

**STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE
RECTANGULAR VORTEX GENERATOR: POSISI
BERSILANGAN ARAH DI BELAKANG**

SKRIPSI

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar Sarjana Teknik
Pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin**



**DISUSUN OLEH:
AKHYAR MUHAMMAD
D031181323**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE RECTANGULAR VORTEX GENERATOR: POSISI BERSILANGAN ARAH DIBELAKANG

Disusun dan diajukan oleh:

AKHYAR MUHAMMAD

D031 18 1323

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian

Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal *09. Maret 2023*

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I

Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M.Eng
NIP: 19490814 197909 1 002

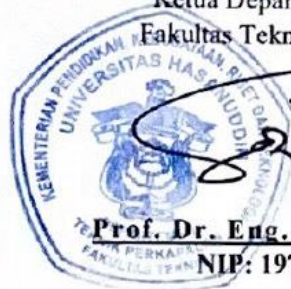
Pembimbing II

Ir. Rosmani, MT.
NIP: 19600620 198802 2 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.

NIP: 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Akhyar Muhammad
NIM : D031181323
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“Studi Tahanan Kapal Akibat Pengaruh Double Rectangular Vortex Generator: Posisi Bersilangan Arah Di Belakang”

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dari bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Gowa, Maret 2023

Yang Menyatakan,


Akhyar Muhammad

ABSTRAK

Akhyar Muhammad. 2022 “Studi Tahanan Kapal Akibat Pengaruh Double Rectangular Vortex Generator : Posisi bersilangan arah di belakang” (dibimbing oleh **Mansyur Hasbullah** dan **Rosmani**)

Salah satu masalah yang di hadapi dalam perencanaan kapal yakni menyangkut tahanan serta kecepatan kapal yang harus sesuai permintaan. Tahanan kapal merupakan ilmu yang mempelajari reksi fluida akibat gerakan kapal yang melalui fluida tersebut. Besarnya tahanan kapal juga bergantung pada jenis kapal yang digunakan. Agar meminimalisir besarnya nilai tahanan kapal juga dapat di lakukan modifikasi pada lambung kapal, yakni dengan pemasangan Vortex Generator posisi bersilangan arah di delakang. Cara kerja dari Vortex Generator adalah mempercepat transisi aliran dari laminar boundary layer menjadi turbulent boundary layer. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode numerik dengan bantuan software maxurf pro modeler dan rhinoceros 6 untuk pemodelan, dan Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics) dalam melakukan analisis tahanan. Tahanan model kapal menggunakan double rectangular vortex generator pada kecepatan 0,75 m/s, 1.513, 2.016 dan 2,762 yaitu 0.778 N, 2.311 N, 3.116 N, 5.258 N dan perbedaan persentase terbesar terjadi pada kondisi trim 3° kecepatan 2.765 sebesar 17,34%.

Kata Kunci : *Tahanan, Vortex generator, fluida, CFD*

ABSTRACT

Akhyar Muhammad. 2022 "Study of Ship Resistance Due to the Influence of the Double Rectangular Vortex Generator: Positions crossing the back" (supervised by **Mansyur Hasbullah** and **Rosmani**)

One of the problems faced in ship planning is related to resistance and the speed of the ship which must be according to demand. Ship resistance is the science that studies fluid reactions due to the movement of the ship through the fluid. The amount of the ship resistance also depends on the type of the ship used. In order to minimize the magnitude of the ship's resistance value, modifications can also be made to the ship's hull, namely by installing a Vortex Generator in a cross directional position in the back. The way the Vortex Generator works is to accelerate the flow transition from the laminar boundary layer to the turbulent boundary layer. The method used in the study is a numerical method with the help of Maxsurf Pro Modeler and Rhinoceros 6 software for modeling, and Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics) in carrying out resistance analysis. The resistance of the ship model uses a double rectangular vortex generator at the speeds of 0,75 m/s, 1.513, 2.016 and 2,762 namely 0.778 N, 2.311 N, 3.116 N, 5.258 N and the largest percentage difference occurs in the trim 3° condition with a speed of 2.765 of 17,34%.

Keywords: Resistance, Vortex generator, fluid, CFD

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Studi Tahanan Kapal Akibat Pengaruh Double Rectangular Vortex Generator : Posisi Bersilangan Arah Di Belakang**”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang strata satu (S1) di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Proses pengerjaan Tugas Akhir ini melalui berbagai macam tantangan, namun semuanya dapat teratasi dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta bantuan, bimbingan, kritikan dan saran dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini.

Terselesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, dorongan dan dukungan moril berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih dan memberikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Orang tua saya: **Jabir Dirman SE, dan Fitriah**; orang tua tercinta yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, do'a serta dukungan yang tiada hentinya kepada penulis. Semoga beliau selalu dalam lindungan Allah dan diberikan umur panjang hingga penulis mampu membanggakan mereka.
2. Bapak **Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M.Eng** selaku pembimbing I dan ibu **Ir. Rosmani, MT**. Bapak selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan waktu untuk berkonsultasi demi kesempurnaan tugas akhir ini sehingga dalam proses pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

3. Bapak **Ir. Lukman Bochary, MT.** dan Bapak **Muhammad Akbar Asis, S.T., M.T.**, selaku dosen laboratorium hidrodinamika sekaligus dosen pengujian yang telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat memperoleh gelar akademik di Departemen Teknik Perkapalan.
4. Bapak **Dr.Eng Suandar Baso, ST., MT**, selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan memberikan arahan dalam penyelesaian tugas ini.
5. Ibu **Ir. Rosmani, MT.** selaku Kepala Laboratorium Hidrodinamika kapal.
6. Seluruh Pegawai/Staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah.
7. Seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Perkapalan** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan, semoga ilmu dan bimbingan bapak dan ibu membawa keberkahan dan mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT.
8. Teman-teman angkatan saya **THRUZTER 2018**, terima kasih telah memberi pengalaman hidup yang sangat berarti selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.
9. Semua pihak yang telah membantu, dalam bentuk fisik ataupun dalam bentuk doa. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dengan yang lebih baik.

Semoga proses belajar selama ini dan tugas akhir ini diridhoi dan diberkahi oleh Allah SWT. Aamiin.

Gowa, Maret 2023

Penulis

DAFTAR ISI

Contents

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kapal Cepat	5
2.2 Tahanan Kapal.....	6
2.3 Aliran Fluida	9
2.4 Vortex Generator	13
2.5 Autodesk CFD	14
2.6 Hukum Perbandingan.....	15
BAB III	19
METODOLOGI PENELITIAN.....	19

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	19
3.1.1 Lokasi Penelitian	19
3.1.2 Waktu Penelitian.....	19
3.2. Jenis Penelitian.....	19
3.3 Metode Pengumpulan Data	19
3.4 Metode Pengolahan Data.....	19
3.4.1. Data kapal	20
3.4.2. Pemodelan Kapal Cepat dengan Menggunakan Double Rectangular Vortex Generator Bersilangan Arah Di Belakang	21
3.4.3 Simulasi CFD (Computational Fluida Dynamic).....	27
3.4.4 Verifikasi.....	31
3.4.5 Analisis Data	31
3.4.6 Kesimpulan	32
3.4.7 Kerangka Pemikiran	33
BAB IV	34
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Deskripsi Pra-Analisis.....	36
4.2 Desain Vortex Generator.....	36
4.3 Nilai Residual In dan Residual Out	36
4.4 Visualisasi Velocity Magnitude dan Static Pressure	37
4.4.1 Visualisasi Velocity Magnitude	37
4.4.2 Visualisasi Pola Aliran dan Luas Bidang Basah	44
4.4.3 Visualisasi Static Pressure	51
4.5 Prediksi Tahanan Model Kapal	60
BAB V PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Laminer	11
Gambar 2.2 Aliran Transisi.....	12
Gambar 2.3 Aliran Turbulen.....	12
Gambar 2.4 Berbagai Bentuk Vortex Generator.....	14
Gambar 3.1 Lines Plan Kapal Pada Software Autocad	20
Gambar 3.2 tampilan awal model kapal pada software Rhinocero.....	21
Gambar 3.3 Batas Panjang Vortex Generator	22
Gambar 3.4 Proses Pembuatan Surface	22
Gambar 3.5 Proses Trim Pada Surface di Luar Model Kapal.....	23
Gambar 3.6 Tampilan Double Rectangular Vortex Generator	23
Gambar 3.7 Proses Pemasangan Vortex Generator Pada Model Kapal	24
Gambar 3.8 Tampilan Vortex Generator Yang Sudah Terpasang	24
Gambar 3.9 Tampilan Model Setelah Closed Solid.....	25
Gambar 3.10 Pemodelan Kolam Uji.....	26
Gambar 3.11 Kondisi Model Tanpa Menggunakan Vortex Generator.....	26
Gambar 3.12 Kondisi Model Menggunakan Vortex Generator.....	26
Gambar 3.13 Visual Tahap Geometry Model Kapal Dan Boundary Layer.....	28
Gambar 3.14 Visualisasi Input Material Model Kapal Dan Boundary Layer	28
Gambar 3.15 Visualisasi Input Boundary Condition Model Kapal Dan Boundary Layer	29
Gambar 3.16 Visualisasi Mesh Sizing Model Kapal Dan Boundary Layer	29
Gambar 3.17 Visualisasi Mesh Sizing Model Kapal	30

Gambar 3.18 Visualisasi Tahap Solve Model Kapal Dan Boundary Layer	30
Gambar 3.19 Kerangka Pikir Penelitian	33
Gambar 4.1 Sketsa peletakan dan ukuran Double Rectangular Vortex Generator bersilangan arah di belakang	35
Gambar 4.2 Visualisasi velocity magnitude model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 0,75 m/s trim 0°	38
Gambar 4.3 Visualisasi velocity magnitude model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1°	39
Gambar 4.4 Visualisasi velocity magnitude model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 2,016m/s dengan trim 2°	39
Gambar 4.5 Visualisasi velocity magnitude model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3°	40
Gambar 4.6 Visualisasi velocity magnitude model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 0,75 m/s dengan trim 0°	42
Gambar 4.7 Visualisasi velocity magnitude model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1°	42
Gambar 4.8 Visualisasi velocity magnitude model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 2,016 m/s dengan trim 2°	43
Gambar 4.9 Visualisasi velocity magnitude model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3°	43
Gambar 4.10 Pola aliran berdasarkan velocity magnitude dan luas bidang basah model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 0,75 m/s dengan trim 0°	45
Gambar 4.11 Pola aliran berdasarkan velocity magnitude dan luas bidang basah model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1°	45
Gambar 4.12 Pola aliran berdasarkan velocity magnitude dan luas bidang basah model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 2,016 m/s dengan trim 2°	46
Gambar 4.13 Pola aliran berdasarkan velocity magnitude dan luas bidang basah model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3°	46

Gambar 4.14 Pola aliran berdasarkan velocity magnitude dan luas bidang basah model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 0,75 m/s dengan trim 0°	49
Gambar 4.15 Pola aliran berdasarkan velocity magnitude dan luas bidang basah model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1°	49
Gambar 4.16 Pola aliran berdasarkan velocity magnitude dan luas bidang basah model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 2,016 m/s dengan trim 2°	50
Gambar 4.17 Pola aliran berdasarkan velocity magnitude dan luas bidang basah model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3°	50
Gambar 4.18 Visualisasi static pressure model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 0,75 m/s dengan trim 0° tampak samping	52
Gambar 4.19 Visualisasi static pressure model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 0,75 m/s dengan kondisi 0° tampak bawah ...	52
Gambar 4.20 Visualisasi static pressure model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1° tampak samping ...	53
Gambar 4.21 Visualisasi static pressure model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 1,513 m/s dengan trim 1° tampak bawah	53
Gambar 4.22 Visualisasi static pressure model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 2,016 m/s dengan trim 2° tampak samping ...	54
Gambar 4.23 Visualisasi static pressure model kapal tanpa menggunakan vortex generator kecepatan 2,016 m/s dengan trim 2° tampak bawah	54
Gambar 4.24 Visualisasi static pressure model kapal tanpa menggunakan vortex generator Kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3° tampak samping ..	55
Gambar 4.25 Visualisasi static pressure model kapal tanpa menggunakan vortex generator Kecepatan 2,762 m/s dengan trim 3° tampak bawah	55
Gambar 4.26 Visualisasi static pressure model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 0,75 m/s dengan kondisi trim 0° tampak samping.....	56

Gambar 4.27 Visualisasi static pressure model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 0,75 m/s dengan kondisi trim 0° tampak bawah	57
Gambar 4.28 Visualisasi static pressure model kapal menggunakan vortex generator Kecepatan 1,513 m/s dengan kondisi trim 1° tampak samping.....	57
Gambar 4.29 Visualisasi static pressure model kapal menggunakan vortex generator Kecepatan 1,513 m/s dengan kondisi trim 1° tampak bawah.....	58
Gambar 4.30 Visualisasi static pressure model kapal menggunakan vortex generator kecepatan 2,016 m/s dengan kondisi trim 2° tampak samping.....	58
Gambar 4.31 Visualisasi static pressure model kapal menggunakan vortex generator Kecepatan 2,016 m/s dengan kondisi trim 2° tampak bawah.....	59
Gambar 4.32 Visualisasi static pressure model kapal menggunakan vortex generator Kecepatan 2,762 m/s dengan kondisi trim 3° tampak samping.....	60
Gambar 4.33 Visualisasi static pressure model kapal menggunakan vortex generator Kecepatan 2,762 m/s dengan kondisi trim 3° tampak samping.....	60
Gambar 4.34 Grafik Kecepatan (m/s) dan Tahanan model kapal tanpa Vortex Generator	61
Gambar 4.35 Grafik Kecepatan (m/s) dan Tahanan model kapal menggunakan Vortex generator.....	62
Gambar 4.36 Grafik hubungan antara Kecepatan (m/s) dan Tahanan model kapal	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama Kapal	20
Tabel 3.2 Ukuran Model Kapal dengan Skala 1:15	25
Tabel 3.3 Ukuran Boundary Layer Tangka Pengujian dengan Skala	25
Tabel 3.4 Kecepatan Model Kapal Tiap Kondisi	27
Tabel 4.1 Sketsa peletakan dan ukuran vortex	35
Tabel 4.2 Nilai Residual In dan Residual Out Model Kapal Tanpa Menggunakan Vortex Generator	36
Tabel 4.3 Nilai Residual In dan Residual Out Model Kapal Menggunakan Vortex Generator	36
Tabel 4.4 Luas Bidang Basah Tanpa Menggunakan Vortex Generator	47
Tabel 4.5 Luas Bidang Basah Menggunakan Vortex Generator	51
Tabel 4.6 Kecepatan (m/s) dan Tahanan model kapal tanpa menggunakan Vortex Generator	61
Tabel 4.7 Nilai Kecepatan dan Tahanan model kapal menggunakan Vortex Generator	62
Tabel 4.8 Presentase perbandingan Tahanan model kapal tanpa menggunakan Vortex Generator dan menggunakan Vortex Generator	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Offside lines Plan Model Kapal

Lampiran 2. Statistik Jumlah *Elemen Mesh*

Lampiran 3. Visualisasi *Velocity Magnitude*

Lampiran 4. Visualisasi pola aliran dan luas bidang basah

Lampiran 5. Visualisasi *Static Pressure*

Lampiran 6. Hasil *Wall Calculator Drag Force Model*

Lampiran 7. Penentuan Skala Model

DAFTAR NOTASI

Loa	= Panjang keseluruhan kapal (m)
Lwl	= Panjang garis air kapal (m)
v	= Kecepatan kapal (m/s)
g	= percepatan gravitasi bumi (m/s ²)
Rn	= Angka Reynold
Fn	= Angka Froude
FnV	= Froud Number Volume
V	= volume kapal (m ³)
Cw	= Koefisien waterline
Cb	= Koefisien blok
Slr	= Rasio kecepatan dan panjang kapal
Pc	= Koefisien propulsif
Rt	= Tahanan total (Kn)
Lr	= Skala model
Lm	= Panjang model (m)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan kapal di Indonesia sangat penting, karena Indonesia terdiri dari ribuan pulau yang berjejer dari Sabang sampai Merauke. Sehingga Indonesia menyandang predikat Negara Maritim atau Negara Kepulauan. Sifat maritim itu sendiri mengarah pada terwujudnya aktivitas di wilayah perairan Indonesia, diantaranya eksploitasi, pelayaran, pengangkutan barang, penelitian, dan penyebrangan.

Salah satu masalah yang di hadapi dalam perencanaan kapal yakni menyangkut tahanan serta kecepatan kapal yang harus sesuai permintaan. Tahanan kapal merupakan ilmu yang mempelajari reaksi fluida akibat gerakan kapal yang melalui fluida tersebut. Dalam istilah hidrodinamika kapal, tahanan/*resistance/drag* adalah besarnya gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakkan kapal tersebut. Besarnya tahanan kapal akan mementuka kecepatan suatu kapal. Semakin besar tahanan kapal yang diperoleh maka, semakin tinggi kecepatan suatu kapal. Begitu pun sebaliknya semakin kecil tahanan kapal yang diperoleh maka, semakin rendah kecepatan pada suatu kapal. Hal ini berpengaruh dalam penentuan daya mesin kapal yang ingin digunakan. Oleh karena itu banyak bermunculan inovasi kapal cepat yang didesain dengan spesifikasi untuk dapat mengatasi masalah tersebut.

Kapal cepat memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain, hal ini disebabkan karena model rancangan dari kapal cepat dibuat untuk meminimalisir tahanan yang dihasilkan sehingga kecepatan kapal dapat dioptimalkan. Untuk itu dalam mendesain kapal berkecepatan tinggi harus mempertimbangkan aspek-aspek yang berkaitan dengan keselamatan dan performa kapal. Dalam perencanaan lambung kapal dikenal 3 jenis rancangan bentuk kapal, yaitu *planning hull ship*, *semi planning hull*, dan *displacement hull*. Untuk kapal cepat digunakan bentuk *planning hull*. Untuk meningkatkan

performa kapal *planning hull* ini akan dilakukan penambahan vortex generator pada lambung (*hull*) kapal.

vortex Generator adalah perangkat *hidrodinamik* yang dirancang untuk mengalihkan arah aliran dan menghasilkan aliran vertikal dan dengan demikian menghomogenkan aliran bangun ke dalam baling-baling. Cara kerja dari *Vortex Generator* adalah mempercepat transisi aliran dari laminar boundary layer menjadi turbulent boundary layer.

Vortex Generator memiliki beberapa bentuk yang lazim digunakan diantaranya bentuk *triangular, rectangular, gothic, parabolic, dan ogive VG*. Adapun pada penelitian ini penulis memilih untuk meneliti bentuk *rectangular vortex generator* karena tertarik dengan bentuk *rectangular VG* dalam penelitian ini pula dilakukan modifikasi pemasangan dengan posisi bersilangan arah di belakang dan jumlah vortex generator menggunakan double rectangular VG. Berdasarkan uraian dan hasil penelitian diatas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul penelitian: **“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH DOUBLE RECTANGULAR VORTEX GENERATOR: POSISI BERSILANGAN ARAH DI BELAKANG**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang dapat kita kaitkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai tahanan kapal menggunakan dan tidak menggunakan *double rectangular vortex generator yang bersilangan arah di belakang* berdasarkan analisis program *Autodesk CFD*?
2. Bagaimana perubahan tahanan kapal menggunakan dan tidak menggunakan *double rectangular vortex generator yang bersilangan arah di belakang* berdasarkan program *Autodesk CFD*?
3. Bagaimana karakteristik pola aliran air di sepanjang badan kapal menggunakan dan tanpa menggunakan *double rectangular vortex Autodesk CFD*?

1.3 Batasan Masalah

generator yang bersilangan arah di belakang berdasarkan analisis Batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan aplikasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
2. Model dan ukuran utama kapal yang digunakan adalah kapal cepat dengan model *planning hull*.
3. Perhitungan tahanan kapal dilakukan pada kondisi air tenang.
4. Kecepatan yang digunakan adalah kecepatan 0,75 m/s, 1,513 m/s, 2,016 m/s, 2,762 m/s.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menentukan besar tahanan kapal yang menggunakan dan tidak menggunakan *double rectangular vortex generator yang bersilangan arah di belakang*.
2. Untuk mengetahui perubahan nilai tahanan kapal menggunakan dan tidak menggunakan *double rectangular vortex generator yang bersilangan arah di belakang*.
3. Mengetahui karakteristik aliran fluida yang dihasilkan pada sepanjang badan kapal berdasarkan analisis program *Autodesk CFD*.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai informasi untuk menambah wawasan mengenai pengaruh *double rectangular vortex generator yang bersilangan arah di belakang* terhadap besar nilai tahanan kapal.
2. Sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai pola aliran fluida yang terjadi akibat pergerakan kapal berdasarkan analisis program *Autodesk CFD*.
3. Sebagai pertimbangan dalam mendesain kapal cepat yang menggunakan *double rectangular vortex generator yang bersilangan arah di belakang* dengan pertimbangan nilai tahanan.

1.6 Sistematika Penulisan

Gambaran secara terperinci keseluruhan isi dari tulisan ini dapat dilihat dari sistematika penulisan berikut ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini diuraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini dijelaskan tentang teori – teori gambaran wilayah penelitian, berbagai literatur yang menunjang pembahasan dan digunakan sebagai dasar pemikiran dari penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini diuraikan lokasi penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, Teknik dalam pengambilan data, metode analisis data dan kerangka pikir.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan penyajian data yang telah diperoleh, proses pengolahan, hasil pengolahan data serta pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran – saran untuk peneliti selanjutnya maupun pihak – pihak yang terkait tentang penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Cepat

Menurut J. Lawrence (1985), dalam jurnal yang ditulis oleh Rosmani (2013), mengatakan karakteristik high speed craft dipengaruhi Froude Numbernya. Untuk landing craft, luas bidang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Oleh karena itu, bilangan Froude number (Fn) sering digunakan sebagai parameternya.

Froude number (Fn) didefinisikan sebagai berikut:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \times L}} \quad (2.1)$$

Dimana:

- Fn = Froude number
- Vs = Kecepatan (m/s)
- g = Percepatan Gaya Gravitasi (9.81 m/s²)
- Lwl = Panjang kapal (m)

Froude number Volume (FnV) didefinisikan sebagai berikut:

$$FnV = \frac{v}{\sqrt{g \times \sqrt[3]{V}}} \quad (2.2)$$

Dimana:

- FnV = Froude number Volume
- Vs = Kecepatan (m/s)
- g = Percepatan Gaya Gravitasi (9.81 m/s²)
- V = Volume Kapal (m³)

2.2 Tahanan Kapal

Tahanan (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal (Harvald, 1992).

Ketika kapal bergerak pada daerah permukaan bebas dari suatu fluida, maka variasi tekanan di daerah sekitar bodi kapal tersebut akan menghasilkan gelombang pada permukaan fluida. Energy dibutuhkan untuk mempertahankan terjadinya gelombang tersebut, sehingga hal ini menjadikannya disebut tahanan (*resistance*). Selain hal itu, terjadi pula gaya-gaya tangensial yang berlawanan arah dengan arah gerak kapal tersebut yang disebabkan oleh factor viskositas fluida dan gerakan kapal. Berdasarkan kedua hal tahanan tersebut, maka dikenal dengan *wave making resistance* dan *viscous* atau *frictional resistance*. (S.W. Adji, 2009).

Viskositas menyebabkan perubahan aliran disekitar lambung kapal, yang secara perlahan akan menaikkan tekanan hingga daerah ujung akhir dari lambung kapal. Akibat kondisi ini, sering pula dikenal dengan sebutan *viscous pressure resistance*, atau *form resistance* tergantung bentuk lambung kapal. (S.W. Adji, 2009).

Pada dasarnya tahanan kapal dibagi menjadi dua yaitu tahanan yang berada di atas permukaan air dan tahanan yang berasal dari bawah permukaan air. Tahanan yang di atas permukaan air adalah yang bekerja pada bagian badan kapal yang kelihatan di atas permukaan air, disini pengaruh adanya udara yang mengakibatkan timbulnya hambatan.

Komponen tahanan yang bekerja pada kapal dalam gerakan mengapung di air adalah:

a. Tahanan gesek (*Friction resistance*)

Tahanan gesek timbul akibat kapal bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas seperti air laut, fluida yang berhubungan langsung dengan permukaan

badan kapal yang tercelup sewaktu bergerak akan menimbulkan gesekan sepanjang permukaan tersebut, inilah yang disebut sebagai tahanan gesek. Tahanan gesek terjadi akibat adanya gesekan permukaan badan kapal dengan media yang dilaluinya. Oleh semua fluida mempunyai viskositas, dan viskositas inilah yang menimbulkan gesekan tersebut. Penting tidaknya gesekan ini dalam suatu situasi fisik tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (flow pattern). Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap gesekan bila fluida tersebut bergerak. Jadi tahanan Viskos (RV) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskos.

Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut :

- 1) Angka Renold (*Renold's number*, R_n)

$$R_n = \frac{v \times L}{\nu} \quad (2.3)$$

Dimana :

v : Kecepatan (m/s)

L : Panjang (m)

ν : Viskositas air

- 2) Koefisien gesek (*friction coefficient*, C_f)

$$C_f = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2} \quad (2.4)$$

(Merupakan formula dari ITTC)

- 3) Rasio kecepatan dan panjang kapal (*speed length ratio*, Slr)

$$Slr = \frac{V_s}{\sqrt{L}} \quad (2.5)$$

Dimana L adalah panjang antara garis tegak kapal (*length between perpendicular*) dan V_s adalah kecepatan kapal.

b. Tahanan sisa (*Residual Resistance*)

Tahanan sisa didefinisikan sebagai kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari hambatan total badan kapal dengan hambatan gesek dari permukaan kapal. Hambatan sisa terdiri dari ;

1) Tahanan gelombang (*Wave Resistance*)

Tahanan gelombang adalah hambatan yang diakibatkan oleh adanya gerakan kapal pada air sehingga dapat menimbulkan gelombang baik pada saat air tersebut dalam keadaan tenang maupun pada saat air tersebut sedang bergelombang.

2) Tahanan udara (*Air Resistance*)

Tahanan udara diartikan sebagai tahanan yang dialami oleh bagian badan kapal utama yang berada diatas air dan bangunan atas (*Superstruktire*) karena gerakan kapal di udara. Tahanan ini tergantung pada kecepatan kapal dan luas serta bentuk bangunan atas tersebut. Jika angin bertiup maka tahanan tersebut juga akan tergantung pada kecepatan angin dan arah relatif angin terhadap kapal.

3) Tahanan bentuk (*Form Resistance*)

Tahanan ini erat kaitannya dengan bentuk badan kapal, dimana bentuk lambung kapal yang tercelup di bawah air menimbulkan suatu tahanan karena adanya pengaruh dari bentuk kapal tersebut.

4) Tahanan tambahan (*Added Resistance*)

Tahanan ini mencakup tahanan untuk korelasi model kapal. Hal ini akibat adanya pengaruh kekasaran permukaan kapal, mengingat bahwa permukaan kapal tidak akan pernah semulus permukaan model. Tahanan tambahan juga termasuk tahanan udara, anggota badan kapal dan kemudi.

Komponen tahanan tambahan terdiri dari:

- a) Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*) yaitu tahanan tahanan dari bos poros, penyangga poros, lunas bilga, daun kemudi dan sebagainya.
- b) Tahanan kekasaran

Yaitu terjadi akibat kekasaran dari korosi air, pengotoran pada badan kapal, dan tumbuhan laut.

c) Hambatan kemudi (*Steering Resistance*)

Yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi. (Arwini, 2018)

c. Tahanan Total (*Total Resistance*)

Tahanan total kapal terdiri dari beberapa komponen tahanan. Menurut Guldhammer dan Harvald (harvald, 1983), komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan di bawah ini:

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T S v^2 . \quad (2.6)$$

Dimana:

R_T = Tahanan Total (N)

ρ = Massa jenis Fluida (Kg/m³)

C_T = Koefisien tahanan total

S = Luas bidang basah (m²)

v = Kecepatan (m/s)

2.3 Aliran Fluida

Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositasnya. Didalam suatu sistem fluida *non-viscous*. Suatu body yang ditenggelamkan dan digerakkan pada sistem fluida *non-viscous* tersebut, maka body tersebut tidak mengalami adanya tahanan (*resistance*) meskipun fluida tersebut dilalui oleh gerakan body, maka kondisi fluida tersebut kembali ke bentuk awalnya setelah dilintsi body tersebut, ada sejumlah gaya-gaya local yang bekerja pada body tersebut, akan tetapi gaya – gaya tersebut saling meniadakan ketika diintegrasikan pada seluruh body. Gaya – gaya local tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida (S.W. Adji, 2009).

Dalam mempelajari dinamika aliran fluida, maka akan sangat berguna bila kita kembangkan suatu angka dari parameter – parameter non-dimensional. Dimana angka tersebut dapat meng-karakteristikan aliran dan gaya – gaya yang bekerja, hal ini didasari pada sifat – sifat fluidanya. Sifat–sifat fisik fluida yang erat hubungannya dalam mempelajari tahanan kapal adalah Massa Jenis $[\rho]$, Viskositas $[\mu]$, Tekanan Statis Fluida $[p]$. Jika Tahanan Kapal (*resistance*) adalah $[R]$, Kecepatan adalah $[V]$, dan Panjang adalah $[L]$, maka Tahanan kapal dalam Analisa dimensional dapat diformulasikan sebagai berikut (S.W. Adji, 2009):

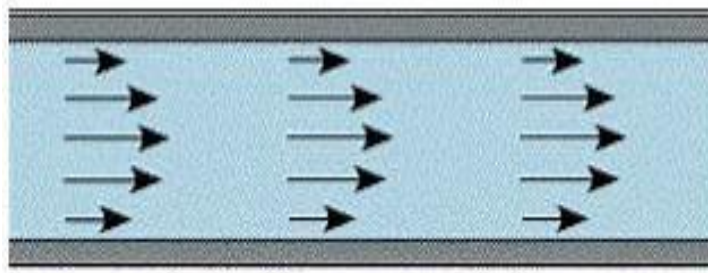
$$R = f [L^a V^b \rho^c \mu^d g^e p^f]$$

Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminer, transisi dan turbulen. Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang terjadi pada lambung kapal adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Dalam hal ini, fenomena yang terjadi adalah skin friction yang nantinya akan menghasilkan bentuk aliran yang bersifat laminer dan turbulen. Skin friction memiliki nilai proposional dengan besar luasan basah. Skin friction drag pada sebuah pelat tipis sejajar dengan aliran fluida dapat berupa aliran laminer, turbulen atau campuran antara keduanya (Sardjadi,2003).

Untuk menguji apakah suatu aliran laminer atau turbulen, biasanya digunakan formulasinya yang dikenal dengan reynold number. Reynold number dirumuskan sebagai sebuah rasio dari hasil perkalian antara kecepatan dan panjang benda (kapal) dibagi dengan viskositas fluida yang dilaluinya. Pada nilai reynold number yang tinggi, lapisan fluida yang 16 bergeser pada lapisan batas laminer bergulung-bergulung dan berputar dalam gumpalan-gumpalan. Pada kondisi ini noise dan skin friction menjadi semakin besar. Daerah pada lapisan ini di kenal dengan lapisan batas turbulen. Sedangkan area perubahan dari laminer ke turbulen disebut daerah transisi (Sardjadi,2003).

1. Aliran laminer ($Re < 2300$) Adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminer, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu

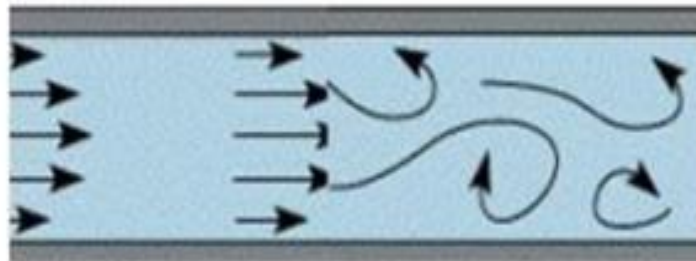
lapisan meluncur satu arah pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat steady maksudnya alirannya tetap. Hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut waktu (Senoaji,2015).



Sumber: (Senoaji,2015).

Gambar 2.1 Aliran Laminer.

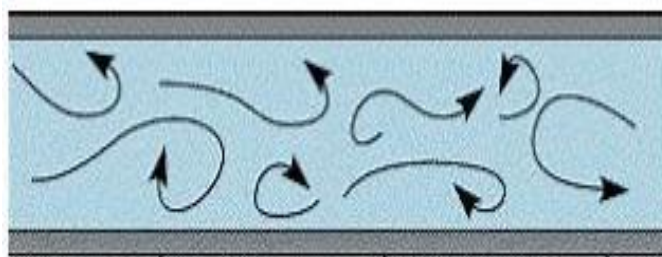
2. Aliran transisi ($2300 > Re > 4000$) Aliran Transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji,2015).



Sumber : (Senoaji,2015).

Gambar 2.2 Aliran Transisi.

3. Aliran turbulen ($Re > 4000$) Kecepatan aliran yang relatif besar akan menghasilkan aliran yang tidak laminar melainkan kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sehingga didapatkan ciri dari aliran turbulen yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah (Senoaji,2015).



Sumber: (Senoaji,2015).

Gambar 2.3 Aliran Turbulen

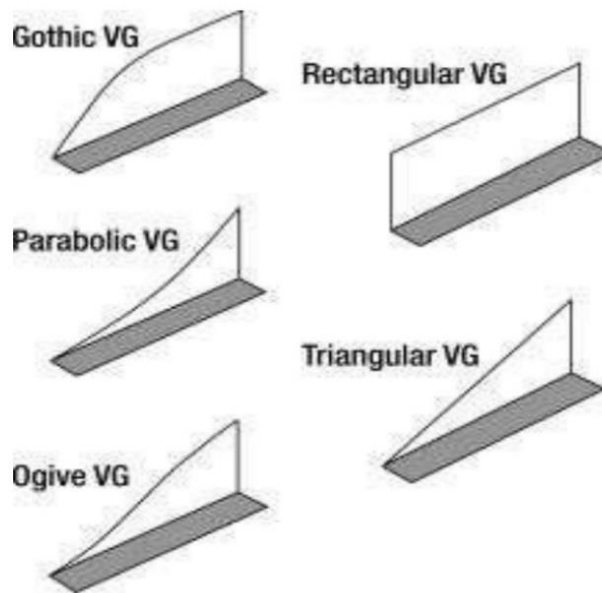
2.4 Vortex Generator

Vortex Generator (VG) adalah komponen kecil berbentuk fin (sirip) yang ditempatkan di sayap maupun pada permukaan stabilizer ekor UAV yang bertujuan untuk memodifikasi aliran udara disekitar permukaan UAV yang terjadi separation (Romadhon dan Herdiana, 2017: 47).

Sedangkan menurut Sukoco (2015: 138), vortex generator memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk, dan dapat diaplikasikan pada berbagai bagian kendaraan transportasi. Pengaplikasian disetiap bagian kendaraan transportasi memiliki karakteristik masing-masing dan semua vortex generator berfungsi seperti miniatur sayap. Penempatan vortex generator.yaitu tegak lurus terhadap permukaan sayap, serta dapat menghasilkan gaya angkat pada UAV, maka dengan gaya angkat tersebut masing-masing bentuk vortex generator menghasilkan perubahan aliran pada UAV.

Terdapat berbagai macam bentuk vortex generator digunakan pada pesawat ataupun mobil, namun pada umumnya yang biasa digunakan yaitu sebagai berikut :

- 1) Gothic Vg
- 2) Rectangular Vg
- 3) Parabolic Vg
- 4) Triangular Vg
- 5) Ogive Vg



Sumber: Chinniyampalayam, Coimbatore. "Numerical Analysis of Drag Reduction Method Using Vortex Generator on Symmetric Aerofoil."

Gambar 2.4 Berbagai Bentuk Vortex Generator

2.5 Autodesk CFD

Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah salah satu aplikasi komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika *fluida* diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Konsep dasar penggunaan *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan Navier – Stokes dengan prinsip yakni, kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energi.

Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan secara luas untuk memberikan penyelesaian dari masalah secara eksperimen yakni dapat memberikan penjelasan tentang pola aliran yang sulit dan tidak mungkin untuk diketahui dengan menggunakan teknik percobaan dan yang terkait dengan perpindahan panas pada sebuah objek.

Pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan pemodelan turbulensi *K-Epsilon* ($K-\epsilon$) untuk pemodelan kekentalan murni dan *Shear Stress*

Transport (K- ω) untuk pemodelan *full viscous*. Metode penyelesaian *governing equation* adalah metode diskrit dengan 3 (tiga) metode yang digunakan yakni *Finite Element Method (FEM)*, *Finite Volume Method (FVM)*, dan *Finite Difference Method (FDM)*. Berdasarkan 3 (tiga) metode tersebut untuk geometri sederhana dapat menghasilkan matriks solusi dan representasi digital yang sama persis namun, Autodesk CFD menggunakan *Finite Element Method (FEM)* dikarenakan fleksibilitasnya dalam memodelkan berbagai jenis geometri sebuah benda dan beberapa teknik *Finite Volume Method (FVM)* yang berhasil dimasukan sehingga, tidak hanya dapat memprediksikan aliran turbulen kecepatan tinggi (*high speed turbulent flow*) namun, termasuk aliran kompresibel (*compressible flow*).

Kemampuan Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat pengguna aplikasi ini sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia penelitian dan rekayasa. Penggunaanya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi – aplikasi keilmuan. Terdapat tiga langkah umum dalam proses simulasi pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) sebagai berikut.

- 1) Pre Processor

Proses ini meliputi tahapan pembuatan geometri model tertentu, kemudian meshing, penentuan *fluid properties* dan penentuan kondisi batas.

- 2) Solver

Pada tahap ini adalah proses iterasi dari komputer atau lebih umum dikenal dengan proses *running*.

- 3) Post Processor

Tahap ini merupakan proses penampilan hasil *running* seperti grafik, vector, kontur dan animasi dengan pola warna tertentu.

2.6 Hukum Perbandingan

Dalam memakai model fisik, harus ditransfer dari skala model ke skala penuh. Oleh karena itu perlu dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk

keperluan transfer tersebut. gaya spesifik yang bekerja pada model harus mirip dengan yang bekerja pada kapal yang sebenarnya.

Ada tiga hukum kesamaan yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Kesamaan Geometris

Model untuk badan kapal yang mulus dapat dibuat, tetapi jika bada kapal tidak lagi mulus, maka sangatlah sulit untuk dapat menghasilkan tiruan permukaan dari model dalam suatu skala tertentu, walupun permukaan tersebut dibuat sesuai permukaan kapal itu sendiri, karena aliran yang terjadi disepanjang model dan kapal tidak sesuai. Fenomena lapisan batas pada kapal tidak dapat ditiru secara benar pada skala model.

Dari segi permukaan kesamaan geometris umumnya diabaikan dan model kapal dibuat dengan mulus. Permukaan laut dan permukaan air didalam tangki percobaan juga harus mirip.

Kondisi yang kapalnya mulus dan kapal tersebut bergerak di air yang permuaannya rata disebut kondisi tangki. Hamper disemua tangki percobaan tekanan pada permukaan air sama dengan tekanan atmosfer, kondisi demikian juga tidak benar (Sv. Aa. Harvald). Tekanan udara didalam tangki percobaan harus diturunkan.

Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi linier model, misalnya :

Hubungan antara kapal dan model yang dinyatakan dengan skala (λ) :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (2.7)$$

Dimana :

λ = skala perbandingan

L_s = panjang kapal (m)

L_m = panjang model (m)

B_s = lebar kapal (m)

B_m = lebar model (m)

T_s = sarat kapal (m)

$$T_m = \text{sarat model (m)}$$

Kesamaan geometris juga menunjukkan hubungan antara model dan tangki percobaan. Beberapa referensi hubungan antara ukuran tangki percobaan dengan model kapal :

1) TOOD :

$$L_m < T \text{ tangki}$$

$$L_m < \frac{1}{2} B \text{ tangki}$$

2) HARVALD:

$$B_m < \frac{1}{10} B \text{ tangki}$$

$$T_m < \frac{1}{10} T \text{ tangki}$$

3) UNIVERSITY OF NEW CASTLE :

$$L_m < \frac{1}{2} b \text{ tangki}$$

$$B_m < \frac{1}{15} B \text{ tangki}$$

$$A_{o_m} < 0,4 A_o \text{ tangki}$$

2. Kesamaan Kinematis

Rasio kecepatan model harus sama dengan rasio kapal pada skala penuh. Kesamaan kinematis antara model dan kapal lebih menitik beratkan pada hubungan antara kecepatan model dengan kecepatan kapal sebenarnya. Kesamaan ini dapat terpenuhi dengan kesamaan angka Froude (Fr)

$$Fr_m = Fr_s$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}}$$

$$V_m = V_s \sqrt{L_s/L_m} \quad (2.8)$$

$$V_m = V_s \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

Dimana :

Fr = angka froude

L_s = panjang kapal (m)

L_m = panjang model (m)

- V_s = kecepatan kapal (m/dt)
- V_m = kecepatan model (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)
- λ = skala model

3. Kesamaan Dinamis

Jika percobaan model yang dilakukan dimaksudkan untuk mendapatkan informasi mengenai besarnya gaya yang bekerja pada pola yang ditinjau, maka harus ada kesamaan dinamis. Gaya – gaya yang bekerja berkenaan dengan gerakan fluida sekeliling model dan kapal pada setiap titik atau tempat yang besesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, kesatuan angka Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya – gaya inersia dengan viskositas :

Angka Reynol model sama dengan angka Reynol kapal

$$\begin{aligned}
 Re_m &= Re_s \\
 \frac{V_m \cdot L_m}{\nu} &= \frac{V_s \cdot L_s}{\nu} \\
 V_m &= V_s \cdot L_s / L_m \\
 V_m &= V_s \cdot \lambda
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$