

SKRIPSI

**PENGARUH TEGANGAN DAN TEKANAN FLUIDA
TERHADAP PERUBAHAN KOEFISIEN GESEK PADA PIPA
DENGAN METODE EKSPERIMEN**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUH. ARIEF DARMAWAN
D33116507**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PENGARUH TEGANGAN DAN TEKANAN FLUIDA TERHADAP
PERUBAHAN KOEFISIEN GESEK PADA PIPA DENGAN
METODE EKSPERIMEN**

Disusun dan diajukan oleh:

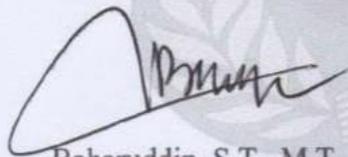
MUH. ARIEF DARMAWAN
D33116507

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 07 Juli 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

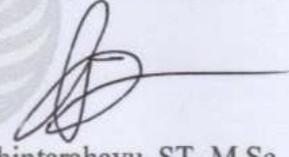
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Baharuddin, S.T., M.T
NIP: 19720202 199802 1 001



Balqis Shintarahayu, ST., M.Sc
NIP. 19950927 202101 6 001



Dr. Eng. Naisal Mahnuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng
NIP. 19810211 200501 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. Arief Darmawan
NIM : D33116507
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“PENGARUH TEGANGAN DAN TEKANAN FLUIDA TERHADAP PERUBAHAN KOEFISIEN GESEK PADA PIPA DENGAN METODE EKSPERIMEN”

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 07 Juli 2023



Yang Menyatakan

Muh. Arief Darmawan

Kata Kunci: Tegangan, Tekanan Fluida, Koefisien Gesek, Pipa, Metode Eksperimen

ABSTRAK

MUH ARIEF DARMAWAN. *PENGARUH TEGANGAN DAN TEKANAN FLUIDA TERHADAP PERUBAHAN KOEFISIEN GESEK PADA PIPA DENGAN METODE EKSPERIMEN* (dibimbing oleh Baharuddin, S.T., M.T. dan Balqis Shintarahayu, ST.,M.Sc)

Pemodelan distribusi fluida adalah proses penting dalam memahami perilaku fluida dalam berbagai situasi dan lingkungan. Pada kenyataannya, saat fluida mengalir melalui pipa, tekanan cenderung menurun seiring dengan peningkatan panjang pipa yang dilaluinya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa *Fluida Friction Measurement* dengan variasi tiga bukaan katup (50%,75%,100%) dan tujuh variasi tegangan (120V,140V,160V,180V,200V,220V,240V) sebagai variable independen . Pada penelitian ini alat yang digunakan yaitu satu set *Fluid Friction Measurement*. Ada beberapa parameter yang dianalisa yaitu debit, kecepatan aliran, koefisien gesek, serta menghitung angka Reynolds dan *headloss* pada pipa belokan 90°, pipa dengan *ball valve*, pipa belokan 90° mendadak, pipa belokan 90° pendek, pipa dengan pengecilan diameter, pipa dengan sambungan, pipa dengan *globe valve*. Metode yang digunakan adalah metode Eksperimen yang difokuskan pada penentuan bagaimana variasi tegangan dan tekanan fluida mempengaruhi koefisien gesek pada pipa. Hasil dari analisa menunjukkan bahwa koefisien gesek pipa berbanding lurus dengan variasi tegangan dan bukaan katup, semakin besar bukaan katup dan tegangan maka semakin besar pula juga nilai koefisien gesek. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi koefisien gesek pada pipa, semakin besar *headloss* yang akan terjadi dalam sistem perpipaan tersebut. Koefisien gesek dipengaruhi oleh kekasaran permukaan pipa, diameter pipa, viskositas fluida dan regime aliran. Penelitian ini memberikan wawasan yang berharga mengenai hubungan antara sifat fluida dan perilaku gesek pada pipa, yang dapat bermanfaat dalam berbagai aplikasi rekayasa. Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk mengeksplorasi faktor dan parameter tambahan yang dapat mempengaruhi koefisien gesek pada pipa.

Kata Kunci: Tegangan, Tekanan Fluida, Koefisien Gesek, Pipa, Metode Eksperimen

ABSTRACT

MUH. ARIEF DARMAWAN. *THE INFLUENCE OF VOLTAGE AND FLUID PRESSURE ON CHANGES IN THE COEFFICIENT OF FRICTION IN PIPE USING EXPERIMENTAL METHODS* (guided by Baharuddin, S.T., M.T. and Balqis Shintarahayu, ST.,M.Sc)

Fluid distribution modeling is an important process in understanding fluid behavior in various situations and environments. In reality, as a fluid flows through a pipe, the pressure tends to decrease as the length of the pipe it travels increases. The purpose of this research is to analyze Fluid Friction Measurement with variations of three valve openings (50%, 75%, 100%) and seven voltage variations (120V,140V,160V,180V,200V,220V,240V) as independent variables. In this study the tool used is a set of Fluid Friction Measurement. There are several parameters analyzed, namely discharge, flow velocity, coefficient of friction, and calculating the Reynolds number and headloss on 90° bend pipes, pipes with ball valves, pipes with sudden 90° turns, pipes with short 90° turns, pipes with reduced diameter, pipes with connection, pipe with globe valve. The method used is the experimental method which is focused on determining how variations in fluid stress and pressure affect the friction coefficient in the pipe. The results of the analysis show that the pipe friction coefficient is directly proportional to the variation in stress and valve opening, the greater the valve opening and stress, the greater the friction coefficient value. Thus, it can be concluded that the higher the friction coefficient in the pipe, the greater the head loss that will occur in the piping system. The coefficient of friction is affected by the pipe surface roughness, pipe diameter, fluid viscosity and flow regime. This research provides valuable insights into the relationship between fluid properties and frictional behavior in pipes, which can be useful in a variety of engineering applications. Further research is recommended to explore additional factors and parameters that can affect the friction coefficient in the pipe.

Keywords: Stress, Fluid Pressure, Coefficient of Friction, Pipe, Experimental Method

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SIMBOL DAN KETERANGAN	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Klasifikasi Fluida.....	4
2.1.1 Fluida Newtonian	4
2.1.2 Fluida Non-Newtonian.....	4
2.2 Aliran Laminer dan Turbulen.....	4
2.2.1 Aliran Laminer Dalam Pipa	5
2.2.2 Aliran Turbulen Dalam Pipa	6
2.2.3 Aliran Transisi.....	6
2.2.4 Aliran Berkembang Penuh	7
2.3 Headloss Aliran Melalui Pipa.....	8
2.3.1 Headloss Karena Gesekan Pada Pipa	8
2.3.2 Headloss Pada Belokan	9
2.4 Aliran Pada Saluran Tertutup	12
2.5 Bilangan Reynold	13
2.6 Kehilangan Tinggi Tekan Pada Pipa	15
2.7 Sifat - Sifat Fluida	15
2.7.1 Densitas	16
2.7.2 Viskositas	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Studi Literatur.....	19
3.3 Pengambilan Data.....	19
3.4 Alat dan Bahan Pengujian	19
3.4.1 Alat	19
3.4.2 Bahan.....	22
3.4.3 Skema Alat Pengujian	22
3.5 Tahap Pengujian	23
3.6 Kerangka Penelitian.....	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	26

4.1	Pengumpulan Data.....	26
4.1.1	Data Primer	26
4.1.2	Data Sekunder	26
4.2	Perakitan Alat Eksperimen	28
4.3	Kondisi Pengukuran dan Titik-Titik Pengambilan Data	33
4.4	Hasil Rata-Rata Pengukuran.....	34
4.5	Analisa Perhitungan Variabel.....	36
4.5.1	Perhitungan Debit Aliran Air	36
4.5.2	Perhitungan Kecepatan.....	37
4.5.3	Menentukan Kehilangan Tenaga Koefisien Pada Belokan.....	39
4.5.4	Menentukan Bilangan Reynold.....	40
4.5.5	Menghitung Koefisien Gesek.....	42
4.5.6	Perhitungan Headloss	43
4.6	Analisa Hubungan Antar Variabel	55
4.6.1	Analisa Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Katup Terhadap Debit Aliran.....	55
4.6.2	Analisa Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Katub Terhadap Kecepatan Aliran.....	56
4.6.3	Kecenderungan Headloss Antara Titik-Titik Pengambilan Data.....	57
4.6.4	Analisa Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Katup Terhadap RPM Pompa	64
4.6.5	Analisa Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Katub Terhadap Arus Listrik Pompa	65
4.6.6	Analisa Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Katub Terhadap Frekuensi Pompa	66
4.6.7	Analisa Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Katub Terhadap Daya Pompa	67
	BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1	Kesimpulan.....	68
5.2	Saran.....	69
	DAFTAR PUSTAKA.....	70
	LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Gerakan Sebuah Elemen Fluida dalam Sebuah Pipa Silindris	5
Gambar 2 Time-Average, Fluctuating, Deskripsi Parameter Aliran Turbulen	6
Gambar 3 Daerah Masuk, Aliran Berkembang, dan Aliran Berkembang Penuh dalam Sistem Pipa	7
Gambar 4 Bentuk Belokan Pipa	12
Gambar 5 Alat Osborn Reynold	14
Gambar 6 Aliran Laminer (a), Kriktik (b), Turbulen (c).....	14
Gambar 7 Skema Alat Pengujian.....	22
Gambar 8 Fluid Friction Measurement	28
Gambar 9 Instalasi Alat Pengujian Setelah Penambahan Alat	32
Gambar 10 Pengujian Kalibrasi Alat.....	32
Gambar 11 Grafik Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Terhadap Debit Aliran	55
Gambar 12 Grafik Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Terhadap Kecepatan	56
Gambar 13 Grafik Kecenderungan Headloss Antara Pipa Belokan 90° Panjang	57
Gambar 14 Grafik Kecenderungan Headloss Antara Pipa Dengan Ball Valve ...	58
Gambar 15 Grafik Kecenderungan Headloss Antara Pipa Belokan 90° Mendadak	59
Gambar 16 Grafik Kecenderungan Headloss Antara Pipa Belokan 90° Pendek .	60
Gambar 17 Grafik Kecenderungan Headloss Antara Pipa Pengecilan Diameter.	61
Gambar 18 Grafik Kecenderungan Headloss Antara Pipa Dengan Sambungan..	62
Gambar 19 Grafik Kecenderungan Headloss Antara Pipa Dengan Globe Valve	63
Gambar 20 Grafik Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Terhadap RPM Pompa.....	64
Gambar 21 Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Terhadap Arus Listrik Pompa.....	65
Gambar 22 Grafik Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Terhadap Frekuensi Pompa	66
Gambar 23 Grafik Pengaruh Variasi Tegangan dan Bukaannya Terhadap Daya Pompa.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai α pada Pengecilan Mendadak	10
Tabel 2 Koefisien α Sebagai Fungsi Sudut Belokan	11
Tabel 3 Nilai α Sebagai Fungsi RID untuk Sudut Belokan 90°	11
Tabel 4 Densitas dan Viskositas Air dengan Suhu $0^\circ - 40^\circ\text{C}$	18
Tabel 5 Alat tambahan yang digunakan untuk melakukan pengujian.....	29
Tabel 6 Nilai Rata-Rata Hasil Pengukuran.....	35
Tabel 7 Perhitungan Debit Aliran pada Variasi Kecepatan dan Variasi Bukaannya Katup.....	36
Tabel 8 Kecepatan Aliran pada Variasi Tegangan dan Bukaannya Katup	38
Tabel 9 Perhitungan H_{hitung}	39
Tabel 10 Analisa Perhitungan Angka Reynold	41
Tabel 11 Hasil Analisa Koefisien Geser.....	42
Tabel 12 Perhitungan Headloss Pada Pipa Belokan 90° Panjang	44
Tabel 13 Perhitungan Headloss Pada Pipa dengan Ball Valve	45
Tabel 14 Perhitungan Headloss Pada Pipa Belokan 90° Mendadak.....	47
Tabel 15 Perhitungan Headloss Pada Pipa Belokan 90° Pendek	49
Tabel 16 Perhitungan Headloss Pada Pipa Dengan Pengecilan Diameter	50
Tabel 17 Perhitungan Headloss Pada Pipa Dengan Sambungan.....	52
Tabel 18 Perhitungan Headloss Pada Pipa Dengan Globe Valve	54

DAFTAR SIMBOL DAN KETERANGAN

Simbol	Keterangan
Q	Debit aliran (m^3/det)
t	Waktu pengaliran (det)
A	Luas Penampang (m^2)
Re	Angka Reynold
D	Diameter Pipa (m)
L	Panjang pipa (m)
g	Percepatan gravitasi (m/det^2)
H_f	Kehilangan energi akibat gesekan (m)
v	Kecepatan aliran (m/det)
V	Volume air (Liter)
μ	Viskositas (m/det^2)
f	Koefisien gesek
K_b	Koefisien belokan
H_{hitung}	Kehilangan energi akibat koefisien belokan (m)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rangkaian Alat.....	72
Lampiran 2 Alat Tambahan Penelitian.....	73
Lampiran 3 Bukaannya Katup 50% Tegangan 120V.....	75
Lampiran 4 Bukaannya Katup 50% Tegangan 140V.....	76
Lampiran 5 Bukaannya Katup 50% Tegangan 160V.....	77
Lampiran 6 Bukaannya Katup 50% Tegangan 180V.....	78
Lampiran 7 Bukaannya Katup 50% Tegangan 200V.....	79
Lampiran 8 Bukaannya Katup 50% Tegangan 220V.....	80
Lampiran 9 Bukaannya Katup 50% Tegangan 240V.....	81
Lampiran 10 Bukaannya Katup 75% Tegangan 120V.....	82
Lampiran 11 Bukaannya Katup 75% Tegangan 140V.....	83
Lampiran 12 Bukaannya Katup 75% Tegangan 160V.....	84
Lampiran 13 Bukaannya Katup 75% Tegangan 180V.....	85
Lampiran 14 Bukaannya Katup 75% Tegangan 200V.....	86
Lampiran 15 Bukaannya Katup 75% Tegangan 220V.....	87
Lampiran 16 Bukaannya Katup 75% Tegangan 240V.....	88
Lampiran 17 Bukaannya Katup 100% Tegangan 120V.....	89
Lampiran 18 Bukaannya Katup 100% Tegangan 140V.....	90
Lampiran 19 Bukaannya Katup 100% Tegangan 160V.....	91
Lampiran 20 Bukaannya Katup 100% Tegangan 180V.....	92
Lampiran 21 Bukaannya Katup 100% Tegangan 200V.....	93
Lampiran 22 Bukaannya Katup 100% Tegangan 220V.....	94
Lampiran 23 Bukaannya Katup 100% Tegangan 240V.....	95

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga skripsi dengan judul “*Pengaruh Tegangan Dan Tekanan Fluida Terhadap Perubahan Koefisien Gesek Pada Pipa Dengan Metode Eksperimen*” dapat diselesaikan dengan baik. Penulis berterimakasih kepada seluruh orang yang terlibat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata (S1) Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui ini penulis memberikan ucapan terima kasih setinggi-tingginya.

Pada penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang telah membantu penyusun baik secara langsung maupun tidak langsung, secara moril maupun materil. Oleh sebab itu, penyusun mengucapkan terima kasih yang setinggi setingginya kepada:

1. **Allah Subhanahu Wa Ta’ala**
2. **Bapak Awaluddin, S.Sos** dan **Ibu Martang** sebagai orang tua yang memberikan dukungan doa, motivasi serta materil kepada penulis selama berkuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. **Baharuddin, S.T., M.T.** dan **Balqis Shintarahayu, ST.,M.Sc** selaku dosen pembimbing yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu penulis dengan memberikan bimbingan, kritik dan saran.
4. **Ir. Zulkifli, MT** dan **M. Rusydi Alwi, S.T.,M.T.** selaku dosen penguji.
5. **Bapak/Ibu Dosen** Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan bekal pengetahuan dan keterampilan.
6. **Pak Rahman** selaku Staf Administrasi Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu penulis dalam hal administratif.
7. **Teman-teman Anzyz16** yakni teman-teman seperjuangan sistem perkapalan 2016 yang selalu memberikan *support*-nya dan bantuannya untuk penulis serta ikut mewarnai masa-masa kuliah penulis.

8. **Saudari-saudari girls09** yakni **Sutyani, Idawati, Izdihar, Aisyah, Renil, Ika, Dilla dan Sofa** telah menjadi teman yang sangat baik untuk penulis dalam suka maupun duka.
9. **Saudara-saudari Cruizer16** yang ikut mewarnai dan membersamai masa-masa kuliah penulis.
10. **Senior-senior Ztringer14** yang senantiasa berbagi ilmu dan pengalamannya pada penulis dan kawan-kawan.
11. **Saudara Abd.Azis** yang telah menjadi teman yang selalu memasak untuk penulis dan teman-teman makanan.
12. **Saudara Imam Naufal Alfahrizy** yang telah menjadi teman yang selalu membantu penulis untuk menyelesaikan Skripsi.
13. **Saudara To Be ST** yang telah menjadi teman yang selalu memberi semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi.
14. **Saudara M. Ibnu Widodo** yang telah menjadi teman yang selalu menemani dan membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi.
15. **Teman-teman KKN Gowa 4** yang telah menjadikan cerita KKN penulis sangat berkesan.
16. **Teman-teman SMA** yang sampai saat ini masih membersamai penulis khususnya **saudari Dhevi, Gaffar, Iffah, Taebit, Della, Risna, Dendy, Rahmat** dan saudara-saudari lain yang tidak disebutkan.
17. **Teman-teman Kerja Praktek** yakni **saudara Fadel, Israq dan Ikham** yang membuat kerja praktek penulis menjadi sangat berkesan.

Akhirnya penyusun berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun secara pribadi serta pada pembaca yang menjadikan skripsi ini sebagai acuan atau pedoman dalam pembelajaran ataupun dalam menyusun skripsi. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya pada kita semua. Aamiin.

Gowa, 07 Juli 2023

Muh. Arief Darmawan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aliran dalam pipa merupakan salah satu cara transportasi untuk membawa fluida dari suatu tempat ke tempat lain. Hal ini berhubungan dengan bermacam pipa dan bermacam tipe fluida yang akan dialirkan. Bermacam jenis ukuran, material, penggunaan, ketahanan dan kekasaran permukaan bagian dalam pipa merupakan hal penting dalam penggunaan komersial pada sistem perpipaan. Jenis fluida 2 fase atau multiphase, kecepatan aliran dan lamanya fluida mulai digunakan, nilai kekentalan, ketahanan dari sifat fluida itu sendiri bila terkena tegangan geser (*shear stress*) juga sangat penting untuk diketahui oleh para ahli teknik.

Aliran fluida didalam pipa pada kenyataannya mengalami penurunan tekanan seiring dengan panjang pipa yang dilalui fluida tersebut. Penurunan tekanan aliran di dalam pipa sangat penting untuk diketahui guna merancang sistem perpipaan. Kehilangan energi yang terbesar dari aliran air dalam pipa adalah akibat dari gesekan yang terjadi antara air dan dinding dalam pipa. Kekasaran pipa, panjang dan diameter pipa, jenis fluida, kecepatan dan bentuk aliran adalah hal yang sangat terkait dengan penurunan tekanan tersebut.

Mengetahui tingkat akurasi persamaan-persamaan yang digunakan dalam kajian aliran dalam pipa sangat diperlukan, terutama untuk menghemat biaya instalasi perpipaan secara keseluruhan. Bentuk-bentuk kerugian energy pada aliran fluida antara lain dijumpai pada aliran dalam pipa. Kerugian - kerugian tersebut diakibatkan oleh adanya gesekan dengan dinding, perubahan luas penampang, sambungan, katup - katup, belokan pipa dan kerugian-kerugian khusus lainnya. Pada belokan atau lengkungan kerugian energy aliran yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan pipa lurus. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menguji keakuratan persamaan-persamaan tersebut di atas adalah dengan menentukan dan menghitung kerugian gesek dan fluida.

Untuk mengalirkan fluida dari tempat yang satu ke tempat yang lain diperlukan suatu peralatan. Selain peralatan utama yang digunakan, ada bagian - bagian yang tidak kalah penting dimana dalam bagian ini, sering terjadi peristiwa peristiwa yang dapat mengurangi efisiensi kerja yang diinginkan. Bagian dari peralatan ini dapat berupa

pipa - pipa yang dihubungkan. Dalam menggunakan pipa yang harus diperhatikan adalah karakteristik dari fluida yang digunakan, misalnya: sifat korosi, *explosive*, racun, suhu dan tekanan. Apabila fluida dilewatkan ke dalam pipa maka akan terjadi gesekan antara pipa dengan fluida tersebut. Besarnya gesekan yang terjadi tergantung pada kecepatan, kekasaran pipa, diameter dan viskositas fluida yang digunakan.

Berangkat dari permasalahan ini penulis akan menganalisa “Pengaruh Tegangan dan Tekanan Fluida Terhadap Perbedaan Koefisien Gesek pada Pipa dengan Metode Eksperimen”. Dalam penelitian ini aliran dalam pipa ini menggunakan alat Fluid Friction Measurement yang merupakan suatu rangkaian jaringan pipa yang dapat digunakan untuk mengukur kehilangan energi akibat gesekan yang terjadi apabila terdapat fluida tak kompressibel mengalir melalui pipa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan dikemukakan adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi tegangan dan variasi bukaan katup akibat koefisien gesek pada pipa?
2. Bagaimana hubungan antara kecepatan aliran dengan kehilangan energi yang terjadi pada Pipa belokan 90° , Pipa dengan Ball Valve, Pipa belokan 90° mendadak, Pipa belokan 90° pendek, Pipa dengan pengecilan diameter, Pipa dengan sambungan, Pipa dengan Globe Valve ?
3. Bagaimana pengaruh tingkat kekasaran permukaan dalam pipa terhadap koefisien gesek?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi tegangan dan variasi bukaan katup akibat koefisien gesek pada pipa.
2. Mengetahui hubungan antara kecepatan aliran dengan kehilangan energi yang terjadi pada Pipa belokan 90° , Pipa dengan Ball Valve, Pipa belokan 90° mendadak, Pipa belokan 90° pendek, Pipa dengan pengecilan diameter, Pipa dengan sambungan, Pipa dengan Globe Valve.

3. Mengetahui pengaruh tingkat kekasaran permukaan dalam pipa terhadap koefisien gesek.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian ini :

1. Manfaat Teoritis

Mengembangkan ilmu pengetahuan dibidang teknik sistem perkapalan terkhusus pada labo permesinan kapal sesuai dengan teori yang didapat pada bangku perkuliahan.

2. Manfaat Praktek

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui kecenderungan yang terjadi pada pipa belokan 90° , pipa dengan ball valve, pipa belokan 90° mendadak, pipa belokan 90° pendek, pipa dengan pengecilan diameter, pipa dengan sambungan, pipa dengan globe valve akibat variasi kecepatan fluida dan variasi bukaan katup.

1.5 Ruang Lingkup

Batasan masalah pada penelitian ini dimaksudkan untuk mempermudah penyelesaian masalah dan memberikan arah yang lebih fokus pada rumusan masalah dan tujuan yang ingin dicapai untuk memperoleh hasil yang optimal dan tepat sasaran. Adapun batasan masalah yang dimaksud dalam penelitian ini :

1. Penelitian ini dilakukan di laboratorium mesin - mesin fluida Departmen Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin
2. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah satu set *Fluid Friction Measurement*.
3. Pengujian dibatasi pada Pipa belokan 90° , Pipa dengan Ball Valve, Pipa belokan 90° mendadak, Pipa belokan 90° pendek, Pipa dengan pengecilan diameter, Pipa dengan sambungan, Pipa dengan Globe Valve.
4. Metode yang digunakan adalah Eksperimen

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang tidak mampu menahan gaya geser yang bekerja sehingga akan mengalami deformasi. Fluida dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian tetapi secara garis besar fluida dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu :

2.1.1 Fluida Newtonian

Fluida Newtonian adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva *shear stress* dan gradient kecepatan yang linier, seperti air, udara, ethanol, benzene, dll. Fluida Newtonian akan terus mengalir dan viskositas fluida tidak berubah sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Viskositas fluida akan berubah jika terjadi perubahan temperature. Pada dasarnya fluida Newtonian adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran, dapat dilihat dalam persamaan 1.

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial v} \quad (1)$$

Dimana:

τ = Tegangan geser pada fluida

μ = Viskositas dinamik fluida

$\frac{\partial u}{\partial v}$ = Gradient kecepatan fluida

2.1.2 Fluida Non-Newtonian

Fluida Non-Newtonian adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (*shear stress*), gradient kecepatan (*shear rate*), dan temperatur seperti cat, minyak pelumas, darah, bubur kertas, obat-obatan cair, dan lain-lain. Viskositas fluida Non-Newtonian merupakan fungsi dari waktu dimana gradien kecepataannya tidak linier dan tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran.

2.2 Aliran Laminer dan Turbulen

Aliran viskos dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Dalam aliran laminar partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti

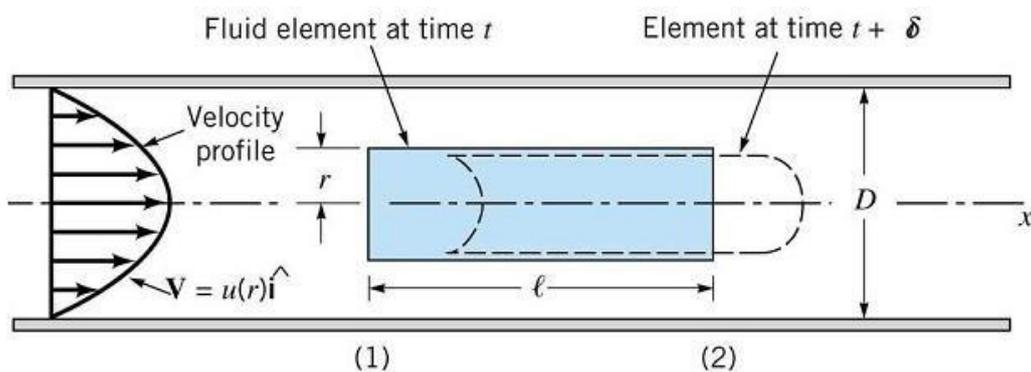
lintasan yang saling sejajar. Aliran ini terjadi apabila kecepatan kecil dan kekentalan besar (*Bambang Triadmojo, 1993*).

Pengaruh kekentalan adalah sangat besar sehingga dapat meredam gangguan yang dapat menyebabkan aliran menjadi turbulen. Dengan berkurangnya kekentalan dan bertambahnya kecepatan aliran maka daya redam terhadap gangguan akan berkurang, yang sampai pada suatu batas tertentu akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran laminar ke turbulen. Pada aliran turbulen gerak partikel-partikel tidak teratur.

2.2.1 Aliran Laminer Dalam Pipa

Faktor-faktor penting dalam aliran zat cair adalah distribusi kecepatan aliran, tegangan geser, dan kehilangan tenaga dalam selama pengaliran. Persamaan distribusi kecepatan, tegangan geser, dan kehilangan tenaga untuk aliran laminar dan manetap akan diturunkan untuk aliran melalui pipa lingkaran. Pada aliran laminar untuk zat cair rill, kecepatan aliran pada dinding batas nol. Dianggap bahwa distribusi kecepatan pada setiap tampang adalah simetris terhadap sumbu pipa sehingga semua titik yang berjarak sama dari sumbu pipa mempunyai kecepatan sama (*Bambang Triadmojo, 1993*).

Reynold menunjukkan bahwa untuk aliran laminar berlaku Bilangan Reynold, $NRe < 2100$. Pada keadaan ini juga berlaku hubungan Head Loss berbanding lurus dengan kecepatan linear fluida, atau $H \propto V$.

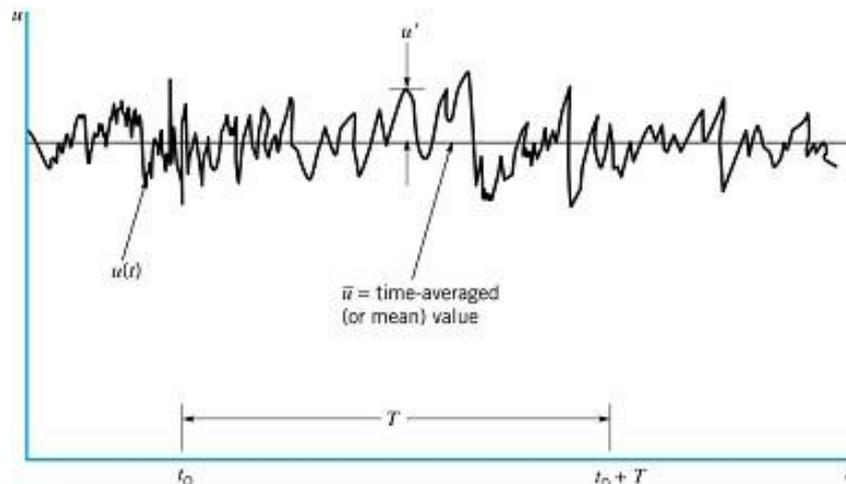


Gambar 1 Gerakan Sebuah Elemen Fluida dalam Sebuah Pipa Silindris
(Sumber: Tugas Akhir Khaerul)

2.2.2 Aliran Turbulen Dalam Pipa

Turbulensi adalah gerak partikel zat cair yang tidak teratur dan sembarang dalam waktu dan ruang. Turbulensi ditimbulkan oleh gaya-gaya viskos dan gerak lapis zat cair yang berdampungan pada kecepatan yang berbeda. meskipun variasi kecepatan disuatu titik dalam aliran turbulen adalah sembarang, tetapi masih mungkin untuk menyatakan nilai merata dalam waktu dari kecepatan suatu titik secara staistik. Dengan demikian kecepatan sesaat disuatu titik akan berfluktuasi terhadap nilai rerata menurut waktu (Bambang Triadmojo, 1993).

Reynold menunjukkan bahwa untuk aliran turbulen berlaku Bilangan Reynold, $NRe < 4000$. Pada keadaan ini juga berlaku hubungan Head Loss berbanding lurus dengan kecepatan linear berpangkat n , atau $H \propto V^n$. Aliran akan mengalami proses transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen sebelum aliran tersebut turbulen. Pada aliran internal, aliran transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen.



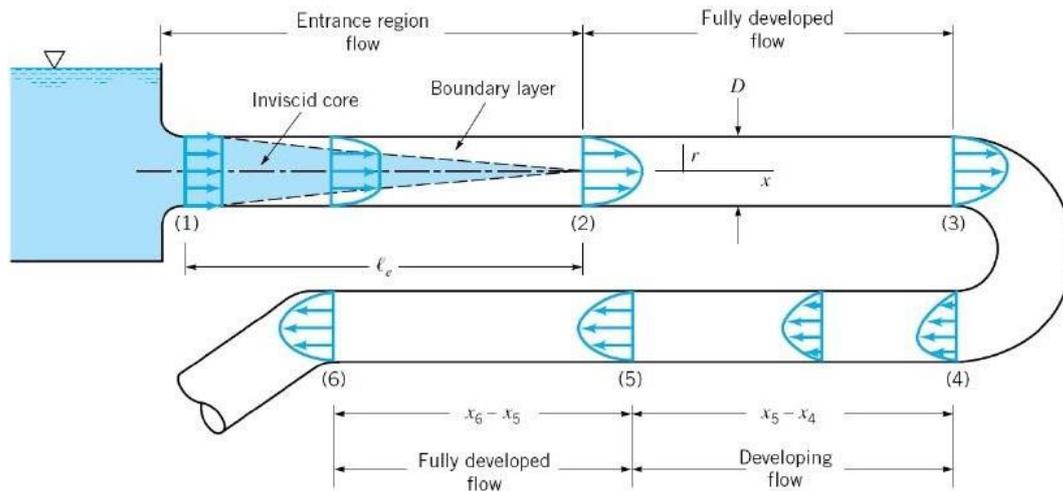
Gambar 2 Time-Average, Fructuating, Deskripsi Parameter Aliran Turbulen
(Sumber: Tugas Akhir Khaerul)

2.2.3 Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran fluida dengan kecepatan diantara kecepatan linear dan kecepatan turbulen. Aliran berbentuk laminar atau turbulen sangat tergantung oleh pipa dan perlengkapannya. Reynold rnenunjukkan bahwa untuk aliran transisi berlaku hubungan Bilangan Reynold, $2100 < NRe < 4000$.

2.2.4 Aliran Berkembang Penuh

Setiap fluida yang mengalir dalam sebuah pipa harus memasuki pipa pada suatu lokasi. Daerah aliran di dekat lokasi fluida memasuki pipa disebut sebagai daerah masuk (*Entrance Region*). Daerah tersebut sekitar beberapa kali permulaan dari sebuah pipa yang dihubungkan pada sebuah tangki atau bagian awal dari saluran *duct* udara panas yang berasal dari sebuah tangki seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 3 Daerah Masuk, Aliran Berkembang, dan Aliran Berkembang Penuh dalam Sistem Pipa

(Sumber: Tugas Akhir Khaerul)

Fluida biasanya memasuki pipa dengan profil kecepatan yang hampir seragam pada bagian (1). Selagi fluida bergerak melewati pipa, efek viskositas menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa-slip). Hal ini berlaku baik jika fluidanya adalah udara yang relatif inviscial maupun minyak yang kental. Jadi, sebuah lapisan batas (*boundary layer*) dimana efek viskos menjadi penting dihasilkan di sepanjang dinding pipa. Sehingga profil kecepatan awal berubah menurut jarak x sepanjang pipa, sampai fluidanya mencapai ujung akhir dari panjang daerah masuk, bagian (2), dimana setelah di luar itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut x . Lapisan batas telah berkembang ketebalannya sehingga mengisi pipa sepenuhnya. Efek viskositas sangat penting di dalam lapisan batas. Sedangkan efek viskositas fluida di luar lapisan batas (dalam inti *inviscid*) dapat diabaikan.

2.3 Headloss Aliran Melalui Pipa

Pada zat cair yang mengalir didalam bidang batas, misalnya pipa akan terjadi tegangan geser dan gradient kecepatan pada seluruh medan aliran karena adanya kekentalan. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan terjadinya headloss selama pengaliran. Persamaan Bernoulli di bawah ini:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + H_f \quad (2)$$

Apabila pipa mempunyai penampang yang konstan, maka $v_1=v_2$, dan persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana untuk headloss akibat gesekan.

$$h^l = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \right) \quad (3)$$

atau

$$H_f = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\gamma} \quad (4)$$

Keterangan:

H_f = Headloss (m)

Z_1 = Tinggi elevasi dititik 1 (m)

Z_2 = Tinggi elevasi dititik 2 (m)

P_1 = Tekanan aliran dititik 1 (m/s)

P_2 = Tekanan aliran dititik 2 (m/s)

V_1 = Kecepatan aliran dititik 1 (m/s)

V_2 = Kecepatan aliran dititik 2 (m/s)

g = Kecepatan gravitasi (m/s²)

γ = Berat jenis (kg/m².s²)

2.3.1 Headloss Karena Gesekan Pada Pipa

Headloss akibat gesekan disebut juga kehilangan primer atau major lose. Terjadi akibat adanya kekentalan zat cair dan turbulensi karena adanya kekasaran dinding batas pipadan akan menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan headloss disepanjang pipa dengan diameter konstan pada aliran seragam. headloss sepanjang satuan panjang akan konstan selama kekasaran tidak berubah. (*Triadmojo, 1996*)

Headloss karena gesekan antara zat cair dengan dinding pipa berbanding lurus dengan panjang pipa dan kekasaran pipa dan berbanding terbalik dengan diameter pipa:

$$h = \frac{L}{D} = \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Keterangan:

h = Tinggi tekanan yang hilang (m)

L = Panjang pipa (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

D = Diameter (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Koefisien gesekan pipa tergantung pada parameter aliran (Triatmojo 1996:31), apabila pipa adalah hidrolis halus parameter tersebut adalah kecepatan aliran diameter pipa dan kekentalan zat cair dalam bentuk angka Reynolds. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Blasius, dia mengemukakan rumus gesekan f untuk pipa halus dalam bentuk:

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \text{ berlaku pada } 4000 < Re < 10^5 \quad (6)$$

Headloss biasanya dinyatakan dengan satuan panjang. Sehingga untuk persamaan (2), Head Loss adalah harga Δp yang dinyatakan dengan satuan Panjang mmHg atau inchHg. Harga H_r sendiri bergantung pada tipe alirannya. Untuk aliran laminar, dimana $Re < 2100$, berlaku persamaan Darcy – Weisbach:

$$H_f = \frac{f}{2} \cdot \frac{L \cdot v^2}{g \cdot D} \quad (7)$$

Keterangan:

F = Head loss (m)

f = Koefisien geser

L = Panjang pipa (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

D = Diameter pipa (m)

μ = Viskositas aliran (m/s)

2.3.2 Headloss Pada Belokan

Disamping adanya headloss akibat gesekan pipa, terjadi pula headloss dalam pipa yang diakibatkan karena perubahan penampang pipa, sambungan, belokan, dan katub. Headloss akibat gesekan pada pipa panjang biasanya jauh lebih besar dari pada headloss sekunder, sehingga pada keadaan tersebut biasanya headloss sekunder diabaikan. Pada pipa pendek headloss sekunder harus diperhitungkan. Apabila headloss sekunder lebih dari 5% dari headloss akibat gesekan maka kehilangan tersebut diabaikan. Untuk memperkecil

headloss sekunder, perubahan penampang atau belokan jangan dibuat mendadak tetapi berangsur-angsur. (Triatmodjo :1996)

Kehilangan energi yang terjadi akibat aliran melalui sambungan dan percabangan standar adalah sebanding dengan kuadrat dari kecepatan aliran sebagai berikut:

$$h_e = \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Keterangan :

h_e = Kehilangan energi (m)

α = Factor sambungan atau percabangan

v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Untuk mencari harga α pada kasus pelebaran luas penampang pipa, digunakan rumus:

$$\alpha = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \quad (9)$$

Dengan:

α = Faktor sambungan / percabangan

A = Luas penampang (m²)

Tabel 1 Nilai α pada Pengecilan Mendadak

D_1/D_2	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
α	0,08	0,17	0,26	0,34	0,37	0,41	0,43	0,45	0,46

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 1993)

headloss yang terjadi pada belokan tergantung pada sudut belokan pipa.

Rumus headloss pada belokan adalah serupa dengan rumus pada sambungan dan percabangan standar, yaitu :

$$h_e = \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

Tabel 2 Koefisien α Sebagai Fungsi Sudut Belokan

Sudut	20°	45°	60°	80°	90°
α	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

(Sumber: Bambang Triadmojo, 1993)

Ada dua macam belokan pada pipa yaitu belokan langsung dan belokan patah untuk sudut belokan 90° dan dengan belokan halus (berangsur-angsur), kehilangan tenaga tergantung pada perbandingan jari-jari belokan dan diameter pipa.

Tabel 3 Nilai α Sebagai Fungsi RID untuk Sudut Belokan 90°

RID	1	2	4	6	10	16	20
α	0,35	0,19	0,17	0,22	0,32	0,38	0,42

(Sumber: Bambang Triadmojo, 1993)

Pada setiap aliran dimana tidak ada kebocoran maka untuk setiap penampang tertentu berlaku :

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = A_3 \cdot V_3 \quad (11)$$

Besarnya debit (Q) pengaliran: v

$$Q = \frac{v}{t} \quad (12)$$

Persamaan Kecepatan (v)

$$v = \frac{Q}{A} \quad (13)$$

Keterangan :

A = Luas Penampang (m²)

Q = Debit (m³/s)

V = Volume (m³)

t = waktu (s)

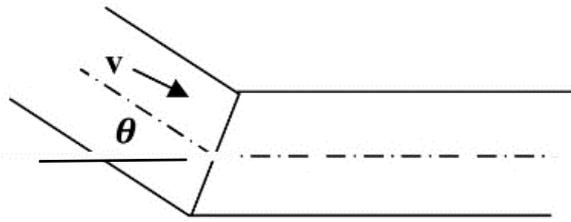
Dari percobaan *Weisbach* dihasilkan rumus umum untuk belokan patah, sebagai berikut (Sularso, Haruo Tahara : 2000)

$$K_b = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \quad (14)$$

Dengan :

θ = sudut belokan (derajat)

K_b = Koefisien Belokan



Gambar 4 Bentuk Belokan Pipa
(Sumber: Haruo Tahara: 2000)

Persamaan-persamaan yang digunakan didalam pipa Horizontal, termasuk untuk menentukan Headloss juga berlaku untuk elbow dengan catatan elbow juga dalam posisi horizontal didalam sistem perpipaan. Hasil pengujian headloss menunjukkan bahwa, sudut sambungan belokkan berbanding lurus dengan headloss. Semakin besar sudut sambungan belokan pipa, nilai headloss yang dihasilkan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh perbedaan tinggi tekan pada sebelum dan setelah belokan pipa yang semakin meningkat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan air berbanding terbalik dengan sudut sambungan belokan pipa, semakin besar sudut sambungan belokan pipa maka kecepatan air semakin kecil, dan sebaliknya semakin kecil sudut sambungan belokan pipa kecepatan air semakin besar. Hal tersebut disebabkan karenan waktu yang diperlukan lebih lama untuk sudut belokan yang semakin besar (Haruo Tahara, Sularso.2000)

Untuk pipa dimana diameternya berubah kecil kebesar, pipa pertama dengan diameter D_1 dan pipa kedua dengan diameter D_2 , atau Enlargement, dan pipa masih didalam posisi horizontal, tidak ada kerja pada sistem, maka $AZ = 0$, $W = 0$ dengan persamaan :

$$-F = \frac{\Delta V^2}{2g} + \frac{\Delta p}{\rho} \quad (15)$$

Jika $\frac{\Delta p}{\rho}$ sangat kecil, dan bisa diabaikan terhadap harga dari $\frac{\Delta v^2}{2g_c}$, maka :

$$\frac{\Delta v^2}{2g} = f \quad (16)$$

2.4 Aliran Pada Saluran Tertutup

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Fluida yang dialirkan

melalui pipa bias berupa zat cair atau gas dan tekanan bias lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk kedalam aliran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair dalam pipa tak penuh) aliran termasuk dalam pengaliran terbuka (Koditje 2000:05)

2.5 Bilangan Reynold

Angka Reynolds adalah bilangan tanpa dimensi yang nilainya bergantung pada kekasaran dan kehalusan pipa sehingga dapat menentukan jenis aliran dalam pipa. Profesor Osborne Reynolds menyatakan bahwa ada dua tipe aliran yang ada didalam suatu pipa yaitu :

1. Aliran laminar pada kecepatan rendah dimana berlaku $h \propto v$
2. Aliran Turbulen pada kecepatan tinggi dimana berlaku $h \propto v^n$

Dalam penelitiannya, Reynolds mempelajari kondisi dimana satu jenis aliran berubah menjadi aliran jenis lain, dan bahwa kecepatan kritis, dimana aliran laminar berubah menjadi aliran turbulen. Keadaan ini bergantung pada empat buah besaran yaitu: diameter tabung, viskositas, densitas dan kecepatan linear rata-rata zat cair. Lebih jauh ia menemukan bahwa ke empat factor itu dapat digabungkan menjadi suatu gugus, dan bahwa perubahan macam aliran berlangsung pada suatu nilai tertentu gugus itu. Pengelompokan variable menurut penemuannya itu adalah:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (17)$$

atau

$$Re = \frac{D \cdot v}{\mu} \quad (18)$$

Keterangan :

D = Diameter pipa (m)

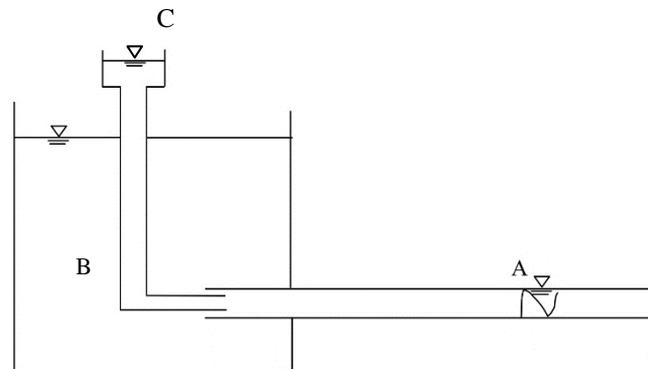
v = Kecepatan rata-rata zat cair (m/s)

μ = Viskositas zat cair (kg/m.s)

ρ = Densitas zat cair (kg/m³)

Pada tahun 1884 Osborn Reynolds (dalam Triatnojo 1996: 3) melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat-sifat aliran laminar dan aliran turbulen. Alat yang digunakan terdiri dari pipa kaca yang dapat melewatkan air dengan berbagai kecepatan

(Gambar 5). Aliran tersebut diatur oleh katub A. Pipa kecil B yang berasal dari tabung berisi zat warna C. Ujung yang lain berada pada lubang masuk pipa kaca.



Gambar 5 Alat Osborn Reynold

(Sumber: Angga Saputra Hadi, 2015)

Reynolds menunjukkan bahwa untuk kecepatan aliran 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 benang warna mulai berlubang yang akhirnya pecah dan menyebar pada seluruh aliran dalam pipa.



Gambar 6 Aliran Laminer (a), Kriktik (b), Turbulen (c)

(Sumber: Angga Saputra Hadi, 2015)

Kecepatan rerata pada mana benang warna mulai pecah disebut kecepatan kritis. Penyebaran dari benang warna disebabkan oleh pencampuran dari partikel-partikel zat cair selama pengaliran. Dari percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan kecil, pencampuran tidak terjadi dan partikel-partikel zat cair bergerak dalam lapisan-lapisan yang sejajar, dan menggelincir terhadap lapisan disampingnya. Keadaan ini disebut aliran laminar. Pada kecepatan yang lebih besar, benang warna menyebar pada seluruh penampang pipa, dan terlihat bahwa pencampuran dari partikel-partikel zat cair terjadi keadaan ini disebut aliran turbulen.

Menurut Reynolds, ada tiga factor yang mempengaruhi keadaan aliran yaitu kekentalan zat cair μ (μ), rapat masa zat cair ρ (ρ), dan diameter pipa D .

Hubungan antara μ , ρ , dan D yang mempunyai dimensi sama dengan kecepatan adalah $\frac{\mu}{\rho D}$

Reynolds menunjukkan bahwa aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan suatu angka tertentu. Angka tersebut diturunkan dengan membagi kecepatan aliran didalam pipa dengan nilai, yang disebut dengan angka Reynolds.

Dengan μ (miu) adalah kekentalan kinematik. Dari percobaan yang dilakukan untuk aliran air melalui pipa dapat disimpulkan bahwa pada angka Reynolds rendah gaya kental dominan sehingga aliran adalah laminar. Dengan bertambahnya angka Reynolds baik karena bertambahnya kecepatan atau berkurangnya kekentalan zat cair atau bertambah besarnya dimensi medan aliran (pipa), akan bisa menyebabkan kondisi aliran laminar menjadi tidak stabil sampai pada suatu angka Reynolds di atas nilai tertentu aliran berubah dari laminar menjadi turbulen.

2.6 Kehilangan Tinggi Tekan Pada Pipa

Kehilangan tinggi tekan yang ditimbulkan pada saluran atau aliran didalam pipa akibat tikungan dibedakan menjadi :

- o Kehilangan tinggi tekan total akibat gesekan ataupun penambahan geometri (h_b) dengan koefisien tinggi tekan K_b
- o Kehilangan tinggi tekan akibat perubahan energi geometri pipa dengan gesekan pada tikungan $1/4$

Secara umum rumus kehilangan energi adalah sebagai berikut :

$$H_{hitung} = K_b \frac{v^2}{2g} \quad (19)$$

Keterangan :

- H_{hitung} = Kehilangan tinggi tekanan / energi akibat tikungan (m)
- K_b = Koefisien kehilangan tekan pada belokan
- g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
- v = Kecepatan aliran (m/s)

2.7 Sifat - Sifat Fluida

Ada beberapa sifat fluida yang perlu diketahui, antara lain:

2.7.1 Densitas

Densitas adalah jumlah zat yang terkandung di dalam suatu unit volume. Semua fluida memiliki sifat ini. Sifat ini terbagi menjadi tiga bentuk, yaitu :

a. Densitas Massa

Densitas massa adalah perbandingan jumlah massa dan jumlah volume dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (20)$$

$$P = \rho gh \quad (21)$$

Dimana m adalah massa dan v adalah volume dengan unit density adalah kg/m^3 dan dengan dimensi ML^{-3} dimana standar tekanan $P = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ dan temperature $T = 288.15 \text{ K}$, misalnya $\rho \text{ air} = 1000 \text{ kg/m}^3$.

b. Berat Spesifik

Berat spesifik adalah nilai densitas massa dikalikan dengan gravitasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma = \rho g \quad (22)$$

Dimana unit berat spesifik adalah N/m^3 dan dengan dimensi $\text{ML}^{-3} \text{ T}^{-2}$ dengan nilai $\gamma \text{ air}$ adalah $9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$.

c. Densitas Relatif

Densitas relative atau spesifik gravity (s.g) adalah perbandingan antara densitas massa dengan berat spesifik suatu zat terhadap densitas massa atau berat spesifik dari suatu zat standar, dimana yang dianggap memiliki nilai zat standar adalah air pada temperature 40C dimana densitas relative tidak memiliki satuan.

Pada fluida Non-Newtonian khususnya slurry dimana densitas dari fluida ini dinyatakan dalam bentuk persentase konsentrasi padatan (C_w) dengan persentase antara padatan dengan air sebagai pelarutnya seperti pada persamaan sebagai berikut :

$$C_w = \frac{C_v \rho_s}{C_v \rho_s + (100 - C)} = \frac{C_v \rho_s}{\rho m} \quad (23)$$

2.7.2 Viskositas

Viskositas (kekentalan) adalah ukuran ketahanan fluida terhadap tegangan geser pada dinding dimana fluida tersebut mengalir. Hukum viskositas pada fluida Newtonian

menyatakan bahwa laju aliran dikalikan dengan viskositas berbanding lurus terhadap tegangan geser.

Pada dasarnya viskositas disebabkan karena kohesi dan pertukaran momentum molekuler diantara lapisan layer fluida pada saat fluida tersebut mengalir. Viskositas fluida ini dipengaruhi oleh banyak hal, misalnya temperature, konsentrasi larutan, bentuk partikel, dll. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk, antara lain:

d. Viskositas Dinamik

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besar nilai viskositas dinamik tergantung dari faktor seperti yang dijelaskan sebelumnya. Untuk viskositas dinamik air pada temperature lingkungan $T = 27^0 \text{ C}$ adalah $8.6 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$.

e. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan viskositas dinamik terhadap density (kerapatan) massa jenis dari fluida tersebut. Viskositas ini terdapat dalam beberapa penerapan antara lain dalam bilangan Reynolds yang merupakan bilangan tak berdimensi. Nilai viskositas kinematik air pada temperature standar $T = 27^0\text{C}$ adalah $8.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Pada fluida Non-Newtonian viskositasnya ditentukan oleh *Apperant Viscosity* (kekentalan sesaat) karena fluida Non-Newtonian tersebut memiliki suatu sifat histerisis, hal ini disebabkan sulitnya mencari viskositas aslinya.

Tabel 4 Densitas dan Viskositas Air dengan Suhu 0°- 40°C

Appendix II.—Density and Viscosity of Water 0°C–40°C					
Temperature, in degrees Celsius	Temperature, in degrees Fahrenheit	Density, in grams per cubic centimeter	Density, in pounds-mass per cubic foot ^d	Kinematic viscosity, in square centimeters per second	Kinematic viscosity, in square feet per second $\times 10^5$
0	32	0.9998	62.42	0.0179	1.92
0.6	33	0.9999	62.42	0.0175	1.89
1	33.8	0.9999	62.42	0.0173	1.86
1.1	34	0.9999	62.42	0.0172	1.85
1.7	35	0.9999	62.42	0.0169	1.82
2	35.6	0.9999	62.42	0.0167	1.80
2.2	36	0.9999	62.42	0.0166	1.79
2.8	37	1.0000	62.43	0.0163	1.76
3	37.4	1.0000	62.43	0.0162	1.74
3.3	38	1.0000	62.43	0.0160	1.72
3.9	39	1.0000	62.43	0.0157	1.69
4	39.2	1.0000	62.43	0.0157	1.69
4.4	40	1.0000	62.43	0.0155	1.66
5	41	1.0000	62.43	0.0152	1.64
5.6	42	1.0000	62.43	0.0149	1.61
6	42.8	0.9999	62.42	0.0147	1.58
6.1	43	0.9999	62.42	0.0147	1.58
6.7	44	0.9999	62.42	0.0144	1.55
7	44.6	0.9999	62.42	0.0143	1.54
7.2	45	0.9999	62.42	0.0142	1.53
7.8	46	0.9999	62.42	0.0140	1.50
8	46.4	0.9998	62.42	0.0139	1.49
8.3	47	0.9998	62.42	0.0137	1.48
8.9	48	0.9998	62.41	0.0135	1.45
13.9	57	0.9993	62.38	0.0117	1.26
14	57.2	0.9992	62.38	0.0117	1.26
14.4	58	0.9992	62.38	0.0116	1.25
15	59	0.9991	62.37	0.0114	1.23
15.6	60	0.9990	62.37	0.0112	1.21
16	60.8	0.9989	62.36	0.0111	1.20
16.1	61	0.9989	62.36	0.0111	1.19
16.7	62	0.9988	62.36	0.0109	1.17
17	62.6	0.9988	62.35	0.0108	1.17
17.2	63	0.9987	62.35	0.0108	1.16
17.8	64	0.9986	62.34	0.0106	1.14
18	64.4	0.9986	62.34	0.0105	1.14
18.3	65	0.9985	62.34	0.0105	1.13
18.9	66	0.9984	62.33	0.0103	1.11
19	66.2	0.9984	62.33	0.0103	1.11
19.4	67	0.9983	62.32	0.0102	1.10
20	68	0.9982	62.32	0.0100	1.08
20.6	69	0.9981	62.31	0.00991	1.07
21	69.8	0.9980	62.30	0.00980	1.06
21.1	70	0.9980	62.30	0.00977	1.05
28	82.4	0.9962	62.19	0.00836	0.900
28.3	83	0.9961	62.19	0.00830	0.893
28.9	84	0.9960	62.18	0.00820	0.883
29	84.2	0.9959	62.17	0.00818	0.881
29.4	85	0.9958	62.17	0.00811	0.873
30	86	0.9956	62.16	0.00801	0.862
30.6	87	0.9955	62.15	0.00792	0.852
31	87.8	0.9954	62.14	0.00785	0.844
31.1	88	0.9953	62.14	0.00783	0.843
31.7	89	0.9951	62.12	0.00774	0.833
32	89.6	0.9950	62.12	0.00769	0.827
32.2	90	0.9950	62.11	0.00765	0.824
32.8	91	0.9948	62.10	0.00756	0.814
33	91.4	0.9947	62.10	0.00753	0.811
33.3	92	0.9946	62.09	0.00748	0.805
33.9	93	0.9944	62.08	0.00740	0.796
34	93.2	0.9944	62.08	0.00738	0.795
34.4	94	0.9942	62.07	0.00732	0.788
35	95	0.9940	62.06	0.00724	0.779
35.6	96	0.9938	62.04	0.00716	0.771
36	96.8	0.9937	62.03	0.00710	0.764
36.1	97	0.9937	62.03	0.00708	0.762
36.7	98	0.9935	62.02	0.00701	0.754
37	98.6	0.9933	62.01	0.00696	0.749
37.2	99	0.9933	62.01	0.00693	0.746
37.8	100	0.9931	61.99	0.00686	0.738
38	100.4	0.9930	61.99	0.00683	0.735
38.3	101	0.9929	61.98	0.00679	0.731
38.9	102	0.9926	61.97	0.00672	0.723
39	102.2	0.9926	61.97	0.00670	0.722
39.4	103	0.9924	61.96	0.00665	0.716
40	104	0.9922	61.94	0.00658	0.708

(Sumber: Siti Rabiah Adawiah, 2019)