

**SIMULASI NUMERIK JARAK HORIZONTAL NOSEL *INLET*
PADA SISTEM PENDINGIN MESIN BERBASIS DAYA
DORONG PROPELLER**

SKRIPSI

Ditujukan Untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



MUH. IQHSAL NAITULLAH JASMAN

D091181010

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

ii

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**SIMULASI NUMERIK JARAK HORIZONTAL NOSEL *INLET*
PADA SISTEM PENDINGIN MESIN BERBASIS DAYA DORONG
PROPELLER**

Disusun dan diajukan oleh:

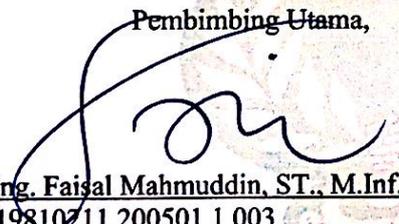
**MUH. IQHSAL NAITULLAH JASMAN
D091181010**

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 09 November 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Dr. Eng. Faizal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng
NIP. 19810211 200501 1 003


M. Rusydi Alwi, ST., MT
NIP. 197301123 200012 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. Iqhsal Naitullah Jasman
NIM : D091181010
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : SI

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“Simulasi Numerik Jarak Horizontal Nosel *Inlet* Pada Sistem Pendingin Mesin Berbasis Daya Dorong Propeller”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil 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, 01 November 2023

Yang Menyatakan



Muh. Iqhsal Naitullah Jasman

ABSTRAK

MUH. IQHSAL NAITULLAH JASMAN *Simulasi Numerik Jarak Horizontal Nosel Inlet Pada Sistem Pendingin Mesin Berbasis Daya Dorong Propeller* (dibimbing oleh Faisal Mahmuddin dan M. Rusydi Alwi)

Penelitian tentang pemanfaatan aliran fluida yang disebabkan oleh *propeller* yang akan digunakan untuk pendinginan mesin merupakan topik penelitian ini. Sistem ini dikenal sebagai Propeller Flow Cooling System (PFCS). Penelitian ini melakukan simulasi dan analisis dengan nosel *inlet* elips sebagai pemanfaatan aliran buritan kapal untuk menentukan posisi nosel *inlet* yang paling optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan volume air yang dihasilkan dari beberapa posisi horizontal nosel *inlet*. Pada penelitian ini, simulasi jarak horizontal nosel *inlet* masuk ke *propeller* pada $0,7R$ bilah *propeller* mempunyai beberapa variasi yaitu 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 12,5 cm, dan 15 cm. Metode *Computational Dynamic Fluid* (CFD) diadopsi untuk menganalisis jarak horizontal optimal dari nosel *inlet* yang menghasilkan laju aliran air tertinggi. Dalam hal ini, dapat disimpulkan bahwa efek jarak horizontal nosel *inlet* pada *propeller* sangat mempengaruhi aliran air yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak horizontal optimal nosel *inlet* ke *propeller* adalah jarak 7,5 cm. Aliran air yang dihasilkan dalam simulasi komputasi, dalam hal ini adalah 12,39 L/min.

Kata Kunci: Jarak Horizontal Nosel *Inlet*, Simulasi Komputasi, Sistem Pendingin Mesin, Propeller Flow Cooling System, Validasi Eksperimen

ABSTRACT

MUH. IQHSAL NAITULLAH JASMAN. *Application of CFD Simulation to Determine the Optimal Horizontal Position of the Nozzle Inlet of a Propeller Flow Cooling System* (supervised by Faisal Mahmuddin and M. Rusydi Alwi)

Research on the utilization of fluid flow caused by the propeller which will be used for engine cooling is the topic of this research. This system is known as the Propeller Flow Cooling System (PFCS). This research carries out simulations and analysis with an elliptical inlet nozzle to utilize the ship's stern flow to determine the most optimal position of the inlet nozzle. This research aims to determine the differences in water volume produced from several horizontal positions of the inlet nozzle. In this research, the simulation of the horizontal distance of the inlet nozzle entering the propeller at $0.7R$ propeller blade has several variations, namely 5 cm, 7.5 cm, 10 cm, 12.5 cm, and 15 cm. The Computational Fluid Dynamic (CFD) method was adopted to analyze the optimal horizontal distance of the inlet nozzle that produces the highest water flow rate. In this case, it can be concluded that the effect of the horizontal distance of the inlet nozzle on the propeller greatly influences the resulting water flow. Based on the research results, it shows that the optimal horizontal distance from the inlet nozzle to the propeller is 7.5 cm. The water flow produced in the computational simulation, in this case, is 12.39 L/min.

Keywords: Inlet Horizontal Distance, Computational Fluid Dynamic, Engine Cooling System, Propeller Flow Cooling System, Experiment Validation

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Aliran Fluida.....	4
2.2 Persamaan Kontinuitas (Hukum Konservasi Massa).....	4
2.3 Persamaan Bernouli.....	5
2.4 Hidrodinamika Propeller.....	6
2.5 Kinematika Fluida.....	7
2.6 Nosel.....	7
2.6.1 Aliran Pada Penampang Nosel.....	7
2.6.2 Turbulensi Pada Nosel <i>Inlet</i>	8
2.6.3 Vortisitas Pada Nosel.....	9
2.6.4 Kecepatan Aliran Pada Nosel <i>Inlet</i>	9
2.6.5 Tekanan Pada Nosel <i>Inlet</i>	11
2.7 Konsep Computational Fluid Dynamics (CFD).....	12
BAB 3 METODE PENELITIAN/PERANCANGAN.....	17
3.1 Lokasi Penelitian.....	17
3.2 Studi Literatur.....	17
3.3 Pengumpulan Data.....	17
3.4 Pemodelan Struktur.....	19
3.5 Langkah Analisis Data.....	20
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Pembuatan Model dan <i>Meshing</i>	23
4.2 Laju Aliran dan Putaran Mesin.....	26
4.3 Hasil Simulasi <i>Ansys</i>	27
4.3.1 Pada Posisi Horizontal Nosel <i>Inlet</i> Diuji Pada Putaran Mesin 900 RPM.....	27
4.3.2 Pada Posisi Horizontal Nosel <i>Inlet</i> Diuji Pada Putaran Mesin 1100 RPM.....	28

4.3.3 Pada Posisi Horizontal Nosel <i>Inlet</i> Diuji Pada Putaran Mesin 1300 RPM.....	28
4.3.4 Pada Posisi Horizontal Nosel <i>Inlet</i> Diuji Pada Putaran Mesin 1500 RPM.....	29
4.4 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran.....	32
4.4.1 Kecepatan Aliran Pada Jarak 5 cm.....	32
4.4.2 Kecepatan Aliran Pada Jarak 7,5 cm.....	32
4.4.3 Kecepatan Aliran Pada Jarak 10 cm.....	33
4.4.4 Kecepatan Aliran Pada Jarak 12,5 cm.....	33
4.4.5 Kecepatan Aliran Pada Jarak 15 cm.....	34
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Tabung aliran untuk menurunkan persamaan kontinuitas.....	4
Gambar 2 Perubahan tekanan dan kecepatan melewati <i>Bernoulli obstruction</i> meter.....	5
Gambar 3 Distribusi tekanan pada foil yang dialiri fluida.....	6
Gambar 4 Blade Element	6
Gambar 5 Bentuk variasi penampang nosel.....	7
Gambar 6 Kecepatan fluida, tekanan dan intensitas turbulensi pada nosel	8
Gambar 7 Intensitas turbulensi pada penampang nosel	8
Gambar 8 Vortisitas pada penampang nosel.....	9
Gambar 9 Aliran pada sebuah bidang akibat perubahan bentuk nosel	9
Gambar 10 Aliran pada penampang nosel	10
Gambar 11 Kecepatan aliran pada penampang nosel	11
Gambar 12 Tekanan pada bentuk penampang nosel.....	11
Gambar 13 Aplikasi Ansys	12
Gambar 14 Propeller diameter 8 inci	17
Gambar 15 Penampang nosel bentuk ellips	18
Gambar 16 Jarak horizontal nosel <i>inlet</i> terhadap propeller.....	19
Gambar 17 Desain awal nosel <i>inlet</i>	20
Gambar 18 Desain geometri model simulasi	24
Gambar 19 <i>Meshing</i> geometris di <i>Ansys</i>	24
Gambar 20 Hubungan antara kecepatan aliran dengan jarak horizontal nosel <i>inlet</i> dan propeller.....	30
Gambar 21 Perbandingan dan validasi debit air antara eksperimen dan simulasi <i>ansys</i>	31
Gambar 22 Hubungan antara kecepatan aliran dengan putaran mesin	35

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Dimensi nosel.....	18
Tabel 2 Kasus yang diuji dengan posisi horizontal nosel <i>inlet</i>	19
Tabel 3 Kecepatan aliran pada setiap putaran propeller	19
Tabel 4 Desain geometri model terkomputasi	24
Tabel 5 Kondisi <i>meshing</i> geometris.....	25
Tabel 6 Kondisi set-up dalam domain fluida	25
Tabel 7 Nilai referensi dalam kondisi batas	26
Tabel 8 Kecepatan aliran fluida dan debit air pada putaran 900 rpm	27
Tabel 9 Kecepatan aliran fluida dan debit air pada putaran 1100 rpm	28
Tabel 10 Kecepatan aliran fluida dan debit air pada putaran 1300 rpm	29
Tabel 11 Kecepatan aliran fluida dan debit air pada putaran 1500 rpm	30
Tabel 12 Hasil eksperimen, simulasi <i>CFD ansys CFX</i> dan persentase kesalahan	31
Tabel 13 Hasil Perhitungan Pada Jarak 5 cm.....	32
Tabel 14 Hasil Perhitungan Pada Jarak 7,5 cm.....	33
Tabel 15 Hasil Perhitungan Pada Jarak 10 cm.....	33
Tabel 16 Hasil Perhitungan Pada Jarak 12,5 cm.....	34
Tabel 17 Hasil Perhitungan Pada Jarak 15 cm.....	34

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas penampang bidang (m^2)
CFD	<i>Computational Fluid Dynamic</i>
CWC	<i>Circulation Water Channel</i>
D	Diameter pipa (m)
μ	Viskositas fluida (kg/m.s)
ρ	Densitas fluida (kg/m^3)
L	Panjang pipa (m)
$m\cdot$	Laju aliran massa (kg/s)
Q	Debit aliran (m^3/s)
V	Kecepatan aliran (m/s)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Nosel <i>Inlet</i>	39
Lampiran 2 Grafik yang menunjukkan nilai <i>thrust</i> optimal penelitian yang dilakukan oleh Joseph Mwangi Ng'aru dan Sunho Park	40
Lampiran 3 Pengaturan <i>Setup CFD Ansys CFX</i>	41
Lampiran 4 Visualisasi kecepatan aliran fluida CFD	42

KATA PENGANTAR

Sesungguhnya kita mengagungkan Allah Subhanuhu Wa Ta'ala, tunduk kepada-Nya, dan memohon pertolongan-Nya. Kesimpulan dari proses penulisan dan pembuatan tugas akhir sangat diapresiasi oleh penulis. Walaupun terdapat beberapa tantangan dalam pembuatan skripsi ini, namun penulis dapat mengatasinya dengan pertolongan Allah Subhanuhu wa Ta'ala dan usaha dari para penyusun.

Ini merupakan persyaratan untuk menyelesaikan studi di departemen Teknik Sistem Perkapalan – Universitas Hasanuddin. Penyusun harus menerima bahwa skripsi ini masih sangat jauh dari kesempurnaan. Hal ini karena keterbatasan waktu, keahlian, dan kemampuan penyusun sebagai orang biasa. Oleh karena itu, penulis mohon maaf sebesar-besarnya atas ketidaknyamanan dan kesalahan yang diakibatkan oleh pembuatan tugas akhir, “*Simulasi Numerik Jarak Horizontal Nosel Inlet Pada Sistem Pendingin Mesin Berbasis Daya Dorong Propeller*”. Penulis pengantar ini meminta masukan dan ide agar penyusun dapat membuat artikel selanjutnya lebih baik lagi.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan skripsi ini. Kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan melalui doa, semangat, dan tentunya memberikan kontribusi langsung dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah *Subhanuhu Wa Ta'ala*
2. Kepada orang tua tercinta saya yang mensupport segala cita cita, harapan dan senantiasa mendoakan, menyemangati serta tidak lelah untuk memberikan doa, dukungan dan semangat.
3. Bapak **Dr. Eng. Faisal Mahmuddin S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.** selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Bapak **Dr. Eng. Faisal Mahmuddin S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.** selaku pembimbing I yang senantiasa memberikan arahan dan bimbingannya, serta masukan dalam membantu penyusun menyelesaikan skripsi ini.
5. Kepada bapak **M. Rusydi Alwi, S.T., M.T.** selaku pembimbing II dalam

skripsi saya, terima kasih atas bimbingannya selama ini, juga arahan selama saya berkuliah

6. Kepada bapak **Andi Haris Muhammad, ST., MT., P.PhD.** dan ibu **Balqis Shintarahayu, ST., M.Sc.** selaku dosen penguji
7. Kepada bapak **Ir. Zulkifli, M.T.**, selaku dosen yang senantiasa mengajar, mendidik dan memberikan banyak ilmu serta arahan kepada kami mahasiswa agar menjadi lebih baik
8. Kepada bapak **Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T.** yang berkenanan membimbing dan mengajar saya dalam mendalami beberapa software, juga selalu memberi arahan selama proses pembuatan skripsi saya.
9. Bapak/Ibu dosen dan staf Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan bantuan dan semangat kepada penyusun.
10. Teman-teman seperjuangan **Thruzter 2018** dan **Zizter18** yang telah menjadi teman kuliah yang menyenangkan dan sudah saya anggap sebagai saudara sendiri.
11. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari penulisan skripsi ini memiliki banyak sekali kekurangan, baik itu dari segi pemilihan kata, bahasa, penulisan, pengolahan data dan lainnya. Sehingga dengan fakta tersebut penulis sekali lagi menekankan kepada pembaca agar memberikan saran, koreksi, dan masukan, agar karya tulis ini bisa lebih baik dari sebelumnya. Akhirnya penyusun sangat berharap skripsi ini dapat bermanfaat bukan hanya untuk penyusun namun juga untuk para pembaca. Penyusun berharap karya tulis ini dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkenaan dengan penelitian dalam skripsi ini. Juga memberikan sedikit manfaat bagi pembaca dan juga merupakan kebanggaan bila skripsi ini bisa berguna bagi beberapa orang dalam memperdalam pengetahuan. Semoga kita semua senantiasa berada dalam lindungan Allah *Subhanu Wa Ta'ala, Aaamiin.*

Gowa, 08 Agustus 2023

Penyusun

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Putaran propeller menghasilkan tendangan pada air dan aliran terbentuk di sekitarnya. Akibatnya, kapal bisa bergerak maju. Aliran fluida akibat tendangan propeller tadi memiliki hal yang patut buat dikaji dalam hal pemanfaatannya. Pemanfaatan fluida air laut di atas kapal sangat banyak dilakukan. Hal ini ditimbulkan karena ketersediaan air laut sangat melimpah bila dibandingkan dengan air tawar yang diperoleh dari darat serta dipergunakan seefisien mungkin di atas kapal. Misalnya, *ballast*, *sanitary* dan sistem pendingin mesin semuanya membutuhkan air laut di atas kapal (Hafiz, 2011).

Menggunakan aliran buritan dari tendangan propeller, yang selanjutnya akan digunakan sebagai pendingin mesin utama kapal tanpa perlu pompa untuk distribusi ke pendingin mesin kapal. Masih menggunakan pompa untuk mentransfer air laut dari pantai ke pendingin mesin sambil mendistribusikan cairan air laut, terutama dalam sistem pendingin mesin. Hal ini berdampak pada seberapa banyak listrik yang digunakan kapal. Di sisi lain, penelitian harus dilakukan untuk memahami bagaimana putaran propeller mempengaruhi aliran fluida (Syahrin, 2018).

Penting untuk melakukan penelitian tentang posisi horizontal yang paling menguntungkan untuk mendapatkan debit aliran fluida paling banyak ketika menggunakan aliran fluida yang disebabkan oleh dorongan propeller sebagai sumber air pendingin untuk mesin kapal. Penelitian telah dilakukan sebelumnya tentang pengaruh jarak horizontal nosel *inlet* terhadap performa sistem pendingin mesin berbasis daya dorong propeller. Menurut temuan eksperimental dari penelitian ini, ditunjukkan bahwa jarak horizontal nosel *inlet* ke propeller secara signifikan mempengaruhi peningkatan debit air yang dihasilkan ketika posisi horizontal nosel inlet optimal untuk memanfaatkan aliran buritan kapal ke sumber air pendingin mesin utama. Adapun hasil eksperimen yang diuji dengan variasi posisi horizontal nosel *inlet* menjadi 5 kasus (Safiu, 2021).

Oleh karena itu penelitian ini akan memvalidasi hasil eksperimen jarak horizontal terhadap daun propeller. Berdasarkan hipotesa di atas tentang pentingnya pengaturan jarak horizontal terhadap daun propeller maka penelitian ini diajukan dengan judul “**Simulasi Numerik Jarak Horizontal Nosel Inlet Pada Sistem Pendingin Mesin Berbasis Daya Dorong Propeller**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang ada yaitu:

1. Bagaimana pengaruh putaran propeller terhadap peningkatan debit air?
2. Bagaimana pengaruh beberapa posisi jarak horizontal nosel terhadap debit air untuk pendingin mesin kapal?
3. Berapa jarak optimal posisi horizontal nosel terhadap daun propeller?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan dapat lebih terfokuskan, maka akan dilakukan pembatasan yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan *Ansys CFX 2020 R2*.
2. Posisi horizontal nosel *inlet* diuji pada jarak 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 12,5 cm dan 15 cm.
3. Validasi hasil menggunakan hasil pengujian sebelumnya dengan mengabaikan viskositas dan suhu.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh putaran propeller terhadap peningkatan debit air.
2. Untuk mengetahui perbedaan debit air yang dihasilkan dari beberapa posisi jarak horizontal nosel.
3. Untuk mengetahui jarak optimal posisi horizontal nosel terhadap daun propeller.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan menjadi acuan dalam penentuan posisi horizontal nosel sebagai sistem pendingin kapal.
2. Untuk melengkapi penelitian posisi horizontal nosel yang dilakukan pada penelitian sebelumnya.
3. Untuk melihat karakteristik *velocity* dari berbagai posisi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aliran Fluida

Aliran adalah simbol untuk jumlah cairan yang bergerak melintasi garis lintang aliran dalam satu satuan waktu. Satuan untuk debit aliran adalah meter kubik per detik (m^3/s), karena debit aliran cairan sering diukur dalam jumlah cairan per satuan waktu (Triatmodjo, 2014). Kecepatan aliran V konstan di atas rentang lintang dalam cairan ideal tanpa gesekan. Debit aliran dapat dinyatakan jika penampilan aliran tegak lurus terhadap arah aliran. Maka debit aliran dapat dirumuskan :

$$Q = A \cdot V \quad (1)$$

Dimana,

$$Q = \text{Debit aliran } (\text{m}^3/\text{s})$$

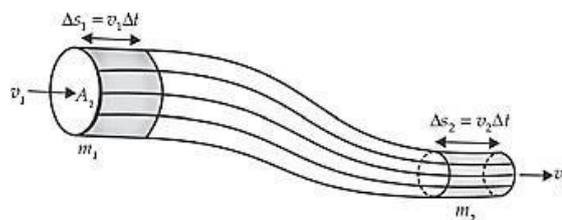
$$A = \text{Luas penampang bidang } (\text{m}^2)$$

$$V = \text{Kecepatan aliran } (\text{m}/\text{s})$$

2.2 Persamaan Kontinuitas (Hukum Konservasi Massa)

Jumlah cairan yang bergerak melalui setiap unit waktu adalah sama apakah cairan yang tidak dapat dimampatkan tampaknya mengalir terus menerus melalui pipa atau saluran dengan aliran yang stabil atau tidak konsisten. Hukum aliran cairan terus-menerus adalah apa yang dikenal sebagai kondisi ini (Triatmodjo, 2014).

Tabung pada Gambar 1 menampilkan aliran satu dimensi dan steady, dengan kecepatan rata – rata V dan tampang aliran A . Aliran tersebut mengalir dari titik 1 pada V_1 dan A_1 , ke titik 2 pada V_2 dan A_2 .



Gambar 1 Tabung aliran untuk menurunkan persamaan kontinuitas
(Triatmodjo, 2014)

Volume zat cair yang masuk melalui tampang 1 tiap satuan waktu: $V_1 A_1$.
 Volume zat cair yang keluar dari tampang 2 tiap satuan waktu: $V_2 A_2$. Oleh
 karenanya, tidak ada zat cair yang hilang di dalam tabung aliran, maka :

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (2)$$

Atau

$$Q_1 = Q_2 = \text{konstan} \quad (3)$$

Atau

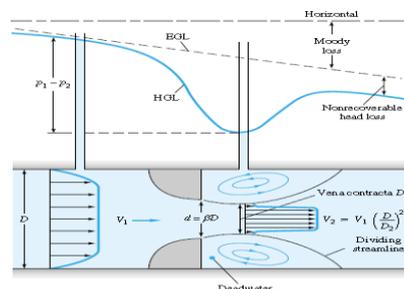
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \text{konstan} \quad (4)$$

2.3 Persamaan Bernoulli

Penurunan persamaan Bernoulli untuk aliran sepanjang garis arus didasarkan pada hukum II Newton tentang gerak ($F = ma$) (Triatmodjo, 2014).

Persamaan ini diturunkan berdasarkan anggapan sebagai berikut:

- Zat cair adalah ideal, jadi tidak mempunyai kekentalan (kehilangan energi akibat gesekan adalah nol)
- Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan (rapat massa zat cair adalah konstan)
- Aliran adalah kontinyu dan sepanjang garis arus.
- Kecepatan aliran merata dalam suatu penampang.
- Gaya yang bekerja hanya gaya berat dan tekanan.

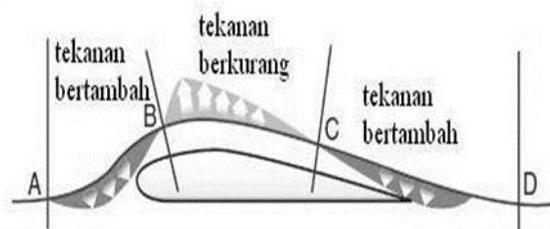


Gambar 2 Perubahan tekanan dan kecepatan melewati *Bernoulli obstruction meter*

(White F.M, 1991)

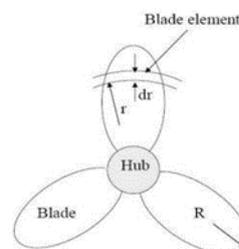
2.4 Hidrodinamika Propeller

Ketika ada perbedaan kecepatan antara bagian atas dan bawah hidrofoil, maka terjadilah hidrodinamika. Fluida bergerak lebih cepat melalui bagian atas *airfoil* dibandingkan melalui bagian bawah. Perbedaan tekanan antara aliran fluida yang lebih tinggi dan yang lebih rendah adalah penyebabnya. Seperti diketahui, hubungan antara tekanan dan kecepatan berbanding terbalik. Hasilnya adalah fluida bergerak melalui bagian bawah *hidrofoil* lebih lambat dibandingkan melalui bagian atasnya. Sumber akhir dari fenomena *lift* atau gaya angkat adalah perbedaan tekanan yang dihasilkan.



Gambar 3 Distribusi tekanan pada foil yang dialiri fluida (Triyanti, 2015)

Pada Gambar 4 baling – baling propeller (*propeller blade*) tersusun dari bidang berbentuk seperti gelang yang memanjang dari *leading edge* menuju *trailing edge*. Setiap *blade* elemen berfungsi seolah-olah merupakan komponen *hidrofoil*. *Propeller blade* juga dapat digambarkan sebagai *twisted airfoil* dengan bentuk yang tidak beraturan. Untuk tujuan analisa, sebuah *blade* dapat dibagi menjadi beberapa bagian yang ditunjukkan oleh jaraknya dari pusat *blade hub*. *Blade shank* adalah bagian tipis dari propeller yang paling dekat dengan *hub*, yang dirancang untuk memberikan kekuatan pada *blade* (Triyanti, 2015).



Gambar 4 Blade Element (Triyanti, 2015)

2.5 Kinematika Fluida

Fluida dalam keadaan bergerak atau lebih dikenal dengan sebutan "mengalir" dalam aplikasi teknik yang melibatkan sistem fluida. Tanpa memperhitungkan gaya yang diperlukan untuk menyebabkan pergerakan tersebut, kinematika fluida menganalisis berbagai karakteristik aliran fluida. Kecepatan, percepatan medan aliran, serta representasi dan persepsi gerak, semuanya termasuk dalam kajian kinematika gerak ini. Memahami dinamika fluida memerlukan dasar yang kuat dalam kinematika aliran fluida (Harinaldi, 2015).

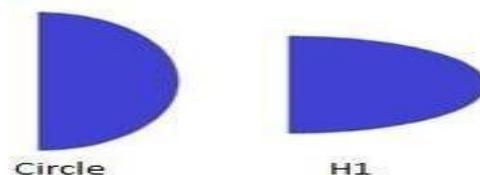
2.6 Nosel

Nosel adalah alat yang digunakan untuk mengontrol ciri dan arah aliran fluida ketika meninggalkan atau memasuki area tertutup pipa. Nosel adalah perangkat yang mengembang cairan bertekanan tinggi sambil mengubah energi potensialnya menjadi energi kinetik. Secara umum, tujuan nosel adalah untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida sekaligus menurunkan tekanan (Vahaji, 2015).

Fungsi nosel adalah mengubah cairan bertekanan tinggi dan berkecepatan rendah menjadi aliran berkecepatan tinggi dengan tekanan di bawah aliran sekunder. Uap memasuki nosel dengan kecepatan lebih tinggi di bagian konvergen, di mana ia mencapai kecepatan sonik. Kecepatan meningkat setelah melewati nosel *throat* menjadi supersonik (kecepatan supersonik), dan terus meningkat hingga mencapai ujung nosel bertekanan rendah (Ariafar, 2014).

2.6.1 Aliran Pada Penampang Nosel

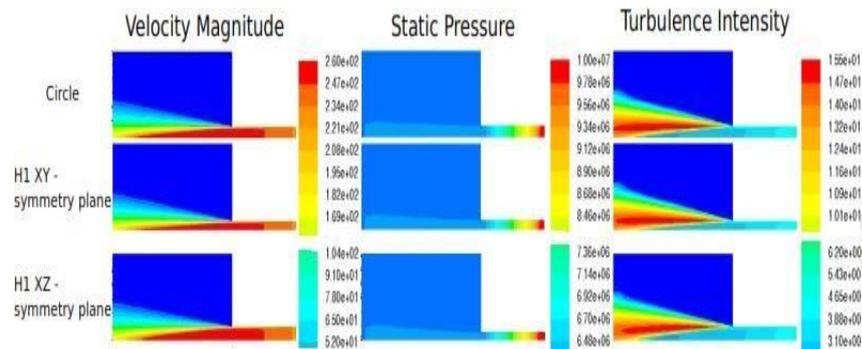
Salah satu tujuan dari proyek penelitian nosel adalah menggunakan teknik RANS untuk menguji pengaruh nozel penampang melingkar dan elips pada Gambar 5 pada aliran dan untuk menghitung kecepatan, tekanan,



Gambar 5 Bentuk variasi penampang nosel (Mustafa, 2015)

intensitas turbulensi, dan medan vortika (Mustafa, 2015).

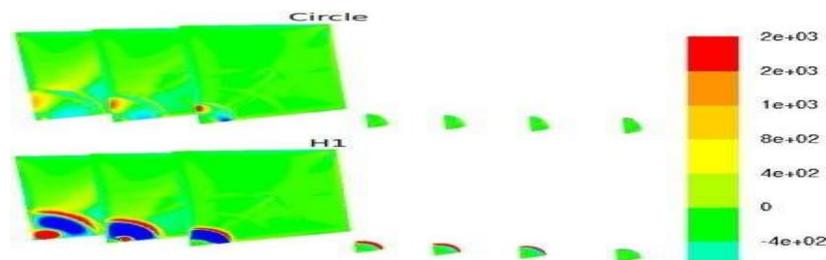
Pada Gambar 6 kontur dari aliran ini dalam bidang simetri XY hanya digambarkan untuk ellips karena memiliki perbedaan diameter pada sumbu utama dan tambahan (kecil). Kontur untuk model bundar dalam bidang simetri XZ menunjukkan hasil yang sama.



Gambar 6 Kecepatan fluida, tekanan dan intensitas turbulensi pada nosel (Mustafa, 2015)

2.6.2 Turbulensi Pada Nosel *Inlet*

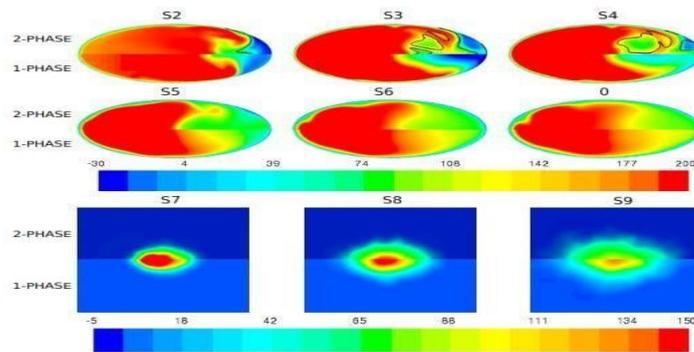
Gambar 7 menunjukkan bahwa turbulensi geser, yang hampir seluruhnya tidak ada di area intake dimana produksi geser dapat diabaikan, terkonsentrasi pada dinding dan berkurang ke arah garis tengah nosel seperti yang diperkirakan. Ketika nosel ditembakkan ke dalam ruangan yang berisi cairan diam, cairan di sekitarnya akan dipindahkan. Kecepatan nosel melambat lebih cepat, yang menyebabkan lebih banyak turbulensi. Ukuran kontur kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan meningkat di inti dan menurun di dinding seiring dengan semakin panjangnya jarak dari pintu masuk. Hal ini karena efek *viskositas* di dekat daerah dinding memberlakukan persyaratan "tidak slip", sehingga memperlambat kecepatan di sana.



Gambar 7 Intensitas turbulensi pada penampang nosel (Mustafa, 2015)

2.6.3 Vortisitas Pada Nosel

Hal ini dapat dilihat di bidang vortisitas *streamwise* rata-rata bahwa vortisitas tertinggi pada gambar 7 yaitu nosel H1 (penampang ellips) daripada Circle semua dilihat pada penampangnya.

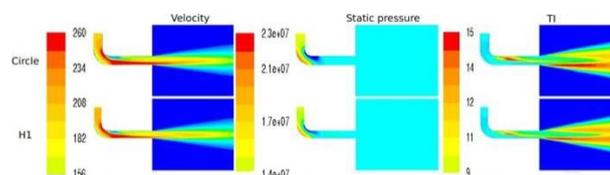


Gambar 8 Vortisitas pada penampang nosel (Mustafa, 2015)

Selain itu, pusaran nosel H1 (penampang elips) terlihat semakin kuat di dalam ruangan. Hal ini karena vortisitas menjadi jauh lebih tinggi akibat perbedaan kecepatan nosel elips. Hal ini dapat dilihat pada Gambar. 8, yang menunjukkan vektor kecepatan pada penampang nosel tertentu. Di area dinding dekat bagian S6, di sekeliling permukaan nosel, dan dekat dengan inti nosel di bagian S8, gradien kecepatan nosel elips jauh lebih besar.

2.6.4 Kecepatan Aliran Pada Nosel *Inlet*

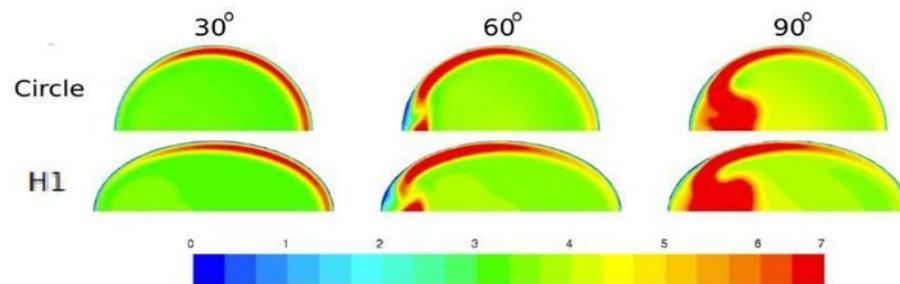
Aliran pada bidang akibat beberapa penampang nosel. Besarnya kecepatan kontur, tekanan statis dan intensitas turbulensi seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Aliran pada sebuah bidang akibat perubahan bentuk nosel (Mustafa, 2015)

Terlihat dalam kontur kecepatan dengan kelengkungan yang kuat pada aliran menyebabkan aliran berpisah. Kemudian, ada wilayah resirkulasi

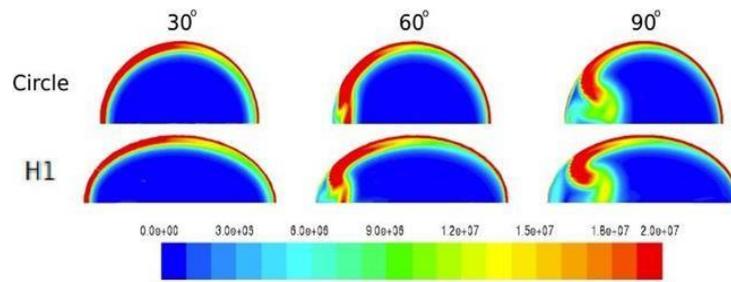
dengan kecepatan rendah dan aliran kecepatan tinggi yang bergerak dari dinding bagian dalam tikungan ke sisi bawah nosel.



Gambar 10 Aliran pada penampang nosel
(Mustafa, 2015)

Kontur intensitas turbulensi pada Gambar 7 menunjukkan konsistensi dengan bidang kecepatan, turun naik kecepatan yang tinggi diharapkan dalam kecepatan tinggi dan distorsi aliran. Tingkat turbulensi dalam nosel ellips lebih diperkuat dan ketiga kasus menunjukkan tingkat intensitas turbulensi tertinggi pada 90^0 .

Bidang vektor menunjukkan gerakan rotasi yang sama dengan aliran sekunder dan tertinggi dalam bidang 90^0 . Struktur vektor di penampang ini telah tumbuh lebih kuat untuk nosel ellips terutama nosel V2. Selanjutnya, dapat dilihat pada bidang tekanan bahwa tekanan paling rendah di daerah kecil di atas sumbu nosel (biru gelap) di dinding bagian dalam tikungan, dilihat dari sudut pandang ini. Tekanan di wilayah ini meningkat di nosel ellips dan penurunan nosel bundar dilihat pada penampang 90^0 . Alasan untuk tekanan menjadi lebih rendah di nosel bundar adalah karena aliran sekunder yang lebih kuat, yang muncul sebagai Dean vortices, terlihat dalam Gambar 10. Perilaku serupa dari medan aliran di tikungan telah diamati secara eksperimental.

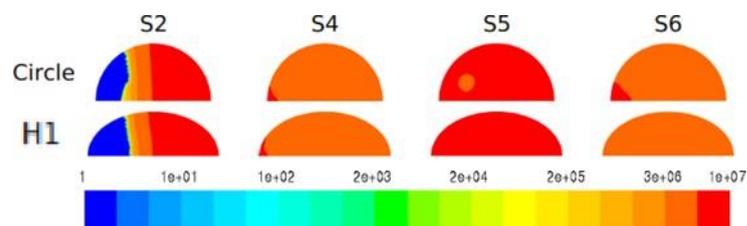


Gambar 11 Kecepatan aliran pada penampang nosel
(Mustafa, 2015)

Ketika aliran nosel meningkat, turbulensi berkurang, dan tingkat turbulensi yang lebih tinggi menyusut. Namun, terjadi peningkatan turbulensi setelah aliran memasuki ruangan, khususnya di sebelah kanan sumbu kecil yang mengelilingi inti nosel. Pemisahan aliran, yang meningkatkan turbulensi pada lapisan geser, merupakan penyebab semakin besarnya kecepatan pada Gambar 11 di bagian bawah nosel yang bersentuhan dengan aliran dari ruang.

2.6.5 Tekanan Pada Nosel *Inlet*

Di bidang tekanan yang ditunjukkan pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa tekanan meningkat di sisi atas (bagian kiri pada gambar) dan menurun pada bagian rendah (di kanan pada gambar) dari nosel di penampang melintang S2 dalam semua contoh. Kemudian di penampang melintang S5. Kemudian, tekanannya lebih tinggi untuk nosel bundar di penampang S6 di bagian atas nosel.



Gambar 12 Tekanan pada bentuk penampang nosel
(Mustafa, 2015)

Sirkulasi aliran menyebabkan banyak tempat infeksi berkembang di bidang kecepatan dekat bagian atas nosel, yang menunjukkan tingkat ketidakstabilan yang lebih besar. Pada bagian S2, aliran pada bagian bawah nosel menunjukkan sedikit variasi, sedangkan aliran lebih konsisten pada

area keluar. Nosel V2 memiliki kecepatan yang lebih rendah di bagian atas, namun semua mesin memiliki profil yang cukup seragam di bagian *outlet*. Ruangan menjadi lebih seragam segera setelah aliran memasukinya. Penampang S6 dimana nosel bulat menunjukkan titik belok yang lebih besar dibandingkan nosel elips menunjukkan bahwa titik belok masih berada pada ruang. Selain itu, nosel elips tampil lebih tinggi.

2.7 Konsep Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamic merupakan ilmu sains pada penentuan penyelesaian numerik dinamika fluida. CFD memanfaatkan 3 kondisi batas (*Boundary Condition*) pada domain fluida sebagai variable input guna menjalankan persamaan tersebut. *Ansys* adalah produk dari perusahaan ANSYS Inc, yang digunakan untuk simulasi serta desain teknik dari produk-produk 3D. *Ansys* bekerja memakai metode *finite element* analysis dimana analisa suatu objek dilakukan dengan memecah objek tersebut menjadi bagian-bagian kecil (*finite elements*) yang dianggap *mesh* dan dihubungkan oleh node.



Gambar 13 Aplikasi Ansys
(Sumber: <https://id.linkedin.com/company/ansys-inc>)

CFD adalah teknik perhitungan yang mengontrol dimensi, luas, dan volume dengan menggunakan pemrosesan komputer untuk melakukan komputasi pada setiap elemen pembagi. Konsepnya adalah ruang yang akan dihitung dan berisi fluida dipisahkan menjadi beberapa bagian, ini biasanya disebut sebagai sel dan prosedurnya dikenal sebagai *meshing*. Kontrol perhitungan akan dilakukan oleh program atau perangkat lunak menggunakan komponen yang terpisah. Penyambungan atau domain spasial ini terdiri dari kontrol penghitungan ini serta kontrol penghitungan tambahan. CFD ini bertujuan untuk mendekati (secara

numerik) aliran persamaan fundamental yang solusinya memberi kita kecepatan dan sifat aliran lainnya. Metode-metode ini memisahkan domain geografis dan temporal untuk menemukan solusi (Aktar S, 2012). Pemakaian CFD secara umum dapat dipakai untuk memprediksi:

- a. Aliran suatu fluida beserta distribusi suhunya
- b. Transfer massa
- c. Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan Pendidihan
- d. Reaksi kimia seperti oksidasi
- e. Gerakan mekanis seperti piston, fan dan propeller pada kapal
- f. Tegangan dan tumpuhan pada benda solid
- g. Gelombang electromagnet

Secara umum Proses penyelesaian masalah dengan menggunakan Ansys CFX terdapat tiga tahap yang harus dilalui yaitu Pre-processor, Flow solver (solution), dan Post- Processor

1. Tahap *Pra-Processor*

Pra-processor adalah langkah di mana data dimasukkan setelah domain dan kondisi batas ditetapkan. Sebuah benda atau ruang yang harus diselidiki dibagi menjadi sejumlah *grid* tertentu pada titik ini, sebuah proses yang dikenal sebagai *meshing*. Secara umum, tahapan ini meliputi:

- a. Pemodelan
- b. Pembuatan domain *fluid*
- c. Pemodelan kondisi batas
- d. Optimasi model yang optimum Pemilihan jumlah *grid* yang optimum

Tipe kondisi batas dan model fisik yang digunakan (turbulensi, persamaan energi, multifase, dll.) menentukan data yang dibutuhkan pada batas. Informasi yang dibutuhkan pada kondisi batas dapat disimpulkan atau merupakan informasi yang sudah diketahui. Namun, asumsi data harus agak akurat. Hasil simulasi akan sangat dipengaruhi oleh input data yang salah pada kondisi batas. Beberapa kondisi batas *Ansys CFX* tercantum di bawah ini:

- a. *Velocity inlet*

Kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya pada saluran masuk aliran ditentukan oleh kondisi batas *velocity inlet*. Hanya aliran *incompressible* yang dapat digunakan pada kondisi batas ini.

b. *Mass flow inlet*

CFX menggunakan nilai tekanan *gauge* sebagai perkiraan awal dan mengoreksinya saat melewati proses iterasi. Kondisi batas *velocity inlet* berlaku untuk turbulensi dan metode spesifikasi arah aliran.

c. *Pressure inlet*

Data tentang tekanan operasi, tekanan pengukur, suhu, arah aliran, dan tekanan total (absolut). Pendekatan yang sama digunakan untuk menentukan kondisi batas *velocity inlet* serta arah aliran dan turbulensi.

d. *Pressure outlet*

Untuk diketahui nilai sebenarnya, pola aliran ini harus memuat nilai tekanan statik, temperatur aliran balik, besaran aliran balik turbulen dari kondisi batas yang digunakan pada sisi keluar fluida, dan data tekanan pada sisi keluaran.

e. *Outflow*

Ketika data di sisi keluar tidak dapat diekstrapolasi dari data aliran sebelum mencapai sisi keluar, kondisi batas ini diterapkan.

f. *Pressure fair-field*

Kondisi batas ini digunakan untuk mensimulasikan aliran kompresibel *free-stream* dengan dimensi yang sangat panjang dan aliran *inlet* dan *outlet* yang jauh. Tekanan *gauge*, bilangan *Mach*, suhu aliran, arah aliran, dan tingkat turbulensi di sisi keluar adalah besaran input.

g. Dinding (*wall*)

Kondisi batas ini yang juga dikenal sebagai dinding saluran, berfungsi sebagai penghalang pergerakan fluida di dalam saluran. Zona padat dan fluida (cair dan gas) dipisahkan oleh kondisi batas ini.

h. *Symmetry* dan *axis*

Tidak ada input data yang diperlukan untuk kedua kondisi batas ini di panel kondisi batas. Jika model geometris dari kasus yang dipermasalahkan dan pola aliran dalam model simetris, kondisi batas

simetri diterapkan. Selain itu, penghalang tanpa gesekan dalam aliran *viscous* dapat dimodelkan menggunakan kondisi batas ini. Sementara itu, *centerline* untuk kasus *2D axisymmetry* ditentukan oleh kondisi batas sumbu.

i. *Periodik*

Hanya situasi di mana medan aliran dan geometri bersifat periodik, baik secara translasi maupun rotasi yang dapat menerapkan syarat batas ini.

j. *Cell zone: Fluid*

Kondisi batas ini diterapkan pada model berbasis fluida. Hanya material fluida merupakan media berpori yang dimasukkan dalam data.

k. *Cell zone: Solid*

Hanya material padat dengan *heat generation rate* yang ditetapkan pada kontinum padat yang dimasukkan dalam data yang dimasukkan. Sedangkan kontinum model yang ditentukan sebagai padatan digunakan dengan kondisi batas ini.

l. *Porous media*

Dengan mengaktifkan zona berpori datar pada panel fluida, kondisi batas ini digunakan. Selain padatan dan cairan, zona berpori adalah jenis zona cairan tertentu. model untuk resistensi terdispersi dan aliran melalui media berpori misalnya: *packed beds, filter papers, perforated plates, flow distributors, tube banks.*

2. Tahap *Solution*

Proses penghitungan data input secara iteratif menggunakan persamaan yang terlibat sedang dilakukan pada saat ini. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan dilanjutkan sampai menemukan kesalahan terkecil atau nilai konvergen. Untuk mengatasi kesulitan CFD pada level ini, perhitungan numerik digunakan. Secara umum tahapan ini meliputi:

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

3. Tahap *post-processor*

Ini digunakan pada titik ini untuk menganalisis, menampilkan, dan menyajikan hal interaktif sesuai dengan situasi yang diperiksa. Hasil perhitungan ditampilkan melalui grafik, animasi, dan bahkan grafik dengan skema warna tertentu. Secara umum, tahapan ini meliputi:

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

Adapun beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamic* antara lain: (Ravindra K, 2014)

- a. Jika suatu produk dilengkapi dengan pengujian eksperimental yang sangat akurat, akan memakan waktu dan uang lebih sedikit.
- b. Memiliki sistem pembelajaran dengan kemampuan untuk melakukan studi yang sulit atau tidak mungkin dilakukan dalam eksperimen.
- c. Memiliki kapasitas untuk studi dalam keadaan berisiko (seperti studi keselamatan dan skenario kecelakaan) pada atau setelah melewati titik kritis. Proses desain akan selalu mengatur kebenarannya.

Pada Bab ini telah dijelaskan teori-teori dan persamaan yang akan digunakan pada penelitian. Selanjutnya metode yang dipergunakan dalam proses pengerjaannya akan dijelaskan pada bab berikutnya.