

**PENGARUH JARAK HORIZONTAL NOSEL INLET
TERHADAP PERFORMA SISTEM PENDINGIN MESIN
BERBASIS DAYA DORONG PROPELLER**

SKRIPSI

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Meraih Gelar Strata 1 (S1)

Sarjana Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



MAHMUDIN SAFIU

D331 16 004

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

**PENGARUH JARAK HORIZONTAL NOSEL INLET
TERHADAP SISTEM PENDINGIN MESIN
BERBASIS DAYA DORONG PROPELLER**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Program Studi Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAHMUDIN SAFIU

D331 16 004

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH JARAK HORIZONTAL NOSEL INLET TERHADAP
PERFORMA SISTEM PENDINGIN MESIN BERBASIS
DAYA DORONG PROPELLER**

Disusun dan diajukan oleh:

MAHMUDIN SAFIU

D33116004

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 *07 - Oktober 2021*

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng Ir Faisal Mahmuddin, ST., M.Eng
NIP. 198102112005011003



Ir. Svelly Klara, MT
NIP. 196405011990022001

Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng Ir Faisal Mahmuddin, ST., M.Eng.
NIP. 198102112005011003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Mahmudin Safiu
NIM : D33116004
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul:

Pengaruh Jarak Horizontal Nosel Inlet Terhadap Performa Sistem Pendingin
Mesin Berbasis Daya Dorong Propeller

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

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

Makassar, 07 Oktober 2021

Yang membuat pernyataan,



Mahmudin Safiu

EFFECT HORIZONTAL DISTANCE OF INTAKE SHAPE TO PERFORMANCE PROPELLER FLOW COOLING SYSTEM (PFCS)

Mahmudin Safiu ¹⁾

Dr. Eng Ir. Faisal Mahmuddin, ST, M.Eng. Ph.D ¹⁾

Ir. Syerly Klara, MT. ¹⁾

¹⁾ Department of Marine Engineering FT-UH

Email : mahmudinsafiu@gmail.com

ABSTRACT

Research on the evolution of technology for the use of fluid flow caused by propeller thrust, it is necessary to develop the most optimal position to produce maximum water discharge. In previous research on the shape and variation of the vertical position of the inlet nozzle on the utilization of the ship's stern flow as a source of cooling water for the ship's main engine. In this research, the analysis carried out is by using an ellips inlet nozzle as the utilization of the stern flow of the ship. This study aims to determine the difference in the volume of water generated from several horizontal positions of the nozzle inlet. In this study the method used is an experimental method that analyzes the horizontal distance of the inlet nozzle to the propeller at 0,7R propeller blade that is, 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 12,5 cm, 15 cm and using the computational dynamic fluid (CFD) method to analyze the optimal horizontal distance of the inlet nozzle to produce the highest water flow rate in each test case. Based on the research result, it shows that the optimal horizontal distance of the inlet nozzle to the propeller is at a distance of 7,5 cm. As from the water flow generated in the experiment is 13,38 liters/minute and the water flow generated in the computational simulation is 14,24 liters/minute. In that case, it can be concluded that the effect of the horizontal distance of the inlet nozzle on the propeller greatly affects the flow of water produced. In process data collection it is better to use commonly used on ship.

Keyword: *Horizontal distance of the nozzle inlet; Computational Fluid Dynamic; Water discharge*

**PENGARUH JARAK HORIZONTAL NOSEL INLET
TERHADAP PERFORMA SISTEM PENDINGIN MESIN
BERBASIS DAYA DORONG PROPELLER**

Mahmudin Safiu ¹⁾

Dibimbing Oleh : Dr. Eng Ir. Faisal Mahmuddin, ST, M.Eng. Ph.D. ¹⁾

Ir. Syerly Klara, MT. ¹⁾

¹⁾ Departemen Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

Email : mahmudinsafiu@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian pengembangan teknologi pemanfaatan aliran fluida yang diakibatkan daya dorong propeller perlu dilakukan pengembangan mengenai posisi yang paling optimal untuk menghasilkan debit air maksimal. Pada penelitian sebelumnya tentang bentuk dan variasi posisi vertikal nosel inlet terhadap pemanfaatan aliran buritan kapal sebagai sumber air pendingin mesin utama kapal. Pada penelitian ini analisa yang dilakukan adalah dengan menggunakan Nosel Inlet bentuk ellips sebagai pemanfaatan aliran buritan kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan volume air yang dihasilkan dari beberapa posisi horizontal nosel inlet. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen yang menganalisa jarak horizontal nosel inlet terhadap propeller pada 0,7R daun propeller yaitu pada jarak 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 12,5 cm, 15 cm dan menggunakan metode Computational Dynamic Fluid (CFD) untuk menganalisa jarak horizontal nosel inlet yang optimal untuk menghasilkan debit air tertinggi pada tiap kasus pengujian. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak horizontal nosel inlet terhadap propeller yang paling optimal yaitu pada jarak 7,5 cm. Adapun debit air yang dihasilkan pada eksperimen adalah 13,28 liter/menit dan debit air yang dihasilkan pada simulasi secara komputasi adalah 14,24 liter/menit. Maka, dapat disimpulkan bahwa pengaruh jarak horizontal nosel inlet terhadap propeller sangat berpengaruh pada debit air yang dihasilkan. Saran dari hasil penelitian, dalam pengambilan data sebaiknya menggunakan mesin diesel yang biasa digunakan pada kapal.

Kata kunci: *Jarak Horizontal Nosel Inlet; Computational Fluid Dynamic; Debit Air*

KATA PENGANTAR

Sesungguhnya segala puji hanya untuk Allah *Subhanuhu Wa Ta'ala*, kita memuji-Nya, memohon pertolongan pada-Nya, dan berserah diri kepada-Nya. Penyusun sangat bersyukur atas selesainya penulisan dan penyusunan tugas akhir ini. Dalam penyusunan skripsi ini penyusun tidak sedikit mendapat kesulitan, namun berkat pertolongan Allah *Subhanuhu wa Ta'ala* dan ikhtiar penyusun sehingga skripsi ini dapat selesai.

Skripsi merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi Mahasiswa di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk meraih gelar sarjana teknik.

Penyusun ingin berterima kasih kepada semua yang telah ikut andil dalam penyusunan skripsi ini. Kepada yang telah memberikan bantuan berupa doa, semangat dan tentunya membantu secara langsung dalam pengerjaan skripsi ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah *Subhanuhu Wa Ta'ala*
2. Bapak **Dr. Eng Faisal Mahmudin S.T., M.Eng.** selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak **Dr. Eng Faisal Mahmudin S.T., M.Eng** selaku pembimbing I yang senantiasa memberikan arahan dan bimbingannya, meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membantu penyusun menyelesaikan skripsi ini.
4. Ibu **Ir. Syerli Klara, MT.** selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing penyusun dalam pengerjaan skripsi ini.
5. Bapak **Andi Husni Sitepu, ST., MT** dan **Baharuddin ST., MT.** selaku dosen penguji.

6. Bapak/Ibu dosen dan staf Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan bantuan dan semangat kepada penyusun.
7. Seluruh Keluarga terkhusus untuk Bapak dan Ibu saya selaku kedua orang tua tercinta yang senantiasa mendoakan dan menyemangati serta tidak lelah untuk memberikan doa, dukungan dan semangat.
8. Teman-teman seperjuangan Departemen Teknik Sistem Perkapalan angkatan 2016 yang telah menjadi teman kuliah yang menyenangkan.

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. Semoga kita semua senantiasa berada dalam lindungan Allah *Subhanu Wa Ta'ala, Aaamiin.*

Gowa, 07 Oktober 2021

Penyusun



Mahmudin Safiu

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRACT	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR SIMBOL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Aliran Fluida	5
2.2 Persamaan Kontinuitas (Hukum Konservasi Massa).....	5
2.3 Persamaan Bernoulli	6
2.4 Hidrodinamika Propeller.....	7

2.5 Kinematika Fluida.....	8
2.6 Nosel	9
2.6.1 Aliran Pada Penampang Nosel.....	9
2.6.2 Turbulensi Pada Nosel <i>Inlet</i>	10
2.6.3 Vortisitas Pada Nosel	11
2.6.4 Kecepatan Aliran Pada Nosel <i>Inlet</i>	12
2.6.5 Tekanan Pada Nosel <i>Inlet</i>	14
2.7 Head Losses	14
2.7.1 <i>Head Loss Mayor</i>	15
2.7.2 <i>Head Loss Minor</i>	17
2.8 ANSYS FLUENT	17
2.8.1 <i>Kemampuan Fluent</i>	18
2.8.2 <i>Kondisi Batas</i>	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
3.2 Desain Alat Pengujian	21
3.3 Kasus yang Diuji	23
3.4 Alat Penelitian	24
3.5 Pengambilan Data	27
3.6 ANSYS FLUENT.....	28
3.7 Kerangka Pikir.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Skema Sistem Pengukuran	32
4.2 Hasil Pengujian Variasi Posisi Horizontal Nosel <i>Inlet</i>	33
4.2.1 Hubungan debit aliran fluida vs Putaran motor	33

4.2.2 Perhitungan <i>Head Losses</i>	34
4.2.3 Hasil simulasi <i>Ansys Fluent</i>	42
BAB V PENUTUP.....	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	
- Dokumentasi Pengambilan Data	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tabung aliran untuk menurunkan persamaan kontinuitas ...	6
Gambar 2.2	Perubahan tekanan dan kecepatan melewati <i>Bernoulli obstruction</i> meter	7
Gambar 2.3	Blade element	7
Gambar 2.4	Distribusi tekanan pada foil yang dialiri fluida	8
Gambar 2.5	Bentuk variasi penampang nosel	9
Gambar 2.6	Kecepatan fluida, tekanan dan intensitas turbulensi pada penampang nosel	10
Gambar 2.7	Intensitas turbulensi pada penampang nosel	11
Gambar 2.8	Vortisitas pada penampang nosel	11
Gambar 2.9	Aliran pada sebuah bidang akibat perubahan bentuk nosel .	12
Gambar 2.10	Aliran pada penampang nosel	12
Gambar 2.11	Kecepatan pada penampang nosel	13
Gambar 2.12	Tekanan pada bentuk penampang nosel	14
Gambar 3.1	Desain prngujian pada <i>Circulation Water Channel</i>	21
Gambar 3.2	Dimensi tangki <i>CWC</i>	22
Gambar 3.3	Propeller	22
Gambar 3.4	Penampang nosel bentuk ellips.....	23
Gambar 3.5	Jarak horizontal nosel <i>inlet</i> terhadap propeller	23
Gambar 3.6	Motor penggerak	24
Gambar 3.7	Tachometer	25

Gambar 3.8	Meteran	25
Gambar 3.9	Stopwatch	26
Gambar 3.10	Flow Meter	26
Gambar 3.11	Menunjukkan desain geometri model pengujian.....	28
Gambar 3.12	Meshing geometri pada <i>Ansys Fluent</i>	29
Gambar 3.13	<i>Set-up</i>	30
Gambar 4.1	Grafik perbandingan debit air pada tiap kasus	34
Gambar 4.2	Grafik Head Losses terhadap jarak horizontal nosel inlet pada putaran mesin 900 rpm.....	41
Gambar 4.3	Grafik perbandingan debit air eksperimen dan analisis <i>ansys fluent</i>	42
Gambar 4.4	Grafik perbandingan rata-rata kenaikan debit air pada tiap putaran mesin eksperimen dan simulasi CFD.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Dimensi tangki CWC	22
Tabel 3.2	Kasus Pengujian Jarak Horizontal Nosel <i>Inlet</i>	24
Tabel 3.3	Spesifikasi Motor Penggerak	24
Tabel 3.4	Spesifikasi Tachometer	25
Tabel 3.5	Spesifikasi Meteran	25
Tabel 3.6	Spesifikasi Stopwatch.....	26
Tabel 3.7	Spesifikasi Flow Meter Sensor	26
Tabel 3.8	Menunjukkan desain geometri model pengujian.....	28
Tabel 3.9	Kondisi <i>Meshing</i> Geometri.....	29
Tabel 3.10	Kondisi <i>Set-up</i> pada domain fluida.....	29
Tabel 3.11	Nilai referensi pada kondisi boundari.....	30
Tabel 3.12	Kondisi pengujian nosel <i>inlet</i>	30
Tabel 4.1	Tabel hasil penelitian jarak horizontal nosel <i>inlet</i>	33
Tabel 4.2	Tabulasi hasil perhitungan pada jarak 5 cm.....	35
Tabel 4.3	Tabulasi hasil perhitungan pada jarak 7,5 cm.....	37
Tabel 4.4	Tabulasi hasil perhitungan pada jarak 10 cm.....	38
Tabel 4.5	Tabulasi hasil perhitungan pada jarak 12,5 cm.....	39
Tabel 4.6	Tabulasi hasil perhitungan pada jarak 15 cm.....	40
Tabel 4.7	Tabulasi hasil simulasi CFD.....	42

DAFTAR SIMBOL

A	: Luas penampang bidang (m^2)
CFD	: <i>Computational Fluid Dynamic</i>
D	: Diameter pipa (m)
f	: Koefisien Gesek
g	: Percepatan gravitasi (m/s^2)
μ	: Viskositas fluida ($N.s/m^2$)
ρ	: Densitas fluida (kg/m^3)
H_{lmy}	: <i>Head Loss Mayor</i> (m)
H_{lm}	: <i>Head Loss Minor</i> (m)
K	: Kefisien Tahanan
L	: Panjang pipa (m)
\dot{m}	: Laju aliran massa (kg/s)
Q	: Debit aliran (m^3/s)
Re	: Bilangan Reynold Number yang tidak memiliki nilai
V	: Kecepatan aliran (m/s)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Umumnya pada kapal-kapal nelayan tradisional memanfaatkan aliran akibat dorongan propeller dengan menempatkan posisi nosel inlet dalam sistem pendingin mesin utama kapal tanpa menggunakan pendekatan secara ilmiah mengenai jarak nosel terhadap daun propeller yang tepat, sehingga aliran fluida yang dihasilkan belum dapat tersalurkan dengan baik. Akibat yang ditimbulkan dari tidak terpenuhinya kebutuhan air pendingin mesin pada kapal sangat berbahaya bagi mesin kapal tersebut, salah satunya adalah overheating. Dalam penempatan posisi nosel inlet baik arah vertikal maupun pada jarak horizontal nosel *inlet* sangat menentukan daya tangkap aliran air untuk memenuhi kebutuhan air pendingin mesin kapal. Maka perlu diatur untuk mendapatkan posisi jarak horizontal dengan daya tangkap aliran fluida yang maksimal, agar jumlah fluida yang masuk ke sistim pendingin mesin kapal dapat diperoleh secara maksimal pula.

Penelitian tentang pemanfaatan aliran fluida akibat dorongan propeller kapal sebagai sumber air pendingin mesin kapal tanpa menggunakan pompa perlu dikaji tentang posisi optimal secara horizontal sehingga debit aliran fluida yang dihasilkan maksimal. Syahrin (2018) melakukan penelitian tentang bentuk dan posisi vertikal nosel *inlet* pada pemanfaatan aliran buritan kapal sebagai sumber air pendingin mesin utama kapal. Pada penelitian ini terbukti bahwa posisi nosel *inlet* secara vertikal yang optimal terletak pada $0,7R$ daun propeller. Pada penelitian sebelumnya juga melakukan penelitian tentang variasi aspek rasio nosel *inlet* bentuk ellips yang paling optimal. Penelitian ini membuktikan bahwa aspek rasio yang paling optimal yaitu $0,9$.

Namun pengembangan teknologi untuk meneliti pemanfaatan aliran fluida yang diakibatkan daya dorong propeller perlu dilakukan mengenai penempatan jarak secara horizontal paling optimal agar dapat menghasilkan debit air maksimal. Propeller merupakan komponen mesin yang dipasang pada poros yang dihubungkan langsung dengan mesin kapal. Dengan berputarnya propeller, maka kapal laut akan mendapatkan tenaga untuk bergerak. Aliran yang diakibatkan oleh putaran propeller kapal akan semakin tinggi tekanannya apabila putaran motor penggerak mengalami peningkatan. Aliran daya dorong akibat putaran propeller inilah yang akan dimanfaatkan sebagai sumber pemenuhan kebutuhan air mesin pendingin mesin kapal tanpa menggunakan pompa. Fenomena aliran akibat daya dorong propeller ini dapat dimanfaatkan dengan memasang nosel inlet secara horizontal untuk menangkap aliran air hasil dorongan propeller sebagai sumber air pendingin mesin kapal tanpa menggunakan pompa.

Oleh karena itu penelitian ini akan menganalisa jarak horizontal terhadap daun propeller. Berdasarkan hipotesa diatas mengenai pentingnya pengaturan jarak horizontal terhadap daun propeller maka penelitian ini di ajukan dengan judul **“Pengaruh Jarak Horizontal Nosel *Inlet* Terhadap Performa 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 jumlah aliran fluida yang masuk ke nosel ?
2. Bagaimana pengaruh jarak horizontal posisi nosel terhadap debit aliran air pendingin mesin kapal?
3. Berapa jarak optimal posisi nosel terhadap daun propeller?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Penelitian ini dilakukan di *Circulation Water Channel (CWC)*.
2. Posisi vertikal *inlet* yang diuji berada pada $0,7R$ daun propeller.
3. Posisi horizontal nosel *inlet* diuji pada jarak 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 12,5 cm dan 15 cm.

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mengetahui pengaruh jarak horizontal nosel *inlet* terhadap propeller kapal.
2. Untuk mengetahui perbedaan debit air yang dihasilkan dari beberapa jarak horizontal nosel *inlet*.
3. Untuk mengetahui secara visual perbedaan jumlah aliran fluida diberbagai jarak horizontal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:

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

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan digunakan untuk mempermudah dalam menemukan gambaran dalam penulisan. Adapun sistematika penulisan dalam skripsi sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan (1) Latar Belakang, (2) Rumusan Masalah, (3) Tujuan Penelitian, (4) Batasan Masalah, (5) Manfaat Penelitian, dan (6) Sistematika Penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan mengenai teori-teori yang berkaitan dengan topik penelitian, seperti aliran fluida, hukum konservasi massa, persamaan bernouli, hidrodinamika propeller, kinematika fluida, nosel, *head losses*, dan ansys fluent yang dapat membantu dalam menyelesaikan masalah.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan penjelasan jenis metode penelitian yaitu metode eksperimen dan komputasi menggunakan software ansys fluent yang digunakan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan dan cara penyelesaiannya.

BAB 4 PEMBAHASAN

Membahas tentang pengaruh jarak horizontal nosel inlet terhadap daun propeller dan hasil validasi dengan menggunakan software ansys.

BAB 5 PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran penelitian

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Aliran Fluida

Jumlah zat cair yang mengalir melalui tampang lintang aliran tiap satu satuan waktu disebut aliran dan diberi notasi Q . Debit aliran biasanya diukur dalam volume zat cair tiap satuan waktu, sehingga satuannya adalah meter kubik per detik (m^3/s) (Triatmodjo, 2014). Di dalam zat cair ideal, dimana tidak terjadi gesekan, kecepatan aliran V adalah sama di setiap titik pada tampang lintang. Apabila tampang aliran tegak lurus dengan arah aliran, maka debit aliran dapat dirumuskan :

$$Q = A \cdot V \dots \dots \dots (2. 1)$$

Dimana :

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

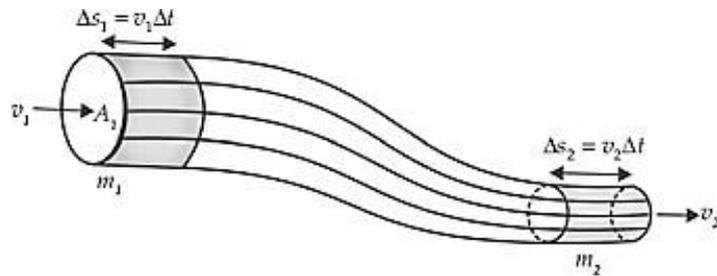
$$A = \text{Luas penampang bidang (m}^2\text{)}$$

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

2.2 Persamaan Kontinuitas (Hukum Kerservasi Massa)

Apabila zat cair tak kompresibel mengalir secara kontinyu melalui pipa atau saluran terbuka, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan, maka volume zat cair yang lewat tiap satuan waktu adalah sama di semua tampang. Keadaan ini disebut dengan hukum kontinuitas aliran zat cair (Triatmodjo, 2014).

Tabung pada Gambar 2.3 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 2.1 Tabung aliran untuk menurunkan persamaan kontinuitas.

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 karena itu, tidak ada zat cair yang hilang di dalam tabung aliran, maka :

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \dots\dots\dots (2. 2)$$

Atau

$$Q_1 = Q_2 = konstan \dots\dots\dots(2. 3)$$

Atau

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = konstan \dots\dots\dots (2. 4)$$

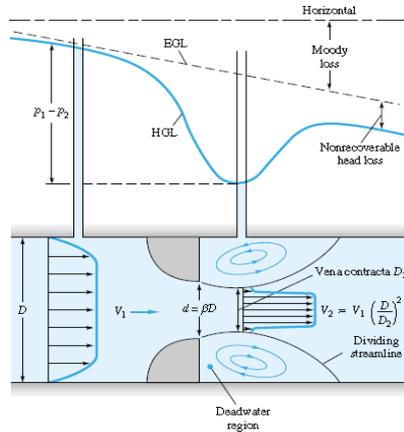
2.3 Persamaan Bernouli

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:

- a) Zat cair adalah ideal, jadi tidak mempunyai kekentalan (kehilangan energi akibat gesekan adalah nol)
- b) Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan (rapat massa zat cair adalah konstan)
- c) Aliran adalah kontinyu dan sepanjang garis arus.
- d) Kecepatan aliran merata dalam suatu penampang.

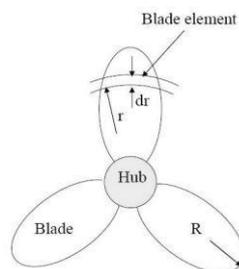
e) Gaya yang bekerja hanya gaya berat dan tekanan.



Gambar 2.2 Perubahan tekanan dan kecepatan melewati *Bernoulli obstruction* meter.

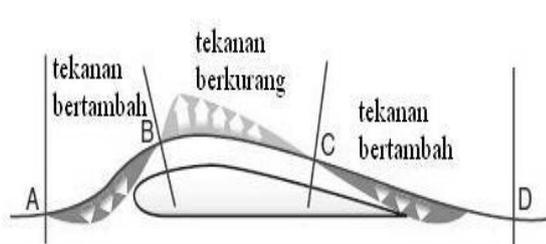
2.4 Hidrodinamika Propeller

Hidrodinamika adalah peristiwa di mana kecepatan antara bagian atas dan bawah *hidrofoil* terjadi perbedaan. Fluida yang melalui bagian atas *airfoil* melaju lebih cepat daripada fluida yang melewati bagian bawah. Hal ini, disebabkan adanya perbedaan tekanan antara aliran fluida bagian atas dan aliran fluida bagian bawah. Seperti yang kita ketahui bahwa besarnya tekanan berbanding terbalik terhadap besarnya kecepatan. Sehingga yang terjadi adalah aliran fluida yang melalui bagian bawah *hidrofoil* lebih pelan bila dibandingkan bagian atas *hidrofoil*. Perbedaan tekanan yang terjadi inilah yang kemudian akhirnya menimbulkan fenomena *lift* atau gaya angkat.



Gambar 2.3 Blade Element

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 adalah bagian dari *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 2.4 Distribusi tekanan pada foil yang dialiri fluida.

2.5 Kinematika Fluida

Dalam aplikasi bidang teknik yang berkaitan dengan sistem fluida, umumnya fluida yang terlibat berada dalam keadaan bergerak atau lebih dikenal dengan istilah “mengalir”. Kinematika fluida mempelajari berbagai aspek gerakan fluida tanpa meninjau gaya – gaya yang diperlukan untuk menghasilkan gerakan tersebut. Kajian kinematika dari gerakan tersebut meliputi kecepatan, percepatan medan aliran serta penggambaran dan visualisasi gerakan tersebut. Pemahaman tentang kinematika aliran fluida merupakan dasar penting untuk memahami dinamika fluida (Harinaldi, 2015).

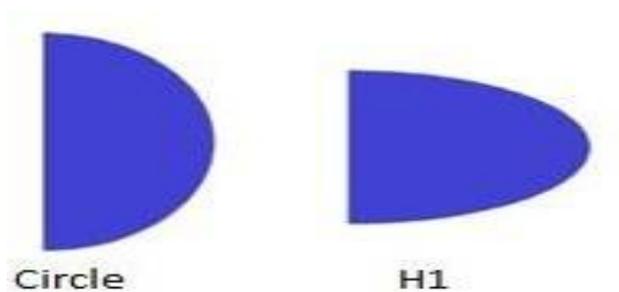
2.6 Nosel

Nosel adalah alat yang digunakan untuk menentukan arah dan karakteristik aliran fluida saat keluar atau memasuki ruang tertutup pada sebuah pipa. Nosel adalah alat di mana energi dari cairan bertekanan tinggi diubah energi kinetik dalam proses ekspansi. Fungsi nosel secara umum adalah untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida yang diikuti dengan penurunan tekanan (Vahaji, 2015).

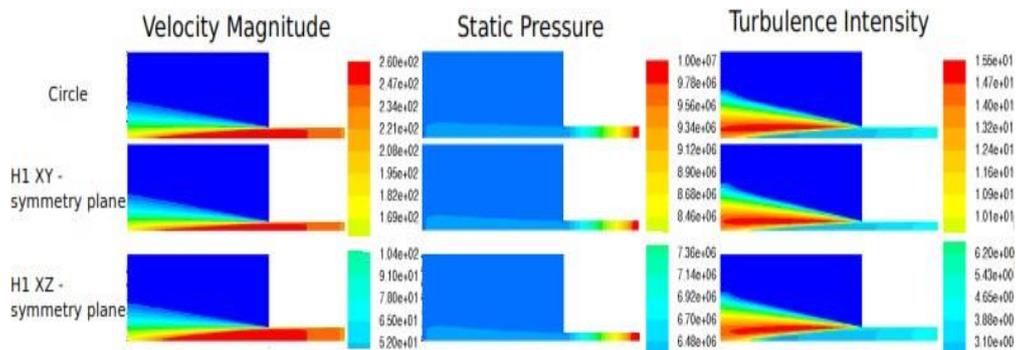
Fungsi dari nosel adalah mengkonversi fluida yang tekanan tinggi dan kecepatan rendah menghasilkan kecepatan yang tinggi namun mempunyai *pressure* yang lebih rendah dari tekanan *secondary flow*. Kecepatan uap saat memasuki nosel meningkat di bagian konvergen dan mencapai kecepatan sonic (*sonic velocity*) pada nosel *throat*. Setelah melewati nosel *throat* kecepatan meningkat menjadi supersonik (*supersonic velocity*) dan terus meningkat hingga akhir dari nosel yang memiliki tekanan rendah (Ariafar, 2014).

2.6.1 Aliran Pada Penampang Nosel

Salah satu tujuan penelitian pada nosel adalah menganalisis pengaruh nosel penampang bundar dan ellips dalam aliran dengan pendekatan RANS untuk mengetahui kecepatan, tekanan, intensitas turbulensi dan bidang vortisitas (Mustafa, 2015).



Gambar 2.5 Bentuk variasi penampang nosel.

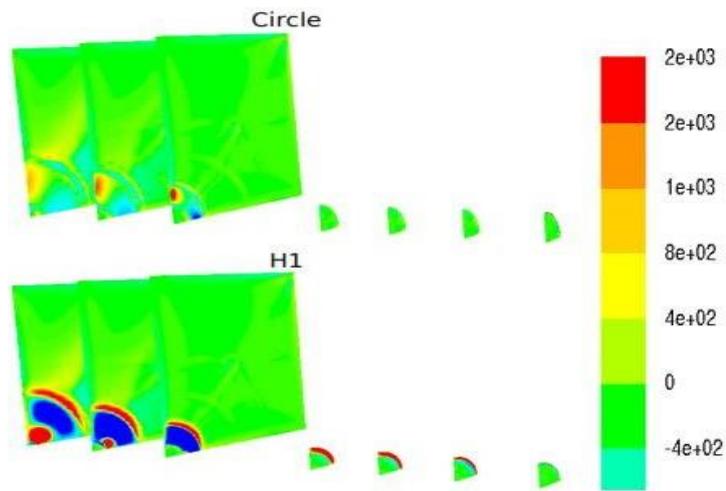


Gambar 2.6 Kecepatan fluida, tekanan dan intensitas turbulensi pada nosel.

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.

2.6.2 Turbulensi Pada Nosel Inlet

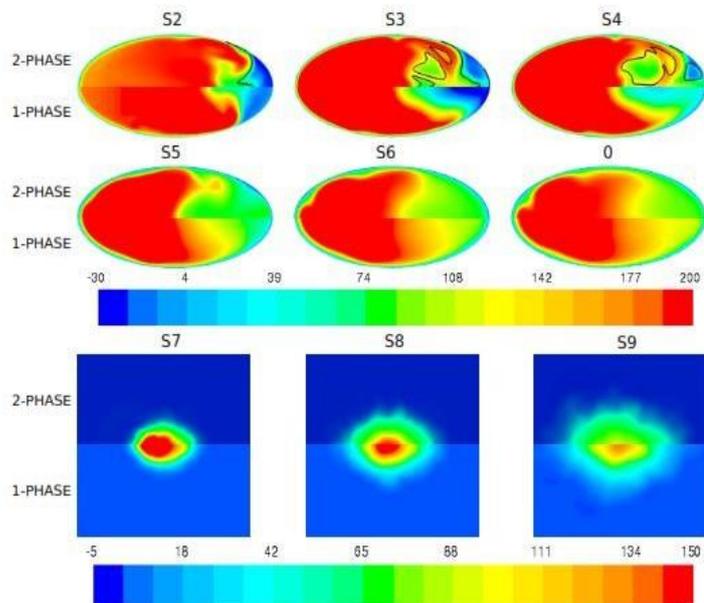
Tingkat turbulensi tertinggi pada geser terletak di dinding dan menurun menuju garis tengah nosel seperti yang diharapkan terlihat pada Gambar 2.7, menunjukkan bahwa turbulensi hampir hilang di wilayah pintu masuk di mana produksi geser nol. Ketika nosel dibuang ke ruang dengan cairan stasioner, ia membawa cairan ke sekitarnya. Nosel ini semakin diperlambat sehingga mengarah ke tingkat turbulensi yang lebih tinggi. Kontur besarnya kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan diperlambat pada dinding dan peningkatan inti dengan meningkatnya jarak dari panjang pintu masuk. Hal ini disebabkan oleh efek *viskositas* dekat daerah dinding yang memaksakan kondisi "tidak slip", yang memperlambat kecepatan yang berdekatan dengan dinding dan meningkatkan kecepatan dalam inti. Kontur tekanan menunjukkan efek dari persamaan Bernoullis yaitu peningkatan kecepatan mengarah ke penurunan tekanan. Hal ini terlihat dari Gambar 2.7 bahwa model yang berbeda menunjukkan tingkat kemiripan yang tinggi dalam skala yang sama (Mustafa, 2015).



Gambar 2.7 Intesitas turbulensi pada penampang nosel

2.6.3 Vortisitas Pada Nosel

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



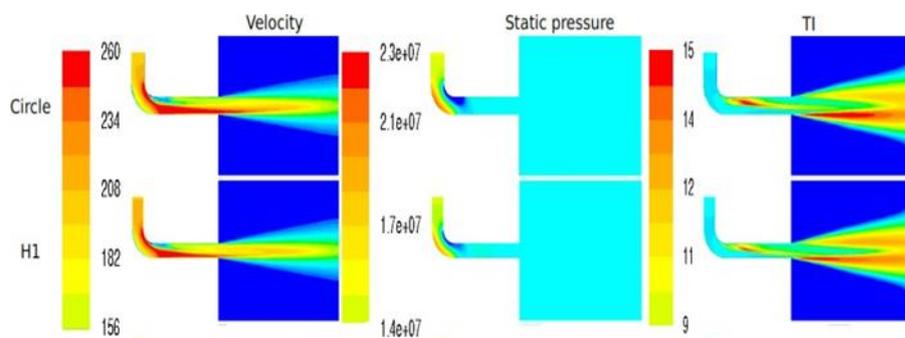
Gambar 2.8 Vortisitas pada penampang nosel

Selanjutnya, dapat dilihat di ruang vortisitas yang tumbuh lebih kuat untuk nosel H1 (penampang ellips). Ini karena gradien kecepatan di nosel ellips yang meningkatkan vortisitas jauh lebih tinggi. Ini terlihat pada Gambar 2.8. yang

menunjukkan vektor kecepatan pada beberapa penampang di nosel. Gradien kecepatan jauh lebih tinggi pada nosel ellips di daerah dinding dekat di penampang S6 dan sekitar permukaan nosel dan dekat inti nosel di penampang S8 (Mustafa, 2015).

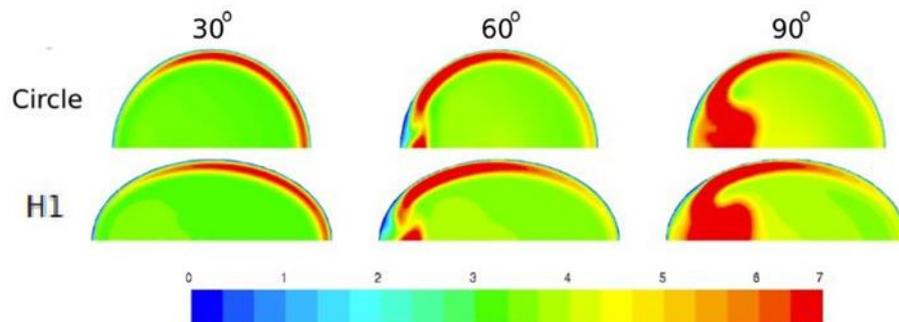
2.6.4 Kecepatan Aliran Pada Nosel Inlet

Aliran pada bidang akrobat beberapa penampang nosel. Besarnya kecepatan kontur, tekanan statis dan intensitas turbulensi seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Aliran pada sebuah bidang akrobat perubahan bentuk nosel.

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.

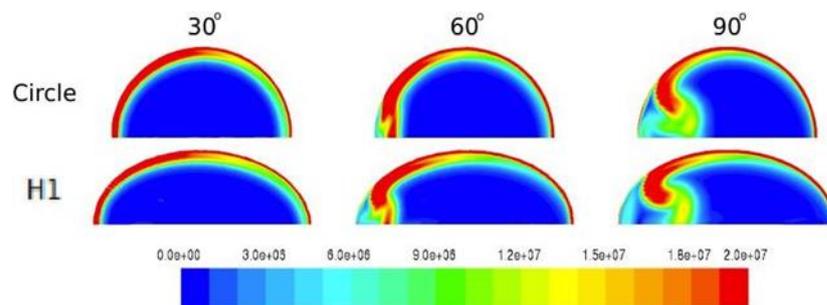


Gambar 2.10 Aliran pada penampang nosel.

Kontur intensitas turbulensi pada Gambar 2.7 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° .

Bidang vektor menunjukkan gerakan rotasi yang sama dengan aliran sekunder dan tertinggi dalam bidang 90° . 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° . Alasan untuk tekanan menjadi lebih rendah di nosel bundar adalah karena aliran sekunder yang lebih kuat, yang muncul sebagai Dean vortices, terlihat dalam Gambar 2.10. Perilaku serupa dari medan aliran di tikungan telah diamati secara eksperimental.

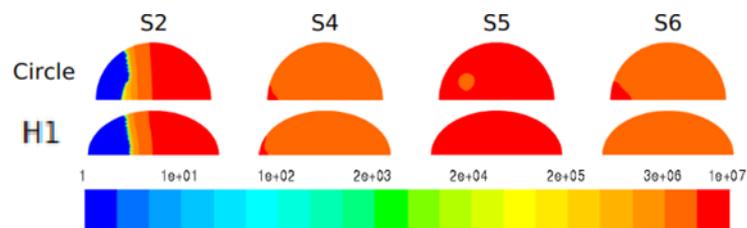


Gambar 2.11 Kecepatan aliran pada penampang nosel.

Lebih lanjut aliran di nosel, tingkat turbulensi menurun dan tingkat turbulensi yang lebih tinggi menjadi lebih sempit. Namun, ketika aliran memasuki ruang, tingkat turbulensi meningkat, terutama di wilayah setengah bagian kanan sumbu kecil di sekitar inti nosel. Pemisahan aliran menyebabkan kecepatan yang lebih tinggi di bagian bawah nosel dalam kontak dengan aliran dari ruang, menghasilkan lebih banyak turbulensi pada lapisan geser (Mustafa, 2015).

2.6.5 Tekanan Pada Nosel Inlet

Di bidang tekanan yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 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 2.12 Tekanan pada bentuk penampang nosel.

Hal ini terlihat di bagian atas nosel bahwa sirkulasi aliran menyebabkan munculnya beberapa titik infeksi di bidang kecepatan, yang menunjukkan tingkat ketidakstabilan yang lebih tinggi. Aliran di bagian bawah nosel menunjukkan perubahan kecil di penampang S2 tetapi lebih seragam di bagian *outlet*. Juga terlihat bahwa, nosel V2 menunjukkan kecepatan yang lebih rendah di bagian atas sementara semua contoh menunjukkan profil yang cukup mirip di bawah. Ketika aliran memasuki ruangan menjadikannya jauh lebih seragam. Namun, titik perubahan masih ada di ruang, terlihat di penampang S6, di mana nosel bundar menunjukkan titik perubahan lebih tinggi daripada nosel ellips. Nosel ellips juga menunjukkan kecepatan yang lebih tinggi daripada nosel bundar (Mustafa, 2015).

2.7 Head Losses

Head loss merupakan suatu fenomena rugi-rugi aliran di dalam system pemipaan. Rugi-rugi aliran selalu terjadi pada sistem pemipaan dengan menggunakan berbagai macam fluida, seperti fluida cair dan gas. Pada umumnya, rugi aliran yang terbesar terjadi pada fluida cair, hal ini dikarenakan sifat molekulnya yang padat dibandingkan gas dan memiliki gesekan lebih besar

terhadap media yang dilalui itu lebih besar, maka gesekan yang terjadi pun akan semakin besar. Selain itu akibat yang paling mendasar dengan adanya rugi-rugi aliran (*head loss*) ialah dapat menyebabkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan aliran fluida yang berdampak meningkatnya penggunaan listrik pada mesin penggerak fluida seperti pompa. Gesekan akan menimbulkan penurunan tekanan atau kehilangan energi di sepanjang aliran.

Berdasarkan lokasi timbulnya kehilangan, secara umum kehilangan tekanan akibat gesekan atau kerugian ini digolongkan menjadi 2 macam kerugian aliran yaitu kerugian mayor dan kerugian minor. Kerugian mayor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada pipa lurus. Disebut “mayor” karena pipa lurus sebagai komponen utamanya. Sedangkan kerugian minor adalah kehilangan tekanan yang terjadi di selain pipa lurus misalnya kerugian pada katup-katup, sambungan T, sambungan L, dan sebagainya. Disebut ”minor” karena katup-katup, sambungan T, sambungan L merupakan komponen dari pipa pendukung. Dua kerugian aliran fluida akibat gesekan di sepanjang komponen aliran ini disebut dengan head loss (Triatmodjo, 2014).

$$H_{Total} = H_{lmy} + H_{lm} \dots \dots \dots (2. 5)$$

Dimana :

- $H_{lmy} = \text{Head Loss Mayor (m)}$
- $H_{lm} = \text{Head Loss Minor (m)}$

2.7.1 Head Losses Mayor

Pada aliran lamiran nilai koefisien gesek hanya sebagai fungsi bilangan Reynold saja, karena aliran kaminar tidak dipengaruhi oleh faktor kekasaran permukaan pipa. Namun dengan semakin tingginya bilangan Reynolds, maka koefisien gesekan (f) hanya sebagai fungsi dari kekasaran relative permukaan pipa.

Penurunan tekanan (P) pada aliran turbulen merupakan fungsi dari bilangan reynolds (Re), perbandingan panjang dan diameter pipa (L/D) (Triatmodjo, 2014).

$$H_{lmy} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2. 6)$$

Dimana :

- H_{lmy} = *Head Loss Mayor* (m)
- f = Koefisien gesek
- L = Panjang pipa (m)
- v = Kecepatan aliran fluida (m³/detik)
- g = Percepatan gravitasi (m/detik²)
- D = Diameter pipa (m)

Nilai f dipengaruhi oleh jenis aliran (laminer, transisi atau turbulen) dan material pipa. Material pipa menunjukkan besarnya kekasaran pada permukaan pipa.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \dots\dots\dots (2. 7)$$

Dimana :

- Re = Bilangan Reynold (tak berdimensi)
- ρ = Densitas fluida (kg/m³)
- μ = Viskositas fluida (N.s/m²)

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan oleh *Osbourne Reynold* ditetapkan tentang nilai bilangan *Reynold* yang digunakan untuk membedakan antara aliran laminar, turbulen, dan transisi. Rentang nilai tersebut adalah :

- Pada Re <2300, aliran bersifat laminar
- Pada Re = 2300 – 4000, aliran bersifat transisi
- Pada Re > 4000, aliran bersifat turbulen

2.7.2 Head Loss Minor

Head loss minor merupakan kerugian-kerugian aliran kecil pada sistem pipa. Pada aliran yang melewati belokan dan katup koefisien tahanan (K) merupakan fungsi dari ratio panjang ekuivalen komponen pipa, diameter komponen pipa (Le/D), dan kekasaran relatif pipa (f). Dapat dihitung dengan persamaan, yaitu :

$$H_{lmy} = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (2.8)$$

Karena

$$K = f \cdot \frac{l}{D} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

- H_{lm} = *Head Loss Minor* (m)
- K = Koefisien tahanan
- v = Kecepatan aliran fluida (m³/detik)
- f = Kekasaran relative

2.8 ANSYS FLUENT

FLUENT adalah program komputer yang digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida dan perpindahan panas. Aliran dan perpindahan panas dari berbagai fluida dapat disimulasikan pada bentuk/geometri yang rumit. Dengan menggunakan program *FLUENT*, dapat diketahui parameter-parameter aliran dan perpindahan panas yang diinginkan. Distribusi tekanan, kecepatan aliran, laju aliran massa, dan distribusi temperatur dapat diketahui pada tiap titik yang terdapat dalam sistem yang dianalisa.

FLUENT didukung oleh jenis mesh tipe 2D triangular-quadrilateral, 3D tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge, dan mesh campuran (hybrid). *FLUENT* memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel, karena *FLUENT* ditulis dalam bahasa C. *FLUENT* juga dapat dijalankan sebagai proses terpisah secara simultan ada klien desktop workstation dan computer server.

2.8.1 Kemampuan *FLUENT*

FLUENT memiliki kemampuan pemodelan sebagai berikut:

- Aliran 2D, 2D *axisymmetric*, 2D *axisymmetric* dengan *swirl*, dan 3D.
- Aliran tunak (*steady*) ataupun transien.
- Aliran fluida kompresibel dan inkompresibel untuk semua daerah kecepatan (subsonik, supersonik, dan hipersonik).
- Aliran invsikos, laminar, dan turbulen.
- Perpindahan panas, meliputi konveksi paksa, konveksi bebas, campuran, konjugasi (padatan/fluida), dan radiasi.

2.8.2 Kondisi Batas

Kondisi batas merupakan data masukan yang sangat penting untuk simulasi aliran dengan FLUENT. Kondisi batas yang digunakan harus merupakan parameter aliran yang dapat dipercaya nilainya. Secara garis besar pemodelan saluran terbuka terdiri dari beberapa kondisi batas, yaitu :

a. Velocity Inlet

Lokasi kondisi batas ini berada pada sisi masuk daerah saluran. Nilai masukan yang dibutuhkan adalah kecepatan aliran air, arah aliran, dan sifat turbulensi. Pada kondisi batas ini, kecepatan masuk aliran akan selalu tetap sepanjang iterasi.

b. Mass Flow Inlet

Untuk fluida inkompresibel, sebenarnya kondisi batas ini hampir sama dengan *velocity inlet*. Laju aliran massa merupakan perkalian antara kecepatan, luas penampang, dan massa jenis fluida. Pada kondisi batas ini diperlukan nilai masukan berupa laju aliran massa fluida, tekanan statik gage, arah aliran, dan sifat turbulensi. Laju aliran massa akan selalu tetap sebesar nilai masukan sepanjang simulasi.

Nilai tekanan statik nantinya akan dikoreksi oleh FLUENT sehingga dapat berbeda dari nilai awalnya.

c. Pressure Outlet

Kondisi batas ini dipakai pada sisi keluar fluida. Kondisi batas ini dipilih apabila nilai tekanan statik pada sisi keluaran diketahui atau minimal dapat diperkirakan mendekati nilai sebenarnya. Pada kondisi batas ini diperlukan nilai masukan berupa tekanan statik, arah aliran, dan besaran turbulensi. Tekanan statik merupakan acuan pada bidang batas yang dipilih. Oleh karena itu, nilai tekanan statik akan selalu tetap selama iterasi transient.

d. Pressure Inlet

Nilai tekanan total merupakan acuan pada kondisi batas ini. Tekanan total yang dimaksud adalah penjumlahan tekanan statik dan tekanan dinamik (faktor kecepatan). Dengan menggunakan kondisi batas ini, tekanan total akan memiliki nilai yang tetap sepanjang simulasi transient. Namun demikian, bagian dari tekanan total (tekanan statik dan dinamik) dapat berubah sebagai fungsi yang berbanding terbalik antara satu dengan yang lainnya.

e. Outflow

Kondisi batas ini digunakan apabila parameter aliran pada keluaran sama sekali tidak diketahui. Kondisi batas ini hanya dapat digunakan untuk fluida inkompresibel dengan aliran berkembang penuh (*fully developed*). Kondisi batas ini tidak dapat digunakan bersamaan dengan *pressure outlet* atau *pressure inlet*.

f. Wall

Seluruh dinding yang terdapat pada saluran (termasuk katup dan sudu) didefinisikan sebagai dinding. Tidak ada nilai yang harus dimasukkan pada kondisi batas ini apabila dinding tidak bergerak terhadap waktu.

g. Continuum

Kontinum (volume yang dilewati aliran) harus didefinisikan. Jenis fluida dari kontinum dipilih berdasarkan fluida yang mengalir. Untuk kasus kontinum yang berputar terhadap waktu (misalnya: kasus *sliding mesh*), maka titik asal putaran, arah putaran, dan besarnya kecepatan putar merupakan nilai yang harus dimasukkan.