

SKRIPSI

PENGARUH *ASPECT RATIO* NOSEL *INLET* TERHADAP PERFORMA *PROPELLER FLOW COOLING SYSTEM (PFCS)*

Disusun dan diajukan oleh :

TAKBIRANSYAW MAHSYAM

D331 16 503



DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH *ASPECT RATIO* NOSEL *INLET* TERHADAP PERFORMA
*PROPELLER FLOW COOLING SYSTEM (PFCS)***

Disusun dan diajukan oleh :

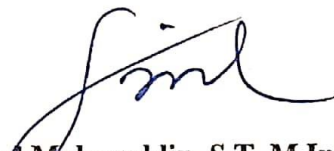
TAKBIRANSYAW MAHSYAM

D33116503

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 15 Juli 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



Ir. Syerly Klara, M.T
NIP. 19640501 199002 2 001



Departemen Teknik Sistem Perkapalan,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Takbiransyaw Mahsyam
NIM : D33116503
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“Pengaruh *Aspect Ratio* Nosel *Inlet* Terhadap Performa *Propeller Flow Cooling System* (PFCS)”

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

Gowa, 15 Juli 2021

Yang membuat pernyataan,



Takbiransyaw Mahsyam

**PENGARUH *ASPECT RATIO* NOSEL *INLET* TERHADAP PERFORMA
PROPELLER FLOW COOLING SYSTEM (PFCS)**

Takbiransyaw Mahsyam. ¹⁾

Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M. Inf.,Tech.,M.Eng. ²⁾

Ir. Syerly Klara, M.T. ²⁾

¹⁾ Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

²⁾ Dosen Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

Email : takbiransyawm@gmail.com

ABSTRAK

Dalam pendistribusian fluida air laut khususnya pada sistem pendingin mesin, masih menggunakan pompa untuk memindahkan air laut dari seachest ke pendingin mesin. Hal tersebut berpengaruh terhadap konsumsi pemakaian listrik di kapal. Tapi dari sisi lain, usaha untuk meneliti pemanfaatan aliran fluida akibat putaran propeller perlu untuk dikembangkan. Hal itu dapat menjadi alternatif khususnya pada sistem pendingin mesin. Pada penelitian sebelumnya, menyebutkan bahwa penampang nosel *inlet* berbentuk ellips memiliki debit air paling besar dibandingkan dengan bentuk penampang nosel bundar. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bentuk penampang nosel *inlet* yang optimal terhadap performa dari *propeller flow cooling system* (PFCS). Penelitian ini dilakukan pada 5 kasus dengan variasi nilai *aspect ratio* (Ar) yaitu 0,09; 0,17; 0,28; 0,40; 0,50, dan putaran mesin rpm 900, 1100, 1300, 1500. Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan pengujian langsung sehingga menghasilkan nilai kecepatan aliran (m/s) dan debit air (liter/menit) pada tiap kasus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa , pada kasus 3 dengan nosel *inlet* Ellips 3 dengan *aspect ratio* 0,28 merupakan yang paling optimal dibandingkan dengan kasus yang lain dengan debit air 12,24 liter/menit dan kecepatan aliran masuk 0,8 m/s.

Kata Kunci : *Aspect Ratio*, Nosel *Inlet*, Kecepatan Aliran, Debit Air, *Propeller Flow Cooling System* (PFCS)

THE EFFECT OF INLET NOZZLE ASPECT RATIO ON PERFORMANCE OF PROPELLER FLOW COOLING SYSTEM (PFCS)

Takbiransyaw Mahsyam. ¹⁾

Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T.,M.Inf.,Tech.,M.Eng. ²⁾

Ir. Syerly Klara, M.T. ²⁾

¹⁾ Student of Marine Engineering of Hasanuddin University

²⁾ Lecturer of Marine Engineering of Hasanuddin University

Email : takbiransyawm@gmail.com

ABSTRACT

In distributing seawater fluid, especially in the engine cooling system, it is still using a pump to move seawater from the seachest to the engine cooler. This affects the consumption of electricity consumption on the ship. But from the other side, efforts to examine the use of fluid flow caused by propeller thrust need to be developed. It can be an alternative, especially in the engine cooling system. In a previous study, it was stated that the elliptical shape of the inlet nozzle had the largest water discharge compared to the circular cross section of the nozzle. Therefore, the purpose of this study was to determine the optimal cross-sectional shape of inlet nozzle to performance of propeller flow cooling system (PFCS). This research is carried out in 5 cases with variations of aspect ratio (Ar) value are 0.09; 0.17; 0.28; 0.40; 0,50, and engine speed rpm 900, 1100, 1300, 1500. The research method used is direct testing so as to produce the value of flow velocity (m/s) and water discharge (liters/minute) in each case. The results showed that, in case 3 with an Ellips 3 inlet nozzle with an aspect ratio of 0.28, it was the most optimal compared to other cases with a water discharge of 12.24 liters/minute and a flow velocity of 0.8 m/s.

Keywords : Aspect Ratio, Inlet Nozzle, Flow Velocity, Water Discharge, Propeller Flow Cooling System (PFCS)

KATA PENGANTAR

Puji syukur, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh *aspect ratio* nosel *inlet* terhadap performa propeller *flow cooling system* (PFCS)” dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Shawalat serta salam senantiasa terlimpah dan tucurahkan kepada baginda Nabi Muhammad Shallallahu'alaihi wa Sallam, kepada keluarganya, para sahabatnya serta para pengikutnya yang setia hingga akhir zaman. Aamiin Yaa Raball 'Alamin.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program S1 (Strata Satu) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui ini penulis memberikan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada :

1. **Allah Subhanahu wa ta'ala,**
2. **Ayahanda Drs. Muh. Mahsyam Arif dan Ibunda Liana** selaku orang tua yang senantiasa selalu memberikan motivasi, doa, dan dukungan materi demi keberlangsungan selama kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universtas Hasanuddin.
3. **Sofaria Fatimatuzzahra, dan Nizam Al Fatih Mahsyam** selaku Istri dan Anak yang merupakan sosok penyemangat dan motivasi penulis dalam pengerjaan skripsi ini sehingga dapat selesai sesuai dengan yang diharapkan.

4. **Dr. Eng Faisal Mahmuddin, ST. M.Eng** selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam memberikan pengarahan selama dalam pengerjaan skripsi.
5. **Dr. Eng Faisal Mahmuddin, ST. M.Eng** selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan pengarahan, bimbingan, dan motivasi mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
6. **Ibu Ir. Syerly Klara, MT** selaku dosen pembimbing II yang juga telah meluangkan waktunya untuk memberikan pengarahan, bimbingan, dan pengajarannya sehingga skripsi ini bisa terselesaikan.
7. **Dosen-dosen** Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, motivasi serta bimbingannya selama dalam proses perkuliahan.
8. **Seluruh kanda-kanda senior** yang selalu memberikan kritik dan saran sehingga dapat dijadikan bahan perbaikan dalam proses pengambilan data dan penyelesaian skripsi ini.
9. **Seluruh saudara-saudari mahasiswa** Jurusan Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Khususnya, Angkatan 2016 yang senantiasa memberi banyak bantuan motivasi, dukungan serta waktu yang telah dilalui bersama. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terima kasih kepada dinda – dinda junior atas dukungannya.
10. **Seluruh teman-teman** seperjuangan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2016 atas semua bantuan dan dukungannya dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk memenuhi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca dan khususnya penulis.

Aamiin Ya Rabbal 'alamiin.

Gowa, 15 Juli 2021

Penyusun

Takbiransyaw Mahsyam

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah.....	2
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	3
I.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
II.1 Tekanan Hidrostatik.....	6
II.2 Kinematika Fluida.....	6
II.2.1 Aliran Seragam dan Tak Seragam	7
II.2.2 Aliran Laminer dan Aliran Turbulen	7
II.2.3 Debit Aliran	10
II.3 Persamaan Kontinuitas (Hukum Konservasi Massa).....	10
II.4 Persamaan Bernoulli	11
II.5 Hidrodinamika Propeller.....	12
II.6 Nosel	14
II.6.1 Nosel <i>Convergent</i>	14

II.6.2	Nosel <i>Convergent-Divergent</i>	15
II.6.3	Aliran Pada Penampang Nosel.....	17
II.6.4	Kecepatan Aliran Pada Nosel <i>Inlet</i>	18
II.6.5	Tekanan Pada Nosel <i>Inlet</i>	21
II.7	<i>Head Loss</i>	22
II.7.1	<i>Head Loss Mayor</i>	23
II.7.2	<i>Head Loss Minor</i>	25
II.8	Perbandingan Debit Air Berdasarkan Bentuk dan Posisi Nosel <i>Inlet</i> ...	26
BAB III.	METODE PENELITIAN.....	27
III.1	Objek dan Waktu Penelitian	27
III.2	Tempat dan Alat Pengujian	27
III.3	Kasus yang Diuji	29
III.3.1	Kasus 1	30
III.3.2	Kasus 2	30
III.3.3	Kasus 3	31
III.3.4	Kasus 4	32
III.3.5	Kasus 5	33
III.4	Peralatan Penelitian	33
III.5	Tahapan Penelitian.....	37
III.6	Kerangka pikir	39
BAB IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	40
IV.1	Gambaran Umum	40
IV.2	Sistem Pengambilan Data.....	41
IV.3	Hasil Pengujian Variasi Bentuk Nosel <i>Inlet</i> Ellips	43
IV.3.1	Kasus 1	43
IV.3.2	Kasus 2	45
IV.3.3	Kasus 3	47
IV.3.4	Kasus 4	49

IV.3.5 Kasus 5	51
IV.4 Hasil Analisa Data.....	53
BAB V. PENUTUP.....	56
V.1 Kesimpulan	56
V.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	
Lampiran 1. Persiapan pengambilan data	
Lampiran 2. Proses pengambilan data	
Lampiran 3. Tabel karakteristik fisik fluida	
Lampiran 4. Tabel karakteristik fisik fluida air	
Lampiran 5. Perhitungan koefisien gesek fluida (f)	
Lampiran 6. Perhitungan koefisien kekasaran	
Lampiran 7. Data loger hasil pengukuran <i>flowmeter sensor</i> tiap kasus	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Laminer dan Aliran Turbulen	8
Gambar 2.2 Percobaan <i>Reynold</i> tentang aliran laminar (a) dan aliran turbulen (b).....	9
Gambar 2.3 Tabung aliran untuk menurunkan persamaan kontiunitas.....	11
Gambar 2.4 Perubahan tekanan dan kecepatan melewati <i>Bernoulli obstruction</i> meter	12
Gambar 2.5 Blade Element	13
Gambar 2.6 Distribusi tekanan pada foil yang dialiri fluida	13
Gambar 2.7 Fenomena aliran pada <i>converging</i> nosel.....	15
Gambar 2.8 Fenomena <i>convergent-divergent</i> nosel.....	17
Gambar 2.9 Bentuk variasi penampang nosel.....	18
Gambar 2.10 Kecepatan fluida, tekanan dan intensitas turbulensi pada penampang nosel.....	18
Gambar 2.11 Aliran pada sebuah bidang akibat perubahan bentuk nosel.....	19
Gambar 2.12 Aliran pada penampang nosel	20
Gambar 2.13 Kecepatan aliran pada penampang nosel	21
Gambar 2.14 Tekanan pada bentuk penampang nosel.....	21
Gambar 2.15 Perbandingan debit air yang dihasilkan dari beberapa bentuk dan posisi nosel <i>inlet</i> dengan variasi putaran mesin.....	26
Gambar 3.1 (a) Desain <i>Circulation Water Channel</i> (CWC) (b) tampak samping <i>Circulation Water Channel</i> (CWC)	27
Gambar 3.2 Desain alat pengujian (a) tampak 3D (b) tampak samping	28
Gambar 3.3 Propeller (a) dan Detail propeller (b)	29
Gambar 3.4 Posisi nosel 0.7R daun propeller (a) Tampak samping (b) Tampak 3D.....	29

Gambar 3.5 (a) Dimensi penampang nosel <i>inlet</i> (b) model asli alat uji.....	30
Gambar 3.6 (a) Dimensi penampang nosel <i>inlet</i> (b) model asli alat uji.....	31
Gambar 3.7 (a) Dimensi penampang nosel <i>inlet</i> (b) model asli alat uji.....	31
Gambar 3.8 (a) Dimensi penampang nosel <i>inlet</i> (b) model asli alat uji.....	32
Gambar 3.9 (a) Dimensi penampang nosel <i>inlet</i> (b) model asli alat uji.....	33
Gambar 4.1 Skema pengukuran alat percobaan.....	41
Gambar 4.2 Skema perakitan alat pengukuran	42
Gambar 4.3 Perbandingan debit air tiap kasus.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ukuran penampang nosel.....	17
Tabel 3.1 Dimensi tangki CWC.....	28
Tabel 3.2 Spesifikasi peralatan penelitian.....	33
Tabel 4.1 Data hasil kecepatan aliran masuk tiap variasi putaran mesin	43
Tabel 4.2 Debit air yang dihasilkan bentuk nosel <i>inlet</i> ellips 1.....	44
Tabel 4.3 Debit air yang dihasilkan bentuk nosel <i>inlet</i> ellips 2.....	46
Tabel 4.4 Debit air yang dihasilkan bentuk nosel <i>inlet</i> ellips 3.....	48
Tabel 4.5 Debit air yang dihasilkan bentuk nosel <i>inlet</i> ellips 4.....	50
Tabel 4.6 Debit air yang dihasilkan bentuk nosel <i>inlet</i> ellips 5.....	51
Tabel 4.7 Hasil data debit air dan kecepatan aliran semua kasus	53

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

A	: Luas penampang bidang (m^2)
Ar	: <i>Aspect Ratio</i>
CWC	: <i>Circulation Water Channel</i>
D	: Diameter pipa (m)
Da atau a	: Diameter ellips vertikal/pendek (cm)
Db atau b	: Diameter ellips horizontal/panjang (cm)
f	: Kekasaran relatif pipa
g	: Percepatan gravitasi (m/s^2)
h	: Kedalaman fluida (m)
H_{lm}	: <i>Head loss minor</i> (m)
H_{lmy}	: <i>Head loss mayor</i> (m)
k	: Koefisien kekasaran
L	: Panjang pipa (m)
m	: Massa (kg)
P_b	: <i>Back pressure</i> (N/m^2)
P_e	: <i>Outlet nosel pressure</i> (N/m^2)
PFCS	: <i>Propeller flow cooling system</i>
P_h	: Tekanan hidrostatis (N/m^2 atau Pa)
P_o	: Tekanan hulu (N/m^2)
P^*	: Tekanan kritis (N/m^2)
Q	: Debit aliran (m^3/s)
R	: Jari-jari (m)
Re	: <i>Reynold Number</i>
RPM	: Putaran per menit
V	: Kecepatan aliran (m/s)
ρ	: Massa jenis fluida (kg/m^3)
f	: Koefisien gesek fluida
ν	: Viskositas kinematik (m^2/s)
μ	: Viskositas dinamik ($N.s/m^2$)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pemanfaatan fluida air laut di atas kapal sangat banyak dilakukan. Hal ini disebabkan karena ketersediaan air laut sangat melimpah jika dibandingkan dengan air tawar yang diperoleh dari darat dan digunakan seefisien mungkin di atas kapal. Penggunaan air laut di kapal misalnya pada ballas, sanitary, dan sistem pendinginan mesin.

Dalam pendistribusian fluida air laut khususnya pada sistem pendingin mesin, masih menggunakan pompa untuk memindahkan air laut dari seachest ke pendingin mesin. Hal tersebut berpengaruh terhadap konsumsi pemakaian listrik di kapal. Tapi dari sisi lain, usaha untuk meneliti pemanfaatan aliran fluida yang diakibatkan putaran propeller perlu untuk dikembangkan.

Saat ini, penelitian tentang pemanfaatan aliran fluida tersebut masih perlu untuk dikembangkan. Hal itu dapat menjadi alternatif khususnya pada sistem pendingin mesin. Pada penelitian sebelumnya, menyebutkan bahwa penampang nosel inlet berbentuk elips memiliki debit air paling besar dibandingkan dengan bentuk penampang nosel bundar. Hal ini yang mendorong penulis untuk membuat desain penampang nosel inlet berbentuk elips yang lebih optimal dalam menunjang performa pemanfaatan aliran buritan kapal untuk sumber air pendingin mesin.

Penelitian kali ini tidak jauh berbeda dari penelitian yang dilakukan sebelumnya, yaitu berfokus pada desain penampang nosel *inlet* berbentuk elips dengan pertimbangan *aspect ratio* bentuk elipsnya sehingga, akan terlihat

perbandingan dari berbagai macam pendesainan bentuk elips yang sesuai dan optimal juga pengaruhnya terhadap performa aliran fluida akibat putaran propeller sebagai sumber air pendingin mesin. Maka dari itu, penulis akan melakukan penelitian dengan judul, “Pengaruh *aspect ratio* nosel *inlet* terhadap performa *propeller flow cooling system* (PFCS)”.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang ada yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain model penampang nosel *inlet* dengan beberapa variasi *aspect ratio*?
2. Bagaimana pengaruh *aspect ratio* terhadap performa *propeller flow cooling system* ?
3. Bagaimana bentuk penampang nosel *inlet* elips yang optimal terhadap performa *propeller flow cooling system* ?

I.3 Batasan Masalah

Terkait masalah yang timbul maka perlu adanya pembatasan masalah agar sesuai dengan permasalahan serta mempermudah dalam melakukan analisa.

Maka adapun batasan masalah yang dibahas adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan di *circulation water channel* (CWC),
2. Objek percobaan yaitu bentuk penampang nosel *inlet* elips dengan beberapa variasi *aspect ratio*,
3. Posisi nosel *inlet* yang akan diuji adalah dibagian 0,7R daun propeller,

4. Pengambilan data hanya pada putaran mesin 900 rpm, 1100 rpm, 1300 rpm, dan 1500 rpm,
5. Analisa data dengan melihat banyaknya debit air yang dihasilkan pada masing-masing model percobaan.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mendesain model penampang nosel *inlet* dengan beberapa variasi *aspect ratio*,
2. Untuk mengetahui pengaruh *aspect ratio* terhadap performa *propeller flow cooling system*,
3. Untuk mengetahui bentuk penampang nosel *inlet* elips yang optimal terhadap performa dari *propeller flow cooling system*.

I.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai referensi dalam hal penggunaan bentuk penampang nosel *inlet* elips yang optimal terhadap *propeller flow cooling system*,
2. Sebagai penambah pengetahuan tentang pengaruh *aspect ratio* bentuk penampang nosel *inlet* elips terhadap performa *propeller flow cooling system*,
3. Dapat menjadi referensi dalam penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan masalah ini.

I.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan skripsi dan pembaca memahami uraian serta makna secara sistematis, maka skripsi disusun pada pola berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang teori-teori dasar yang berkaitan dengan pembahasan penelitian.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, perolehan data, penyajian data dan kerangka pemikiran.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil yang diperoleh dari pengolahan data dan pengujian secara langsung serta analisa hasil pengujian.

BAB V : PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisi informasi tentang daftar tulisan ilmiah yang digunakan sebagai rujukan penulis dalam penelitian ini.

LAMPIRAN

Pada halaman ini berisi informasi gambar dan penjelasan terkait dengan dokumentasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik dapat didefinisikan sebagai tekanan yang terjadi pada massa fluida statik (yang diam) akibat pengaruh gaya gravitasi. Dengan demikian tekanan hidrostatik dapat dianggap terjadi akibat bekerjanya gaya berat suatu kolom fluida. Tekanan hidrostatik fluida bergantung pada kedalaman (ketinggian) kolom fluida dari permukaan, kerapatan dan percepatan gravitasi yang dirumuskan dengan persamaan (Harinaldi, 2015):

$$P_h = \rho gh \dots \dots \dots (2. 1)$$

Dimana :

P_h = Tekanan hidrostatik (N/m² atau Pa)

ρ = Kerapatan fluida (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

h = Kedalaman fluida (m)

II.2 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).

II.2.1 Aliran Seragam dan Tak-Seragam

Aliran seragam (*uniform flow*) terjadi jika kecepatannya tidak terpengaruhi oleh perubahan tempat. Dengan demikian jika ditinjau pada waktu yang sama, kecepatan aliran (V) selalu sama di seluruh titik. Jika s mewakili koordinat aliran, secara matematika kondisi aliran seragam ini dapat dinyatakan dengan:

$$\frac{\partial V}{\partial s} = 0 \dots\dots\dots (2. 2)$$

Aliran tak seragam (*non-uniform flow*) terjadi jika kecepatannya terpengaruhi oleh perubahan tempat. Dengan demikian jika ditinjau pada waktu yang sama, kecepatan aliran tidak selalu sama di seluruh titik. Secara matematika, kondisi aliran tak seragam ini dapat dinyatakan dengan:

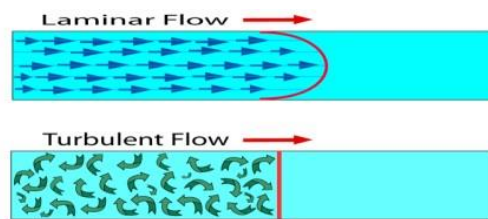
$$\frac{\partial V}{\partial s} \neq 0 \dots\dots\dots (2. 3)$$

II.2.2 Aliran Laminer dan Aliran Turbulen

Aliran fluida dapat dibedakan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen, tergantung pada jenis garis alir yang dihasilkan oleh partikel-partikel fluida. Jika aliran dari seluruh partikel fluida bergerak sepanjang garis yang sejajar dengan arah aliran (atau sejajar dengan garis tengah pipa, jika fluida mengalir di dalam pipa), fluida yang seperti ini dikatakan laminar. Fluida laminar kadang-kadang disebut dengan fluida viskos atau fluida garis alir (*streamline*).

Kata laminar berasal dari bahasa latin lamina, yang berarti lapisan atau plat tipis. Sehingga, aliran laminar berarti aliran yang berlapis-lapis. Lapisan-

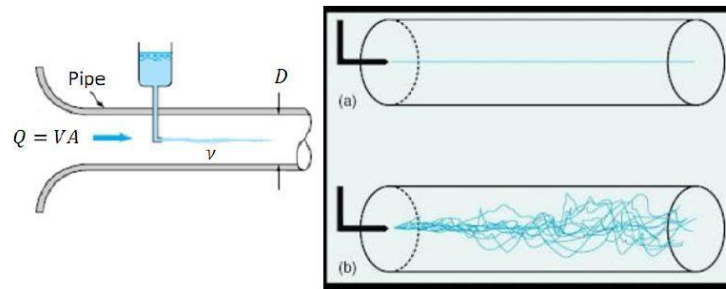
lapisan fluida akan saling bertindihan satu sama lain tanpa bersilangan seperti pada gambar 2.1 (bawah). Jika gerakan partikel fluida tidak lagi sejajar, mulai saling bersilangan satu sama lain sehingga terbentuk pusaran di dalam fluida, aliran yang seperti ini disebut dengan aliran turbulen, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Aliran laminar dan aliran turbulen

Karakteristik struktur aliran internal (dalam pipa) sangat tergantung dari kecepatan rata-rata aliran dalam pipa, densitas, viskositas dan diameter pipa. Aliran fluida (cairan atau gas) dalam pipa mungkin merupakan aliran laminar atau turbulen. Perbedaan antara aliran laminar dan turbulen secara eksperimen pertama sekali dipaparkan oleh *Osborne Reynold* pada tahun 1883. Eksperimen itu dijalankan dengan menyuntikkan cairan berwarna ke dalam aliran air yang mengalir di dalam tabung kaca. Jika fluida bergerak dengan kecepatan cukup rendah, cairan berwarna akan mengalir di dalam sistem membentuk garis lurus tidak bercampur dengan aliran air, seperti yang diperlihatkan pada gambar (a). Pada kondisi seperti ini, fluida masih mengalir secara laminar. Jadi pada prinsipnya, jika fluida mengalir cukup rendah seperti kondisi eksperimen ini, maka terdapat garis alir. Bila kecepatan fluida ditingkatkan, maka akan dicapai suatu kecepatan kritis. Fluida mencapai kecepatan kritis dapat ditandai dengan terbentuknya gelombang cairan warna. Artinya garis alir tidak lagi lurus, tetapi mulai bergelombang dan kemudian

garis alir menghilang, karena cairan berwarna mulai menyebar secara seragam ke seluruh arah fluida air, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Percobaan *Reynold* tentang aliran laminar (a) dan aliran turbulen (b)

Reynold menunjukkan bahwa aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan suatu angka tertentu. Angka tersebut diturunkan dengan membagi kecepatan aliran di dalam pipa dengan nilai $\mu/\rho D$, yang disebut dengan *Reynold Number* (*Re*). *Reynold Number* mempunyai bentuk (Triatmodjo, 2014):

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \dots\dots\dots (2. 4)$$

Dimana :

Re = Bilangan Reynold

V = Kecepatan aliran (m/s)

D = Diameter pipa (m)

ν = Viskositas kinematik (m²/s)

μ = Viskositas dinamik (N.s/m²)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

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

Pada $Re < 2300$, aliran bersifat laminar.

Pada $Re = 2300-4000$ terdapat daerah transisi.

Pada $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen.

II.2.3 Debit Aliran

Jumlah zat cair yang mengalir melalui penampang lintang aliran tiap satuan waktu disebut debit 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:

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots (2. 5)$$

Dimana :

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

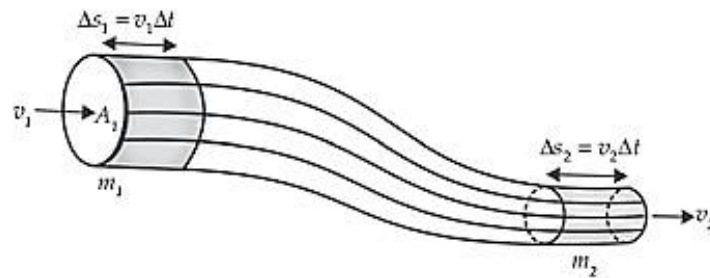
$$A = \text{Luas penampang bidang (m}^2\text{)}$$

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

II.3 Persamaan Kontinuitas (Hukum Konservasi Massa)

Apabila zat cair tak kompresibel mengalir secara kontinu 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 2.3 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: $V_2 A_2$ sementara dm/dt merupakan laju perubahan massa (m). Oleh karena itu, tidak ada zat cair yang hilang di dalam tabung aliran, maka :

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \dots \dots \dots (2. 6)$$

atau

$$Q_1 = Q_2 = \text{konstan} \dots \dots \dots (2. 7)$$

atau

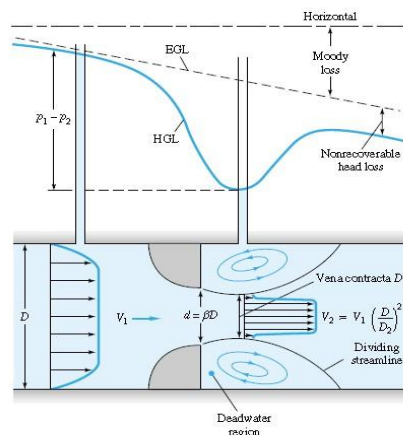
$$\frac{dm_1}{dt} = \frac{dm_2}{dt} = \text{konstan} \dots \dots \dots (2. 8)$$

II.4 Persamaan Bernoulli

Penurunan persamaan *Bernoulli* untuk aliran sepanjang garis arus didasarkan pada hukum II Newton tentang gerak (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.

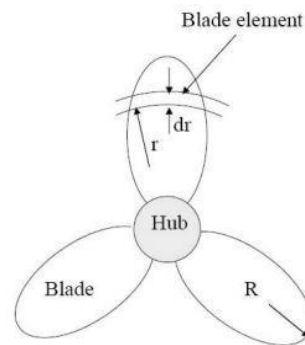


Gambar 2.4 Perubahan tekanan dan kecepatan melewati *Bernoulli obstruction meter*.

II.5 Hidrodinamika Propeller

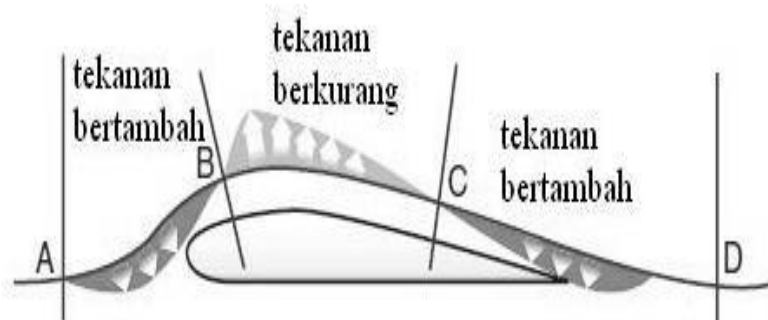
Hidrodinamika adalah peristiwa di mana kecepatan antara bagian atas dan bawah *hidrofoil* terjadi perbedaan. Fluida yang melalui bagian atas *airfoil* melaju lebih cepat daripada fluida yang melewati bagian bawah. Hal ini, disebabkan adanya perbedaan tekanan antara aliran fluida bagian atas dan aliran 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 itu. 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*.



Gambar 2.5 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 2.6 Distribusi tekanan pada foil yang dialiri fluida

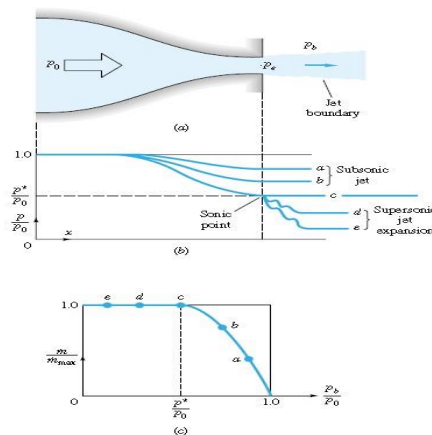
II.6 Nosel

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 menjadi energi kinetik dalam proses ekspansi. Fungsi nosel secara umum adalah untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida yang diikuti dengan penurunan tekanan (Vahaji dkk, 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 dkk, 2014).

II.6.1 Nosel *Convergent*

Dapat dilihat pada Gambar 2.7. sebuah tekanan hulu atau P_o melewati sebuah pengecilan penampang. Pada hilir tekanan mengalami penurunan akibat tekanan balik yang besarnya lebih kecil dari tekanan hulu (P_o). Profil penurunan tekanan pada hilir ditunjukkan oleh gambar a, profil perubahan tekanan dan penampang ditampilkan pada gambar b, dan profil perubahan laju aliran massa ditampilkan pada gambar c.



Gambar 2.7 Fenomena aliran pada *converging* nosel

Pada penurunan *back pressure* secara moderat untuk kondisi a dan b, tekanan pada throat lebih tinggi dari tekanan kritis (P^*), dimana hal tersebut menyebabkan aliran didalam nosel *subsonic* dan aliran sisi *outlet* (P_e) sama dengan *back pressure* (P_b). Pada kondisi c, nilai *back pressure* sama dengan tekanan kritis (P^*) pada *throat*. Aliran didalam nosel menjadi sonic, aliran *outlet* sama dengan *back pressure* ($P_e = P_b$)

Jika tekanan P_b menurun lebih jauh dibawah tekanan kritis (P^*) untuk kondisi d dan e, aliran pada nosel tidak dapat mengalami perubahan lebih lanjut karena nosel mengalami *choking*. Kecepatan aliran pada *throat* nosel tetap pada *sonic* dengan $P_e = P^*$ dan distribusi tekanan pada nosel sama dengan kondisi c. Aliran sisi *outlet* berekspansi secara *supersonic* sehingga *outlet nosel pressure* dapat turun dari P^* ke P_b (Martinez, 2016).

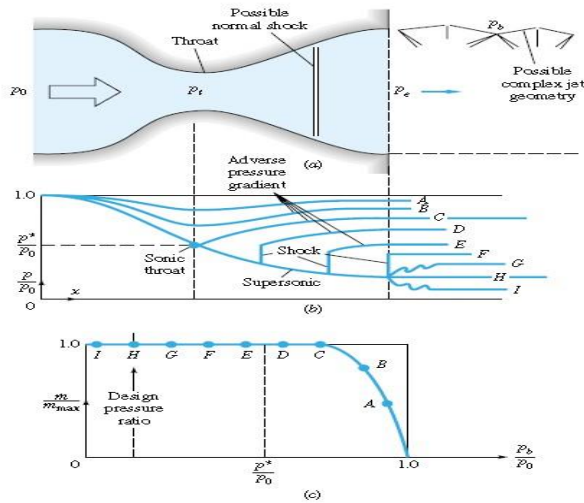
II.6.2 Nosel *Convergent-Divergent*

Nosel *Convergent-Divergent* harus mempunyai area yang halus dengan permukaan *throat* yang halus untuk menjaga agar aliran tetap menyentuh

penampang dinding. Aliran dimulai dari hulu dan meningkat hingga kecepatan maksimum pada *throat* (Martinez, 2016).

Jika aliran pada *throat* adalah *subsonic*, maka di sepanjang nosel sampai titik keluar nosel aliran tetap *subsonic* (evolusi a). Jika aliran pada *throat* adalah *sonic* maka dapat terjadi beberapa kondisi di hilir antara lain :

1. Aliran pada nosel sepenuhnya *subsonic* kecuali pada *throat* (evolusi b).
2. Aliran menjadi *supersonic* setelah *throat* tapi sebelum titik keluar, dan normal *shock wave* bisa menyebabkan transisi perubahan secara tiba-tiba menjadi *subsonic* (evolusi c),
3. Aliran menjadi *supersonic* dengan normal *shock wave* di titik keluar nosel (evolusi d),
4. Aliran menjadi *supersonic* setelah *throat* dan tetap *supersonic* sampai titik keluar tapi ada 3 kasus yang dapat dibedakan, yaitu :
 - a. Terjadi *oblique shock wave* pada titik keluar nosel untuk menekan gas buang menjadi *back pressure* yang lebih tinggi (evolusi e),
 - b. Adapted nosel, dimana tekanan pada titik keluar nosel sama dengan tekanan hilir (evolusi f),
 - c. Ekspansi aliran timbul pada titik keluar nosel, untuk mengekspansi gas buang menjadi *back pressure* yang lebih rendah (evolusi g).



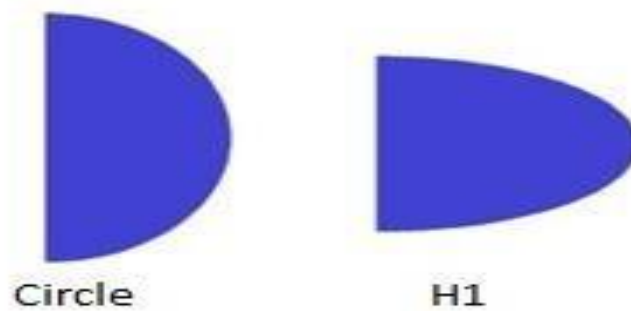
Gambar 2.8 Fenomena *convergent-divergent* nosel

II.6.3 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).

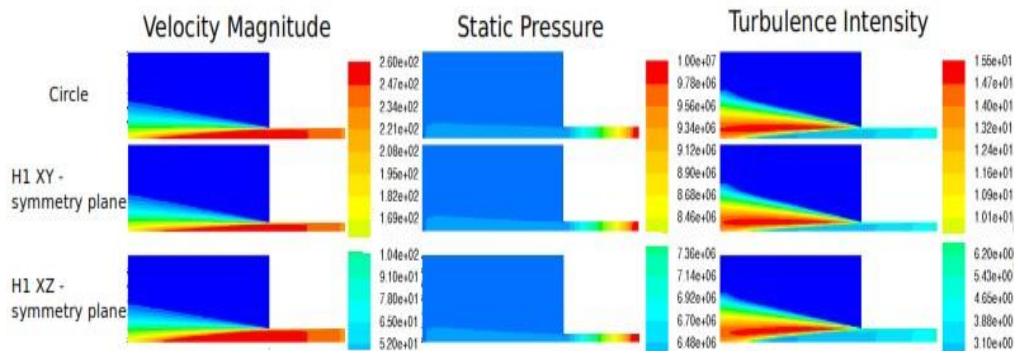
Tabel 2. 1 Ukuran penampang nosel

Nozzle type	a(μm)	b(μm)	Area(m^2)	D_h (μm)
Circular	85	85	$2.270e^{-8}$	85
H_1	120	60	$2.262e^{-8}$	77.8



Gambar 2.9 Bentuk variasi penampang nosel (*Sumber : Mustafa, 2015*)

Kontur besaran dalam bidang simetri XY dan XZ digambarkan pada Gambar 2.10

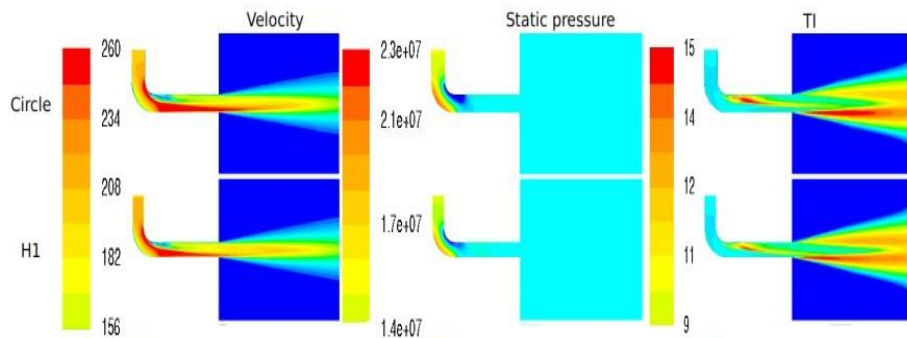


Gambar 2.10 Kecepatan fluida, tekanan dan intensitas turbulensi pada penampang nosel.

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 seperti pada bidang simetri XY, seperti yang diharapkan.

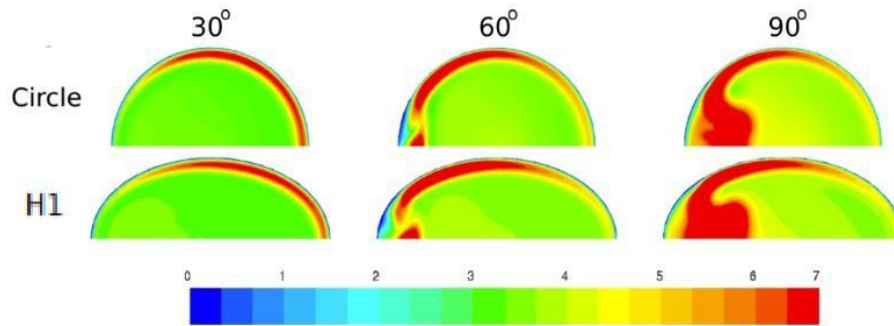
II.6.4 Kecepatan Aliran Pada Nosel *Inlet*

Aliran pada bidang akibat beberapa penampang nosel. Besarnya kecepatan kontur, tekanan statis dan intensitas turbulensi seperti digambarkan pada gambar 2.11



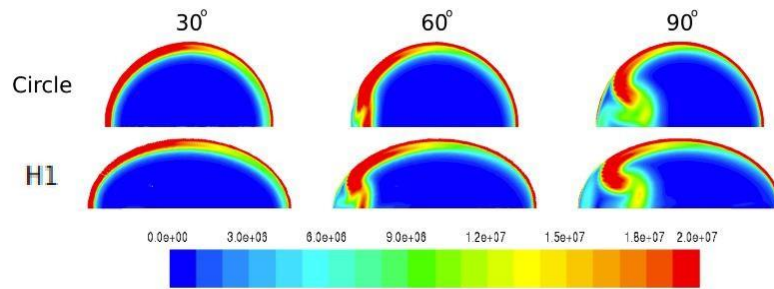
Gambar 2.11 Aliran pada sebuah bidang akibat perubahan bentuk nosel

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. Tekanan kontur menunjukkan peningkatan dimana kecepatan berkurang di dinding ortor dari tikungan dan perilaku yang berlawanan di dinding ellips tikungan, itu dijelaskan oleh persamaan *bernioullis*. Kontur intensitas turbulensi, produksi geser meningkat di daerah resirkulasi yang memberikan tingkat turbulensi yang lebih tinggi. Selanjutnya, terlihat bahwa intensitas turbulensi berkembang ke arah sisi bawah nosel. Tingkat intensitas turbulensi tidak menjadi seragam di sekeliling nosel menyatakan bidang yang kurang terdistribusi untuk mengurangi pencampuran yang lebih buruk di wilayah tingkat intensitas turbulensi yang lebih rendah. Penampang ellips menunjukkan nilai-nilai pada bidang aliran yang menguntungkan untuk nosel, kasus-kasus ini dianalisis lebih lanjut. Aliran pertama adalah tikungan di 30° , 60° dan 90° .



Gambar 2.12 Aliran pada penampang nosel

Kontur intensitas turbulensi pada gambar 2.12 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 H_1 . 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 2.13. Perilaku serupa dari medan aliran di tikungan telah diamati secara eksperimental.

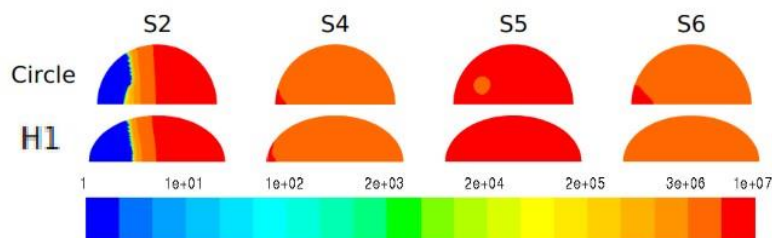


Gambar 2.13 Kecepatan aliran pada penampang nosel

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).

II.6.5 Tekanan Pada Nosel *Inlet*

Di bidang tekanan yang ditunjukkan pada gambar 2.14 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 2.14 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 S_2 tetapi lebih seragam di bagian *outlet*. Juga terlihat bahwa, nosel H_1 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 S_6 , 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).

II.7 Head Loss

Head loss merupakan suatu fenomena rugi-rugi aliran di dalam sistem perpipaan. Rugi-rugi aliran selalu terjadi pada sistem perpipaan 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. *Head loss* sangat merugikan dalam aliran fluida di dalam sistem perpipaan, karena *head loss* dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida. Salah penyebab *head loss* adalah konstruksi desain dari sistem perpipaan tersebut. Jika konstruksi memiliki percabangan yang lebih banyak maka akan memperbesar rugi alirannya, selain itu aliran yang semula dalam keadaan laminar pada saat melalui pipa lurus yang koefisien gesekannya besar akan berubah menjadi aliran turbulen.

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).

$$H_{total} = H_{lmy} + H_{lm} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

$$H_{lmy} = \text{Head loss mayor (m)}$$

$$H_{lm} = \text{Head loss minor (m)}$$

II.7.1 Head Loss Mayor

Pada aliran laminar nilai koefisien gesek hanya sebagai fungsi bilangan *Reynolds* saja, karena aliran laminar tidak dipengaruhi oleh faktor kekasaran permukaan pipa. Namun dengan semakin tingginya bilangan *Reynolds*, maka

koefisien gesekan (f) hanya sebagai fungsi dari kekasaran relatif permukaan pipa. Pada kondisi ini, aliran dikatakan mencapai kekasaran penuh sehingga alirannya adalah turbulen. Penurunan tekanan (P) pada aliran turbulen merupakan fungsi dari bilangan *Reynolds* (Re), perbandingan panjang dan diameter pipa (L/D) (Triatmodjo, 2014).

$$H_{lmy} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

H_{lmy} = *Head loss mayor* (m)

f = Koefisien gesek fluida

L = Panjang pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

D = Diameter pipa (m)

Untuk menentukan koefisien gesekan (f), *Balsius* memberikan persamaan koefisien gesek untuk pipa halus pada batasan angka bilangan *Reynold* tertentu. *Prandtl* mengusulkan suatu rumus semi empiris yang dapat digunakan secara menyeluruh (berbagai angka *Reynold*). Koefisien gesek juga dipengaruhi oleh jenis aliran, untuk aliran laminar (bilangan *Reynold* kecil), (Simanjuntak, 2010).

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana : f = Koefisien gesek

Re = Bilangan *Reynold*

Berdasarkan penelitian yang dilakukan *Blasius*, mengemukakan koefisien gesekan f untuk pipa halus dalam bentuk,

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Rumus ini berlaku untuk $4.000 < Re < 10.000$ (aliran turbulen) (Simanjuntak, 2010).

II.7.2 Head Loss Minor

Head loss minor merupakan kerugian-kerugian aliran kecil pada sistem pipa. Pada aliran yang melewati belokan dan katup koefisien kekasaran (k) merupakan fungsi dari ratio panjang ekuivalen komponen pipa, diameter komponen pipa (L/D), dan kekasaran relatif pipa (f). Dapat dihitung dengan persamaan, yaitu (Triatmodjo, 2014) :

$$H_{lm} = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (2.13)$$

Karena,

$$k = \frac{f}{D} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana ;

H_{lm} = Head loss minor (m)

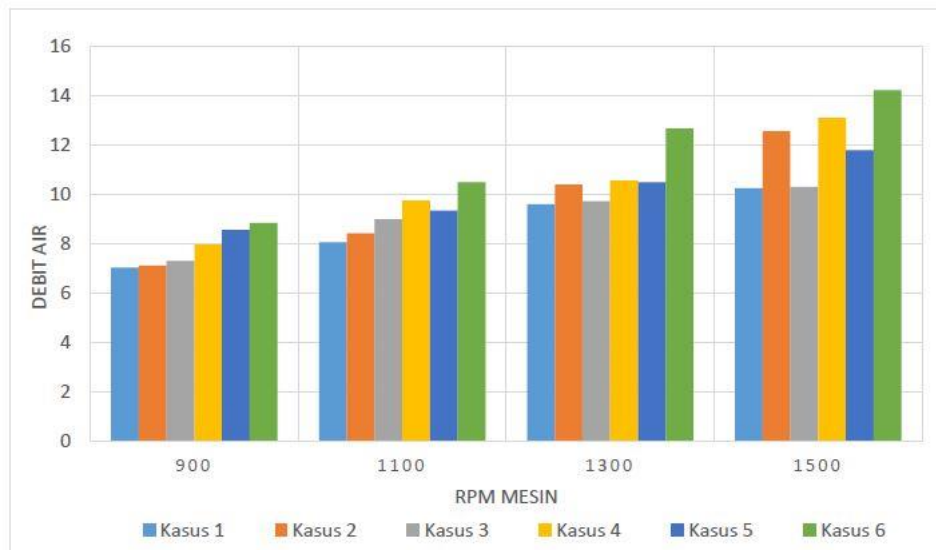
k = Koefisien kekasaran

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

f = Kekasaran relatif pipa (mm)

D = Diameter pipa (m)

II.8 Perbandingan Debit Air Berdasarkan Bentuk dan Posisi Nosel *Inlet*



Gambar 2.15 Perbandingan debit air yang dihasilkan dari beberapa bentuk dan posisi nosel *inlet* dengan variasi putaran mesin

Berdasarkan gambar 2.15 dari hasil penelitian sebelumnya, bentuk dan posisi nosel *inlet* pada kasus 6 adalah yang paling optimal pada pemanfaatan aliran buritan kapal sebagai sumber pendingin mesin utama kapal dengan debit air maksimum adalah 14,21 liter/menit. Pada pengujian, di tiap kasus menunjukkan bahwa nosel *inlet* ellips sangat besar menghasilkan debit air dibandingkan dengan nosel *inlet* bundar. Ini terjadi karena kecepatan aliran dengan kelengkungan yang besar pada nosel ellips menyebabkan aliran berpisah. Kemudian, ada wilayah resirkulasi antara kecepatan rendah dan kecepatan tinggi yang bergerak dari dinding bagian dalam lengkungan nosel membuat kecepatan aliran pada *outlet* menjadi meningkat. Sedangkan pada nosel bundar menunjukkan penurunan dimana kecepatan berkurang di dinding dalam nosel akibat kecilnya lengkungan dan perilaku yang berlawanan dengan dinding nosel ellips (Syahrin, 2018).