 Pr = bilangan Prandtl

Aspek penting dari segala jenis simulasi pada aliran fluida disekitar badan kapal adalah metode yang digunakan untuk memodelkan hubungan udara/air. Navier-stokes sebagai teknik pemecahan CFD sekarang banyak digunakan untuk berbagai jenis permasalahan aliran fluida. Dalam bentuk yang paling umum, gerak fluida diatur oleh sistem kesetimbangan Navier-Stokes tiga dimensi yang bergantung pada waktu. Persamaan Navier-Stokes mendefinisikan seluruh aliran fluida satu fasa. Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan dalam momentum (percepatan) partikel-partikel fluida bergantung hanya kepada gaya viskos tekanan internal dan gaya viskos tekanan eksternal yang bekerja pada fluida. Persamaan Navier-Stokes memiliki bentuk persamaan differensial yang menerangkan pergerakan dari suatu fluida ditemukan oleh G.G. Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800.

Persamaan Navier-Stokes dapat diinterpretasikan sebagai penjumlahan dari 4 (empat) gaya: *gravitational body force*; *pressure gradient forces*; *viscous forces*; dan *inertial force* [10].

1. *Gravitational body force* adalah seluruh gaya yang bekerja pada fluida tanpa adanya kontak fisik secara langsung dan terdistribusi secara merata dalam volume fluida.
2. *Pressure gradient forces* atau gradien tekanan adalah kuantitas fisik yang menjelaskan ke arah mana dan pada tingkat mana tekanan meningkat paling cepat di sekitar lokasi tertentu.

3. *Viscous forces* atau viskositas adalah ukuran kekentalan suatu fluida yang menunjukkan besar kecilnya gesekan internal fluida. Viskositas fluida berhubungan dengan gaya gesek antar lapisan fluida ketika satu lapisan bergerak melewati lapisan yang lain.
4. *Inertial force* atau kelembaman adalah kecenderungan semua benda fisik untuk mempertahankan keadaannya atau menolak perubahan terhadap keadaan geraknya.

2.5 Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

CFD menerapkan perhitungan yang dikhususkan pada fluida beserta perilakunya mulai dari aliran fluida, heat transfer dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum dan hukum kekekalan massa, perhitungan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses perhitungan CFD dapat diawali dengan mendefinisikan suatu model menjadi elemen-elemen kecil. Setiap elemen yang terbentuk akan dikontrol dengan menggunakan konsep persamaan dinamika fluida.

Seperti pada persamaan matematis lainnya, persamaan dinamika fluida memerlukan variabel inputan untuk mendapatkan suatu nilai hasil. CFD memanfaatkan kondisi batas (*boundary condition*) pada domain fluida sebagai variabel inputan guna menjalankan persamaan tersebut. Sebagai contoh, ketika suatu model yang akan dianalisis melibatkan temperatur maka perhitungan yang dilakukan akan menggunakan persamaan energi atau konversi dari energi tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa inisialisasi awal dari persamaan dinamika fluida adalah *boundary condition*.

Pada proses penyelesaian masalah dengan menggunakan CFD-Ansys CFX terdapat tiga tahap yang harus dilalui, yaitu: *Pre-processor*, *Flow Solver (Solution)*, dan *post-processor*.

1. Tahap *Pre-Processor*

Merupakan tahap dimana data diinput mulai dari pembuatan domain serta pembuatan kondisi batas atau *boundary condition*. Ditahap ini juga sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah grid

tertentu atau sering juga disebut dengan *meshing*. Secara umum, tahap ini terdiri dari:

- a. Pemodelan kapal
- b. Pembuatan domain fluida
- c. Pemodelan kondisi batas
- d. Optimasi model yang optimum
- e. Pemihan jumlah grid yang optimum

Data yang diperlukan pada batas tergantung dari tipe kondisi batas dan model fisik yang dipakai (turbulensi, persamaan energi, multifasa, dll). Data yang diperlukan pada kondisi batas merupakan data yang sudah diketahui atau data yang dapat diasumsikan. Tetapi asumsi data yang dipakai harus diperkirakan mendekati yang sebenarnya. Input data yang salah pada kondisi batas akan sangat berpengaruh pada hasil simulasi. Dibawah ini beberapa kondisi batas pada Ansys CFX:

a. *Velocity Inlet*

Kondisi batas *velocity inlet* digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya pada sisi masuk aliran. Kondisi batas ini hanya digunakan untuk aliran *incompressible*.

b. *Mass Flow Inlet*

Nilai tekanan gauge digunakan sebagai tebakan awal oleh CFX, selanjutnya akan dikoreksi sendiri sejalan dengan proses iterasi. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulen sama dengan kondisi batas *velocity inlet*.

c. *Pressure Inlet*

Data tekanan total (absolute), tekanan gauge, temperatur, arah aliran dan dari nilai tekanan operasi dan tekanan gauge. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas *velocity inlet*.

d. *Pressure Outlet*

Pola aliran ini harus dimasukkan nilai tekanan statik, temperatur aliran balik (*backflow*) dan besaran turbulen aliran balik kondisi batas yang dipakai pada sisi keluar fluida dan data tekanan pada sisi keluar dapat di ketahui nilai sebenarnya.

e. *Outflow*

Kondisi batas ini digunakan apabila data keluar pada sisi keluar tidak diketahui sama sekali pada sisi keluar di ekstrapolasi dari data yang ada pada aliran sebelum mencapai sisi keluar.

f. *Pressure Far-Field*

Kondisi batas ini untuk memodelkan aliran *kompresibel free-stream* yang mempunyai dimensi yang sangat panjang jarak antara *inlet* dan *outlet* jauh. Besaran yang dimasukkan adalah tekanan gauge bilangan *Mach*, temperatur aliran arah aliran dan besarnya turbulensi pada sisi keluar.

g. Dinding (*wall*)

Kondisi batas ini digunakan sebagai dinding untuk aliran fluida dalam saluran atau dapat disebut juga sebagai dinding saluran. Kondisi batas ini digunakan juga sebagai pembatas antara daerah fluida (cair dan gas) dan padatan.

h. *Symmetry dan Axis*

Pada panel kondisi batas untuk kedua kondisi batas ini tidak ada input data yang diperlukan. Kondisi batas simetri digunakan apabila model geometri kasus yang bersangkutan dan pola aliran pada model tersebut simetri. Kondisi batas ini juga dapat digunakan untuk memodelkan dinding tanpa gesekan pada aliran viskos. Sedangkan kondisi batas axis digunakan sebagai garis tengah (*centerline*) untuk kasus 2D *axsymmetry*.

i. *Periodic*

Kondisi batas ini hanya dapat digunakan pada kasus yang mempunyai medan aliran dan geometri yang periodik, baik secara translasi atau rotasi.

j. *Cell Zone : Fluid*

Kondisi batas ini digunakan pada kontinum model yang didefinisikan sebagai fluida. Data yang dimasukkan hanya material fluida, didefinisikan sebagai media berpori.

k. *Cell Zone : Solid*

Data yang dimasukkan hanya material padatan didefinisikan *heat generation rate* pada *kontinum solid*. Sedangkan kondisi batas ini digunakan

pada kontinum model yang didefinisikan sebagai padatan.outlet jauh. Besaran yang dimasukan adalah tekanan gauge bilangan Mach, temperatur aliran arah aliran dan besarnya turbulensi pada sisi keluar.

1. *Porous*

Media Kondisi batas ini digunakan dengan cara mengaktifkan pipihan *porous zone* pada panel fluida. *Porous zone* merupakan pemodelan khusus dari zona fluida selain padatan dan fluida. Digunakan untuk memodelkan aliran yang melewati media berpori dan tahanan yang terdistribusi, misalnya *packed beds, filter papers, perforated plates, flow distributors, tube banks*.

2. Tahap *Flow Solver (Solution)*

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara *iteratif*. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju *error* terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Pada tahap ini dilakukan perhitungan secara numerik untuk menyelesaikan masalah dengan CFD. Secara umum tahap ini terdiri dari:

- a. Penentuan kondisi batas
- b. Pemilihan jenis fluida
- c. Penentuan kecepatan model
- d. Pemilihan jumlah iterasi yang optimum
- e. Penentuan batas konvergensi yang optimum

3. Tahap *Post Processor*

Tahap *Post-Processor* merupakan tahap yang digunakan untuk menganalisis, visualisasi dan mempresentasikan hal interaktif sesuai dengan kasus yang sedang ditinjau. Hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu. Secara umum tahap ini terdiri dari:

- a. Perhitungan nilai gaya
- b. Perhitungan distribusi kecepatan disekitar badan kapal
- c. Perhitungan distribusi tekanan disekitar badan kapal

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian mencakup semua kegiatan yang dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau proses analisis terhadap permasalahan dalam skripsi ini. Penjelasan untuk seluruh proses dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Adapun lokasi dan waktu penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Propulsi Kapal Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2. Waktu Penelitian

Direncanakan penelitian ini dilakukan selama empat bulan yakni dari bulan Desember 2021 – Maret 2022.

3.2 Jenis Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari bahan-bahan tertulis dari sumber data atau informasi lainnya yang terkait dengan penelitian. Adapun data sekunder adalah sebagai berikut:

1. Ukuran utama kapal katamaran tipe asimetrik
2. Gambar *Body Plan* kapal katamaran tipe asimetrik
3. Parameter pengujian gerak kapal katamaran asimetrik yang telah dilakukan sebelumnya

3.3 Metode Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk mengerjakan tugas akhir ini dikumpulkan dari berbagai sumber antara lain melalui hasil penelitian sebelumnya dan data-data yang terkait dari internet, jurnal, dan buku. Data yang dibutuhkan seperti data ukuran kapal diperoleh dari penelitian sebelumnya. Adapun ukuran utama kapal katamaran tipe asimetrik yang digunakan sebagaimana tabel 3.1 berikut ini [18]: