

SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN *PROPELLER BOSS CAP FINS*
TERHADAP PENINGKATAN EFISIENSI PROPULSI
KMP *FERRY RORO 750 GT* MENGGUNAKAN METODE CFD**

Disusun dan diajukan oleh:

**AHMAD ZULFIQAR RAMADHAN
D091181002**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN *PROPELLER BOSS CAP FINS*
TERHADAP PENINGKATAN EFISIENSI PROPULSI
KMP *FERRY RORO 750 GT* MENGGUNAKAN METODE CFD**

Disusun dan diajukan oleh

**AHMAD ZULFIQAR RAMADHAN
D091181002**

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 20 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D
NIP 196904042000031002

Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T
NIP 198701312019031007



Program Studi,

Dr. Eng. Arifiansyah Mahmuddin, S.T., M.Inf., Tech., M.Eng
NIP 198102112005011003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini ;
Nama : Ahmad Zulfiqar Ramadhan
NIM : D091181002
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**PENGARUH PENGGUNAAN *PROPELLER BOSS CAP FINS* TERHADAP
PENINGKATAN EFISIENSI PROPULSI KMP *FERRY RORO 750 GT*
MENGUNAKAN METODE CFD**

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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 tersebut.

Gowa, 20 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Ahmad Zulfiqar Ramadhan



ABSTRAK

AHMAD ZULFIQAR RAMADHAN. PENGARUH PENGGUNAAN *PROPELLER BOSS CAP FINS* TERHADAP PENINGKATAN EFISIENSI PROPULSI KMP *FERRY RORO 750 GT* MENGGUNAKAN METODE CFD (dibimbing oleh Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D dan Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T)

International Maritime Organization (IMO) telah menetapkan dua standar dalam penghematan bahan bakar pada kapal, salah satunya yaitu *Energy Efficiency Design Index* (EEDI) yang bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya pemanasan global dan menipisnya bahan bakar. Adapun hal yang perlu diperhatikan dalam mengurangi penggunaan bahan bakar pada kapal adalah dengan memperhatikan perencanaan sistem penggerak. Performa penggerak pada kapal dapat ditingkatkan dengan memasang komponen bernama *Energy Saving Device* (ESD) yang memiliki tujuan untuk menghemat energi dengan mengurangi terjadinya kehilangan energi selama kapal beroperasi. Salah satu jenis ESD yang sudah terkenal dan banyak digunakan saat ini adalah *Propeller Boss Cap Fins* (PBCF). PBCF dipasang di belakang *propeller* atau lebih tepatnya pada *boss cap* dan membuat aliran yang ditimbulkan pada *hub propeller* menjadi selaras dengan aliran pada daun *propeller*. Hal ini dapat mengembalikan *rotational energy* yang hilang dan mengurangi terjadinya kavitasi. Selain itu, PBCF juga mempunyai beberapa kelebihan, misalnya desain yang relatif sederhana dan mudah dalam pemasangan maupun perawatannya, investasinya cukup rendah, tidak perlu persetujuan klasifikasi, serta mampu meningkatkan gaya dorong dan efisiensi dari *propeller*. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan PBCF terhadap karakteristik *propeller* yang meliputi *thrust*, *torque*, peningkatan efisiensi propulsi dan pengaruh variasi diameter dari PBCF pada kecepatan konstan 6.618 m/s. Pada penelitian ini dilakukan variasi diameter *fins* yaitu D 0.25, D 0.30, D 0.35, D 0.40 dan D 0.45. Jumlah *fins* sebanyak 4 buah pada masing-masing *propeller* dengan sudut kemiringan sebesar 60°. Metode pendekatan yang digunakan yaitu metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) Ansys CFX 18.1. Hasil penelitian menunjukkan penambahan *cap fins* pada *propeller* kapal memiliki pengaruh dalam meningkatkan *thrust* dan menurunkan *torque*. Sedangkan untuk efisiensi propulsi optimum dicapai saat penggunaan PBCF D 0,40 yakni 19.409%.

Kata Kunci: *Propeller Boss Cap Fins*, *Computational Fluid Dynamics*, Efisiensi Propulsi



ABSTRACT

AHMAD ZULFIQAR RAMADHAN. THE EFFECT OF USING PROPELLER BOSS CAP FINS ON INCREASING PROPULSION EFFICIENCY OF KMP FERRY RORO 750 GT USING CFD METHOD (supervised by Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D and Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T)

The International Maritime Organization (IMO) has established two standards for fuel savings in ships, one of which is the Energy Efficiency Design Index (EEDI). This standard aims to address global warming and the depletion of fuel resources. To reduce fuel consumption on ships, it is crucial to focus on the planning of their propulsion systems. The performance of a ship's propulsion system can be enhanced by installing a component known as the Energy Saving Device (ESD), which aims to conserve energy by reducing energy loss during ship operations. One well-known and widely used type of ESD today is the Propeller Boss Cap Fins (PBCF). The PBCF is installed behind the propeller, specifically on the boss cap, and aligns the flow generated at the propeller hub with the flow through the propeller blades. This helps to recover lost rotational energy and reduces cavitation. Additionally, the PBCF offers several advantages, such as a relatively simple design, ease of installation and maintenance, low investment cost, no need for classification approval, and an ability to enhance thrust and propeller efficiency. This study aims to evaluate the impact of adding a PBCF on propeller characteristics, including thrust, torque, propulsion efficiency, and the effect of varying the diameter of the PBCF at a constant speed of 6.618 m/s. The study examines various fin diameters: D 0.25, D 0.30, D 0.35, D 0.40, and D 0.45. Each propeller has 4 fins with an angle of inclination of 60 degrees. The approach used is Computational Fluid Dynamics (CFD) with Ansys CFX 18.1. The results indicate that adding cap fins to a ship's propeller influences the increase in thrust and reduction in torque. The optimum propulsion efficiency is achieved with a PBCF of diameter D 0.40, at 19.409%.

Keywords: Propeller Boss Cap Fins, Computational Fluid Dynamics, Propulsion Efficiency



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB 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	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kapal <i>Ferry</i>	5
2.2 Tahanan Kapal	6
2.2.1 Definisi Tahanan Kapal	6
2.2.2 Komponen Tahanan Kapal.....	7
2.2.3 Perhitungan Tahanan Kapal	8
2.3 <i>Propeller</i>	10
2.3.1 Definisi <i>Propeller</i>	10
2.3.2 <i>Twin Screw Propeller</i>	10
2.3.3 Geometri <i>Propeller</i>	11
2.3.4 Karakteristik <i>Propeller</i> Kondisi <i>Open Water</i>	12
2.3.5 Karakteristik <i>Propeller</i> di Belakang Lambung.....	13
2.3.6 Parameter Aliran di Sekeliling <i>Propeller</i>	15
2.4 <i>Propeller Boss Cap Fins (PBCF)</i>	17
2.4.1 Definisi PBCF.....	17
2.4.2 Mekanisme PBCF	18
2.4.3 Penggunaan <i>Propeller</i> Tanpa PBCF.....	19
2.4.4 Penggunaan <i>Propeller</i> Dengan PBCF	19
2.4.5 Parameter Desain PBCF	20
2.5 <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	21
2.5.1 Konsep CFD	21
2.5.2 Simulasi CFD.....	25
2.5.3 <i>Grid Convergence Index (GCI)</i>	28
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	30
3.2 Lokasi Penelitian	30
3.3 Waktu Penelitian.....	30
3.4 Literatur	30



3.3	Pengumpulan Data	30
3.3.1	Data Ukuran Utama Kapal.....	30
3.3.2	Data Ukuran <i>Propeller</i>	32
3.3.3	Data Ukuran <i>Propeller Boss Cap Fins</i>	32
3.4	Pemodelan Struktur	32
3.5	Simulasi <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD)	33
3.6	Diagram Alir Penelitian	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Gambaran Umum.....	35
4.2	Pemodelan Lambung Kapal, <i>Propeller</i> dan <i>Propeller Boss Cap Fins</i>	35
4.2.1	Pemodelan Lambung Kapal.....	35
4.2.2	Pemodelan <i>Propeller</i>	36
4.2.3	Pemodelan <i>Propeller Boss Cap Fins</i> (PBCF)	37
4.3	Tahap Simulasi CFD	39
4.3.1	Tahap <i>Geometry</i>	40
4.3.2	Tahap <i>Mesh</i>	40
4.3.3	Tahap <i>Setup</i>	40
4.3.4	Tahap <i>Solution</i>	40
4.3.5	Tahap <i>Results</i>	40
4.4	Analisis Simulasi <i>Propeller</i> (<i>Open Water Test</i>)	41
4.4.1	Pengaturan CFD.....	41
4.4.2	Validasi Simulasi	47
4.5	Analisis Simulasi Lambung (<i>Resistance Test</i>).....	48
4.5.1	Pengaturan CFD.....	48
4.5.2	Validasi Simulasi	54
4.6	Analisis Simulasi <i>Propeller</i> dan Lambung (<i>Self Propulsion Test</i>).....	57
4.6.1	Pengaturan CFD.....	57
4.6.2	Validasi Simulasi	70
4.6.3	Perbandingan Simulasi <i>Open Water Test</i> dan <i>Self Propulsion Test</i> ..	72
4.6.4	Hasil Simulasi CFD	74
BAB 5 PENUTUP		79
5.1	Kesimpulan	79
5.1	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA		80
LAMPIRAN.....		82



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 KMP <i>Ferry</i> Ro-Ro 750 GT	5
Gambar 2 <i>Twin Screw Propeller</i>	11
Gambar 3 Geometri <i>Propeller</i>	11
Gambar 4 Diagram $K_T - K_Q - J$ (<i>Open Water Test</i>)	13
Gambar 5 <i>Propeller Boss Cap Fins</i>	17
Gambar 6 Beberapa Jenis Kapal yang menggunakan PBCF	17
Gambar 7 Pergantian <i>Conventional Cap</i> Menjadi PBCF	18
Gambar 8 <i>Propeller</i> Tanpa PBCF	19
Gambar 9 <i>Propeller</i> Dengan PBCF	20
Gambar 10 Bentuk <i>Fins</i>	20
Gambar 11 Pemasangan Sudut <i>Fins</i>	21
Gambar 12 Kemiringan <i>Fins</i>	21
Gambar 13 <i>Lines Plan</i> KMP <i>Ferry</i> Ro-Ro 750 GT	31
Gambar 14 Model KMP <i>Ferry</i> Ro-Ro 750 GT Pada Maxsurf	32
Gambar 15 Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 16 Model Lambung KMP <i>Ferry</i> Ro-Ro 750 GT	36
Gambar 17 Model <i>Propeller</i> KMP <i>Ferry</i> Ro-Ro 750 GT	37
Gambar 18 Model Variasi Diameter <i>Propeller Boss Cap Fins</i> (PBCF)	38
Gambar 19 Model <i>Propeller Boss Cap Fins</i> (PBCF) Pada <i>Propeller</i>	38
Gambar 20 Model PBCF Pada <i>Propeller</i> dan Lambung Kapal	39
Gambar 21 Tahap Simulasi <i>Software</i> Ansys CFX R18.1	39
Gambar 22 Ukuran <i>Boundary Condition</i> Simulasi <i>Open Water Test</i>	41
Gambar 23 Meshing <i>Propeller</i> 1 dan 2 Simulasi <i>Open Water Test</i>	42
Gambar 24 <i>Boundary Meshing Fine</i> Simulasi <i>Open Water Test</i>	42
Gambar 25 <i>Setup Condition</i> Simulasi <i>Open Water Test</i>	46
Gambar 26 Proses <i>Running Solution</i> Simulasi <i>Open Water Test</i>	46
Gambar 27 Contoh Visualisasi Aliran <i>Results</i> Simulasi <i>Open Water Test</i>	47
Gambar 28 Grafik Perbandingan Pembacaan Wageningen dan Simulasi Ansys ..	47
Gambar 29 Ukuran <i>Boundary Condition</i> Simulasi <i>Resistance Test</i>	49
Gambar 30 Meshing <i>Hull</i> Simulasi <i>Resistance Test</i>	49
Gambar 31 <i>Boundary Meshing Fine</i> Simulasi <i>Resistance Test</i>	50
Gambar 32 <i>Setup Condition</i> Simulasi <i>Resistance Test</i>	53
Gambar 33 Proses <i>Running Solution</i> Simulasi <i>Resistance Test</i>	54
Gambar 34 Contoh Visualisasi Aliran <i>Results</i> Simulasi <i>Resistance Test</i>	54
Gambar 35 Grafik Perbandingan Tahanan Kapal Simulasi <i>Resistance Test</i>	55
Gambar 36 <i>Velocity Contour</i> Pada Simulasi <i>Resistance Test</i>	56
Gambar 37 Ukuran <i>Boundary Condition</i> Simulasi <i>Self Propulsion Test</i>	57
Gambar 38 Meshing <i>Hull</i> Simulasi <i>Self Propulsion Test</i>	58
Gambar 39 <i>Boundary Meshing Coarse</i> Simulasi <i>Self Propulsion Test</i>	59
Gambar 40 <i>Boundary Meshing Medium</i> Simulasi <i>Self Propulsion Test</i>	59
Gambar 41 <i>Boundary Meshing Fine</i> Simulasi <i>Self Propulsion Test</i>	59
Gambar 42 Resolusi <i>Meshing Coarse (Default)</i>	60
Gambar 43 Resolusi <i>Meshing Medium (Default)</i>	60
Gambar 44 Resolusi <i>Meshing Fine (Default)</i>	60
Gambar 45 Resolusi <i>Meshing Coarse (Default + BS + FS)</i>	61



Gambar 46 Resolusi <i>Meshing Medium (Default + BS + FS)</i>	61
Gambar 47 Resolusi <i>Meshing Fine (Default + BS + FS)</i>	61
Gambar 48 <i>Grid Independence</i> Terhadap Nilai <i>Thrust Coefficient</i>	63
Gambar 49 <i>Grid Independence</i> Terhadap Nilai <i>Torque Coefficient</i>	63
Gambar 50 <i>Setup Condition</i> Simulasi <i>Self Propulsion Test</i>	68
Gambar 51 Proses <i>Running Solution</i> Simulasi <i>Self Propulsion Test</i>	69
Gambar 52 Contoh Visualisasi Aliran <i>Results</i> Simulasi <i>Self Propulsion Test</i>	69
Gambar 53 Grafik Perbandingan Tahanan Kapal Simulasi <i>Self Propulsion Test</i> . 70	
Gambar 54 <i>Velocity Contour</i> Pada Simulasi <i>Self Propulsion Test</i>	71
Gambar 55 Hubungan Kecepatan Kapal Terhadap Nilai <i>Thrust</i>	72
Gambar 56 Hubungan Kecepatan Kapal Terhadap Nilai <i>Torque</i>	73
Gambar 57 Grafik Hubungan <i>Thrust</i> Pada Variasi Diameter PBCF	74
Gambar 58 Grafik Hubungan <i>Torque</i> Pada Variasi Diameter PBCF	75
Gambar 59 Grafik Hubungan Efisiensi Propulsi Pada Variasi Diameter PBCF ..	78



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data Ukuran Utama Kapal.....	31
Tabel 2 Koefisien Bentuk Kapal.....	31
Tabel 3 Data <i>Propeller</i>	32
Tabel 4 Data <i>Propeller Boss Cap Fins</i>	32
Tabel 5 Validasi Model Lambung Kapal dengan Maxsurf.....	36
Tabel 6 <i>Setup Domain Propeller 1 dan 2 Simulasi Open Water Test</i>	42
Tabel 7 <i>Setup Domain Water Simulasi Open Water Test</i>	43
Tabel 8 <i>Setup Boundary In Water (Inlet) Simulasi Open Water Test</i>	43
Tabel 9 <i>Setup Boundary In Water (Outlet) Simulasi Open Water Test</i>	44
Tabel 10 <i>Setup Boundary In Water (Wall) Simulasi Open Water Test</i>	44
Tabel 11 <i>Setup Analysis Type Simulasi Open Water Test</i>	45
Tabel 12 <i>Setup Solver Control Simulasi Open Water Test</i>	45
Tabel 13 <i>Setup Output Control Simulasi Open Water Test</i>	45
Tabel 14 Rekapitulasi Nilai Pembacaan Wakeningen dan Simulasi Ansys	48
Tabel 15 <i>Setup Domain Hull Simulasi Resistance Test</i>	50
Tabel 16 <i>Setup Domain Water Simulasi Resistance Test</i>	50
Tabel 17 <i>Setup Boundary In Water (Inlet) Simulasi Resistance Test</i>	51
Tabel 18 <i>Setup Boundary In Water (Outlet) Simulasi Resistance Test</i>	51
Tabel 19 <i>Setup Boundary In Water (Wall) Simulasi Resistance Test</i>	52
Tabel 20 <i>Setup Analysis Type Simulasi Resistance Test</i>	52
Tabel 21 <i>Setup Solver Control Simulasi Resistance Test</i>	53
Tabel 22 <i>Setup Output Control Simulasi Resistance Test</i>	53
Tabel 23 Tahanan Kapal Pada Simulasi <i>Resistance Test</i>	55
Tabel 24 <i>Grid Independence</i>	62
Tabel 25 Detail Tiga Solusi <i>Mesh</i>	64
Tabel 26 Perhitungan <i>Discretization Error</i>	64
Tabel 27 <i>Setup Domain Hull Simulasi Self Propulsion Test</i>	65
Tabel 28 <i>Setup Domain Propeller 1 dan 2 Simulasi Self Propulsion Test</i>	65
Tabel 29 <i>Setup Domain Water Simulasi Self Propulsion Test</i>	66
Tabel 30 <i>Setup Boundary In Water (Inlet) Simulasi Self Propulsion Test</i>	66
Tabel 31 <i>Setup Boundary In Water (Outlet) Simulasi Self Propulsion Test</i>	67
Tabel 32 <i>Setup Boundary In Water (Wall) Simulasi Self Propulsion Test</i>	67
Tabel 33 <i>Setup Analysis Type Simulasi Self Propulsion Test</i>	67
Tabel 34 <i>Setup Solver Control Simulasi Self Propulsion Test</i>	68
Tabel 35 <i>Setup Output Control Simulasi Self Propulsion Test</i>	68
Tabel 36 Tahanan Kapal Pada Simulasi <i>Self Propulsion Test</i>	70
Tabel 37 Perbandingan Nilai <i>Thrust</i>	72
Tabel 38 Perbandingan Nilai <i>Torque</i>	73
Tabel 39 <i>Thrust Simulasi CFX</i>	74
Tabel 40 <i>Torque Simulasi CFX</i>	75
Tabel 41 Efisiensi Propulsi	77



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
EEDI	<i>Energy Efficiency Design Index</i>
ESD	<i>Energy Saving Device</i>
PBCF	<i>Propeller Boss Cap Fins</i>
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
Ro-Ro	<i>Roll On – Roll Off</i>
F_n	<i>Froud Number</i>
V	Kecepatan Benda (m/s)
L	Panjang Benda (m)
g	Percepatan Gravitasi (m/s ²)
RT	Tahanan Total (kN)
C_T	Koefisien Tahanan Total
ρ	Massa Jenis Air Laut (1025 kg/m ³)
V_s	Kecepatan Dinas (m/s)
S	Luas Bidang Basah (m ²)
ITTC	<i>International Towing Tank Conference</i>
R_f	Tahanan Gesek (kN)
R_r	Tahanan Sisa (kN)
R_v	Tahanan Viskositas (kN)
R_{wp}	Tahanan Pola Gelombang (kN)
∇	Volume <i>Displacement</i> (m ³)
KT	Koefisien <i>Thrust</i>
KQ	Koefisien <i>Torque</i>
J	Koefisien <i>Advanced</i>
η_o	Efisiensi <i>Propeller</i>
V_a	Kecepatan <i>Advanced</i> (m/s)
n	Putaran <i>Propeller</i> (rps)
D	Diameter <i>Propeller</i> (m)
T	<i>Thrust</i> (kN)
Q	<i>Torque</i> (kNm)
PE	Daya Efektif (kW)
PD	Daya Delivery (kW)
	Jumlah <i>Grid</i> /Elemen
	Viskositas Fluida



Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
t	Waktu (s)
Et	Energi Total (kJ)
P	Tekanan (N/m ²)
Q	<i>Heat Flux</i> (kW/m ²)
Re	Bilangan <i>Reynold</i>
Pr	Bilangan <i>Prandtl</i>
Cb	<i>Block Coefficient</i>
Cp	<i>Prismatic Coefficient</i>
Cm	<i>Midship Coefficient</i>
Cw	<i>Waterline Coefficient</i>
GCI	<i>Grid Convergence Index</i>
h	<i>Mesh</i> atau Jumlah <i>Grid</i> yang Representatif
∅	Variabel Tujuan Studi Simulasi



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Model <i>Propeller Boss Cap Fins</i> (PBCF) Pada <i>Propeller</i>	84
Lampiran 2 Model PBCF Pada <i>Propeller</i> dan Lambung Kapal	86
Lampiran 3 Tabel Hasil Eksperimen KMP <i>Ferry Ro-Ro 750 GT</i>	88
Lampiran 4 Data Maxsurf KMP <i>Ferry Ro-Ro 750 GT</i>	89
Lampiran 5 Tahanan Holtrop Maxsurf KMP <i>Ferry Ro-Ro 750 GT</i>	90
Lampiran 6 Nilai Pembacaan Diagram Wageningen B 4 – 55	91
Lampiran 7 Visualisasi <i>Contour</i> Simulasi <i>Open Water Test</i>	92
Lampiran 8 Visualisasi <i>Contour</i> 6 Kecepatan Kapal (<i>Bottom View</i>).....	95
Lampiran 9 Visualisasi <i>Contour</i> 6 Kecepatan Kapal (<i>Top View</i>).....	96
Lampiran 10 Visualisasi <i>Contour</i> 6 Kecepatan Kapal (<i>Bottom View</i>).....	98
Lampiran 11 Visualisasi <i>Contour</i> 6 Kecepatan Kapal (<i>Top View</i>).....	99
Lampiran 12 Visualisasi <i>Streamline</i> Variasi PBCF.....	101
Lampiran 13 Visualisasi <i>Contour</i> Variasi PBCF.....	119



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillah rabbil'alamiin, puji syukur kepada Allah subhanawata'ala atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Berbagai macam kendala telah penulis lewati dalam proses penyelesaian skripsi ini, namun berkat pertolongan dan hidayah-Nya sehingga penelitian ini dapat disusun dengan baik.

Penelitian ini merupakan persyaratan untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwasanya skripsi dengan judul "**Pengaruh Penggunaan Propeller Boss Cap Fins Terhadap Peningkatan Efisiensi Propulsi KMP Ferry Ro-Ro 750 GT Menggunakan Metode CFD**" ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan di dalamnya. Oleh karena itu, penulis sangat membutuhkan kritik dan saran dari para pembaca agar menjadi bahan bagi penulis dalam proses membenahan diri untuk menjadi lebih baik lagi kedepannya.

Dalam penyusunan skripsi ini tentunya sangat banyak pihak yang telah membantu penulis, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Ibu Dahniar dan Bapak Mulyadi, S.E selaku orang tua penulis yang senantiasa melangitkan doanya dan memberikan dukungan secara moril dan materil.
 2. Bapak Dr. Eng. Ir. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
 3. Bapak Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T, Ph.D selaku ketua Laboratorium Propulsi Kapal Departemen Teknik Sistem Perkapalan, dosen pembimbing akademik sekaligus dosen pembimbing yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu penulis dengan memberikan bimbingan, kritik dan saran.
- Bapak Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu penulis dengan memberikan bimbingan, kritik dan saran.



5. Ibu Hasnawiya Hasan, S.T., M.Eng.Sc dan Ibu Balqis Shintarahayu, S.T., M.Sc selaku dosen penguji.
6. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan bekal pengetahuan dan keterampilan.
7. Bapak Abdul Rahman, S.Sos selaku staff pengolah data kependidikan dan Kak Indah Nur Hahyu Tanwir, A.Md.A.B selaku staff administrasi Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu penulis dalam hal administratif.
8. Saudara-saudari Sister18 dan Thruzter18 yang sudah berjuang bersama dan selalu memberikan *support* serta bantuannya untuk penulis dan telah mewarnai masa-masa kuliah penulis dalam suka maupun duka.
9. Kakanda Senior Cruizer16 yang senantiasa berbagi ilmu dan pengalamannya pada penulis dan kawan-kawan.
10. Keluarga besar dan saudara-saudari Laboratorium Propulsi Kapal yang sudah membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
11. Kakanda Umami Kalsum A.L (SP'16), Umami Kalsum H (SP'17) dan Ridha Sulistyawaty Rasyid (SP'17) yang senantiasa membantu penulis dalam menyusun skripsi dengan memberikan arahan dan masukan.
12. Saudara Annursyam Maulana S (SP'18) serta Saudari Sri Ahyuni Amelia (SP'18), Nur Annisa Arif (SP'18) dan Lela Sudirman (SP'18) yang selalu memberikan semangat, meluangkan waktunya dengan berbagai motivasi, cerita dan pengalaman untuk penulis.
13. Semua orang yang terlibat dan tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis secara pribadi serta kepada para pembaca yang menjadikan skripsi ini sebagai acuan atau pedoman dalam pembelajaran dalam menyusun skripsi. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya pada kita semua. Aamiin.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Gowa, 20 Agustus 2024

Penulis,

Ahmad Zulfiqar Ramadhan



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar merupakan salah satu faktor penting dalam pencapaian pembangunan berkelanjutan. Namun, jumlah bahan bakar semakin langka dan harganya terus meningkat. Hal ini tentu saja disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan energi baik di negara maju maupun berkembang. Oleh karena itu, pengurangan konsumsi bahan bakar menjadi perhatian utama pemilik kapal, dan banyak sektor industri, terutama industri perkapalan yang berupaya mengurangi konsumsi bahan bakar.

Sejak tahun 2013, *International Maritime Organization* (IMO) telah menetapkan dua standar konsumsi bahan bakar kapal, termasuk *Energy Efficiency Design Index* (EEDI). Meskipun demikian, perencanaan komponen penggerak suatu kapal atau yang biasa disebut dengan *propulsor* merupakan salah satu hal yang sangat penting untuk diperhatikan guna mengurangi konsumsi bahan bakar suatu kapal.

Propulsor merupakan salah satu hal yang dapat diperhatikan terutama untuk mengurangi konsumsi bahan bakar pada kapal. *Propulsor* merupakan suatu alat penggerak yang memungkinkan kapal untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Adapun salah satu komponen penggerak mekanis suatu kapal yang memerlukan bahan bakar adalah *propeller* (Rachmat, dkk., 2021). Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja propulsi kapal adalah dengan memasang perangkat penghemat energi yang disebut ESD (*Energy Saving Device*).

Energy Saving Device (ESD) adalah alat pengarah aliran tetap yang ditempatkan di dekat baling-baling dan dapat ditempatkan di depan baling-baling, di lambung kapal, di belakang baling-baling, di kemudi, atau di baling-baling itu sendiri (Mewis, et.al., 2011). Tujuannya adalah untuk menghemat energi dengan mengurangi terjadinya kehilangan energi selama operasional kapal. ESD diperkenalkan sekitar abad ke-20 dan mendapatkan popularitas pada akhir tahun lan awal tahun 1980an selama krisis minyak global (De Jong, 2011). desain ESD yang dikembangkan, sebagian besar tidak cocok untuk an di laut pada saat inovasi ini diperkenalkan. Hal ini dikarenakan masih egagalan konstruksi terkait ESD dan terdapat cacat desain yang tidak



memungkinkan untuk dipasang pada kapal tertentu. Seiring berjalannya waktu, perkembangan ESD menjadi diterima dan dapat digunakan pada hampir semua jenis kapal (Rachmat, dkk., 2021). Ada banyak tipe ESD yang tersedia untuk digunakan di kapal, termasuk *Pre-swirls*, *Kort Nozzle*, WED, dan *Propeller Boss Cap Fins* (PBCF). Namun jenis ESD yang saat ini terkenal dan banyak digunakan adalah *Propeller Boss Cap Fins* (PBCF) (Nowruzi, et.al., 2019).

Propeller Boss Cap Fins (PBCF) dapat diartikan sebagai penambahan sirip kecil pada *hub propeller* dengan tujuan untuk mengurangi *hub vortex* (Seo, et al., 2016). Dengan menambahkan PBCF diharapkan aliran yang dihasilkan pada *propeller hub* dan aliran pada daun *propeller* akan tersinkronisasi. Hal ini memungkinkan energi rotasi yang hilang dapat diperoleh kembali dan mengurangi terjadinya kavitasi (Jatmiko, dkk., 2021). Selain itu, PBCF juga memiliki beberapa keunggulan antara lain desain yang relatif sederhana dan mudah, baik dari segi pemasangan maupun perawatannya. Selain itu, investasinya juga sangat rendah, tidak memerlukan persetujuan klasifikasi, dan dapat meningkatkan gaya dorong dan efisiensi *propeller* (Syafriansyah, 2016).

Dalam penelitian Muhammad Iqbal dkk. pada pengujian *open water* telah menunjukkan bahwa penambahan PBCF meningkatkan koefisien *thrust* dan *torque* (Nikmatullah, et.al., 2022). Di sisi lain, Trimulyono dkk. membuktikan bahwa penggunaan ESD PBCF pada *propeller B-Series* berhasil meningkatkan kinerja *propeller* berupa peningkatan gaya dorong sebesar 3-4% (Trimulyono, dkk., 2013). Lebih lanjut, penelitian Syafriansyah menunjukkan bahwa *propeller* yang diolah dengan PBCF dapat meningkatkan *thrust* sebesar 1% dan menurunkan *torque* kurang dari 2%. Selain itu, efisiensi juga ditingkatkan dengan menggunakan PBCF, dengan peningkatan yang dicapai sebesar $\pm 4\%$ dibandingkan dengan menggunakan *propeller* tanpa PBCF (Syafriansyah, 2016).

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian kali ini ingin mengetahui bagaimana pengaruh pemasangan PBCF pada Kapal KMP Ferry Ro-Ro 750 GT yang menggunakan *twin screw propeller* dengan tipe *propeller B-Series*, dimana aliran fluida yang terjadi pada *propeller* tersebut akan dianalisa dalam metode *ional Fluid Dynamics* (CFD) dengan menggunakan *software* Ansys CFX.



1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat diidentifikasi bagaimana mengembangkan penelitian ini. Beberapa permasalahan yang akan dianalisa pada penelitian ini meliputi :

1. Bagaimana karakteristik *propeller* dari penambahan *propeller boss cap fins* pada *twin screw propeller* KMP Ferry Ro-Ro 750 GT?
2. Bagaimana efisiensi propulsi yang dihasilkan dari penambahan *propeller boss cap fins* pada *twin screw propeller* KMP Ferry Ro-Ro 750 GT?
3. Bagaimana pengaruh variasi diameter dari *propeller boss cap fins* pada *twin screw propeller* KMP Ferry Ro-Ro 750 GT terhadap peningkatan efisiensi propulsi?

1.3 Batasan Masalah

Terkait masalah yang timbul maka perlu adanya pembatasan masalah agar sesuai dengan permasalahan dan tujuan yang diharapkan serta dapat mempermudah dalam melakukan analisa. Maka adapun batasan masalah yang dibahas pada penelitian ini meliputi :

1. *Propeller* yang digunakan adalah tipe *Propeller B-Series* yang berjumlah 4 daun dengan jenis *twin screw propeller*.
2. Getaran *propeller* diabaikan.
3. Analisa biaya tidak diperhitungkan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan pengaruh penambahan *propeller boss cap fins* terhadap karakteristik *propeller* pada *twin screw propeller* KMP Ferry Ro-Ro 750 GT.
2. Untuk mendapatkan seberapa besar pengaruh penambahan *propeller boss cap fins* pada *twin screw propeller* KMP Ferry Ro-Ro 750 GT terhadap peningkatan efisiensi propulsi.



Untuk mendapatkan pengaruh variasi diameter dari *propeller boss cap fins* pada *twin screw propeller* KMP Ferry Ro-Ro 750 GT terhadap peningkatan efisiensi propulsi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini dilakukan yaitu sebagai referensi untuk penggunaan *propeller boss cap fins* pada sistem propulsi KMP Ferry Ro-Ro 750 GT yang menggunakan *twin screw propeller*.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan digunakan untuk mempermudah menemukan gambaran dalam penulisan dan penyusunan skripsi agar supaya pembaca dapat memahami uraian dan makna secara sistematis. Adapun sistematika dalam penulisan skripsi ini yaitu sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini merupakan konsep dasar penyusunan skripsi yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diberikan penjelasan mengenai teori dasar yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini yaitu teori dasar mengenai kapal *ferry*, tahanan kapal, *propeller*, *propeller boss cap fins* dan CFD (*computational fluid dynamic*).

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan tahapan-tahapan yang berupa proses yang dimulai dari mengidentifikasi masalah yang ada hingga hasil akhir yang diharapkan dimana pada bab ini meliputi lokasi dan waktu penelitian, studi literatur, pengumpulan data, pemodelan struktur, simulasi CFD dan diagram alir penelitian.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan gambaran umum, validasi 6 kecepatan kapal serta hasil simulasi CFD dan pembahasan.

BAB 5 : PENUTUP

Bab ini akan disajikan secara singkat kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan dan juga memuat saran-saran bagi pihak yang berkepentingan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal *Ferry*

Kapal *Ferry* atau yang juga biasa dikenal dengan kapal penyeberangan adalah sebuah kapal transportasi jarak dekat yang memenuhi syarat-syarat pelayaran di laut yang digunakan untuk menyelenggarakan perhubungan tetap, misalnya saja pelayaran antar pulau. Kapal *ferry* memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem pengangkutan terutama bagi kota-kota yang berada di pesisir pantai. Selain itu juga dengan adanya kapal *ferry* memungkinkan untuk membuat transit secara langsung diantara kedua tempat tujuan anda dengan biaya yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan jembatan ataupun terowongan. Oleh karena itu kegunaan yang utama dari kapal *ferry* ini adalah digunakan sebagai sarana penyeberangan termasuk dalam menyeberangkan kendaraan atau alat transportasi darat, misalnya saja seperti mobil, truk, dan lain sebagainya. Perlu diketahui bahwa kapal *ferry* juga banyak dikenal sebagai kapal ro-ro (roll on - roll off) dan kapal *ferry* memiliki banyak sekali jenis dan model untuk mendukung fungsi dan kegunaannya sebagai kapal penyeberangan. Sebenarnya ada berbagai kendaraan air yang digunakan sebagai kapal *ferry*, namun ada beberapa hal yang membedakan misalnya saja tergantung dengan jarak perjalanan, kapasitas kapal, kecepatan yang diperlukan hingga keadaan air yang dilalui.



Gambar 1 KMP *Ferry* Ro-Ro 750 GT

ur : ([KMP BONTOHARU, Passenger/Ro-Ro Cargo Ship - Scheepsdetails en](https://www.scheepsdetails.nl/en/vessel/IMO-9210593-KMP-BONTOHARU-Passenger-Ro-Ro-Cargo-Ship)
[huidige positie - IMO 9210593 - VesselFinder](https://www.vesselfinder.com/vessel/IMO-9210593-KMP-BONTOHARU-Passenger-Ro-Ro-Cargo-Ship))

Kapal *Ferry* Ujung Ganda, banyak dijumpai dan digunakan di negara yang hanya digunakan untuk mengangkut orang saja. Kapal ini memiliki



bagian depan dan belakang yang dapat ditukar, sehingga kapal ini dapat berlayar bolak-balik tanpa harus memutar terlebih dahulu yang disebabkan karena jenis ini memang memiliki dua kemudi yang berada di bagian depan dan belakang seperti *commuter line*. (2) Kapal *Ferry Hydrofoil*, banyak digunakan di daerah-daerah yang berada di Eropa seperti Polandia, Rusia, Hungaria, Yunani dan sebagainya, sedangkannya untuk di wilayah Asia sendiri biasanya dapat ditemukan di negara Hongkong, Macau dan Jepang. Kapal ini memiliki bentuk yang cukup unik dikarenakan tampak memiliki kaki dan memiliki draft kedalaman yang pendek sehingga menyebabkan kapal ini terlihat seperti melayang di atas air saat berlayar. (3) *Hovercraft*, sangat populer di Inggris dan banyak digunakan untuk mengangkut kendaraan darat seperti mobil, truk dan lain sebagainya. Kapal ini mirip sekali dengan *hovercraft boat* namun dengan ukuran yang lebih besar. (4) *Catamaran*, sangat populer dan banyak di operasikan di negara Inggris dan India. Kapal ini termasuk dalam kategori dengan kecepatan yang tinggi dan memiliki dua lambung. (5) *Cable Ferry*, banyak dioperasikan di kawasan sungai Ciliwung Indonesia. Kapal ini berfungsi sebagai sarana penyeberangan sungai yang tidak terlalu lebar. (6) *Roll On/Roll Of*, kapal berukuran besar dan dirancang dengan memiliki dua pintu *ramp doors* yaitu pintu depan dan pintu belakang konvensional dimana kendaraan dapat keluar masuk dengan mudah.

2.2 Tahanan Kapal

2.2.1 Definisi Tahanan Kapal

Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa hingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. *Resistance* merupakan istilah yang disukai dalam hidrodinamika kapal, sedangkan istilah yang disukai dalam aerodinamika untuk benda benam (Harvald, 1992).

Melihat bahwa kapal bergerak di bidang fluida cair yang nilai kerapatan massanya lebih besar air udara sehingga semakin besar kecepatan dan dimensi suatu ka semakin besar pula energi yang dibuang untuk menghasilkan energi gelombang (*wave*), gelombang inilah yang kemudian bergesekan dengan kapal dan arahnya melawan arah kapal sehingga menimbulkan gaya an (Harvald, 1992).



Tahanan total pada kapal terdiri dari komponen-komponen bagian kapal yang mempunyai kemungkinan menimbulkan gaya hambat atau *resistance*, pada prinsipnya ada dua bagian kapal yang mengalami gaya hambat, yaitu bagian kapal yang terbenam dan area bagian kapal di atas permukaan air karena udara juga mempunyai faktor penghambat pada kondisi tertentu. Tahanan total di gunakan untuk menentukan besar *Effective Horse Power* (EHP) yang didefinisikan sebagai daya yang diperlukan suatu kapal untuk bergerak dengan kecepatan sebesar kecepatan *service* dan mampu mengatasi gaya hambat atau tahanan sebesar tahanan total dan lebih penting untuk mengetahui seberapa besar daya dari mesin utama agar kapal yang akan dibuat tidak mengalami kelebihan daya yang besar atau justru tidak bisa memenuhi kecepatan karena daya yang diprediksikan tidak bisa mengatasi besar tahanan kapal. Tahanan kapal biasanya dinyatakan sebagai fungsi dari bilangan Froude (Arismunandar & Hariyanto, 2013),

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g.L}} \quad (1)$$

Dimana V = kecepatan benda, L = panjang benda, g = percepatan gravitasi

Hubungan tersebut ditunjukkan pada koefisien tahanan kapal,

$$C = \frac{R}{\frac{1}{2}\rho V^2 S} \quad (2)$$

Oleh karena itu, secara sederhana tahanan total kapal dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Adji, 2005) :

$$RT = 0.5 \times \rho \times C_T \times S \times V_s^2 \quad (3)$$

Dimana :

RT = Hambatan total (kN)

C_T = Koefisien tahanan total

ρ = Massa jenis air laut, yaitu 1,025 (kg/m³)

V_s = Kecepatan dinas (m/s)

S = *Wetted surface area* (m²)

2.2.2 Komponen Tahanan Kapal

ITTC (*International Towing Tank Conference*) menetapkan definisi tentang dan komponennya seperti diuraikan berikut ini (Arismunandar & Hariyanto, 2013).

Tahanan Gesek, R_f , adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan mengintegrasikan tegangan tangensial pada seluruh permukaan kapal yang terbasahi, dalam arah gerakan benda.



- (2) Tahanan Sisa (residual), R_r , adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan mengurangi tahanan total dengan tahanan gesek (pelat datar). Untuk kapal-kapal niaga bagian terbesar dari tahanan sisa adalah tahanan (pembuat) gelombang.
- (3) Tahanan viskos, R_v , adalah komponen tahanan yang berhubungan dengan efek viskos dari fluida.
- (4) Tahanan pola gelombang, R_{wp} , adalah komponen tahanan yang diperoleh dari pengukuran tinggi gelombang jauh dari kapal atau model, dimana medan kecepatan fluida di bawah permukaan fluida diasumsikan dan, karena itu, momentum fluida di bawah permukaan fluida dapat dihubungkan melalui pola gelombang dengan cara yang disebut linearisasi. Dalam hal tersebut tidak termasuk tahanan pemecahan gelombang.
- (5) Tahanan appendase, yaitu tahanan yang ditimbulkan oleh penggunaan bus poros *propeller*, braket poros *propeller*, dan poros; bilga, lunas, kemudi dan lain sebagainya. Tahanan appendase pada umumnya kecil, sekitar 10 persen dari tahanan pada lambung.
- (6) Tahanan udara, yaitu tahanan yang terjadi karena adanya *drag* pada bagian kapal yang ada di atas permukaan air; biasanya sekitar 2-4 persen dari tahanan air, pada kondisi tanpa angin.
- (7) Tahanan kemudi, yaitu tahanan yang terjadi karena gerakan kemudi.
- (8) Masih ada pula tahanan lainnya dan tahanan tambahan karena kondisi lingkungan yang bermacam-macam, antara lain pengaruh dinding kanal atau sungai, perairan dangkal serta perubahan-perubahan yang terjadi disekitar kapal.

2.2.3 Perhitungan Tahanan Kapal

Untuk menghitung tahanan kapal ada beberapa metode diantaranya sebagai berikut:

- (1) Tahanan Kapal Metode Yamagata



Metode Diagram Yamagata adalah metode yang diperkenalkan oleh lmuuan Jepang bernama Dr. Yamagata. Beliau adalah pengajar di beberapa as terkemuka di Jepang dan merupakan salah satu ahli Biro Keselamatan Kekaisaran Jepang. Tahanan kapal didasarkan atas hambatan yang dari berbagai media perantara di perairan dimana kapal tersebut

beroperasi. Hambatan tersebut adalah hambatan gesek, hambatan bentuk dan hambatan udara. Namun khusus untuk hambatan dengan media air, maka hambatan dapat di jabarkan atas tiga macam hambatan saja yaitu ;

- a) Hambatan gesek,
- b) Hambatan bentuk,
- c) Hambatan gelombang.

Dari bermacam-macam hambatan tersebut akan dihasilkan suatu jumlah hambatan dengan satuan kg, ton, N, kN, W, atau kW. Dengan itu akan dapat diprediksikan besarnya kapasitas daya mesin utama sebagai penggerak kapal. Untuk menghitung hambatan total kapal pada metode Yamagata ditentukan dengan formula sebagaimana persamaan sebagai berikut (Holtrop, 1982) :

$$RT = RR + RF \quad (4)$$

Dimana :

RT = Hambatan total (kN)

RR = Hambatan gesek (kN)

RF = Hambatan sisa (kN)

$$= CR \times 0.5 \times \rho \times \nabla^{\frac{2}{3}} \times V^2 \quad (5)$$

CR = Resultan koefisien tahanan sisa

ρ = Massa jenis air laut (kg/m³)

∇ = Volume displacement (m³)

V = Kecepatan kapal (m/s)

(2) Tahanan Kapal Metode Holtrop

Pada beberapa metode perhitungan kapal terdapat beberapa peninjauan yang berdasarkan satuan kesepakatan dan tidak berdasarkan atas suatu usaha percobaan atau pengambilan data dilapangan, seperti pada pengestimasi nilai hambatan haluan gembung yang hanya meninjau haluan gembung tersebut terpisah. Atas dasar itulah maka J. Holtrop dan G.G.J. Mennen membuat suatu metode dengan mengandalkan ketepatan perhitungan pada pengambilan data dan pengolahannya secara statistik, karena itulah metode ini juga disebut sebagai Metode Prediksi Daya Efektif Statistik, disingkat Metode Tahanan Kapal Statistik. Untuk menghitung

total kapal pada metode Holtrop ditentukan dengan formula sebagaimana berikut (John, 2007) :

$$= RF (1 + k1) + RAP + Rw + RB + RTR + RM \quad (6)$$



Dimana :

R_T = Hambatan total (kN)

R_F = Hambatan gesek (kN)

R_{AP} = Hambatan bagian tambahan (kN)

R_w = Hambatan akibat gelombang (kN)

R_B = Hambatan akibat haluan gelombang (kN)

R_{TR} = Hambatan akibat adanya buritan transom (kN)

R_M = Hambatan akibat korelasi model (kN)

2.3 Propeller

2.3.1 Definisi Propeller

Propeller kapal adalah salah satu penggerak kapal dan termasuk dalam sistem permesinan kapal. Apabila kapal menggunakan mesin sebagai penggerak maka peranan akan *propeller* atau lebih di kenal baling baling akan sangat penting. *Propeller* memberikan kekuatan dengan mengubah rotasi gerak ke gaya dorong. *Propeller* terdiri dari beberapa daun *propeller (blade)* dan beroperasi seperti perputaran sekrup. Perbedaan tekanan antara depan dan belakang permukaan berbentuk blade yang menghasilkan akselerasi air dibelakang *propeller* sehingga menghasilkan gaya dorong (Tutug, dkk., 2016).

Pada umumnya *propeller* diletakkan pada kedudukan yang serendah mungkin di bagian belakang kapal untuk memaksimalkan gaya dorong yang akan dihasilkan. Sebuah *propeller* harus mempunyai diameter sedemikian rupa, sehingga bila kapal dalam keadaan bermuatan penuh, *propeller* tersebut akan terbenam dengan memadai, sehingga dapat menghindari sejauh mungkin terjadinya fenomena terikutnya udara (*air drawing*), dan pemacuan *propeller (racing)*, ketika kapal mengalami gerakan angguk (*pitching*) (Harvald, 1992).

2.3.2 Twin Screw Propeller

Berdasarkan jumlahnya *propeller* terbagi menjadi dua yakni, baling -baling tunggal (*single screw*) dan baling-baling ganda (*twin screw*). Baling-baling tunggal akan hampir pada semua bentuk dan tipe kapal karena lebih praktis dalam pengan dan perawatan yang lebih mudah. Jenis *single screw* ini kebanyakan akan baling-baling putar kanan. Sementara itu, baling- baling ganda pada a dipasang pada kapal tunda dan *ferry* dengan pertimbangan adanya dua



mesin yang sejenis (memiliki kapasitas yang sama) tetapi lebih kecil dari mesin tunggal sehingga dapat menghemat pemakaian ruang mesin. Selain itu jika salah satu mesin gagal maka operasional kapal tetap berjalan meskipun dengan kemampuan yang lebih rendah.

Susunan baling-baling dan ukuran kemudi sedemikian sehingga diameter masing-masing baling-baling kurang dari jarak antara garis tengah poros baling-baling, tetapi jaraknya sama dengan atau kurang dari diameter ditambah ketebalan kemudi (Taniguchi, et.al., 1976).

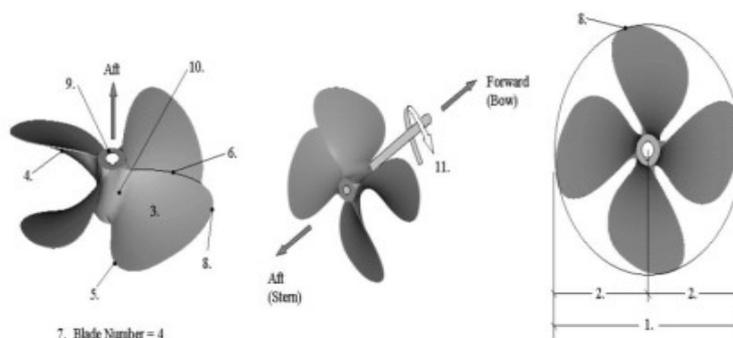


Gambar 2 *Twin Screw Propeller*

Sumber : [Single- Versus Twin-Screw Propulsion | Seattle Yachts](#)

2.3.3 Geometri *Propeller*

Propeller atau baling – baling merupakan salah satu alat penggerak kapal yang mempunyai daun lebih dari satu (2 – 7 buah) yang menjorok dari hub atau boss. Hub ini biasanya dipasang pada poros yang digunakan oleh mesin penggerak kapal. Daun *propeller* tersebut dapat merupakan bagian yang menyatu dengan hub (*permanent pitch*) atau dapat dilepas dan dipasang kembali pada hub (*controlable pitch*). Adapun contoh dari bentuk *propeller* tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 3 Geometri *Propeller*

[Propeller Basics from Dans Discount Boat Propellers and Marine Accessories](#)

dansdiscountprops.com



Pada (gambar 3) di atas dapat dilihat bahwa contoh merupakan *propeller* dengan jumlah daun 4. Penjelasan dari tiap bagian *propeller* sebagai berikut (Michigan Wheel Engineering, 2000) :

- (1) Diameter lingkaran imajiner yang digambarkan oleh ujung bilah saat baling-baling berputar.
- (2) Radius merupakan jarak dari sumbu rotasi ke ujung pisau. Jari-jari dikalikan dua sama dengan diameter.
- (3) *Face blade* (muka daun) merupakan permukaan daun kalau dilihat dari arah buritan ke haluan kapal. Permukaan ini pada waktu *propeller* bekerja mempunyai tekanan tinggi.
- (4) *Back blade* (punggung daun) merupakan permukaan sebelah belakang atau balik dari muka daun *propeller* dan bagian ini mempunyai tekanan rendah pada saat *propeller* bekerja.
- (5) *Leading edge* (ujung depan) merupakan tepi daun *propeller* bagian depan dimana aliran fluida menyentuh daun pertama kali.
- (6) *Trailing edge* (ujung belakang) merupakan tepi daun *propeller* dibelakang yang juga merupakan ekor dari daun *propeller* saat berputar.
- (7) *Blade Number* merupakan jumlah daun pada *propeller*.
- (8) *Blade Tip* (ujung atas) yang merupakan posisi dimana bagian daun *leading edge* dan *trailing edge* bertemu
- (9) *Hub* (boss) merupakan tempat melekatnya daun *propeller* dan *shaft*.
- (10) *Blade Root* merupakan daerah fillet. Wilayah transisi dari permukaan dan tepi sudu ke pinggiran hub. Area tempat bilah menempel ke hub.
- (11) *Rotation* (arah putaran) yang dimana apabila dilihat dari buritan (menghadap ke depan), maka *propeller* kanan berputar searah jarum jam untuk memberikan dorongan ke depan, sedangkan *propeller* kiri berputar berlawanan arah jarum jam untuk memberikan dorongan ke depan.

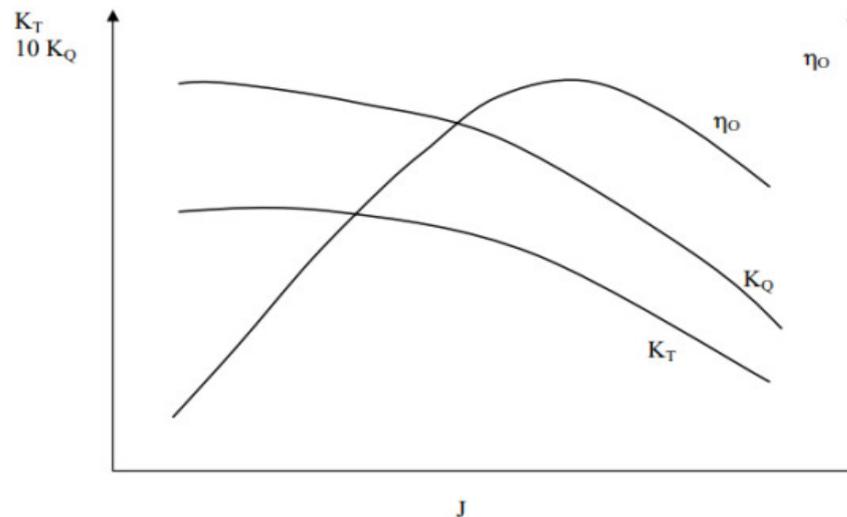
2.3.4 Karakteristik *Propeller* Kondisi *Open Water*

Secara umum karakteristik dari baling-baling kapal pada kondisi *open water*

adalah seperti yang direpresentasikan pada Diagram KT – KQ – J seperti pada

- 4). Setiap tipe dari masing-masing baling-baling kapal, memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda-beda. Sehingga kajian terhadap karakteristik baling-baling kapal tidak dapat di-*generalised* untuk keseluruhan atau tipe dari baling-baling (Adji, 2005).





Gambar 4 Diagram $K_T - K_Q - J$ (*Open Water Test*)

Adapun model persamaan untuk karakteristik kinerja baling-baling kapal adalah sebagai berikut :

$$\text{Thrust coefficient} \quad (K_T) = \frac{T_{\text{prop}}}{\rho \times n^2 \times D^4} \quad (7)$$

$$\text{Torque coefficient} \quad (K_Q) = \frac{Q_{\text{prop}}}{\rho \times n^2 \times D^5} \quad (8)$$

$$\text{Advance coefficient} \quad (J) = \frac{V_a}{n \times D} \quad (9)$$

$$\text{Efficiency} \quad (\eta_o) = \frac{J \times K_T}{2\pi \times K_Q} \quad (10)$$

Dimana :

K_T = Koefisien gaya dorong (*thrust*) baling-baling

K_Q = Koefisien *torque* baling-baling

J = Koefisien *advanced* baling-baling

V_A = Kecepatan *advanced* dari fluida yg melintasi *propeller disk*

η_o = Efisiensi baling-baling pada kondisi *open water*

n = Putaran baling-baling

D = Diameter baling-baling

T_{Prop} = Gaya dorong baling-baling (*propeller thrust*)

Q_{Prop} = *Torque* baling-baling (*propeller torque*)

ρ = Massa Jenis Fluida (*fluid density*)



5 Karakteristik *Propeller* di Belakang Lambung

Karakteristik baling-baling di belakang lambung dihitung dengan akan istilah efisiensi *relative-rotative* (η_r). Istilah ini yang diperkenalkan

oleh *Froude*, dicatat untuk membedakan daya yang diserap oleh baling-baling saat bekerja di bidang aliran yang seragam pada kecepatan tertentu dan yang diserap saat bekerja di gelombang yang tidak seragam dan memiliki kecepatan rata-rata yang sama :

$$\eta_r = \frac{\text{Daya yang diserap pada kondisi open water dengan kecepatan } Va}{\text{Daya yang diserap pada gelombang yang tidak seragam dengan kecepatan rata-rata yang sama}} \quad (11)$$

Secara umum koreksi ditentukan oleh efisiensi ini. Parameter ini sangat kecil karena η_r umumnya mendekati satu, kecuali ada beberapa karakteristik yang tidak normal dari *wakefield* yakni berada pada kisaran $0,96 < \eta_r < 1,04$. Sebagai konsekuensi dari hubungan ini, efisiensi *behind-hull* (η_b) yaitu efisiensi baling-baling ketika bekerja di belakang lambung kapal, didefinisikan sebagai:

$$\eta_b = \eta_o \cdot \eta_r \quad (12)$$

$$\eta_b = \frac{\eta_r K_T J}{2\pi K_Q} \quad (13)$$

Pada tingkat yang lebih rinci masih banyak yang harus dipahami sifat interaksi antara baling-baling, sifat kecepatan induksi, interaksi dan *wakefield* yang beroperasi. Seperti yang diharapkan efek dari *mixed wakefield* yang menginduksi pada baling-baling, serangkaian beban berfluktuasi karena perubahan sifat kejadian aliran sudut pada bagian *blade* (Ridwan, dkk., 2012).

Efek ESD akan serupa dengan yang didapatkan pada buritan-lambung yang optimal dalam hal ini. Untuk mencapai keuntungan keseluruhan, efisiensi kinerja baling-baling di belakang kapal harus ditingkatkan dengan ESD yang dipasang, yang dapat dihitung menggunakan :

$$\eta_p = \frac{TVa}{2\pi nQ} = \frac{KT}{KQ} \times \frac{Js}{2\pi} \quad (14)$$

Peningkatan η_p diperlukan, tetapi tidak mencukupi. Biasanya, efisiensi hidrodinamik keseluruhan dapat dinyatakan sebagai:

$$\eta_D = \frac{PE}{PD} = \frac{RT Va}{2\pi nQ} = \frac{TVa}{2\pi nQ} \frac{RT}{T} = \eta_D (1-t) \quad (15)$$

Persamaan ini dapat menjelaskan kesulitan dalam merancang ESD yang efektif ke lambung. ESD pada prinsipnya harus meningkatkan efisiensi jika keseluruhan dengan RT yang diambil dari *bare hull case*.



2.3.6 Parameter Aliran di Sekeliling *Propeller*

Parameter aliran disekitar *propeller* biasa dikenal dengan *wake*. *Wake* merupakan interaksi antara kapal dengan air yang memiliki kecepatan relatif terhadap kapal. *Wake* terbagi atas tiga bagian: Kecepatan air di sekeliling badan kapal, lapisan air antara tahanan aliran air di sekitar dengan badan kapal, gelombang yang terbentuk akibat bergeraknya kapal di air. Dua bagian yang pertama di atas akan mengurangi kecepatan air yang masuk ke *propeller*, sedangkan bagian ketiga dapat menaikkan dan mengurangi kecepatan tergantung pada gelombang yang terbentuk (apakah puncak atau palung) pada *propeller* (Muhammmad, 2013).

(1) Parameter Koefisien Fraksi *Wake* (*Wake Fraction Coefficient, w*)

Kecepatan *wake effective* pada *propeller* : $V_w = V - V_a$, parameter koefisien fraksi *wake* di definisikan oleh Taylor sebagai berikut :

$$w \dots = \frac{V_w}{V} = \frac{V - V_a}{V}$$

$$\frac{V_a}{V} = 1 - w \quad (16)$$

(2) Parameter Deduksi Daya Dorong (*Thrust Deduction Coefficient, t*)

Hubungan antara fraksi deduksi daya dorong F dengan koefisien deduksi daya dorong t adalah :

$$t \dots = \frac{F}{T} = \frac{T - R_T}{T}$$

$$\frac{R_T}{T} = 1 - t \quad (17)$$

(3) Parameter Efisiensi Propulsi

Badan kapal sangat berpengaruh dalam efisiensi propulsi, ada beberapa parameter efisiensi yang harus di ketahui sebelum mendesain sebuah *propeller*.

(4) Parameter Efisiensi Badan Kapal (*Hull efficiency, η_H*)

Parameter efisiensi badan kapal ini merupakan perbandingan antara tenaga efektif (*effective towing power, $PE = R_T \times V$*) dan power daya dorong *propeller* terhadap air (*thrust power, $PT = T \times V_a$*) :

$$\eta_H = \frac{PE}{PT} = \frac{R_T \times V}{T \times V_a} = \frac{R_T / T}{V_a / V} = \frac{1-t}{1-w} \quad (18)$$

parameter *Propeller* pada Air Terbuka (*Open Water Prop Efficiency, η_o*)

model baling-baling yang bekerja akan diperoleh spesifik gaya-gaya pada *open water test*. Untuk memenuhi hukum kesamaan, maka setiap



pengujian, setiap harga putaran (n) dan kecepatan (V_a) dapat diukur besar harga gaya dorong (T) dan *torque* (Q).

(6) Parameter Relatif Rotatif (*Relative Rotative Efficiency*, η_R)

Laju aliran air yang melewati *propeller* apabila berada di belakang kapal tidak konstan tetapi alirannya berotasi/memutar (*rotational flow*), oleh karena itu jika dibandingkan dengan *propeller* yang bekerja pada air terbuka maka efisiensi *propeller*-nya dipengaruhi oleh faktor η_R , (yang dikenal dengan *relative rotative efficiency*).

(7) Parameter *Propeller* di Belakang Kapal η_B

Perbandingan daya dorong yang diberikan *propeller* ke air P_T , dengan tenaga yang ada di *propeller* P_D , merupakan efisiensi *propeller* yang bekerja di belakang kapal.

$$\eta_B = \frac{P_T}{P_D} = \eta_o \times \eta_R \quad (19)$$

(8) Parameter Efisiensi Propulsi (*Propulsive Efficiency*, η_D)

Parameter propulsi efisiensi merupakan perbandingan antara *effective power* P_E dengan power yang ada pada *propeller* P_D :

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} = \frac{P_E}{P_T} \times \frac{P_T}{P_D} \quad (20)$$

Nilai efisiensi propulsi ini akan tinggi jika *propeller* bekerja pada *wake* yang homogen.

(9) Parameter Efisiensi Poros (*Shaft Efficiency*, η_S)

Shaft efficiency ini tergantung pada kelurusan poros, dan pelumasan pada bantalan poros dan *reduction gear box*. Parameter efisiensi ini sama dengan perbandingan P_D dan power break P_B yang keluar dari *main engine*.

$$\eta_s = \frac{P_D}{P_B} \quad (21)$$

Biasanya nilai parameter efisiensi poros ini berkisar 0,985 atau mulai dari 0.96 s/d 0.995.

(10) Parameter Efisiensi Total (*Total Efficiency*, η_T)

Efisiensi total ini merupakan perbandingan power efektif P_E dengan *power brake* P_B .

$$\eta_T = \frac{P_E}{P_B} = \frac{P_E}{P_D} \times \frac{P_D}{P_B} \quad (22)$$



2.4 Propeller Boss Cap Fins (PBCF)

2.4.1 Definisi PBCF

Propeller Boss Cap Fins (PBCF) merupakan modifikasi *propeller* yang diberikan penambahan sirip/*fin* pada bagian *cap propeller* seperti yang terdapat pada (gambar 5) di bawah ini :



Gambar 5 *Propeller Boss Cap Fins*

Sumber : [Riviera - Opinion - Propeller makers innovate with methods and materials \(rivieramm.com\)](http://rivieramm.com)

Penambahan sirip/*fin* ini nantinya akan memperkecil *losses* yang terjadi pada *hub propeller* yang disebut dengan *hub vortex cavitation* sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari *propeller* tersebut. *Propeller Boss Cap Fins* sudah sangat lama dikembangkan yaitu sejak tahun 1987 dan sudah diterapkan pada lebih dari 2.900 kapal didunia (Ma et al., 2014).

Propeller Boss Cap Fins dapat diterapkan pada beberapa jenis kapal, seperti *container ship*, *ferry*, *car carrier*, *bulk carrier*, *LNG carrier* dan *VLCC tanker* seperti pada (gambar 6) di bawah ini :



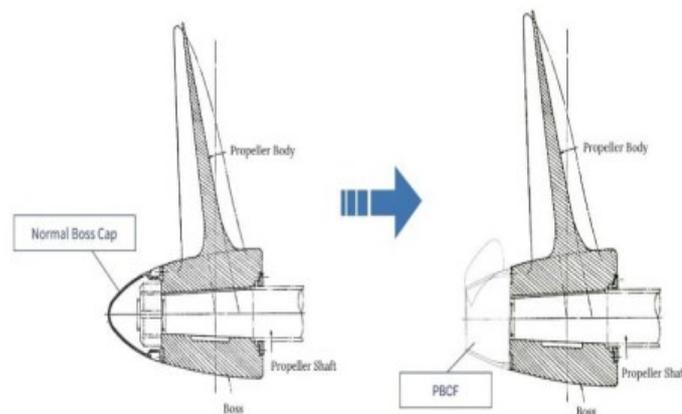
Gambar 6 Beberapa Jenis Kapal yang menggunakan PBCF

2.4.2 Mekanisme PBCF

Mekanisme sederhana dari PBCF adalah seperti *hub* pada biasanya, namun dengan menambahkan *fins* yang membuat pusaran yang tidak satu frekuensi pada *hub* tersebut sehingga diharapkan mampu meniadakan *hub vortex*.

PBCF yang dirancang memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah :

- (1) Meningkatkan efisiensi *propeller*.
- (2) Konstruksi sederhana dan mudah dalam pemasangan. PBCF yang memiliki bentuk sederhana memiliki konstruksi yang sederhana dan mudah dalam pemasangan dapat diterapkan pada kapal-kapal baru maupun kapal yang sedang beroperasi. Memiliki konstruksi *blade* yang tetap, tidak memerlukan banyak modifikasi serta tidak ada pengerjaan pengelasan. Memiliki desain yang optimal dikarenakan disesuaikan dengan jenis setiap *propeller*. Pada (gambar 7) menunjukkan mudahnya pergantian dari *conventional cap* menjadi PBCF. *Propeller Boss Cap Fins* dapat dipasang baik pada *fixed pitch propeller* maupun *controllable pitch propeller*.



Gambar 7 Pergantian *Conventional Cap* Menjadi PBCF

Sumber : [Features & Benefit | Strength | PBCF | MOL Techno-Trade, Ltd.](#)

- (3) Mudah dalam perawatan. Penerapan *Propeller Boss Cap Fins* yang sederhana, mempermudah dalam perawatan dan memiliki waktu operasi yang cukup lama sehingga dapat meminimalisir biaya operasional.
- (4) Investasi yang cukup rendah.



tidak memerlukan persetujuan klasifikasi. Dikarenakan sebagian besar dan klasifikasi tidak mencantumkan peraturan terkait *Propeller Boss Cap* ns sehingga ketika kapal *docking* tidak perlu melakukan inspeksi pada *opeller Boss Cap Fins* (Syafriansyah, 2016).

Ketika *conventional boss cap* digunakan, pada umumnya terjadi *vortex* yang kuat yang disebut “*hub vortex*” sehingga mengurangi efisiensi *propeller* dan ketika *propeller boss cap fins* di pasang pada *boss propeller*, *hub vortex* akan menghilang sehubungan dengan aliran yang menuju kebawah setelah melewati *blade*, maka dari itu aliran itu akan ditutup oleh *cap fins*. Maka hasilnya *propeller boss cap fins* akan meningkatkan gaya dorong dan mengurangi *torque* poros, serta meningkatkan efisiensi *propeller* (Lim et al., 2014).

2.4.3 Penggunaan *Propeller* Tanpa PBCF

Perbedaan laju aliran antara permukaan atas dan permukaan bawah daun *propeller* menghasilkan aliran kebawah yang signifikan dari *trailing edge* daun *propeller*. Aliran yang menuju kebawah dari setiap daun bergabung menjadi *hub vortex* yang kuat seperti pada ilustrasi (gambar 8). Sekitar 10% dari energi tersebar dan hilang karena *hub vortex* dan lain sebagainya (Syafriansyah, 2016).



Gambar 8 *Propeller* Tanpa PBCF

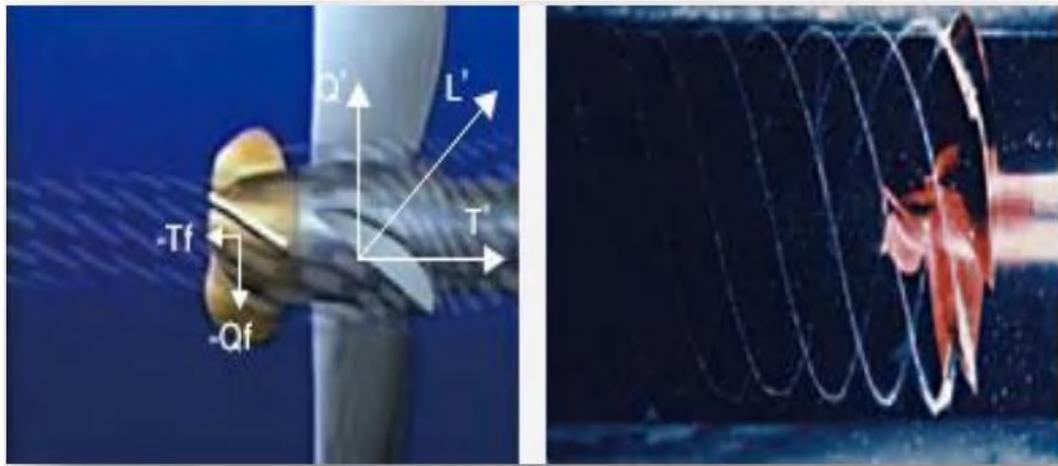
Sumber : [MOL Techno-Trade | MOL PBCF - Technava](#)

2.4.4 Penggunaan *Propeller* Dengan PBCF

Laju aliran yang kuat dari *trailing edge* daun *propeller* akan diubah oleh *propeller boss cap fins* untuk mengurangi komponen yang berputar, pada (gambar 9) menunjukkan dengan adanya PBCF, maka *hub vortex* yang terjadi pada aliran bawah *propeller* akan hilang dan *fins* tersebut akan menghasilkan gaya untuk

igi *torque* pada poros *propeller* sekitar 2% - 7% dan gaya dorong akan
 it lebih dari 1% (Syafriansyah, 2016). Namun, dalam mendesain PBCF
 erhatikan bahwa jumlah *fins* harus sama dengan jumlah bilah *propeller*
 eter *fins* tidak boleh melebihi 33% dari diameter *propeller* (Ghassemi et





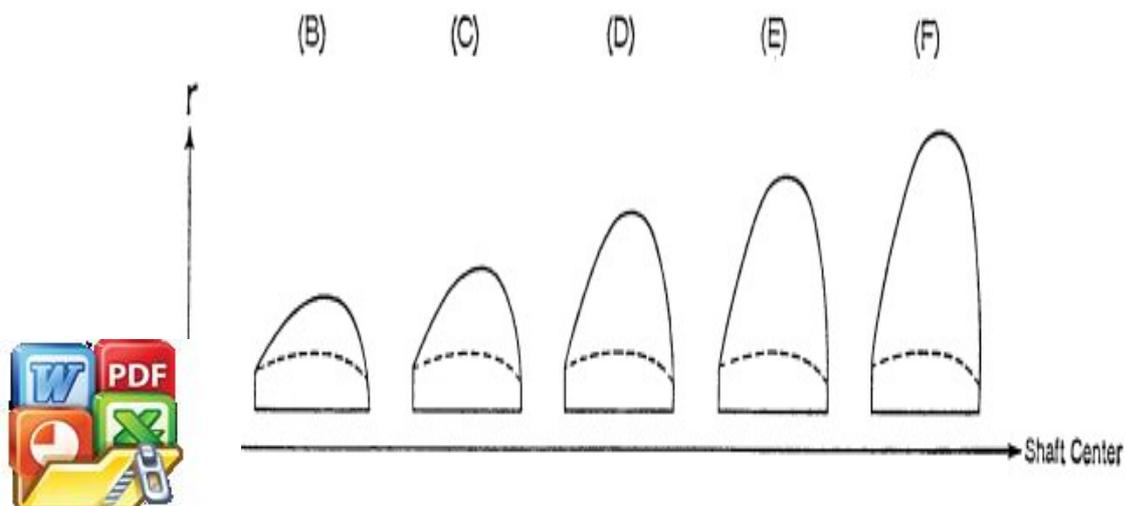
Gambar 9 *Propeller* Dengan PBCF

Sumber : [MOL Techno-Trade](#) | [MOL PBCF - Technava](#)

2.4.5 Parameter Desain PBCF

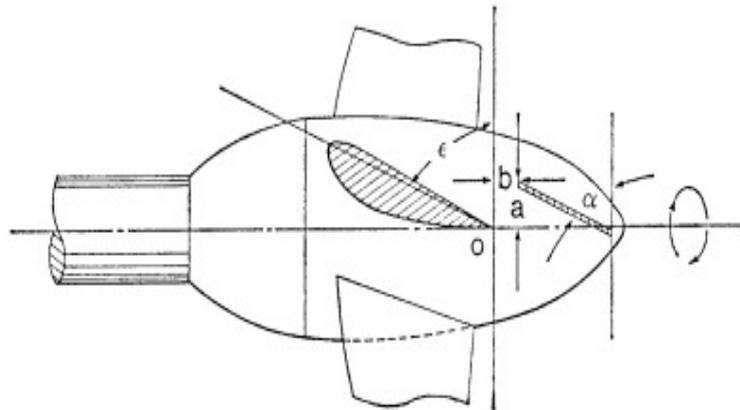
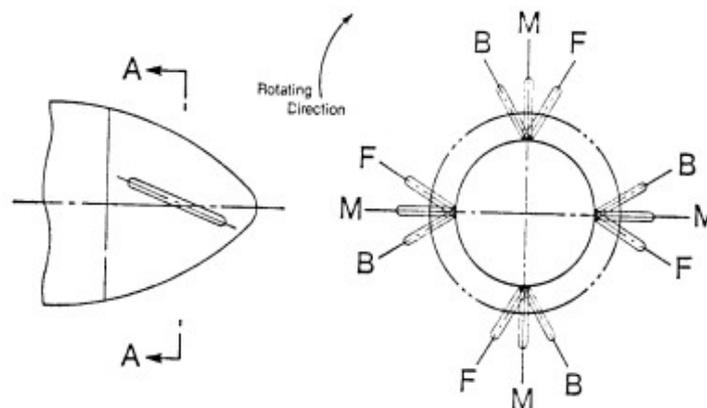
Ouchi dkk. (1988) menganalisis pengaruh parameter desain PBCF dengan efisiensi baling-baling perairan terbuka dari uji eksperimental dan analisis CFD. Ouchi dkk. (1988) mengusulkan 6 parameter desain PBCF sebagai berikut (Lim et al., 2014) :

- (1) Bentuk *fins* (gambar 10)
- (2) Rasio radius PBCF terhadap baling-baling (r/R)
- (3) Posisi pemasangan bos ke tutup tepi dengan *fins* (A,B) (gambar 11)
- (4) Pemasangan sudut *fins* (\dot{y}) (gambar 11)
- (5) Jumlah *fins*
- (6) Kemiringan *fins* (gambar 12)



Gambar 10 Bentuk *Fins*



Gambar 11 Pemasangan Sudut *Fins*Gambar 12 Kemiringan *Fins*

2.5 Computational Fluid Dynamic (CFD)

2.5.1 Konsep CFD

Computational fluid dynamics biasanya disingkat CFD, adalah cabang fluida mekanika yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisis masalah yang terlibat dalam aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa dan yang terkait fenomena melalui pemodelan matematika (persamaan diferensial parsial), metode dan teknik solusi), alat perangkat lunak (*solvers*, *pre-* dan *post-processing* numerik (*diskritisasi utilities*). CFD sangat berguna untuk menyelesaikan dasar-dasar persamaan yang memodelkan gerakan



persamaan yang digunakan dalam perhitungan CFD yaitu didasarkan pada persamaan Navier-stokes dimana mayoritas persamaan ini tidak punya solusi analitis. Untuk alasan ini, digunakan analisis numerik dengan CFD. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menyelesaikan perkiraan (secara numerik) aliran persamaan

dasar yang solusinya memberi kita gerakan dan karakteristik lain dari aliran. Teknik-teknik ini mematahkan domain spasial dan waktu untuk mencapai solusi (Aktar et al., 2010). Pemakaian CFD secara umum dapat dipakai 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*.

Persamaan dasar yang digunakan pada persamaan Navier-stokes dalam perhitungan aliran fluida yaitu menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas. Persamaan Navier-stokes ini ditemukan oleh G.G. Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800 (Versteeg, et.al, 2015). Adapun persamaan-persamaannya adalah sebagai berikut :

- (1) Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (23)$$

- (2) Persamaan Momentum

Momentum ke arah sumbu X

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \quad (24)$$

Momentum ke arah sumbu Y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \quad (25)$$

Momentum ke arah sumbu Z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r} \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (26)$$



Persamaan Energi

$$\rho \left(\frac{\partial E}{\partial t} + u \frac{\partial E}{\partial x} + v \frac{\partial E}{\partial y} + w \frac{\partial E}{\partial z} \right) = -\frac{\partial(pu)}{\partial x} - \frac{\partial(pv)}{\partial y} - \frac{\partial(pw)}{\partial z} -$$

$$\frac{1}{Re_r Pr_r} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{Re_r} \left(\frac{\partial}{\partial x} (U\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + u\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \right) + C + \quad (27)$$

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/m³)

Et = Energi Total (kJ)

p = Tekanan (N/m²)

q = *Heat Flux* (kW/m²)

Re = Bilangan *Reynold*

Pr = Bilangan *Prandtl*

Pada dasarnya CFD mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinu (memiliki jumlah sel tak terhingga) dirubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga) dengan menggunakan 3 macam teknik solusi numerik yaitu beda hingga (*finite difference*), elemen hingga (*finite element*) dan metode *spectral*.

- (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*.

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. Dengan derajat kebebasan yang lebih sedikit per *node*, dapat berguna untuk mendeteksi kelemahan kecil. Non-keseragaman *node* membantu membuat matriks massa diagonal, yang menghemat waktu dan memori komputer. Namun, Metode *Spectral* kesulitan dalam pemodelan geometri yang kompleks.

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 dapat diinterpretasikan sebagai penjumlahan dari 4 (empat) gaya: *gravitational body force*; *pressure gradient forces*; *viscous forces*; dan *inertial force* (Utama, dkk., 2012).

- (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 adaan geraknya.

D terdiri dari metode-metode yang menyelesaikan persamaan bidang dasar iai dengan syarat batas oleh pendekatan yang melibatkan sejumlah besar



elemen (matematika sederhana). Pendekatan ini mengarah secara otomatis ke sejumlah besar hal yang tidak diketahui.

2.5.2 Simulasi 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
- Pemihan jumlah *grid* yang optimum



a yang diperlukan pada batas tergantung dari tipe kondisi batas dan model yang dipakai (turbulensi, persamaan energi, multifasa, dll). Data yang ada pada kondisi batas merupakan data yang sudah diketahui atau data yang diasumsikan. Tetapi asumsi data yang dipakai harus diperkirakan mendekati

yang sebenarnya. Input data yang salah pada kondisi batas akan sangat berpengaruh pada hasil simulasi. Di bawah 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 axisymmetry.

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.

l. *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



cara umum tahap ini terdiri dari :

Penentuan kondisi batas

Pemilihan jenis fluida

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 besar hambatan kapal
- b. Perhitungan distribusi kecepatan disekitar badan kapal
- c. Perhitungan distribusi tekanan disekitar badan kapal

2.5.3 *Grid Convergence Index (GCI)*

Untuk mengevaluasi nilai yang dihasilkan dari metode numerik dalam hasil komputasi dengan *full scale*, konsep dari *Grid Convergence Index (GCI)* digunakan (Park et al., 2015).

Grid Convergence Index (GCI) dinyatakan sebagai persentase kesalahan pada perkiraan kumpulan eror dimana solusi konvergensi numerik kemungkinan besar berada. Perkiraan kesalahan dengan GCI dapat digunakan dengan dua solusi *mesh*, tapi untuk mendapatkan perkiraan eror yang lebih baik digunakan tiga solusi *mesh*.

Grid Convergence Index (GCI) yaitu berupa perkiraan diskritisasi kesalahan (*Discretization error*). Dalam analisis numerik, fisika komputasi dan simulasi, kesalahan diskritisasi (*Discretization error*) adalah kesalahan yang dihasilkan dari fakta bahwa fungsi variabel dari variabel kontinu diwakili di komputer dengan sejumlah evaluasi yang terbatas, misalnya pada *grid*. *Discretization error* biasanya dapat dikurangi dengan menggunakan *grid* dengan jumlah elemen yang lebih banyak. *Discretization error* merupakan sumber utama kesalahan dalam metode perbedaan hingga dan metode pseudo-spektral dalam fisika komputasi.

Langkah-langkah perhitungan *discretization error* dengan metode GCI dapat dihitung melalui (persamaan 28) sampai dengan (persamaan 36) (Celik et al., n.d.).

Dalam menentukan *cell, mesh* atau jumlah *grid* yang representatif (*h*) untuk tiga dimensi dihitung dengan persamaan.

$$\left[\sum_{i=1}^N (\Delta V_i) \right]^{1/3} \quad (28)$$



Dimana ΔV_i adalah volume dan N adalah jumlah total dari *cell* untuk komputasi. Kemudian menentukan tiga set *grid* yang sangat berbeda dimana penambahan jumlah elemen harus masif, 1,5x -2x dari jumlah elemen sebelumnya.

Untuk mendapatkan variabel ϕ (Variabel tujuan studi simulasi), simulasi dijalankan. Nilai Faktor penyempitan *grid*, $r = h_{\text{coarse}}/h_{\text{fine}}$, harus lebih dari 1.3 dimana nilai ini diambil berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan. Lalu menentukan nilai p (perkiraan urutan keakuratan metode komputasi) dimana $h_1 < h_2 < h_3$ dan $r_{21} = h_2/h_1, r_{32} = h_3/h_2$.

$$p = \frac{1}{\ln(r_{21})} |\ln|\varepsilon_{32}/\varepsilon_{21}| + q(p)| \quad (29)$$

$$q(p) = \ln \left| \frac{r_{21}^p - s}{r_{32}^p - s} \right| \quad (30)$$

$$s = 1. \text{sign}(\varepsilon_{32}/\varepsilon_{21}) \quad (31)$$

Dimana $\varepsilon_{32} = \phi_3 - \phi_2$, $\varepsilon_{21} = \phi_2 - \phi_1$, ϕ_k menunjukkan solusi dari k^{th} *grid*. Perlu diperhatikan bahwa $q(p) = 0$ untuk $r = \text{const}$. Nilai absolut dalam Persamaan diperlukan untuk memastikan ekstrapolasi menuju $h = 0$. Nilai negatif dari $\varepsilon_{32}/\varepsilon_{21} < 0$ merupakan indikasi konvergensi osilasi. Jika memungkinkan, persentase kejadian konvergensi osilasi juga harus dilaporkan. Perlu dicatat bahwa jika $\varepsilon_{32} = \phi_3 - \phi_2$, $\varepsilon_{21} = \phi_2 - \phi_1$ "sangat dekat" dengan nol, prosedur di atas tidak bekerja. Ini mungkin indikasi konvergensi osilasi atau dalam situasi yang jarang yang menunjukkan bahwa solusi "tepat" telah tercapai. Dalam kasus seperti itu, jika memungkinkan, kalkulasi dengan penyempitan *grid* tambahan harus dilakukan. Selanjutnya menghitung nilai ekstrapolasi dari :

$$\phi_{\text{ext}}^{21} = (r_{21}^p \phi_1 - \phi_2) / (r_{21}^p - 1) \quad (32)$$

$$\phi_{\text{ext}}^{32} = (r_{32}^p \phi_2 - \phi_3) / (r_{32}^p - 1) \quad (33)$$

Setelah itu menghitung perkiraan kesalahan, bersama dengan urutan p, dimana :

Perkiraan error relatif,

$$e_a^{21} = \left[\frac{\phi_1 - \phi_2}{\phi_1} \right]. \quad (34)$$

Dan nilai relatif ekstrapolasi error,



$$\left[\frac{\phi_{\text{ext}}^{12} - \phi_1}{\phi_{\text{ext}}^{12}} \right]. \quad (35)$$

n untuk menghitung *index fine-grid convergence* digunakan persamaan:

$$= \frac{1.25 e_a^{21}}{r_{21}^p - 1}. \quad (36)$$