



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA ALIRAN UDARA PADA ELBOW *PROTO X-1*
MENGUNAKAN CFD**

SKRIPSI

**FAHMI ALFA MUSLIMU
0906604760**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA ALIRAN UDARA PADA ELBOW *PROTO X-1*
MENGUNAKAN CFD**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Sarjana Teknik

**FAHMI ALFA MUSLIMU
0906604760**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 201**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.





Nama : Fahmi Alfa Muslimu
NPM : 0906604760
Tanda Tangan :
Tanggal : 11 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Fahmi Alfa Muslimu
NPM : 0906604760
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa aliran udara pada elbow
PROTO X-1 menggunakan CFD

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M.Eng ()
Penguji : Ir. Warjito, M.Eng, Ph.D ()
Penguji : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 11 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada masa penyusunan skripsi ini sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

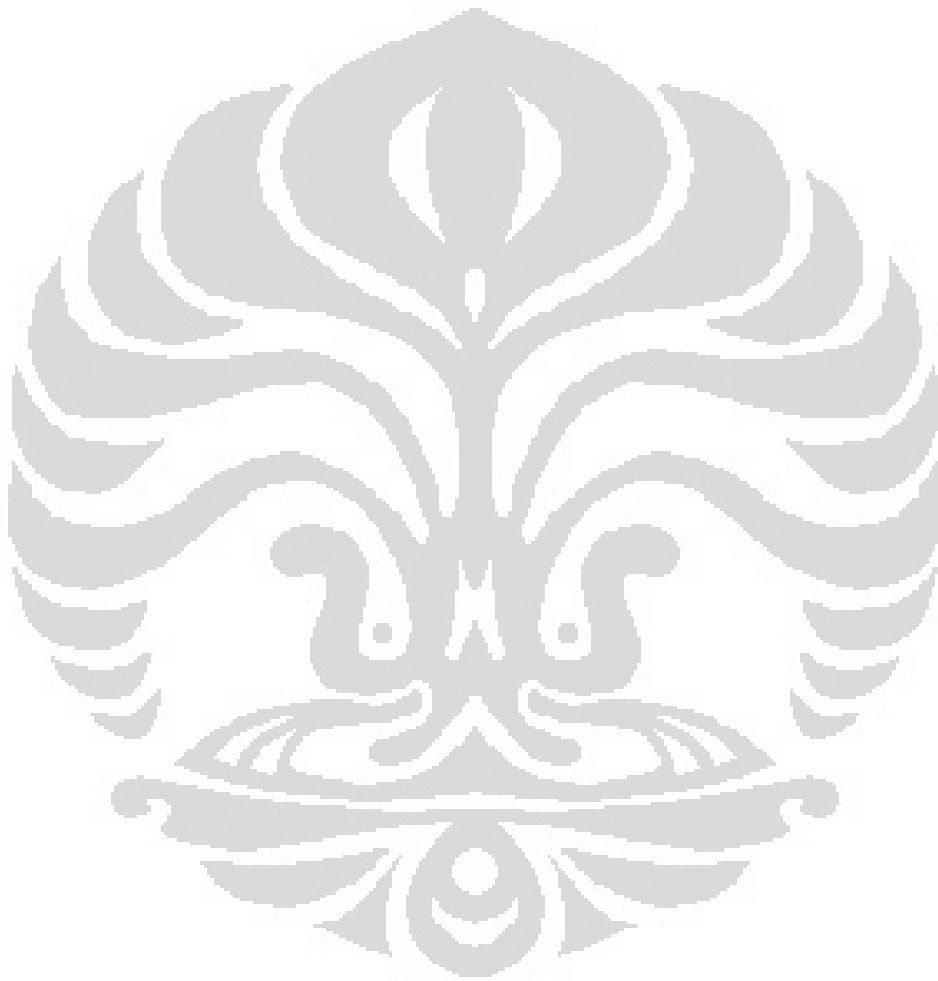
1. Bapak Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara, selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu memberikan kepercayaan, semangat, bimbingan, dan bantuan yang luar biasa.
2. Bapak Dr. Ario Sunar Baskoro, ST, MT, selaku pembimbing akademis atas perhatiannya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M.Eng, Bapak Dr. Ir. Warjito, M.Eng, Bapak Ir. Imansyah Ibnu Hakim M.Eng, selaku dosen penguji skripsi yang telah banyak memberikan saran dan masukan.
4. Segenap jajaran Dosen Departemen Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Semua pihak yang membantu memberikan masukan kepada penulis.
6. Teman-teman ekstensi Teknik Mesin angkatan 2009 yang selalu memberikan keceriaan dan persahabatan yang indah selama masa perkuliahan.

Ungkapan terima kasih dan penghargaan yang sangat spesial penulis haturkan dengan rendah hati dan rasa hormat kepada Ayahanda dan Ibunda penulis serta Istriku yang dengan segala pengorbanannya tak akan pernah penulis lupakan. Doa restu, nasihat dan petunjuk dari mereka kiranya merupakan dorongan moril paling efektif bagi kelanjutan studi penulis hingga saat ini.

Akhir kata penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu ke depannya

Depok, Januari 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sicitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Fahmi Alfa Muslimu
NPM : 0906604760
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Analisa aliran udara pada elbow *PROTO X-1* menggunakan CFD

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Depok

Pada tanggal 11 Januari 2012

Yang menyatakan



(Fahmi Alfa Muslimu)

--:

ABSTRAK

Nama : Fahmi Alfa Muslimu
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Analisa aliran udara pada elbow *PROTO X-1* menggunakan CFD.

Untuk meningkatkan performa dan efisiensi mikro gas turbin proto X1, telah dilakukan analisa tentang adanya *pressure drop* pada elbow saluran masuk ruang bakar. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati fenomena aliran fluida dan distribusi tekanan yang terjadi pada elbow 90° menggunakan *SolidWorks* 2011. Penelitian dilakukan dengan membandingkan besarnya *pressure drop* akibat penambahan *guide vanes* pada elbow 90° . Hasil penelitian menunjukkan *pressure drop* berkurang dengan adanya penambahan *guide vanes* pada elbow bagian bawah sebesar 0,54 % pada kecepatan aliran 5,73 m/s, 10,42% pada kecepatan aliran 6,78 m/s, dan sebesar 11,29% pada kecepatan aliran 7,72 m/s. Dari hasil penelitian penulis menyarankan agar dilakukan analisa terhadap *pressure drop* yang terjadi pada ruang bakar sehingga performa dan efisiensi turbin dapat ditingkatkan lagi.

Kata kunci: pipa, elbow, *pressure drop*, CFD

ABSTRACT

Name : Fahmi Alfa Muslimu
Study Program : Mechanical Enggining
Title : Analysis of air flow in elbow Micro Gas Turbine
Proto X-1 using CFD

To improve performance and efficiency of micro gas turbine proto X1, has conducted an analysis of the presure drop in the combustion chamber inlet elbow. This study was conducted to observe the phenomenon of fluid flow and pressure distribution that occurs at elbow 90^0 using SolidWorks 2011. The study was conducted by comparing the magnitude of pressure drop due to the addition of guide vanes in the elbow 90^0 . The results show pressure drop decreases with the addition of guide vanes in the elbow at the bottom of 0.54% at a flow rate of 5.73 m/s, 10.42% at a flow rate of 6.78 m/s, and by 11.29% at a flow rate of 7.72 m/s. From the results of the study research suggested that the analysis performed on the pressure drop that occurs in the combustion chamber so that the performance and efficiency of the turbine can be increased again.

Key words: pipe, elbow, pressure drop, CFD

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1.Latar belakang.....	1
1.2.Perumusan masalah.....	2
1.3. Tujuan penelitian	3
1.4. Batasan penelitian	3
1.5. Metodologi penelitian	3
1.6. Sistematika penulisan.....	4
BAB 2. DASAR TEORI	5
2.1.Aliran dalam pipa.....	5
2.1.1. Aliran fluida.....	5
2.1.2. Bilangan Reynolds.....	7
2.1.3. Viskositas.....	7
2.1.4. Rapat jenis (<i>density</i>).....	8
2.1.5. Debit aliran.....	8
2.1.6. Koefesien gesek	8
2.2. <i>Computational fluid dynamics</i>	11

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1. Skematik pengujian.....	15
3.2.Persiapan pengujian	15
3.2.1. Alat-alat pengujian	16
3.2.2. Pengambilan data kecepatan pada anulus	16
3.2.3. <i>Computational fluid dynamics</i>	18
3.3.Kondisi Operasi	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1. Dimensi pipa dan data hasil pengukuran	22
4.2. Analisa data.....	23
4.2.1. Analisa <i>pressure drop</i> pada saluran masuk turbin dengan cara empiris	23
4.2.2. Analisa <i>pressure drop</i> pada saluran masuk turbin dengan menggunakan <i>solidworks</i>	25
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	34
5.1. Kesimpulan	34
5.2. Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh di dalam pipa	6
Gambar 2.2. Distribusi tegangan aliran laminar dalam pipa bulat	9
Gambar 3.1. <i>Micro turbin gas</i> PROTO X-1	13
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	14
Gambar 3.3 Diagram Pengujian	15
Gambar 3.4. Pompa Oli dan Motor Listrik	16
Gambar 3.5 Pengujian <i>pressure drop</i>	17
Gambar 3.6 Detail saluran masuk ruang bakar	17
Gambar 3.7 Model aliran pipa <i>ellbow</i> 90°	18
Gambar 3.8. Model saluran masuk kedalam ruang bakar	18
Gambar 3.9. <i>dialog box</i> untuk memilih jenis analisis	19
Gambar 3.10 <i>dialog box</i> untuk menentukan mesh	20
Gambar 4.1. Profil dari pipa tanpa <i>guide vanes</i> (dimensi dalam meter)	22
Gambar 4.2 Profil dari pipa dengan <i>guide vanes</i> (dimensi dalam meter)	24
Gambar 4.3 Pemodelan 3D anulus	26
Gambar 4.4 Simulasi tekanan tanpa <i>guide vanes</i> pada kecepatan aliran 5,73 m/s	27
Gambar 4.5. Simulasi tekanan dengan <i>guide vanes ellbow</i> atas pada kecepatan aliran 5,73 m/s	28
Gambar 4.6 Simulasi tekanan dengan <i>guide vanes ellbow</i> bawah pada kecepatan aliran 5,73 m/s	29
Gambar 4.7 Simulasi tekanan dengan <i>guide vanes ellbow</i> atas dan bawah pada kecepatan aliran 5,73 m/s	30
Gambar 4.8 Grafik <i>pressure drop</i> dengan variasi bahan bakar	31
Gambar 4.9 Distribusi tekanan dengan aliran udara 6,78 m/s	32
Gambar 4.10 Distribusi tekanan dengan aliran udara 7,719689 m/s	33

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data pengujian saluran udara masuk <i>micro turbin gas</i> PROTO X-1	23
Tabel 4.2. Varian 1	26
Tabel 4.3. Varian 3	26
Tabel 4.4. Varian 5	26
Tabel 4.5. Hasil simullasi <i>solidworks</i>	27
Tabel 4.6. Hasil simullasi <i>solidworks</i>	28
Tabel 4.7. Hasil simullasi <i>solidworks</i>	29
Tabel 4.8. Hasil simullasi <i>solidworks</i>	30
Tabel 4.9. Hasil perbandingan <i>pressure drop</i> saluran udara masuk <i>micro turbin gas</i> PROTO X-1 dengan variasi debit aliran	31
Tabel 4.10. Hasil simullasi <i>solidworks</i>	32
Tabel 4.11. Hasil simullasi <i>solidworks</i>	33

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.1 *Pressure drop* saluran tanpa *guide vanes* pada kecepatan varian 1
- Lampiran 1.2 *Pressure drop* saluran tanpa *guide vanes* pada kecepatan varian 3
- Lampiran 1.3 *Pressure drop* saluran tanpa *guide vanes* pada kecepatan varian 5
- Lampiran 2.1 *Pressure drop* saluran dengan *guide vanes* pada kedua *ellbow* kecepatan varian 1
- Lampiran 2.2 *Pressure drop* saluran dengan *guide vanes* pada kedua *ellbow* kecepatan varian 3
- Lampiran 2.3 *Pressure drop* saluran dengan *guide vanes* pada kedua *ellbow* kecepatan varian 5
- Lampiran 3.1 *Pressure drop* saluran dengan *guide vanes* pada *ellbow* atas kecepatan varian 1
- Lampiran 3.2 *Pressure drop* saluran dengan *guide vanes* pada *ellbow* atas kecepatan varian 3
- Lampiran 3.3 *Pressure drop* saluran dengan *guide vanes* pada *ellbow* atas kecepatan varian 5
- Lampiran 4.1 *Pressure drop* saluran dengan *guide vanes* pada *ellbow* bawah kecepatan varian 1
- Lampiran 4.2 *Pressure drop* saluran dengan *guide vanes* pada *ellbow* bawah kecepatan varian 3
- Lampiran 4.3 *Pressure drop* saluran dengan *guide vanes* pada *ellbow* bawah kecepatan varian 5

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia, berkembangnya wilayah, dan pembangunan dari tahun ke tahun, kebutuhan akan pemenuhan energi listrik dan juga bahan bakar secara nasional juga semakin besar. Selama ini kebutuhan energi dunia dipenuhi oleh sumber daya tak terbarukan seperti minyak bumi dan batu bara. Produksi energi dan pemanfaatan yang semakin tinggi berbanding lurus dengan jumlah emisi yang dihasilkan.

Energi terbarukan merupakan energi dimana siklus materi pembawanya lebih cepat dari konsumsinya. Sehingga dapat dianggap tidak akan pernah habis dalam jangka waktu yang terbatas.

Pada umumnya, dilihat dari sudut pandang energi listrik, energi terbarukan memiliki keuntungan:

- a. Sumber energi yang ketersediannya dapat dikatakan tak terbatas.
- b. Dapat diperoleh secara cuma-cuma.
- c. Ramah lingkungan

Sedangkan hambatannya adalah:

- a. Investasi yang mahal
- b. Energi yang fluktuatif, sehingga kurang dapat diandalkan

Salah satu sistem pembangkit daya yang dapat digunakan sebagai alternatif adalah turbin gas, yang kini telah berkembang menjadi turbin gas mikro (*MGT-Micro Gas Turbine*) dengan kapasitas di bawah 200kW.

Kemampuan turbin gas untuk menghasilkan daya yang besar dengan energi masukan yang kecil juga telah mendorong turbin gas tidak hanya digunakan sebagai system yang berdiri sendiri namun juga untuk digunakan untuk fungsi yang lebih spesifik, yaitu sebagai pembangkit daya. Efisiensi siklus kerja pada turbin gas juga jauh lebih tinggi apabila dibandingkan dengan motor torak.

Aplikasi turbin gas konvensional yang luas dan dalam rentang waktu yang panjang menyebabkan turbin gas konvensional lebih banyak dibahas

dibandingkan dengan MGT. Namun, karakteristik kerja yang serupa dengan turbin gas konvensional serta rentang operasinya yang besar menjadikan *Micro Gas Turbine* menjadi menarik untuk dianalisa. Sistem turbin gas saat ini terus mengalami perkembangan dan inovasi, yang terfokus pada dua hal, yaitu:

- a. Meningkatkan efisiensi komponen; terutama pada kompresor dan turbin
- b. Memperbaiki hasil dari siklus termodinamika dengan meningkatkan temperatur masuk turbin (temperatur keluar ruang bakar).

Meskipun komponen *turbomachinery* telah memiliki nilai efisiensi yang sangat tinggi, yaitu 90%, namun nilai ini masih dapat ditingkatkan. Terlebih efisiensi thermal yang dicapai sebesar 40%. Salah satu hal yang menjadi kendala pada aplikasi turbin gas adalah unjuk kerja kompresor dan turbin yang cenderung turun seiring dengan waktu penggunaan.

Nilai efisiensi yang diperoleh berhubungan dengan nilai udara yang masuk kedalam ruang bakar. Oleh karena itu, pada penelitian ini, selain berusaha untuk meningkatkan nilai efisiensi, inovasi juga akan dilakukan terhadap jenis haluan udara masuk ruang bakar yang akan digunakan

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Pressure drop pada elbow diakibatkan oleh gesekan (*friction loss*) dan separasi aliran (*separation loss*) serta *secondary flow*. *Friction loss* terjadi karena adanya gesekan yang antara fluida dengan *inner surface* elbow 90° . Separasi aliran terjadi karena ketidakmampuan aliran melawan *adverse pressure gradient* (APG), sehingga sebagian aliran akan terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya, dengan demikian akan mengurangi energi aliran. *Secondary flow* terjadi karena perbedaan distribusi energi antara daerah inner dan outer. Hal ini didukung oleh kontur elbow 90° yang memungkinkan partikel fluida bergerak dari sisi *outer* menuju *inner wall*. Sehingga perlu dilakukan analisa aliran udara pada elbow *PROTO X-1* menggunakan CFD berdasarkan data pengoperasian.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati fenomena yang terjadi pada pipa elbow 90^0 menggunakan *SolidWorks* 2011, sehingga dapat dilihat aliran fluidanya dan distribusi tekanannya. Tujuan spesifik dari simulasi ini adalah untuk melihat pengaruh faktor gesek (*friction*) pada pipa elbow 90^0 terhadap penurunan tekanan, sehingga berdasarkan hasil analisa tersebut dapat dilakukan pengembangan lebih lanjut terhadap saluran masuk ruang bakar. Dengan dilakukannya pengembangan ini, diharapkan nilai efisiensi dari sistem turbin gas dapat meningkat.

1.4. BATASAN PENELITIAN

Pada penelitian ini, masalah akan dibatasi pada:

- a. Tidak terjadi kebocoran Fluida yang mengalir dalam pipa sehingga volume dianggap konstan.
- b. Analisa faktor gesek (*friction*) terhadap penurunan tekanan (*pressure drop*) menggunakan program *SolidWorks* 2011 dengan menggunakan data yang diperoleh dari hasil pengujian.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang menggambarkan langkah-langkah penulis untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menentukan topik penelitian
2. Studi literatur.
3. Mengumpulkan data-data pendukung awal penelitian
4. Melaksanakan tahap pengumpulan data
5. Perhitungan performa pada objek penelitian dengan batasan masalah yang telah ditentukan.
6. Menganalisa hasil perhitungan.
7. Membuat kesimpulan

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Secara umum pembahasan penelitian ini terdiri dari beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut:

- BAB 1 merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, permasalahan, tujuan penelitian, batasan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.
- BAB 2 merupakan landasan teori dari tinjauan pustaka yang berhubungan dengan penelitian ini. Landasan teori yang dibahas meliputi aliran dalam pipa, aliran fluida, *computational fluid dynamics*.
- BAB 3 berisi tentang metode penelitian yaitu dimulai dari pengumpulan data dan dilanjutkan dengan pengolahan data.
- BAB 4 berisi tentang pembahasan terhadap hasil pengumpulan dan pengolahan data penelitian. Pembahasan dilakukan terhadap hasil pengolahan data menggunakan metode empiris dan menggunakan simulasi melalui program *solidworks* 2011.
- BAB 5 merupakan kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang dilakukan. Disertakan pula dengan saran berdasarkan hasil analisa data, perbaikan dan saran untuk penelitian berikutnya.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1. ALIRAN DALAM PIPA

Istilah pipa didefinisikan sebagai saluran tertutup, biasanya berpenampang lingkaran. Pipa dapat dibuat dari setiap bahan yang sesuai seperti baja atau plastik. Sebuah aliran multifasa mengandung setidaknya dua fasa aliran yang berbeda, seperti cair dan padat, gas dan padat, cair dan gas atau dua cairan yang bercampur. Aliran dengan fasa tunggal mengandung cairan atau gas tanpa padatan di dalamnya, atau tanpa bercampur cairan atau gas lainnya. Aliran air, minyak, gas, udara, dan lain-lain semuanya merupakan contoh dari aliran fasa tunggal. Air yang dipenuhi dengan partikel sedimen atau gelembung udara adalah aliran dua fasa. Jika aliran air mengandung gelembung udara dan sedimen, maka bisa disebut sebagai aliran tiga fasa [1].

2.1.1 ALIRAN FLUIDA

Setiap fluida yang mengalir dalam sebuah pipa harus memasuki pipa pada suatu lokasi. Daerah aliran di dekat lokasi fluida memasuki pipa disebut sebagai daerah masuk (*entrance region*). Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.1 dibawah, fluida biasanya memasuki pipa dengan profil kecepatan yang hampir seragam pada bagian (1). Di saat fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkan tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa slip). Hal ini berlaku jika fluidanya adalah udara yang relatif *inviscid* ataupun minyak yang sangat viskos. Jadi, sebuah lapisan batas (*boundary layer*) dimana efek viskos menjadi penting yang muncul di sepanjang dinding pipa, hingga profil kecepatan awal berubah menurut jarak sepanjang pipa (x) sampai fluida mencapai ujung akhir dari panjang daerah masuk dimana setelah di luar profil kecepatannya tidak berubah lagi menurut x [2].

Aliran fluida dapat dikategorikan :

1. Aliran Laminar

Aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan

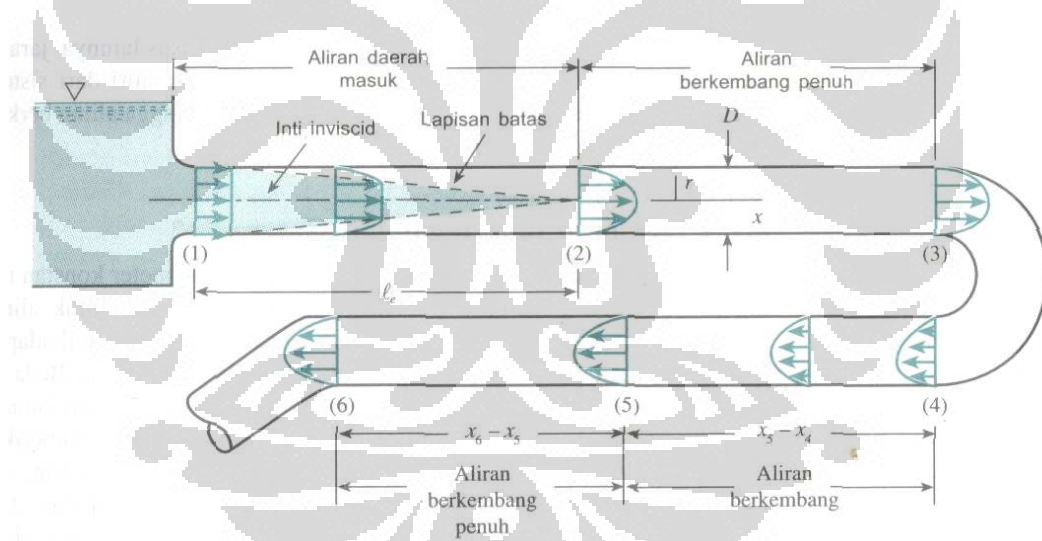
relatif antara lapisan. Sehingga aliran laminar memenuhi hukum viskositas Newton

2. Aliran Turbulen

Aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

3. Aliran transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen.



Gambar 2.1 Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh di dalam pipa [2].

Perhitungan profil kecepatan dan distribusi tekanan di dalam daerah masuk sangat rumit. Namun, apabila fluida telah mencapai ujung akhir dari daerah masuk, aliran lebih mudah digambarkan karena kecepatan hanyalah fungsi jarak dari sumbu pipa (r) dan tidak tergantung pada x . Hal ini berlaku hingga sifat dari fluida berubah karena sesuatu hal, misalnya perubahan diameter, atau sampai fluida mengalir melalui sebuah belokan, katup, atau komponen lainnya pada

bagian (3). Aliran antara (2) dan (3) disebut aliran berkembang penuh (*fully developed*). Setelah gangguan atas aliran berkembang penuh, aliran secara bertahap mulai kembali ke sifat berkembang penuhnya dan terus dengan profil hingga komponen pipa berikutnya tercapai [bagian (6)]. Dalam banyak kasus pipa cukup panjang sehingga terdapat panjang aliran berkembang penuh yang lebih besar dibandingkan dengan panjang aliran yang sedang berkembang.

2.1.2 BILANGAN REYNOLDS

Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran itu dinamakan laminar, transisi atau turbulen.

$$Re = \frac{UD}{\nu} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

U : Kecepatan (rata-rata) fluida yang mengalir (m/s)

D : Diameter dalam pipa (m)

ν : Viskositas kinematik (m^2/s)

Ditinjau dari kecepatan aliran, menurut (Mr. Reynolds) diasumsikakn/dikategorikan laminar bila aliran tersebut mempunyai bilangan Re kurang dari 2300. Untuk aliran transisi berada pada bilangan Re 2300 dan 4000 yang biasa disebut bilangan Reynolds kritis, sedangkan aliran turbulen mempunyai bilangan Re lebih dari 4000 [3].

2.1.3 VISKOSITAS

Viskositas fluida merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, kohesi dan laju perpindahan momentum molekularnya. Viskositas zat cair cenderung menurun dengan seiring bertambahnya kenaikan temperatur hal ini disebabkan gaya-gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya temperatur pada zat cair yang menyebabkan turunnya viskositas dari zat cair tersebut.

2.1.4 RAPAT JENIS (*DENSITY*)

Density atau rapat jenis (ρ) suatu zat adalah ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dalam massa persatuan volume, sifat ini ditentukan dengan cara menghitung rasio massa zat yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut. Hubungannya dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

m : massa fluida (kg)

V : volume fluida (m^3)

Nilai density dapat dipengaruhi oleh temperatur semakin tinggi temperatur maka kerapatan suatu fluida semakin berkurang karena disebabkan gaya kohesi dari molekul-molekul fluida semakin berkurang.

2.1.5 DEBIT ALIRAN

Debit aliran dipergunakan untuk menghitung kecepatan aliran pada masing-masing pipa eksperimen

$$Q = U \cdot A \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Q : Debit aliran (m^3/s)

U : Kecepatan aliran (m/s)

A : Luas Penampang (m^2)

2.1.6 KOEFISIEN GESEK

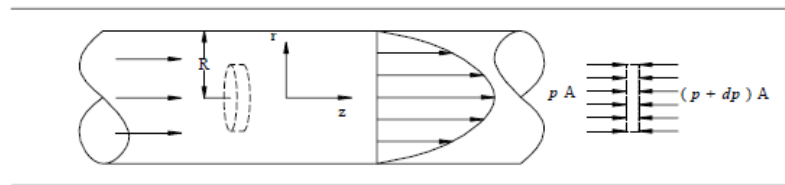
Koefisien gesek dipengaruhi oleh kecepatan, karena distribusi kecepatan pada aliran laminar dan aliran turbulen berbeda, maka koefisien gesek berbeda pula untuk masing-masing jenis aliran.

Pada aliran laminar dalam pipa tertutup (*closed conduits*) mempunyai distribusi vektor kecepatan seperti pada gambar (2.2). Pada aliran laminar vektor kecepatan yang berlaku adalah kecepatan dalam arah z saja. Sehingga analisa gaya Z adalah

$$pA + \tau dA_p - (p + dp)A = 0$$

Dengan memasukkan nilai $A = \pi r^2$, maka didapat

$$\tau(2\pi dz) - \pi r^2 dp = 0 \dots\dots\dots (2.4)$$



Gambar 2.2 Distribusi tegangan aliran laminar dalam pipa bulat [2]

$$\mu \frac{du}{dr} = \frac{r}{2} \left(\frac{dp}{dz} \right)$$

Dengan mengintegalkan persamaan tersebut didapat

$$u = \frac{r^2}{4\mu} \left(\frac{dp}{dz} \right) + c_1 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan memasukkan kondisi batas $u = 0$ dan $r = R$ maka

$$c_1 = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dp}{dz} \right)$$

Dan

$$u = \frac{r^2}{4\mu} \left(\frac{dp}{dz} \right) - \frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dp}{dz} \right) = \frac{1}{4\mu} \left(\frac{dp}{dz} \right) (r^2 - R^2) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dari persamaan kontinuitas didapat

$$Q = \int_A V \cdot dA = \int_0^R u 2\pi r dr = \int_0^R \frac{1}{4\mu} \left(\frac{dp}{dz} \right) (r^2 - R^2) 2\pi r dr$$

$$Q = -\frac{\pi R^4}{8\mu} \left(\frac{dp}{dz} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

Didalam aliran berkembang penuh gradien tekanan (dp/dz) konstan, oleh karena itu $(p_2 - p_1)/L = -\Delta p/L$. Dengan substitusi kedalam persamaan maka debit

$$Q = -\frac{\pi R^4}{8\mu} \left(\frac{-\Delta p}{L} \right) = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8\mu L} = \frac{\pi D^4 \Delta p}{128\mu L} \dots\dots\dots (2.8)$$

Persamaan Darcy-Weisbach

$$\Delta h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan substitusi maka didapat

$$f = \frac{64}{VD\rho/\mu} = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan (2.10) dikenal dengan persamaan Hagen Poiseulle dan berlaku untuk aliran laminar. Pada aliran turbulen persamaan koefisien gesek yang didapat berasal dari persamaan empiris Blassius

$$f = 0,316 Re^{-0,25} \dots\dots\dots (2.11)$$

Persamaan diatas merupakan pendekatan fungsi gesekan terhadap fungsi kekasaran permukaan pipa dan fungsi bilangan Reynolds yang biasa dinyatakan dalam bentuk diagram Moody. Koefisien gesek yang umum digunakan dalam analisa adalah penurunan dari persamaan energi dan Hagen – Poiseulle.

$$\Delta p = \Delta p(D, L, e, v, \rho, \mu)$$

Ditinjau dari persamaan energi yaitu,

$$\left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2}v_1^2 + gz_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2}v_2^2 + gz_2 \right) = h_l$$

Karena v_1 dan v_2 adalah sama dan pipa terletak secara horizontal maka nilai $z_1 = z_2$ maka didapat

$$h_l = \frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{\Delta P}{\rho} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana h_l adalah nilai head losses yang terjadi

Pada persamaan Haigen – Poiseulle didapat persamaan debit (Q) sebagai berikut

$$Q = \frac{\Delta P \pi D^4}{128 \mu L} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan memasukkan nilai Q dari persamaan kontinuitas yaitu $Q = A V$ dengan $A = \frac{\pi D^2}{4}$ maka didapat

$$\Delta P = 32 \frac{L \mu V}{D^3} \dots\dots\dots (2.14)$$

Kemudian dilanjutkan dengan mensubtitusikan persamaan (2.12) kedalam persamaan (2.14) sehingga didapat,

$$h_l = \left(64 \frac{\mu}{\rho V D} \right) \frac{L V^2}{2D} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana nilai $f = 64 \frac{\mu}{\rho V D}$ merupakan fungsi koefisien gesek sehingga

$$\lambda = f = \Delta h \frac{2 \cdot g \cdot D}{V^2 L} \dots\dots\dots (2.16)$$

2.2 COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah suatu analisa sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan kalor dan fenomena-fenomena yang terkait di dalamnya seperti rekasi kimia yang dilakukan dengan simulasi berbasis komputer. (Versteg). Dengan menggunakan CFD, hasil penelitian mengenai aliran fluida dan perpindahan kalor tidak perlu dilakukan pengujian secara aktual, melainkan dapat terlebih dahulu membuat model untuk selanjutnya dilakukan simulasi. Beberapa keuntungan menggunakan CFD antara lain: [4]

- a. Mereduksi waktu dan biaya pada sebuah perancangan.
- b. Dapat dilakukan penelitian terhadap sistem yang dalam keadaan nyata sulit untuk dilakukan.
- c. Dapat dilakukan penelitian terhadap sistem yang dalam keadaan nyata terlalu berbahaya untuk dilakukan.

Berdasarkan sedikit penjabaran di atas mengenai CFD, maka CFD dapat digunakan untuk menganalisa pola aliran fluida (udara), temperatur, tekanan, dll.

Elemen-Elemen Utama Pada CFD :

Untuk dapat melakukan analisa seperti yang telah dijelaskan di atas, metode CFD memiliki 3 elemen utama, yaitu:

- a. Pre-Processor

Elemen ini terdiri dari pendefinisian geometri benda kerja yang akan di analisa, input data awal, seperti fluida kerja, massa jenis, kecepatan, dll. Melalui data ini, komputer akan menganalisa basis kerja CFD, yaitu volume kendali dengan membangun mesh.

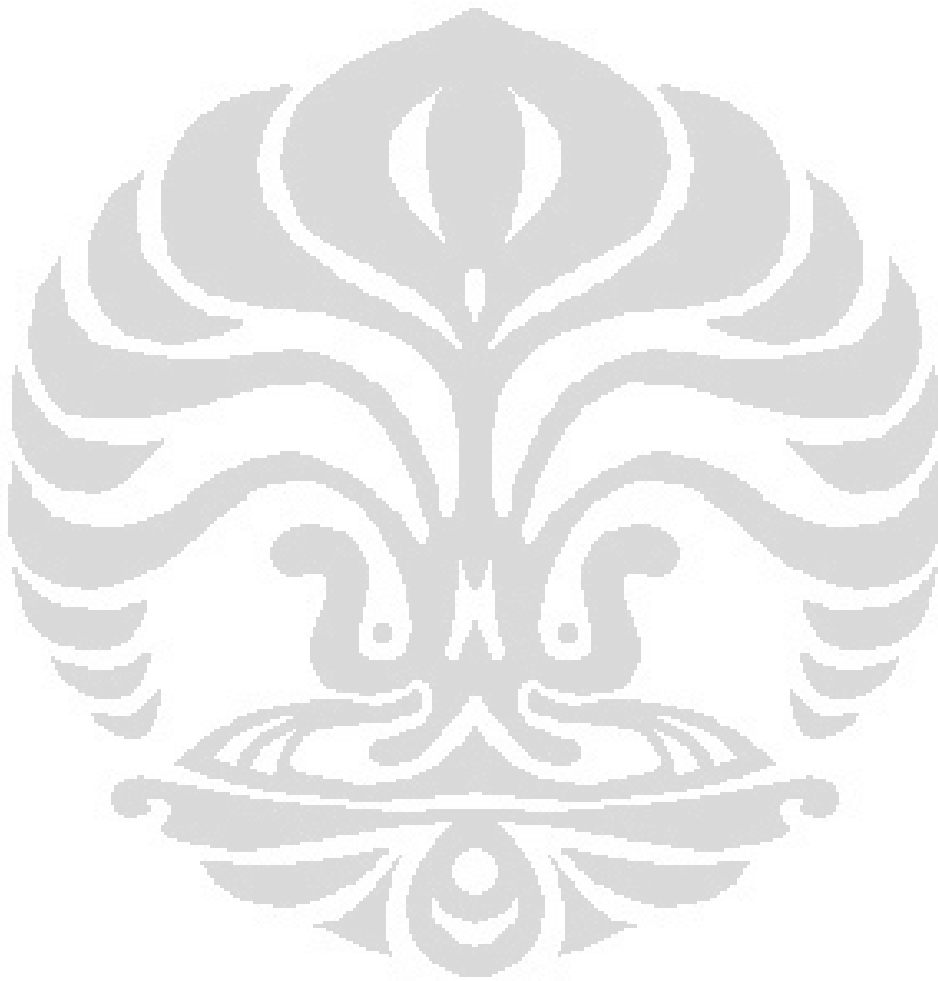
- b. Solver

Pada tahap ini, komputer akan melakukan perhitungan terhadap data-data input yang telah diberikan Solver dilakukan dengan proses Iterasi sampai hasil

perhitungan berbentuk konvergen. Tahap ini juga sering disebut sebagai proses running.

c. Post-Processor

Tahap ini merupakan hasil perhitungan. Ini antara lain dapat ditunjukkan sebagai plot grafik, gambar potongan, trajektori aliran, dll. Selanjutnya, analisa dapat dilakukan pada hasil untuk mengetahui fenomena-fenomena yang terjadi pada objek kerja.



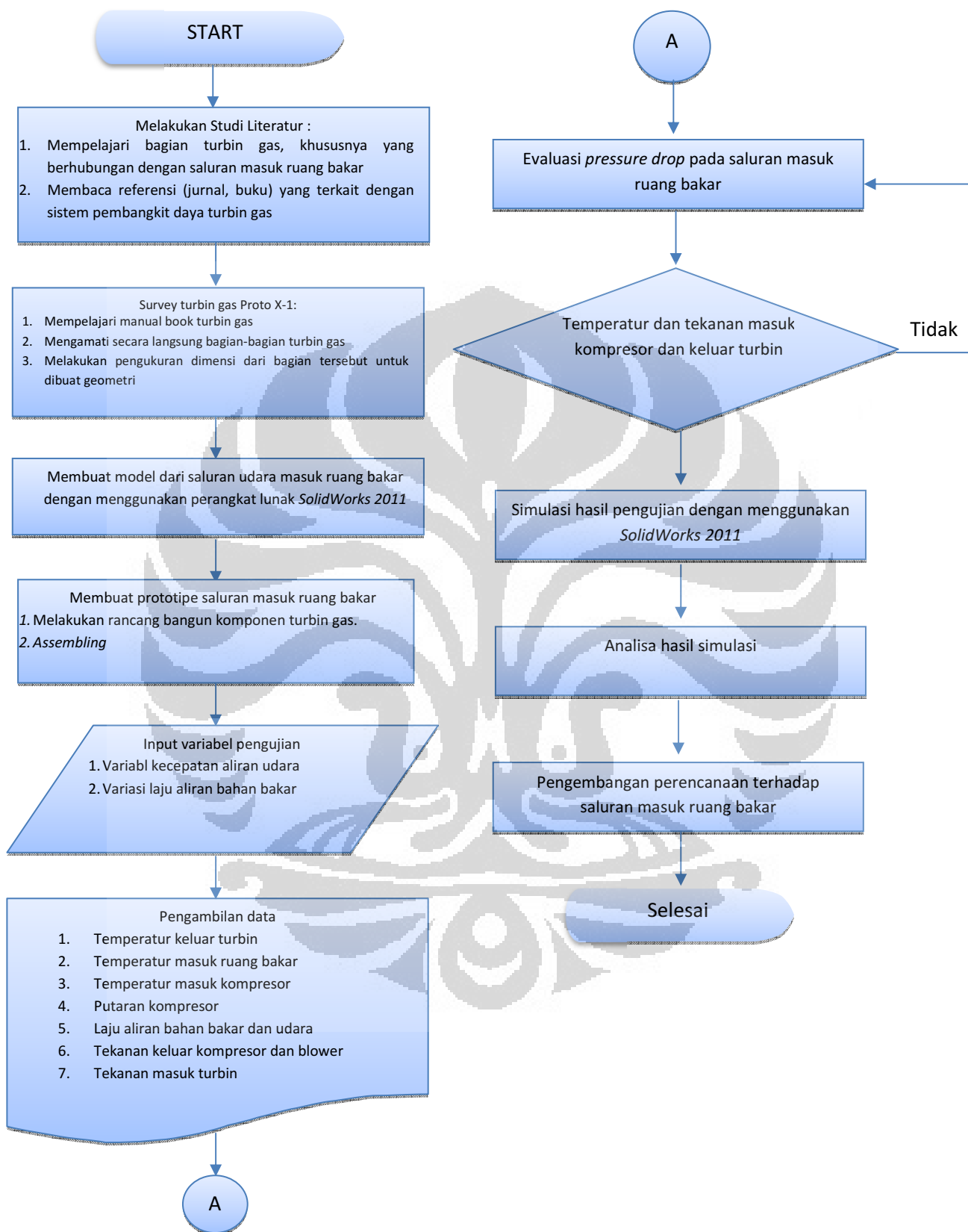
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Karakteristik tekanan pada saluran masuk *micro turbin gas PROTO X-1* dapat diketahui dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Pengaplikasian metode CFD digunakan antara lain karena kemampuannya untuk memperoleh parameter-parameter pengujian tanpa melakukan pengujian secara aktual.



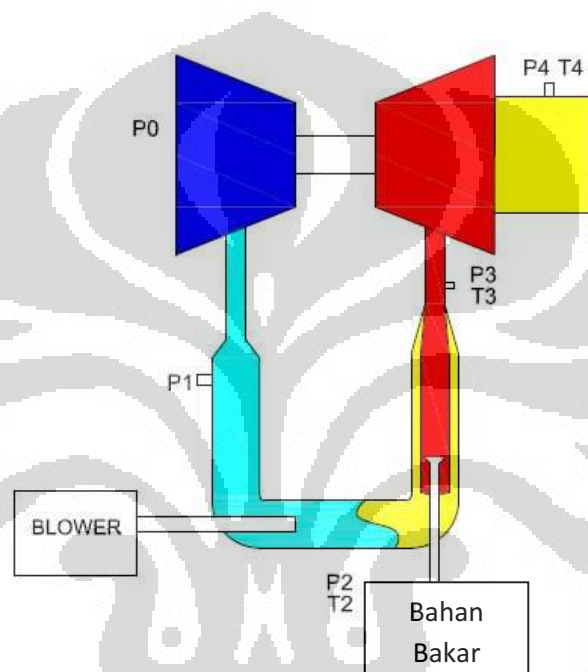
Gambar 3.1 *micro turbin gas PROTO X-1*



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.1. SKEMATIK PENGUJIAN

Pengujian dilakukan dengan menggunakan turbin gas mikro PROTO X-1, dan dilakukan pengambilan data-data yang sesuai dengan kondisi operasi yang selanjutnya digunakan sebagai data input untuk melakukan simulasi menggunakan *SolidWorks 2011*



Gambar 3.3 Diagram Pengujian

3.2. PERSIAPAN PENGUJIAN

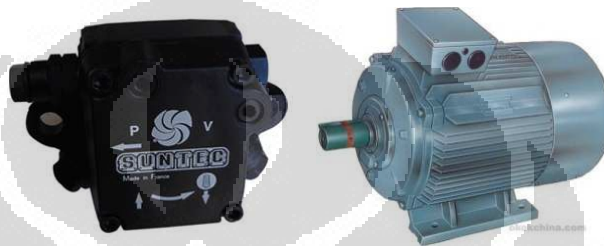
Pengujian dilakukan dengan menggunakan turbin gas mikro PROTO X-1, yang terdiri dari satu buah kompresor sentrifugal satu tingkat, satu buah turbin radial satu tingkat, dan ruang bakar, dimana kompresor dan turbin berada pada satu poros.

Pada penelitian ini digunakan pipa dan elbow 3", yang nantinya akan diamati besarnya *pressure drop* yang terjadi.

3.2.1 Alat-Alat Pengujian

Alat-alat yang diperlukan pada penelitian pada sistem turbin gas ini antara lain:

- a. Prototype PROTO X-1
- b. *Turbocharger*
- c. Sistem pendinginan *turbocharger*



Gambar 3.4 Pompa Oli dan Motor Listrik [6]

- d. *Pressure Gauge*
- e. *Thermocouple*
- f. Software

Pada pengujian, software yang dibutuhkan yaitu Solidworks 2011 yang digunakan untuk membuat model geometri dari saluran masuk kedalam ruang bakar, yang dilanjutkan dengan analisa melalui fitur CFD (*flow simulation*)

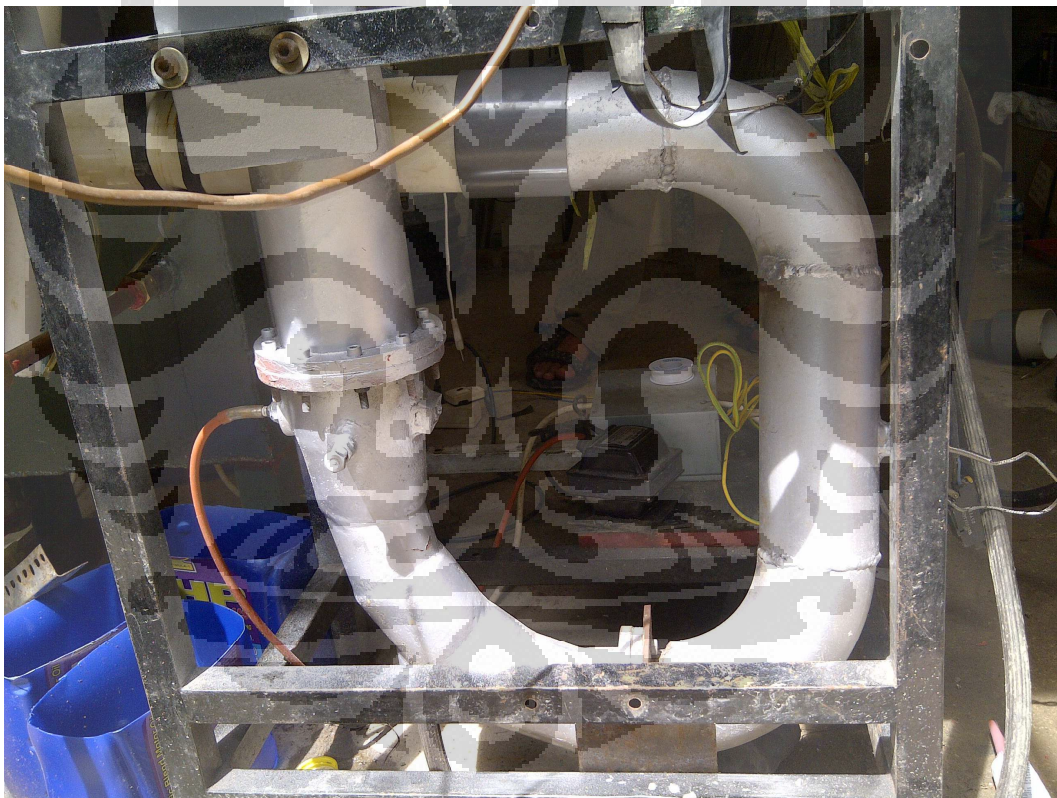
3.2.2 Pengambilan data kecepatan pada anulus

- a. Pipa yang di analisa.

Pada bagian pipa ini dianalisa karena terjadi efek tekanan balik yang disebabkan laju aliran udara *blower* bertemu dengan laju aliran *compressor*.



Gambar 3.5 Pengujian *Pressure drop*

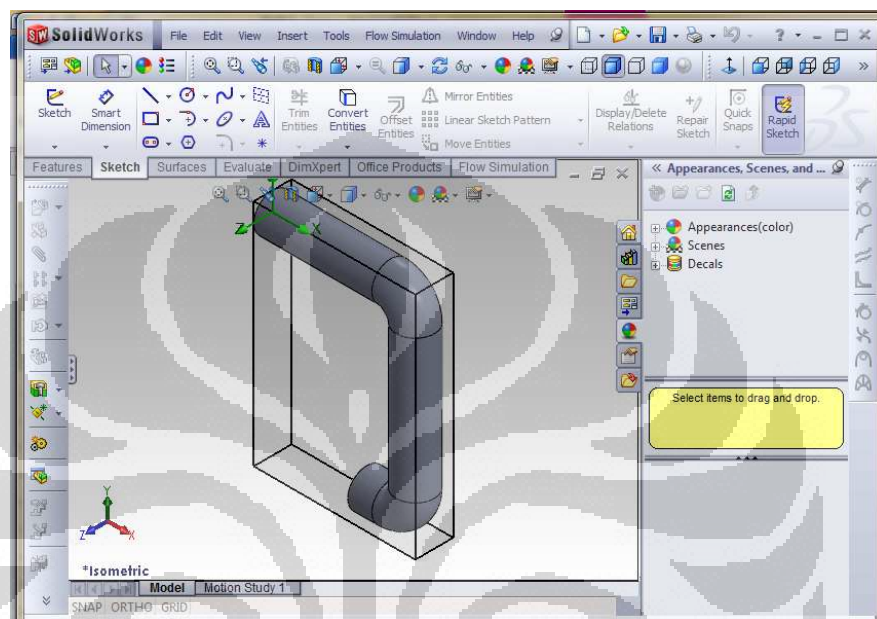


Gambar 3.6 Detail saluran masuk ruang bakar

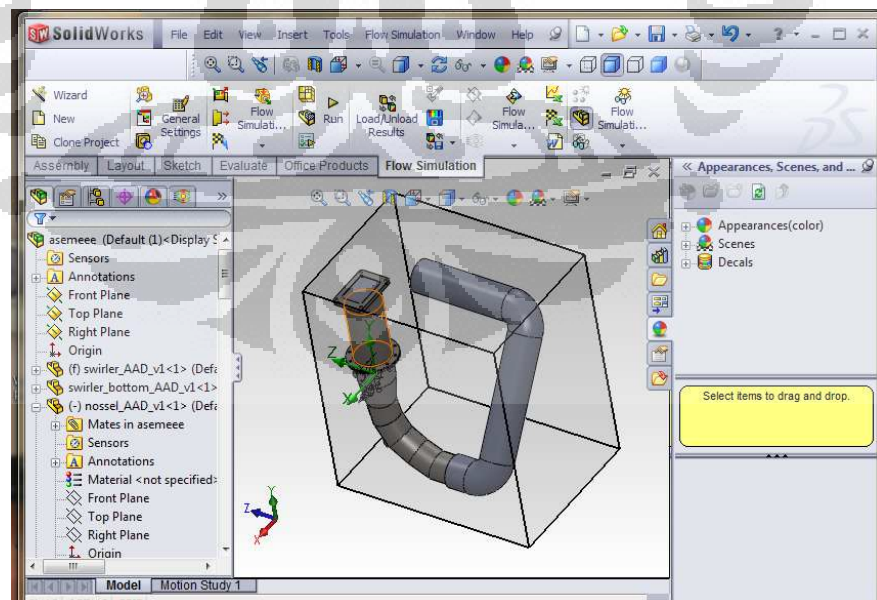
3.2.3 Computational Fluid Dynamics

Proses simulasi dari pembentukan geometri yang terdiri dari enam langkah yaitu :

- a. Membuat model pipa elbow 90⁰ dan saluran masuk ruang bakar



Gambar 3.7 Model aliran pipa elbow 90⁰

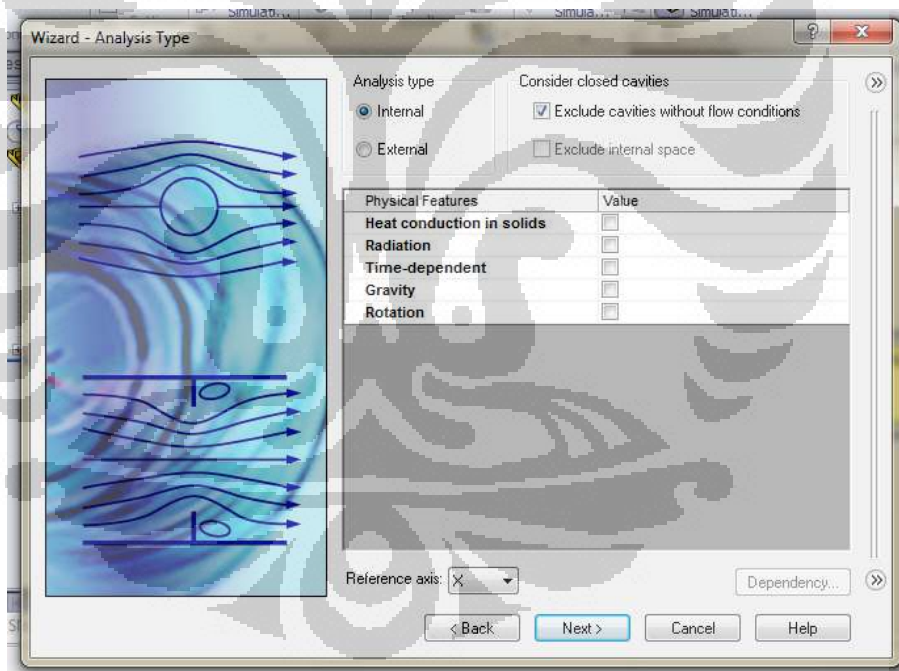


Gambar 3.8 Model saluran masuk kedalam ruang bakar

b. Menentukan kondisi fisik model

Hal yang perlu dilakukan selanjutnya adalah penentuan kondisi fisik dari model yaitu penentuan model penyelesaian, fluida yang digunakan dalam pengujian.

Penentuan model penyelesaian dibagi menjadi dua yaitu model penyelesaian analisis tipe *internal flow* dan *External flow* dan dalam hal ini analisis *internal flow* merupakan pilihan yang tepat dalam menganalisa aliran dalam saluran masuk ruang bakar. Dibawah ini adalah tampilan *dialog box* untuk memilih jenis analisis untuk menentukan model penyelesaian.

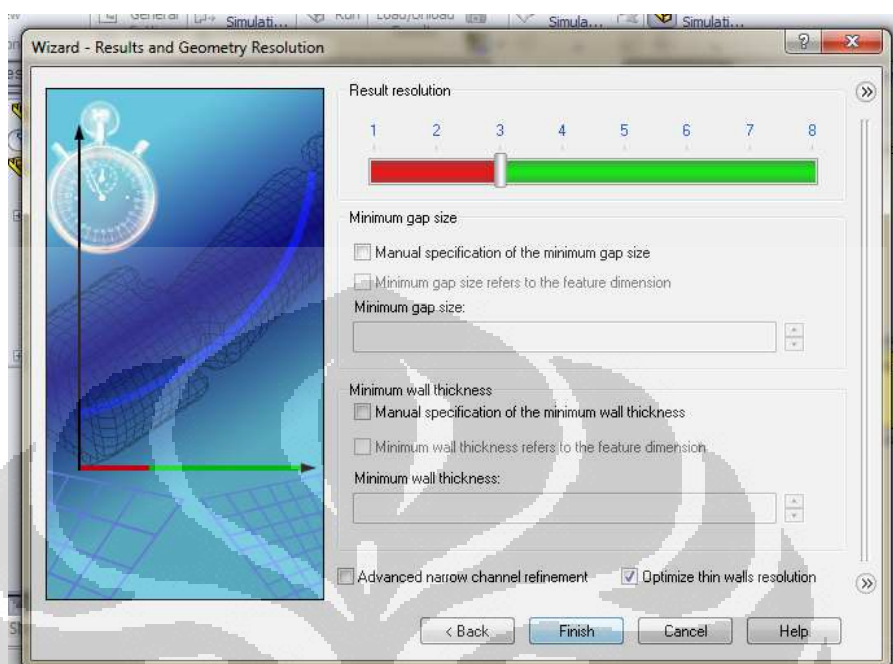


Gambar 3.9 *dialog box* untuk memilih jenis analisis

c. Membuat mesh

Meshing merupakan proses dimana geometri secara keseluruhan dibagi-bagi dalam elemen-elemen kecil yang nantinya berperan sebagai kontrol *surface* atau volume data perhitungan. Hal ini terjadi berulang-ulang hingga

domain terpenuhi. Dalam meshing elemen-elemen yang akan dipilih disesuaikan dengan kebutuhan dan bentuk *geometri*.



Gambar 3.10 *dialog box* untuk menentukan mesh

d. Menentukan boundary condition

Boundary condition merupakan definisi dari zona-zona yang telah terdefinisi sebelumnya pada *Result and Geometry Resolution*.

Boundary condition adalah tempat masuk dan keluarnya udara dari sistem perpipaan yang terdiri dari *pressure*, *mass flow*, *volume flow* dan *velocity*.

Kondisi batasan yang digunakan adalah :

Diameter luar pipa : 89 mm

Diameter dalam pipa : 76,2 mm

Sudut : 90^0

Kecepatan rata-rata varian 1 : 5,7301355 m/s

Density udara : $1,13 \text{ kg/m}^3$

Temperatur : 40⁰C

- e. Menentukan parameter penyelesaian dan menjalankan simulasi
- f. Menampilkan hasil simulasi

Metode CFD digunakan untuk menganalisa laju alir maupun aliran dari massa, tekanan, dan temperatur. Melalui analisa berbasis CFD, karakteristik yang sekiranya dapat menjadi *goal* antara lain:

- a. Pola tekanan udara pada saluran udara kedalam ruang bakar
- b. Pola kecepatan aliran yang terjadi pada saluran udara kedalam ruang bakar.

3.3. KONDISI OPERASI

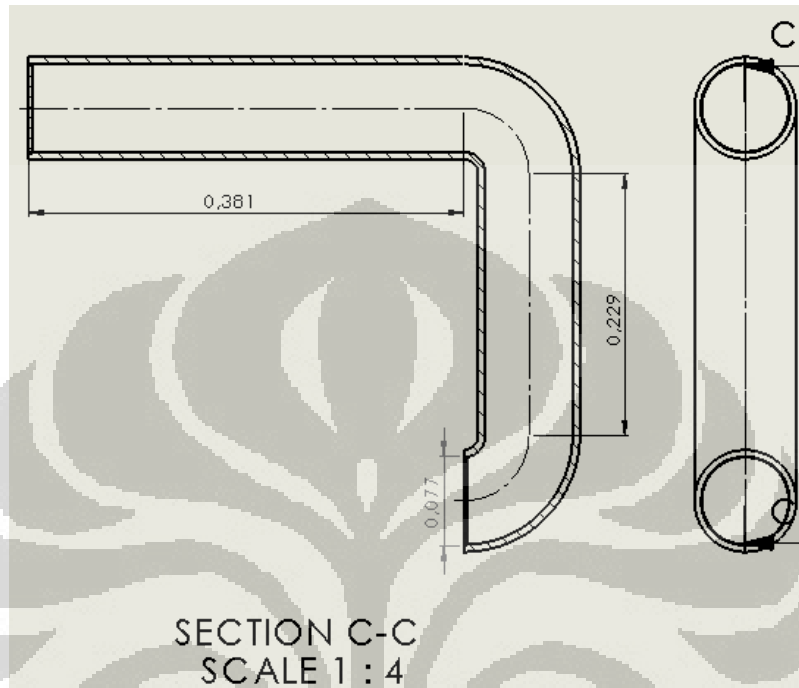
Data-data pada kondisi operasi yang digunakan sebagai data input pada pemodelan CFD antara lain: [7]

- Temperatur keluaran turbin
- Temperatur gas buang
- Temperatur masuk ruang bakar
- Rasio tekanan kompresor
- Temperatur masuk kompresor
- Laju alir bahan bakar dan udara

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 DIMENSI PIPA DAN DATA HASIL PENGUKURAN



Gambar 4.1 Profil dari pipa tanpa *guide vanes* (dimensi dalam meter)

Diameter luar pipa	: 89 mm
Diameter dalam pipa	: 76,2 mm
R_i	: 16,4 mm
R_o	: 92,6 mm
Panjang pipa vertikal atas (L_1)	: 381 mm
Panjang pipa horizontal (L_2)	: 229 mm
ρ_{udara}	: 1,13 kg/m ³
<i>Pressure statis inlet (output anulus)</i>	: 103325 Pa
Temperatur	: 40 ⁰ C = 313,15 ⁰ K
Kecepatan rata-rata varian 1	: 5,7301355 m/s
Viskositas kinematik udara	: 0,0000166 m ² /s
<i>Roughness</i> (ϵ)	: 0,0006

K_{elbow} : 0,497 (Table 6-5. Pressure loss in curved pipes and bend-Applied fluid dynamics handbooks)

Tabel 4.1 Data pengujian saluran udara masuk *micro turbin gas* PROTO X-1

Q fuel(L/min)	N (rpm)	h (m)	T (^o C)	Q (m ³ /min)
14	7743	0,225	25	6,44326041
12	7562	0,156	25	4,46732722
10	6791	0,056	25	1,60365592
0	2821	0,014	25	0,40091398

4.2 ANALISA DATA

Pressure drop pada saluran masuk turbin dengan cara empiris dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan *pressure drop* yang terjadi pada saluran masuk turbin, analisa dilakukan pada pipa elbow 90⁰ dan saluran pipa lainnya sebelum masuk turbin. Selain itu analisa empiris dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan *pressure drop* yang dilakukan dengan cara empiris dan dengan menggunakan simulasi *Solidworks*

4.2.1 Analisa *pressure drop* pada saluran masuk turbin dengan cara empiris

Jumlah *guide vane* yang digunakan pada elbow

$$\frac{R_i + R_o}{2D} = \frac{16,4 \text{ mm} + 92,6 \text{ mm}}{2.76,2 \text{ mm}} = 0,715$$

Jumlah *guide vane* optimum dari Table 6-5. *Pressure loss in curved pipes and bends-Applied fluid dynamics handbook* adalah 2

Radius *vanes* 1 :

$$(R_i^2 \cdot R_o)^{\frac{1}{3}} = ((16,4 \text{ mm})^2 \cdot 92,6 \text{ mm})^{\frac{1}{3}} = 29,214 \text{ mm}$$

$$\frac{R_v - R_i}{D} = \frac{29,214 \text{ mm} - 16,4 \text{ mm}}{76,2 \text{ mm}} = 0,168159$$

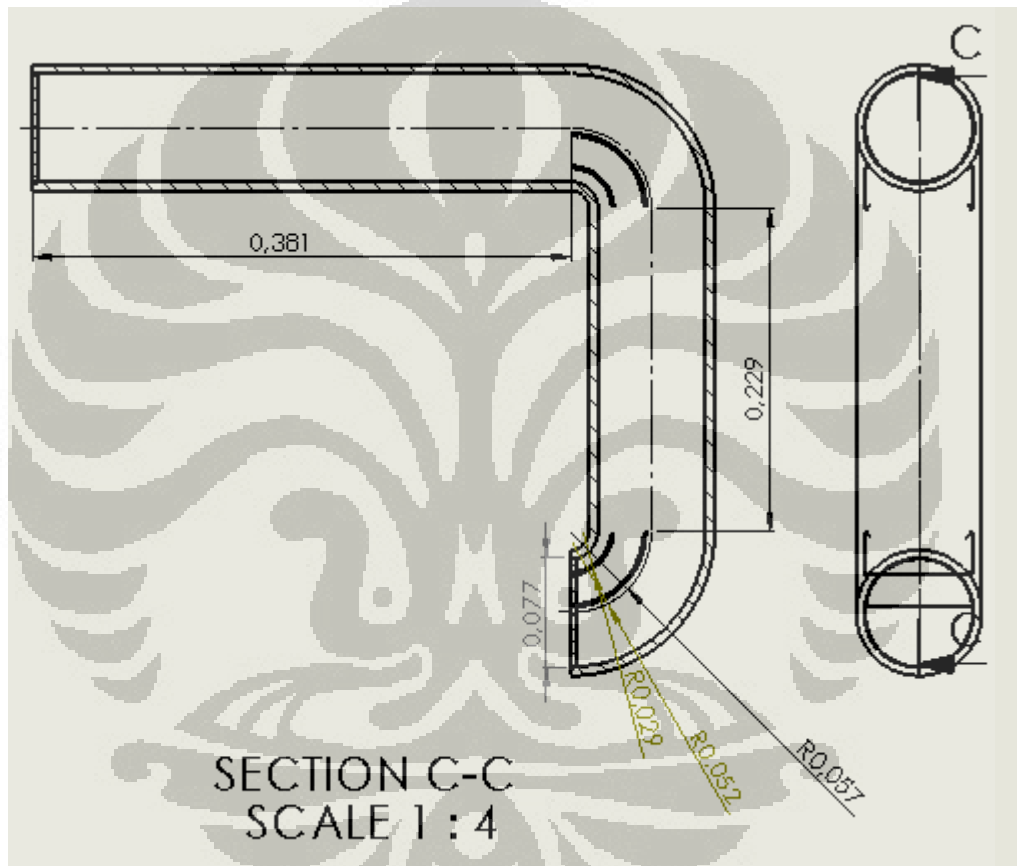
Interpolasi nilai K dari *Table 6-5. Pressure loss in curved pipes and bends- Applied fluid dynamics handbook* diperoleh nilai $K_{v1} = 0,271849$

Radius *vanes* 2 :

$$(R_i \cdot R_o^2)^{\frac{1}{3}} = (16,4 \text{ mm} \cdot (92,6 \text{ mm})^2)^{\frac{1}{3}} = 52,018 \text{ mm}$$

$$\frac{R_v - R_i}{D} = \frac{52,018 \text{ mm} - 16,4 \text{ mm}}{76,2 \text{ mm}} = 0,467423$$

Interpolasi nilai K dari *Table 6-5. Pressure loss in curved pipes and bends- Applied fluid dynamics handbook* diperoleh nilai $K_{v1} = 0,264379$



Gambar 4.2 Profil dari pipa dengan *guide vanes* (dimensi dalam meter)

Untuk mengetahui besarnya *pressure drop* saluran udara sebelum masuk ke dalam ruang bakar, terlebih dahulu dilakukan analisa dengan memberikan asumsi bahwa tekanan keluar pipa adalah tekanan atmosfer, *loss coefficient* total pipa adalah jumlah masing-masing *loss* pada pipa, sehingga:

$$K_T = 1 + 2K_{\text{elbow}} + K_{v1} + K_{v2} - 1 + \frac{fL_T}{D}$$

Nilai 1 dan -1 mewakili *coefficient* dari tekanan ideal yang berubah sepanjang saluran masuk dan saluran keluar, L_T merupakan panjang total dari dari segmen pipa yang lurus, sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} L_T &= L_1 + L_2 \\ &= 381 \text{ mm} + 229 \text{ mm} \\ &= 610 \text{ mm} = 0,61 \text{ m} \end{aligned}$$

$$R_e = U \cdot D / \nu = (5,7301355 \text{ m/s} \cdot 0,0762 \text{ m}) / 0,0000166 \text{ m}^2/\text{s} = 26303,39$$

Aliran turbulen, $R_e > 4000$

Dari diagram moody diperoleh nilai $f = 0,0255$

$$\begin{aligned} K_T &= 1 + (2,0,497) + 0,271849 + 0,264379 - 1 + \frac{0,0255 \cdot 0,61 \text{ m}}{0,0762 \text{ m}} \\ &= 0,74036 \end{aligned}$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho U^2 K_T$$

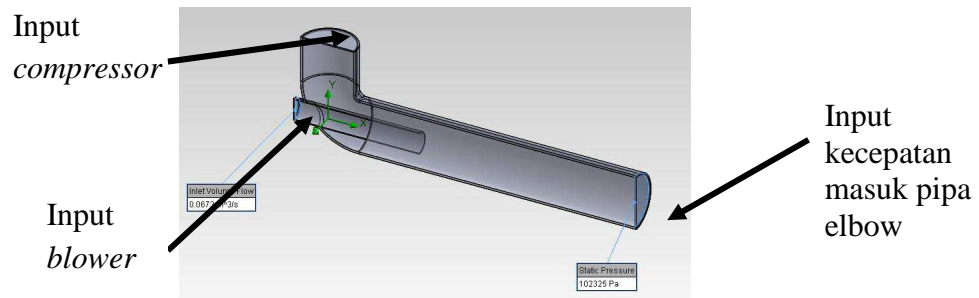
$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{1}{2} \cdot 1,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(5,7301355 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 0,74036 \\ &= 13,73 \text{ Pa} \end{aligned}$$

4.2.2 Analisa *pressure drop* pada saluran masuk turbin dengan menggunakan *solidworks*

Penentuan kondisi batas sangat diperlukan dalam analisa CFD karena sebagai dasar input data yang akan dianalisa. Kondisi batas disesuaikan dengan data hasil pengujian alat, dan output kecepatan rata-rata dari hasil simulasi *anulus*:

Berdasarkan data pengujian maka, didapat boundry condition sebagai input data pada simulasi CFD, untuk menganalisa aliran dalam pipa pada mini plant gas turbine PROTO X-1.

Simulasi dilakukan berdasarkan varian data yang didapat dengan mengambil sampel data 3 varian untuk menggambarkan kebutuhan suplai udara pembakaran pada turbin gas PROTO X-1.



Gambar 4.3 Pemodelan 3D anulus

a. Varian 1

Varian 1 yaitu proses awal penyalaan mesin tanpa melakukan pembakaran dengan suplai udara melalui blower, *compressor* masuk kedalam system suplai udara.

Tabel 4.2 Varian 1

Laju aliran volume <i>blower</i>	0.023 (m³/s)
Laju aliran volume <i>compressor</i>	0.0066 (m³/s)
Output kecepatan rata-rata	5,7301355(m/s)

b. Varian 3

Varian 3 diambil sebagai sampel simulasi karena suplai udara dari *compressor* pada system telah meningkat akibat proses pembakaran.

Tabel 4.3 Varian 3

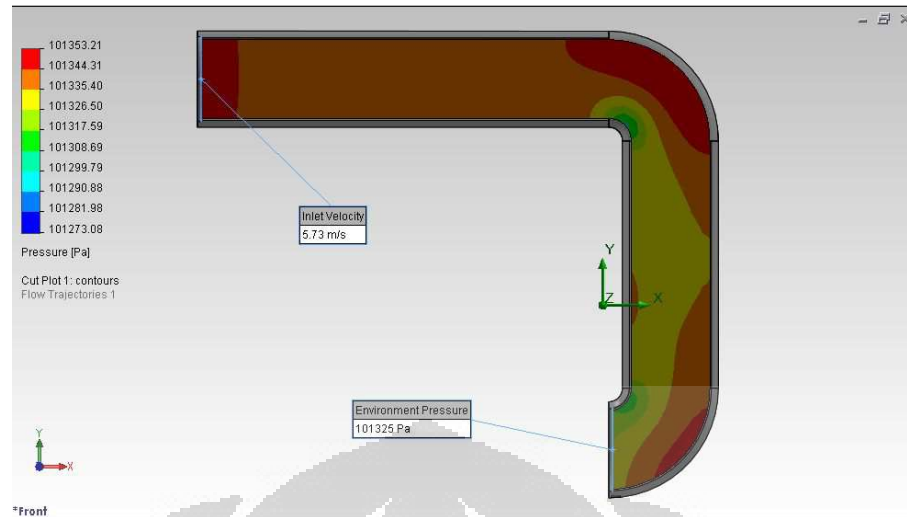
Laju aliran volume <i>blower</i>	0.023 (m³/s)
Laju aliran volume <i>compressor</i>	0.013 (m³/s)
Output kecepatan rata-rata	6,78141389 (m/s)

c. Varian 5

Varian 5 diambil sebagai sampel simulasi karena merupakan data maksimum yang stabil dapat diambil pada saat pengujian *mini power plant*.

Tabel 4.4 Varian 5

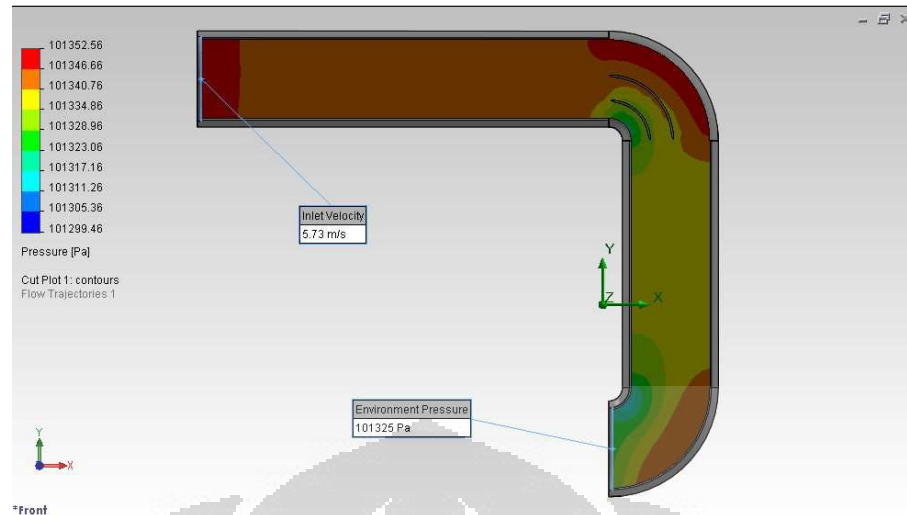
Laju aliran volume <i>blower</i>	0.023 (m³/s)
Laju aliran volume <i>compressor</i>	0.018 (m³/s)
Output kecepatan rata-rata	7,719689(m/s)



Gambar 4.4 Simulasi tekanan tanpa *guide vanes* pada kecepatan aliran 5,73 m/s

Tabel 4.5 Hasil simulasi *solidworks*

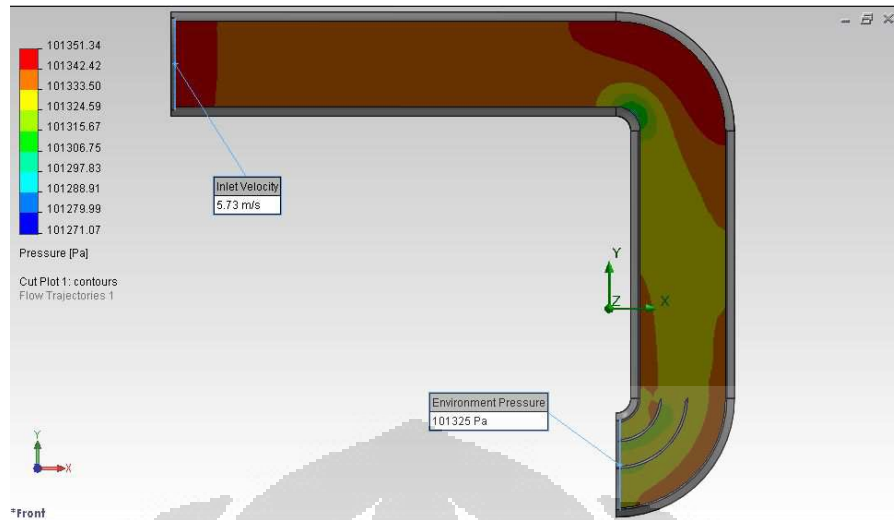
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101364,35	101364,0977	101363,7589	101364,8261
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101351,1215	101350,9741	101350,8255	101351,2311
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101351,1215	101350,9741	101350,8255	101351,2311
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101364,35	101364,0977	101363,7589	101364,8261
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	26,11906393	25,97166232	25,82312312	26,22863914
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	19,76435084	19,76436579	19,76434828	19,7643852
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	5,73	5,73	5,73	5,73
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	6,524466531	6,507316235	6,487089346	6,551216921
Pressure drop Static	[Pa]	13,22851603	13,1235708	12,88497032	13,59503421
Pressure drop total	[Pa]	13,22851603	13,1235708	12,88497032	13,59503421



Gambar 4.5 Simulasi tekanan dengan *guide vanes elbow* atas pada kecepatan aliran 5,73 m/s

Tabel 4.6 Hasil simulasi *solidworks*

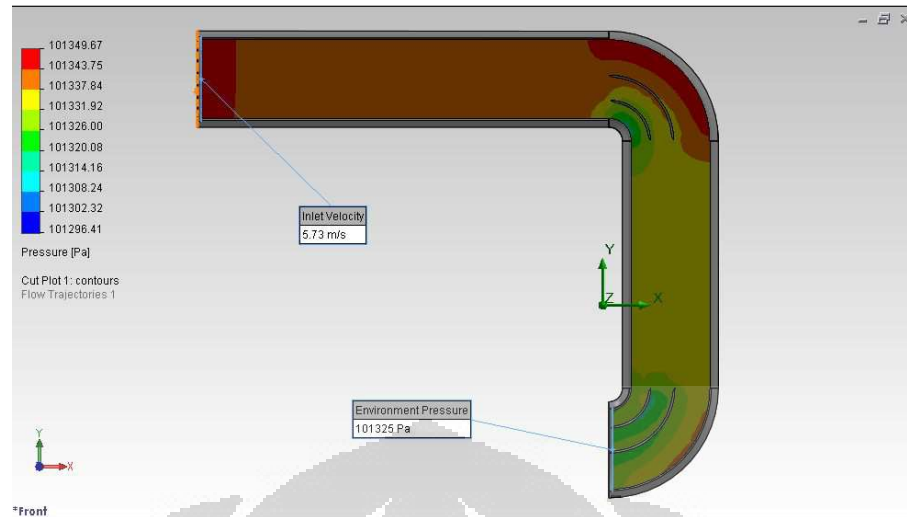
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101366,7027	101366,922	101366,689	101367,7155
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101352,0267	101352,0309	101351,9349	101352,209
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101352,0267	101352,0309	101351,9349	101352,209
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101366,7027	101366,922	101366,689	101367,7155
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	27,02411146	27,02832157	26,93231394	27,20639962
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	19,76468284	19,76454398	19,76432468	19,76468284
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	5,73	5,73	5,73	5,73
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	6,597193072	6,599802179	6,587089422	6,624416913
Pressure drop Static	[Pa]	14,67599375	14,89106406	14,61396691	15,50647555
Pressure drop total	[Pa]	14,67599375	14,89106406	14,61396691	15,50647555



Gambar 4.6 Simulasi tekanan dengan *guide vanes elbow* bawah pada kecepatan aliran 5,73 m/s

Tabel 4.7 Hasil simulasi *solidworks*

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101362,4986	101363,1619	101362,4486	101364,6782
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101349,3419	101349,3957	101349,3419	101349,4441
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101349,3419	101349,3957	101349,3419	101349,4441
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101362,4986	101363,1619	101362,4486	101364,6782
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	24,33970486	24,39354161	24,33970486	24,44191186
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	19,76404075	19,76400637	19,7638791	19,7640444
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	5,73	5,73	5,73	5,73
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	6,287795212	6,296223449	6,287795212	6,301644719
Pressure drop Static	[Pa]	13,15667109	13,76617492	13,09705781	15,30835185
Pressure drop total	[Pa]	13,15667109	13,76617492	13,09705781	15,30835185



Gambar 4.7 Simulasi tekanan dengan *guide vanes* elbow atas dan bawah pada kecepatan aliran 5,73 m/s

Tabel 4.8 Hasil simulasi *solidworks*

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101363,7792	101364,0839	101363,7668	101364,9908
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101349,2968	101349,2861	101349,2581	101349,2978
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101349,2968	101349,2861	101349,2581	101349,2978
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101363,7792	101364,0839	101363,7668	101364,9908
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	24,29467543	24,28389715	24,25591841	24,29566464
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	19,76415121	19,76403163	19,76383432	19,76415121
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	5,73	5,73	5,73	5,73
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	6,288127445	6,287514145	6,283661164	6,289332609
Pressure drop Static	[Pa]	14,48237569	14,79789264	14,46893156	15,73277093
Pressure drop total	[Pa]	14,48237569	14,79789264	14,46893156	15,73277093

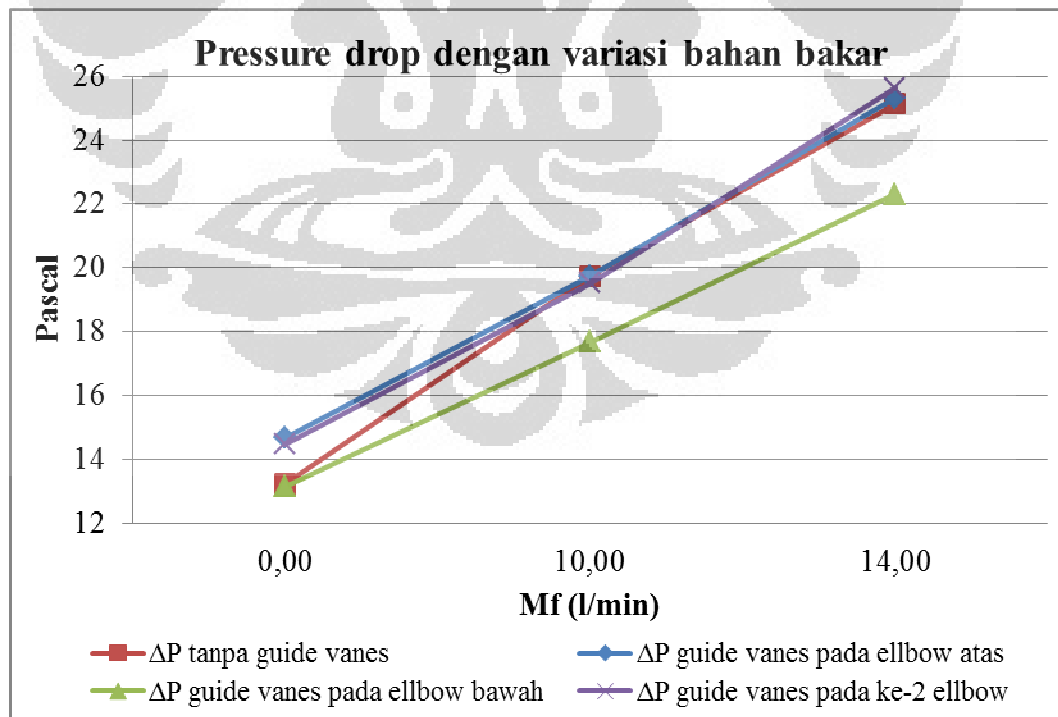
Besarnya *pressure drop* untuk saluran tanpa *guide vanes* dari hasil simulasi adalah 13,15667109 Pa dengan menggunakan *level of initial mesh 5*, sedangkan dari hasil empiris diperoleh besarnya *pressure drop* 13,73 Pa.

Dari hasil simulasi diperoleh *pressure drop* pada tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.9 Hasil perbandingan *pressure drop* saluran udara masuk *micro turbin gas* PROTO X-1 tanpa *guide vane* dengan variasi kecepatan aliran.

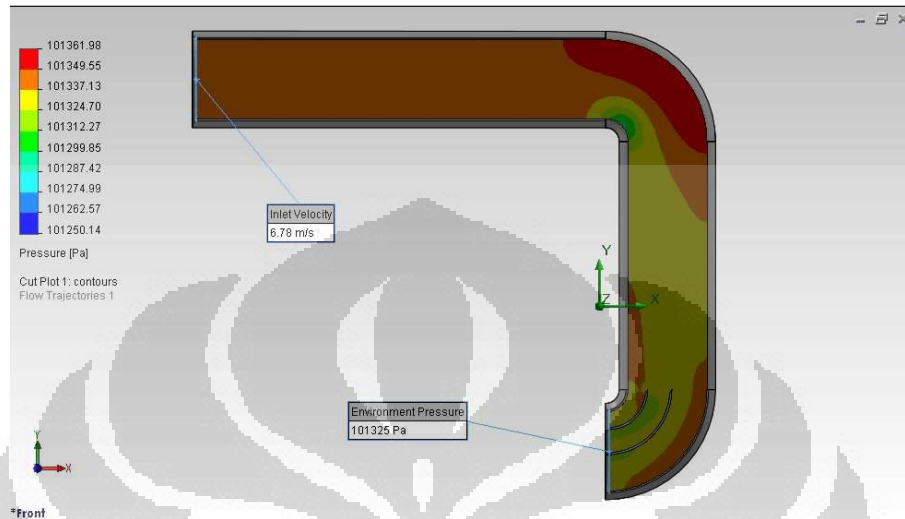
Var	Mf (L/m)	v (m/s)	N (rpm)	ΔP tanpa <i>guide vanes</i> (Pa)	ΔP <i>guide vanes</i> pada elbow atas (Pa)	ΔP <i>guide vanes</i> pada elbow bawah (Pa)	ΔP <i>guide vanes</i> pada ke-2 elbow (Pa)
1	0	5.7	2821	13,23	14,68	13,16	14,48
3	10	6.7	6791	19,75	19,74	17,69	19,52
5	14	7.7	7743	25,14	25,31	22,30	25,64

Dari tabel diatas, terdapat kecenderungan *pressure drop* meningkat seiring dengan semakin bertambahnya kecepatan aliran.



Gambar 4.8 Grafik *pressure drop* dengan variasi bahan bakar

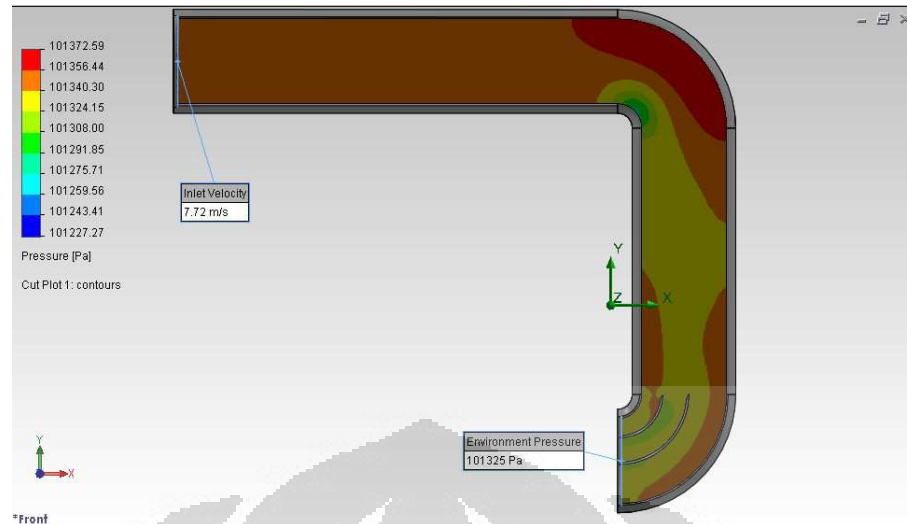
Grafik diatas disimulasikan dengan saluran udara keluar langsung menuju kelengkungan, hal ini dilakukan untuk mengetahui sampai sejauh mana *pressure drop* yang terjadi pada pipa. Dari grafik terlihat bahwa *pressure drop* terkecil dengan menggunakan *guide vanes* pada bagian bawah elbow



Gambar 4.9 Distribusi tekanan dengan aliran udara 6,78 m/s

Tabel 4.10 Hasil simulasi *solidworks*

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101376,9043	101378,7729	101376,8297	101381,9802
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101359,2144	101359,2948	101359,2034	101359,355
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101359,2144	101359,2948	101359,2034	101359,355
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101376,9043	101378,7729	101376,8297	101381,9802
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	34,21009818	34,29049816	34,19927481	34,35069764
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	27,67295332	27,67284708	27,67243546	27,67297819
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	6,78	6,78	6,78	6,78
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	7,455990311	7,467715283	7,455990311	7,475682865
Pressure drop Static	[Pa]	17,68991285	19,47819166	17,59742368	22,77681719
Pressure drop total	[Pa]	17,68991285	19,47819166	17,59742368	22,77681719



Gambar 4.10 Distribusi tekanan dengan aliran udara 7,719689(m/s)

Tabel 4.11 Hasil simulasi *solidworks*

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101391,6504	101394,1292	101391,6504	101398,4331
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101369,3455	101369,4447	101369,3269	101369,5156
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101369,3455	101369,4447	101369,3269	101369,5156
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101391,6504	101394,1292	101391,6504	101398,4331
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	44,33828367	44,43754478	44,31989585	44,50853465
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	35,8806371	35,88048001	35,87983605	35,88067646
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	7,72	7,72	7,72	7,72
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	8,48939816	8,501660136	8,48939816	8,51040788
Pressure drop Static	[Pa]	22,30491149	24,68450226	22,30491149	29,10627925
Pressure drop total	[Pa]	22,30491149	24,68450226	22,30491149	29,10627925

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pengumpulan, pengolahan dan simulasi *micro turbin gas* PROTO-X1 dengan menggunakan *solidworks* diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

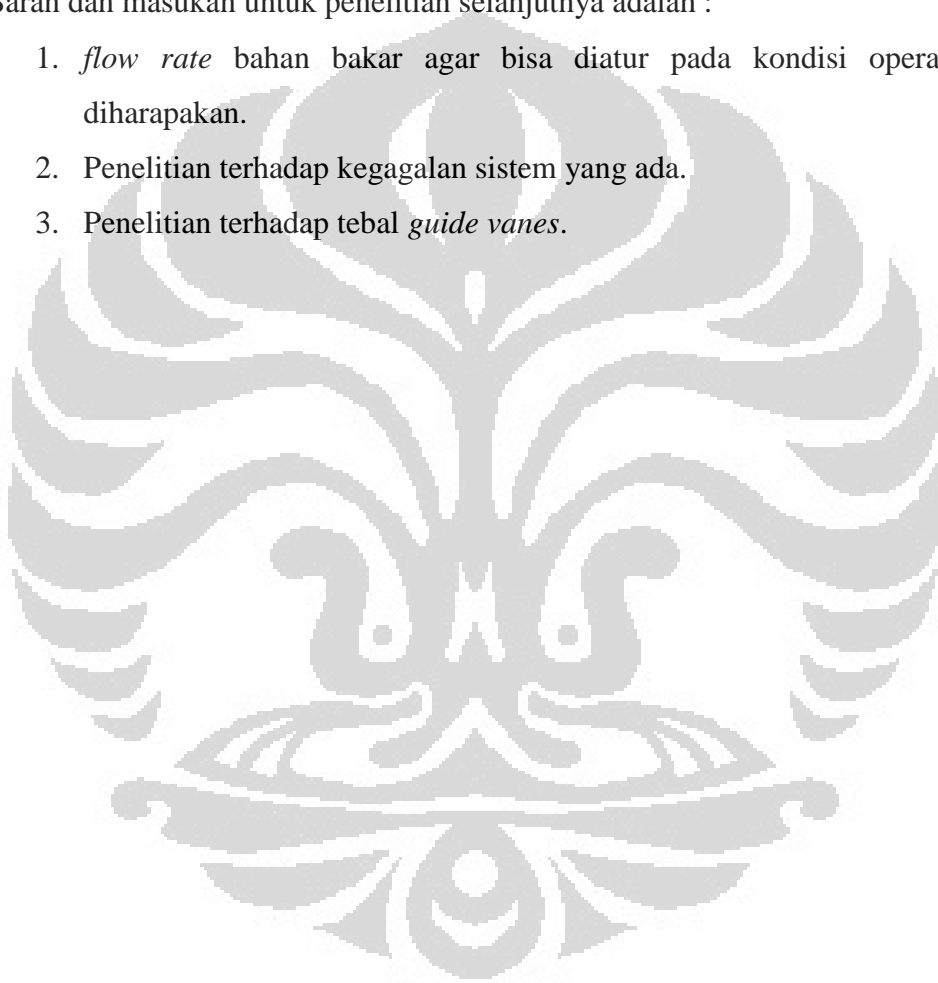
1. Besarnya *pressure drop* berkurang dengan adanya penambahan *guide vanes* pada *ellbow* bagian bawah sebesar 0,54 % pada kecepatan aliran 5,73 m/s, 10,42% pada kecepatan aliran 6,78 m/s, dan sebesar 11,29% pada kecepatan aliran 7,72 m/s
2. Besarnya *pressure drop* meningkat dengan adanya penambahan *guide vanes* pada *ellbow* bagian atas sebesar 10,38 % pada kecepatan aliran 5,73 m/s, berkurang 0,05% pada kecepatan aliran 6,78 m/s, dan meningkat sebesar 0,67% pada kecepatan aliran 7,72 m/s
3. Besarnya *pressure drop* meningkat dengan adanya penambahan *guide vanes* pada *ellbow* bagian atas dan bawah sebesar 8,63 % pada kecepatan aliran 5,73 m/s, berkurang 1,18% pada kecepatan aliran 6,78 m/s, dan meningkat sebesar 1,95% pada kecepatan aliran 7,72 m/s.
4. *Pressure drop* pada *ellbow* diakibatkan karena perbedaan distribusi energi antara daerah *inner* dan *outer*, yang didukung oleh kontur *ellbow 90⁰* sehingga memungkinkan udara bergerak dari sisi *outer* menuju *inner wall*.
5. Dari hasil simulasi diperoleh besarnya *pressure drop* dengan kecepatan aliran 5,73 m/s pada saluran masuk ruang bakar dengan *guide vanes* pada bagian bawah *ellbow* sebesar 13,15667109 Pa sedangkan dengan menggunakan metode empiris adalah 13,73 Pa. Prosentase perbedaan antara perhitungan melalui simulasi dengan metode empiris sebesar 4,18%

5.2 SARAN

Dari hasil pengolahan data, analisa dan kesimpulan yang dilakukan kemudian penulis memberikan saran dan masukan. Dimana perlu dilakukan analisa terhadap *pressure drop* yang terjadi pada ruang bakar sehingga performa dan efisiensi turbin dapat ditingkatkan lagi dan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisa dari berbagai aspek yang berkaitan dengan *micro gas turbin* PROTO X-1 untuk mencapai tujuan akhir penelitian yang lebih kompleks.

Saran dan masukan untuk penelitian selanjutnya adalah :

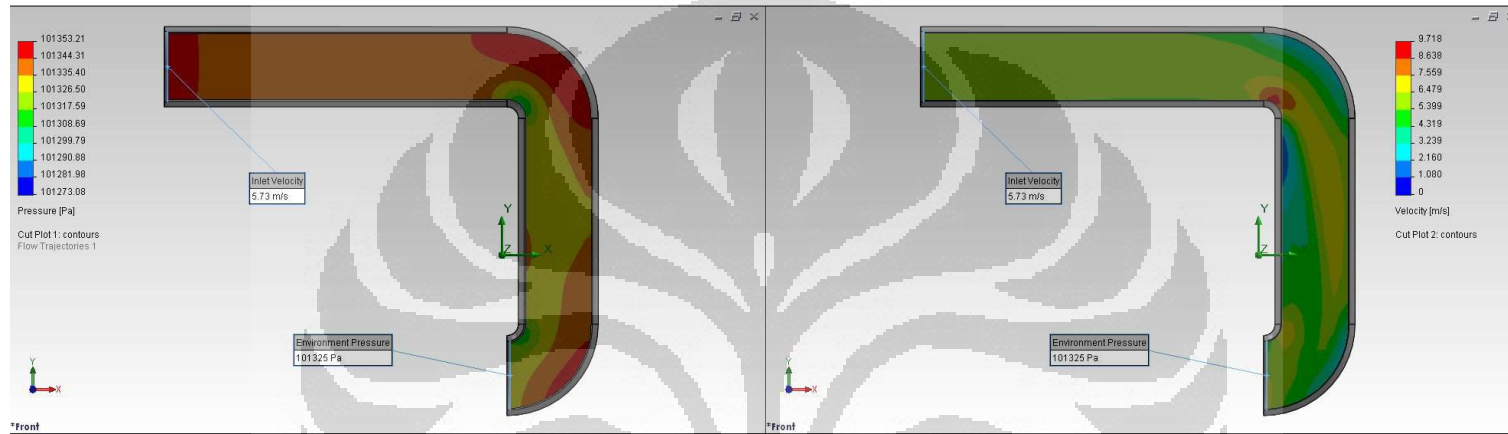
1. *flow rate* bahan bakar agar bisa diatur pada kondisi operasi yang diharapkan.
2. Penelitian terhadap kegagalan sistem yang ada.
3. Penelitian terhadap tebal *guide vanes*.



DAFTAR PUSTAKA

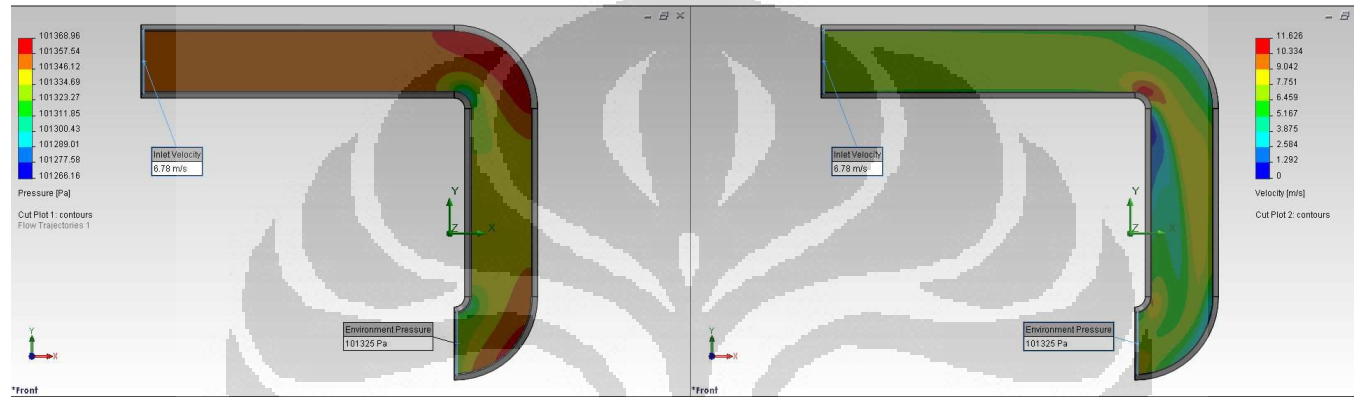
- [1] Liu, Henry. (2005). *Pipeline Engineering*. New York Washington DC : Lewis Publisher.
- [2] Bruce R. Munson, Donald F. Yong, Theodore H. Okiishi. (2003). *Mekanika Fluida edisi keempat jilid 2*. Jakarta : PT. Gelora Aksara Pratama
- [3] Blevins, Robert D. *Applied fluid dynamics handbook*. USA : Van Nostrand Reinhold Company.
- [4] Robert G. Sargent. *Verification and Validation of Simulation Models*. Proceeding of the 1998 Winter Simulation Conference. 1998.
- [5] World Alliance for Decentralized Energy (WADE). **More for Less: How Decentralised Energy Can Deliver Cleaner, Cheaper and More Efficient Energy in Nigeria**. Agustus 2009
- [6] <http://www.suntec.fr/>
- [7] Jong Joon Lee, jae Eun Yoon, Tong Seop Kim, Jeong L. Sohm. **Performance Test and Component Characteristic Evaluation of a Micro Gas Turbine**. Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 21, No. 1, pp. 141-152. 2007

Lampiran 1.1 Pressure drop saluran tanpa guide vanes pada kecepatan varian 1



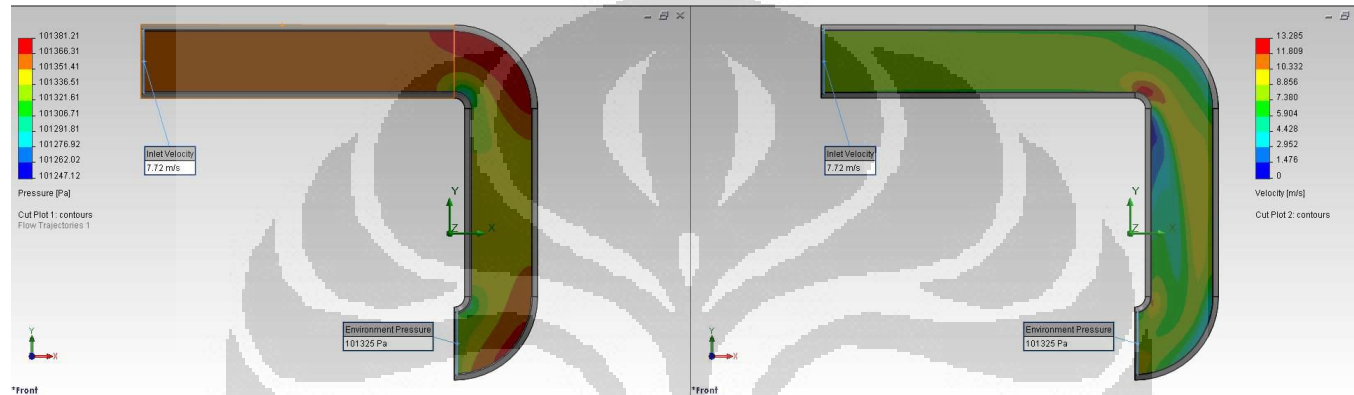
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101364,35	101364,0977	101363,7589	101364,8261	100	Yes	1,067237904	1,26708534
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101351,1215	101350,9741	101350,8255	101351,2311	100	Yes	0,405560986	0,735707254
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101351,1215	101350,9741	101350,8255	101351,2311	100	Yes	0,405560986	0,735707254
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101364,35	101364,0977	101363,7589	101364,8261	100	Yes	1,067237904	1,26708534
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	26,11906393	25,97166232	25,82312312	26,22863914	100	Yes	0,405516023	0,735687514
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	19,76435084	19,76436579	19,76434828	19,7643852	100	Yes	3,69248E-05	0,000371063
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	5,73	5,73	5,73	5,73	100	Yes	0	5,73E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	6,524466531	6,507316235	6,487089346	6,551216921	100	Yes	0,064127575	0,110937694
Pressure drop Static	[Pa]	13,22851603	13,1235708	12,88497032	13,59503421	100	Yes	0,71006389	0,83760882
Pressure drop total	[Pa]	13,22851603	13,1235708	12,88497032	13,59503421	100	Yes	0,71006389	0,83760882

Lampiran 1.2 Pressure drop saluran tanpa guide vanes pada kecepatan varian 3



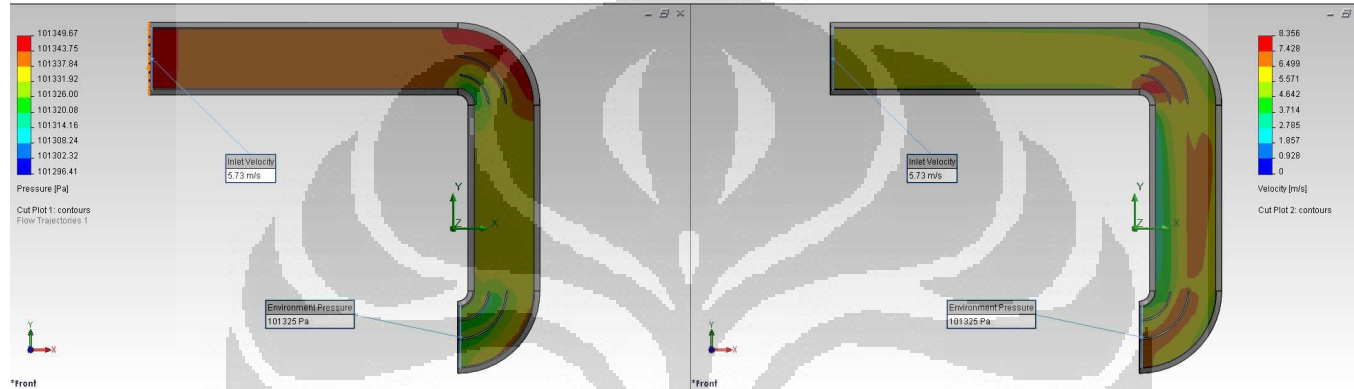
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101383,0758	101382,9027	101382,4346	101383,618	100	Yes	1,183418084	6,023259813
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101363,3281	101363,1943	101362,9895	101363,3813	100	Yes	0,391853761	0,406179211
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101363,3281	101363,1943	101362,9895	101363,3813	100	Yes	0,391853761	0,406179211
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101383,0758	101382,9027	101382,4346	101383,618	100	Yes	1,183418084	6,023259813
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	38,3233196	38,18948967	37,98473544	38,37656136	100	Yes	0,391825917	0,406172522
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	27,67450377	27,67454828	27,6744979	27,67463328	100	Yes	0,000135382	0,000252674
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	6,78	6,78	6,78	6,78	100	Yes	0	6,78E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	7,879905812	7,872320467	7,854185273	7,900084427	100	Yes	0,04055043	0,054127848
Pressure drop Static	[Pa]	19,74763797	19,70843897	19,389443	20,23673441	100	Yes	0,84729141	6,163546999
Pressure drop total	[Pa]	19,74763797	19,70843897	19,389443	20,23673441	100	Yes	0,84729141	6,163546999

Lampiran 1.3 Pressure drop saluran tanpa guide vanes pada kecepatan varian 5



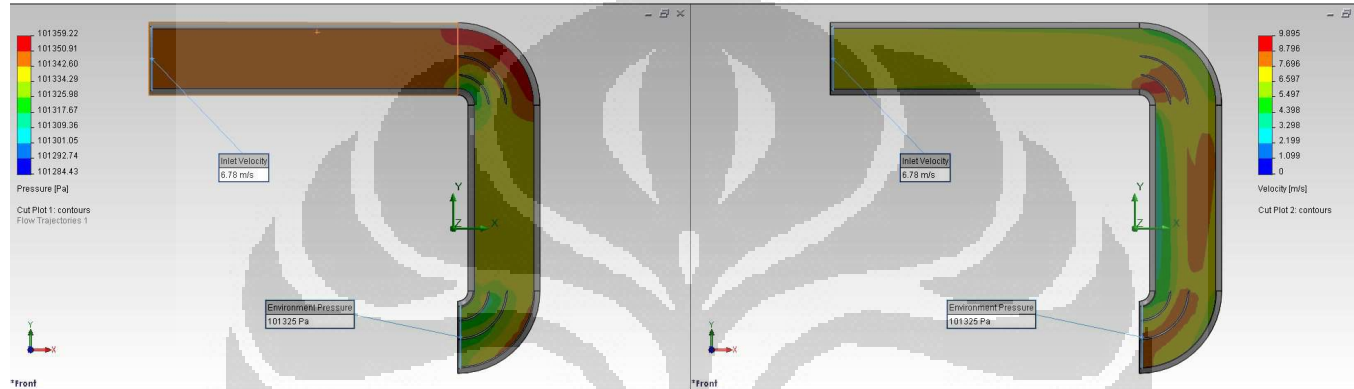
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101399,7531	101400,4585	101399,225	101403,6174	100	Yes	4,392361498	6,162810424
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101374,6092	101374,5499	101374,316	101374,8047	100	Yes	0,488728137	0,52658539
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101374,6092	101374,5499	101374,316	101374,8047	100	Yes	0,488728137	0,52658539
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101399,7531	101400,4585	101399,225	101403,6174	100	Yes	4,392361498	6,162810424
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	49,60116038	49,54193545	49,30804913	49,7967218	100	Yes	0,488672672	0,526574505
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	35,88328906	35,88338146	35,88315046	35,88349336	100	Yes	0,000342893	0,000420862
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	7,72	7,72	7,72	7,72	100	Yes	8,88178E-16	7,72E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	8,966408608	8,970580799	8,946399083	9,001264449	100	Yes	0,051676956	0,061534963
Pressure drop Static	[Pa]	25,14381259	25,90855957	24,86618814	29,04774904	100	Yes	4,181560905	6,181341041
Pressure drop total	[Pa]	25,14381259	25,90855957	24,86618814	29,04774904	100	Yes	4,181560905	6,181341041

Lampiran 2.1 Pressure drop saluran dengan guide vanes pada kedua elbow pada kecepatan varian 1



Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101363,7792	101364,0839	101363,7668	101364,9908	100	Yes	1,224077491	4,567954531
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101349,2968	101349,2861	101349,2581	101349,2978	100	Yes	0,039761874	0,114685841
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101349,2968	101349,2861	101349,2581	101349,2978	100	Yes	0,039761874	0,114685841
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101363,7792	101364,0839	101363,7668	101364,9908	100	Yes	1,224077491	4,567954531
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	24,29467543	24,28389715	24,25591841	24,29566464	100	Yes	0,039746236	0,114511113
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	19,76415121	19,76403163	19,76383432	19,76415121	100	Yes	0,000316892	0,000340897
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	5,73	5,73	5,73	5,73	100	Yes	0	5,73E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	6,288127445	6,287514145	6,283661164	6,289332609	100	Yes	0,005671445	0,023492511
Pressure drop Static	[Pa]	14,48237569	14,79789264	14,46893156	15,73277093	100	Yes	1,263839365	4,472261341
Pressure drop total	[Pa]	14,48237569	14,79789264	14,46893156	15,73277093	100	Yes	1,263839365	4,472261341

Lampiran 2.2 Pressure drop saluran dengan guide vanes pada kedua elbow pada kecepatan varian 3



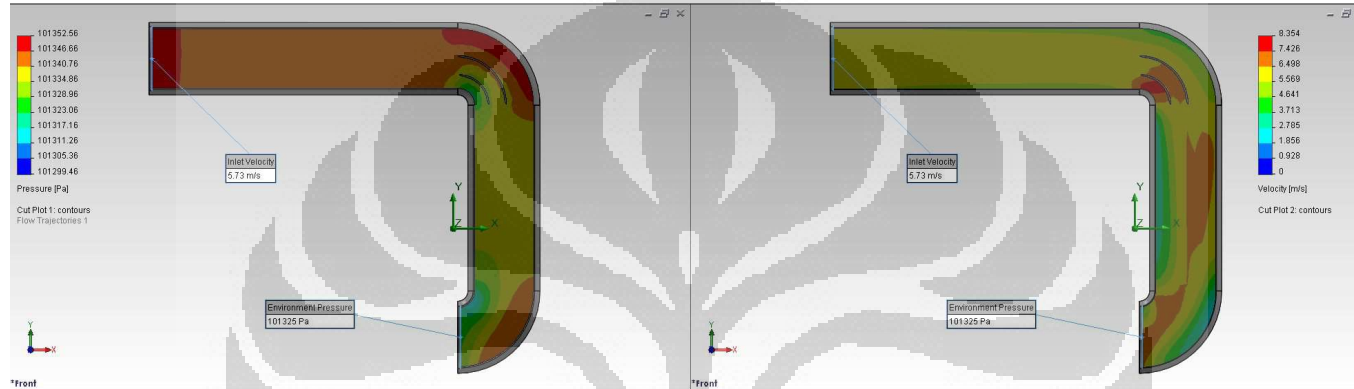
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101378,5254	101379,3321	101378,5254	101381,1998	100	Yes	2,674384251	11,54999805
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101359,0066	101359,0033	101358,9534	101359,0195	100	Yes	0,06610618	0,159301139
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101359,0066	101359,0033	101358,9534	101359,0195	100	Yes	0,06610618	0,159301139
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101378,5254	101379,3321	101378,5254	101381,1998	100	Yes	2,674384251	11,54999805
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	34,00239073	33,99912213	33,94921397	34,01530804	100	Yes	0,066094071	0,158956885
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	27,67309127	27,6728696	27,67245173	27,67309127	100	Yes	0,000639546	0,00066029
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	6,78	6,78	6,78	6,78	100	Yes	0	6,78E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	7,43990103	7,440494475	7,433892061	7,443577063	100	Yes	0,009685002	0,027708989
Pressure drop Static	[Pa]	19,51877256	20,32877519	19,51877256	22,24636404	100	Yes	2,727591477	11,41510176
Pressure drop total	[Pa]	19,51877256	20,32877519	19,51877256	22,24636404	100	Yes	2,727591477	11,41510176

Lampiran 2.3 Pressure drop saluran dengan guide vanes pada kedua elbow pada kecepatan varian 5



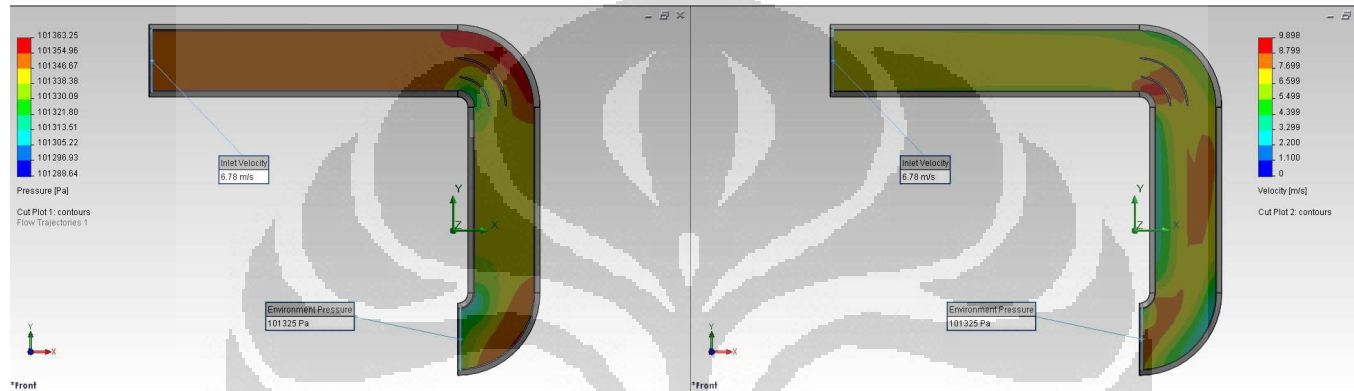
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101394,8584	101395,7918	101394,7735	101398,4434	100	Yes	3,66982124	27,56297824
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101369,2227	101369,2447	101369,1997	101369,2607	100	Yes	0,061020461	0,200789321
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101369,2227	101369,2447	101369,1997	101369,2607	100	Yes	0,061020461	0,200789321
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101394,8584	101395,7918	101394,7735	101398,4434	100	Yes	3,66982124	27,56297824
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	44,21555284	44,2375976	44,1925651	44,25354219	100	Yes	0,060977099	0,200257156
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	35,8811394	35,88077836	35,88006551	35,8811394	100	Yes	0,001073894	0,001120396
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	7,72	7,72	7,72	7,72	100	Yes	0	7,72E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	8,482213959	8,486702426	8,48195895	8,48922944	100	Yes	0,00727049	0,031756248
Pressure drop Static	[Pa]	25,6356761	26,54704494	25,55550977	29,24368011	100	Yes	3,688170341	27,39392522
Pressure drop total	[Pa]	25,6356761	26,54704494	25,55550977	29,24368011	100	Yes	3,688170341	27,39392522

Lampiran 3.1 Pressure drop saluran dengan guide vanes pada elbow atas pada kecepatan varian 1



Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101366,7027	101366,922	101366,689	101367,7155	100	Yes	1,026485104	1,813014431
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101352,0267	101352,0309	101351,9349	101352,209	100	Yes	0,27412866	0,760512046
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101352,0267	101352,0309	101351,9349	101352,209	100	Yes	0,27412866	0,760512046
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101366,7027	101366,922	101366,689	101367,7155	100	Yes	1,026485104	1,813014431
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	27,02411146	27,02832157	26,93231394	27,20639962	100	Yes	0,274085682	0,760484897
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	19,76468284	19,76454398	19,76432468	19,76468284	100	Yes	0,000358159	0,000376297
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	5,73	5,73	5,73	5,73	100	Yes	0	5,73E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	6,597193072	6,599802179	6,587089422	6,624416913	100	Yes	0,037327491	0,113606948
Pressure drop Static	[Pa]	14,67599375	14,89106406	14,61396691	15,50647555	100	Yes	0,892508634	2,442054921
Pressure drop total	[Pa]	14,67599375	14,89106406	14,61396691	15,50647555	100	Yes	0,892508634	2,442054921

Lampiran 3.2 Pressure drop saluran dengan guide vanes pada elbow atas pada kecepatan varian 3



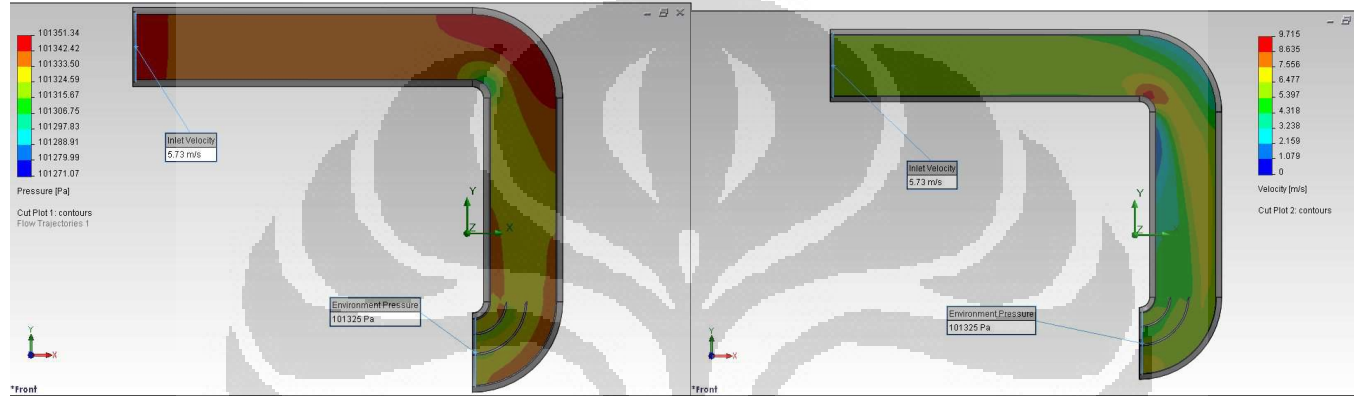
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101382,5913	101383,2218	101382,5913	101384,5268	100	Yes	1,935498168	7,531573678
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101362,8507	101362,8683	101362,7132	101363,1336	100	Yes	0,420418156	1,06108142
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101362,8507	101362,8683	101362,7132	101363,1336	100	Yes	0,420418156	1,06108142
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101382,5913	101383,2218	101382,5913	101384,5268	100	Yes	1,935498168	7,531573678
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	37,84552634	37,86316806	37,70807578	38,12840694	100	Yes	0,420331151	1,061029255
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	27,67411309	27,67385205	27,67339446	27,67411309	100	Yes	0,000718628	0,000730046
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	6,78	6,78	6,78	6,78	100	Yes	8,88178E-16	6,78E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	7,807510371	7,813233554	7,796493782	7,842547124	100	Yes	0,046053342	0,134319835
Pressure drop Static	[Pa]	19,74061578	20,35348439	19,74061578	21,39318102	100	Yes	1,652565244	8,403978516
Pressure drop total	[Pa]	19,74061578	20,35348439	19,74061578	21,39318102	100	Yes	1,652565244	8,403978516

Lampiran 3.3 Pressure drop saluran dengan guide vanes pada elbow atas pada kecepatan varian 5



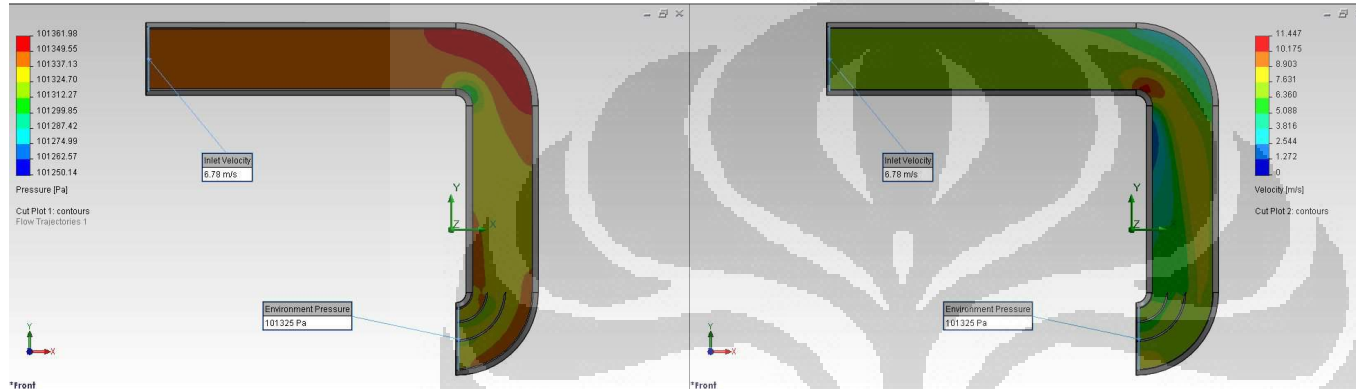
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101399,3247	101400,1599	101399,3169	101402,0196	100	Yes	2,702656072	21,9230528
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101374,0118	101374,0549	101373,892	101374,4298	100	Yes	0,537781556	1,370797662
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101374,0118	101374,0549	101373,892	101374,4298	100	Yes	0,537781556	1,370797662
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101399,3247	101400,1599	101399,3169	101402,0196	100	Yes	2,702656072	21,9230528
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	49,00317059	49,0462578	48,88346471	49,42112682	100	Yes	0,537662108	1,370704187
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	35,88262304	35,88219202	35,88141467	35,88262304	100	Yes	0,001208364	0,001215151
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	7,72	7,72	7,72	7,72	100	Yes	0	7,72E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	8,884047336	8,890698971	8,875466575	8,926870728	100	Yes	0,051404153	0,152734164
Pressure drop Static	[Pa]	25,31291406	26,10504192	25,31291406	27,66495701	100	Yes	2,352042944	23,02787692
Pressure drop total	[Pa]	25,31291406	26,10504192	25,31291406	27,66495701	100	Yes	2,352042944	23,02787692

Lampiran 4.1 Pressure drop saluran dengan guide vanes pada elbow bawah pada kecepatan varian 1



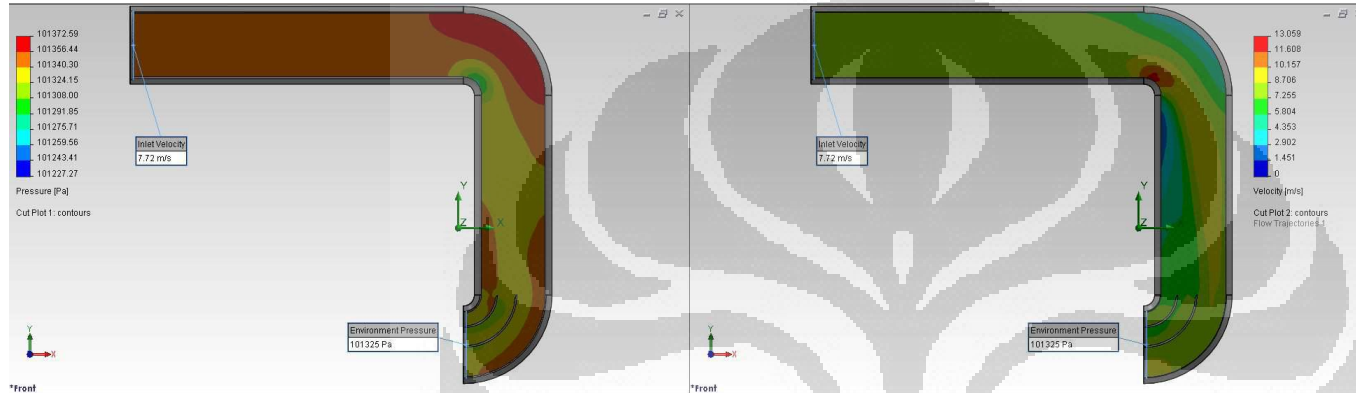
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101362,4986	101363,1619	101362,4486	101364,6782	100	Yes	2,229586166	2,371552669
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101349,3419	101349,3957	101349,3419	101349,4441	100	Yes	0,102190379	0,121850025
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101349,3419	101349,3957	101349,3419	101349,4441	100	Yes	0,102190379	0,121850025
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101362,4986	101363,1619	101362,4486	101364,6782	100	Yes	2,229586166	2,371552669
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	24,33970486	24,39354161	24,33970486	24,44191186	100	Yes	0,102206999	0,121673367
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	19,76404075	19,76400637	19,7638791	19,7640444	100	Yes	0,000165299	0,000336263
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	5,73	5,73	5,73	5,73	100	Yes	0	5,73E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	6,287795212	6,296223449	6,287795212	6,301644719	100	Yes	0,013849507	0,024804367
Pressure drop Static	[Pa]	13,15667109	13,76617492	13,09705781	15,30835185	100	Yes	2,211294043	2,277804182
Pressure drop total	[Pa]	13,15667109	13,76617492	13,09705781	15,30835185	100	Yes	2,211294043	2,277804182

Lampiran 4.2 Pressure drop saluran dengan guide vanes pada elbow bawah pada kecepatan varian 3



Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101376,9043	101378,7729	101376,8297	101381,9802	100	Yes	5,150530039	8,433804346
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101359,2144	101359,2948	101359,2034	101359,355	100	Yes	0,151544153	0,167100858
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101359,2144	101359,2948	101359,2034	101359,355	100	Yes	0,151544153	0,167100858
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101376,9043	101378,7729	101376,8297	101381,9802	100	Yes	5,150530039	8,433804346
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	34,21009818	34,29049816	34,19927481	34,35069764	100	Yes	0,151422824	0,166782846
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	27,67295332	27,67284708	27,67243546	27,67297819	100	Yes	0,000542731	0,000659211
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	6,78	6,78	6,78	6,78	100	Yes	0	6,78E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	7,455990311	7,467715283	7,455990311	7,475682865	100	Yes	0,019692553	0,029840844
Pressure drop Static	[Pa]	17,68991285	19,47819166	17,59742368	22,77681719	100	Yes	5,17939351	8,312122546
Pressure drop total	[Pa]	17,68991285	19,47819166	17,59742368	22,77681719	100	Yes	5,17939351	8,312122546

Lampiran 4.3 Pressure drop saluran dengan guide vanes pada elbow bawah pada kecepatan varian 5



Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	101391,6504	101394,1292	101391,6504	101398,4331	100	Yes	6,78271592	23,063717
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	101369,3455	101369,4447	101369,3269	101369,5156	100	Yes	0,188763611	0,217642372
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	101369,3455	101369,4447	101369,3269	101369,5156	100	Yes	0,188763611	0,217642372
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	101391,6504	101394,1292	101391,6504	101398,4331	100	Yes	6,78271592	23,063717
SG Av Dynamic Pressure 1 Outlet	[Pa]	44,33828367	44,43754478	44,31989585	44,50853465	100	Yes	0,188638806	0,217105975
SG Av Dynamic Pressure 1 Inlet	[Pa]	35,8806371	35,88048001	35,87983605	35,88067646	100	Yes	0,000840414	0,001094299
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	7,72	7,72	7,72	7,72	100	Yes	0	7,72E-08
SG Av Velocity 1 Outlet	[m/s]	8,48939816	8,501660136	8,48939816	8,51040788	100	Yes	0,02100972	0,033748544
Pressure drop Static	[Pa]	22,30491149	24,68450226	22,30491149	29,10627925	100	Yes	6,801367765	22,90397113
Pressure drop total	[Pa]	22,30491149	24,68450226	22,30491149	29,10627925	100	Yes	6,801367765	22,90397113