

TESIS
**PENGARUH PERUBAHAN DEBIT DAN TINGGI
JATUH TERHADAP KEHILANGAN ENERGI PADA
JARINGAN PERPIPAAN**

SULHAIRI
D012171020



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

TESIS

**PENGARUH PERUBAHAN DEBIT DAN TINGGI JATUH TERHADAP
KEHILANGAN ENERGI PADA JARINGAN PERPIPAAN**

Disusun dan diajukan oleh :

SULHAIRI

Nomor Pokok D012171020

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 11 Februari 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,



Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Saleh Pallu, M.Eng
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.



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

LEMBAR PENGESAHAN UJIAN TUTUP

PENGARUH PERUBAHAN DEBIT DAN TINGGI JATUH TERHADAP KEHILANGAN ENERGI PADA JARINGAN PERPIPAAN

Disusun dan diajukan oleh:

SULHAIRI
D012171020



Gowa, Januari 2021

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Ketua Penasehat

Anggota Penasehat

A blue ink signature in cursive script, belonging to Prof. Dr. Ir. H. Saleh Pallu, M.Eng. The signature is written over a horizontal line.

(Prof. Dr. Ir. H. Saleh Pallu, M.Eng.)

A blue ink signature in cursive script, belonging to Dr. Eng. Bambang Bakri., ST., MT. The signature is written over a horizontal line.

(Dr. Eng. Bambang Bakri., ST., MT.)

Diketahui,
Ketua Program Studi

A blue ink signature in cursive script, belonging to Dr. Eng. Rita Irmawaty, ST., MT. The signature is written over a horizontal line.

(Dr. Eng. Rita Irmawaty, ST., MT.)

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : **SULHAIRI**
Nomor Mahasiswa : D012171020
Program Studi : S2 Teknik Sipil/ 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 dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 15 Februari 2021

Yang menyatakan,


SULHAIRI

ABSTRAK

SULHAIRI. Pengaruh Perubahan Debit dan Tinggi Jatuh Terhadap Kehilangan Energi pada Jaringan Perpipaan (dibimbing oleh **Muhammad Saleh Pallu** dan **Bambang Bakri**)

Kehilangan energi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas pipa sebagai sarana pendistribusi aliran air. Kehilangan energi disebabkan beberapa faktor diantaranya kekasaran dinding pipa yang berkaitan dengan material pipa. Akibat kurang diperhatikannya keterkaitan faktor-faktor ini, beberapa jaringan perpipaan yang ada tidak bekerja secara maksimal atau dengan kata lain jaringan tersebut tidak berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh perubahan debit dan tinggi jatuh (*head*) terhadap kehilangan energi. Penelitian ini menggunakan penelitian eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Gowa. Pengambilan data primer secara analisis kuantitatif dengan pengumpulan data utama melalui pengukuran dengan menggunakan rangkain pipa sebagai model pengujian, serta didahului dengan pengumpulan data pendukung yaitu analisis karakteristik sampel air. 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= 0,004m³/det, Q2 = 0,003 m³/det dan Q3 = 0.002 m³/det serta variasi tinggi jatuh (*head*) H1 = 2 meter, H2 = 1 meter dan H3 = 0,5 meter. Penelitian dilakukan pada jaringan pipa lurus dan pipa belokan dengan jenis pipa acrylic transparan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar debit menyebabkan kehilangan energi semakin besar pula dan semakin besar tinggi jatuh (*head*) menyebabkan gradien energi semakin curam sehingga kehilangan energi juga semakin besar.

Kata Kunci : Debit, tinggi jatuh (*head*), kehilangan energi.

ABSTRACT

SULHAIRI. The Effect of Changes in Debit and Fall Height on Loss of Energy's on the Pipe Network (supervised by **Muhammad Saleh Pallu** and **Bambang Bakri**)

Energy's loss is one of the factor that influence pipe capacity as water flow distribution. Energy's loss caused by some factors such as wall pipe coarseness that have connection with material of pipe itself. As a consequence by a low control of this connection, some flow system were not achieve maximal function, in other word this flow system were not deliver what it supposed to. The heading of this research are how debit and head fluctuating influence energy's loss. This research apply experimental research that held on hidrolika laboratorium department civil engineering of engineering faculty Hasanuddin university in Gowa. Water sample characteristics that used density (ρ) 1.000 kg/m³, viskositas kinematic 0,804 x 10⁻⁶ m², viskositas dinamic (μ) 0,801 x 10⁻³ Nd/m², viscosity 8,5x10⁻⁷ m²/s, and density (γ) 1,00355 gr/cm³, and temperature 29,5 °C. Debit variety that used are Q1= 0,004 m³/s, Q2 =0,003 m³/s and Q3 = 0.002 m³/s also head variety (head) H1 = 2 meter, H2 = 1 meter dan H3 = 0,5 meter. This research media is a transparent acrylic pipe system with straight and curve pipe. This research output show that debit increasing causes energy's loss increasing and head increasing causes energy gradien more precipitous so that energy's loss increasing.

Keywords : Debit, Head, Energy's Loss

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “**Pengaruh Perubahan Debit dan Tinggi Jatuh terhadap Kehilangan Energi pada Jaringan Pipa**”.

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 **Prof.Ir. H.M. Saleh Pallu, M.Eng** 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 Pascasarjana 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 M. Sunusi Yusuf tercinta (almarhum), Ibunda Syahriah Laining tercinta (almarhumah), dan suamiku Edy Hamzah serta Saudaraku Sulwasmiah, ananda Nailah, Naizar dan Naizam yang terus memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan tesis ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi S2 Universitas Hasanuddin khususnya Angkatan 2017 Jurusan Teknik Sipil Konsentrasi Keairan dan semua pihak yang telah membantu.

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, Februari 2021

Penulis

Sulhairi

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
 BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	4
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Aliran Pada Saluran Tertutup	5
B. Bilangan Reynolds	6
C. Kehilangan Energi	8
D. Viskositas	15
E. Tekanan	15
F. Kecepatan pada Tabung Pitot	17
G. Model dan Analisa Dimensi	20

BAB III. METODE PENELITIAN

A.	Lokasi dan Waktu Penelitian	22
B.	Jenis Penelitian dan Sumber Data	22
C.	Rancangan Penelitian	23
D.	Diagram Proses Penelitian	36

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A.	Hasil dan Pembahasan	37
	1. Hasil Percobaan	37
	2. Kecepatan Aliran	40
	3. Bilangan Reynolds	41
	4. <i>Head Loss</i>	42
B.	Pembahasan	46
	1. Pengaruh Perubahan Debit terhadap Kehilangan Energi	46
	2. Pengaruh Tinggi Jatuh terhadap Kehilangan Energi	59
	3. Tingkat Pengaruh Perubahan Debit dan Tinggi Jatuh (<i>head</i>) Terhadap Kehilangan Energi	70
C.	Validasi Hasil	73
	1. Gradien Energi	73
	2. Persamaan Manning	79

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

A.	Kesimpulan	83
B.	Saran	84

DAFTAR PUSTAKA	85
----------------------	----

DAFTAR TABEL

nomor	halaman
2.1. Koefisien K_b sebagai fungsi sudut belokan α	11
2.2. Nilai K_b sebagai fungsi dari R/D	11
2.3. Nilai K sebagai fungsi dari α	13
3.1. Variasi dan Parameter Penelitian	30
3.2. Rangkaian Simulasi pada Tiap Sampel	31
4.1. Karakteristik Sampel Air	38
4.2. Hasil Percobaan	38
4.3. Kecepatan Aliran	39
4.4. Bilangan Reynolds	41
4.5. <i>Mayor Headloss</i>	43
4.6. <i>Minor Headloss</i>	44
4.7. <i>Headloss</i>	45
4.8. Nilai C dan n untuk pipa baru	80

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Pola Aliran Laminer	6
Gambar 2.2	Pola Aliran Turbulen	7
Gambar 2.3	Pola Aliran Transisi	8
Gambar 2.4	Belokan pipa	11
Gambar 2.5	Perbesaran pipa	12
Gambar 2.6	Perbesaran penampang berangsur-angsur	12
Gambar 2.7	Pengecilan pipa	13
Gambar 2.8	Pengecilan penampang berangsur-angsur	14
Gambar 2.9	Koefisien K_c Sebagai fungsi α	14
Gambar 3.1	Tampak Atas Rangkaian Pipa	24
Gambar 3.2	Tampak Samping Rangkaian Pipa	24
Gambar 3.3	Rangkaian Pipa	25
Gambar 3.4	Reservoir atas dan Reservoir Bawah	25
Gambar 3.5	Katub dan Busur derajat	26
Gambar 3.6	Tabung pitot dan manometer digital	26
Gambar 3.7	Tabung pitot dan manometer	27
Gambar 3.8	Buret (a) dan mukrometer (b)	28

Gambar 3.9	Pompa Air	28
Gambar 3.10	Arah Aliran Pipa Lurus	29
Gambar 3.11	Arah Aliran pada Belokan	29
Gambar 3.12	Titik Pengamatan Tinggi Muka Air (y)	31
Gambar 3.13	Bagan Alir Proses Penelitian	36
Gambar 4.1	Hubungan debit dan kecepatan pada pipa lurus	47
Gambar 4.2	Hubungan debit dan kecepatan pada pipa belok	48
Gambar 4.3	Hubungan debit dan Bilangan Reynolds pada pipa lurus	50
Gambar 4.4	Hubungan debit dan Bilangan Reynolds pada pipa belok	52
Gambar 4.5	Hubungan debit dan kehilangan energi pada pipa lurus	54
Gambar 4.6	Hubungan Bilangan Reynolds dan kehilangan energi pada pipa lurus	55
Gambar 4.7	Hubungan debit dan kehilangan energi pada pipa belok	55
Gambar 4.8	Hubungan Bilangan Reynolds dan kehilangan energi pada pipa belok	58
Gambar 4.9	Hubungan debit dengan kehilangan energi	59
Gambar 4.10	Hubungan tinggi jatuh ($head$) dan kecepatan pada pipa lurus	60

Gambar 4.11	Hubungan tinggi jatuh (<i>head</i>) dan kecepatan pada pipa belok	61
Gambar 4.12	Hubungan tinggi jatuh (<i>head</i>) dan Bilangan Reynolds pada pipa lurus	62
Gambar 4.13	Hubungan Bilangan Reynolds dengan kehilangan energi pada pipa lurus	64
Gambar 4.14	Hubungan tinggi jatuh (<i>head</i>) dan Bilangan Reynolds pada pipa belokan	65
Gambar 4.15	Hubungan Bilangan Reynolds dan kehilangan energi pada belokan	66
Gambar 4.16	Hubungan Tinggi Jatuh (<i>head</i>) dan Kehilangan Energi pada Pipa Lurus	66
Gambar 4.17	Hubungan Tinggi Jatuh dan kehilangan energi pada pipa belok	70
Gambar 4.18	Kehilangan Energi pada Pipa Lurus Akibat Penurunan Debit dan Tinggi Jatuh	71
Gambar 4.19	Kehilangan Energi pada Pipa Belok Akibat Penurunan Debit dan Tinggi Jatuh	72
Gambar 4.20	Gradien Energi untuk Pipa Lurus	75

Gambar 4.21	Gradien Energi untuk Pipa Belok	78
Gambar 4.22	Perbandingan kecepatan aliran antara pengukuran langsung dengan Metode Analitis (Manning)	81

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Aliran dalam fluida pada saluran tertutup merupakan hal yang penting sehingga dibutuhkan proses perancangan dan perencanaan yang optimal. Pipa sebagai media distribusi telah banyak digunakan di industri dan distribusi air PDAM. Kelebihan saluran tertutup (pipa) sebagai pendistribusi air diantaranya kehilangan air sedikit, pemeliharaan juga mudah ketika terjadi penyumbatan, kelebihan lainnya adalah dapat lebih mudah digunakan pada daerah yang sumbernya lebih tinggi dibanding tempat tujuan, aliran perpipa tidak dipengaruhi oleh udara secara langsung tetapi oleh tekanan hidrolis, lahan yang digunakan tidak luas dan tidak mengganggu aktivitas (*less disruption to current activities*), aman (*safety*) karena saluran tersebut tertutup maka resiko terhadap manusia sedikit jika dibanding saluran terbuka saat cuaca buruk, ukurannya lebih kecil dari saluran terbuka sehingga saluran tertutup lebih fleksibel penempatannya, kualitas air lebih baik dibanding saluran terbuka karena air yang dialirkan terlindung oleh permukaan pipa.

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), kecepatan, diameter pipa, tinggi jatuh (head) tekanan dan sebagainya. Akibat kurang diperhatikannya keterkaitan faktor-faktor ini, beberapa jaringan perpipaan yang ada tidak bekerja secara maksimal atau dengan kata lain jaringan tersebut tidak berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Kehilangan energi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas pipa sebagai sarana pendistribusi aliran air. Akibat kekeliruan dalam memperhitungkan kehilangan energi ini dapat menyebabkan permasalahan yaitu terkadang apa yang direncanakan kurang sesuai dengan apa yang terjadi di lapangan terutama terkait dengan kapasitas dan tekanan pada jaringan perpipaan sehingga berdasarkan hal-hal tersebut di atas maka kami melaksanakan penelitian ini yang difokuskan pada Pengaruh Perubahan Debit dan Tinggi Jatuh terhadap Kehilangan Energi pada Jaringan Perpipaan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, dirumuskan permasalahan penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi debit terhadap kehilangan energi dalam jaringan pipa?
2. Bagaimana pengaruh variasi perubahan ketinggian terhadap kehilangan energi dalam jaringan pipa?

C. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kehilangan energi akibat variasi debit dalam jaringan pipa.
2. Menentukan kehilangan energi akibat variasi perubahan ketinggian dalam jaringan pipa.

D. Manfaat Penelitian

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

1. Secara akademis manfaat kajian ini untuk memperkaya pengembangan ilmu dalam mengaplikasikan teori kebijakan, kelembagaan, dan manajemen sosial ekonomi khususnya yang berhubungan dengan pipa (saluran tertutup).
2. Selanjutnya secara praktis penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dan referensi dalam perencanaan dengan sistem saluran tertutup.

3. Sebagai referensi untuk pengembangan inovasi model jaringan pipa dalam meningkatkan kinerja jaringan pipa.

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. Karakterik 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) 0,801x 10⁻³ Nd/m², nilai viskositas (kekentalan) 8,5x10⁻⁷ m²/det, dan berat jenis (γ) 1,00355 gr/cm³, serta temperatur 29,5⁰C.
3. Variasi tinggi jatuh (*head*) adalah H1 = 2 meter, H2 = 1 meter dan H3 = 0,5 meter.
4. Variasi debit yang digunakan 3 (tiga) yaitu Q1 = 0,004 m³/det , Q2 = 0,003 m³/det, dan Q3 = 0,002 m³/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 berpenampang lingkaran digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (Bambang 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 tekanan atmosfer.

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan aliran 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 dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie:2011)

B. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds (Re) merupakan bilangan yang tidak memiliki dimensi yang menjadi faktor penting dalam menganalisa jenis aliran (laminar, turbulen atau trasis). Re adalah perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskositas.

Bilangan Reynolds:

$$Re = \frac{v\rho d}{\mu} = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{viskositae}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana

Re = bilangan Reynolds

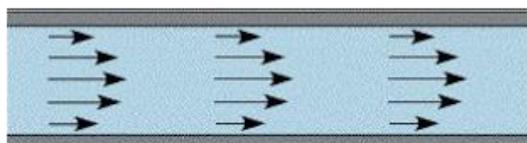
v = kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)

d = diameter dalam pipa (m)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

μ = viskositas dinamai fluida (kg/m.s)

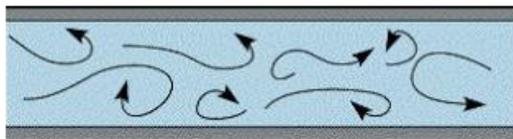
- a. Aliran Laminer adalah aliran dengan partikel-partikel zat cair bergerak teratur dengan membentuk garis lintasan kontinyu dan tidak saling berpotongan. Aliran ini terjadi jika kecepatan aliran rendah, ukuran saluran sangat kecil dan zat cair kekentalannya besar.



Gambar 2.1 Pola aliran laminar

Apabila dalam sebuah fluida dalam saluran terbuka mempunyai bilangan Reynolds kurang dari 2000 ($Re < 2000$) maka aliran tersebut termasuk laminar. Dalam saluran tertutup aliran tersebut dikatakan laminar apabila Bilangan Reynolds lebih kecil dari 500.

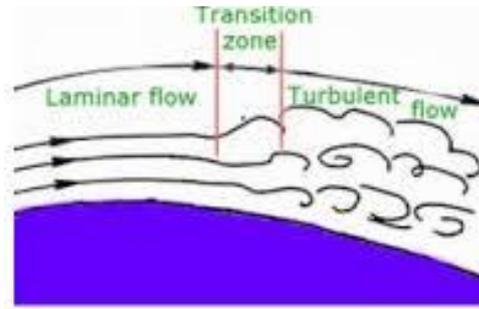
- b. Aliran turbulen adalah aliran dengan partikel-partikel zat cair bergerak tidak teratur dan garis lintasannya saling berpotongan. Aliran turbulen terjadi apabila kecepatan aliran besar, saluran besar dan zat cair memiliki kekentalan kecil. Pergerakan dari partikel-partikel ini sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta pertukaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dan turbulensi yang terjadi mengakibatkan tegangan geser yang sama pada seluruh fluida sehingga menghasilkan kehilangan energi pada aliran.



Gambar 2.2. Pola aliran turbulen

Dalam saluran terbuka nilai angka Reynolds lebih besar dari 4000 maka aliran tersebut adalah turbulen. Pada saluran tertutup aliran tersebut adalah aliran turbulen jika Bilangan Reynolds lebih besar dari 1000 ($Re > 1000$).

- c. Aliran transisi adalah aliran yang berada antara laminar menuju turbulen. Aliran ini biasanya terjadi ketika adanya perubahan penampang pada pipa, seperti adanya bentuk perubahan ukuran dimensi pada pipa. Aliran transisi memiliki bilangan Reynold antara 500 menuju 1000 ($500 < Re < 1000$).



Gambar 2.3 Pola aliran transisi

C. Kehilangan Energi

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

a. **Major Headloss**

Major Losses adalah kehilangan pada aliran dalam pipa yang disebabkan oleh friksi yang terjadi disepanjang aliran fluida yang mengalir terhadap dinding pipa. Besarnya *major losses* ditentukan oleh fungsi f (*Friction factor*), V (rata-rata kecepatan fluida), l (panjang pipa), D (diameter pipa), e (nilai kekasaran pipa), μ (viskositas fluida), ρ (densitas fluida).

$$h_f = f \cdot L/D \cdot V^2/2g \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

h_f = head loss mayor / tinggi hilang akibat gesekan (m)

f = koefisien gesekan

L = panjang pipa (m)

D = diameter dalam pipa (m)

v = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = gaya gravitasi (m/s²)

Koefisien kehilangan energi (k) selain disebabkan oleh gesekan pada dinding pipa, juga karena adanya percabangan pipa atau lubang pipa.

Nilai k merupakan koefisien kecepatan C_V atau ditulis $k = (1/C_V^2 - 1)$.

Aliran pada saluran tertutup akan mengalami kehilangan tinggi tekanan akibat adanya gesekan dinding pipa sesuai dengan Persamaan Darcy-Weisbach (Bambang Triatmodjo:2003) berikut ini :

$$h_f = (8fLQ^2)/(g\pi^2 D^5) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

h_f = kehilangan tinggi tekanan (m)

f = koefisien kekasaran pipa

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa (m)

g = gaya gravitasi (m/s²)

Q = debit yang masuk pada pipa (m³/s)

b. **Minor Headloss**

Merupakan kehilangan energi yang disebabkan oleh perubahan penampang pipa, sambungan, belokan dan katub atau disebut kehilangan tenaga sekunder.

- Kehilangan Energi pada Tikungan (Belokan)

Kehilangan energi pada belokan pipa yang lebih besar dari kehilangan energi pada jaringan pipa lurus. Hal ini disebabkan daerah-daerah aliran yang terpisah di dekat sisi dalam belokan (khususnya jika belokan tajam) dan aliran sekunder yang berpusar karena ketidakseimbangan gaya-gaya sentripugal akibat kelengkungan sumbu pipa. Ada dua macam belokan pipa, yaitu belokan lengkung atau belokan patah (*mitter atau multipiece bend*).

Kehilangan energi yang terjadi pada belokan tergantung pada sudut belokan pipa. Rumus kehilangan energi pada belokan :

$$h_b = k_B \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana

h_b = kehilangan tinggi tekanan minor (m)

k_b = koefisien kehilangan energi pada belokan (Tabel 2.1)

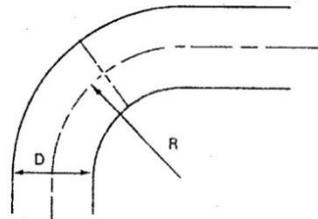
v = kecepatan aliran (m/dtk)

g = percepatann gravitasi bumi (m/dtk²)

Tabel 2.1 Koefisien K_b sebagai fungsi sudut belokan α

A	20°	40°	60°	80°	90°
K_b	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

Pada sudut belokan 90° dan dengan belokan berangsur-angsur, kehilangan energi tergantung perbandingan antara jari-jari belokan dan diameter pipa.

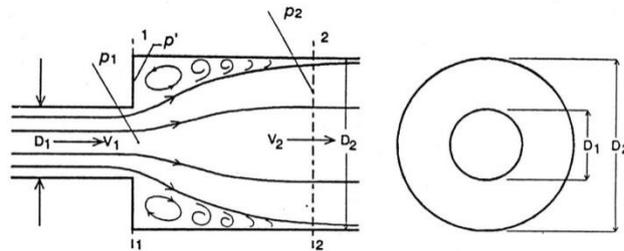
**Gambar 2.4** Belokan pipa**Tabel 2.2** Nilai K_b sebagai fungsi dari R/D

R/D	1	2	4	6	10	16	20
K_b	0,35	0,19	0,17	0,22	0,32	0,38	0,42

- Pembesaran Penampang

Perbesaran penampang mendadak dari aliran (Gambar 2.5) mengakibatkan kenaikan tekanan dari p_1 menjadi p_2 dan kecepatan turun dari V_1 menjadi V_2 . Pada tempat di sekitar perbesaran penampang (1) akan terjadi olakan dan aliran akan normal kembali

mulai dari tampang (2). Di daerah antara tampang 1 dan 2 terjadi pemisahan aliran (Bambang Triatmojo :1996).



Gambar 2.5 Perbesaran pipa

Kehilangan energi pada perbesaran penampang akan berkurang jika pebesaran dibuat secara berangsur-angsur seperti pada gambar 2.6. dan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$h_e = K' \frac{v_1^2 v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2.5)$$

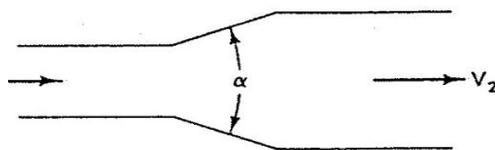
dimana :

h_e = kehilangan tinggi tekanan minor (m)

k = faktor cabanhan, belokan dan sambungan dll

v = kecepatan aliran (m/s)

g = gaya gravitasi bumi (m/dtk^2).



Gambar 2.6 Perbesaran penampang berangsur-angsur

Tabel 2.3 Nilai K sebagai fungsi dari α

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

- Pengecilan Penampang

Pada pengecilan penampang yang tidak berangsur-angsur garis aliran daerah hulu dari sambungan akan menguncup dan akan mengecil pada vena kontrakta (Gambar 2.7). Percobaan-percobaan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa luas penampang sekitar 0.6 A2. Berdasarkan nilai ini maka kehilangan energi dapat dihitung dengan persamaan di bawah (dari vena kontrakta ke pipa kecil)

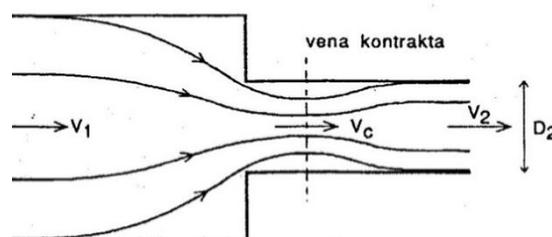
$$h_e = 0,44 V^2/2g \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

h_e = kehilangan tinggi tekanan minor (m)

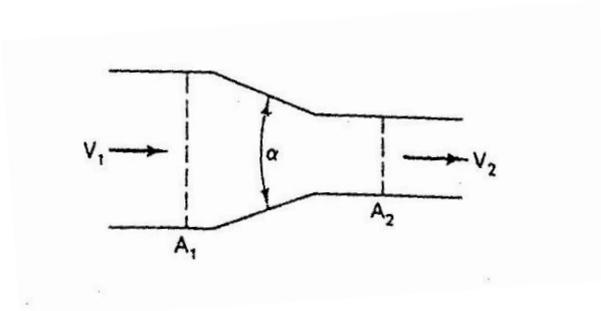
v = kecepatan aliran (m/s)

g = gaya gravitasi bumi (m/s^2)



Gambar 2.7 Pengecilan pipa

Kehilangan energi pada pengecilan diameter pipa dapat dikurangi dengan memperkecil diameter pipa secara perlahan-lahan (Gambar 2.8).

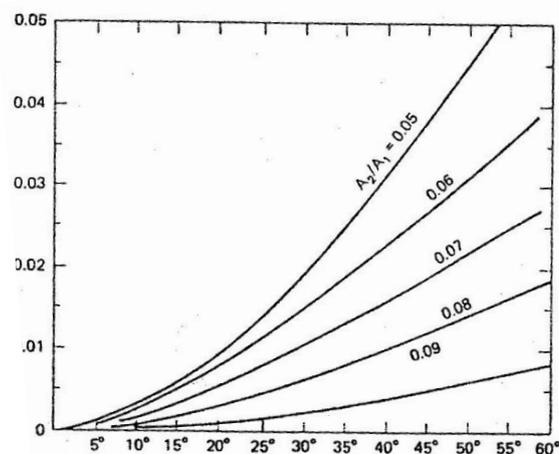


Gambar 2.8 Pengecilan penampang berangsur-angsur

maka kehilangan tenaga adalah

$$h_e = K_c \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2.7)$$

Nilai K_c tergantung pada sudut transisi α dan perbandingan luas A_2/A_1 seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Koefisien K_c Sebagai fungsi α

D. Viskositas

Viskositas atau kekentalan suatu fluida sangat penting dalam penganalisaan kondisi fluida dan gerakan fluida.

Zat cair riil adalah zat yang memiliki kekentalan, sedangkan zat cair ideal tidak memiliki kekentalan. Hal ini terjadi karena adanya sifat kohesi antara partikel zat cair. Perbedaan kecepatan partikel dalam medan aliran terjadi karena adanya kekentalan zat cair. Partikel zat cair yang berdampingan dengan dinding batas akan memiliki kecepatan nol atau diam, sedang yang terletak pada suatu jarak tertentu dari dinding akan bergerak. Perubahan kecepatan tersebut merupakan fungsi jarak dari dinding batas. Aliran zat cair riil disebut aliran viskos.

Aliran ini dapat dibedakan menjadi 2 (dua). Apabila pengaruh kekentalan (viskositas) adalah cukup dominan sehingga partikel-partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminar. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau aliran bertambah kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen.

E. 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 mengalami perubahan bentuk bila mendapat tekanan, meskipun tekanan tersebut sangat kecil.

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

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A} \dots\dots\dots (2.8)$$

Tekanan pada fluida dipancarkan dengan kekuatan sama besar ke semua arah dan bekerja tegak lurus pada suatu bidang. Pada bidang datar yang sama kekuatan 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 terbalik dengan ketinggian suatu tempat, semakin rendah tempat tersebut, maka semakin tinggi tekanannya, demikian juga sebaliknya.

2. Tekanan Hidrostika

Pada tekanan hidrostika 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 hidrostatis didapat dari menurunkan persamaan umum tekanan dengan menurunkannya menjadi

$$P_h = \frac{F}{A} = \frac{\rho \times \rho \times l \times h \times g}{\rho \times l} = \rho \times g \times h \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

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 menyederhanakannya menjadi persamaan tekanan hidrostatis yang umum kita ketahui sekarang ini.

F. Kecepatan pada Tabung Pitot

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa kenaikan kecepatan aliran fluida akan menyebabkan penurunan tekanan fluida secara bersamaan atau penurunan energi potensial fluida tersebut. Intinya adalah tekanan akan menurun jika kecepatan aliran fluida meningkat.

Hukum ini dapat diaplikasikan pada berbagai jenis aliran fluida dengan beberapa asumsi, sebagai berikut:

1. Fluida tidak dapat dimampatkan (*incompressible*).
2. Fluida tidak memiliki kekentalan (*inviscid*).
3. Aliran Fluida tidak berubah terhadap waktu (*steady*).
4. Aliran fluida laminar (bersifat tetap, tidak ada pusaran).
5. Tidak ada kehilangan energi akibat gesekan antara fluida dan dinding. Serta tidak ada kehilangan energi akibat turbulen.
6. Tidak ada energi panas yang ditransfer pada fluida baik sebagai keuntungan ataupun kerugian panas.

Persamaan Bernoulli berhubungan dengan tekanan, kecepatan, dan ketinggian dua titik point (titik 1 dan titik 2) aliran fluida yang bermassa jenis. Persamaan ini berasal dari keseimbangan energi mekanik (energi kinetik dan energi potensial) dan tekanan.

$$\text{Tekanan} + E_{\text{kinetik}} + E_{\text{potensial}} = \text{konstan} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan Bernoulli di atas juga dapat dituliskan menjadi:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana:

P = Tekanan (Pascal)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

v = Kecepatan Fluida

g = gaya gravitasi ($g= 9,8 \text{ m/S}^2$)

h = ketinggian (m)

Hukum Bernoulli sangat bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari dan dimanfaatkan pada aplikasi berikut :

1. Tabung pitot (pitot tube)

Diciptakan oleh Ir. Henri Pitot di awal 1700 dan dimodifikasi untuk bentuk modennya dipertengahan tahun 1800 oleh Henry Darcy.

Tabung pitot digunakan untuk mengukur kelajuan udara pada pipa dengan menggunakan prinsip Hukum Bernoulli. Kelajuan udara pada pipa dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$v = \sqrt{2gh} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

2. Venturimeter

Pada keadaan ideal dalam dinamika fluida persamaan bernoulli dan persamaan kontinuitas merupakan persamaan dasar yang digunakan oleh pipa venturimeter, melalui penjabaran dan substitusi persamaan diperoleh rumus menentukan kelajuan aliran pada pipa venturi meter.

Berdasarkan teori kontinuitas bahwa lubang masuk dan keluaran pipa venturimeter yang mempunyai perbedaan ukuran penampang sedemikian teratur maka debit diantara lubang tersebut adalah sama.

G. Model dan Analisis Dimensi

Dengan dibuatnya model akan dapat diprediksi kelakuan dan kerja dari suatu bangunan. Beberapa kekurangan yang tidak diperkirakan akan terjadi dapat segera diketahui dan dapat segera dihindari pada prototip yang direncanakan.

Bentuk sesungguhnya dari bangunan yang diselidiki disebut prototip, dan model bisa lebih besar, sama besar atau yang biasa dilakukan adalah lebih kecil dari prototip.

Sifat Sebangun

Hubungan model dan prototip dipengaruhi oleh hukum-hukum sifat sebangun hidrolis. Sifat sebangun ini memperhatikan aspek sebagai berikut:

1. Sebangun Geometrik terjadi jika model dan prototip mempunyai bentuk yang sama tetapi memiliki ukuran yang berbeda. Artinya perbandingan antara semua ukuran panjang termasuk kekasaran antara model dan prototip adalah sama. Perbandingan ini disebut skala geometrik model nL :

$$nL = \frac{\text{ukuran Prototip}}{\text{Ukuran di Model}} = \frac{LP}{Lm} \dots\dots\dots (2.13)$$

2. Sebangun Kinematik terjadi jika protip dan model sebangun kinematik dan perbandingan kecepatan dan percepatan pada 2 titik yang bersangkutan pada prototip dan model untuk pada semua pengaliran adalah sama.

$$\frac{(V_1)_p}{(V_1)_m} = \frac{(V_2)_p}{(V_2)_m} = n_V \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

dan

$$\frac{(a_1)_p}{(a_1)_m} = \frac{(a_2)_p}{(a_2)_m} = n_a \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Debit aliran, kecepatan, percepatan, dan lainnya dapat diberikan dalam skala panjang dan waktu.

3. Sebangun Dinamik, jika prototip dan model sebangun geometrik dan kinematik, dan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototip untuk seluruh proses pengaliran mempunyai perbandingan dan bekerja pada arah yang sama.