

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISA NUMERIK NOZZLE *CONVERGENT-DIVERGENT***  
**PADA TURBIN UAP**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**MELLYANTO**

**1507230139**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**MEDAN**  
**2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Mellyanto  
NPM : 1507230139  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisa Numerik Nozzle Convergent-Divergent Pada Turbin Uap  
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 08 Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



H. Muharnif, S.T., M.Sc.

Dosen Peguji II



Chandra A Siregar, S.T.,M.T

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T.,M.T.

Dosen Peguji IV



Sudirman Lubis, S.T.,M.T

Program Studi Teknik Mesin  
Ketua,



Affandi, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Mellyanto  
Tempat /Tanggal Lahir : Rakyat Rejo/ 20 Mei 1997  
NPM : 1507230139  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

### **“Analisa Numerik Nozzle *Convergent-Divergent* Pada Turbin Uap”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 08 Maret 2019

Saya yang menyatakan,



  
Mellyanto

## **ABSTRACT**

*A nozzle is a device or device designed to control the direction or characteristics of fluid flow (especially to increase speed) when exiting (entering) a closed space. Nozzles are often in the form of pipes or tubes of various cross-sectional areas, and can be used to direct or modify fluid flow (liquid / gas). The nozzle is often used to control the flow rate, speed, direction of mass, shape, and or pressure of the flow that appears. The nozzle speed of the fluid increases according to the pressure energy. The measurement of pressure and speed at the nozzle is carried out by a simulation process using the Computational Fluid Dynamic (CFD) method using Software Solidwork 2014. The geometry of this study is a Convergent-Divergent Nozzle with StainlesSteel material. This research was conducted with a variation of the inlet mass flow starting from 0.08 Kg / s to 0.18 Kg / s. The results of this study indicate that the pressure and fluid loss coefficient at the nozzle are influenced by the Inlet Mass Flow.*

*Keywords: Steam turbine, Nozzle Convergent-Divergent, SolidWork, CFD (Computational Fluid Dynamic).*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Numerik Nozzle *Convergent-Divergent* Pada Turbin Uap” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Sudirman Lubis , S.T., M.T, selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak H.Muharnif M, S.T., M.Sc, selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Chandra A siregar, S.T.,M.T, selaku dosen pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T, Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Affandi, S.T., M.T sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.

8. Orang tua penulis: Marno dan Susilawati, yang telah berusaha payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Umi Fadilaturrehman yang mana telah terus mensupport penulis dari awal sampai selesai.
11. Sahabat-sahabat penulis: Agus Sulistiadi, Andrianto, Fiki Ariza, Yudi Rahmanto, Rendi, Jefri Dimazdan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia Teknik Mesin.

Medan, Maret 2019

MELLYANTO

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GRAFIK</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.4.1. Tujuan Umum	2
1.4.2. Tujuan Khusus	3
1.5. Manfaat	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1. Pengertian Turbin Uap	4
2.2. Prinsip Kerja Turbin Uap	4
2.3. Cara Kerja Turbin Uap	5
2.4. Siklus Rankin Turbin Uap	6
2.5. Pengertian Fluida	6
2.5.1. Pengertian <i>Fluida Statis</i>	6
2.6. Pengertian Nozzle	10
2.6.1. <i>Nozzle Convergent-Divergent</i>	11
2.7. Kerugian Energi Pada Turbin Uap	13
2.8. Simulasi Dengan Metode Numerik	16
2.8.1. <i>Pre-Processing</i>	19
2.8.2. <i>Processing</i>	19
2.8.3. <i>Post-Processing</i>	20
2.9. Persamaan <i>Differensial Parsial</i>	20
2.10. Hukum Konservasi	22
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>	<b>26</b>
3.1 Tempat dan Waktu	
3.1.1. Tempat	26
3.1.2. Waktu	26
3.2 Diagram Alir Penelitian	27
3.3 Alat Dan Bahan	28

3.4	Perancangan Model Dengan <i>Solidwork</i> 2014	30
3.5	Prosedur Penelitian	33
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>35</b>
4.1	Hasil Penelitian	35
4.1.1	Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ ( <i>Inlet Mass Flow</i> ) 0,08 kg/s	35
4.1.2	Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ ( <i>Inlet Mass Flow</i> ) 0,09 kg/s	37
4.1.3	Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ ( <i>Inlet Mass Flow</i> ) 0,11 kg/s	40
4.1.4	Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ ( <i>Inlet Mass Flow</i> ) 0,13 kg/s	42
4.1.5	Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ ( <i>Inlet Mass Flow</i> ) 0,14 kg/s	44
4.1.6	Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ ( <i>Inlet Mass Flow</i> ) 0,16 kg/s	46
4.1.7	Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ ( <i>Inlet Mass Flow</i> ) 0,18 kg/s	48
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>53</b>
5.1.	Kesimpulan	53
5.2.	Saran	54
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>55</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	
	<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	
	<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa Turbin Impuls Sederhana	5
Gambar 2.2 Siklus Rankine Turbin Uap	6
Gambar 2.3 Nozzle <i>Convergent</i>	12
Gambar 2.4 Nozzle <i>Convergent-Divergent</i>	13
Gambar 2.5 Proses Ekspansi Uap Melalui Ekspansi Pengaturan	14
Gambar 2.6 Koefisien Kecepatan Untuk Nozzle sebagai Fungsi Nozzle	15
Gambar 2.7 <i>Flowchart Proses Fluet</i>	16
Gambar 2.8 Bentuk Umum Persamaan Konservasi Untuk Kuantitas Skalar	23
Gambar 2.9 Konservasi Pada Element Diskret	26
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 Komputer Labotorium Fakultas Teknik	28
Gambar 3.3 Perangkat Lunak <i>Solidwork</i>	29
Gambar 3.4 Mouse	29
Gambar 3.5 Tampilan Awal <i>Solidwork</i>	30
Gambar 3.6 Plane Perancangan	31
Gambar 3.7 Desain Ukuran Nozzle	32
Gambar 3.8 Gamabar Nozzle Yang Sudah Selesai	32
Gambar 4.1 Visualisasi <i>Pressure</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.08 Kg/s</i>	35
Gambar 4.2 Visualisasi <i>Temperatur</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.08 Kg/s</i>	36
Gambar 4.3 Visualisasi <i>Pressure</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.09Kg/s</i>	37
Gambar 4.4 Visualisasi <i>Temperatur</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.09 Kg/s</i>	38
Gambar 4.5 Visualisasi <i>Pressure</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.11 Kg/s</i>	39
Gambar 4.6 Visualisasi <i>Temperatur</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.11 Kg/s</i>	40
Gambar 4.7 Visualisasi <i>Pressure</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.13 Kg/s</i>	42
Gambar 4.8 Visualisasi <i>Temperatur</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.13 Kg/s</i>	42
Gambar 4.9 Visualisasi <i>Pressure</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.14 Kg/s</i>	44
Gambar 4.10 Visualisasi <i>Temperatur</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.14 Kg/s</i>	44
Gambar 4.11 Visualisasi <i>Pressure</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.16 Kg/s</i>	46
Gambar 4.12 Visualisasi <i>Temperatur</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.16 Kg/s</i>	47

Gambar 4.13 Visualisasi <i>Pressure</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.18 Kg/s</i>	48
Gambar 4.14 Visualisai <i>Temperatur</i> Terhadap <i>Inlet Mass Flow 0.18 Kg/s</i>	49

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Orde dan Lineritas Persamaan Differensial Parsial	21
Tabel 2.2 Klasifikasi Persamaan Differensial Parsial Orde Dua- Linear	21
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan	26
Table 4.1 <i>Inlet Mass Flow</i> 0.08 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle	36
Table 4.2 <i>Inlet Mass Flow</i> 0.09 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle	38
Table 4.3 <i>Inlet Mass Flow</i> 0.11 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle	40
Table 4.4 <i>Inlet Mass Flow</i> 0.13 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle	43
Table 4.5 <i>Inlet Mass Flow</i> 0.14 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle	45
Table 4.6 <i>Inlet Mass Flow</i> 0.16 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle	47
Table 4.7 <i>Inlet Mass Flow</i> 0.18 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle	49
Tabel 4.8 Hasil <i>Pressure</i> dan <i>Temperatur</i> Dari Variasi <i>Inlet Mass Flow</i>	50

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.15 Grafik Variasi <i>Inlet Mass Flow</i> Terhadap <i>Pressure Drop</i>	51
Grafik 4.16 Grafik Variasi <i>Inlet Mass Flow</i> Terhadap Kecepatan Keluar	51
Grafik 4.17 Grafik Variasi <i>Inlet Mass Flow</i> Terhadap Koefisien Kerugian	52

## DAFTAR NOTASI

No	Simbol	Besaran	Satuan
1	$P$	Tekanan	$Pa$
2	$V$	Kecepatan Aliran	$m/s$
3	$D$	Diameter Nozzle	$mm$
4	$L$	Panjang	$mm$
5	$\varphi$	Koefisien	
6	$T$	Temperatur	$^{\circ}k$
7	$\dot{m}$	Aliran Massa Masuk	$kg/s$
8	$\rho$	Massa Jenis	$kg/m^3$
9	$g$	Kecepatan Gravitasi	$m/s$
10	$C_1$	Kecepatan Uap	$m/s$
11	$p_0$	Tekanan Uap Masuk	$ata$
12	$P_1$	Tekanan Uap Keluar	$ata$
13	$h_0$	Entalpi Uap Pada Sisi Masuk Nozzle	$kkal/kg$
14	$h_1$	Entalpi Uap Pada Sisi Keluar Nozzle	$kkal/kg$

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengetahuan tentang turbin uap sudah ada sejak lama, yaitu pada tahun 120 S.M. Hero di Alexandria membuat prototip turbin yang pertama yang bekerja berdasarkan prinsip reaksi dan belum dapat menghasilkan daya poros yang efektif atau biasa disebut sebagai turbin Hero. Giovanni Branca juga mengusulkan turbin *impuls* pada tahun 1629 tetapi turbin tersebut tidak pernah di buat. Turbin pertama kali di buat pada tahun 1831 oleh William Avery berkebangsaan Amerika Serikat untuk menggerakkan mesin gergaji. Sejak itu teori tentang turbin uap terus berkembang dengan pesat dan hal tersebut juga di ikuti dengan berkembangnya aplikasi turbin saat ini.

Kehidupan manusia yang terus berkembang semakin kompleks, mau tidak mau akan di ikuti oleh kebutuhan energi yang semakin meningkat. Salah satu bentuk energi yang paling di butuhkan manusia sekarang ini adalah energi listrik, manusia membutuhkan energi listrik untuk rumah tangga, industri transportasi dan lain sebagainya.

Energi listrik yang besar dan kontiniu tidak tersedia secara alami di alam ini oleh sebab itu di butuhkan suatu alat yang dapat mengubah energi dari bentuk lain menjadi energi listrik.

Turbin uap adalah sebagai salah satu mesin konversi energi merupakan salah satu alternative yang baik karena dapat mengubah energi potensial uap menjadi energi mekanik pada poros turbin. Sebelum di konversikan menjadi energi mekanik, energi potensial uap terlebih dahulu di konversikan menjadi energi kinetik dalam nozzel (pada turbin *impuls*) dan sudu sudu gerak (pada turbin reaksi). Energi mekanis yang di hasilkan dalam bentuk putaran poros turbin dapat secara langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi di hubungkan dengan mekanisme yang di gerakkan. Untuk menghasilkan energi listrik mekanisme yang di gerakkan dalam hal ini adalah poros generator. Pada generator energi yang di teruskan dari poros akan di ubah menjadi energi listrik.

Pada pengaplikasian turbin uap mengapa menggunakan nozzle *convergent-divergent*, karena penggunaan jenis nozzle ini memiliki beberapa keuntungan dan kerugian. Keuntungan penggunaan nozzle *convergent-divergent* pada turbin uap untuk mempercepat gas panas dan bertekanan yang melewatinya ke kecepatan supersonik yang lebih tinggi dalam arah aksial, dengan mengubah energi panas dari aliran menjadi energi kinetik. Sedangkan kerugian penggunaan nozzle *convergent-divergent* pada turbin uap adalah apabila tekanan uap pada keluaran nozzle (bagian ekspansi) dari nozzle tidak boleh terlalu rendah, karena tekanan tidak dapat bergerak ke hulu melalui aliran supersonik nozzle. (P.Shlyakhin, 1999)

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui tekanan laju aliran fluida pada nozzle *convergent-divergent* ?
2. Bagaimana karakteristik dan kerugian aliran fluida pada nozzle *convergent-divergent* ?

## 1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan suatu aliran fluida pada nozzle dengan memvariasikan 7 (tujuh) aliran *Inlet Mass Flow* (0.08-0.18kg/s) yang dibuat dengan menggunakan *software Solidwork* 2014.
2. Jenis fluida yang digunakan pada simulasi ini adalah fluida Steam (uap).
3. Melakukan simulasi numerik tekanan dan kerugian aliran fluida pada nozzle yang dibuat menggunakan *software Solidwork* 2014.
4. Untuk mencari seberapa besar tekanan dan seberapa besar koefisien kerugian kecepatan aliran fluida pada nozzle.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1.4.1 Tujuan Umum

1. Untuk melakukan analisa numerik tekanan dan kerugian aliran fluida pada nozzle *Convergent-Divergent* pada turbin uap dengan menggunakan aplikasi *Solidwork* 2014.

#### 1.4.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus yang ingin di capai pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa seberapa besar tekanan fluida yang terjadi pada nozzle.
2. Untuk menganalisa kerugian aliran fluida pada nozzle dengan simulasi numerik.

#### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang akan diperoleh dalam Simulasi ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menambah ilmu pengetahuan tentang tekanan fluida, karakteristik dan kerugian pada nozzle *convergent-divergent* dengan metode numerik.
2. Hasil penelitian dapat di jadikan artikel ilmiah yang dapat digunakan untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya.
3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar dan pertimbangan untuk mendesain nozzle *Convergent-Divergent* pada turbin uap.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Turbin Uap**

Turbin uap adalah sebagai salah satu mesin konversi energi merupakan salah satu alternative yang baik karena dapat mengubah energi potensial uap menjadi energi mekanik pada poros turbin. Sebelum di konversikan menjadi energi mekanik, energi potensial uap terlebih dahulu di konversikan menjadi energi kinetik dalam nozzel (pada turbin impuls) dan sudu sudu gerak (pada turbin reaksi). Energi mekanis yang di hasilkan dalam bentuk putaran poros turbin dapat secara langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi di hubungkan dengan mekanisme yang di gerakkan. Untuk menghasilkan energi listrik mekanisme yang di gerakkan dalam hal ini adalah poros generator. Pada generator energi yang di teruskan dari poros akan di ubah menjadi energi listrik.

#### **2.2 Prinsip Kerja Turbin Uap**

Prinsip kerja dari turbin uap yaitu semburan uap yang masuk kedalam turbin melalui nozzle. Nozzle tersebut berfungsi mengubah energi panas dari uap menjadi energi kinetis. Tekanan uap pada saat keluar dari nozzle lebih kecil dari pada saat masuk kedalam nozzle, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar dari nozzle lebih besar dari pada saat masuk kedalam nozzle. Uap yang memancar keluar dari nozzle di arahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan di pasang pada sekeliling rotor turbin. Uap yang mengalir melalui celah antara sudu turbin itu di belokkan mengikuti arah lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar poros turbin yang menghasilkan energi mekanik.

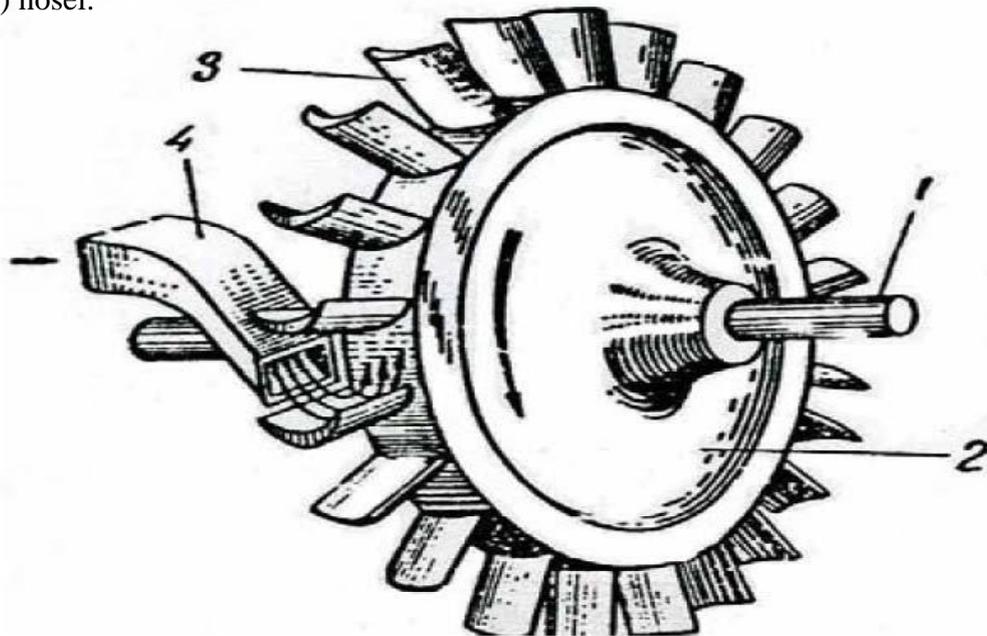
Pada pembangkit listrik tenaga termal biasanya menggunakan turbin bertingkat yaitu di pasang lebih dari satu baris sudu gerak agar dapat memanfaatkan energi kinetis secara optimal. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak, maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak di pasang suatu baris sudu pengarah (*guide blade*) atau sudu tetap yang berguna untuk mengubah arah

kecepatan uap, agar uap tersebut dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.

Kecepatan uap saat meninggalkan baris sudu gerak yang terakhir harus dapat di buat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang di gunakan untuk mendorong sudu turbin dapat di manfaatkan secara optimal. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi di karenakan energi yang tidak termanfaatkan relatif kecil.. (P. Shlyakhin, 1999)

### 2.3 Cara Kerja Turbin

Turbin uap telah mengalami perkembangan dalam desainnya. Turbin uap yang paling sederhana mempunyai komponen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8 dengan komponennya, yaitu (1) poros, (2) roda, (3) sudu gerak, dan (4) nosel.

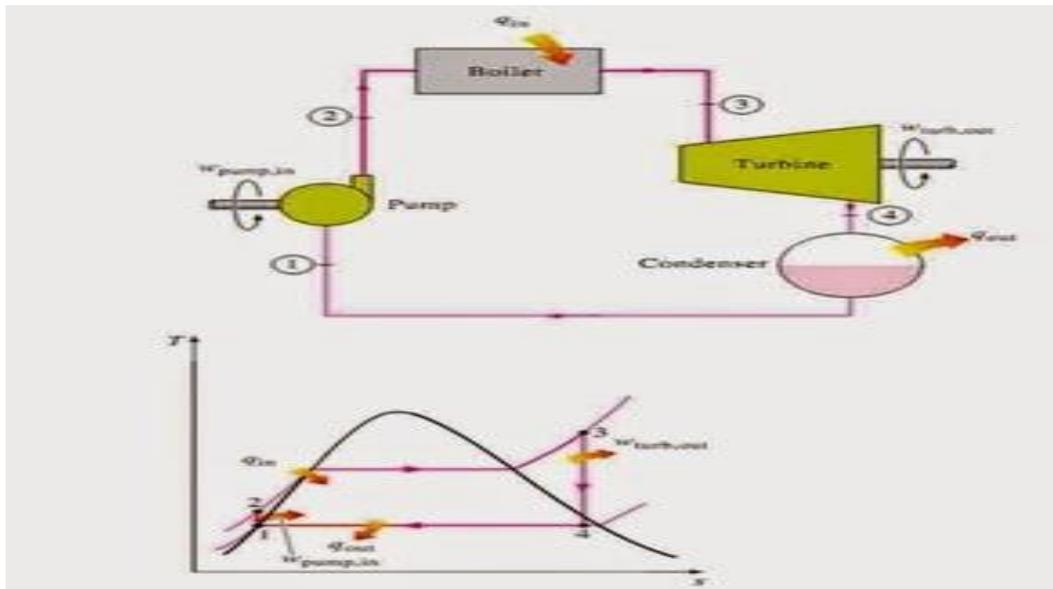


Gambar 2.1 Sketsa turbin impuls sederhana

Ekspansi uap terjadi di dalam nosel dari tekanan awal yang tinggi ke tekanan akhir yang lebih rendah. Adanya penurunan tekanan dan entalpi akan menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan uap yang keluar dari nosel. Uap kemudian masuk kedalam sudu gerak yang menyatu dengan roda. Pada sudu, uap mengalami perubahan momentum atau momen momentum sehingga di bangkitkan gaya atau torsi yang memutar poros.

## 2.4 Siklus Rankine Turbin Uap

Siklus yang terjadi pada turbin uap adalah siklus Rankine, siklus Rankine adalah daya uap yang digunakan untuk menghitung atau memodelkan proses kerja mesin uap/ turbin uap. Siklus ini bekerja dengan fluida uap. Semua PLTU (pembangkit listrik tenaga uap) bekerja berdasarkan siklus Rankine. Siklus ini pertama kali dimodelkan oleh William John Macquorn Rankine, seorang ilmuwan Scotlandia dari Universitas Glasgow. Berikut ini adalah gambar siklus Rankine.



Gambar: 2.2 siklus Rankine turbin uap

Adapun ada 4 proses dalam siklus Rankine, setiap siklus mengubah keadaan fluida (tekanan/atau wujud), berikut adalah prosesnya:

- Proses Pertama  
Fluida di pompa dari bertekanan rendah ke tekanan tinggi dalam bentuk cair, proses ini membutuhkan sedikit input energi.
- Proses Kedua  
Fluida cair bertekanan tinggi masuk ke boiler dimana fluida dipanaskan sehingga menjadi uap pada tekanan konstan menjadi uap jenuh.

➤ Proses Ketiga

Uap jenuh bergerak menuju turbin menghasilkan energi listrik. Hal ini mengurangi temperature dan tekanan uap, dan mungkin sedikit kondensasi juga terjadi.

➤ Proses Ke empat

Uap basah memasuki kondensor dimana uap di embunkan dalam tekanan dan temperature tetap hingga menjadi cairan jenuh (ArdiWiyantara, 2015).

## 2.5 Pengertian Fluida

Fluida di definisikan sebagai sebuah zat yang berdeformasi terus-menerus selama di pengaruhi tegangan geser sebarang besarnya. Kondisi fluida yang sedang berdeformasi secara kontiniu ini oleh orang awam di sebut “ mengalir”.

Menurut Bamabang Triadmajo (2014), fluida adalah zat yang bisa mengalir, yang mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk tanpa pemisahan massa. Tahanan fluida terhadap perubahan bentuk sangat kecil, sehingga fluida dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruangan atau tempat yang membatasinya.

Sifat-sifat fluida di bagi menjadi tiga adalah:

1. Tidak dapat melawan secara tetap stress geser.
2. Mempunyai kompreibilitas.
3. Mempunyai kekentalan dan viskositas.

Sementara itu fluida dapat kita bagi menjadi dua buah bagian yaitu:

1. Fluida Statis.
2. Fluida Dinamis.

### 2.5.1 Pengertian Fluida *Statis*

Fluida Statis adalah fluida (*zat*) yang tidak dapat menahan bentuk (*distorsi*) secara permanen. Fluida statis adalah fluida yang berada dalam fase tidak bergerak (*diam*) atau fluida dalam keadaan bergerak tetapi tak ada perbedaan kecepatan antara partikel fluida tersebut atau bisa di katakan bahwa partikel-

partikel fluida tersebut bergerak dengan kecepatan seragam sehingga tidak memiliki gaya geser. Bila kita mencoba mengubah bentuk suatu massa fluida, maka dalam fluida itu akan terbentuklah lapisan-lapisan dimana lapisan yang satu meluncur di atas lapisan yang lainnya, hingga mencapai suatu bentuk baru. Selama perubahan bentuk ini terdapat tegangan geser (*shear stress*), yang besarnya bergantung pada *viskositas* fluida dan laju luncur. Tetapi, bila fluida itu sudah mendapatkan bentuk akhirnya, semua tegangan geser itu akan hilang. Fluida yang dalam keseimbangan itu bebas dari segala tegangan geser.

Pada suatu suhu dan tekanan tertentu, setiap fluida mempunyai densitas atau rapatan (*density*) tertentu, yang dalam praktek keteknikan biasanya di ukur dalam *pound per cubic, foot 'pound* per kaki kubik atau dalam kilogram per meter kubik. Walaupun densitas fluida bergantung pada suhu dan tekanan, perubahan densitas karena perubahan variable itu makin besar dan mungkin pula makin kecil. Jika densitas itu hanya sedikit terpengaruh oleh perubahan yang agak besar pada suhu dan tekanan, maka fluida itu disebut fluida tak mampu-mampat (*incompressible*). Tetapi jika densitasnya peka terhadap perubahan variable variable itu, fluida itu di sebut fluida mampu-mampat(*compressible*). Zat cair biasanya di anggap tak mampu-mampat, sedangkan gas mampu-mampat. (Ardyna.A, 2014).

#### a. Tekanan Uap

Dalam ilmu thermodinamika di ketahui bahwa fluida dapat berubah fase dari cair menjadi gas yang di kenal sebagai peroses penguapan. Penguapan terjadi karena molekul zat cair selalu bergerak sehingga beberapa molekul pada permukaan akan mempunyai energi untuk melepas diri dari tarikan molekul-molekul yang ada di sekitarnya dan berpindah ke ruang yang ada di atasnya. Laju penguapan tergantung pada perbedaan energi molekul antara zat cair dan gas yang ada di atasnya (Triadmojo, 2014).

Alasan penting untuk meninjau tekanan uap adalah karena dari berbagai pengamatan di dalam fluida yang sedang mengalir kerap berbentuk gelembung uap di dalam massa fluida. Hal ini dapat terjadi ketika tekanan mutlak di dalam fluida mencapai tekanan uapnya. Misalnya fenomena ini mungkin terjadi pada

aliran yang melalui saluran yang tidak menentu, mengecil (*nozzle*), pada sebuah katup atau pompa dimana tekanan yang terbentuk sangat rendah sampai mencapai tekanan uapnya. Apabila gelembung-gelembung tersebut terseret kedalam daerah yang bertekanan lebih tinggi, gelembung-gelembung tersebut akan terpecah dengan intensitas yang cukup tinggi dan dapat menyebabkan kerusakan struktur. Pembentukan yang di lanjutkan dengan pecahnya gelembung uap di dalam fluida mengalir yang di sebut kavitasi ini merupakan fenomena aliran fluida yang sangat penting dalam sistem fluida (Harinaldi, 2015).

Persamaan tekanan yang sederhana:

$$P = F / A \quad (2.1)$$

Suatu tekanan dalam SI adalah N/m atau di sebut juga pascal (Pa). untuk tekanan udara kadang-kadang di gunakan tekanan atmosfer(atm), cm raksa (cmHg), mmHg(atau torricelli) atau milibar (mb).

Aturan konversinya adalah sebagai berikut:

➤ Tekanan *Hidrostatik*

Tekanan *hidrostatik* adalah tekanan pada zat cair yang diam. Besarnya tekanan hidrostatik tergantung pada jenis kedalaman zat cair, tidak tergantung pada wujud wajahnya. Besar nya tekana hidrostatik di rumuskan pada:

$$P = \rho . g . h \quad (2.2)$$

➤ Tekanan *Gauge*

Tekanan *Gauge* adalah selisih antara tekanan yang tidak di ketahui dengan tekanan atmosfer(tekanan udara luar). Nilai tekanan yang di ukur oleh alat pengukur adalah tekanan gauge. Adapun tekanan sesungguhnya di sebut dengan tekana mutlak.

Tekanan Mutlak = Tekanan Gauge + Tekanan Atmosfer

$$P = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}} \quad (2.3)$$

- Tekanan mutlak pada suatu kedalaman Zat Cair.

Tekanan hidrostatik zat cair dapat kita miripkan dengan tekanan demikian. Tekanan mutlak pada kedalaman  $h$  dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h \quad (2.4)$$

## 2.6 Pengertian Nozzle

Nozzle adalah suatu laluan yang luas penampangnya bervariasi yang di dalamnya energi potensial uap di konversikan menjadi energi kinetik. Pertambahan kecepatan semburan uap pada sisi keluar nozzle diperoleh sebagai akibat penurunan pada kandungan kalor uap. Energi total uap yang mengalir, dari ilmu termodinamika, terdiri dari energi dalam  $u$ , energi kinetik  $c^2/2g$  dan kerja  $pv$  uap yang di akibatkan oleh tekanannya. Dengan memberi besaran-besaran ini dengan tanda-tanda 0 dan 1 pada sisi masuk kedalam dan sisi keluar dari nozzle. Kita dapat menuliskan energi total uap pada pada sisi masuk dan sisi keluar pada nozzle dengan persamaan berikut:

- Untuk Energi uap pada sisi masuk nozzle:  $U_0 + \frac{A}{2g} C_0^2 + A \cdot \rho_0 v_0$  (2.5)

dan

- Untuk Energi uap pada sisi keluar nozzle:  $U_1 + \frac{A}{2g} C_1^2 + A \cdot \rho_1 v_1$  (2.6)

Di sini energi kinetik dan tekanan kerja tekanan uap di tuliskan dalam satuan kalor dengan mengalirkan besaran-besaran ini dengan ekivalensi termal kerja  $A$ . Bila kita perhatikan aliran yang ideal dengan tidak terjadi pertukaran kalor di sekelilingnya, maka sesuai dengan kaidah ke kekal energi, energi total sebelum dan sesudah nozzle harus sama yaitu:

$$U_0 + \frac{A}{2g} C_0^2 + A \cdot \rho_0 v_0 = U_1 + \frac{A}{2g} C_1^2 + A \cdot \rho_1 v_1 \quad (2.7)$$

Dari sini kita peroleh persamaan umum untuk aliran uap melalui nozzle

$$i_0 + \frac{A}{2g} C_0^2 = i_1 t + \frac{A}{2g} C_1^2 t$$

Akan tetapi ( $u + A\rho v$ ) adalah kandungan kalor  $i$ , oleh sebab itu

$$\frac{A}{2g} (C_1^2 t - C_0^2) = i_0 - i_1 t_3 \quad (2.8)$$

Fungsi dari nozzle adalah mengkonversikan uap yang bertekanan tinggi dan kecepatan rendah menghasilkan kecepatan yang tinggi namun mempunyai *pressure* yang rendah dari tekanan *secondary flow*. Kecepatan uap saat memasuki nozzle meningkat di bagian konvergen dan mencapai kecepatan sonik (*sonic velocity*) pada *nozzle throat*. Setelah melewati *nozzle throat* kecepatan meningkat menjadi supersonik (*supersonic velocity*) dan terus meningkat hingga akhir dari nozzle yang memiliki tekanan rendah. Wilayah yang vakum ini menyebabkan *secondary flow* terhisap dan memasuki *suction chamber* dan bercampur dengan *primary flow*.

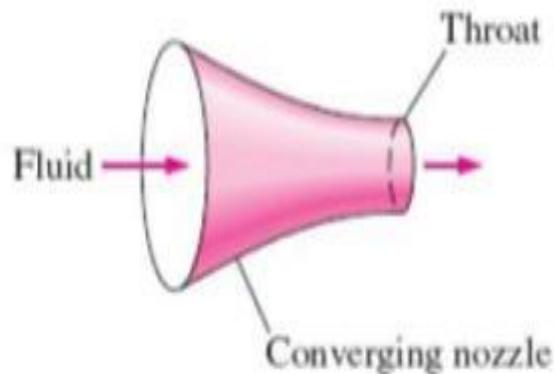
### 2.6.1 Nozzle Convergent-Divergent

#### a. Nozzle Convergent

Nozzle *Convergent* adalah Nozzle dengan penampang mula-mula yang besar yang kemudian mengecil pada bagian keluarannya. Nozzle *Convergent* mempunyai luas penampang yang minimum, yang besarnya tergantung pada kondisi-kondisi aliran ekspansi uap dari tekanan  $P_0$  ke  $P_1$  terjadi sepanjang laluan nozzle. sehingga kecepatan aliran menjadi tinggi dan tekanan turun tergantung pada kondisi uap.

Perhitungan nozzle di lakukan untuk mengetahui luas penampang laluan uap dapat di cari dari persamaan:

$$G.v = f.c$$



Gambar: 2.3 Nozzle Convergent

b. *Nozzle Divergent*

*Nozzle Divergen* adalah Nozzle dengan penampang mula-mula yang kecil kemudian membesar pada bagian keluarannya sehingga kecepatannya turun dan tekananya naik tergantung pada kondisi uap.

c. *Nozzle Convergent-Divergent*

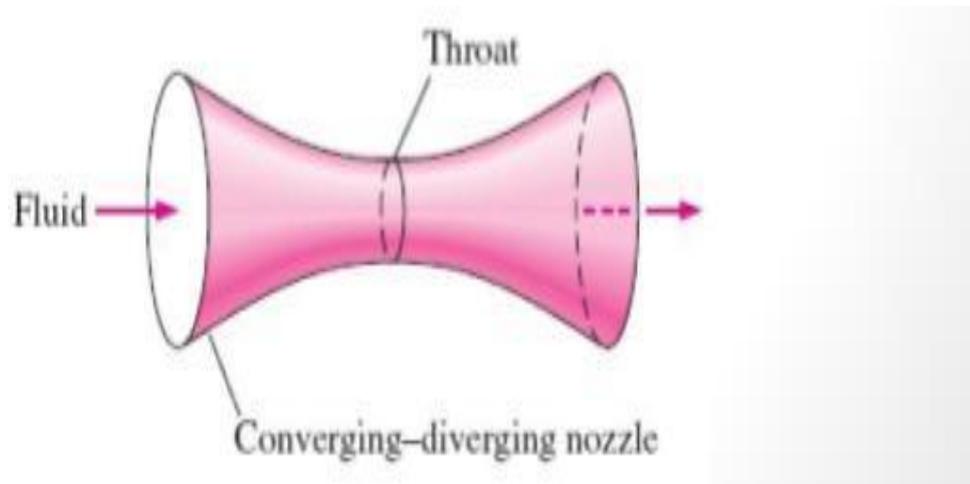
*Nozzle Convergent-Divergent* yaitu merupakan gabungan atau perpaduan antara nozzle *Convergent* dan nozzle *Divergent*. Ekspansi uap di dalam nozzle yang demikian terjadi dengan cara berikut. Pada bagian nozzle yang konvergen , uap berekspansi dari tekanan awal  $P_0$  sampai ke tekanan kritis  $P_{kr}$ . Pada penampang nozzle yang terkecil, yang di kenal sebagai leher (*throat*), uap memperoleh kecepatan kritis  $C_{kr}$ . Ekspansi uap dari tekanan  $P_{kr}$  ke tekanan sisi keluar  $P_1$  terjadi di dalam bagian nozzle yang divergen dengan kecepatan uap yang terus menerus bertambah hingga akhirnya mencapai nilai akhir sebesar  $C_1 > C_{kr}$ . Tekanan uap pada leher nozzle di tentukan dari persamaan:

$$P_{kr} = v_{kr} P_0 \quad (2.9)$$

Menurut Edgar Sihotang, dalam turbin uap berdasarkan tekanan uap yang masuk turbin melalui nozzle yaitu:

1. Tekanan uap super kritis (tekanan uap diatas 225 bar)
2. Tekanan uap sangat tinggi (tekanan uap antara 88-224 bar)

3. Tekanan uap tinggi (tekanan uap antara 40-88bar)
4. Tekanan uap menengah (tekanan uap antara 10-40 bar)
5. Tekanan uap rendah (tekanan uap 1-10 bar).



Gambar: 2.4 Nozle *Convergent-Divergent*

## 2.7 Kerugian Energi Pada Turbin Uap

Pertambahan energi kalor yang di butuhkan untuk melakukan kerja mekanis pada kondisi aktual di bandingkan dengan nilai teoritis, yang proses ekspansinya terjadi benar-benar sesuai dengan proses adiabatik, dinamakan kerugian energi pada turbin. Bentuk kerugian ini secara umum yaitu kerugian internal dan kerugian eksternal, yang di kelompokkan sebagai berikut:

Rugi-rugi internal adalah rugi yang berhubungan dengan kondisi uap ketika mengalir mealui turbin sehingga menaikkan *entalphi* uap tersebut. Yang termasuk rugi-rugi internal adalah rugi dalam katup pengantar, rugi dalam nozzle, rugi kecepatan keluar, rugi karena gesekan antara roda dengan sudu gerak, rugi karena *windage*, rugi *clearance* antara rotor dan sudu, rugi karena kebasahan uap, rugi karena saluran keluar.

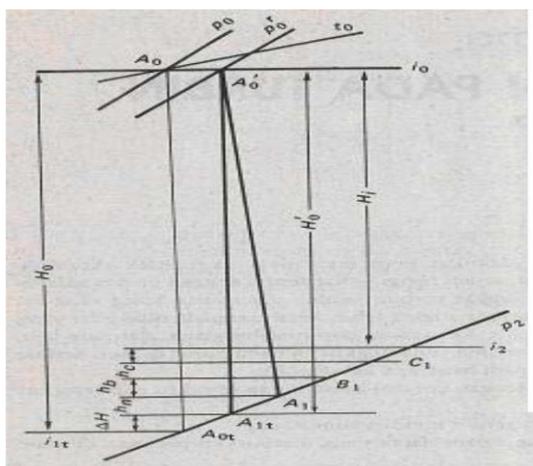
Rugi-rugi eksternal adalah rugi-rugi yang tidak ada hubungannya dengan kondisi uap. Yang termasuk rugi-rugi eksternal adalah rugi mekanik dan rugi-rugi yang di sebabkan oleh kebocoran uap dari *labyrinth glands seals*.

1. Kerugian Internal(*internal losses*)
  - a) Kerugian pada katup pengatur

Aliran uap melalui katup-katup penutup dan pengatur di sertai oleh kerugian energi akibat proses penyempitan(*throttling*), kerugian ini yang di sebut dengan kerugian katup pengatur. Jika tekanan uap masuk adalah  $P_0$  maka akan terjadi penurunan tekanan menjadi tekanan awal pada masuk turbin  $P_0'$ . Penuruna tekanan awal ( $\Delta P$ ) adalah sebesar (3% – 5% ) dari  $P_0$ .

Dimana  $\Delta P = P_0 - P_0'$ , pada perencanaan ini di ambil kerugian pada katup pengatur sebesar 5% sehingga dapat di tuliskan  $\Delta P = 5\% P_0$

Adapun Gambar 2.5 Menunjukkan proses ekspansi uap melalui mekanisme pengaturan beserta kerugian-kerugian yang lainnya yang di akibatkan penyempitan (*throttling*). Nilai penurunan kalor  $H_0$  yang di andaikan pada turbin. Di sebabkan oleh proses penyempitan yang terjadi pada katub pengatur, penurunan kalor yang tersedia pada turbin akan berkurang dari  $H_0$  menjadi  $H_0'$  dengan kata lain ada kehilangan energi yang tersedia sebesar  $H = H_0 - H_0'$ . Besarnya kerugian tekanan akibat penyempitan dengan katub pengatur terbuka lebar dapat di andaikan sebesar 5% dari tekanan uap segar  $P_0$ .



Keterangan gambar :

- $h_0$  = kerugian pada nosel
- $h_0'$  = kerugian pada sudugrak
- $h_0''$  = kerugian akibat kecepatan keluar
- $P_0$  = tekanan uap masuk turbin
- $P_0'$  = tekanan uap sebelum masuk nosel
- $P_2$  = tekanan keluar turbin
- $H_0$  = penurunan kalor
- $H_0'$  = penurunan kalor teoritis
- $H_1$  = penurunan kalor yang dimanfaatkan dalam turbin.

Gambar : 2.5 Proses ekspansi uap melalui ekspansi pengaturan beserta kerugian-kerugian akibat penyempitan.

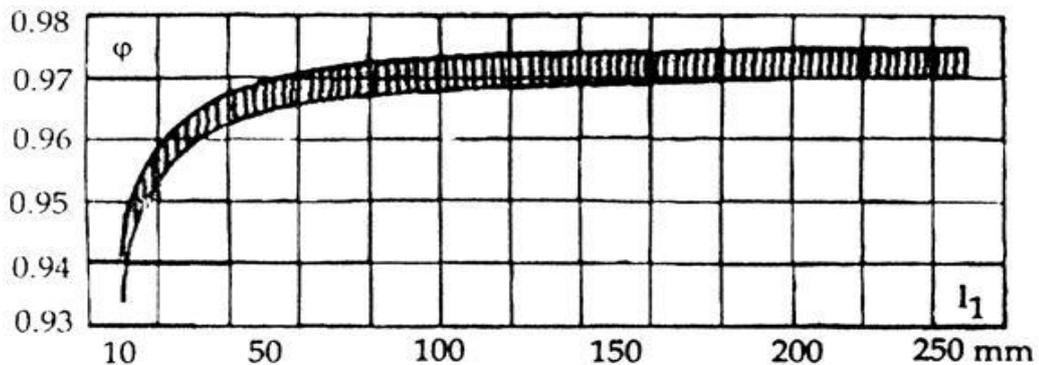
b) Kerugian energi pada nozzle( $hn$ )

Kerugian energi dalam nozzle adalah dalam bentuk kerugian energi kinetis dimana besarnya adalah :

$$hn = \frac{C_1 t^2 - C_1^2}{8378}$$

Atau:

$$hn = \left( \frac{1}{\phi^2} - 1 \right) \frac{C_1^2}{8378} \quad (\text{kal/kg}) \quad (2.10)$$



Gambar: 2.6 Koefisien kecepatan untuk nozzle sebagai fungsi nozzle.

c) Kerugian energi pada sudu-sudu gerak

Kerugian pada sudu-sudu gerak di pengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- 1) Kerugian akibat tolakan pada ujung belokan sudu.
- 2) Kerugian akibat tubrukan.
- 3) Kerugian akibat kebocoran uap melalui ruang melingkar.
- 4) Kerugian akibat gesekan.
- 5) Kerugian akibat pembelokan semburan pada sudu.

Semua kerugian di atas di simpulkan sebagai koefisien kecepatan sudu gerak ( $\phi$ )

d) Kerugian energi akibat gesekan cakra.

Kerugian gesekan terjadi di antara cakram turbin yang berputar dengan uap yang menyelubunginya. Cakra yang berputar itu menarik partikel-partikel yang ada di dekat permukaannya dan memberi gaya searah dengan putaran.

Sejumlah kerja mekanis di gunakan untuk mengatasi pengaruh gesekan dan pemberian kecepatan ini. Kerja yang di gunakan untuk melawan gesekan dan percepatan partikel uap ini pun akan di konversikan menjadi kalor, jadi akan memperbesar kalor kandungan uap.

e) Kerugian akibat penurunan fluida yang keluar pada nozzle.

Kerugian kecepatan fluida yang terjadi didalam nozzle dapat memberi pengaruh tekanan uap pada sudu turbin dapat mempengaruhi putaran sudu turbin menjadi kurang sempurna dalam berputar. Hal ini yang dapat menyebabkan generator menghasilkan energi listrik yang kurang stabil.

Besarnya nilai kerugian akibat penurunan fluida yang keluar pada nozzle dapat di tentukan dari persamaan berikut:

1. Mencari Enthalphy pada nozzle:

$$\Delta h = h_0 - h_1 \quad (2.11)$$

2. Kecepatan teoritis uap keluar nozzle ( $C_{1t}$ ), yaitu:

$$C_{1t} = 91.5\sqrt{h} \quad (2.12)$$

3. Kecepatan uap keluar nozzle ( $C_1$ ), yaitu:

$$C_1 = C_{1t} \cdot \varphi \quad (2.13)$$

## 2.8 Simulasi dengan Metode Numerik

Simulasi adalah imitasi darisistem atau proses yang terjadi dalam dunia nyata dalam serangkaian waktu. Simulasi memiliki beberapa keuntungan seperti, mampu menjawab pertanyaan “bagaimana jika”, memberikan hipotesa mengenai *bagaimana* dan *mengapa* suatu fenomena dapat terjadi, serta waktu fenomena yang sedang diamati dapat dipercepat maupun diperlambat. Simulasi dapat dilakukan dengan komputer. Simulasi komputer merupakan alat yang secara virtual mampu menginvestigasi perilaku sistem yang sedang dipelajari. Dengan mengubah beberapa variabel, simulasi ini dapat membuat prediksi.

Komputasi fluida dinamis (*Computational Fluid Dynamics*) merupakan sekumpulan metodologi yang memungkinkan komputer menyajikan simulasi numerik dari aliran fluida. Seluruh sistem, ditransformasikan ke dalam bentuk virtual, dan dapat divisualisasikan melalui komputer.

Pada umumnya proses perhitungan untuk aliran fluida diselesaikan dengan menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas. Persamaan yang digunakan adalah persamaan Navier-Stokes, persamaan ini ditemukan oleh G.G. Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya menurut Versteeg (1995) adalah sebagai berikut:

a. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.14)$$

b. Persamaan Momentum

Momentum ke arah sumbu X

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \quad (2.15)$$

Momentum ke arah sumbu Y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left( \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \quad (2.16)$$

Momen ke arah sumbu Z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left( \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (2.17)$$

c. Persamaan Energi

$$\frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} - \frac{1}{\text{Re}_r \text{Pr}_r} \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{\text{Re}_r} \left( \frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \right) \quad (2.18)$$

Pada dasarnya *CFD* mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinu (memiliki jumlah sel tak terhingga) dirubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga).

Ada tiga teknik solusi numerik aliran yang berbeda, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume methods*. Beberapa metode diskritisasi yang digunakan untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial menurut Versteeg (1995) adalah:

a. Metode Beda Hingga (*finite difference method*)

Dalam metode ini area aliran dipisahkan menjadi satu set poin *grid* dan fungsi kontinyu (kecepatan, tekanan, dan lainnya) didekati dengan nilai-nilai diskrit dan fungsi-fungsi ini dihitung pada titik-titik *grid*. Turunan dari fungsi didekati dengan menggunakan perbedaan antara nilai fungsi pada titik lokal *grid* dibagi dengan jarak *grid*.

b. Metode Elemen Hingga (*finite element method*)

Metode adalah teknik numerik untuk menemukan solusi perkiraan ke batas nilai masalah untuk persamaan diferensial parsial. Metode ini membagi masalah besar menjadi lebih kecil dan sederhana yang disebut elemen hingga.

Persamaan sederhana yang memodelkan seluruh kasus kemudian disusun menjadi sebuah sistem persamaan yang lebih luas. Persamaan konservasi kekekalan massa, momentum, dan energi ditulis dalam bentuk yang tepat untuk setiap elemen, dan hasil dari set persamaan aljabar untuk bidang aliran diselesaikan secara numerik.

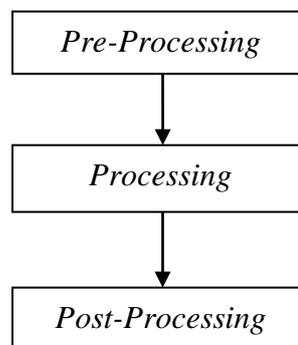
c. Metode Volume Hingga (*finite volume method*)

*Finite volume method* adalah metode untuk mewakili dan mengevaluasi persamaan diferensial parsial dalam bentuk aljabar. Metode ini sama seperti

*finite difference method* dan *finite element method*, nilai-nilai dihitung di tempat terpisah pada geometri yang di *mesh*. Metode ini mengacu pada volume kecil disekitar *node* pada *mesh*. Dalam metode ini, volume integral dalam persamaan diferensial yang memiliki istilah divergensi dikonversi ke *surface integrals* menggunakan teori divergensi.

Metode diskritisasi yang dipilih pada umumnya menentukan kestabilan dari program numerik/*CFD* yang dibuat atau program *software* yang ada.

Sementara itu, Versteeg dan Malalasekera (Versteeg & Malalasekera, 2007) membagi struktur pada komputasi fluida/*CFD* kedalam tiga elemen yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.



Gambar: 2.7 Flowchart proses Fluent.

### 2.8.1 *Pre-Processing*

Tahap *preprocessing* merupakan tahap awal dari proses *CFD*, pada tahap ini akan dilakukan beberapa proses sebagai berikut:

- Pendefinisian domain komputasi, yaitu pendefinisian ruang geometri yang diinginkan.
- Pembuatan/*generate grid/mesh*.
- Pemilihan fenomena yang akan dimodelkan.
- Pendefinisian atribut-atribut fluida.
- Penentuan kondisi-kondisi batas yang diinginkan.

### 2.8.2 *Processing*

Dengan metode *finite volume*, algoritma untuk penyelesaian numerik terdiri dari beberapa langkah berikut:

- Integrasi persamaan aliran fluida yang digunakan, pada seluruh domain.
- Diskritisasi, yaitu konversi dari persamaan integral ke dalam sistem persamaan aljabar.
- Solusi persamaan aljabar dengan metode iteratif.

### 2.8.3 *Post-Processing*

Tahap ini berupa visualisasi data-data hasil simulasi, mencakup:

- Tampilan domain geometri dan *grid*.
- Plot vektor.
- Plot garis dan bayangan.
- 2D dan 3D *surface plot*.
- *Particle Tracking*.
- *View manipulation (translation, rotation, scalling, dan lain-lain)*.

Komputasi fluida dinamis sangat berguna di berbagai bidang baik industri maupun non-industri. Beberapa contohnya adalah aerodinamik pesawat dan kendaraan, hidrodinamika kapal, pembangkit listrik, mesin turbo, rekayasa elektrik dan elektronik, rekayasa proses kimia, lingkungan eksternal dan internal bangunan, teknik kelautan, teknik lingkungan, hidrologi dan oseanografi, meteorologi, dan rekayasa biomedis.

## 2.9 Persamaan Differensial Parsial

Persamaan diferensial parsial digunakan di seluruh bidang matematika terapan dan bisa dimanfaatkan untuk memodelkan beragam permasalahan praktis seperti peramalan cuaca, desain pesawat terbang, mobil berkecepatan tinggi, serta penilaian potensi investasi saham finansial. Persamaan ini juga dapat digunakan untuk menjelaskan beragam sistem dalam dunia fisik, seperti mekanika fluida dan benda padat, evolusi populasi dan penyakit, serta fisika matematis (Shearer & Levy, 2015).

Diberikan sebuah fungsi  $u$  yang bergantung pada  $x$  dan  $y$ , turunan parsial dari  $u$  terhadap  $x$  di sembarang titik  $(x, y)$  didefinisikan dengan

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{u(x + \Delta x, y) - u(x, y)}{\Delta x} \quad (2.19)$$

Serupa, turunan parsial  $u$  terhadap  $y$  di sembarang titik  $(x, y)$  didefinisikan sebagai

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{u(x, y + \Delta y) - u(x, y)}{\Delta y} \quad (2.20)$$

Sebuah persamaan yang mengandung turunan parsial dari fungsi yang tidak diketahui, dengan dua atau lebih variabel bebas disebut dengan *persamaan diferensial parsial* (Chapra & Canale, 2015). Contoh bentuk persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2xy \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + u = 1 \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial y} + x \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + 8u = 5y \quad (2.22)$$

$$\left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^3 + 6 \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial y} = x \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + xu \frac{\partial u}{\partial y} = x \quad (2.24)$$

Bentuk persamaan diferensial parsial dapat dikaji berdasarkan *orde*, linearitas, serta karakteristiknya. *Orde* adalah tingkat tertinggi suku turunan. Sementara linearitas bergantung pada bentuk fungsi  $u$ , turunan  $u$ , dan koefisien persamaan tersebut. Suatu persamaan disebut fungsi linear jika fungsi tersebut linear pada  $u$  dan turunan  $u$ , serta koefisien persamaan tersebut hanya bergantung pada variabel bebas ( $x$  atau  $y$ ) atau konstanta. Contoh klasifikasi orde dan linearitas persamaan diferensial parsial terdapat dalam Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Orde dan Linearitas Persamaan Diferensial Parsial

Persamaan	Orde	Linear
(2.27)	2	Ya
(2.28)	3	Ya
(2.29)	3	Tidak
(2.30)	2	Tidak

Persamaan diferensial parsial linear orde dua, dengan dua variabel bebas, dapat dikelompokkan menjadi eliptik, parabolik, dan hiperbolik. Beberapa persamaan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk umum berikut:

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - D = 0 \quad (2.25)$$

dengan  $A$ ,  $B$ , dan  $C$  adalah fungsi dari  $x$  dan  $y$ , dan  $D$  adalah sebuah fungsi dari  $x$ ,  $y$ ,  $u$ ,  $\partial u$ ,  $\partial u/\partial x$ , dan  $\partial u/\partial y$ .

Tabel 2.2 Klasifikasi Persamaan Diferensial Parsial Orde Dua – Linear

$B^2 - 4AC$	Klasifikasi
$<0$	Eliptik
$=0$	Parabolik
$>0$	Hiperbolik

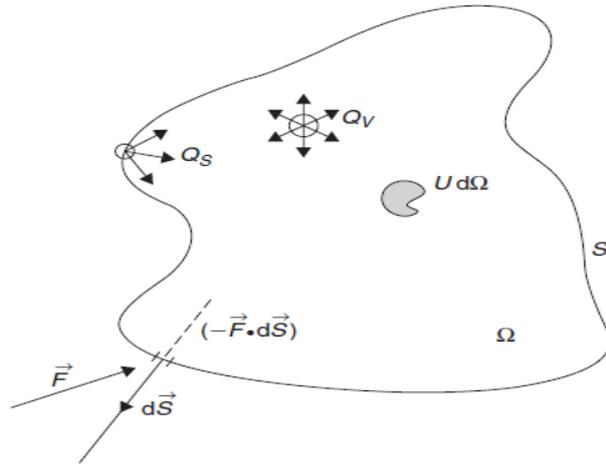
Klasifikasi persamaan tersebut ditentukan berdasarkan nilai diskriminannya sesuai dengan Tabel 2.2 di atas. Persamaan *eliptik* biasa digunakan untuk system dengan karakteristik yang stabil (*steady-state*). Persamaan *parabolik*, menunjukkan bagaimana suatu fungsi bervariasi dalam ruang dan waktu. Beberapa kasus merujuk pada masalah penjalaran, yaitu bagaimana solusi menjalar atau berubah dalam waktu. Sementara untuk kategori *hiperbolik* juga merujuk penjalaran pada solusi, namun disertai osilasi.

#### 2.10 Hukum Konservasi

Hukum konservasi menjadi dasar dalam pemahaman mengenai dunia fisik, tentang proses yang dapat atau tidak dapat terjadi di alam. Menurut Hirsch (Hirsch, 2007), hukum konservasi pada sebuah kuantitas  $U$  mengikuti aturan logis dan konsisten berikut

Perubahan total kuantitas  $U$  pada sebuah domain, sebanding dengan jumlah kuantitas yang masuk dan keluar pada domain tersebut, ditambah kontribusi dari beberapa sumber penghasil kuantitas tersebut. Jumlah kuantitas yang masuk dan keluar ini disebut dengan fluks.

Berdasarkan studi sifat fisik pada sistem aliran fluida, tidak semua aliran kuantitas mematuhi hukum konservasi. Seperti yang diketahui hingga kini, hukum-hukum yang menjelaskan tentang aliran fluida (dinamika fluida), didefinisikan oleh konservasi dari tiga kuantitas berikut, yaitu massa, momentum (produk dari densitas dan kecepatan), dan energi.



Gambar: 2.8 Bentuk Umum Persamaan Konservasi untuk Kuantitas Skalar

Suatu volume  $\Omega$ , dibatasi oleh sebuah permukaan tertutup  $S$ . Simbol  $\Omega$  disebut dengan *kontrol volume*, dan  $S$  disebut dengan *kontrol permukaan*. Jumlah total kuantitas  $U$  di dalam sebuah domain volume  $\Omega$ , disimbolkan sebagai berikut.

$$\int_{\Omega} U d\Omega \quad (2.26)$$

Sementara perubahan ( $\partial$ ) per unit waktu ( $\partial t$ ) pada jumlah total kuantitas  $U$  di dalam  $\Omega$ , disimbolkan sebagai berikut.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} U d\Omega \quad (2.27)$$

Total fluks merujuk pada hukum konservasi “jumlah kuantitas  $U$  yang masuk dan keluar pada domain”. Fluks sendiri didefinisikan sebagai jumlah kuantitas  $U$  yang melintasi suatu unit permukaan per unit waktu. Fluks adalah vektor, yaitu besaran yang memiliki nilai dan arah. Jika vektor ini paralel dengan permukaan, maka tidak ada fluks yang akan memasuki domain. Oleh karena itu, hanya fluks yang searah dengan normal permukaan saja yang akan memasuki suatu domain, dan berkontribusi terhadap perubahan kuantitas  $U$ . Jadi, jumlah  $U$  yang melintasi permukaan suatu elemen  $d\vec{S}$  per unit waktu, didefinisikan oleh produk skalar dari fluks dan elemen permukaan berikut.

$$F_n dS = \vec{F} \cdot d\vec{S} \quad (2.28)$$

Dengan vektor elemen permukaan  $d\vec{S}$  menunjuk sepanjang *normal arah keluar*. Total kontribusi dari fluks yang masuk adalah jumlah pada seluruh elemen permukaan  $d\vec{S}$  dari permukaan tertutup  $S$ , dan disimbolkan sebagai berikut.

$$-\oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} \quad (2.29)$$

Tanda minus artinya, fluks berkontribusi positif ketika memasuki domain.

Selanjutnya sumber-sumber lain yang turut berkontribusi pada kuantitas  $U$ , dibagi menjadi *sumber volume* dan *sumber permukaan*,  $Q_v$  dan  $\vec{Q}_s$  dan total kontribusinya berbentuk sebagai berikut.

$$\int_{\Omega} Q_v d\Omega + \oint_s \vec{Q}_s \cdot d\vec{S} \quad (2.30)$$

Berikut bentuk umum hukum konservasi pada kuantitas  $U$ ,

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} U d\Omega = -\oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} + \int_{\Omega} Q_v d\Omega + \oint_s \vec{Q}_s \cdot d\vec{S} \quad (2.31)$$

yang biasanya ditulis sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} U d\Omega + \oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_{\Omega} Q_v d\Omega + \oint_s \vec{Q}_s \cdot d\vec{S} \quad (2.32)$$

Teorema Gauss menyatakan bahwa integral permukaan dari fluks sama dengan integral volume divergen fluks tersebut,

$$\oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_{\Omega} \vec{\nabla} \cdot \vec{F} d\Omega \quad (2.33)$$

dengan catatan bahwa tiap volume  $\Omega$  diselimuti oleh permukaan  $S$ , sehingga bentuk persamaan (2.38) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\int_{\Omega} \frac{\partial U}{\partial t} d\Omega + \int_{\Omega} \vec{\nabla} \cdot \vec{F} d\Omega = \int_{\Omega} Q_v d\Omega + \int_{\Omega} \vec{\nabla} \cdot \vec{Q}_s d\Omega \quad (2.34)$$

Persamaan diatas diintegalkan pada domain yang sama, yaitu pada volume  $\Omega$ , sehingga akan berlaku juga secara lokal di tiap titik pada domain tersebut. Dengan kata lain, persamaan di atas dapat dinyatakan dalam bentuk diferensial berikut.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{F} = Q_v + \vec{\nabla} \cdot \vec{Q}_s \quad (2.35)$$

Jika tidak ada sumber pada domain, maka  $Q_v = Q_s = 0$ , sehingga persamaan (2.33) berbentuk sebagai berikut.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{F} = 0 \quad (2.36)$$

Fluks dihasilkan dari dua kontribusi, yaitu transpor konvektif dan difusi. Fluks konvektif  $F^C$ , merepresentasikan jumlah kuantitas  $U$  yang diangkut oleh aliran dengan kecepatan  $\vec{v}$ ,

$$\vec{F}_c = U \vec{v} \quad (2.37)$$

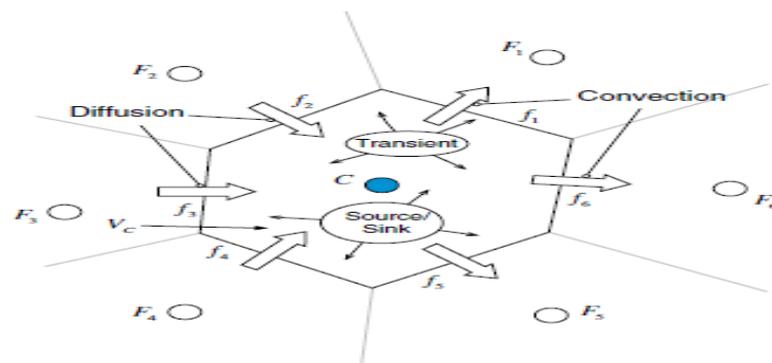
dengan  $U = \rho u$ , variabel  $u$  merupakan kuantitas per unit massa. Sementara Fluks difusi  $F^D$  adalah kontribusi yang dihasilkan fluida dalam kondisi tenang, berkenaan dengan efek makroskopik atau agitasi molekuler,

$$\vec{F}_D = -k \rho \vec{\nabla} u \quad (2.38)$$

Dengan  $k$  adalah koefisien difusi, sehingga persamaan (2.34) dapat dinyatakan dalam bentuk berikut.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (k \rho \vec{\nabla} u) + Q_v + \vec{\nabla} \cdot \vec{Q}_s \quad (2.39)$$

Persamaan di atas disebut juga persamaan transport dalam bentuk konservatif. Moukalled dkk., (Moukalled, et al., 2016) mengilustrasikan bentuk persamaan transport konveksi difusi seperti gambar berikut, dengan  $F_i$  adalah elemen tetangga,  $f_i$  adalah sisi ke- $i$  sel  $C$ , dan  $V_c$  adalah volume kontrol.



$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (k \rho \vec{\nabla} u) = \vec{\nabla} \cdot (k \rho \vec{\nabla} u) + Q_v + \vec{\nabla} \cdot \vec{Q}_s \quad (2.40)$$

*transcient + convective = diffusive + source term*

Gambar: 2.9 Konservasi pada Elemen Diskret.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.1.1 Tempat

Adapun tempat pelaksanaan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Komputer Gedung D Lantai 3 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan.

#### 3.1.2 Waktu Penelitian

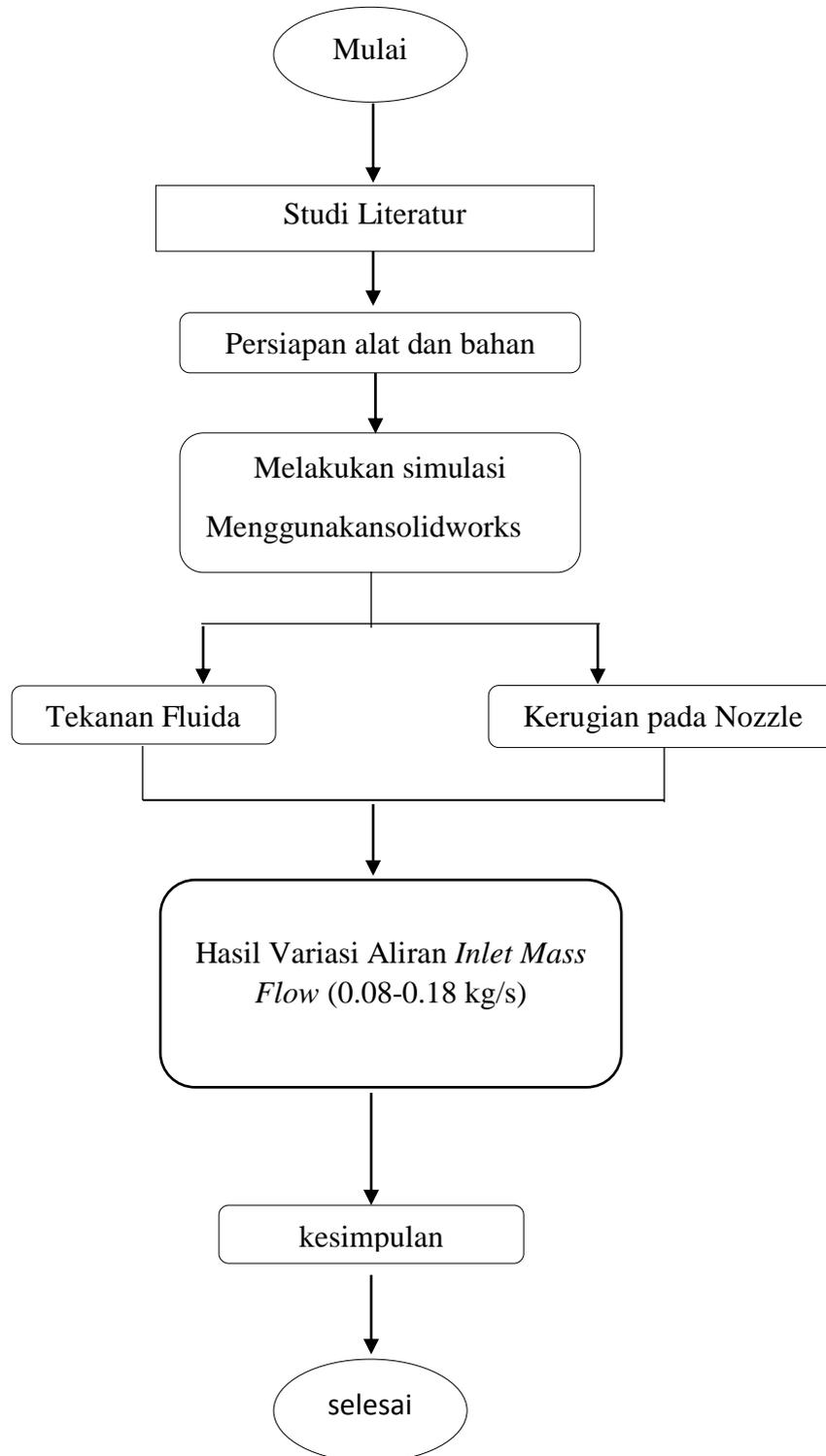
Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan setelah mendapat persetujuan dari pembimbing, dan terlihat pada tabel 3.1

Table 3.1 Waktu pelaksanaan penelitian

NO	Uraian kegiatan	Waktu (Bulan)				
		1	2	3	4	5
1	Pengajuan Judul					
2	Studi Literatur					
3	Persiapan Alat dan Bahan					
4	Perancangan Desain Menggunakan <i>Solidwork</i>					
5	Pengujian Desain Menggunakan <i>Solidwork</i>					
6	Penyelesaian Skripsi					

### 3.2 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar: 3.1 Bagan Alir Penelitian.

### 3.3 Alat dan Bahan Yang Digunakan

Dalam proses simulasi nozzle *convergent-divergent* pada turbin menggunakan beberapa alat dan bahan untuk mendesain nozzle yang kemudian dapat melakukan simulasi dan analisa pada desain tersebut.

#### 3.3.1 Alat-Alat Yang Digunakan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

##### 1. Komputer

Komputer digunakan untuk melakukan simulasi dengan menggunakan aplikasi Solidwork sebagai perangkat lunak. Adapun komputer yang digunakan dengan spesifikasi:

- Prosesor Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1246 v3 @3.50Ghz  
3.50Ghz
- Memori 8.00 GB
- Sistem Operasi Windows 7 64-bit



Gambar 3.2 Komputer Laboratorium Komputer Fakultas Teknik

##### 2. Perangkat Lunak *Solidworks* 2014

Program *Solidworks* merupakan program komputer yang berfungsi untuk melakukan analisa numerik nozzle *Convergent-Divergent*. Program tersebut dapat membantu kita untuk membuat desain nozzle.

Dengan demikian lebih menghemat biaya pengeluaran, dan waktu menyelesaikan laporan yang lebih cepat.

Spesifikasi minimum untuk menjalankan perangkat lunak solidwork 2014:

- Processor Intel atau AMD dengan SSE2 Support
- Memori 8.00 GB
- Sistem operasi Windows 7 64bit



Gambar: 3.3 Perangkat Lunak *Solidworks* 2014

### 3. Mouse

Mouse merupakan *hardware* yang dihubungkan dengan komputer yang fungsinya agar lebih efisiensi dalam memakai kursor saat mendesain di *Solidwork*.

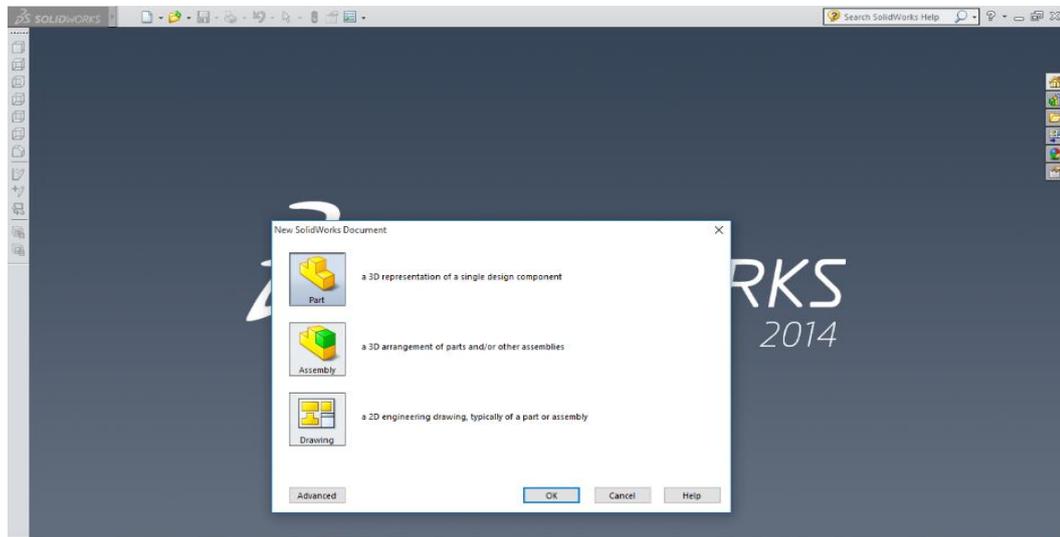


Gambar 3.4 Mouse

### 3.4 Perancangan Model Dengan *Software Solidworks 2014*

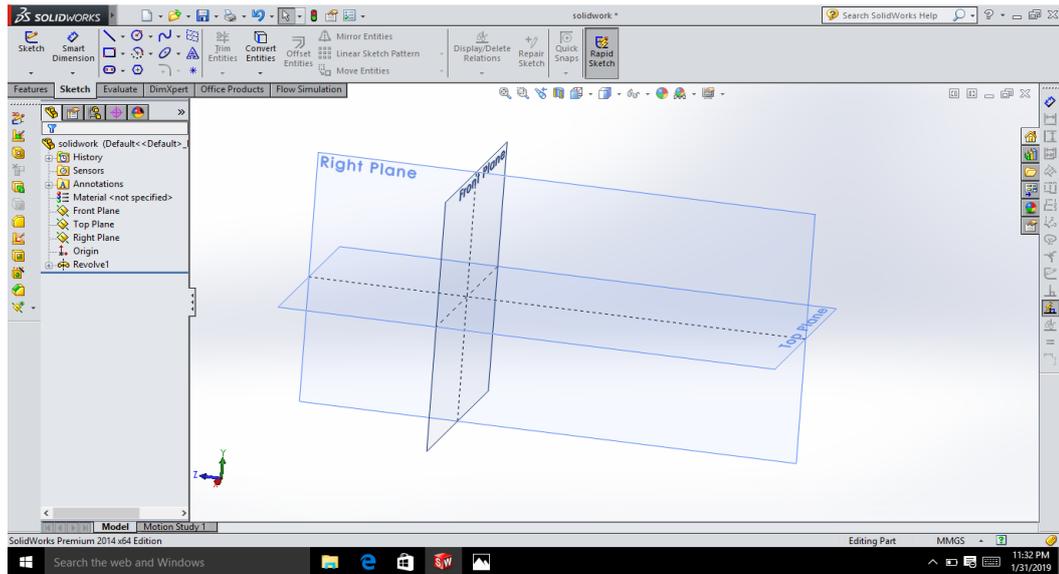
Model nozzle yang akan dirancang adalah jenis nozzle *Convergent-Divergent* pada turbin uap. Adapun langkah-langkah perancangan nozzle tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menyalakan laptop yang akan digunakan untuk mendesain nozzle *convergent-divergent* .
2. Membuka aplikasi *Solidworks 2014* pada komputer.
3. Pilih “*New Document*” pada sudut kanan atas tampilan *software Solidworks 2014*, kemudian pilih “*part*” dan pilih ok.



Gambar: 3.5 Tampilan Awal *Solidworks 2014*

4. Pilih “*Insert*” pada menu bar kemudian pilih “*sketch*” dan kemudian pilih bagian “*top plane*”.

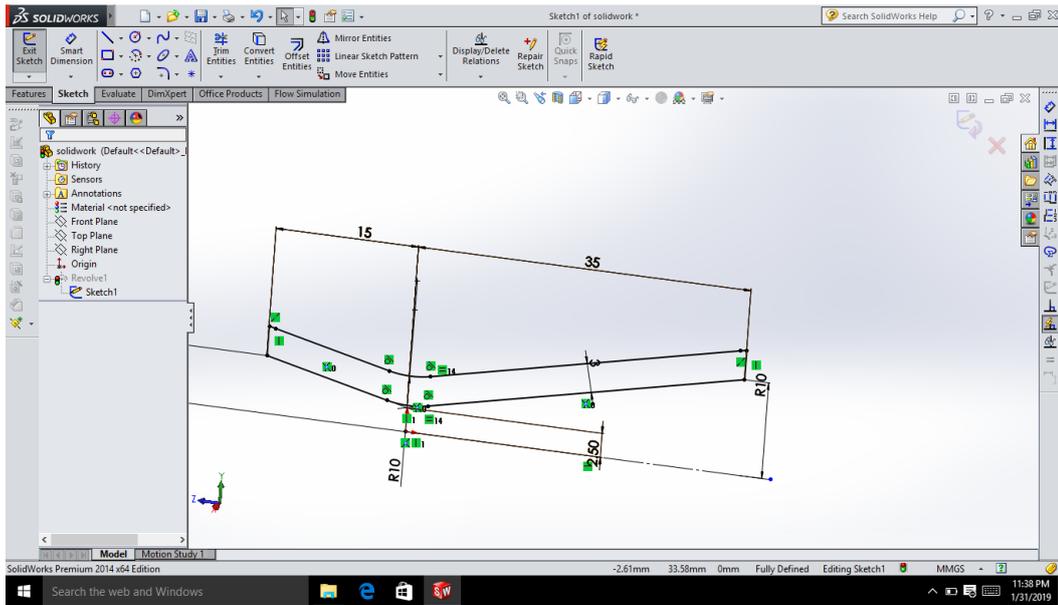


Gambar: 3.6 Menentukan Plan Perancangan

5. Membuat desain nozzle *convergent-divergent*

Adapun nozzle yang ingin kita rencanakan memiliki ukuran sebagai berikut:

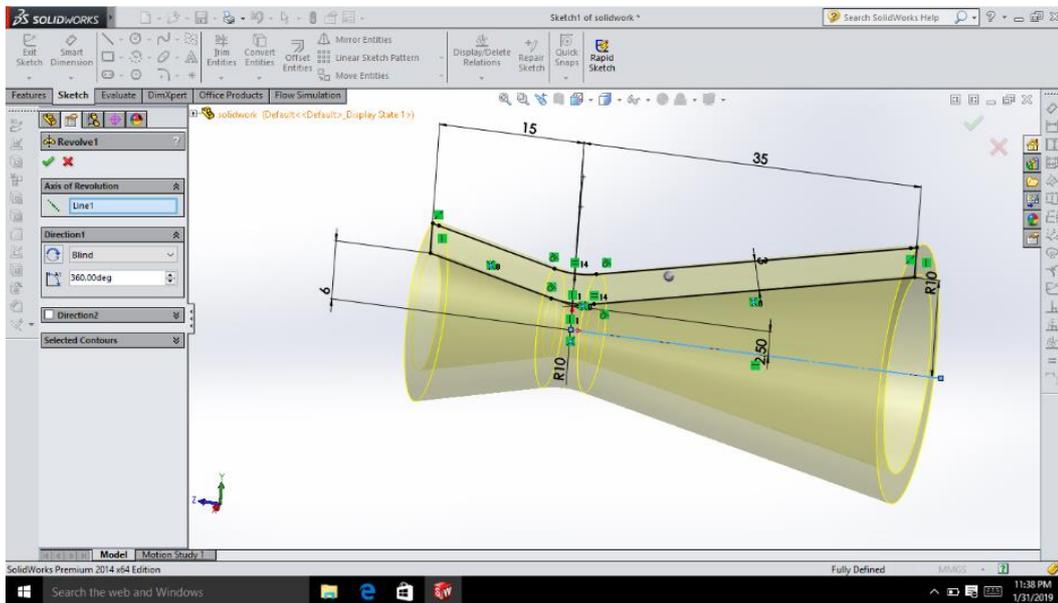
Bahan Nozzle	= Stainles Stell
Diameter luar Inlet	= 14mm
Diameter dalam Inlet	= 10mm
Diameter luar Throat (tenggorokan)	= 9mm
Diameter dalam Throat (tenggorokan)	= 5mm
Diamater luar Outlet	= 24mm
Diameter dalam Outlet	= 20mm
Panjang Nozzle	= 50mm
Tebal Nozzle	= 2mm



Gambar: 3.7 Desain dan ukuran Nozzle

6. Gambar jadi Desain Nozzle

Adapun gambar yang telah selesai dari desain awal ukuran nozzle adalah sebagai berikut:



Gambar: 3.8 Gambar Nozzle Yang Telah Selesai

7. Setelah kita selesai melakukan desain nozzle, kemudian kita pilih "SAVE AS" kita pilih folder penyimpanan lalu kita klik tombol "Ok" maka gambar tersebut akan tersimpan.

### 3.5 Prosedur Percobaan

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini untuk mendapatkan hasil dari simulasi adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan pendukung simulasi *solidwork* 2014 seperti komputer atau laptop.
2. Membuka aplikasi *solidwork* 2014 pada komputer atau laptop.
3. Pilih *flow simulation* yang ada pada menu bar pada *software solidwork* 2014.
4. Pilih *wizard* yang ada pada sub menu dari pada *flow simulation*.
5. Pilih jenis fluida yang akan dialirkan pada nozzle *convergent-divergent* untuk dilakukan simulasi (dalam simulasi ini jenis fluida yang di pilih adalah *steam*/ uap dengan suhu 350°C atau 623°K).
6. Masukkan nilai *roughness* kekasaran pada permukaan bagian dalam nozzle (di pilih bahan *StainlesStell* dengan kekasaran permukaan 0.05 mikrometer.)
7. Masukkan nilai temperatur masuk fluida pada nozzle.
8. Pilih menu *Boundary Condition* yang ada pada sub menu sebelah kiri kemudian kemudian masukkan nilai aliran *mass inlet* fluida dan klik pada bagian sisi *inlet nozzle*.
9. Setelah itu pilih *Boundary Condition* kembali, lalu pilih *Environment pressure* yang bertujuan sebagai arah keluar dari pada aliran fluida lalu klik pada bagian *outlet nozzle*.
10. Pada penelitian ini menggunakan variasi  $\dot{m}$  (*inlet mass flow*) 0.08kg/s-0.18kg/s.
11. Pilih *point goals* pada sub menu sebelah kiri dengan tujuan agar memperoleh hasil dari data pengujian yang di simulasikan.
12. Setelah selesai klik *run* pada menu bar bagian atas.

13. Setelah proses *running* selesai, klik menu *result* lalu klik *cut plot* dengan tujuan untuk menampilkan variasi warna aliran yang ditampilkan pada nozzle. Warna yang ditampilkan tergantung pada *point goals* atau capaian yang telah dipilih sebelum proses *run* dimulai.
14. Apabila ingin menampilkan bentuk alir pada nozzle, pilih menu *flow trajectories* lalu klik bagian *inlet* pada nozzle.
15. Lakukan percobaan berdasarkan variasi  $\dot{m}$  (*inlet mass flow*) 0.08kg/s-0.18kg/s sampai selesai.

## BAB 4

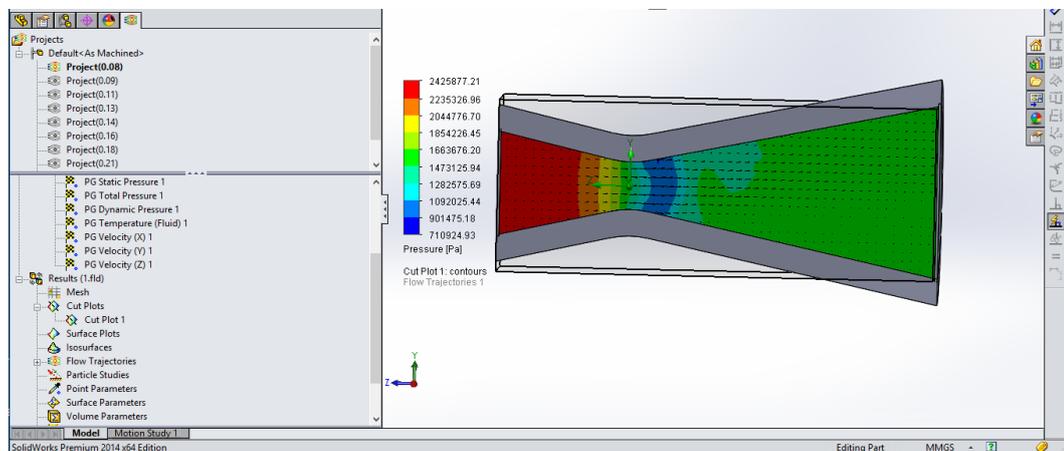
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

Hasil dari simulasi penelitian fluktuasi tekanan pada sisi *Outlet nozzle* dan kerugian kecepatan uap keluar pada nozzle *convergent-divergent* menggunakan perangkat lunak *solidwork* 2014 dengan 7 (tujuh) variasi  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*). Berikut ini adalah hasil dari simulasi fluktuasi tekanan dan kerugian pada nozzle yang di kelompokkan berdasarkan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*).

##### 4.1.1 Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ (*Inlet mass flow*) 0,08 kg/s.

*Boundary condition* yang digunakan pada proses simulasi ini yaitu untuk nilai *Inlet mass flow* sebesar 0,08kg/s, *Environment pressure* sebesar 1500000 Pa dan *Temperatur* sebesar 623° K. Sehingga didapat hasil simulasi untuk *pressure* (tekanan) dan *temperatur* (suhu) sebagai berikut:

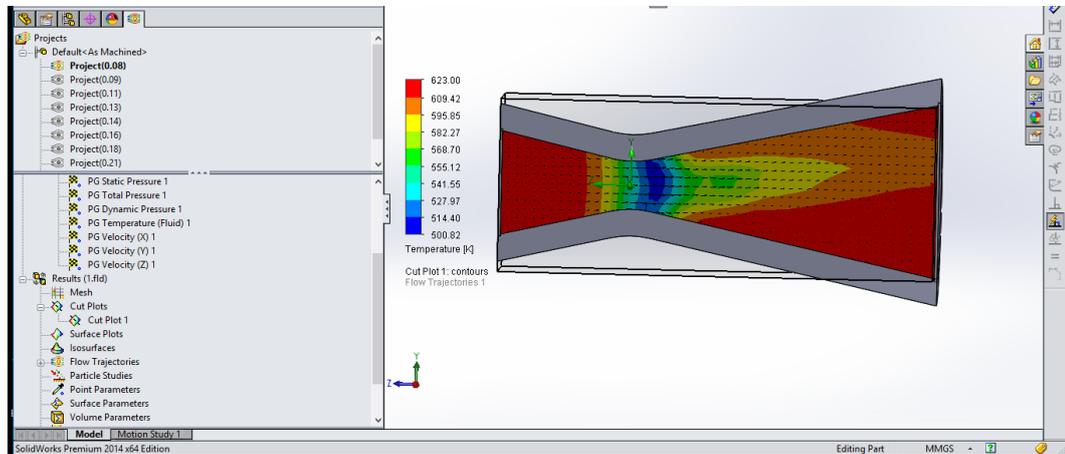


Gambar: 4.1 Visualisasi *Pressure* (tekanan) dengan  $\dot{m}$  (*inlet mass flow*) 0,08 kg/s.

Dari gambar 4.1 tercantum penjelasan bahwa aliran yang menggunakan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,08kg/s tertera bahwa tekanan maksimum pada nozzle adalah sebesar 2425877,21 Pa, Sementara itu untuk tekanan minimum pada nozzle adalah sebesar 710924,93 Pa. Untuk mendapatkan nilai  $\Delta P$  yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya dapat dilakukan dengan cara nilai maksimum

dikurangin dengan nilai minimum (2425877,21-710924,93) sehingga di dapat besaran nilai  $\Delta P$  sebesar 1714952,28 Pa.

Sedangkan untuk *temperatur* (suhu) dapat kita lihat pada gambar berikut:



Gambar: 4.2 Visualisasi *Temperatur* (suhu) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,08 kg/s.

Dari gambar 4.2 tercantum penjelasan bahwa *temperatur* yang terjadi pada simulasi ini tertera bahwa *temperatur* maksimum sebesar 623.00°K. Sedangkan untuk *temperatur* minimum adalah sebesar 500,82°K.

Tabel 4.1 Variasi *Inlet Mass Flow* 0,08 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle.

<i>Aliran Massa Masuk (Inlet Mass Flow)</i>	<i>Kecepatan Uap Keluar (Velocity)</i>
0,08 kg/s	78.205
	6.760
	91.726
	176.691
	261.657
Jumlah rata-rata	123.0078 m/s

Untuk menghitung kecepatan uap keluar pada nozzle dapat diselesaikan dengan persamana berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta h &= h_0 - h_1 \\
 &= 3130,3 - 3052,6 \\
 &= 77,7 \text{kJ} / \text{kg} \\
 &= 18,55 \text{kcal} / \text{kg}
 \end{aligned}$$

$$C_1 t = 91,5 \sqrt{18,55}$$

$$= 394,08 m / s$$

Maka untuk menghitung koefisien kerugian kecepatan uap keluar pada nozzle adalah:

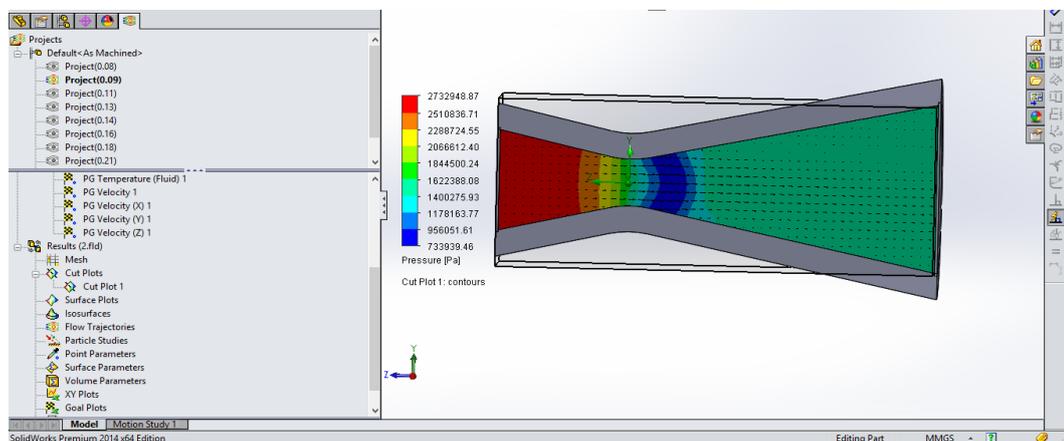
$$C_1 t = C_1 \cdot \varphi$$

$$\varphi = \frac{C_1}{C_1 t}$$

$$\varphi = \frac{123}{394} = 0,312$$

#### 4.1.2 Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ (inlet mass flow) 0,09 kg/s.

*Boundary condition* yang digunakan pada proses simulasi ini yaitu untuk nilai *inlet mass flow* sebesar 0,09 kg/s, *Environment pressure* sebesar 1500000 Pa dan *Temperatur* sebesar 623°K. Sehingga didapat hasil simulasi untuk *pressure* (tekanan) dan *temperatur* (suhu) adalah sebagai berikut:

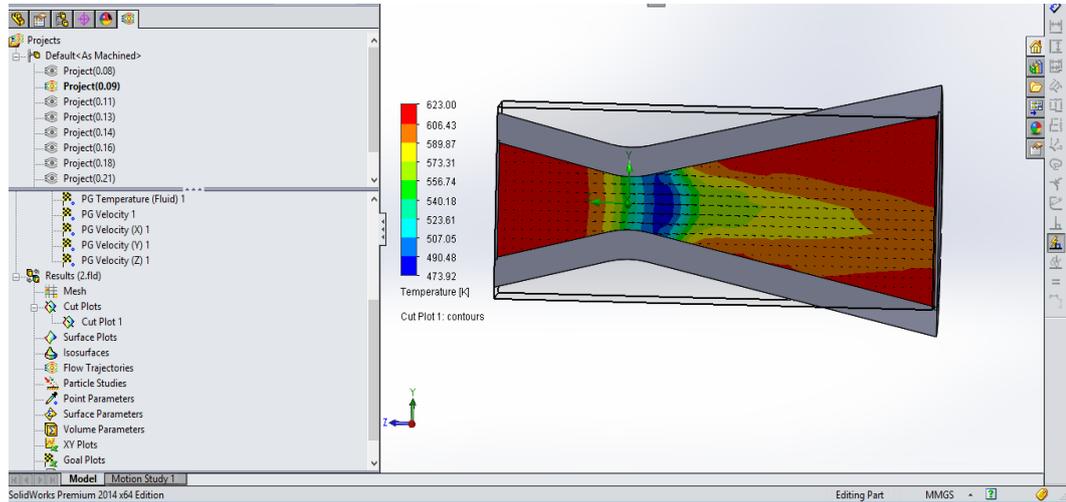


Gambar: 4.3 Visualisasi *Pressure* (tekanan) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,09 kg/s.

Dari gambar 4.3 tercantum penjelasan bahwa aliran yang menggunakan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,09 kg/s tertera bahwa tekanan maksimum pada nozzle adalah sebesar 2732948,87 Pa, sementara itu tekanan minimum pada nozzle adalah sebesar 733939,46 Pa. Untuk mendapatkan nilai  $\Delta P$  yang akan digunakan pada

perhitungan selanjutnya dapat dilakukan dengan cara nilai maksimum dikurangi dengan nilai minimum (2732948,87-733939,46) sehingga didapat besaran nilai  $\Delta P$  sebesar 1999009,41 Pa.

Sedangkan untuk *temperatur* (suhu) dapat kita lihat pada gambar berikut:



Gambar: 4.4 Visualisasi *Temperatur* (suhu) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,09 kg/s.

Dari gambar 4.4 tercantum penjelasan bahwa *temperatur* yang terjadi pada simulasi ini tertera bahwa *temperatur* maksimum sebesar 623,00°K. Sedangkan untuk *temperatur* minimum adalah sebesar 473,92°K.

Tabel 4.2 Variasi *Inlet Mass Flow* 0,09 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle.

<i>Aliran Massa Masuk (InletMass Flow)</i>	<i>Kecepatan Uap Keluar (Velocity)</i>
0,09 kg/s	97.593
	2.780
	92.034
	186.847
	281.660
Jumlah rata-rata	132.1828 m/s

Untuk menghitung kecepatan uap keluar pada nozzle dapat diselesaikan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_0 - h_1 \\ &= 3081,8 - 2950,4 \end{aligned}$$

$$= 131,4kJ / kg$$

$$= 31,38kkal / kg$$

$$C_1 t = 91,5\sqrt{31,38}$$

$$= 512,56m / s$$

Maka untuk menghitung koefisien kerugian kecepatan uap keluar pada nozzle adalah:

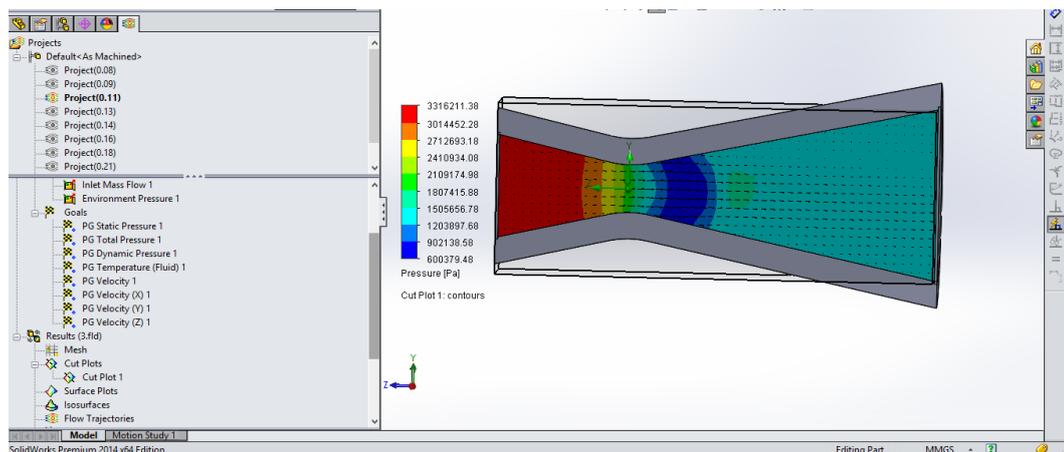
$$C_1 t = C_1 \cdot \varphi$$

$$\varphi = \frac{C_1}{C_1 t}$$

$$\varphi = \frac{132}{512} = 0,257$$

#### 4.1.3 Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ (inlet mass flow) 0,11 kg/s.

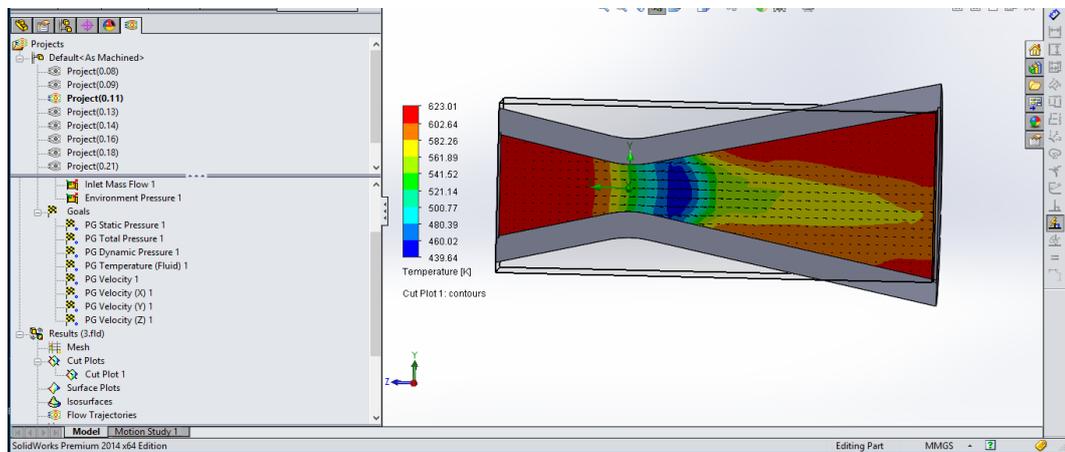
*Boundary condition* yang digunakan pada proses simulasi ini yaitu untuk nilai *inlet mass flow* sebesar 0,11 kg/s, *Environment pressure* sebesar 1500000 Pa dan *Temperatur* sebesar 623°K. Sehingga didapat hasil simulasi untuk *pressure* (tekanan) dan *temperatur* (suhu) adalah sebagai berikut:



Gambar: 4.5 Visualisasi *Pressure* (tekanan) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,11 kg/s.

Dari gambar 4.5 tercantum penjelasan bahwa aliran yang menggunakan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,11 kg/s tertera bahwa tekanan maksimum pada nozzle adalah sebesar 3316211,38 Pa, sementara itu tekanan minimum pada nozzle adalah sebesar 600379,48 Pa. Untuk mendapatkan nilai  $\Delta P$  yang akan digunakan pada perhitungan selanjutnya dapat dilakukan dengan cara nilai maksimum dikurangi dengan nilai minimum (3316211,38-600379,48) sehingga didapat besaran nilai  $\Delta P$  sebesar 2715831,9 Pa.

Sedangkan untuk *temperatur* (suhu) dapat kita lihat pada gambar berikut:



Gambar: **4.6** Visualisasi *Temperatur* (suhu) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,11 kg/s.

Dari gambar 4.6 tercantum penjelasan bahwa *temperatur* yang terjadi pada simulasi ini tertera bahwa *temperatur* maksimum sebesar 623,01°K. Sedangkan untuk *temperatur* minimum adalah sebesar 439,64°K.

Tabel **4.3** Variasi *Inlet Mass Flow* 0,11 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle.

<i>Aliran Massa Masuk (Inlet Mass Flow)</i>	<i>Kecepatan Uap Keluar (Velocity)</i>
0,11 kg/s	129.503
	25.087
	79.329
	183.745
	288.161
Jumlah rata-rata	141.165 m/s

Untuk menghitung kecepatan uap keluar pada nozzle dapat diselesaikan dengan persamana berikut:

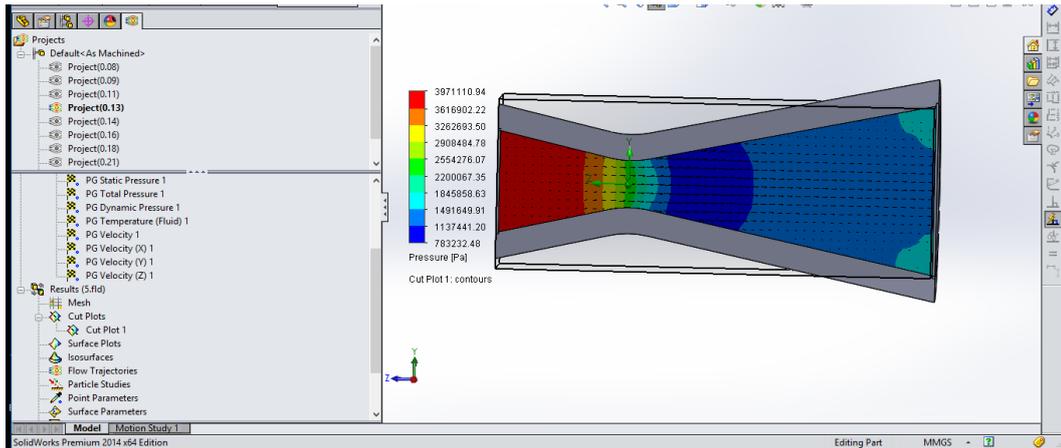
$$\begin{aligned}
\Delta h &= h_0 - h_1 \\
&= 3067,1 - 2860,8 \\
&= 206,3 \text{ kJ/kg} \\
&= 49,27 \text{ kkal/kg} \\
C_1 t &= 91,5 \sqrt{49,27} \\
&= 642,26 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Maka untuk menghitung koefisien kerugian kecepatan uap keluar pada nozzle adalah:

$$\begin{aligned}
C_1 t &= C_1 \cdot \varphi \\
\varphi &= \frac{C_1}{C_1 t} \\
\varphi &= \frac{141}{642} = 0,219
\end{aligned}$$

#### 4.1.4 Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ (*Inlet mass flow*) 0,13 kg/s.

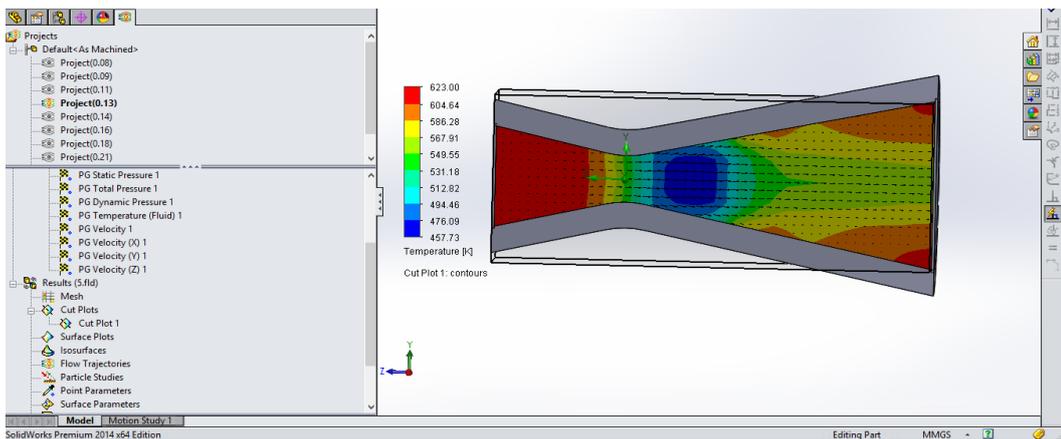
*Boundary condition* yang digunakan pada proses simulasi ini yaitu untuk nilai *inlet mass flow* sebesar 0,13 kg/s, *Environment pressure* sebesar 1500000 Pa dan *Temperatur* sebesar 623°K. Sehingga didapat hasil simulasi untuk *pressure* (tekanan) dan *temperatur* (suhu) adalah sebagai berikut:



Gambar: 4.7 Visualisasi *Pressure* (tekanan) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,13 kg/s.

Dari gambar 4.7 tercantum penjelasan bahwa aliran yang menggunakan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,13 kg/s tertera bahwa tekanan maksimum pada nozzle adalah sebesar 3971110,94 Pa, sementara itu tekanan minimum pada nozzle adalah sebesar 783232,48 Pa. Untuk mendapatkan nilai  $\Delta P$  yang akan digunakan pada perhitungan selanjutnya dapat dilakukan dengan cara nilai maksimum dikurangi dengan nilai minimum (3971110,94-783232,48) sehingga didapat besaran nilai  $\Delta P$  sebesar 3187878,46 Pa.

Sedangkan untuk *temperatur* (suhu) dapat kita lihat pada gambar berikut:



Gambar: 4.8 Visualisasi *Temperatur* (suhu) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,13 kg/s.

Dari gambar 4.8 tercantum penjelasan bahwa *temperatur* yang terjadi pada simulasi ini tertera bahwa *temperatur* maksimum sebesar 623,00°K. Sedangkan untuk *temperatur* minimum adalah sebesar 457,73°K.

Tabel 4.4 Variasi *Inlet Mass Flow* 0,13 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle.

<i>Aliran Massa Masuk (Inlet Mass Flow)</i>	<i>Kecepatan Uap Keluar (Velocity)</i>
0,13 kg/s	60.070
	30.412
	120.893
	211.375
	301.857
Jumlah rata-rata	144.9214 m/s

Untuk menghitung kecepatan uap keluar pada nozzle dapat diselesaikan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\Delta h &= h_0 - h_1 \\ &= 2919,4 - 2719,8 \\ &= 199,6 \text{ kJ / kg} \\ &= 47,67 \text{ kkal / kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_1 t &= 91,5 \sqrt{47,67} \\ &= 631,74 \text{ m / s}\end{aligned}$$

Maka untuk menghitung koefisien kerugian kecepatan uap keluar pada nozzle adalah:

$$C_1 t = C_1 \cdot \varphi$$

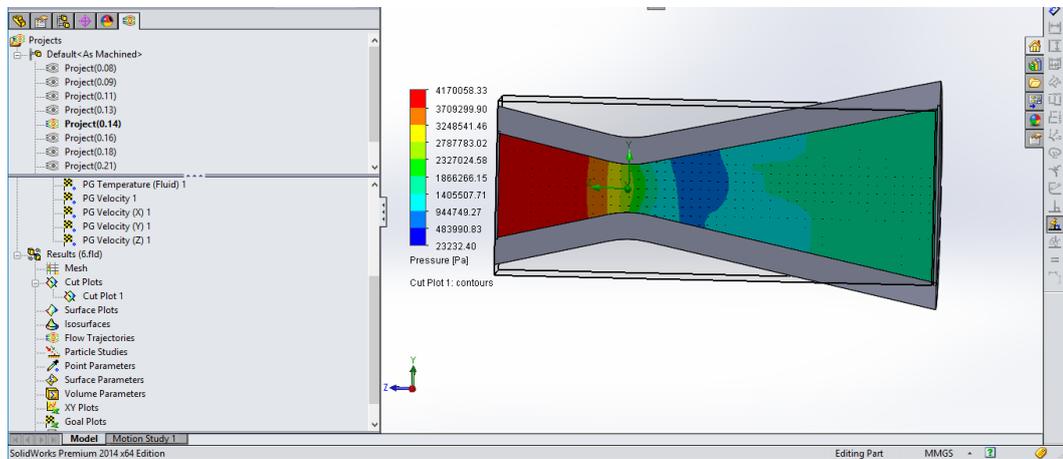
$$\varphi = \frac{C_1}{C_1 t}$$

$$\varphi = \frac{144}{631} = 0,228$$

#### 4.1.5 Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ (*Inlet mass flow*) 0,14 kg/s.

*Boundary condition* yang digunakan pada proses simulasi ini yaitu untuk nilai *inlet mass flow* sebesar 0,14 kg/s, *Environment pressure* sebesar 1500000 Pa

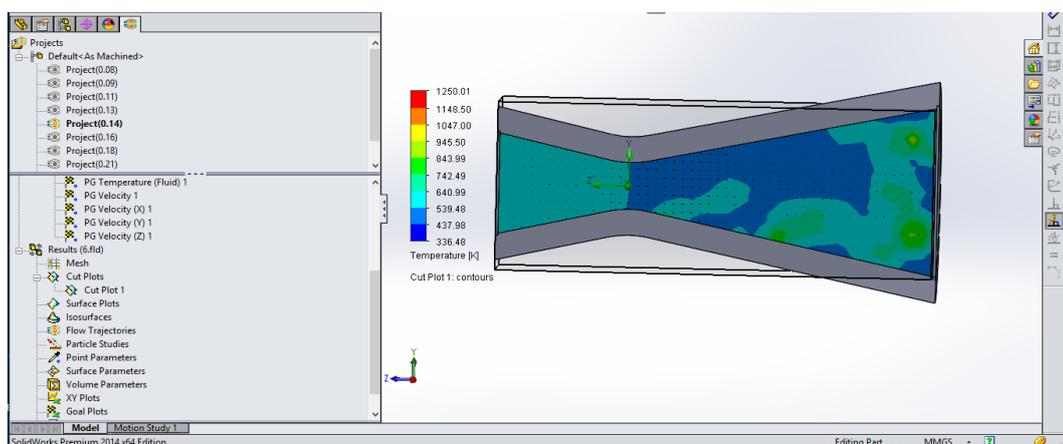
dan *Temperatur* sebesar 623°K. Sehingga didapat hasil simulasi untuk *pressure* (tekanan) dan *temperatur* (suhu) adalah sebagai berikut:



Gambar: 4.9 Visualisasi *Pressure* (tekanan) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,14 kg/s.

Dari gambar 4.9 tercantum penjelasan bahwa aliran yang menggunakan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,14 kg/s tertera bahwa tekanan maksimum pada nozzle adalah sebesar 4170058,33 Pa, sementara itu tekanan minimum pada nozzle adalah sebesar 23232,40 Pa. Untuk mendapatkan nilai  $\Delta P$  yang akan digunakan pada perhitungan selanjutnya dapat dilakukan dengan cara nilai maksimum dikurangi dengan nilai minimum (4170058,33-23232,40) sehingga didapat besaran nilai  $\Delta P$  sebesar 4146825,93 Pa.

Sedangkan untuk *temperatur* (suhu) dapat kita lihat pada gambar berikut:



Gambar: 4.10 Visualisasi *Temperatur* (suhu) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,14 kg/s.

Dari gambar 4.10 tercantum penjelasan bahwa *temperatur* yang terjadi pada simulasi ini tertera bahwa *temperatur* maksimum sebesar 1250,01°K. Sedangkan untuk *temperatur* minimum adalah sebesar 336,48°K.

Tabel 4.5 Variasi *Inlet Mass Flow* 0,14 kg/s terhadap kecepatan uap keluar nozzle.

<i>Aliran Massa Masuk (Inlet Mass Flow)</i>	<i>Kecepatan Uap Keluar (Velocity)</i>
0,14 kg/s	393.040
	69.036
	531.113
	993.189
	1455.265
Jumlah rata-rata	688.3286 m/s

Untuk menghitung kecepatan uap keluar pada nozzle dapat diselesaikan dengan persamaan berikut:

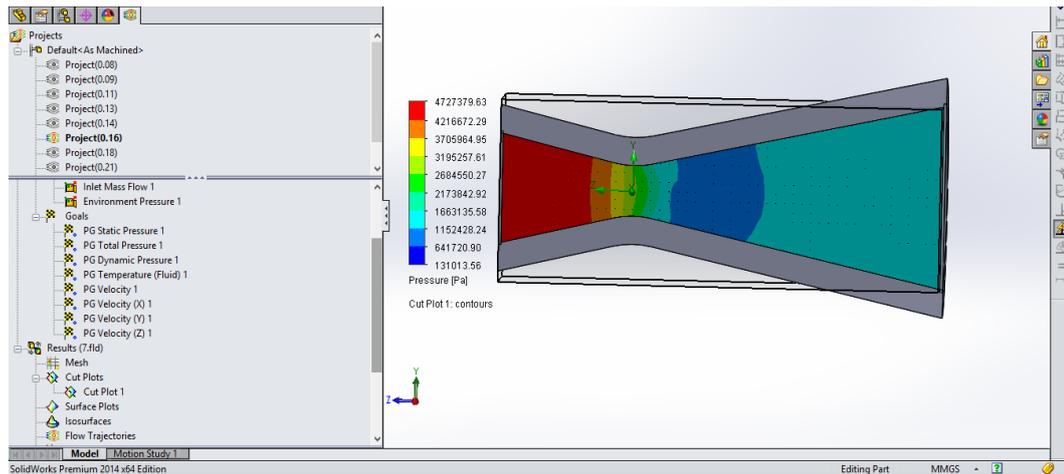
$$\begin{aligned}
 \Delta h &= h_0 - h_1 \\
 &= 2881,6 - 2660,7 \\
 &= 220,9 \text{ kJ/kg} \\
 &= 52,76 \text{ kkal/kg} \\
 C_1 t &= 91,5 \sqrt{52,76} \\
 &= 664,62 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Maka untuk menghitung koefisien kerugian kecepatan uap keluar pada nozzle adalah:

$$\begin{aligned}
 C_1 t &= C_1 \cdot \varphi \\
 \varphi &= \frac{C_1}{C_1 t} \\
 \varphi &= \frac{688}{644} = 1,068
 \end{aligned}$$

#### 4.1.6 Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ (*Inlet mass flow*) 0,16 kg/s.

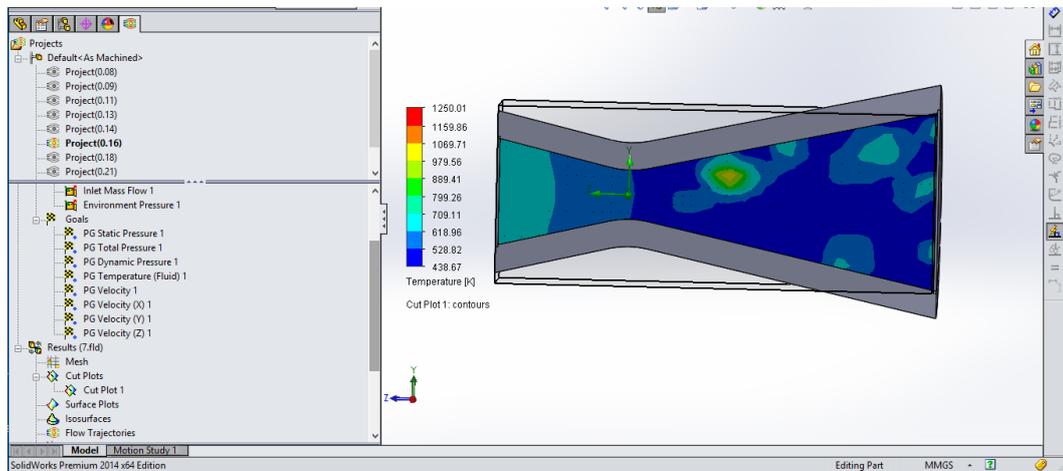
*Boundary condition* yang digunakan pada proses simulasi ini yaitu untuk nilai *inlet mass flow* sebesar 0,16 kg/s, *Environment pressure* sebesar 1500000 Pa dan *Temperatur* sebesar 623°K. Sehingga didapat hasil simulasi untuk *pressure* (tekanan) dan *temperatur* (suhu) adalah sebagai berikut:



Gambar: 4.11 Visualisasi *Pressure* (tekanan) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,16 kg/s.

Dari gambar 4.11 tercantum penjelasan bahwa aliran yang menggunakan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,16 kg/s tertera bahwa tekanan maksimum pada nozzle adalah sebesar 4727379,63 Pa, sementara itu tekanan minimum pada nozzle adalah sebesar 131013,56 Pa. Untuk mendapatkan nilai  $\Delta P$  yang akan digunakan pada perhitungan selanjutnya dapat dilakukan dengan cara nilai maksimum dikurangi dengan nilai minimum (4727379,63-131013,56) sehingga didapat besaran nilai  $\Delta P$  sebesar 459636,07 Pa.

Sedangkan untuk *temperatur* (suhu) dapat kita lihat pada gambar berikut:



Gambar: 4.12 Visualisasi *Temperatur* (suhu) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,16 kg/s.

Dari gambar 4.12 tercantum penjelasan bahwa *temperatur* yang terjadi pada simulasi ini tertera bahwa *temperatur* maksimum sebesar 1250,01°K. Sedangkan untuk *temperatur* minimum adalah sebesar 438,67°K.

Tabel 4.6 Variasi *Inlet Mass Flow* 0,16 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle.

<i>Aliran Massa Masuk (Inlet Mass Flow)</i>	<i>Kecepatan Uap Keluar (Velocity)</i>
0,16 kg/s	729.175
	851.739
	2432.652
	4013.566
	5594.479
Jumlah rata-rata	2724.3222 m/s

Untuk menghitung kecepatan uap keluar pada nozzle dapat diselesaikan dengan persamana berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta h &= h_0 - h_1 \\
 &= 2796,9 - 2791,6 \\
 &= 5,3kJ / kg \\
 &= 1,26kkal / kg
 \end{aligned}$$

$$C_1 t = 91,5\sqrt{1,26}$$

$$= 1027,08m/s$$

Maka untuk menghitung koefisien kerugian kecepatan uap keluar pada nozzle adalah:

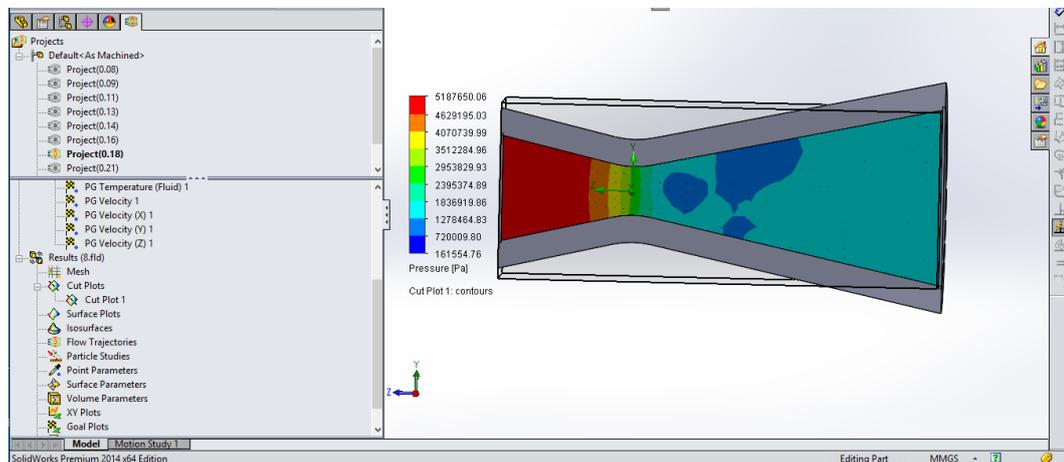
$$C_1 t = C_1 \cdot \varphi$$

$$\varphi = \frac{C_1}{C_1 t}$$

$$\varphi = \frac{2724}{1027} = 2,652$$

#### 4.1.7 Variasi Aliran Dengan $\dot{m}$ (Inlet mass flow) 0,18 kg/s.

*Boundary condition* yang digunakan pada proses simulasi ini yaitu untuk nilai *inlet mass flow* sebesar 0,18 kg/s, *Environment pressure* sebesar 1500000 Pa dan *Temperatur* sebesar 623°K. Sehingga didapat hasil simulasi untuk *pressure* (tekanan) dan *temperatur* (suhu) adalah sebagai berikut:

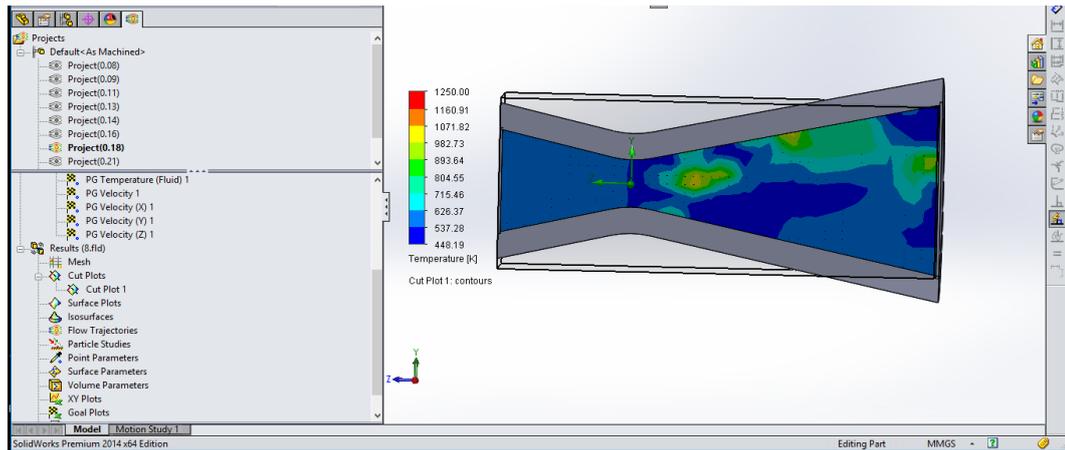


Gambar: 4.13 Visualisasi *Pressure* (tekanan) dengan  $\dot{m}$  (Inlet mass flow) 0,18 kg/s.

Dari gambar 4.13 tercantum penjelasan bahwa aliran yang menggunakan  $\dot{m}$  (Inlet mass flow) 0,18 kg/s tertera bahwa tekanan maksimum pada nozzle adalah sebesar 5187650,06 Pa, sementara itu tekanan minimum pada nozzle adalah

sebesar 161554,76 Pa. Untuk mendapatkan nilai  $\Delta P$  yang akan digunakan pada perhitungan selanjutnya dapat dilakukan dengan cara nilai maksimum dikurangi dengan nilai minimum (5187650,06-161554,76) sehingga didapat besaran nilai  $\Delta P$  sebesar 5026095,3 Pa.

Sedangkan untuk *temperatur* (suhu) dapat kita lihat pada gambar berikut:



Gambar: **4.14** Visualisasi *Temperatur* (suhu) dengan  $\dot{m}$  (*Inlet mass flow*) 0,18 kg/s.

Dari gambar 4.14 tercantum penjelasan bahwa *temperatur* yang terjadi pada simulasi ini tertera bahwa *temperatur* maksimum sebesar 1250,00°K. Sedangkan untuk *temperatur* minimum adalah sebesar 448,19°K.

Tabel **4.7** Variasi *Inlet Mass Flow* 0,18 kg/sterhadap kecepatan uap keluar nozzle.

<i>Aliran Massa Masuk (Inlet Mass Flow)</i>	<i>Kecepatan Uap Keluar (Velocity)</i>
0,18 kg/s	1339.235
	499.437
	342.360
	1183.157
	2023.954
Jumlah rata-rata	1077.4286 m/s

Untuk menghitung kecepatan uap keluar pada nozzle dapat diselesaikan dengan persamana berikut:

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_0 - h_1 \\ &= 2793,1 - 2790,0 \end{aligned}$$

$$= 3.1kJ / kg$$

$$= 0.74kkal / kg$$

$$C_{1t} = 91,5\sqrt{0,74}$$

$$= 78,71m / s$$

Maka untuk menghitung koefisien kerugian kecepatan uap keluar pada nozzle adalah:

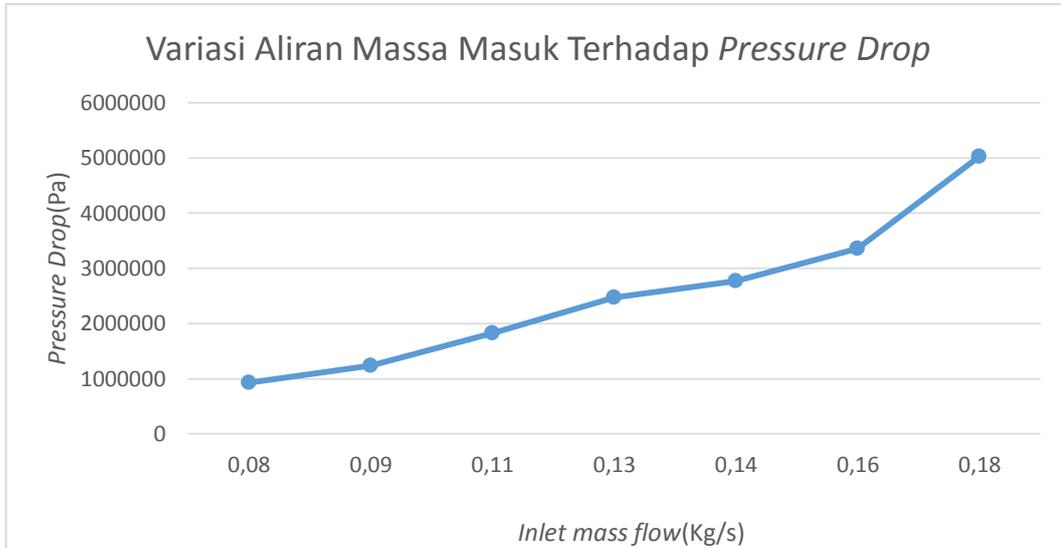
$$C_{1t} = C_1 \cdot \varphi$$

$$\varphi = \frac{C_1}{C_{1t}}$$

$$\varphi = \frac{1077}{78.71} = 13,688$$

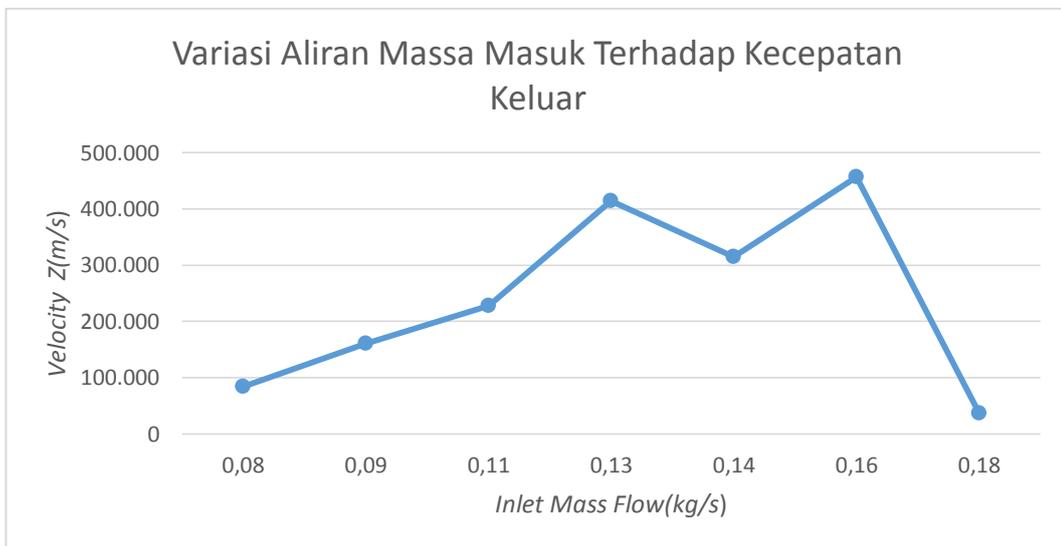
Tabel 4.8 Hasil *Pressure* dan *Temperatur* dan *Velocity* dari variasi  $\dot{m}$  (*Inlet Mass Flow*)

<i>Inlet Mass Flow</i> (Aliran Massa Masuk) Kg/s	<i>Pressure</i> (Tekanan) Pa	<i>Temperatur</i> (Suhu) °K	<i>Velocity</i> (Kecepatan) M/s
0.08	1714952,28	122,72	608,111
0.09	1999009,41	149,08	658,134
0.11	2715832,38	183,36	691,76
0.13	3187878,46	165,27	694,195
0.14	4146825,93	801,81	3372,607
0.16	4596366,07	811,34	4888,706
0.18	5026095,3	913,53	12769,871



Gambar: 4.15 Grafik Variasi Aliran Massa Masuk Terhadap *Pressure Drop*.

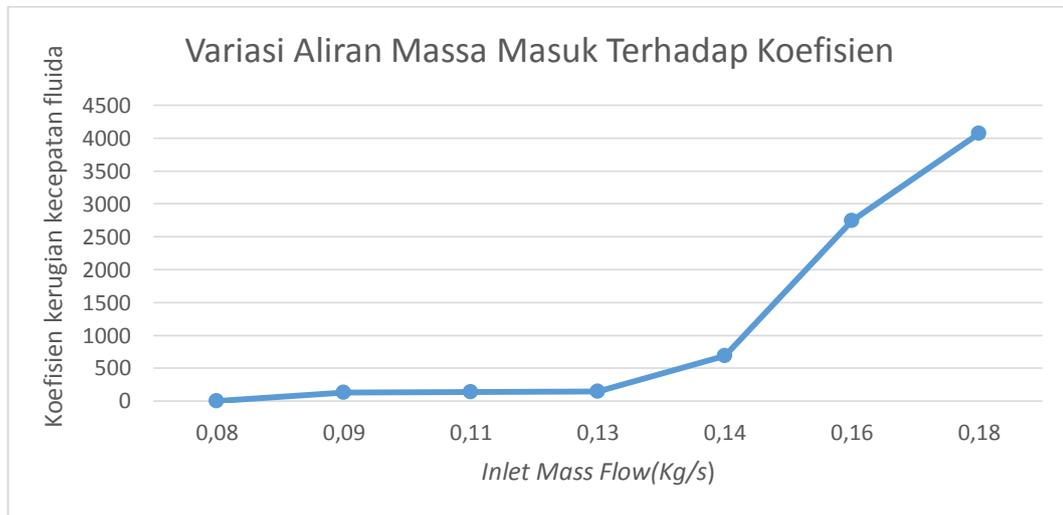
Dari Gambar 4.15 dapat dijelaskan bahwa semakin besar aliran massa masuk (*inlet mass flow*) maka hasil terhadap *pressure Drop* semakin besar pula. Hal ini di pengaruhi karena jumlah aliran fluida yang masuk pada Nozzle.



Gambar: 4.16 Grafik Variasi *Inlet Mass Flow* Terhadap Kecepatan Keluar.

Dari gambar 4.16 dapat dijelaskan bahwa kecepatan fluida keluar pada nozzle tidak cenderung naik atau turun. Hal ini dipengaruhi karena variasi

temperature yang mempengaruhi kecepatan laju aliran fluida keluar pada ujung Nozzle. Kecepatan fluida juga dipengaruhi oleh tekanan yang terjadi pada nozzle.



Gambar: **4.17** Grafik Inlet Mass Flow Terhadap Koefisien Kerugian Kecepatan Fluida.

Dari Gambar 4.17 dapat kita jelaskan bahwa apabila aliran massa masuk semakin besar maka koefisien kerugian pada nozzle akan semakin besar pula. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah rata-rata uap keluar pada nozzle.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa numerik nozzle *Convergent-Divergent* pada percobaan simulasi *Solidwork* dan saran serta masukan yang perlu diperhatikan agar nantinya dapat menjadi penyempurna kembali simulasi pada desain yang sama agar dapat memperoleh hasil yang lebih baik.

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dari simulasi dan pembahasan serta analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka dapat di tarik kesimpulan bahwa:

1. Hasil dari simulasi pada nozzle menunjukkan bahwa hasil *pressure* (tekanan) yang diperoleh dengan variasi *inlet mass flow* 0.08 kg/s adalah sebesar 1714952.28 Pa. Sedangkan hasil *pressure* (tekanan) dengan variasi 0.18 kg/s adalah sebesar 5026095.3 Pa. Hal ini dapat menunjukkan bahwa semakin besar *inlet mass flow* pada nozzle maka semakin besar pula penurunan *pressure drop* dan tekanan uap yang terjadi pada nozzle.
2. Hasil dari simulasi pada nozzle menunjukkan bahwa koefisien kerugian kecepatan uap keluar pada nozzle dengan *inlet mass flow* 0.08 kg/s sebesar 0.312. Sedangkan dengan *inlet mass flow* 0.18 kg/s sebesar 13.68. Hal ini dapat menunjukkan bahwa koefisien kerugian uap keluar pada nozzle semakin besar apabila aliran *inlet mass flow* juga semakin besar dan kerugian kecepatan fluida yang keluar pada nozzle juga di pengaruhi oleh tekanan pada nozzle.
3. Kecepatan fluida pada nozzle akan meningkat sesuai energi tekanannya.
4. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa tekanan uap yang terjadi pada nozzle termasuk jenis tekanan uap menengah (tekanan uap antara 10-88bar).

## 5.2 Saran

Pada pelaksanaan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan dan menghambat dalam kegiatan penelitian.

Adapun saran yang diajukan untuk melakukan simulasi ini antara lain:

1. Sebaiknya pada saat melakukan penginputan data harus lebih teliti agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan apa yang diinginkan.
2. Lakukan proses simulaasi berulang kali agar mendapatkan hasil data yang akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andrian Hadi Purnomo.2009.Simulasi Dua Dimensi Karakteristik Aliran Pada Blade Untuk Desain Nozzle Dan Blade Turbin Uap Tipe Impuls Satu Tingkat[skripsi].Surabaya:Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Afolabi,Eyitayo.A.&Lee,J.G.M.2013.CFD Simulation Of a Single Phase Flow in a Pipe Sparator Using Reynolds Stress Method.ARPN Journal Of Enginerring and Applied Sciences Vol 8, No 7, July 2013.
- Chaplin,RA.2009.*Steam Turbine Impulse and Reaction Blading,Thermal Power Plant*, vol III, Encyclopedia of Life Support S.
- Edgar Sihotang.2019<http://www.scrib.com/document/281363962/5-Turbin-Uap>.
- Fahris M.2010."Analisa pengaruh variasi panjang throat section terhadap entrainment ratio pada steam ejector dengan menggunakan CFD", prosiding seminar Nasional sains dan teknologi,a-6.
- Gilang Argya Dyaksa.2016.Pengaruh Convergent Dan Convergent-Divergent Nozzle Terhadap Entrainment Ratio Dan Expansion Ratio Pada Steam Ejector[skripsi].Yogyakarta:Universitas Sanata Dharma.
- Munson,Bruce R.,Young, Donald F.,Okiishi,Theodore H.2004 *Mekanika Fluida jilid 1*. Edisi Keempat.Jakarta:Erlangga,2004.
- Nuradito,M, D.2016.Studi Eksperimen Dan Kajian Numerik Aliran Fluida Pada Nosel Diameter 0.3 mm [skripsi].Bandung:Universitas Pasundan.
- Novi Indah Riani,Syamsuri,Rungky Rianata Pratama.2017.*Simulasi Numerik Aliran Melewati Nozzle Pada Ejector Converging-Diverging Dengan Variasi Diameter Exit Nozzle*.Jurnal Teknik Mesin.Vol 2 No.1 2017.
- Shlyakhin,P.1990.*Turbin Uap (Steam Turbin) Teori dan Rancangan Cetakan Pertama*.Jakarta:Erlangga.
- Utomo,Tony,S., Nugroho, Sri, Yohana, E 2011."Analisa Pengaruh Posisi Keluaran Nosel Primer Terhadap Performa Steam Ejector Menggunakan CFD".Jurnal Teknik Mesin ROTASI Undip vol.13 no. 2 April.22-23,2011.

# LAMPIRAN

### LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

#### Analisa Numerik Nozzle Convergent-Divergent Pada Turbin Uap

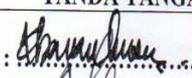
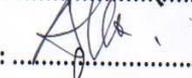
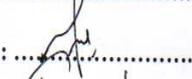
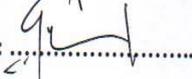
Nama : Mellyanto  
NPM : 1507230139

Dosen Pembimbing 1 : Khairul Umurani, S.T., M.T  
Dosen Pembimbing 2 : Sudirman Lubis, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
7	Januari 2019	- Pembinaan spesifikasi tugas	U
14	Januari 2019	- Pembinaan pendahuluan	U
21	Januari 2019	- Pembinaan tujuan pustaka	U
2	Feb 2019	- Pembinaan Metode	U
14	Feb 2019	- Pembinaan Hasil & penulisan	U
18	Feb 2019	- Lanjut ke pembimbing 2.	U
19	Feb 2019	- Revisi Spasi	A
21	Feb 2019	- Revisi data persan	A
21	Feb 2019	- Aec	A
22	Feb 2019	- Aec, seminar	U

**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK - UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2018 - 2019**

Peserta Seminar  
 Nama : Mellyanto  
 NPM : 1507230139  
 Judul Tugas Akhir : Analisa Numerik Nozzle Convergent Divergent Pada Turbin Uap.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T	: 
Pembimbing - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T	: 
Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc	: 
Pembanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1407230266	M.ADIMAS NUGRAHA	
2	1507230155	ANDRIANTO	
3	1507230120	Randy Kuswary	
4	1507230163	BAYU ANGGARA	
5	1507230246	Jetri Maulana Lubis	
6	1407250070	Tyo Fransetjo	
7			
8			
9			
10			

Medan, 20 Jum.Akhir 1440 H  
28 Februari 2019 M

Ketua Prodi. T Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Mellyanto  
NPM : 1507230139  
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Nozzle Convergent Divergent Pada Turbin –  
Uap.

Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc  
Dosen Pembanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

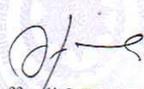
.....  
What buku Scarp?  
.....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

Medan 23 Jum.Akhir 1440H  
28 Februari 2019 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I

  
H.Muharnif.S.T.M.Sc

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Mellyanto  
NPM : 1507230139  
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Nozzle Convergent Divergent Pada Turbin –  
Uap.

Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc  
Dosen Pembanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain : *lihat buku tugas akhir.*  
.....  
.....  
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....

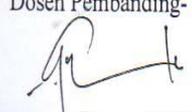
Medan 23 Jum.Akhir 1440H  
28 Februari 2019 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T Mesin



Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II



Chandra A Siregar.S.T.M.T

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

1. Nama : MELLYANTO
2. JenisKelamin : Laki-Laki
3. Tempat, TanggalLahir : Rakyat Rejo, 20 Mei 1997
4. Kewarganegaraan : Indonesia
5. Status : BelumMenikah
6. Agama : Islam
7. Alamat : Dusun Rakyat Rejo, Langkat
8. No. Hp : 082166226391
9. Email : mellyanto20@gmail.com

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

NO	PENDIDIKAN FORMAL	TAHUN
1	SD NEGERI 058118 Rakyat Rejo, LANGKAT	2003 - 2009
2	SMP NEGERI 1 Sawit Seberang, LANGKAT	2009 - 2012
3	SMK TAMANSISWA SawitSeberang, LANGKAT	2012 - 2015
4	Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2015 - 2019