

TUGAS AKHIR

ANALISA NUMERIK ALIRAN MELALUI VENTURIMETER DENGAN VARIASI UKURAN LEHER UNTUK MENENTUKAN KOEFISIEN KECEPATAN DAN PENURUNAN TEKANAN

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

Disusun Oleh:

**FIKI ARIZA
1507230239**



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

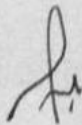
Nama : Fiki Ariza
NPM : 1507230239
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Numerik Aliran Melalui Venturimeter Dengan Variasi Ukuran Leher Untuk Menentukan Koefisien Kecepatan Dan Penurunan Tekanan.
Bidang ilmu : Konversi Energi

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, 15 Maret 2019

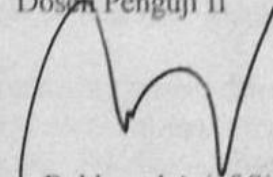
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



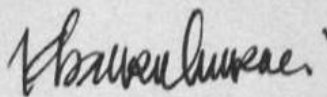
H. Muharnif, S.T., M.Sc.

Dosen Penguji II



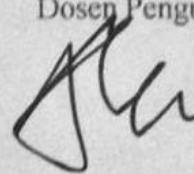
Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar

Dosen Penguji III



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

Dosen Penguji 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 : Fiki Ariza
Tempat /Tanggal Lahir : Simalungun/05 September 1998
NPM : 1507230239
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Analisa Numerik Aliran Melalui Venturimeter Dengan Variasi Ukuran Leher Untuk Menentukan Koefisien Kecepatan Dan Penurunan Tekanan”,

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 orisinil 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 Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 Maret 2019

Saya yang menyatakan,



ABSTRAK

Venturimeter merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran fluida. Venturimeter bekerja berdasarkan perbedaan tekanan yang melalui suatu penyempitan penampang, yang dapat dicari hubungannya dengan kecepatan aliran fluida. Besar debit aliran fluida pada venturimeter dapat ditentukan dengan dua cara yaitu cara A dan cara B. Cara A adalah pengukuran besar debit yang memerlukan perbedaan tekanan atau kelajuan suatu penampang. Sementara cara B yaitu memerlukan penentuan volume yang melalui suatu penampang dalam selang waktu tertentu. Untuk melakukan tes kalibrasi meter aliran sangat diperlukan sebuah instrument untuk menghitung koefisien dan debit pada venturimeter. Meskipun prosedur eksperimental menawarkan hasil yang baik, namun pada proses aplikasinya memerlukan waktu yang lebih lama, maka dipilihlah metode yang lebih canggih untuk menguji *flow* meter yakni dengan metode numerik yang memungkinkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dengan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan metode eksperimental. Maka dari itu, pengukuran tekanan di pipa venturi dilakukan dengan adanya proses simulasi dengan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan menggunakan *software Solidworks 2014*. Geometri dalam penelitian ini adalah sebuah venturimeter dengan bahan tembaga. Penelitian ini dilakukan dengan variasi ukuran leher pada venturimeter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada variasi panjang leher 20mm, nilai koefisien kecepatan sebesar 0,90836 dan pada panjang leher 30mm sebesar 3,2825. Kemudian didapat pula besaran nilai penurunan tekanan pada panjang leher 20mm sebesar 110,81 Pa dan pada panjang leher 30mm sebesar 136,37 Pa. sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar panjang leher pada venturimeter maka nilai koefisien kecepatan dan nilai penurunan tekanan akan semakin meningkat.

Kata kunci: Aliran fluida, venturimeter, *Solidworks*, Komputasi Fluida Dinamis.

ABSTRACT

Venturimeter is a device used to measure fluid flow rates. Venturimeters work based on the difference in pressure through a cross section narrowing, which can be found in relation to the velocity of fluid flow. The large flow rate of fluid in the venturimeter can be determined in two ways, namely the way A and method B. The way A is the measurement of the size of the discharge that requires a pressure difference or the speed of a cross section. While the method of B is to require the determination of volume through a cross section in a certain time interval. To perform a flow meter calibration test, an instrument is needed to calculate the coefficient and discharge on the venturimeter. Although the experimental procedure offers good results, but the application process takes a longer time, a more sophisticated method is chosen to test the flow meter with a numerical method that allows to get more accurate results with a faster time compared to the experimental method. Therefore, the measurement of pressure in the venturi pipe is carried out by the simulation process using the Computational Fluid Dynamic (CFD) method using Solidworks 2014 software. The geometry in this study is a venturimeter with copper material. This research was carried out with variations in throat size on venturimeters. The results showed that at variations in throat length of 20mm, the speed coefficient value was 0.90836 and at 30mm throat length was 3.2825. Then the value of the pressure drop on the throat length of 20mm was obtained at 110.81 Pa and at 30mm throat length of 136.37 Pa. so it can be concluded that the greater the throat length in the venturimeter, the velocity coefficient and the pressure drop value will increase.

Keywords: Fluid flow, venturimeter, Solidworks, Computational Fluid Dynamic (CFD).

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 Aliran Melalui Venturimeter Dengan Variasi Ukuran Leher Untuk Menentukan Koefisien Kecepatan Dan Penurunan Tekanan” 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. Ayahanda tersayang Azhar Walidi dan ibundaku tercinta Siti Juminah br. Sinaga, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
2. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T., selaku Dosen Pimbimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak H. Muharnif, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr.Eng Rakhmad Arief Siregar, selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Agus Sulistiadi, Andrianto, Faisal Andika, Amd, Rafika Wardah, S.Kom, Silvi Rizkia, S.Pd, dan 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 konstruksi Teknik Mesin.

Medan, 15 Maret 2019

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fiki Ariza', with a horizontal line underneath it.

Fiki Ariza

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Fluida	4
2.2. Sifat-sifat Fluida	5
2.2.1. Massa Jenis	5
2.2.2. Berat Jenis	5
2.2.3. Tekanan	5
2.2.4. Viskositas	6
2.2.4.1. Viskositas Dinamik	6
2.2.4.2. Viskositas Kinematik	7
2.3. Jenis Aliran Fluida	7
2.3.1. Aliran Laminar	8
2.3.2. Aliran Turbulen	8
2.3.3. Aliran Transisi	8
2.4. Venturimeter	9
2.4.1. Laju Aliran Pada Venturimeter	11
2.5. Persamaan Kontinuitas	12
2.6. Persamaan Bernoulli	14
2.7. Simulasi Dengan Metode Numerik	17
2.7.1. <i>Pre-Processing</i>	20
2.7.2. <i>Processing</i>	21
2.7.3. <i>Post Processing</i>	21
2.8. Persamaan Differensial Parsial	22
2.9. Hukum Konservasi	24
BAB 3 METODOLOGI	27
3.1. Tempat dan Waktu	27
3.1.1. Tempat	27

3.2.1	Waktu	27
3.2	Bahan dan Alat	27
3.2.1	Bahan	27
3.2.2	Alat	28
3.3	Bagan Alir Penelitian	30
3.4	Rancangan Model Simulasi	31
3.5	Prosedur Pengujian	34
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1	Aliran Dengan Variasi Bilangan Reynolds 1000	37
4.1.1.	Pada Variasi Diameter 10mm dan Panjang 20mm	37
4.1.2.	Pada Variasi Diameter 10mm dan Panjang 30mm	40
4.2	Aliran Dengan Bilangan Reynolds 2000	42
4.2.1.	Pada Variasi Diameter 10mm dan Panjang 20mm	43
4.2.2.	Pada Variasi Diameter 10mm dan Panjang 30mm	45
4.3	Grafik Pembahasan	49
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1.	Kesimpulan	53
5.2.	Saran	53
	DAFTAR PUSTAKA	54
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi orde dan linearitas persamaan diferensial parsial	23
Tabel 2.2	Klasifikasi persamaan diferensial parsial orde dua – linear	23
Tabel 3.1	Jadwal kegiatan penelitian	28
Tabel 3.2	Nilai kekasaran permukaan (ϵ)	34
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan Variasi Bilangan Reynolds dengan Diameter Leher 10mm dan Panjang 20mm Terhadap Beberapa Parameter	48
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Variasi Bilangan Reynolds dengan Diameter Leher 5mm dan Panjang 30mm Terhadap Beberapa Parameter.	48
Tabel 4.3	Nilai Perbandingan Grafik Reynolds terhadap <i>Pressure Drop</i>	53
Tabel 4.4	Nilai Perbandingan pada Grafik Debit Aliran terhadap Velocity Coefficient	50
Tabel 4.5	Nilai Perbandingan pada Grafik Debit Aliran terhadap Pressure Drop	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Manometer diferensial	6
Gambar 2.2	Profil kecepatan dan gradien kecepatan	7
Gambar 2.3	Alat uji coba Reynolds	9
Gambar 2.4	Aliran laminar (a), transisi (b), dan turbulen (c)	9
Gambar 2.5	Kondisi ideal venturimeter	10
Gambar 2.6	Venturimeter dengan manometer diferensial	11
Gambar 2.7	Venturimeter	12
Gambar 2.8	Aliran fluida pada diameter pipa berbeda	12
Gambar 2.9	Gerak sebagian fluida dalam penurunan persamaan Bernoulli	15
Gambar 2.10	<i>Flowchart</i> proses	19
Gambar 2.11	Bentuk umum persamaan konservasi untuk kuantitas skalar	23
Gambar 2.12	Konservasi pada elemen diskret	26
Gambar 3.1	Komputer yang digunakan	28
Gambar 3.2	Perangkat lunak <i>solidworks</i> 2014	29
Gambar 3.3	Bagan alir penelitian	30
Gambar 3.4	Tampilan awal <i>solidworks</i> 2014	31
Gambar 3.5	Menentukan <i>plane</i> perencanaan	31
Gambar 3.6	Desain dan ukuran venturimeter	32
Gambar 3.7	Desain venturimeter setelah di <i>revolved boss/base</i>	32
Gambar 3.8	Venturimeter dengan Ukuran diameter 10mm dan panjang leher 20mm	34
Gambar 3.9	Venturimeter dengan ukuran diameter 10mm dan panjang leher 30mm	34
Gambar 3.10	Desain dan Ukuran Manometer	35
Gambar 3.11	Desain manometer setelah di <i>Revolved Boss/Base</i>	35
Gambar 4.1	Visualisasi <i>Pressure Drop</i> dengan diameter 10mm dan panjang leher 20mm pada Bilangan Reynolds 1000 dengan h_1 Maksimum	38
Gambar 4.2	Visualisasi <i>Pressure Drop</i> dengan diameter 10mm dan panjang leher 20mm pada Bilangan Reynolds 1000 dengan h_2 Minimum	38
Gambar 4.3	Visualisasi <i>Pressure Drop</i> dengan diameter 5mm dan panjang leher 30mm pada Bilangan Reynolds 1000 dengan h_1 Maksimum	40
Gambar 4.4	Visualisasi <i>Pressure Drop</i> dengan diameter 5mm dan panjang leher 30mm pada Bilangan Reynolds 1000 dengan h_2 Minimum.	41
Gambar 4.5	Visualisasi <i>Pressure Drop</i> dengan diameter 10mm dan panjang leher 20mm pada Bilangan Reynolds 2000 dengan h_1 Maksimum	43
Gambar 4.6	Visualisasi <i>Pressure Drop</i> dengan diameter 10mm dan panjang leher 20mm pada Bilangan Reynolds 2000 dengan h_2 Minimum	44
Gambar 4.7	Visualisasi <i>Pressure Drop</i> dengan diameter 5mm dan panjang leher 30mm pada Bilangan Reynolds 2000 dengan h_1 Maksimum	46

Gambar 4.8	Visualisasi <i>Pressure Drop</i> dengan diameter 5mm dan panjang leher 30mm pada Bilangan Reynolds 2000 dengan h_2 Minimum	46
Gambar 4.9	Grafik Fluktuasi Reynolds Terhadap <i>Pressure Drop</i>	49
Gambar 4.10	Grafik Fluktuasi Debit Aliran Terhadap <i>Velocity Coefficient</i>	50
Gambar 4.11	Grafik Fluktuasi Debit Aliran Terhadap <i>Pressure Drop</i>	51

DAFTAR NOTASI

No.	Simbol	Besaran	Satuan
1.	P	Massa jenis	kg/m ³
2.	M	Massa	Kg
3.	V	Volume air	m ³
4.	SG	Specific Gravity	
5.	ρ_{air}	Massa jenis air	1000 kg/m ³
6.	Γ	Berat jenis	N/m ³
7.	G	Percepatan gravitasi	m/s ²
8.	W	Berat	N
9.	P	Tekanan fluida	Pa
10.	F	Gaya	N
11.	A	Luas penampang pipa	m ²
12.	P ₁ dan P ₂	Tekanan pada titik 1 & 2	Pa
13.	h ₁ dan h ₂	Ketinggian pada titik 1 & 2	M
14.	M	Viskositas dinamik	kg/m.s
15.	T	Teegangan geser	N/m ²
16.	du/dy	Gradien kecepatan	m/s
17.	Θ	Viskositas kinematik	m ² /s
18.	V	Kecepatan fluida	m/s
19.	D	Diameter pipa	M
20.	A ₁ dan A ₂	Luas penampang pipa 1 & 2	m ²
21.	Q	Debit aliran	m ³ /s
22.	v ₁	Kecepatan di pipa normal	m/s
23.	v ₂	Kecepatan di pipa menyempit	m/s
24.	T	Waktu	S
25.	C	Koefisien kecepatan	

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya kemajuan teknologi dan perkembangan ilmu pengetahuan, kemampuan untuk menganalisis akan kebutuhan instrumentasi atau peralatan dan perlengkapan yang bervariasi dan menjamur dikalangan industri akan lebih canggih, optimal serta aktual. Dalam bidang industri banyak alat-alat yang digunakan untuk menunjang proses produksi, khususnya dalam pemanfaatan zat yang dapat mengalir atau fluida (Saputri, 2009).

Di beberapa industri seperti kimia, kertas, pengolahan mineral, minyak, gas, dan lain-lain, pengukuran dan kontrol aliran yang akurat adalah tugas yang penting. Venturimeter muncul sebagai salah satu perangkat paling akurat untuk mengukur laju aliran fluida. Venturimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran fluida yang mengalir melalui pipa. Hal ini didasarkan pada prinsip persamaan Bernoulli. Prinsip Bernoulli yang menyelidiki perilaku dari suatu aliran fluida ideal yang melintas pada suatu pipa menyatakan bahwa ketika aliran fluida dengan cepat melalui bagian yang sempit maka tekanan pada fluida tersebut akan menurun (Sanghani, C. R., et.al, 2016).

Venturimeter terdiri dari panjang pendek pipa yang berbentuk *vena contracta*, atau bagian dengan area penampang yang paling sedikit yang cocok dengan jalur pipa normal. Obstruksi tersebut menyebabkan aliran cairan di *throat* (leher) venturi menghasilkan penurunan tekanan lokal di wilayah yang sebanding dengan tingkat pelepasan (Tamhankar, N., et.al, 2014). Besar debit aliran fluida pada venturimeter dapat ditentukan dengan dua cara yaitu dengan cara A dan cara B. Cara A yakni pengukuran besar debit yang memerlukan penentuan perbedaan tekanan atau kelajuan suatu penampang. Cara B yaitu memerlukan penentuan volume yang melalui suatu penampang dalam selang waktu tertentu. Pengukuran besar debit aliran pada venturimeter dengan cara A sering dijumpai pada soal-soal latihan, selain itu pengukuran dapat juga dilakukan di laboratorium (Pudjiwahyuni, 1999).

Sekarang ini diperlukan untuk melakukan tes kalibrasi meter aliran untuk mengetahui keakuratan instrumen. Ini dapat dilakukan dengan menghitung koefisien debit venturi. Meskipun prosedur eksperimental menawarkan hasil yang baik, mereka sering memakan waktu yang lebih lama. Oleh karena itu metode yang lebih canggih untuk menguji *flow* meter adalah melalui metode numerik yang memungkinkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dengan waktu yg lebih cepat dibandingkan dengan prosedur eksperimental. Setelah itu, hasil ini dapat dibandingkan dengan hasil eksperimen terdahulu untuk mengkalibrasi instrument (Tamhankar, N., et.al, 2014).

Maka dari itu untuk mengetahui secara aktual tentang venturimeter, penulis melakukan penelitian dengan judul : Analisa Numerik Aliran Melalui Venturimeter Dengan Variasi Ukuran Leher Untuk Menentukan Koefisien Kecepatan Dan Penurunan Tekanan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *solidworks*?
2. Bagaimana mengetahui penurunan tekanan pada venturimeter menggunakan simulasi *software solidworks*?
3. Menganalisa dan menghitung nilai *velocity coefficient* pada variasi ukuran leher venturimeter melalui simulasi *software solidworks*?

1.3 Ruang Lingkup

1. Perancangan venturimeter yang direncanakan menggunakan *software solidworks*.
2. Melakukan simulasi perancangan yang telah di desain menggunakan *software solidworks*.
3. Fluida yang digunakan adalah air dengan variasi bilangan Reynolds 1000 - 5000

1.4 Tujuan

1. Untuk mendapatkan besaran dari laju aliran menggunakan simulasi *software solidworks*.
2. Untuk mengetahui penurunan tekanan pada venturimeter berdasarkan simulasi *solidworks*.

3. Untuk mendapatkan hasil dari nilai *velocity coefficient* pada variasi ukuran leher venturimeter melalui simulasi *solidworks*.

1.5 Manfaat

1. Dapat menganalisa dan menghitung besarnya penurunan tekanan dan nilai koefisien kecepatan dengan variasi ukuran leher pada venturimeter.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar dan pertimbangan untuk mendesain suatu peralatan yang cara kerjanya menggunakan prinsip kerja venturimeter.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fluida

Fluida didefinisikan sebagai zat yang dapat mengalir dan menyesuaikan diri dengan tempatnya serta tidak mampu menahan pengaruh gaya geser. Fluida dapat berpindah satu tempat ke tempat lain berdasarkan perbedaan tekanan dimana fluida di tempat bertekanan tinggi akan berpindah ke tempat yang bertekanan lebih rendah (Ridwan, 2000). Istilah fluida mencakup zat cair dan gas karena zat cair dan gas. Secara umum fluida dibedakan menjadi dua yaitu fluida dinamis dan statis. Fluida statis adalah fluida yang dalam keadaan diam atau tetap. Sedangkan fluida dinamis adalah fluida yang dalam keadaan bergerak, gerakan fluida dipandang sebagai fungsi tempat dan waktu. Fluida dinamis erat kaitannya dengan persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli (Septriani,2009).

Karakteristik-karakteristik tertentu dari suatu fluida tidak tergantung pada gerakan fluida, tetapi tergantung pada sifat alamiah fluida itu sendiri seperti densitas, tekanan, temperatur, *compressibility*, viskositas dan tegangan permukaan (Widayana, 2010). Molekul-molekul didalam fluida mempunyai kebebasan lebih besar untuk bergerak sendiri-sendiri. Dalam zat cair, gaya interaksi antara molekul-molekul yaitu yang disebut kohesi masih cukup besar, karena jarak antara molekul tidaklah terlalu besar. Akibatnya zat cair masih tampak sebagai kesatuan sehingga kita masih dapat melihat batas-batas zat cair.

Sementara itu, fase gas tidak mempunyai bentuk maupun volume yang tetap maka dari itu ia akan berkembang mengisi seluruh wadah. Molekul-molekul gas dapat dianggap sebagai suatu sistem partikel bebas. Gaya kohesi antar molekul sangatlah kecil, akibatnya gas cenderung untuk memenuhi ruang. Karena fase cair dan gas tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan mengalir. Dengan demikian keduanya seering secara kolektif disebut sebagai fluida (Munson,et.al,2005).

2.2 Sifat-sifat Fluida

2.2.1 Massa jenis (ρ)

Massa jenis (*density*) adalah massa per satuan volume. Dapat juga diartikan sebagai ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dengan massa per satuan volume (Sudarja,2002).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Kerapatan relatif atau *Specific Gravity* (SG) adalah perbandingan kerapatan fluida tersebut dengan kerapatan air pada sebuah tempratur tertentu. Biasanya tempratur tersebut adalah 4°C dengan kerapatan air 1000 kg/m³ (Munson, 2004).

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{air}} \quad (2.2)$$

2.2.2 Berat jenis (γ)

Berat jenis atau *specific wight* (γ) suatu zat adalah berat per satuan volume zat tersebut, atau merupakan perkalian dari kerapatan (ρ) dengan percepatan gravitasi bumi (g) (Sudarja, 2002).

$$\gamma = \rho g = \frac{W}{V} \quad (2.3)$$

2.2.3 Tekanan (p)

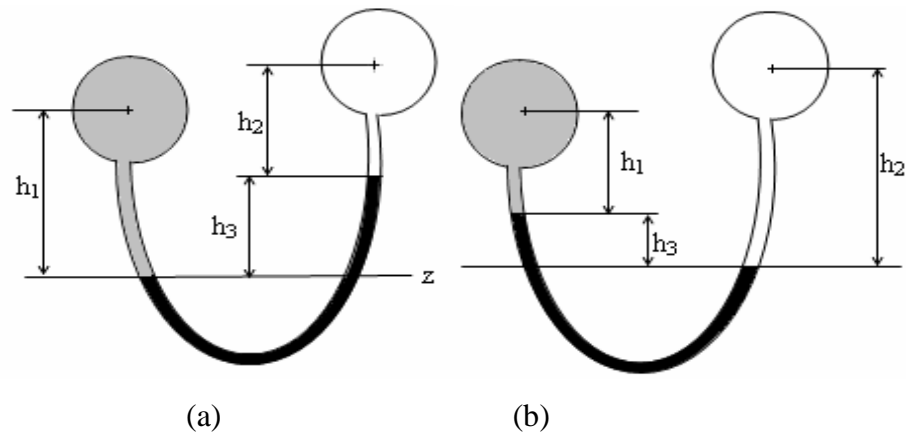
Dalam ilmu fisika tekanan di definisikan sebagai gaya per satuan luas. Tekanan fluida dipancarkan dengan kekuatan sama ke semua arah dan bekerja teegak lurus pada suatu bidang. Dalam bidang datar yang sama kekuatan tekan suatu cairan sama (Giles, 1984).

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.4)$$

Perbedaan tekanan pada dua titik, yang diantara keduanya memiliki ketinggian berbeda dalam suatu fluida adalah :

$$p_2 - p_1 = \rho g (h_2 - h_1) \quad (2.5)$$

Untuk mengetahui perbedaan ketinggian diantara dua titik adalah dengan menggunakan manometer diferensial (Sudarja, 2002).



Gambar 2.1 Manometer Diferensial

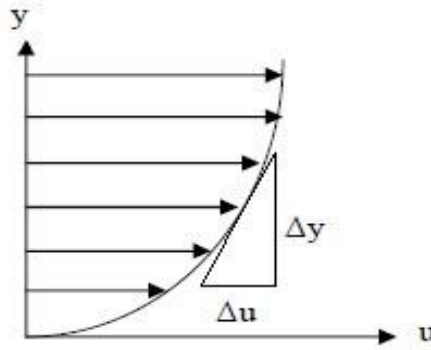
Konsep tekanan terutama berguna dalam membahas fluida. Dari fakta eksperimental ternyata “fluida memberikan tekanan ke semua arah”. Sifat penting lainnya dari fluida yang berada dalam keadaan diam adalah bahwa gaya yang disebabkan oleh tekanan fluida selalu bekerja tegak lurus terhadap permukaan yang bersentuhan dengannya (Septriani, 2009).

2.2.4 Viskositas

Viskositas atau kekentalan merupakan sifat fluida yang menunjukkan kemampuan fluida untuk mengalir. Fluida dengan viskositas yang besar lebih sulit untuk mengalir dibandingkan dengan fluida dengan viskositas yang kecil. Viskositas suatu fluida bergantung pada temperatur. Fluida memiliki viskositas yang besar pada temperatur yang tinggi, hal ini berkebalikan dengan fluida cair, dimana kenaikan temperatur, viskositas zat cair itu semakin kecil. Viskositas dibagi menjadi dua macam yaitu :

2.2.4.1 Viskositas Dinamik

Viskositas dinamik adalah ukuran ketahanan fluida terhadap deformasi (perubahan bentuk) terhadap teengan geser ataupun deformasi sudut (*angular deformation*). Timbulnya viskositas disebabkan oleh gaya kohesi dan pertukaran momentum dari molekul-molekul fluida.



Gambar 2.2 Profil kecepatan dan gradien kecepatan

Maka dari itu, viskositas dinamik dapat dirumuskan sebagai berikut (Yamin, M. F., 2016) :

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (2.8)$$

2.2.4.2 Viskositas kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamik dengan kerapatan fluida, dapat dirumuskan dengan :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.9)$$

2.3 Jenis Aliran Fluida

Apabila suatu fluida mengalir dalam suatu saluran dengan kecepatan yang cukup kecil, maka aliran tersebut berlapis-lapis yang bergerak secara *sliding* relatif terhadap lapisan didekatnya atau lapisan-lapisan yang bersebelahan meluncur satu sama lain (Septriani, 2009).

Kondisi aliran fluida sangat tergantung dari kecepatan aliran fluida, semakin tinggi kecepatan maka akan mempengaruhi pola aliran. Besaran yang dapat menghubungkan antara kecepatan aliran, fluida dan kondisi penampang diameter pipa adalah angka Reynolds. Bilangan Reynolds merupakan perbandingan antara gaya inersia dengan gaya viskos. Bilangan Reynolds juga biasa disebut sebagai bilangan tanpa dimensi yang nilainya bergantung pada kekasaran dan kehalusan pipa sehingga dapat menentukan jenis aliran dalam pipa. Bilangan Reynolds dapat digunakan untuk menentukan suatu aliran apakah laminar, turbulen, atau transisi (Sutrisno, 2014).

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (2.10)$$

2.3.1 Aliran Laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan dengan satu lapisan yang meluncur dengan lancar. Aliran laminar memiliki kisaran bilangan Reynolds kurang dari 2300 ($Re < 2300$).

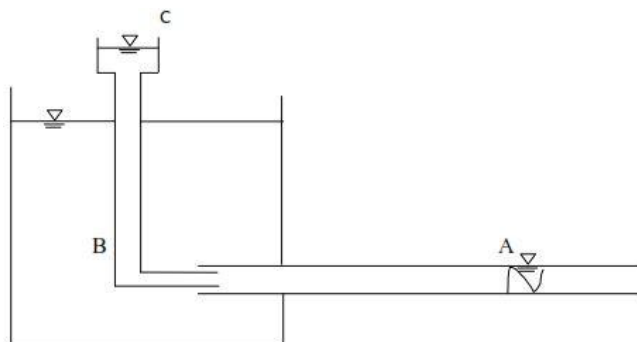
2.3.2 Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel suatu fluida tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran lapisan, yang kemudian mengakibatkan saling tukar momentum dari suatu bagian fluida ke bagian fluida lainnya dalam skala yang besar. Aliran turbulen memiliki kisaran bilangan Reynolds lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).

2.3.4 Aliran Transisi

Aliran transisi adalah aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas suatu fluida, kecepatan fluida, dan hal-hal lain yang berkaitan dengan geometri aliran. Aliran transisi memiliki bilangan Reynolds antara 2300 sampai 4000 ($2300 > Re < 4000$) (Sularso, 1994).

Osborne Reynolds selaku pencetus bilangan Reynolds melakukan percobaan untuk menentukan jenis aliran diatas. Alat yang digunakan terdiri dari pipa kaca yang dapat melewatkan air dengan berbagai kecepatan aliran yang diatur oleh kutub A, pipa kecil B yang berasal dari tabung berisi zat warna C. Ujung yang lain berada pada lobang masuk pipa kaca.



Gambar 2.3 Alat Uji Coba Reynolds

Reynolds menunjukkan bahwa untuk kecepatan yang kecil di dalam aliran kaca, zat warna akan mengalir dalam suatu garis lurus seperti benang yang sejajar

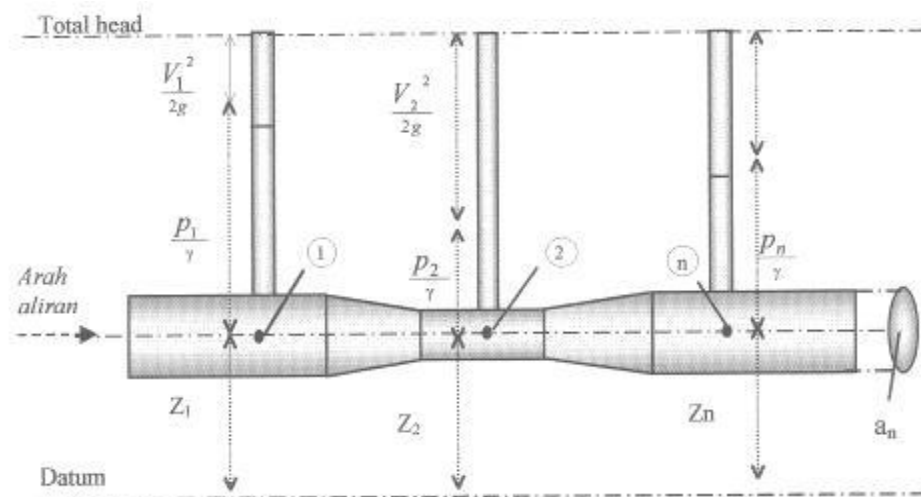
dengan sumbu pipa. Apabila katup dibuka sedikit demi sedikit, kecepatan akan bertambah besar dan zat warna yang mulai berlubang akhirnya pecah dan menyebar pada seluruh pipa (Farhun, A., 2017).



Gambar 2.4 Aliran Laminar (a), Transisi (b), dan Turbulen (c)

2.4 Venturimeter

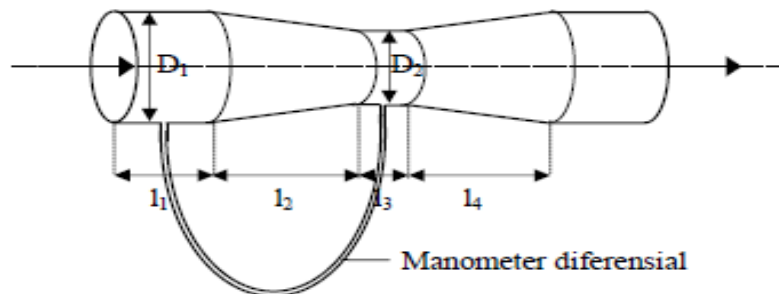
Venturimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur debit cairan yang melalui pipa tertutup. Venturimeter menggunakan prinsip Bernoulli dan Kontinuitas dengan mengandalkan perbedaan luas penampang yang dapat mengakibatkan perbedaan kecepatan seperti yang telah dikemukakan sebelumnya. Perbedaan luas penampang dari diameter yang lebih besar menjadi lebih kecil kemudian membesar lagi dilakukan seperlahan atau seideal mungkin untuk menghindari terjadinya kehilangan tinggi tekan akibat ekspansi atau kontraksi tiba-tiba. Jika dipasang piezometer pada bagian-bagian penampang yang berbeda-beda, akan terlihat perbedaan ketinggian sebagai wujud dari perbedaan tekanan fluida yang melewati penampang (Dhemi H, 2016).



Gambar 2.5 Kondisi Ideal Venturimeter

Umumnya alat ini terdiri dari : (1) bagian hulu, yang berukuran sama dengan pipa. Pada bagian ini dipasang manometer diferensial. (2) bagian kerucut *konvergen*. (3) bagian leher yang berbentuk silinder dengan ukuran diameter lebih

kecil dari diameter hulu. Pada bagian ini juga dipasang manometer diferensial. (4) bagian kerucut *divergen* yang secara berangsur-angsur berukuran sama dengan bagian hulu atau sama dengan pipa (Sudarja, 2002).



- Keterangan gambar :
- D_1 = diameter hulu venturi
 - D_2 = diameter *throat* (leher venturi)
 - l_1 = panjang hulu venturi (bagian masuk)
 - l_2 = panjang bagian *konvergen*
 - l_3 = panjang *throat* (leher venturi)
 - l_4 = panjang bagian *divergen* (bagian keluar)

Gambar 2.6 Venturimeter dengan Manometer Diferensial

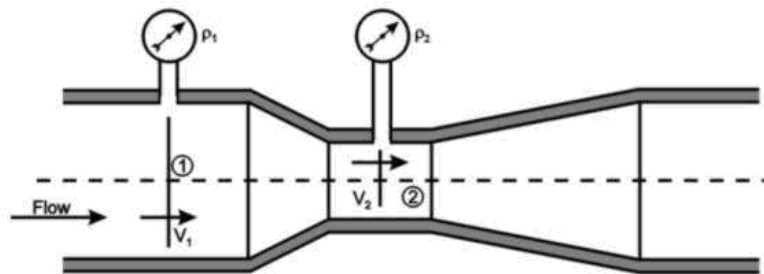
Alat ini terbuat dari bagian masuk yang mempunyai flens, yang terdiri dari bagian pendek berbentuk silinder, bagian leher dan bagian keluar berflens, dan terdiri dari kerucut terpotong yang panjang. (Flens = penyambung potongan-potongan pipa).

Dalam meteran venturi, kecepatan fluida bertambah dan tekanannya berkurang didalam kerucut *konvergen*. Penurunan tekanan itu selanjutnya dimanfaatkan untuk mengukur laju aliran melalui instrument/peralatan itu. Kecepatan fluida kemudian berkurang lagi dan sebagian besar tekanan awalnya kembali pulih dibagian *divergen*. Agar pemulihan tekanan itu besar, sudut kerucut *konvergen* dibuat kecil, sehingga pemisahan lapisan-batas dapat dicegah dan gesekan pun minimum. Oleh karena pada bagian yang penampangnya mengecil tidak ada pemisahan, maka kerucut bagian *konvergen* dibuat lebih pendek daripada kerucut bagian *divergen* pada saat pengaplikasiannya nanti. Gesekan yang ditimbulkan pada bagian ini pun kecil. Dengan demikian ruang dan bpun

dapat dihemat. Walaupun meteran venturi dapat digunakan untuk mengukur gas, namun alat ini biasanya digunakan untuk mengukur zat cair, terutama air (Nevers, D. N., 1991).

2.4.1 Laju Aliran pada Venturimeter

Venturimeter bekerja berdasarkan pengukuran beda tekanan yang melalui suatu penyempitan penampang, yang dapat kita cari hubungannya dengan kecepatan aliran fluida. Sehingga dengan mengetahui beda tekanan dan kecepatan alir, maka akan didapatkan jumlah aliran yang melewati venturimeter tersebut. Venturi meter merupakan alat mengukur kelajuan (debit) cairan dalam pipa. Venturimeter dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

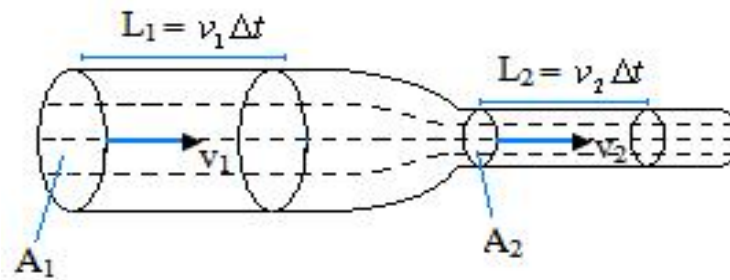


Gambar 2.7 Venturimeter

Gambar diatas menunjukkan venturi meter yang horizontal. Venturimeter terdiri dari sebuah tabung horizontal dengan dua pipa vertikal yang mencatat tekanan fluida yang mengalir di dua bagian pipa yang berbeda, pipa normal dan pipa yang menyempit. Venturimeter ini menggunakan prinsip persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli seperti yang akan dipaparkan dibawah ini.

2.5 Persamaan Kontinuitas

Gambar dibawah ini adalah sebuah pipa yang memiliki diameter yang berbeda. Gambar 2.3 menunjukkan aliran fluida dari kiri ke kanan (fluida mengalir dari pipa yang diameternya besar ke diameter yang kecil). Garis putus-putus merupakan garis arus.



Keterangan gambar ialah sebagai berikut :

A_1 = luas penampang bagian pipa yang berdiameter besar.

A_2 = luas penampang bagian pipa yang berdiameter kecil.

v_1 = kecepatan aliran fluida pada bagian pipa yang berdiameter besar.

v_2 = kecepatan aliran fluida pada bagian yang berdiameter kecil

L = jarak tempuh fluida.

Gambar 2.8 Aliran fluida pada diameter pipa berbeda

Pada fluida tunak, kecepatan aliran partikel fluida disuatu titik sama dengan kecepatan aliran partikel fluida lain yang melewati titik itu. Aliran fluida juga tidak saling berpotongan (garis arusnya sejajar). Karena massa fluida yang masuk ke salah satu ujung pipa harus sama dengan massa fluida yang keluar di ujung lainnya. Jika fluida memiliki massa tertentu masuk pada pipa yang diameternya kecil dengan massa yang tetap.

Selama selang waktu tertentu, sejumlah fluida mengalir melalui bagian pipa yang diameternya besar (A_1) sejauh $L_1(L_1=v_1 t)$. Volume fluida yang mengalir adalah $V_1 = A_1 L_1 = A_1 v_1 t$. Nah, selama waktu yang sama, sejumlah fluida yang lain mengalir melalui bagian pipa yang diameternya kecil (A_2) sejauh $L_2 (L_2 = v_2 t)$. Volume fluida yang mengalir adalah $V_2 = A_2 L_2 = A_2 v_2 t$ sembari melihat gambar diatas.

Pada persamaan kontinuitas untuk fluida tak termampatkan, kerapatan atau massa jenis fluida tersebut selalu sama di setiap titik yang dilaluinya. Massa fluida yang mengalir dalam pipa memiliki luas penampang A_1 (diameter pipa yang besar) selama selang waktu tertentu.

$$m_1 = \rho A_1 V_1 t \tag{2.11}$$

Demikian juga, massa fluida yang mengalir dalam pipa yang memiliki luas penampang A_2 (diameter pipa yang kecil) selama selang waktu tertentu adalah :

$$m_2 = \rho A_2 V_2 t \quad (2.12)$$

Jadi, pada fluida tak termampatkan berlaku persamaan kontinuitas :

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 t \quad (2.13)$$

Persamaan (2.11) menunjukkan bahwa laju aliran volume atau debit selalu sama pada setiap titik sepanjang pipa atau tabung alir. Ketika penampang pipa mengecil, maka laju aliran fluida meningkat, sebaliknya ketika penampang pipa menjadi besar, laju aliran kecil.

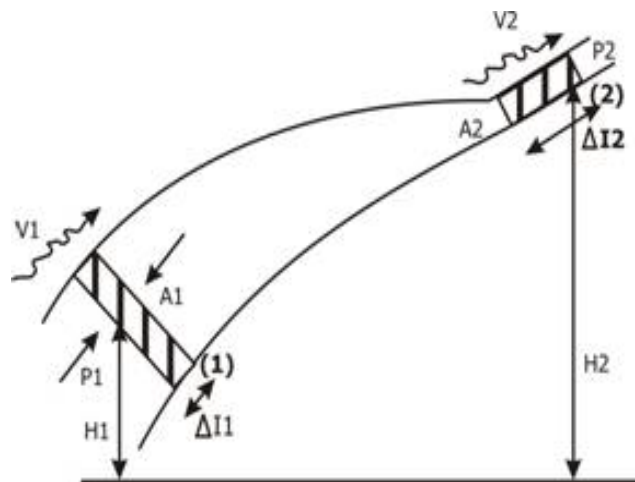
2.6 Persamaan Bernoulli

Persamaan dasar dalam hidrodinamika telah dapat dirintis dan dirumuskan secara baik, sehingga dapat dimanfaatkan untuk menjelaskan gejala fisis yang berhubungan dengan aliran air. Persamaan dasar tersebut disebut sebagai persamaan Bernoulli atau teorema Bernoulli, yakni suatu persamaan yang menjelaskan berbagai hal yang berkaitan dengan kecepatan, tinggi permukaan zat cair dan tekanannya. Persamaan yang telah dihasilkan oleh Bernoulli tersebut juga dapat disebut sebagai Hukum Bernoulli, yakni suatu hukum yang dapat digunakan untuk menjelaskan gejala yang berhubungan dengan gerakan zat alir melalui suatu penampang pipa. Hukum tersebut diturunkan dari Hukum Newton dengan berpangkal tolak pada teorema kerja-tenaga aliran zat cair dengan beberapa persyaratan antara lain aliran yang terjadi merupakan aliran *steady* (mantap, tunak), tak berolak (laminar, garis alir *streamline*), tidak kental dan tidak termampatkan.

Persamaan dinyatakan dalam Hukum Bernoulli tersebut melibatkan hubungan berbagai besaran fisis dalam fluida, yakni kecepatan aliran yang memiliki satu garis arus, tinggi permukaan air yang mengalir, dan tekanannya. Bentuk hubungan yang dapat dijelaskan melalui besaran tersebut adalah besaran usaha tenaga pada zat cair.

Selanjutnya apabila pengkajian hukum ini berpangkal tolak pada hukum kekekalan massa dengan menggunakan ketentuan-ketentuannya, maka dalam

aliran ini hukum kekekalan massa tersebut lebih mengacu pada hukum kekekalan flux massa. Oleh sebab itu dalam tabung aliran semua partikel zat cair yang lewat melalui pipa/tabung yang memiliki luas penampang tertentu diandaikan memiliki kecepatan pengaliran di satu titik adalah sama pada garis aliran yang sama. Namun demikian pada titik-titik lainnya dapat memiliki kecepatan yang berbeda. Selanjutnya untuk menurunkan persamaan yang menyatakan Hukum Bernoulli tersebut dapat dikemukakan dengan gambar berikut



Keterangan gambar :

1. h_1 dan h_2 masing –masing adalah tinggi titik tertentu zat cair dalam tabung/ pipa bagian kiri dan bagian kanan.
2. V_1 dan V_2 adalah kecepatan aliran pada titik tertentu dari suatu zat cair sebelah kiri dan sebelah kanan.
3. A_1 dan A_2 adalah luas penampang pipa bagian dalam yang di aliri zat cair sebelah kiri dan sebelah kanan.
4. P_1 dan P_2 adalah tekanan pada zat cair tersebut dari berturut-turut dari sebelah kiri dan sebelah kanan.

Gambar 2.9 Gerak sebagian fluida dalam penurunan persamaan Bernoulli

Gambar di bagian depan merupakan aliran zat cair melalui pipa yang berbeda luas penampangnya dengan tekanan yang berbeda dan terletak pada ketinggian yang berbeda hingga kecepatan pengalirannya juga berbeda. Dalam aliran tersebut diandaikan zat cair tidak termampatkan, alirannya mantap sehingga

garis alir merupakan garis yang *streamline*, demikian pula banyaknya volume yang dapat mengalir tiap satuan waktu dari pipa sebelah kiri dan kanan adalah sama.

Dari gambar, dapat dikemukakan bahwa zat cair pada semua titik akan mendapatkan tekanan. Hal ini berarti pada kedua permukaan yang kita tinjau (lihat gambar yang diarsir) akan bekerja gaya yang arahnya kedalam. Jika bagian ini bergerak dari posisi pertama menuju bagian kedua, gaya yang bekerja pada permukaan pertama akan melakukan usaha terhadap unsure yang ditinjau tadi sedangkan bagian tersebut akan melakukan usaha terhadap gaya yang bekerja pada permukaan sebelah kanan. Selisih antara kedua besaran usaha tersebut sama dengan perubahan energi gerak ditambah energi potensial dari bagian tersebut. Selisih kedua besaran energi tersebut disebut sebagai energi netto. Secara persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi :

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (2.14)$$

atau ditulis secara umum menjadi :

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{konstan} \quad (2.15)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan dari hukum Bernoulli yang menyatakan bahwa hubungan antara kecepatan aliran dengan tinggi permukaan air dan tekanannya. Sebagian besar dimanfaatkan dalam bidang teknik dan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan fluida.

Dari persamaan diatas bisa didapatkan persamaan untuk V_1

$$V_1 = \frac{A_2 \times V_2}{A_1} \quad (2.16)$$

Cairan mengalir pada arah datar maka $h_1 = h_2$ sehingga :

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (V_2^2 - V_1^2) \quad (2.17)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.16) kedalam persamaan (2.17) maka akan diperoleh :

$$V_2 = \left[\frac{2(p_1 - p_2) / \rho}{1 - \left(\frac{A_2^2}{A_1^2} \right)} \right]^{1/2} \quad (2.18)$$

Persamaan karakteristik venture flowmeter dapat diturunkan dari persamaan Bernoulli dan persamaan kontiunitas untuk tabung venture yang dipasang horizontal persamaan karakteristiknya dapat ditulis sebagai berikut (Septriani, 2009) :

$$Q = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}} \sqrt{\Delta P} \quad (2.19)$$

Hasil dari laju aliran teoritis ini akan lebih besar daripada laju aliran yang terukur sebenarnya, ini karena berbagai perbedaan antara “dunia nyata” dengan asumsi-asumsi yang digunakan dalam penurunan/penggunaan persamaan Bernoulli. Perbedaan ini dapat mencapai 1-40% (Munson, 2004).

Hasil dari gabungan persamaan Bernoulli dan Kontiunitas akan menghasilkan persamaan untuk perhitungan *velocity coefficient* (c) sebagai

berikut:
$$c = \frac{Q}{A_2} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}{2 \cdot g (h_1 - h_2)}} \quad (2.20)$$

2.7 Simulasi dengan Metode Numerik

Simulasi adalah imitasi dari sistem 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

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.21)$$

b. Persamaan Momentum

Momentum ke arah sumbu X

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \quad (2.22)$$

Momentum ke arah sumbu Y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \quad (2.23)$$

Momen ke arah sumbu Z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (2.24)$$

c. Persamaan Energi

$$\begin{aligned} \frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = & -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} - \frac{1}{\text{Re}_r \text{Pr}_r} \\ & \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{\text{Re}_r} \left(\frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \right. \\ & \left. \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \right) \end{aligned} \quad (2.25)$$

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 kontinu (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*)

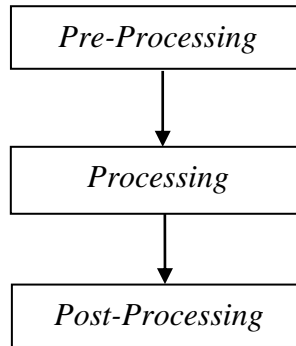
Metode adalah teknik numerik untuk menemukan solusi perkiraan ke batas nilai masalah untuk persamaan diferensial parsial. Metode ini membagi masalah besar menjadi lebih kecil dan sederhana yang disebut elemen hingga.

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 2.10 *Flowchart* proses

2.7.1 *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.

2.7.2 *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.

2.7.3 *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.

2.8 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

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{u(x + \Delta x, y) - u(x, y)}{\Delta x} \quad (2.26)$$

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

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{u(x, y + \Delta y) - u(x, y)}{\Delta y} \quad (2.27)$$

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.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2xy \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + u = 1 \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial y} + x \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + 8u = 5y \quad (2.29)$$

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^3 + 6 \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial y} = x \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + xu \frac{\partial u}{\partial y} = x \quad (2.31)$$

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,

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - D = 0 \quad (2.32)$$

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

Tabel 2.2 Klasifikasi Persamaan Diferensial Parsial Orde Dua – Linear

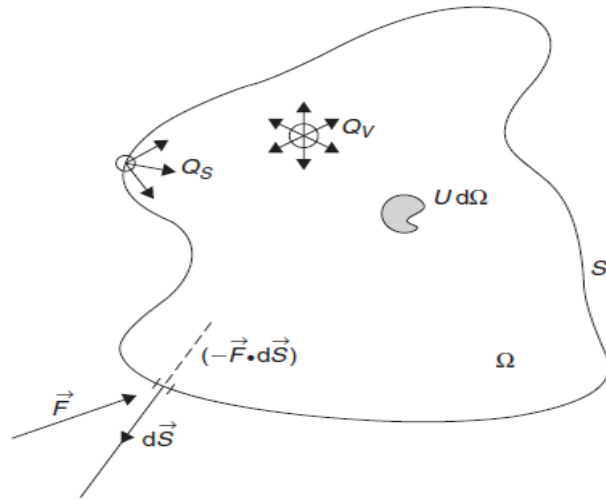
$B^2 - 4AC$	Klasifikasi
<0	Eliptik
$=0$	Parabolik
>0	Hiperbolik

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.

2.9 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.

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.



Gambar 2.11 Bentuk Umum Persamaan Konservasi untuk Kuantitas Skalar

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

$$\int_{\Omega} U d\Omega \quad (2.32)$$

Sementara perubahan (∂) per unit waktu (∂t) pada jumlah total kuantitas U di dalam Ω , disimbolkan sebagai berikut.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} U d\Omega \quad (2.33)$$

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.

$$F_n dS = \vec{F} \cdot d\vec{S} \quad (2.34)$$

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.

$$-\oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} \quad (2.35)$$

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 Q_s dan total kontribusinya berbentuk sebagai berikut.

$$\int_{\Omega} Q_v d\Omega + \oint_s \vec{Q}_s \cdot d\vec{S} \quad (2.36)$$

Berikut bentuk umum hukum konservasi pada kuantitas U ,

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} U d\Omega = -\oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} + \int_{\Omega} Q_v d\Omega + \oint_s \vec{Q}_s \cdot d\vec{S} \quad (2.37)$$

yang biasanya ditulis sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} U d\Omega + \oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_{\Omega} Q_v d\Omega + \oint_s \vec{Q}_s \cdot d\vec{S} \quad (2.38)$$

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

$$\oint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_{\Omega} \vec{\nabla} \cdot \vec{F} d\Omega \quad (2.39)$$

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

$$\int_{\Omega} \frac{\partial U}{\partial t} d\Omega + \int_{\Omega} \vec{\nabla} \cdot \vec{F} d\Omega = \int_{\Omega} Q_v d\Omega + \int_{\Omega} \vec{\nabla} \cdot \vec{Q}_s d\Omega \quad (2.40)$$

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

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{F} = Q_v + \vec{\nabla} \cdot \vec{Q}_s \quad (2.41)$$

Jika tidak ada sumber pada domain, maka $Q_v = Q_s = 0$, sehingga persamaan (2.41) berbentuk sebagai berikut.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \vec{F} = 0 \quad (2.42)$$

Fluks dihasilkan dari dua kontribusi, yaitu transpor konvektif dan difusi. Fluks konvektif $F \rightarrow c$, merepresentasikan jumlah kuantitas U yang diangkut oleh aliran dengan kecepatan $v \rightarrow$,

$$\vec{F}_c = U \vec{v} \quad (2.43)$$

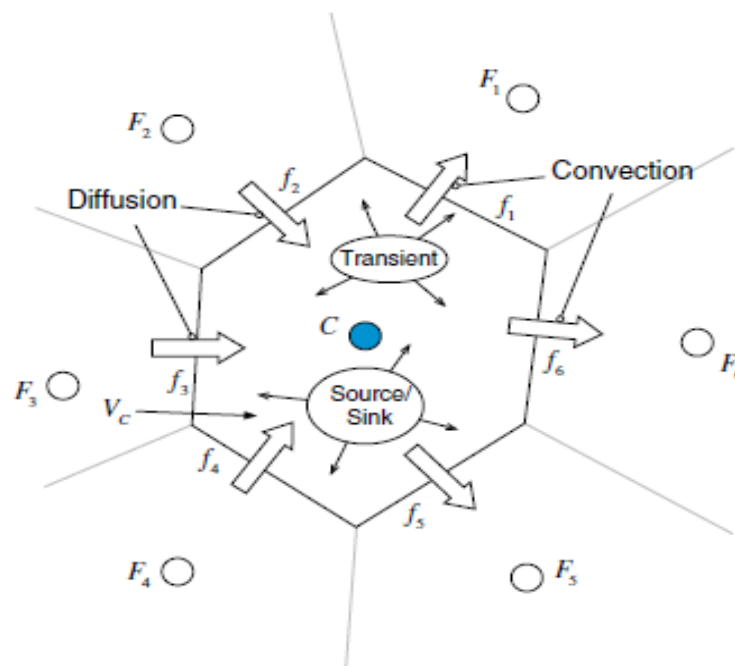
dengan $U = \rho u$, variabel u merupakan kuantitas per unit massa. Sementara Fluks difusi $F \rightarrow D$ adalah kontribusi yang dihasilkan fluida dalam kondisi tenang, berkenaan dengan efek makroskopik atau agitasi molekuler,

$$\vec{F}_D = -k \rho \vec{\nabla} u \quad (2.44)$$

Dengan k adalah koefisien difusi, sehingga persamaan (2.41) dapat dinyatakan dalam bentuk berikut.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (k \rho \vec{\nabla} u) + Q_v + \vec{\nabla} \vec{Q}_s \quad (2.45)$$

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.



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

transcient + convective = diffusive + source term

Gambar 2.12 Konservasi pada Elemen Diskret

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Adapun tempat dilaksanakannya kegiatan penelitian ini adalah di Laboratorium Komputer Gedung D Lantai 3 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini ini yaitu dimulai sejak tanggal dilaksanakannya usulan judul penelitian oleh ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan dikerjakan selama kurang lebih 4 bulan sampai dinyatakan selesai.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Bulan				Keterangan
		Des	Jan	Feb	Mar	
1.	Pengajuan Judul	■				
2.	Studi Literatur	■	■			
3.	Persiapan Alat dan Bahan		■			
4.	Pelaksanaan Penelitian		■	■		
5.	Pengujian Penelitian			■		
6.	Pengolahan Data				■	
7.	Asistensi dan Perbaikan		■	■	■	

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

1. Literatur

Bahan berupa literatur yang berisi hasil-hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang sedang dilaksanakan.

2. Buku Referensi

Bahan yang digunakan juga diambil dari buku-buku yang berkaitan dengan penelitian yang sedang dilaksanakan dengan mendapatkan teori-teori yang diperlukan.

3. Jurnal-jurnal

Jurnal yang diambil adalah jurnal yang berkaitan dengan proses penelitian baik itu jurnal nasional maupun internasional.

3.2.2 Alat

1. Komputer dengan spesifikasi:

- Processor Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1246 v3 @3.50Ghz 3.50Ghz
- Memori 8GB
- Sistem operasi Windows 7 64-bit



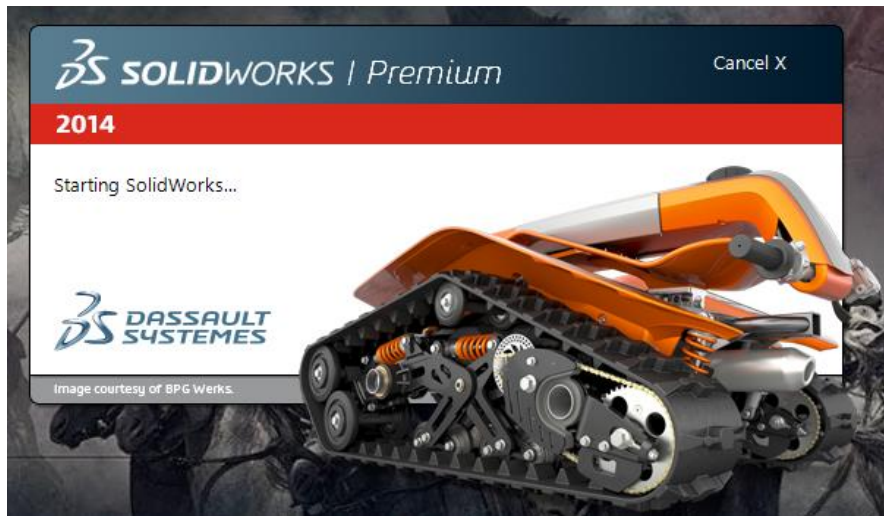
Gambar 3.1 Komputer Yang Digunakan

2. Perangkat Lunak *Solidworks* 2014

Perangkat Lunak *solidworks* merupakan program komputer yang berfungsi untuk melakukan analisa kekuatan. Program tersebut dapat membantu dalam proses pembuatan desain. Dengan demikian, selain waktu yang diperlukan menjadi lebih cepat, biaya yang dikeluarkan juga relatif lebih murah. *Solidworks* dibuat dengan berdasarkan pada teori yang terdapat dalam perumusan metode elemen hingga. Program ini relative lebih mudah digunakan untuk menggambar komponen 3D dibandingkan program-program sejenisnya.

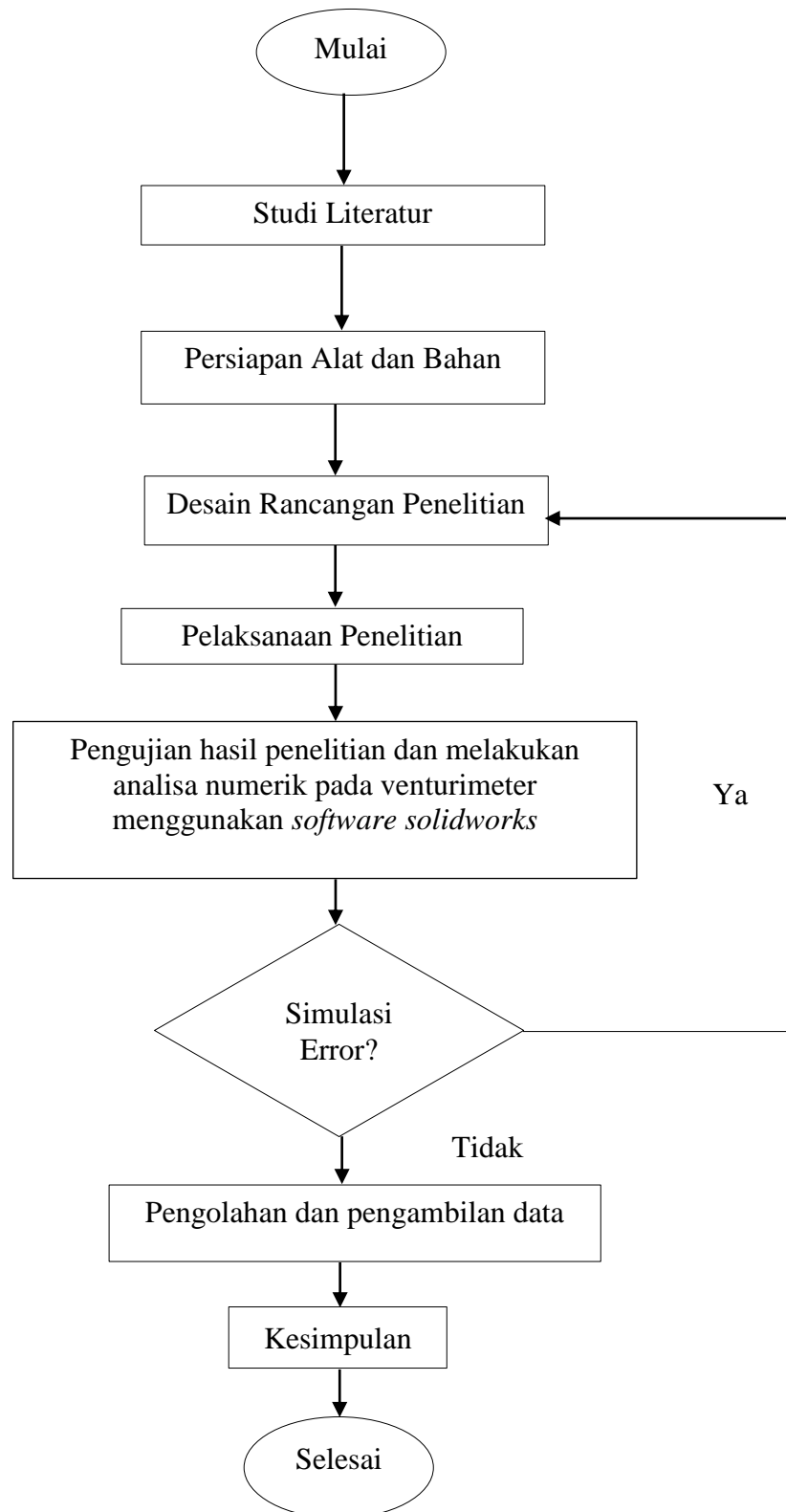
Adapun spesifikasi minimum yang diperlukan untuk menjalankan perangkat lunak *Solidworks 2014* adalah sebagai berikut

- Processor Intel atau AMD dengan SSE2 support
- Memori 8.00GB
- Sistem Operasi Windows 7 64-bit



Gambar 3.2 Perangkat Lunak *Solidworks* 2014

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.3 Bagan alir penelitian

3.4 Rancangan Model Simulasi

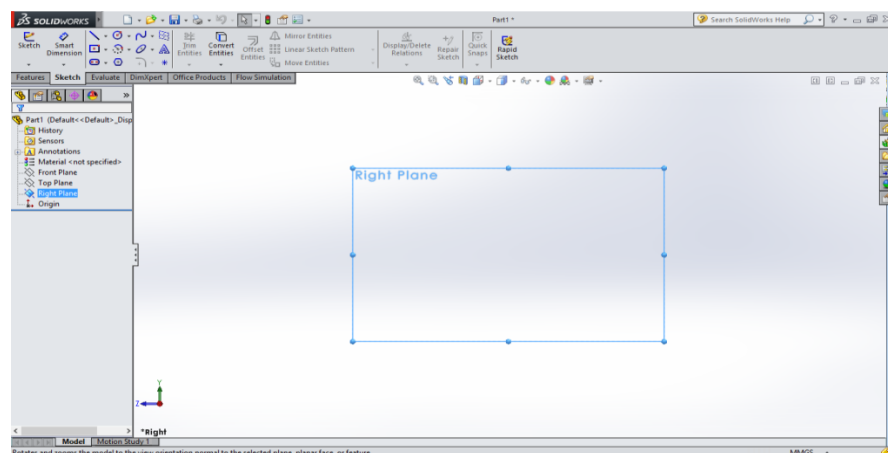
Model simulasi penelitian ini menggunakan perangkat lunak *solidworks* 2014. Model yang akan dirancang adalah venturimeter dengan disertai manometer. Adapun langkah-langkah perancangan model simulasi adalah sebagai berikut:

1. Nyalakan komputer yang akan digunakan untuk merancang desain venturimeter yang akan dibuat.
2. Buka perangkat lunak *solidworks* 2014 pada komputer.



Gambar 3.4 Tampilan Awal *Solidworks* 2014

3. Klik *New Document* pada sudut kanan atas tampilan *software Solidworks* 2014, kemudian pilih *Part* dan pilih OK.
4. Pilih *insert* pada menu bar kemudian pilih *Sketch* dan kemudian pilih bagian *Right Plane*.



Gambar 3.5 Menentukan *Plane* perancangan

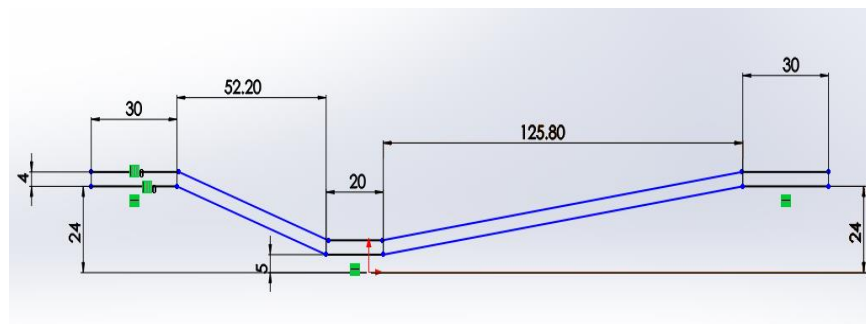
5. Membuat desain venturimeter

Venturimeter yang akan dilakukan pengujian memiliki ukuran sebagai berikut:

Diameter <i>inlet</i> dan <i>outlet</i>	:	48	mm
Panjang <i>inlet</i> dan <i>outlet</i>	:	30	mm
Panjang saluran <i>konvergen</i>	:	52,20	mm
Panjang <i>throat</i>	:	20	mm
Diameter <i>throat</i>	:	10	mm
Panjang <i>divergen</i>	:	125,80	mm
Tebal	:	4	mm

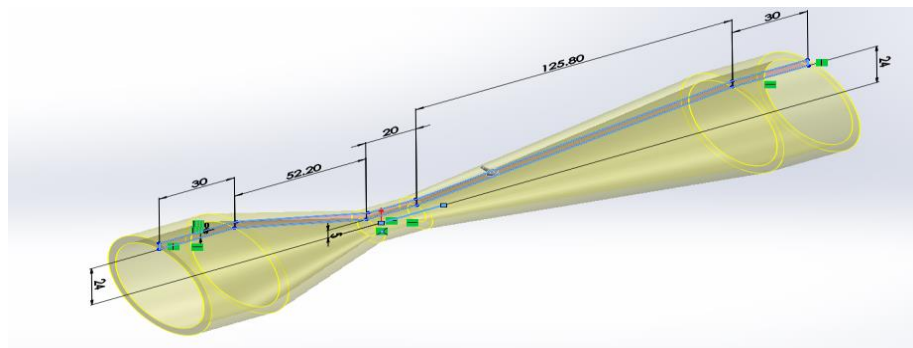
Adapun variasi ukuran atau leher venturimeter yakni dengan ukuran:

Panjang <i>throat</i>	:	30	mm
Diameter <i>throat</i>	:	10	mm



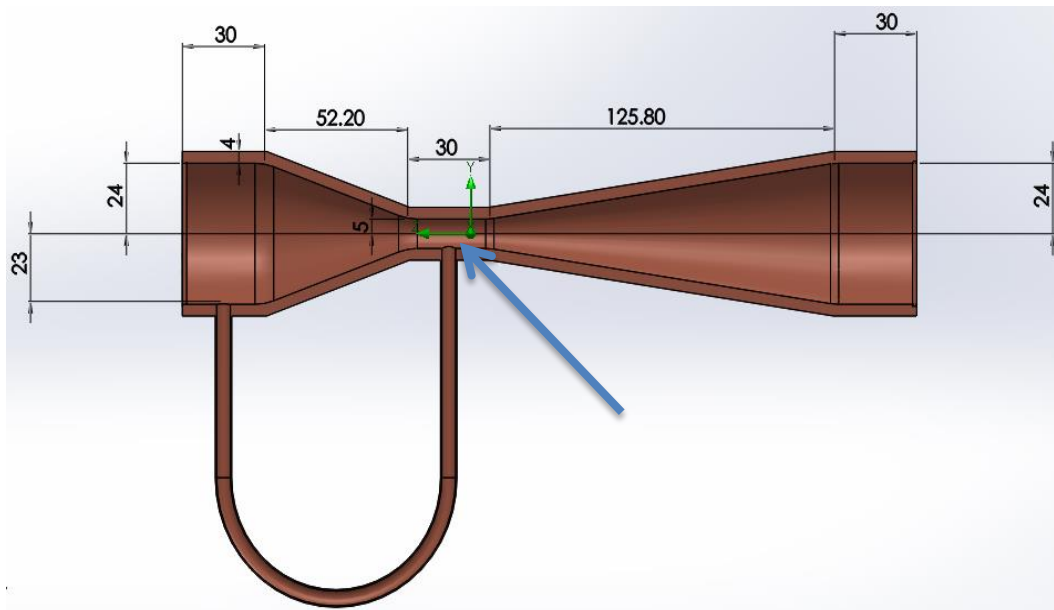
Gambar 3.6 Desain dan Ukuran Venturimeter

6. Setelah desain venturimeter selesai dibuat, pilih *Features* kemudian pilih *Revolved Boss/Base*.



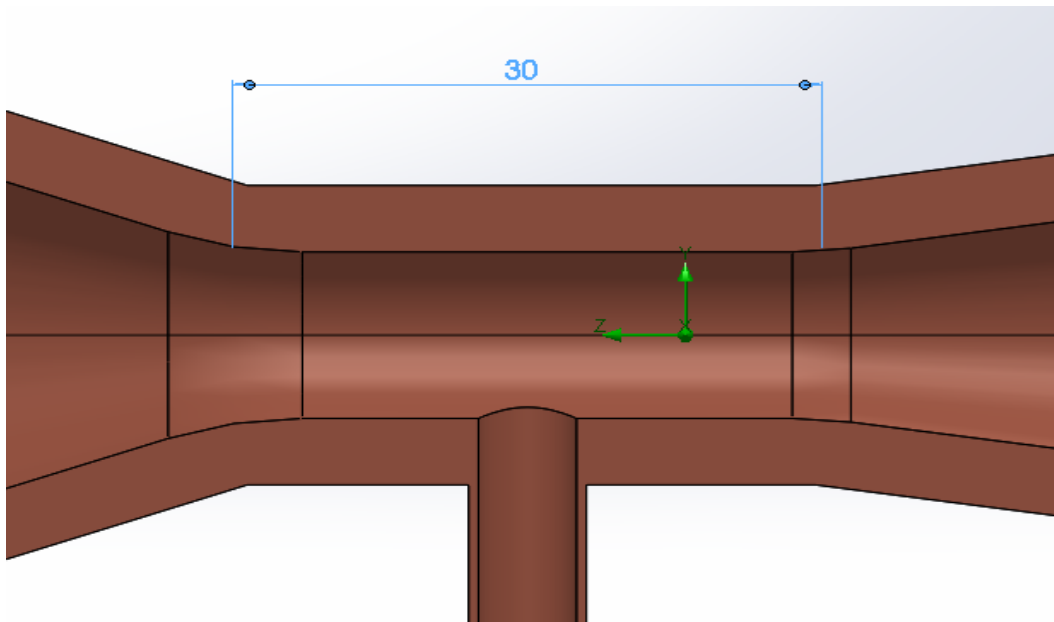
Gambar 3.7 Desain venturimeter setelah di *Revolved Boss/Base*

Adapun ukuran venturimeter dengan variasi diameter leher 10mm dan panjang 30mm adalah sebagai berikut:



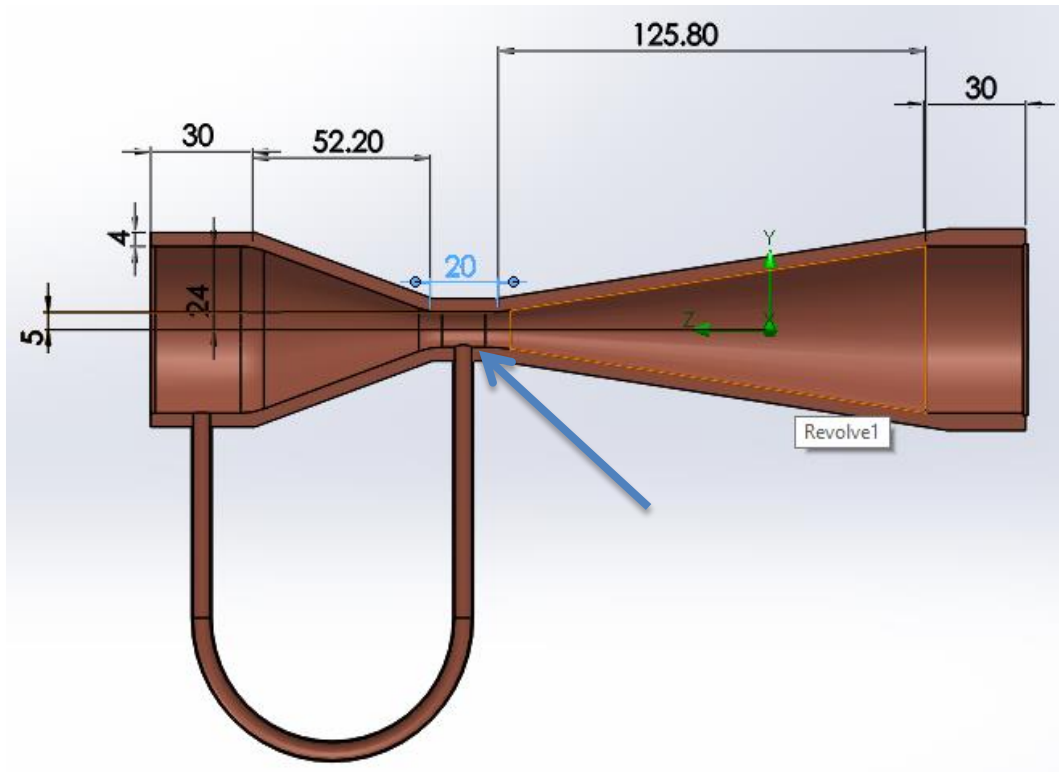
Gambar 3.8 Venturimeter dengan Ukuran diameter 10mm dan panjang leher 30mm

Berikut gambar ukuran leher yang divariasikan:



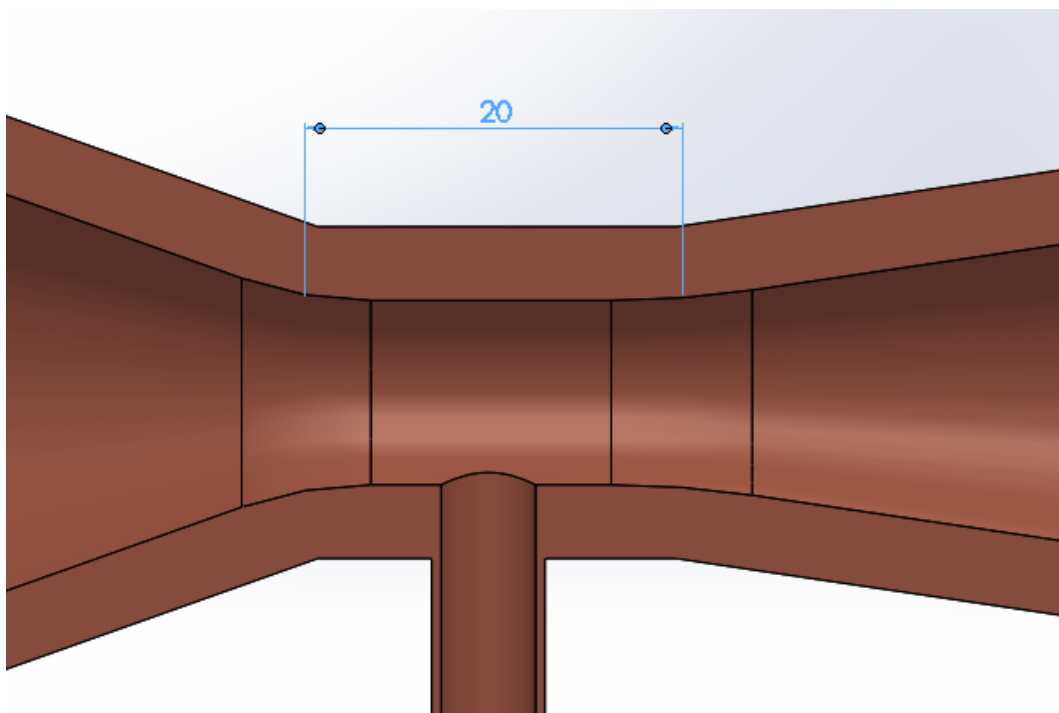
Gambar 3.9 Leher Venturimeter dengan Ukuran diameter 10mm dan Panjang Leher 30mm

Selain itu, ukuran venturimeter dengan variasi diameter leher 10mm dan panjang 30mm adalah sebagai berikut:



Gambar 3.10 Venturimeter dengan ukuran diameter 10mm dan panjang leher 20mm

Berikut gambar ukuran leher yang divariasikan:



Gambar 3.11 Leher Venturimeter dengan Ukuran diameter 10mm dan Panjang Leher 20mm

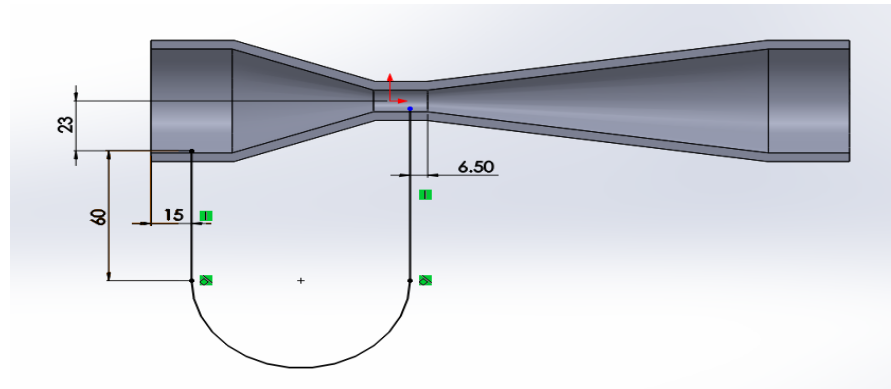
7. Membuat desain manometer pada venturimeter

Venturimeter yang akan disimulasikan memiliki manometer, desain serta ukuran manometer adalah sebagai berikut:

Diameter luar manometer : 6 mm

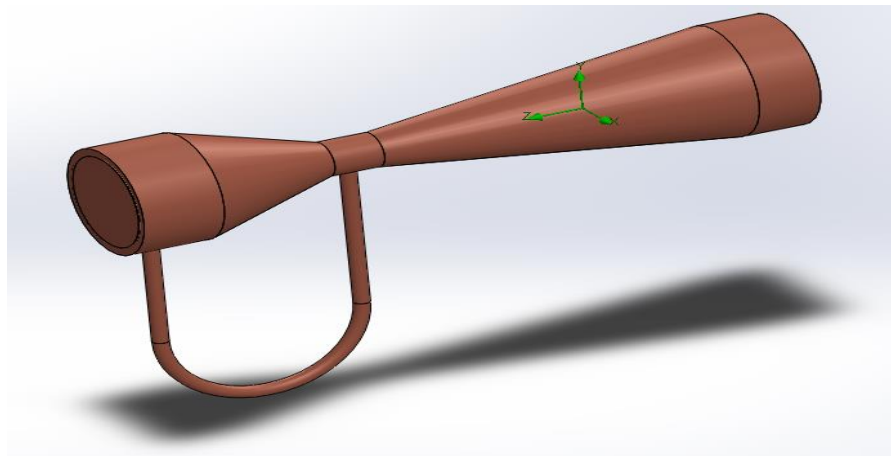
Diameter dalam manometer : 5 mm

Tinggi manometer pada sisi inlet : 60 mm



Gambar 3.12 Desain dan Ukuran Manometer

8. Setelah desain manometer pada venturimeter selesai dibuat, *Features* kemudian pilih *Revolved Boss/Base*.



Gambar 3.13 Desain manometer setelah di *Revolved Boss/Base*

3.5 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur yang akan dilakukan untuk mendapatkan hasil dari simulasi akibat adanya pengujian adalah sebagai berikut:

1. Pilih *flow simulation* yang ada pada menu bar pada *software solidworks 2014*.
2. Pilih *wizard* yang ada pada sub menu daripada *flow simulation*.

3. Pilih fluida yang akan dialiri pada venturimeter untuk dilakukan simulasi (dalam penelitian ini fluida yang dipilih air dengan suhu 25°C atau 298 K).
4. Masukkan nilai *roughness* atau kekasaran pada permukaan bagian dalam venturimeter (dipilih bahan tembaga dengan kekasaran permukaan 1,5 mikrometer).

Tabel 3.2 Nilai Kekasaran Permukaan Pipa (ϵ)

No.	Material	Ft	M
1.	<i>Riveted Steel</i>	0,003 - 0,03	0,0009 – 0,009
2.	<i>Concrete</i>	0,001 – 0,01	0,0003 – 0,003
3.	<i>Wood Stave</i>	0,0006 – 0,03	0,0002 – 0,0009
4.	<i>Cast Iron</i>	0,00085	0,00026
5.	<i>Galvanized Iron</i>	0,0005	0,00015
6.	<i>Asphalted Cast Iron</i>	0,0004	0,0001
7.	<i>Commercial Steel or Wrought Iron</i>	0,00015	0,000046
8.	<i>Drawn Brass or Copper Tubing</i>	0,000005	0,0000015
9.	<i>Glass and Plastic</i>	“smooth”	“smooth”

5. Masukkan nilai temperatur masuk fluida.
6. Pilih menu *boundary conditions* yang ada pada sub menu sebelah kiri kemudian masukkan nilai kecepatan masuk fluida dan klik pada bagian sisi *inlet* venturimeter.
7. Setelah itu pada bagian *boundary conditions* juga, pilih *environment pressure* yang bertujuan sebagai arah keluar daripada aliran fluida lalu klik pada bagian *outlet* venturimeter (penelitian ini dilakukan dengan nilai Re mulai dari 1000 – 5000).
8. Pilih *goals* pada sub menu sebelah kiri dengan tujuan agar memperoleh hasil dari data pengujian yang disimulasikan (dalam penelitian ini dipilih *goals* berupa *total pressure*).
9. Setelah selesai, klik *run* pada menu bar bagian atas

10. Setelah proses *running* selesai, klik menu *result* lalu klik *cut plot* dengan tujuan untuk menampilkan variasi warna aliran yang ditampilkan pada venturimeter. Warna yang ditampilkan bergantung terhadap *goals* atau capaian yang telah dipilih sebelum proses *run* dimulai.
11. Apabila ingin menampilkan bentuk aliran pada venturimeter, pilih menu *flow trajectories* lalu klik di bagian *inlet* pada venturimeter.
12. Lakukan percobaan berdasarkan variasi ukuran leher venturimeter serta variasi nilai Re mulai dari 1000 hingga 5000.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari simulasi penelitian fluktuasi tekanan pada sisi *inlet* dan *throat* pada venturimeter menggunakan perangkat lunak *Solidworks* 2014 disajikan dalam 2 variasi ukuran leher pada venturimeter dan 5 variasi bilangan Reynolds. Berikut ini adalah hasil dari simulasi fluktuasi tekanan yang dikelompokkan berdasarkan variasi ukuran leher pada venturimeter dan bilangan Reynolds.

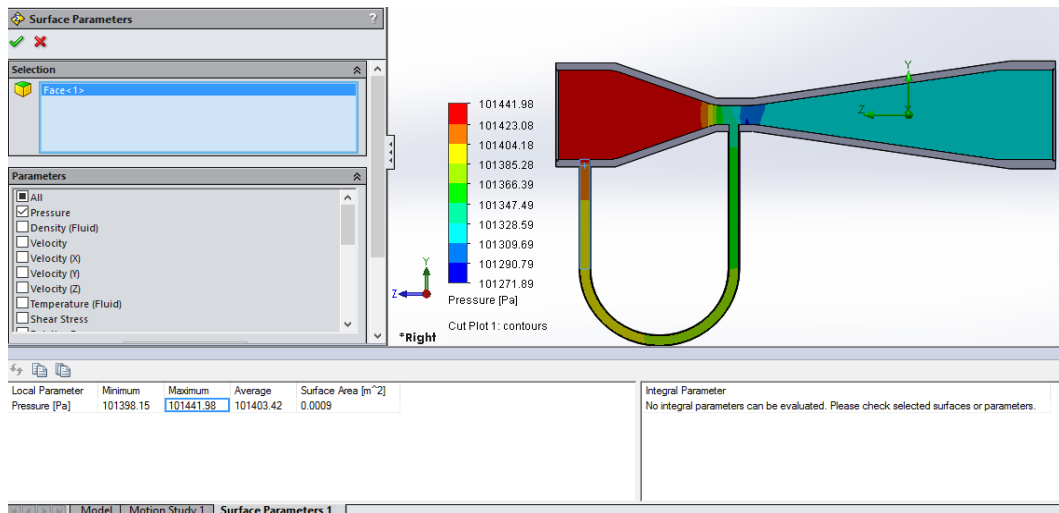
4.1 Aliran Dengan Variasi Bilangan Reynolds 1000

Variasi pertama adalah dengan menggunakan nilai bilangan Reynolds sebesar 1000, untuk menentukan nilai kecepatan dari variasi aliran ini, dapat dilakukan dengan perhitungan berikut:

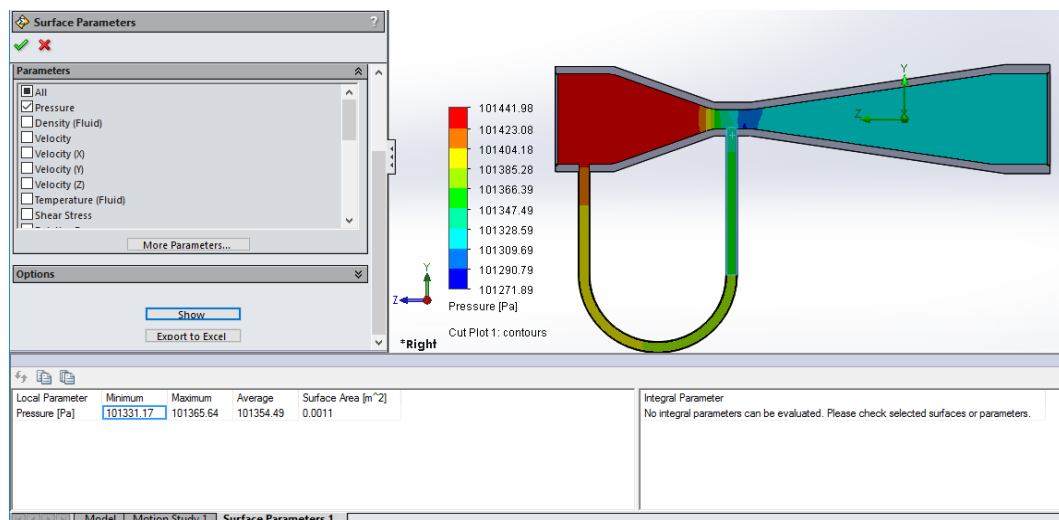
$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{v \cdot d}{\rho} \\ 1000 &= \frac{v \cdot 0,048}{0,893 \times 10^{-6}} \\ 1000 &= \frac{v \cdot 4,8 \times 10^{-2}}{8,93 \times 10^{-7}} \\ 1000 &= \frac{v \cdot 4,8 \times 10^{-2} \times 10^7}{8,93} \\ 1000 &= \frac{v \cdot 4,8 \times 10^5}{8,93} \\ 1000 &= 53751,399 \cdot v \\ v &= \frac{1000}{53751,399} \\ v &= 0,0186 \text{ m/s} \end{aligned}$$

4.1.1. Pada Variasi Diameter Leher 10mm dan Panjang 20mm

Boundary condition yang digunakan untuk proses simulasi ini yaitu untuk nilai *inlet velocity* adalah 0,0186 m/s, dan nilai suhu pada *environment pressure* adalah 298 K. Sehingga didapat hasil simulasi sebagai berikut:



Gambar 4.1 Visualisasi *Pressure Drop* dengan diameter 10mm dan panjang leher 20mm pada Bilangan Reynolds 1000 dengan h_1 Maksimum



Gambar 4.2 Visualisasi *Pressure Drop* dengan diameter 10mm dan panjang leher 20mm pada Bilangan Reynolds 1000 dengan h_2 Minimum

Simulasi dengan nilai bilangan Reynolds 1000 menunjukkan bahwa pada gambar terlihat adanya perbedaan ketinggian h_1 dan h_2 pada manometer U. Pada h_1 maksimum tercatat nilai tekanan pada titik tersebut sebesar 101441,98 Pa dan pada h_2 minimum tercatat nilai tekanan pada titik tersebut sebesar 101331,17 Pa.

Dikarenakan nilai tekanan dari masing masing titik sudah diperoleh, untuk mendapatkan nilai ΔP yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya dapat dilakukan dengan cara nilai tekanan h_1 maksimum dikurangi nilai tekanan h_2 minimum (101441,98-101331,17) sehingga didapat besaran nilai ΔP sebesar 110,81 Pa yang kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai Δh

dengan cara melakukan konversi satuan. Selain itu, nilai debit (Q) juga dihitung. Namun sebelumnya untuk mencari nilai debit harus diketahui dahulu nilai dari luas penampang (A_1 pada saluran *inlet* venturimeter dan A_2 pada saluran *throat*). Adapun perhitungan nilai Δh , A_1 dan A_2 serta Q yakni sebagai berikut:

Nilai r pada $A_1 = 24 \text{ mm}$

Nilai r pada $A_2 = 5 \text{ mm}$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \\ &= \frac{110,81}{997,08 \times 9,81} \\ &= 0,01133 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \pi \cdot r^2 \\ &= 3,14 \cdot 24^2 \\ &= 1808,64 \text{ mm} = 1,80864 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= \pi \cdot r^2 \\ &= 3,14 \cdot 5^2 \\ &= 78,5 \text{ mm} = 0,0785 \text{ m} \end{aligned}$$

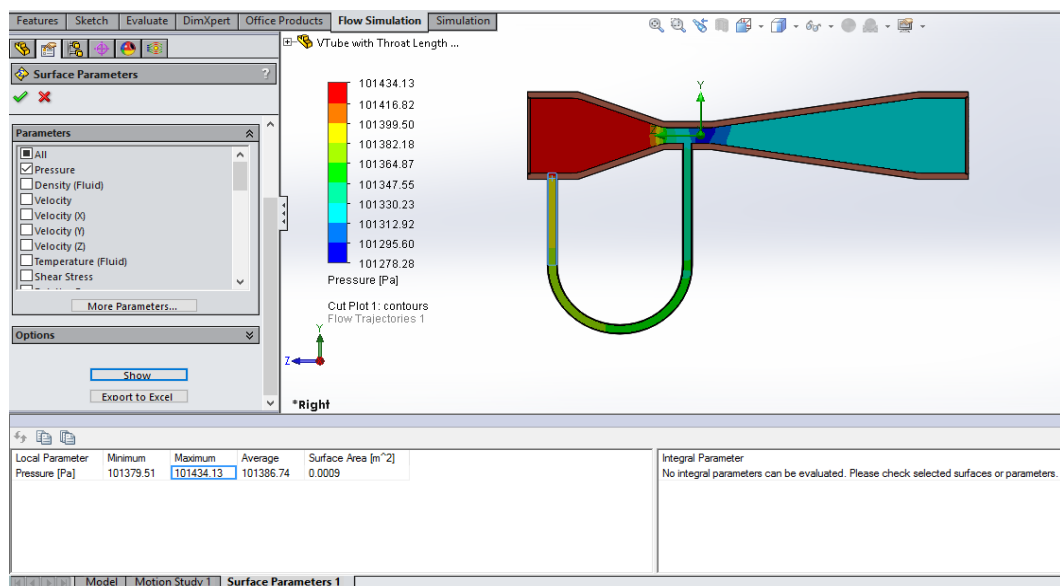
$$\begin{aligned} Q &= A \cdot v \\ &= 1,80864 \cdot 0,0186 \\ &= 0,03365 \text{ m}^3 / \text{s} \end{aligned}$$

Setelah perhitungan untuk mencari nilai Δh yang digunakan sebagai syarat untuk mencari nilai *velocity coefficient* (c) selesai dilakukan, selanjutnya langsung dapat dilakukan perhitungan. Nilai *velocity coefficient* (c) ini digunakan sebagai perbandingan untuk penyusunan grafik setelah seluruh perhitungan selesai dilakukan. Adapun perhitungan untuk mendapatkan nilai adalah sebagai berikut:

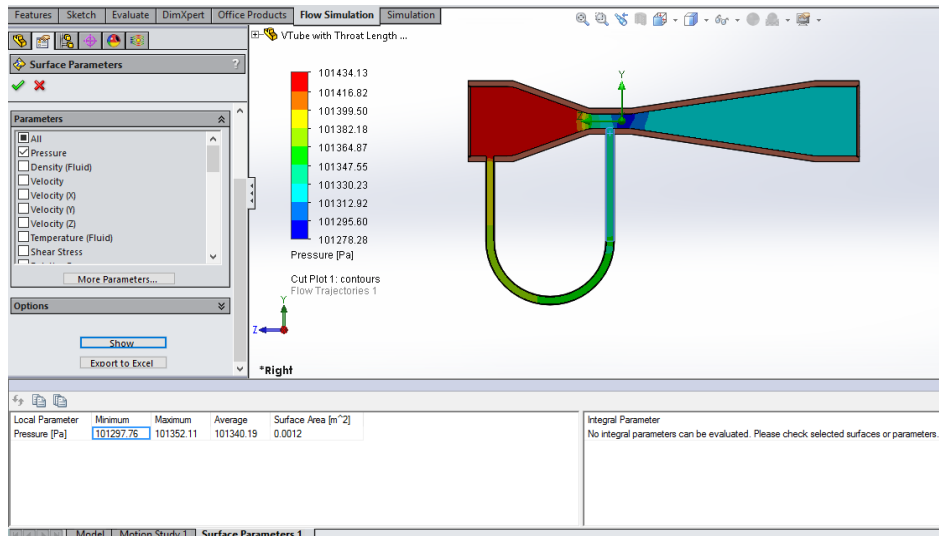
$$\begin{aligned}
c &= \frac{Q}{A_2} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}{2 \cdot g \times (h_1 - h_2)}} \\
&= \frac{0,03365}{0,0785} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{0,0785}{1,80864}\right)^2}{2 \cdot 9,81 (0,01133)}} \\
&= 0,42864 \sqrt{\frac{1 - (0,00189)}{0,2223}} \\
&= 0,42864 \sqrt{\frac{0,99812}{0,2223}} \\
&= 0,42864 \sqrt{4,49086} \\
&= 0,42864 \times 2,1192 \\
&= 0,90836
\end{aligned}$$

4.1.2. Pada Variasi Diameter Leher 10mm dan Panjang 30mm

Pada variasi diameter leher 10mm dan panjang 30mm dengan bilangan Reynolds 1000, didapat hasil tekanan sebagai berikut:



Gambar 4.3 Visualisasi *Pressure Drop* dengan diameter 10mm dan panjang leher 30mm pada Bilangan Reynolds 1000 dengan h_1 Maksimum.



Gambar 4.4 Visualisasi *Pressure Drop* dengan diameter 10mm dan panjang leher 30mm pada Bilangan Reynolds 1000 dengan h_2 Minimum.

Simulasi pada variasi diameter leher 10mm dan panjang leher 30mm, diperoleh nilai tekanan pada h_1 sebesar 101434,13 Pa dan pada tekanan h_2 diperoleh 101297,76 Pa. Dikarenakan nilai pada masing-masing sisi manometer telah diperoleh maka nilai ΔP dapat diperoleh dengan nilai h_1 dikurang nilai h_2 sehingga nilai ΔP sebesar 136,37 Pa sehingga dapat ditentukan nilai dari Δh . Adapun proses perhitungannya sebagai berikut:

Nilai r pada $A_1 = 24 \text{ mm}$

Nilai r pada $A_2 = 2,5 \text{ mm}$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \\ &= \frac{136,37}{997,08 \times 9,81} \\ &= 0,01394 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \pi \cdot r^2 \\ &= 3,14 \cdot 24^2 \\ &= 1808,64 \text{ mm} = 1,80864 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= \pi \cdot r^2 \\ &= 3,14 \cdot 2,5^2 \\ &= 19,625 \text{ mm} = 0,01963 \text{ m} \end{aligned}$$

Setelah besaran dari nilai Δh selesai dicari, selanjutnya dapat dihitung besaran nilai *velocity coefficient* (c).

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{Q}{A_2} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}{2 \cdot g \times (h_1 - h_2)}} \\
 &= \frac{0,03365}{0,0196} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{0,0196}{1,80864}\right)^2}{2 \cdot 9,81 (0,01394)}} \\
 &= 1,7168 \sqrt{\frac{1 - (0,00012)}{0,2735}} \\
 &= 1,7168 \sqrt{\frac{0,99988}{0,2735}} \\
 &= 1,7168 \sqrt{3,65587} \\
 &= 1,7168 \times 1,912 \\
 &= 3,2825
 \end{aligned}$$

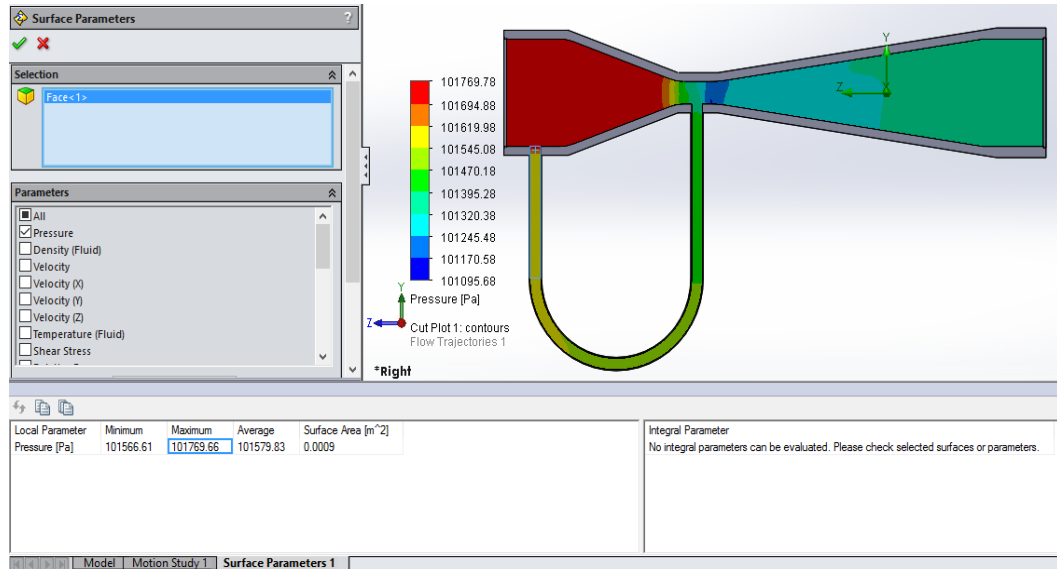
4.2 Aliran Dengan Bilangan Reynolds 2000

Variasi ke-2 adalah dengan menggunakan nilai bilangan Reynolds sebesar 2000, untuk menentukan nilai kecepatan dari variasi aliran ini, dapat dilakukan dengan perhitungan berikut:

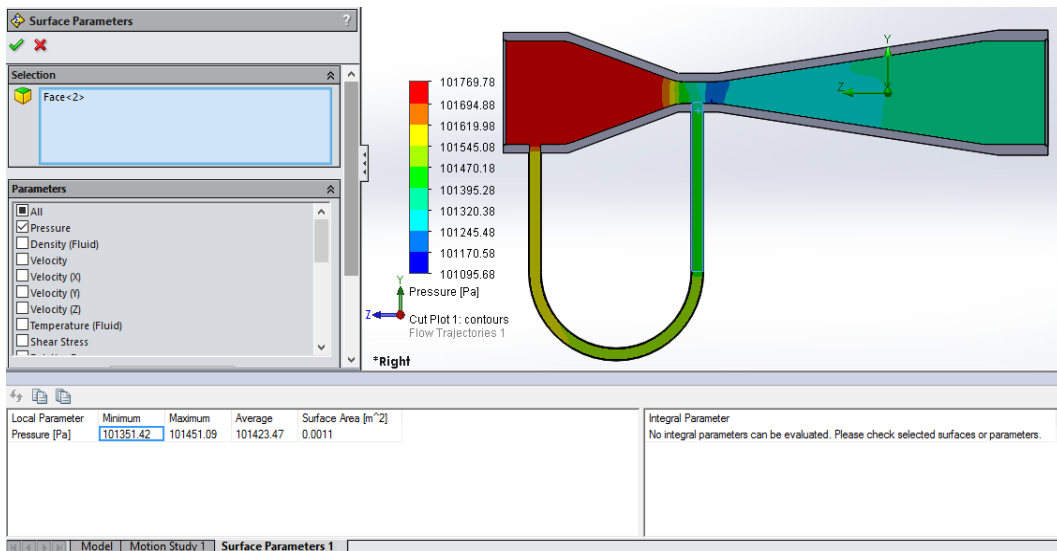
$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{v \cdot d}{\nu} \\
 2000 &= \frac{v \cdot 0,048}{0,893 \times 10^{-6}} \\
 2000 &= \frac{v \cdot 4,8 \times 10^{-2}}{8,93 \times 10^{-7}} \\
 2000 &= \frac{v \cdot 4,8 \times 10^{-2} \times 10^7}{8,93} \\
 2000 &= \frac{v \cdot 4,8 \times 10^5}{8,93} \\
 2000 &= 53751,399 \cdot v \\
 v &= \frac{2000}{53751,399} \\
 v &= 0,3721 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

4.2.1. Pada Variasi Diameter Leher 10mm dan Panjang 20mm

Pada variasi diameter leher 10mm dan panjang leher 20mm, diperoleh hasil simulasi sebagaimana divisualisasikan pada gambar berikut:



Gambar 4.5 Visualisasi *Pressure Drop* dengan diameter 10mm dan panjang leher 20mm pada Bilangan Reynolds 2000 dengan h_1 Maksimum



Gambar 4.6 Visualisasi *Pressure Drop* dengan diameter 10mm dan panjang leher 20mm pada Bilangan Reynolds 2000 dengan h_2 Minimum

Berdasarkan percobaan simulasi sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 4.5 dan 4.6 terlihat bahwa adanya perbedaan tekanan antara kedua titik pada

manometer U yakni pada titik h_1 dan h_2 . Pada titik h_1 maksimum tercatat tekanan 101769,66 Pa. Sementara itu tekanan pada h_2 minimum sebesar 101351,42 Pa.

Setelah tekanan pada kedua titik didapat, selanjutnya dapat ditentukan besaran nilai ΔP , yakni sebesar 418,24 Pa yang kemudian hasil dari perhitungan tersebut dapat digunakan untuk mencari nilai Δh dan debit (Q). Namun sebelumnya untuk mencari nilai debit harus diketahui dahulu nilai dari luas penampang (A_1 pada saluran *inlet* venturimeter dan A_2 pada saluran *throat*).

Nilai r pada $A_1 = 24 \text{ mm}$

Nilai r pada $A_2 = 5 \text{ mm}$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$\begin{aligned}\Delta h &= \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \\ &= \frac{418,24}{997,08 \times 9,81} \\ &= 0,04276 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_1 &= \pi \cdot r^2 \\ &= 3,14 \cdot 24^2 \\ &= 1808,64 \text{ mm} = 1,80864 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_2 &= \pi \cdot r^2 \\ &= 3,14 \cdot 5^2 \\ &= 78,5 \text{ mm} = 0,0785 \text{ m}\end{aligned}$$

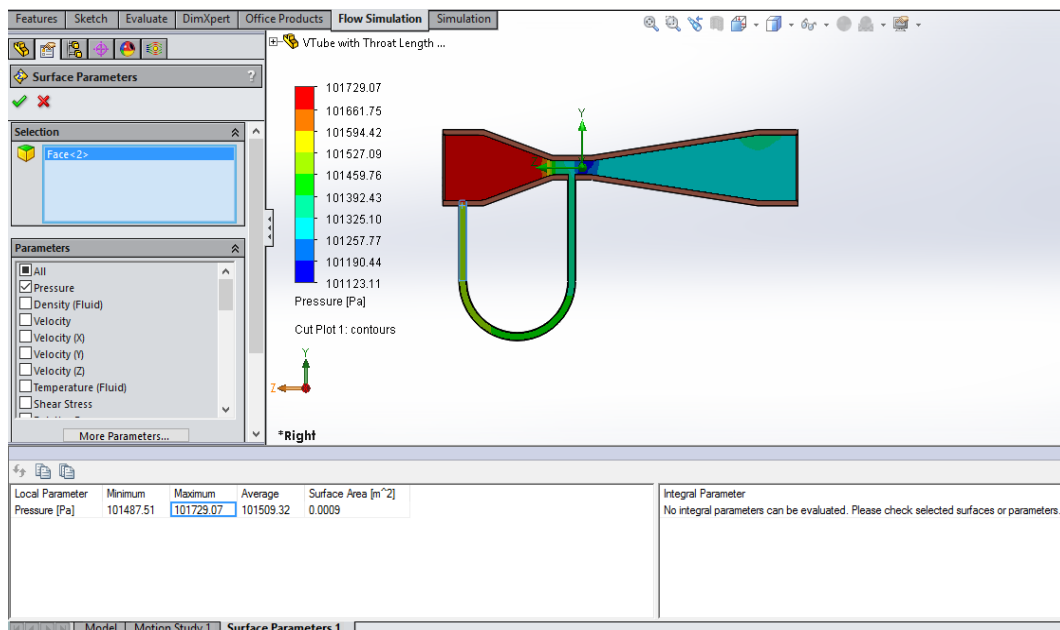
$$\begin{aligned}Q &= A \cdot v \\ &= 1,80864 \cdot 0,03721 \\ &= 0,0673 \text{ m}^3 / \text{s}\end{aligned}$$

Kemudian, setelah kedua nilai didapat dari perhitungan diatas, dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai dari *velocity coefficient* (c) yang akan digunakan untuk perbandingan grafik. Sebagaimana diuraikan pada perhitungan berikut:

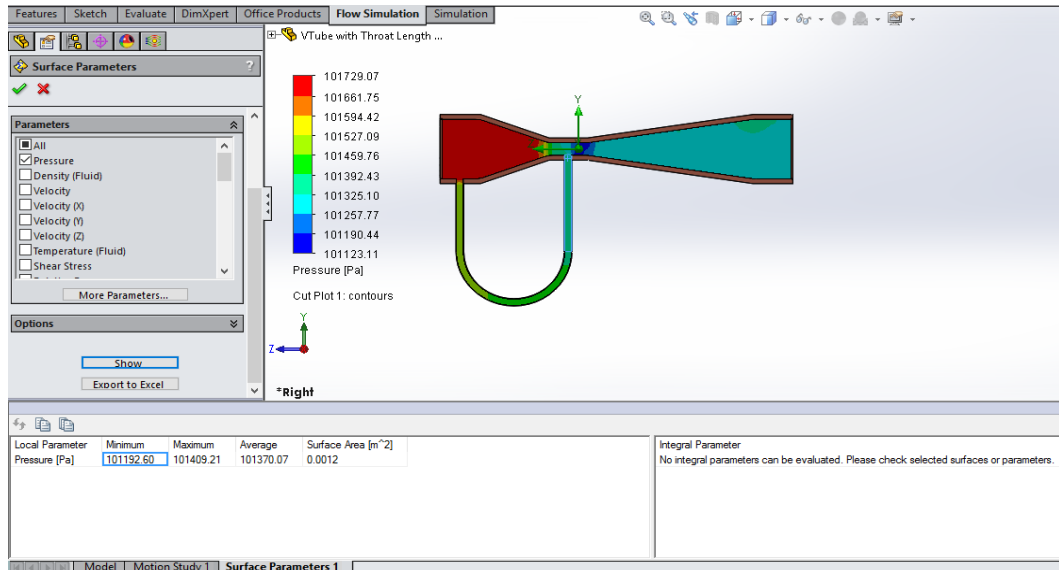
$$\begin{aligned}
c &= \frac{Q}{A_2} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}{2 \cdot g \times (h_1 - h_2)}} \\
&= \frac{0,0673}{0,0785} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{0,0785}{1,80864}\right)^2}{2 \cdot 9,81 (0,04276)}} \\
&= 0,85728 \sqrt{\frac{1 - (0,00189)}{0,8389}} \\
&= 0,85728 \sqrt{\frac{0,99812}{0,8389}} \\
&= 0,85728 \sqrt{1,18978} \\
&= 0,85728 \times 1,09077 \\
&= 0,935094
\end{aligned}$$

4.2.2. Pada Variasi Diameter Leher 10mm dan Panjang 30mm

Setelah dilakukannya simulasi pada variasi diameter leher 10mm dan panjang 30mm, diperoleh hasil tekanan sebagai berikut:



Gambar 4.7 Visualisasi *Pressure Drop* dengan diameter 10mm dan panjang leher 30mm pada Bilangan Reynolds 2000 dengan h_1 Maksimum



Gambar 4.8 Visualisasi *Pressure Drop* dengan diameter 10mm dan panjang leher 30mm pada Bilangan Reynolds 2000 dengan h_2 Minimum

Dari penjelasan yang tercantum pada hasil simulasi gambar 4.7 dan 4.8 tertera bahwa besaran tekanan pada h_1 maksimum adalah 101729,07 Pa. Sementara itu tekanan pada h_2 minimum adalah 101192,60 Pa. Selisih antara kedua tekanan (ΔP) sebesar 536,47 Pa sehingga dapat ditentukan nilai dari Δh . Adapun proses perhitungannya sebagai berikut:

Nilai r pada $A_1 = 24$ mm

Nilai r pada $A_2 = 2,5$ mm

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$

$$= \frac{536,47}{997,08 \times 9,81}$$

$$= 0,05485 \text{ m}$$

$$A_1 = \pi \cdot r^2$$

$$= 3,14 \cdot 24^2$$

$$= 1808,64 \text{ mm} = 1,80864 \text{ m}$$

$$A_2 = \pi \cdot r^2$$

$$= 3,14 \cdot 2,5^2$$

$$= 19,625 \text{ mm} = 0,01963 \text{ m}$$

Kemudian untuk mencari besaran nilai *velocity coefficient* (c) dapat dilakukan dikarenakan nilai ΔP dan nilai Q sudah diketahui. Adapun perhitungan nilai *velocity coefficient* (c) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{Q}{A_2} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}{2 \cdot g \times (h_1 - h_2)}} \\
 &= \frac{0,0673}{0,01963} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{0,01963}{1,80864}\right)^2}{2 \cdot 9,81 (0,05485)}} \\
 &= 3,4285 \sqrt{\frac{1 - (0,01086)}{1,07616}} \\
 &= 3,4285 \sqrt{\frac{0,98914}{1,07616}} \\
 &= 3,4285 \sqrt{0,91914} \\
 &= 3,4285 \times 0,95872 \\
 &= 3,2869
 \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Variasi Bilangan Reynolds dengan Diameter Leher 10mm dan Panjang 20mm Terhadap Beberapa Parameter.

No.	V (m/s)	Reynolds	Q (m ³ /s)	h ₁	h ₂	ΔP (Pa)	Δh (mH ₂ O)	C
				Maksimum (Pa)	Minimum (Pa)			
3.	0,05582	3000	0,10095	102312,77	101380,25	932,52	0,0954	0,93735
4.	0,07442	4000	0,13459	102947,13	101284,31	1662,82	0,1699	0,93973
5.	0,09303	5000	0,16825	103816,61	101228,11	2588,16	0,2646	0,93994

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Variasi Bilangan Reynolds dengan Diameter Leher 10mm dan Panjang 30mm Terhadap Beberapa Parameter.

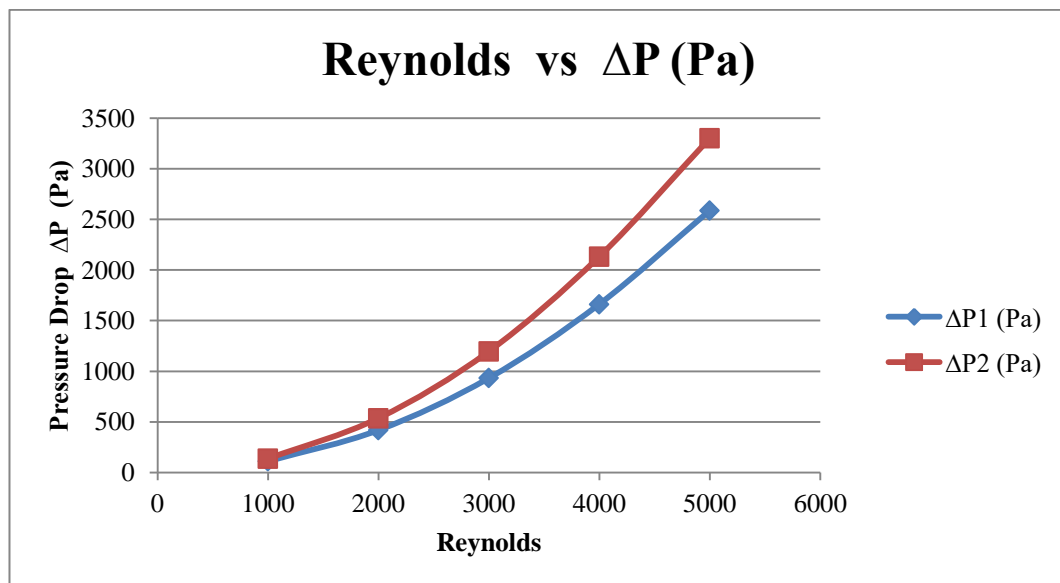
No.	V (m/s)	Reynolds	Q (m ³ /s)	h ₁	h ₂	ΔP (Pa)	Δh (mH ₂ O)	C
				Maksimum (Pa)	Minimum (Pa)			
3.	0,05582	3000	0,10095	102191,46	100994,56	1196,44	0,12232	3,31442
4.	0,07442	4000	0,13459	102884,96	100751,84	2133,12	0,21808	3,31930
5.	0,09303	5000	0,16825	103740,18	100437,96	3302,22	0,33760	3,32998

4.3 Grafik Pembahasan

Setelah seluruh perhitungan telah dilakukan, selanjutnya hasil perhitungan dari simulasi yang diperoleh dapat ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan. Dari grafik dapat disimpulkan bahwa keseluruhan jenis aliran fluida yang disimulasikan saling berhubungan. Adapun beberapa grafik yang ditampilkan diantaranya adalah:

Tabel 4.3 Nilai Perbandingan Grafik Reynolds terhadap *Pressure Drop*

Reynolds	ΔP_1 (Pa)	ΔP_2 (Pa)
1000	110.81	136,37
2000	418.24	536,47
3000	932.52	1196,44
4000	1662.82	2133,12
5000	2588.16	3302,22



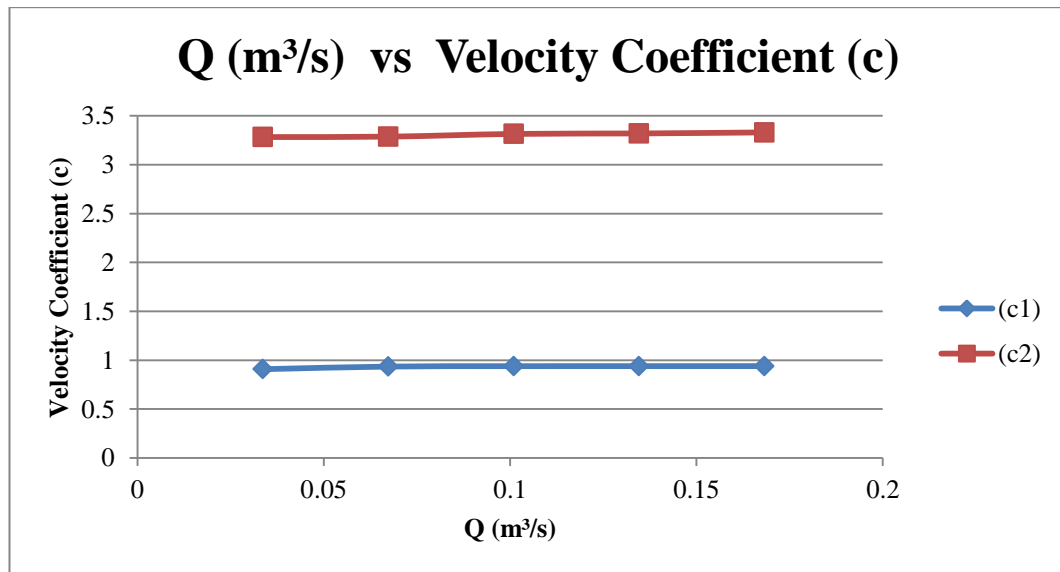
Gambar 4.9 Grafik Fluktuasi Reynolds Terhadap *Pressure Drop*

Dari grafik perbandingan antara nilai bilangan Reynolds terhadap *Pressure Drop* dapat disimpulkan bahwa penyebab terjadinya kenaikan pada nilai *Pressure Drop* dikarenakan meningkatnya nilai kecepatan yang masuk pada saluran inlet. Sementara itu nilai kecepatan meningkat diakibatkan karena bilangan Reynolds yang meningkat. Dengan kata lain bila nilai bilangan Reynolds semakin tinggi akan mengakibatkan efek domino terhadap parameter-parameter lainnya pada venturimeter.

ΔP_1 adalah venturimeter dengan panjang leher 20mm dan diameter leher adalah 10mm. ΔP_2 adalah venturimeter dengan panjang leher 30mm dan diameter leher 10mm. Pada grafik terlihat jelas perbedaan bahwa ΔP_1 penurunan tekanan lebih kecil karena panjang leher venturimeter lebih besar dibandingkan dengan ΔP_2 .

Tabel 4.4 Nilai Perbandingan pada Grafik Debit Aliran terhadap Velocity Coefficient

Q (m ³ /s)	Velocity Coefficient (c ₁)	Velocity Coefficient (c ₂)
0.03365	0.90836	3,2825
0.0673	0.9351	3,2869
0.10095	0.93935	3,3144
0.1346	0.93979	3,3193
0.16825	0.93994	3,3299



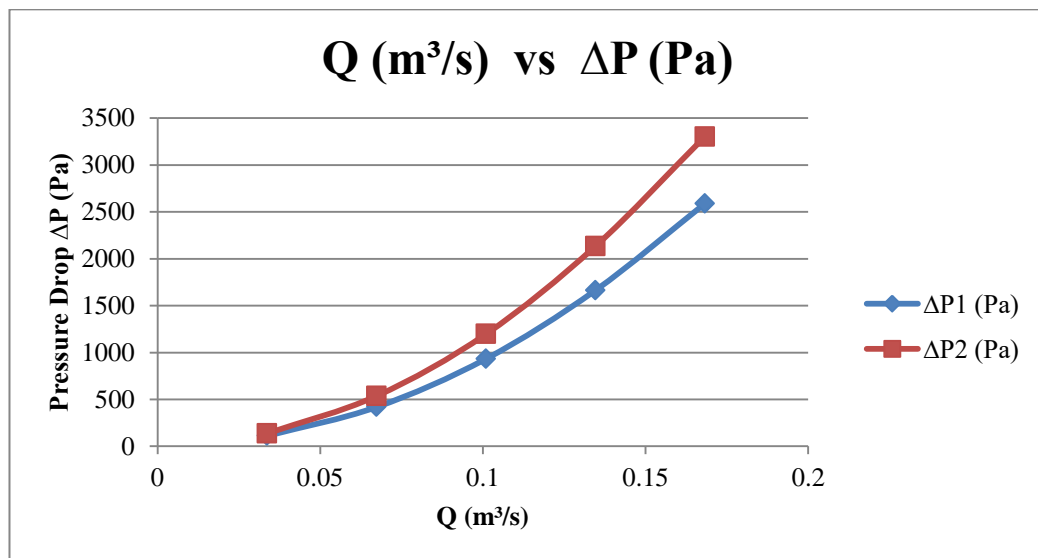
Gambar 4.10 Grafik Fluktuasi Debit Aliran Terhadap Velocity Coefficient

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa terjadi perbedaan nilai koefisien kecepatan pada masing-masing diameter dan panjang leher venturimeter. Pada ukuran leher dengan panjang 30mm, disimpulkan bahwa nilai koefisien kecepatan lebih besar dibandingkan dengan ukuran panjang 20mm. Hal ini disebabkan karena panjang leher yang lebih kecil akan mempengaruhi aliran yang akan melalui leher venturimeter sehingga mengakibatkan penurunan tekanan. Pada simulasi ini nilai debit bergantung pada besaran nilai kecepatan pada saluran *inlet*,

semakin tinggi kecepatan yang masuk maka semakin tinggi juga nilai debit yang dihasilkan. Secara otomatis hal ini juga berpengaruh terhadap nilai *velocity coefficient* yang dihasilkan. Dengan demikian, bila nilai penurunan tekanan lebih besar, nilai koefisien kecepatan yang dihasilkan juga akan meningkat.

Tabel 4.5 Nilai Perbandingan pada Grafik Debit Aliran terhadap Pressure Drop

Q (m ³ /s)	ΔP_1 (Pa)	ΔP_2 (Pa)
0.03365	110.81	136,37
0.0673	418.24	536,47
0.10095	932.52	1196,44
0.1346	1662.82	2133,12
0.16825	2588.16	3302,22



Gambar 4.11 Grafik Fluktuasi Debit Aliran Terhadap *Pressure Drop*

Dari grafik perbandingan pada gambar 4.11 diketahui bahwa nilai penurunan tekanan pada masing-masing variasi berbeda. Hal ini disebabkan karena besaran panjang leher venturimeter pada kedua variasi mengalami perbesaran panjang. Variasi venturimeter dengan panjang lebih kecil akan menghasilkan nilai penurunan tekanan yang lebih kecil dibandingkan dengan venturimeter dengan panjang leher yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena lamanya durasi aliran yang akan melewati leher venturimeter. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran panjang pada leher venturimeter maka waktu yang dibutuhkan fluida untuk melewati leher venturi akan semakin lama

sehingga penurunan tekanan jelas akan lebih besar dibandingkan dengan ukuran panjang leher venturimeter yang lebih kecil.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Semakin besar kecepatan fluida yang masuk melalui saluran *inlet*, maka akan semakin besar pula bilangan Reynolds, debit aliran, dan penurunan tekanan yang dihasilkan.
2. Pada pengujian dengan variasi bilangan Reynolds 1000 hingga bilangan Reynolds 5000, perbedaan ketinggian pada manometer U terjadi fluktuasi. Nilai ketinggian pada masing masing titik diperoleh dengan melakukan konversi satuan dari Pa ke mH₂O.
3. Dalam proses simulasi pada variasi ukuran leher venturimeter, terdapat perbedaan bahwasanya nilai penurunan dipengaruhi oleh besar kecilnya ukuran panjang leher pada venturimeter. Semakin besar ukuran panjang leher maka nilai penurunan tekanan akan lebih besar. Hal ini diakibatkan karena durasi aliran fluida melewati leher venturimeter akan lebih lama bila melewati leher venturimeter yang lebih panjang.
4. Koefisien kecepatan yang dihasilkan sangat bergantung terhadap kecepatan yang masuk melalui saluran *inlet* pada pipa venturi, jika kecepatan lebih besar maka nilai debit aliran akan semakin besar pula. Artinya apabila salah satu dari nilai parameter mengalami perbesaran atau pengecilan nilai, akan mempengaruhi parameter-parameter lainnya.

5.2 Saran

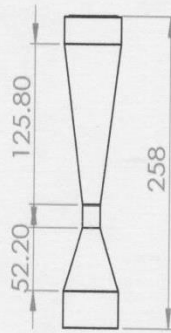
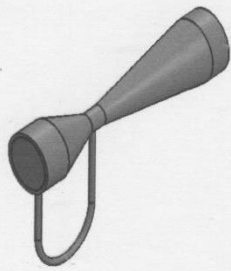
Pada penelitian ini terdapat beberapa kekurangan yang menghambat jalannya proses penelitian. Adapun saran yang diajukan yaitu proses simulasi penelitian sebaiknya menggunakan komputer dengan spesifikasi yang memang dikhususkan untuk proses simulasi agar tercapainya hasil simulasi yang lebih akurat dengan berbagai metode dan waktu penyelesaian simulasi menjadi lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

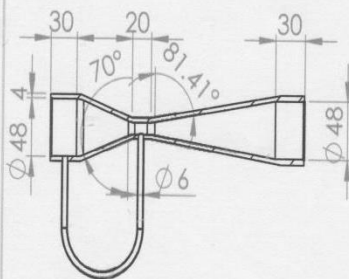
- Abidin, K., Wagiani, S. (2013). *Studi analisis perbandingan kecepatan aliran air melalui pipa venturi dengan perbedaan diameter pipa*. Jurnal Dinamika (4)1, 62-78.
- Chapra, S. C., Canale, R. P. (2015). *Numerical methods for engineers, seventh edition*. New York, NY: McGraw-Hill Education.
- Farhun, A. (2017). *Analisa pengaruh variasi sudut sambungan belokan 90° terhadap head losses aliran pipa*. Gowa: Universitas Hasanuddin.
- Giles, R. V., (1984), *Mekanika Fluida dan Hidraulika*. (Ed.2). Jakarta: Erlangga.
- Hirsch, C. (2007). *Numerical computation of internal and external flows*. John Wiley & Sons, Ltd, (2)1.
- Moukalled, F., Mangani, L., Darwish, M. (2016). *The finite volume method in computational fluid dynamics*. Springer international publishing Switzerland. Vol. 113.
- Munson, B. R., Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H. (2004). *Mekanika Fluida*. Jilid 1, (Ed.4). Jakarta: Erlangga
- Nevers, D. N. (1991). *Fluids mechanics for chemical engineering*. McGraw-Hill. International edition.
- Pudjiwahyuni, S. R. (1999). *Mengukur besar debit aliran fluida pada venturimeter*. Surabaya: Universitas Katolik Widya Mandala
- Ridwan. (2000). *Mekanika Fluida Dasar*. Jakarta Pusat: Gunadarma
- Sanghani, C. R., Jayani, D. C., Jadvani, N. R., Dobariya H. N., Jasoliya, K. R. (2016). *Effect of geometrical parameters of venturimeter on pressure drop*. IJSRSET, (2)2, 865-868.
- Saputri, S. D. (2009). *Rancang bangun venturimeter berbasis mikrokontroler*. Depok: Universitas Indonesia.
- Shearer, M., Levy, R. (2015). *Partial differential equations an introduction to theory and applications*. New Jersey: Princeton University Press.
- Shroamer, D. (2017). *Venturi tubes design*. <https://grabcad.com/library/ventury-tubes> . Diakses 28 Januari 2019

- Sudarja. (2002). *Mekanika Fluida Dasar*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Sutrisno. (2014). *Kajian teoritik dan experimental friction factor pada pipa galvanish dengan aliran fluida air panas*. Politeknosains, 13(2), 13-23.
- Tamhankar, N., Pandhare, A., Joglekar, A., Banshode, V. (2014). *Experimental and CFD analysis of flow through venturimeter to determine the coefficient of discharge*. IJLTET, 3(4), 195-200.
- Versteeg, H. K. (1995). *An introduction to computational fluid dynamics thee finite volume method*. Longman scientific & technical. England.
- Versteeg, H. K., Malalasekera, W (2007). *An introduction to computational fluid dynamics thee finite volume method*. Pearson education limited (Ed.2). England.
- Widayana, G., Yuwono, T. (2010). *Studi eksperimental dan numeric aliran dua fase (air-udara) melewati elbow 30° dari pipa vertikal menuju pipa dengan sudut 60°*. Jurnal Teknik Mesin. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Yamin, M. F. (2016). *Perancangan dan pengujian alat uji pompa seri dan parallel*. Bandar Lampung: Universitas Lampung

LAMPIRAN



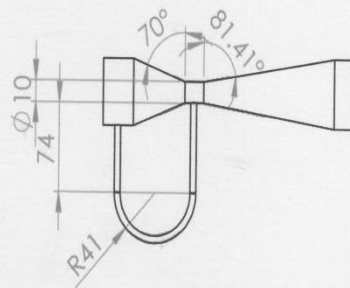
PANDANGAN ATAS



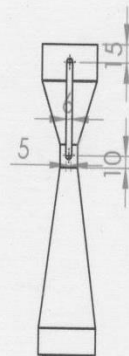
POTONGAN A-A



PANDANGAN DEPAN



PANDANGAN SAMPING



PANDANGAN BAWAH



Skala : 1:2
 Satuan : MM
 Tanggal : 14-03-2019

Digambar : FIKI ARIZA
 NPM : 1507230239
 Diperiksa : Dr.Eng Rakhmad Arief Siregar

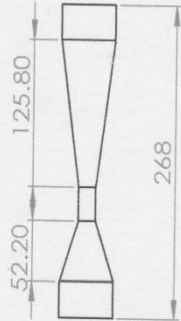
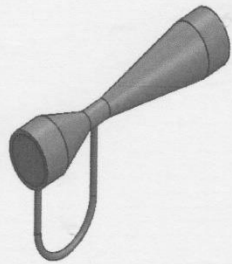
Keterangan :

TEKNIK MESIN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
 SUMATERA UTARA

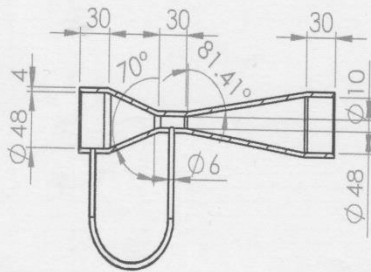
VENTURIMETER DENGAN PANJANG
 LEHER 20MM

No. 1

A4



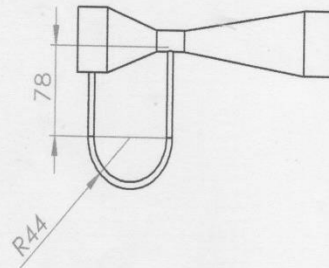
PANDANGAN ATAS



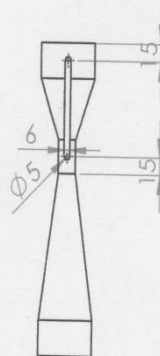
POTONGAN A-A



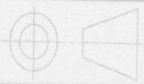
PANDANGAN DEPAN



PANDANGAN SAMPING



PANDANGAN BAWAH

	Skala : 1 : 2	Digambar : FIKI ARIZA	Keterangan :
	Satuan : MM	NPM : 1507230239	
	Tanggal : 14-03-2019	Diperiksa : Dr.Eng Rakhmad Arief Siregar	
TEKNIK MESIN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA	VENTURIMETER DENGAN PANJANG LEHER 30MM		No. 2 A4

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisa Numerik Pada Venturimeter

Nama : Fiki Ariza
 NPM : 1507230239

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

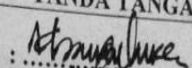
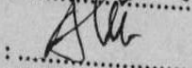
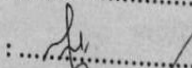
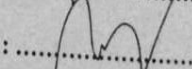
No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	03/01-19	- Pemberian pertanyaan tugas	k
2.	09/01-19	- Perbincangan pustaka	k
3.	12/01-19	- Perbincangan pertemuan E.F.D	k
4.	16/01-19	- Perbincangan Metode	k
5.	19/01-19	- Perbincangan analisis	k
6.	29/01-19	- Lanjut ke perbincangan 2	k
7.	04/02-19	- Perbaiki keterangan grafik pada gambar 4.12 dan 4.13	Sh
8.	06/02-19	- Perbaiki spasi	Sh
9.	09/02-19	- Layar ke pembimbing 1	Sh
10.	14/02-19		
11.	10/02-19	- Ace, semina	k

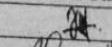
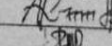

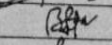
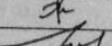
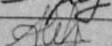
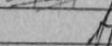


DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2018 – 2019

Peserta Seminar

Nama : Fiki Ariza
NPM : 1507230239
Judul Tugas Akhir : Analisa Numerik Pada Venturimeter.

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 : Bekti Suroso.S.T.M.Sc Dr.Eng. Rakhmad Arief Gregom	

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230246	Jefri Maulana Lubis	
2	1507230155	ANDRIANTO	
3	1507230120	Rendy Kuswary	
4	1407230236	Mikhairul Fidiy Pangkajene	
5	1407230208	M RINALDI / SALIM SIRIBGAR	
6	1407230273	MUKHLIS	
7	1407230212	Gunung Triandhi	
8	1407230200	M. FACHRULROZI DAMANIK	
9	1407230190	Abdullah Afif Al Karim	
10			

Medan, 01 Rajab 1440 H
08 Maret 2019 M

Ketua Prodi. T.Mesin



Aifandi.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Fiki Ariza
NPM : 1507230230
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Pada Venturismeter.

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 : Bekti Suroso.S.T.M.Eng

KEPUTUSAN

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

..... lihat dosen tugas selanjut.
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan 01 Rajab 1440H
08 Maret 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 : Fiki Ariza
NPM : 1507230230
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Pada Venturismeter.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T
Dosen Pemanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pemanding - II : Bekti Suroso.S.T.M.Eng

KEPUTUSAN


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

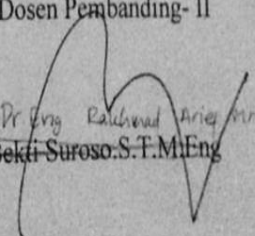
.....
.....
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan 01 Rajab 1440H
08 Maret 2019 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin

Affandi.S.T.M.T

Dosen Pemanding- II

Dr. Eng. Rahmad Arief M.Eng
Bekti Suroso.S.T.M.Eng

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

1. Nama : FIKI ARIZA
2. Jenis Kelamin : Laki-Laki
3. Tempat, Tanggal Lahir : Simalungun, 05 September 1998
4. Kewarganegaraan : Indonesia
5. Status : Belum Menikah
6. Agama : Islam
7. Alamat : Jl. K.L. Yos Sudarso K.M 9,3 Medan Gg Saudara
8. No. Hp : 085373216822
9. Email : fikiariza.fa@gmail.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

NO	PENDIDIIKAN FORMAL	TAHUN
1	SD SWASTA PUTRA NEGERI	2003 – 2009
2	SMP NEGERI 33 MEDAN	2009 – 2012
3	SMK TR SINAR HUSNI 2	2012 – 2015
4	Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2015 – 2019