

TESIS
STUDI EKSPERIMENTAL TEKANAN JARINGAN
PERPIPAAN

SITI HARDIYANTI RAHMA
D012171031



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
G O W A
2021

STUDI EKSPERIMENTAL TEKANAN JARINGAN PERPIPAAN

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan Oleh

SITI HARDIYANTI RAHMA

D0121 71 031

Kepada

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

G O W A

2021

TESIS**STUDI EKSPERIMENTAL TEKANAN JARINGAN PERPIPAAN**

Disusun dan diajukan oleh :

SITI HARDIYANTI RAHMA**Nomor Pokok D012171031**

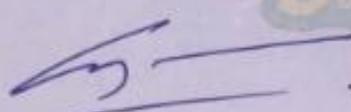
telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 14 September 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

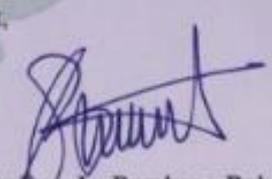
Menyetujui

Komisi Penasehat,



Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta, S.T., M.T.

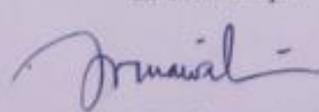
Ketua



Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T.

Sekretaris

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : SitiHardiyanti Rahma

Nomor mahasiswa : D012171031

Program studi : Teknik Sipil

Konsentrasi : Keairan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 12 Oktober 2021

Yang menyatakan,



Siti Hardiyanti Rahma

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “**Studi Eksperimental Tekanan Jaringan Perpipaan**”.

Penelitian ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan program studi S2 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Saya menyadari sepenuhnya dalam penulisan penelitian ini tidak akan terlaksana sebagaimana yang diharapkan tanpa adanya bantuan, arahan, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini perkenankan penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Pembimbing utama Bapak **Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT.** yang telah membimbing penulis dalam penulisan penelitian ini.
2. Pembimbing pendamping Bapak **Dr. Eng. Bambang Bakri, ST., MT.** yang telah banyak membimbing penulis dalam menyusun Hasil Penelitian ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, MT.** (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin)
4. Ibu **Dr. Eng. Rita Irmawaty, ST., MT.** (Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Magister Universitas Hasanuddin Gowa).
5. Para Dosen dan Staf Pascasarjana UNHAS dan Staf Prodi S2 Teknik Sipil yang telah membantu dan membimbing penulis selama mengikuti

pendidikan pada Program Studi S2 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

6. Ayahanda H. Hamzah Manguluang tercinta, Ibunda Hj. Rahmawati Kadir, dan suamiku Muhammad Faisal Reza serta, saudariku Nani, Rasidah, Tauhid, ananda Zahra dan Arkan yang terus memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan tesis ini.
7. Rekan mahasiswa Program Studi S3 Ibu Ratna Bachrun, rekan mahasiswa penelitian Ibu Sulhairi dan Pak Muh. Taufik Akbar, dan mahasiswa-mahasiswa Program Studi S2 Universitas Hasanuddin khususnya Angkatan 2017 Jurusan Teknik Sipil Konsentrasi Keairan dan semua pihak yang telah membantu.
8. Rekan kantor Pak Imam, Ibu Ary, Ibu Zulfiyah, Mba Ana, Mba Ayu, dan Pak Akbar, serta rekan-rekan kantor yang lain terus memberikan dukungan, semangat, dan memberikan izin dalam menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam hasil penelitian ini, oleh karena itu penulis mengharapkan agar kiranya memberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan hasil penelitian ini. Akhir kata, Penulis mengharapkan hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua, bangsa dan negara. Amin.

Makassar, Oktober 2021

Penulis

Siti Hardiyanti Rahma

ABSTRAK

Siti Hardiyanti Rahma. Studi Eksperimental Tekanan Jaringan Perpipaan (Dibimbing oleh **Mukhsan Putra Hatta** dan **Bambang Bakri**).

Tekanan aliran adalah salah satu faktor penting dalam pengaliran air dalam pipa. Bila tekanan rendah, maka akan menimbulkan masalah dalam pendistribusian jaringan pipa. Namun bila tekanan terlalu besar akan menyebabkan kehilangan energi. Selain itu, dalam instalasi jaringan pipa akan terjadi hambatan aliran yang disebabkan faktor-faktor instalasi jaringan pipa itu sendiri seperti kecepatan aliran, perubahan dimensi pipa dan adanya belokan, serta perubahan kekasaran material pipa. Hambatan aliran akan menyebabkan turunnya energi dan tekanan. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisis seberapa besar pengaruh parameter aliran terhadap tekanan dalam jaringan perpipaan dan mendapatkan hubungan parameter tak berdimensi pada jaringan perpipaan. Penelitian ini menggunakan penelitian eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Gowa. Karakteristik sampel air yang digunakan adalah density (ρ) 1.000 kg/m³, viskositas kinematik 0,804 x 10⁻⁶ m²/det, viskositas dinamik (μ) 0,801 x 10⁻³ Nd/m², nilai viskositas (kekentalan) 8,5x10⁻⁷ m²/det, dan berat jenis (γ) 1,00355 gr/cm³, serta suhu 29,50C. Variasi debit yang digunakan ada 3 yaitu Q₁= 0,004 m³/det, Q₂ =0,003m³/det dan Q₃ = 0.002 m³/det serta variasi tinggi jatuh (head) H₁ = 0,5 meter, H₂ = 1 meter dan H₃ = 2 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh parameter aliran terhadap tekanan dalam jaringan perpipaan bahwa semakin tinggi debit maka tekanannya juga meningkat. Hal ini disebabkan karena kecepatan dan Bilangan Reynold juga meningkat. Sedangkan pengaruh headloss, semakin tinggi headloss maka tekanan semakin rendah karena semakin jauh titik pengamatannya sehingga terjadi kehilangan energi (mayor losses dan minor losses). Hubungan parameter non dimensional dari semua parameter menunjukkan hubungan yang sangat signifikan antara P dari hasil pengukuran dan P empiris.

Kata Kunci: Tekanan, debit, *head*, kehilangan energi

ABSTRACT

Siti Hardiyanti Rahma. Experimental Study of Pipeline Network Pressure (Supervised by **Mukhsan Putra Hatta** and **Bambang Bakri**).

Flow pressure is one of the important factors in the water flow in pipes. If the pressure is low, it will cause problems in the distribution of the pipeline network. However, if the pressure is too large, it will cause a loss of energy. In addition, in the installation of pipelines there will be flow resistance caused by factors of the pipeline installation itself such as flow velocity, changes in pipe dimensions and the presence of bends, as well as changes in the roughness of the pipe material. The flow resistance will cause a decrease in energy and pressure. The purpose of this study is to analyze how much effect the flow parameter has on the pressure in the piping network and obtain dimensionless parameter relationships in the piping network. This study uses experimental research conducted in the Hydraulics laboratory of the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Hasanuddin in Gowa. The characteristics of the water samples used are density (ρ) 1,000 kg/m³, kinematic viscosity 0.804×10^{-6} m²/s, dynamic viscosity (μ) 0.801×10^{-3} Nd/m², viscosity value (thickness) 8.5×10^{-7} m²/ sec, and specific gravity (γ) 1.00355 gr/cm³, and a temperature of 29.5°C. There are 3 discharge variations used, namely Q1 = 0.004 m³/s, Q2 = 0.003m³/s and Q3 = 0.002 m³/s and variations in head fall H1 = 0.5 meters, H2 = 1 meter, and H3 = 2 meters. The results showed that the effect of flow parameters on the pressure in the piping network is that the higher the discharge, the higher the pressure. This is due to the increasing of speed and Reynolds number. Meanwhile, on the effect of headloss, the higher the headloss, the lower the pressure because the farther the observation point is, resulting in energy loss (major losses and minor losses). The non-dimensional parameter relationship of all parameters shows a very significant relationship between P from the measurement results and P empirical.

Keywords: Pressure, discharge, head, headloss.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Aliran Pada Saluran Tertutup.....	5
B. Jenis-jenis Aliran Fluida	5
C. Bilangan Reynolds	7
D. Rapat Jenis	8

E.	Persamaan Bernoulli	9
F.	Tekanan	10
G.	Kehilangan Energi	12
H.	Kerangka Pikir	19

BAB III. METODE PENELITIAN

A.	Lokasi dan Waktu Penelitian	20
B.	Jenis Penelitian dan Sumber Data	20
C.	Rancangan Penelitian	21
D.	Diagram Proses Penelitian.....	31

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A.	Hasil	33
	1. Hasil Percobaan	33
	2. Tekanan	36
	3. Kecepatan	37
	4. Bilangan Reynolds	38
	5. <i>Head Loss</i>	39
B.	Pembahasan	40
	1. Pengaruh Parameter Aliran terhadap Tekanan pada Jaringan Perpipaan	40
	2. Analisa Dimensi Metode Buckingham	59
	3. Validasi Hasil	69

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 73

B. Saran 74

DAFTAR PUSTAKA 75

DAFTAR TABEL

nomor		halaman
2.1.	Koefisien K_b sebagai fungsi sudut belokan α	16
2.2	Nilai K_b sebagai fungsi dari R/D	18
2.3.	Nilai K sebagai fungsi dari α	18
3.1	Variasi dan Parameter Penelitian	27
3.2	Data pada rangkaian simulasi	28
3.3	Titik pengamatan y dan l	28
4.1	Karakteristik Sampel Air	34
4.2	Hasil Percobaan	34
4.3	Tekanan	36
4.4	Kecepatan	37
4.5	Bilangan <i>Reynolds</i>	38
4.6	<i>Headloss</i>	39
4.7	Penentuan dimensi dasar pada setiap variabel	60

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 2.1	Ilustrasi persamaan Bernoulli	10
Gambar 2.2	Belokan pipa	15
Gambar 2.3	Perbesaran pipa	15
Gambar 2.4	Perbesaran penampang berangsur-angsur	16
Gambar 2.5	Pengecilan pipa	17
Gambar 2.6	Pengecilan penampang berangsur-angsur	17
Gambar 2.7	Koefisien K_c Sebagai fungsi α	18
Gambar 2.8	Kerangka Pikir Penelitian	19
Gambar 3.1	Tampak Atas Rangkaian Pipa	22
Gambar 3.2	Tampak Samping Rangkaian Pipa	22
Gambar 3.3	Rangkaian Pipa	23
Gambar 3.4	Reservoir atas dan Reservoir Bawah	23
Gambar 3.5	Katub dan Busur derajat	24
Gambar 3.6	Tabung pitot dan manometer	24
Gambar 3.7	Pompa Air	25
Gambar 3.8	Arah Aliran Pipa Lurus	26
Gambar 3.9	Arah Aliran pada Belokan	26

Gambar 3.10	Bagan Alir Penelitian	31
Gambar 4.1	Hubungan debit dengan tekanan pada pipa lurus (a) H1, (b) H2, (c) H3	40
Gambar 4.2	Hubungan debit dengan tekanan pada pipa belok (a) H1, (b) H2, (c) H3	42
Gambar 4.3	Hubungan kecepatan dengan tekanan pada pipa Lurus (a) H1, (b) H2, (c) H3	44
Gambar 4.4	Hubungan kecepatan dengan tekanan pada pipa Belok (a) H1, (b) H2, (c) H3	46
Gambar 4.5	Hubungan Bilangan Reynolds dengan tekanan pada pipa lurus (a) H1, (b) H2, (c) H3	48
Gambar 4.6	Hubungan Bilangan Reynolds dengan tekanan pada pipa belok (a) H1, (b) H2, (c) H3	50
Gambar 4.7	Hubungan jarak dengan tekanan pada pipa lurus (a) H1, (b) H2, (c) H3	52
Gambar 4.8	Hubungan jarak dengan tekanan pada pipa belok (a) H1, (b) H2, (c) H3	53
Gambar 4.9	Hubungan <i>headloss</i> dengan tekanan pada pipa lurus (a) H1, (b) H2, (c) H3	55
Gambar 4.10	Hubungan <i>headloss</i> dengan tekanan pada pipa belok (a) H1, (b) H2, (c) H3	57
Gambar 4.11	Hubungan tekanan ($\frac{P}{\rho D}$) dan debit ($\frac{Q}{\sqrt{gD^{2.5}}}$) pada pipa (a) Lurus, (b) Belok	63

- Gambar 4.12 Hubungan tekanan ($\frac{P}{\rho D}$) dan tinggi jatuh air $\frac{H}{h}$ pada pipa (a) Lurus, (b) Belok 64
- Gambar 4.13 Hubungan tekanan ($\frac{P}{\rho D}$) dan panjang pipa ($\frac{L}{y}$) pada pipa (a) Lurus, (b) Belok 66
- Gambar 4.14 Hubungan ψ terhadap $\frac{P}{\rho D}$ pada pipa (a) Lurus, (b) Belok 68
- Gambar 4.15 Perbandingan tekanan antara pengukuran langsung dengan Metode Analitis (Bernoulli), (a1) Q1H1 pada pipa lurus, (a2) Q1H1 pada pipa belok, (b1) Q1H2 pada pipa lurus, (b2) Q1H2 pada pipa belok, (c1) Q1H3 pada pipa lurus, (c3) Q1H3 pada pipa belok 70
- Gambar 4.16 Perbandingan hubungan tekanan terhadap debit pada penelitian (a) Untung dan Suryo, (b) Hasil pengukuran 71

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam kebutuhan sehari-hari air merupakan kebutuhan primer dan mempunyai peranan penting, sehingga kebutuhan air sangat mutlak diperlukan terutama untuk manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan. Sistem pendistribusian air menggunakan pipa merupakan salah satu alternatif yang memiliki beberapa keuntungan. Keuntungan tersebut diantaranya adalah air mudah diukur dan dikontrol, kualitas air dalam penyaluran tidak tercemar, kehilangan air karena rembesan dapat dihilangkan, evaporasi sewaktu penyaluran dapat diperkecil, serta mudah dalam operasi dan pemeliharaan.

Kebutuhan air yang harus dipenuhi akan menentukan tipe dan ukuran sistem distribusi jaringan pipa yang diinginkan. Bila tekanan rendah, maka akan menimbulkan masalah dalam pendistribusian jaringan pipa. Namun bila tekanan terlalu besar akan menyebabkan kehilangan energi. Selain itu, dalam instalasi jaringan pipa akan terjadi hambatan aliran yang disebabkan faktor-faktor instalasi jaringan pipa itu sendiri seperti kecepatan aliran, perubahan dimensi pipa dan adanya belokan, serta perubahan kekasaran material pipa. Hambatan aliran akan menyebabkan turunnya energi dan tekanan.

Proses perancangan dan perencanaan saluran tertutup (jaringan perpipaan) adalah aspek yang sangat luas dan membutuhkan analisa yang saling terkait satu sama lain antara kebutuhan air (debit), diameter pipa, tinggi jatuh (head), tekanan air, kecepatan air, dan sebagainya. Akibat keterkaitan faktor-faktor tersebut tidak diperhatikan, sehingga beberapa jaringan perpipaan yang ada tidak bekerja secara maksimal. Debit pada jaringan perpipaan berkurang, maka tekanan dan kecepatan juga berkurang. Sehingga aliran fluida di dalam pipa mengalami aliran tidak sempurna atau aliran pada pipa tidak penuh dikarenakan masih ada rongga yang berisi udara (Kodoatie, 2002)

Penelitian ini diarahkan untuk mengetahui Pengaruh Perubahan Debit dan Tinggi Jatuh terhadap Tekanan pada Jaringan Perpipaan. Untuk tujuan tersebut maka dilakukan penelitian model fisik di laboratorium yang meliputi: (1) Menganalisis pengaruh parameter aliran terhadap tekanan dalam jaringan perpipaan; (2) Mendapatkan pengaruh parameter tak berdimensi terhadap tekanan.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini dijabarkan dalam rumusan masalah, sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh parameter aliran terhadap tekanan dalam jaringan perpipaan?
2. Bagaimana hubungan parameter tak berdimensi pada jaringan pipa?

C. Tujuan Penelitian

Terkait dengan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh parameter aliran terhadap tekanan dalam jaringan perpipaan.
2. Mendapatkan hubungan parameter tak berdimensi pada jaringan pipa.

D. Manfaat Penelitian

Dengan berjalannya penelitian ini, maka diharapkan dapat memperoleh manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan sebagai acuan dan informasi para peneliti dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan sistem perpipaan air.
2. Sebagai referensi untuk pengembangan inovasi model jaringan pipa dalam meningkatkan kinerja jaringan pipa air.

E. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran maka penelitian dibatasi pada:

1. Jaringan pipa air terdiri dari satu *inflow* dan *outflow*.
2. Karakteristik sampel air yang digunakan dalam penelitian ini adalah *density* (ρ) 1.000 kg/m³, viskositas kinematik (ν) 0,804 x 10⁻⁶ m²/det, viskositas dinamik (μ) 0,801 x 10⁻³ Nd/m², nilai viskositas (kekentalan)

$8,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{det}$, dan berat jenis (γ) $1,00355 \text{ gr/cm}^3$, serta temperatur $29,5^\circ\text{C}$.

3. Variasi tinggi jatuh (*head*) adalah $H_1 = 2$ meter, $H_2 = 1$ meter, dan $H_3 = 0,5$ meter.
4. Variasi debit yang digunakan 3 (tiga) yaitu $Q_1 = 0,004 \text{ m}^3/\text{det}$, $Q_2 = 0,003 \text{ m}^3/\text{det}$, dan $Q_3 = 0,002 \text{ m}^3/\text{det}$.
5. Penelitian dilakukan pada jaringan pipa lurus dan belokan.
6. Tidak terjadi kebocoran pada rangkaian, sehingga volume dalam rangkaian dianggap konstan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Aliran Pada Saluran Tertutup

Saluran tertutup yang biasanya penampang lingkaran digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (Triatmojo, 1992). Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair di dalam pipa tidak penuh), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan dipermukaan zat cair di sepanjang saluran terbuka adalah atmosfer.

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan pada saluran tertutup adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi jika pada pipa alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie, 2002)

B. Jenis – Jenis Aliran Fluida

Aliran fluida terbagi berdasarkan beberapa kategori, diantaranya berdasarkan sifat pergerakannya adalah :

1. **Uniform Flow** merupakan aliran fluida yang terjadi dimana besar dan arah dari vektor-vektor kecepatan konstan dari suatu titik ke titik selanjutnya pada aliran fluida tersebut.
2. **Non Uniform Flow** merupakan aliran yang terjadi dimana besar dan arah vektor-vektor kecepatan fluida selalu berubah terhadap lintasan aliran fluida tersebut, hal ini terjadi apabila luas penampang medium fluida juga berubah.
3. **Steady Flow** merupakan aliran yang terjadi apabila kecepataannya tidak dipengaruhi oleh waktu, sehingga kecepataannya konstan pada setiap titik pada aliran tersebut.
4. **Non Steady Flow** merupakan aliran yang terjadi apabila ada suatu perubahan kecepatan aliran tersebut terhadap perubahan waktu.

Berdasarkan pengaruh tekanan terhadap volume, fluida dapat digolongkan menjadi 2 yaitu :

1. **Fluida tak termampatkan (*incompressible*)**, pada kondisi ini fluida tidak mengalami perubahan dengan adanya perubahan tekanan, sehingga fluida tak termampatkan.
2. **Fluida termampatkan (*compressible*)**, pada keadaan ini, fluida mengalami perubahan volume dengan adanya perubahan tekanan, sehingga fluida ini secara umum disebut fluida termampatkan.

Fluida dapat juga dibedakan berdasarkan kekentalannya, yaitu fluida nyata (*viscous fluid*) dan fluida ideal (*non viscous fluid*). Fluida nyata adalah fluida

yang memiliki kekentalan, fluida ini dapat kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari contohnya air dan udara. Sedangkan fluida ideal, tidak ada dalam kehidupan sehari-hari dan hanya dipakai dalam teori dan kondisi-kondisi khusus saja.

Kemudian jenis aliran fluida berdasarkan gaya yang terjadi pada fluida dibedakan atas :

1. Aliran Laminar

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

2. Aliran Turbulen

Aliran dimana pergerakan dari partikel – partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu.

3. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan antara aliran laminar dan aliran turbulen.

C. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds aliran digunakan untuk menunjukkan sifat utama aliran, yaitu apakah aliran adalah laminar, turbulen, atau transisi serta

letaknya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen berbanding dengan laminar.

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

D = Diameter dalam pipa (m)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

μ = Viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

Pada fluida air, suatu aliran diklasifikasikan laminar apabila aliran tersebut mempunyai bilangan Reynolds (Re) kurang dari 2300. Untuk aliran transisi berada pada bilangan $2300 < Re < 4000$, disebut juga sebagai bilangan Reynolds kritis. Sedangkan untuk aliran turbulen mempunyai bilangan Reynolds lebih dari 4000.

D. Rapat Jenis (*Density*)

Rapat jenis atau *density* adalah ukuran konsentrasi suatu zat dan dinyatakan dalam satuan massa per satuan volume. Sifat ini ditentukan dengan cara menghitung ratio massa zat yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut. Hubungannya dapat dinyatakan sebagai berikut :

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

dimana :

m = Massa fluida (kg)

V = Volume fluida (m^3)

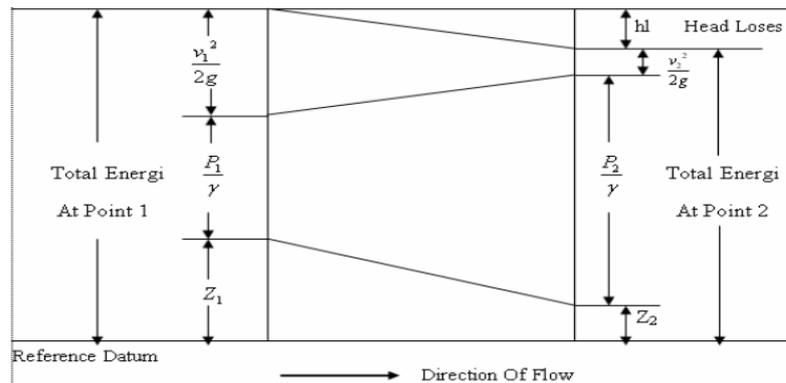
Besar nilai rapat jenis dipengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur maka kerapatan fluida akan berkurang dikarenakan gaya kohesi dari molekulmolekul fluida menjadi berkurang.

E. Persamaan Bernoulli

Hukum kekekalan energi menyatakan energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan namun dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk lain. Energi yang ditunjukkan dari persamaan energi total diatas, atau dikenal sebagai *head* pada suatu titik dalam aliran *steady* adalah sama dengan total energi pada titik lain sepanjang aliran fluida tersebut. Hal ini berlaku selama tidak ada energi yang ditambahkan ke fluida atau yang diambil dari fluida. Konsep ini dinyatakan ke dalam bentuk persamaan yang disebut dengan persamaan Bernoulli (Triatmodjo, 2015) yaitu:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan p_1 dan p_2 adalah tekanan pada titik 1 dan 2, V_1 dan V_2 adalah kecepatan aliran pada titik 1 dan 2, z_1 dan z_2 adalah perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2, γ adalah berat jenis fluida, g adalah percepatan gravitasi adalah 9,8 (m/d^2)



Gambar 2.1. Ilustrasi Persamaan Bernoulli (Triatmodjo, 2015)

Besarnya kecepatan akan mempengaruhi besarnya fluida yang mengalir dalam suatu pipa. Jumlah dari aliran fluida mungkin dinyatakan sebagai volume, berat atau massa fluida dengan masing-masing laju aliran ditunjukkan sebagai laju aliran volume (m^3/d), laju aliran berat (N/d) dan laju aliran massa (kg/d). Kapasitas aliran (Q) untuk fluida yang incompressible yaitu:

$$Q = A.V \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan Q adalah laju aliran volume (m^3/d), A adalah luas penampang aliran (m^2), V adalah kecepatan aliran fluida (m/d).

F. Tekanan

Fluida memegang peranan penting dalam penyelesaian permasalahan. Tinjauan fluida statis dan fluida dinamis mutlak diperlukan untuk mencari berbagai solusi yang diperlukan. Salah satu hal yang diperhatikan dalam fluida statis adalah tekanan (*pressure*).

Fluida didefinisikan Chorlton sebagai zat yang diperlukan. Salah satu hal yang diperhatikan dalam fluida statis adalah tekanan (*pressure*).

Fluida didefinisikan Chorlton sebagai zat yang mengalami perubahan bentuk bila mendapat tekanan, meskipun tekanan tersebut sangat kecil.

Tekanan merupakan perkalian antara gaya kompresif yang bekerja pada satuan luas. Satuan-satuan tekanan dihasilkan dibagi satuan luas atau N/m^2 adalah pascal, Pa. Namun satuan pascal sangatlah kecil, sehingga lebih sering diekspresikan dalam kilo Pascal (kPa).

$$\rho = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Tekanan pada fluida dipancarkan dengan kekuatan sama besar ke semua arah dan bekerja tegak lurus pada suatu bidang. Pada bidang datar yang sama kekukatan tekanan dalam suatu cairan sama. Pengukuran-pengukuran satuan tekanan yaitu menggunakan berbagai bentuk meteran. Secara umum ada dua jenis tekanan:

1. Tekanan Udara

Tekanan udara adalah tekanan yang menggerakkan massa udara dalam setiap satuan luas tertentu. Alat untuk mengukur tekanan udara adalah barometer dan satuan tekanan adalah milibar (mb). Besarnya tekanan udara akan berbanding berbalik dengan ketinggian suatu tempat, semakin rendah tempat tersebut, maka semakin tinggi tekanannya, demikian juga sebaliknya.

2. Tekanan Hidrostatika

Pada tekanan hidrostatika tidak terjadi tegangan geser (gaya geser disebabkan oleh gradient kecepatan) hal ini diakibatkan karena tidak terjadinya pergerakan relatif diantara partikel-partikel fluida. Ini bukan berarti partikel-partikel fluida tidak bergerak, melainkan hanya tidak bergerak relatif satu sama lainnya.

Tekanan hidrostatik didapat dari menurunkan persamaan umum tekanan dengan menurunkannya menjadi

$$P_h = \frac{F}{A} = \frac{\rho \times l \times h \times g}{p \times l} = \rho \times g \times h \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan F adalah massa dikali percepatan gravitasi, dimana massa merupakan hasil kali massa jenis (ρ) dengan volume (V) adalah luas permukaan (A) dikali tinggi (h). Sehingga kita dapat menyederhanakan menjadi persamaan tekanan hidrostatik yang umum kita ketahui sekarang ini.

G. Kehilangan Energi

Headloss adalah kehilangan energi per satuan berat fluida dalam pengaliran cairan dalam sistem perpipaan. *Headloss* terdiri dari :

1. Kehilangan Tenaga Aliran Melalui Pipa

Pada zat cair yang mengalir didalam bidang batas (pipa, saluran terbuka atau bidang datar) akan terjadi tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan aliran karena adanya kekentalan. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga

selama pengaliran. Menurut Triatmodjo (2015) aliran viskos merupakan aliran zat cair yang mempunyai kekentalan (viskositas). Kekentalan adalah sifat zat cair yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan mengubah sebagian energi aliran dalam bentuk energi lain seperti panas, suara dan sebagainya. Perubahan energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga.

Aliran viskos dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu apabila pengaruh kekentalan (viskositas) adalah cukup dominan sehingga partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminar. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan aliran kecil. Pengaruh kekentalan yang berkurang akan bertambahnya kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen. Pada aliran turbulen partikel zat cair bergerak secara tidak teratur.

Pipa dari sistem jaringan terdapat hubungan antara kehilangan tenaga dan debit. Menurut Weisbach (Triatmodjo, 2015) kehilangan tinggi tekanan berbanding langsung dengan tinggi kecepatan yang dinyatakan dengan,

$$h_k = k \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan h_k adalah tinggi tenaga yang hilang (m), k adalah koefisien kehilangan tekanan Weisbach, V adalah kecepatan aliran (m/d), g adalah percepatan gravitasi bumi (m/d^2). Koefisien kehilangan energi (k), selain ditimbulkan oleh gesekan dinding pipa, juga oleh adanya percabangan atau lubang pada pipa. Nilai k adalah fungsi dari koefisien kecepatan C_v atau

ditulis $k=(1/C_v^2-1)$. Aliran dalam pipa bertekanan mengalami kehilangan tinggi tekanan akibat gesekan dinding pipa sesuai dengan persamaan Darcy-Weisbach (Triatmodjo, 2015), sebagai berikut;

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.8)$$

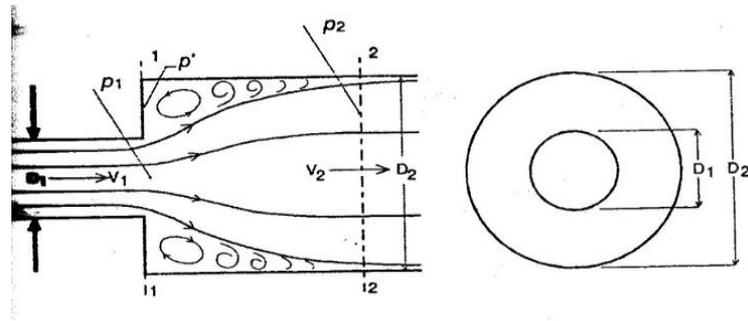
Dengan hf adalah kehilangan tinggi tekanan (m), f adalah koefisien kekasaran pipa, D adalah diameter pipa (m), L adalah panjang pipa (m), g adalah percepatan gravitasi (m/d^2), Q adalah debit yang masuk pada pipa (m^3/d).

2. Kehilangan Tenaga Sekunder Dalam Pipa

Kehilangan tenaga akibat gesekan (kehilangan tenaga primer), terjadi pula kehilangan tenaga yang disebabkan oleh perubahan penampang pipa, sambungan, belokan dan katub (kehilangan tenaga sekunder). Pipa panjang kehilangan tenaga primer biasanya jauh besar dari pada kehilangan tenaga sekunder, sehingga pada keadaan tersebut kehilangan tenaga sekunder dapat diabaikan sedangkan pada pipa pendek kehilangan tenaga sekunder harus diperhitungkan. Apabila kehilangan tenaga sekunder kurang dari 5 % dari kehilangan tenaga primer, maka kehilangan tenaga tersebut bisa diabaikan. Untuk memperkecil kehilangan tenaga sekunder, perubahan penampang atau belokan dapat dibuat secara berangsur angsur.

a. Pembesaran Penampang

Pembesaran penampang mendadak mengakibatkan kenaikan tekanan dari p_1 menjadi p_2 dan kecepatan turun dari V_1 menjadi V_2 (gambar 2.2) dapat digunakan persamaan Bernoulli $A_1V_1 = A_2V_2$

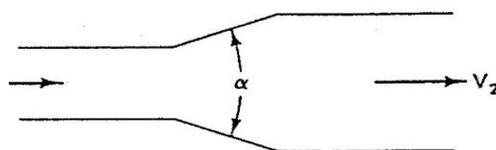


Gambar 2.2. Perbesaran Pipa (Triatmodjo, 2015)

Kehilangan tenaga pada perbesaran penampang akan berkurang apabila perbesaran dibuat secara berangsur-angsur (Gambar 2.3) kehilangan tenaga di berikan oleh persamaan:

$$h_e = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan h_e adalah kehilangan tinggi tekanan minor (m), adalah faktor sambungan, cabang dan belokan, V adalah kecepatan aliran (m/d), g adalah percepatan gravitasi bumi (m/d²).



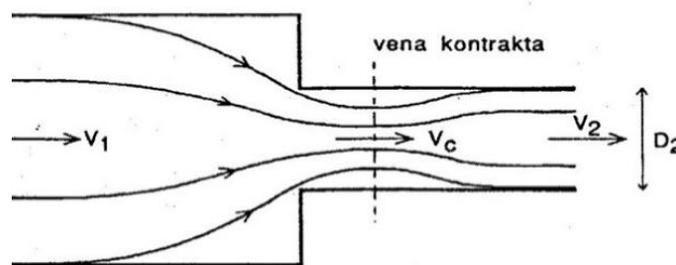
Gambar 2.3. Perbesaran Penampang Berangsur-angsur (Triatmodjo, 2015)

Tabel 2.1. Nilai K sebagai fungsi dari α

α	10°	20°	30°	40°	50°	60°	75°
K	0,078	0,31	0,49	0,60	0,67	0,72	0,72

b. Pengecilan Penampang

Pengecilan penampang yang mendadak garis aliran pada bagian hulu dari sambungan akan menguncup dan akan mengecil pada vena kontraktan (Gambar 2.4).

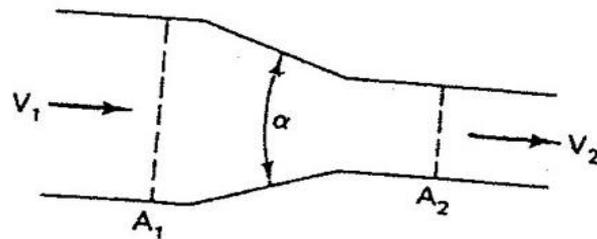


Gambar 2.4. Pengecilan Pipa (Triatmodjo, 2015)

Percobaan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa luas penampang sekitar $0.6 A_2$. Berdasarkan persamaan kontinuitas di vena kontakta maka:

$$h_e = 0,44 \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan h_e adalah kehilangan tinggi tekanan minor (m), V adalah kecepatan aliran (m/d), g adalah percepatan gravitasi bumi (m/d²). Kehilangan tenaga pada pengecilan pipa dapat dikurangi dengan membuat pengecilan penampang yang berangsur-angsur (Gambar 4).

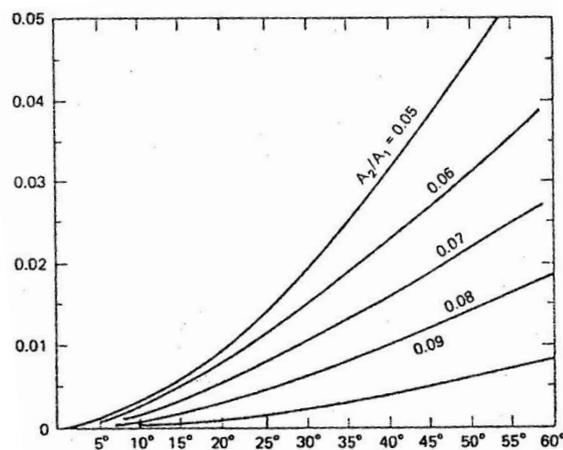


Gambar 2.5. Pengecilan Penampang Berangsur-angsur (Triatmodjo, 2015)

Maka kehilangan tenaga adalah

$$h_e = K'_c 0,44 \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots(2.11)$$

Nilai K'_c tergantung pada sudut transisi α dan perbandingan luas A_1/A_2 seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 2.6. Koefisien K'_c Sebagai Fungsi α (Triatmodjo, 2015)

c. Belokan Pipa

Kehilangan tenaga yang terjadi pada belokan tergantung pada sudut belokan pipa. Rumus kehilangan tenaga pada belokan adalah serupa dengan rumus pada perubahan penampang, yaitu:

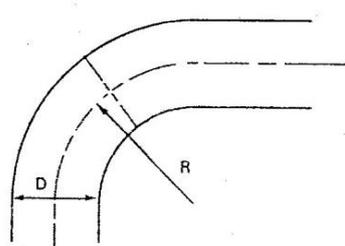
$$h_e = kb \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan *kb* adalah koefisien kehilangan tenaga pada belokan, yang diberikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Nilai *Kb* sebagai fungsi dari α

α	20°	40°	60°	80°	90°
<i>Kb</i>	0,078	0,31	0,69	0,60	0,67

Sudut belokan 90° dan dengan belokan halus (berangsur-angsur), kehilangan tenaga tergantung pada perbandingan antara jari-jari belokan dan diameter pipa (Triatmodjo, 2015)



Gambar 2.7. Belokan Pipa (Triatmodjo, 2015)

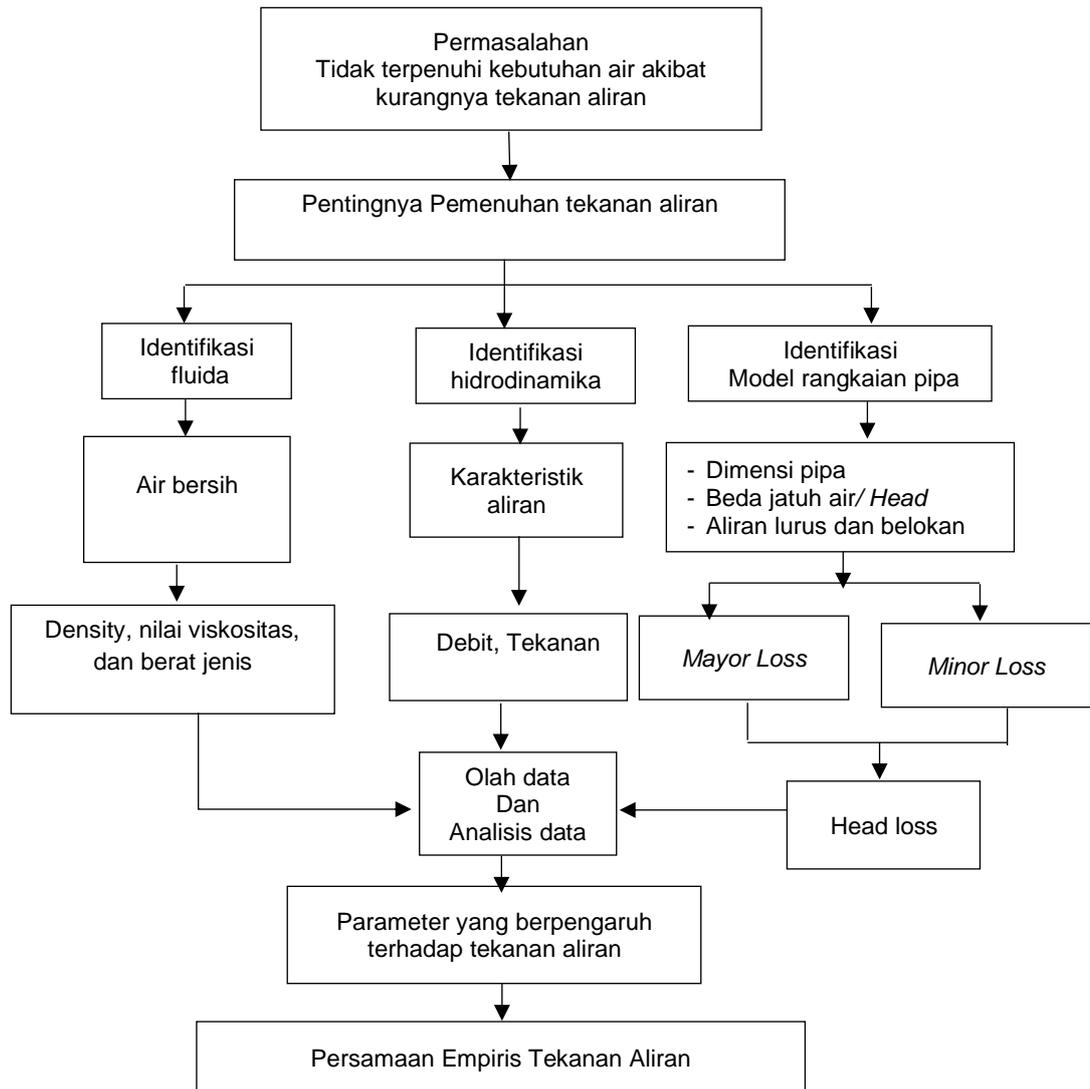
Nilai *Kb* untuk berbagai nilai *R/D* di berikan dalam Tabel 3

Tabel 2.3. Nilai *Kb* sebagai fungsi dari *R/D*

<i>R/D</i>	1	2	4	6	10	16	20
<i>Kb</i>	0,35	0,19	0,17	0,22	0,32	0,38	0,42

H. Kerangka Pikir Penelitian

Pelaksanaan penelitian dengan model jaringan pipa memiliki tahapan mekanisme penelitian, sebagai berikut;



Gambar 2.8. Kerangka Pikir Penelitian