

**ANALISA PERHITUNGAN DEBIT PADA SISTEM  
JARINGAN PERPIPAAN PDAM TIRTANADI  
CABANG SUNGGAL**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Ujian Sarjana**

**Oleh :**

**QIAS IHSAN USMAN  
NIM 10.811.0064**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**MEDAN**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

**2012**

Document Accepted 25/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)25/9/23

# ANALISA PERHITUNGAN DEBIT PADA SISTEM JARINGAN PERPIPAAN PDAM TIRTANADI CABANG SUNGGAL

TUGAS AKHIR

Oleh:


QIAS IHSAN USMAN  
10.811.0064

Disetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II


  
(Ir. H. Zainal Arifin, MSc)


  
(Ir. Nurmaidah, MT)

Mengetahui:

Dekan

Ka. Program Studi

  
(Ir. Hj. Haniza, MT)

  
(Ir. Kamaluddin Lubis, MT)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
September 2012

Document Accepted 25/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

## ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan air bersih masyarakat yang sejalan dengan pertumbuhan ekonomi di Kota Medan, maka kebutuhan primer penduduk Kota Medan pun semakin meningkat terutama kebutuhan akan air bersih. Saat ini pelayanan air minum di Kota Medan dan sekitarnya mencapai 66,62% dari jumlah penduduk. Berdasarkan *Coorporate Plan* PDAM Tirtanadi pada tahun 2006 – 2010, pada tahun 2010 kebutuhan air minum Kota Medan dan sekitarnya adalah  $\pm 6800$  l/det dengan tingkat pelayanan sebesar 94%. Kendala yang cukup serius yang dihadapi PDAM Tirtanadi sekarang ini adalah keterbatasan sumber daya air dan kapasitas produksi. Jaringan perpipaan distribusinya sendiri masih mengandalkan jaringan perpipaan yang lama dan hanya dilakukan penggantian terhadap beberapa jaringan pipa yang telah rusak. Pada daerah kawasan Perumahan Pantai Mutiara mempunyai masalah dengan tekanan air yang tidak kuat. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa sistem pendistribusian pada area tersebut yang ada dengan *Hardy-Cross Method* dengan bantuan *Microsoft Excel 2007*.

Tahap-tahapan dalam penyelesaian tugas akhir ini yaitu terlebih dahulu mengumpulkan data yang dibutuhkan baik primer dan sekunder dari PDAM Tirtanadi cabang tunggal. Kemudian dari data yang ada maka perhitungan *Hardy-Cross* dengan memakai persamaan Darcy-Weisbach dapat dilakukan. *Moody Diagram* juga dipergunakan untuk mendapatkan nilai koefisien kekasaran.

Dari penelitian ini disimpulkan bahwa hasil analisa menggunakan metode *Hardy-Cross*. Pada perhitungan analisa loop jaringan pipa hanya sampai kepada 2(dua) iterasi telah mendapatkan  $\Delta Q \approx 0$ (nol). Harga kehilangan energi akibat gesekan ( $h_f$ ) pada kondisi eksisting pipa memiliki nilai yang begitu besar. Setelah dilakukan evaluasi diameter pipa 75 mm dan 50 mm menjadi 125 mm dan 75 mm maka nilai  $h_f$  menjadi kecil. Memiliki perbedaan sangat jauh dengan kondisi awal. Banyak terdapat meteran pelanggan yang rusak yang menyebabkan pembacaan yang tidak akurat yang akan berdampak kerugian kepada pihak PDAM ataupun pihak pelanggan.

Kata Kunci: Debit, Jaringan perpipaan



## ABSTRACT

Along with the increasing water needs of the community in line with economic growth in the city of Medan, the primary needs of the population of Medan is increasing, especially the need for clean water. Currently the water supply in the city of Medan and surrounding areas reached 66.62% of the population. Based on the Corporate Plan Tirtanadi taps in 2006 - 2010, the year 2010 drinking water needs of the city of Medan and surrounding areas is  $\pm 6800$  l / s with the service level of 94%. Serious constraints faced by PDAM Tirtanadi today is the limited water resources and production capacity. Distribution piping networks still rely on the old piping network and the only replacement for some of the pipelines that have been damaged. In the area of the Pearl Coast Housing have a problem with water pressure is not strong. The purpose of this study to analyze the distribution system on an existing area with Hardy-Cross method with the help of Microsoft Excel 2007.

Phase-stage in the completion of this thesis is to first collect the required data from both primary and secondary taps Tirtanadi Sunggal branch. Then from the existing data is calculated using the Hardy-Cross Darcy-Weisbach equation can be done. Moody Diagram is also used to obtain the value of the coefficient of roughness.

This study suggests that the analysis results using the Hardy-Cross method. In the calculation of pipeline loop analysis only up to 2 (two) iterations have been getting  $\Delta Q \approx 0$  (zero). Price of energy loss due to friction ( $hf$ ) on the condition of the existing pipe has such great value. After an evaluation of the pipe diameter 75 mm and 50 mm to 125 mm and 75 mm then the value becomes smaller  $hf$ . Differ very much with the initial condition. Many customers are metered damaged causing inaccurate readings that will impact damages to the taps or the customer.

Keywords: Debit, Piping Network

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	x
 <b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Maksud dan Tujuan .....	2
1.3. Permasalahan .....	3
1.4. Pembatasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Penulisan .....	3
 <b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Umum.....	5
2.2. Konsep Dasar Pada Aliran Pipa.....	6
2.3. Kehilangan Tinggi Tekanan(Head Losses).....	7
2.3.1. Kehilangan Tinggi Tekanan Mayor( <i>Mayor Losses</i> ).....	7
2.3.1.1. Persamaan Darcy-Weisbach.....	7
2.3.2. Kehilangan Tinggi Tekanan Minor( <i>Minor Losses</i> ) .....	12
2.4. Persamaan Empiris Untuk Aliran di Dalam Pipa .....	14
2.5. Mekanisme Aliran Pada Pipa.....	15
2.5.1. Pipa Hubungan Seri .....	15
2.5.2. Pipa Hubungan Paralel .....	17
2.6. Jaringan Pipa.....	19
2.6.1. Jenis Sistem Jaringan Pipa.....	19

<b>UNIVERSITAS MEDAN AREA</b> 2.6.1. Sistem Jaringan Pipa Seri.....	19
---	----

2.6.1.2. Sistem Jaringan Pipa Bercabang.....	19
--	----

2.6.1.3. Sistem Jaringan Pipa Tertutup( <i>loop</i> ) .....	20
---	----

2.6.1.4. Sistem Jaringan Pipa Kombinasi .....	21
2.6.2. Analisa Sistem Jaringan Pipa.....	21
2.7. Prosedur Perhitungan <i>Hardy-Cross</i> .....	25
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. Lokasi Penelitian.....	27
3.1. Pengumpulan Data.....	29
3.2. Analisa Data.....	30
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Kebutuhan Air Bersih di Perumahan Pantai Mutiara.....	31
4.2. Karakteristik Pipa .....	33
4.3. Hitungan Persamaan Darcy Weisbach.....	34
4.4. Evaluasi Diameter Pipa.....	54
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan .....	59
5.2. Saran.....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Air menjadi kebutuhan manusia yang sangat penting, begitu juga dengan seluruh makhluk hidup yang ada di bumi ini. Dalam pemenuhan air tersebut manusia melakukan berbagai upaya untuk mendapatkannya. Dalam hal ini pemenuhan air bersih untuk dikonsumsi, baik untuk air minum, maupun untuk kebutuhan rumah tangga lainnya.

Sistem perpipaan dikelola oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) dan sistem non perpipaan dikelola oleh masyarakat baik secara individu maupun kelompok. Sistem perpipaan berfungsi untuk mengalirkan zat cair dari satu tempat ketempat yang lain. Aliran terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di kedua tempat, yang bisa terjadi karena adanya perbedaan elevasi muka air atau karena adanya pompa. Pemakaian jaringan pipa dalam bidang teknik sipil terdapat pada sistem jaringan distribusi air minum. Sistem jaringan ini merupakan bagian yang paling mahal dari suatu perusahaan air minum. Oleh karena itu harus dibuat perencanaan yang teliti untuk mendapatkan sistem distribusi yang efisien. Jumlah atau debit air yang disediakan tergantung pada jumlah penduduk dan macam industri yang dilayani.

Saat ini pelayanan air minum di kota Medan dan sekitarnya mencapai 66,62 % dari jumlah penduduk. Berdasarkan *Coorporate Plan Tirtanadi* pada tahun

2006-2010, pada tahun 2010 kebutuhan air minum kota Medan dan sekitarnya

UNIVERSITAS MEDAN AREA

adalah  $1.6800 \text{ l/det}$  dengan tingkat pelayan 94%. Kemudian pada tahun 2020

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

dengan tingkat pelayanan 95% kebutuhan air minum adalah sekitar 8100 l/det.

Hal ini harus diantisipasi secara cermat dan terencana..

Ditambah lagi dengan semakin menurunnya kualitas dan daya dukung lingkungan, ketersediaan air yang dapat langsung dikonsumsi dari alam juga akan semakin berkurang. Keadaan ini juga diikuti oleh menurunnya tekanan-tekanan air ke seluruh daerah pelayanan, sehingga konsumen mempergunakan berbagai cara untuk memperoleh air sesuai dengan keinginannya.

Metode *Hardy Cross* merupakan suatu metode yang lebih efisien dipergunakan untuk menetapkan besarnya debit dan kehilangan tinggi tekanan di masing-masing pipa dalam jaringan yang bersangkutan

## 1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini saya ambil karena saya ingin mengetahui debit aliran yang didistribusikan melalui masing-masing pipa dan kehilangan tinggi tekanan di jaringan pipa. dengan menggunakan metode *Hardy cross*.

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengaplikasikan metode tentang jaringan pipa dengan keadaan lapangan yang sebenarnya. Penelitian ini dapat bermanfaat untuk menambah wawasan dan pengetahuan tentang sistem dari jaringan pipa air bersih dan penggunaan metode *Hardy cross* pada suatu jaringan pipa.



### 1.3. Permasalahan

Penelitian ini akan membahas tentang debit dan tekanan air pada jaringan perpipaan distribusi air bersih di Perumahan Pantai Mutiara Waikiki. Dengan debit yang berkurang dan pemakaian air yang begitu besar membuat tekanan air di pelanggan tidak kuat.

### 1.4. Pembatasan Masalah

Pada tugas akhir ini, penulis membatasi masalah pada :

Metode yang digunakan adalah metode *Hardy cross* dengan menggunakan persamaan *Darcy-Weisbach* dan Jaringan Pipa yang akan dianalisa hanya jaringan pipa Kawasan Perumahan Pantai Mutiara Waikiki.

### 1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang dilakukan pada studi ini terlebih dahulu melakukan tinjauan lokasi di daerah penelitian, kemudian mengumpulkan data yang berhubungan dengan sistem distribusi air bersih dan menganalisa data sedemikian rupa untuk mendapatkan kesimpulan akhir. Adapun metode penulisan yang dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah :

#### 1. Studi Literatur

Mengumpulkan data – data dan informasi dari buku, serta jurnal – jurnal yang mempunyai relevansi dengan bahasan dalam tugas akhir ini serta masukan-masukan dari dosen pembimbing.

## 2. Pengumpulan Data

Mengambil data-data yang diperlukan yang terdiri dari :

### a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dengan mengadakan kunjungan langsung di daerah studi sehingga diperoleh kondisi eksisting penyaluran dan pendistribusian air bersih. Data primer ini berupa blok-blok pelayanan air bersih dan peta pelayanan wilayah.

### b. Data Sekunder

Merupakan data yang diperoleh dari PDAM Tirtanadi Medan Cabang Sunggal dan IPA Sunggal. Adapun data-data tersebut yaitu :

- Produksi air baku yang diolah oleh Clearator yang akan disuplai oleh IPA Sunggal.
- Peta jaringan pipa distribusi pada kompleks perumahan.
- Panjang pipa antar junction yang satu dan lainnya, diameter pipa yang digunakan serta jenis pipa distribusinya.

## 3. Pengolahan data

Data yang diperoleh dari lapangan dan kepustakaan yang bersesuaian dengan pokok bahasan, disusun secara sistematis dan logis dan dilakukan korelasi sehingga diperoleh suatu gambaran umum yang akan dibahas dalam tugas akhir ini.

## 4. Analisa Data

Dari hasil pengolahan data akan didapat distribusi debit aliran pada setiap masing-masing pipa.

## 5. Penulisan Laporan Akhir

Seluruh data dan hasil pengolahannya akan disajikan dalam satu laporan yang

UNIVERSITAS MEDAN AREA

telah disusun sedemikian rupa hingga berbentuk sebuah laporan tugas akhir.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Umum

Suatu penyediaan air bersih yang mampu menyediakan air yang dapat diminum dalam jumlah yang cukup merupakan hal penting bagi suatu kota besar yang modern.

Unsur-unsur yang membentuk suatu sistem penyediaan air yang modern meliputi :

1. Sumber-sumber penyediaan
2. Sarana-sarana penampungan
3. Sarana-sarana penyaluran
4. Sarana-sarana pengolahan
5. Sarana-sarana penyaluran (dari pengolahan) tampungan sementara
6. Sarana-sarana distribusi

Dalam hal ini pembahasan lebih dipusatkan pada hal sistem distribusi jaringan pipa air bersih. Sistem distribusi yang ekstensif diperlukan untuk menyalurkan air ke masing-masing langganan dalam jumlah yang dibutuhkan dengan tekanan yang diharapkan. Sistem distribusi seringkali merupakan investasi utama dalam jaringan air kota. Suatu sistem distribusi seperti pohon dengan banyak titik-titik ujung yang mati tidaklah baik, karena air dapat berhenti di ujung-ujung sistem itu. Lebih dari itu bila diperlukan perbaikan, suatu daerah yang luas harus ditutup penyaluran airnya. Akhirnya dengan kebutuhan lokal yang besar pada waktu terjadinya kebakaran, kehilangan tinggi tekanan dapat besar sekali, kecuali jika pipanya cukup besar.

Suatu sistem pipa tunggal adalah sistem dengan sebuah pipa yang melayani kedua sisi suatu jalan. Suatu sistem pipa rangkap mempunyai sebuah pada masing-masing sisi jalan. Keuntungan utama dari sistem dua pipa ini adalah bahwa perbaikan dapat dikerjakan tanpa mengganggu lalu lintas dan tanpa merusak lapis penutup jalan. Dalam perencanaan sistem jaringan distribusi pipa air bersih kebutuhan tekanan haruslah dipertimbangkan.

Pengaruh aliran dalam pipa-pipa pelengkap pada awalnya diabaikan, tetapi dapat dihitung kemudian. Aliran di dalam jaringan pipa penyalur dianalisis untuk memenuhi kebutuhan diberbagai wilayah yang berbeda. Dalam memilih pipa-pipa penyalur, kebutuhan kapasitas masa depan haruslah dipertimbangkan. Setelah jaringan pipa penyalur ditetapkan, pipa-pipa distribusi ditambahkan ke sistem yang bersangkutan. Perhitungan hidrolis hanyalah akan merupakan perkiraan, karena semua faktor yang mempengaruhi aliran barangkali tidak dapat di perhitungkan.

## 2.2. Konsep Dasar Pada Aliran Pipa

Untuk aliran fluida dalam pipa khususnya untuk air terdapat kondisi yang harus diperhatikan dan menjadi prinsip utama, kondisi fluida tersebut adalah fluida merupakan fluida dalam keadaan steady dan seragam.

$$Q = V \times A$$

Di mana :  $Q =$  Debit aliran ( $m^3/s$ )

$V =$  Kecepatan aliran ( $m/s$ )

$A =$  luas penampang aliran ( $m^2$ )

Untuk aliran steady dalam pipa dengan diameter pipa konstan pada waktu yang sama berlaku :

$$Q_1 = Q_2$$

$$V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2$$



### 2.3. Kehilangan Tinggi Tekanan (Head Losses)

#### 2.3.1. Kehilangan Tinggi Tekanan Mayor (Mayor Losses)

Aliran fluida yang melalui pipa akan selalu mengalami kerugian head. Hal ini disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh aliran fluida (kerugian kecil). Kerugian head akibat gesekan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut, yaitu:

##### 2.3.1.1. Persamaan Darcy – Weisbach

Dalam dinamika fluida, persamaan Darcy-weisbach adalah persamaan fenomenologika yang berkaitan dengan *head loss*, atau kehilangan tekanan akibat

gesekan sepanjang pipa terhadap kecepatan aliran rata-rata. Persamaan ini terbentuk atas kontribusi Henry Darcy dan Julius weisbach.

Persamaan Darcy-weisbach mengandung faktor gesekan tak berdimensi, yang dinamai faktor gesekan Darcy, faktor gesekan Darcy-Weisbach, atau faktor gesekan Moody. Faktor gesekan Darcy besarnya empat kali faktor gesekan Fanning, dan tidak boleh disamakan.

*Head loss* dapat dihitung dengan:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

di mana:

$h_f$  = kerugian head karena gesekan (m)

$f$  = faktor gesekan (diperoleh dari diagram Moody)

$d$  = diameter pipa (m)

$L$  = panjang pipa (m)

$v$  = kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi

**Tabel 2.1 : Nilai kekasaran dinding untuk berbagai pipa komersil**

<b>Bahan</b>	<b>Kekasaran (<math>\epsilon</math>)</b>	
	<b>mm</b>	<b>ft</b>
<b>Brass</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.000005</b>
<b>Concrete</b>		
-Steel forms, smooth	0.18	0.0006
-Good joints, average	0.36	0.0012
-Rough, visible form mark	0.60	0.002
<b>Copper</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.000005</b>
<b>Corrugated metal (CMP)</b>	<b>45</b>	<b>0.15</b>
<b>Iron</b>		
-Asphalted lined	0.12	0.0004
-Cast	0.26	0.00085
-Ductile; DIP-Cement mortar lined	0.12	0.0004
-Galvanized	0.15	0.0005
-Wrought	0.045	0.00015
<b>Polyvinyl chloride (PVC)</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.000005</b>
<b>Polyethylene, high density (HDPE)</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.000005</b>
<b>Steel</b>		
-Enamel coated	0.0048	0.000016
-Riveted	0.9 ~ 9.0	0.003-0.03
-Seamless	0.004	0.000013
-Commercial	0.045	0.00015

**Sumber: Robert J.Houghtalen, Ned H. C. Hwang, A. Osman Akan. "Fundamental of Hydraulic Engineering Systems Fourth Edition". Pearson. New Jersey. 2010. Hal. 83.**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

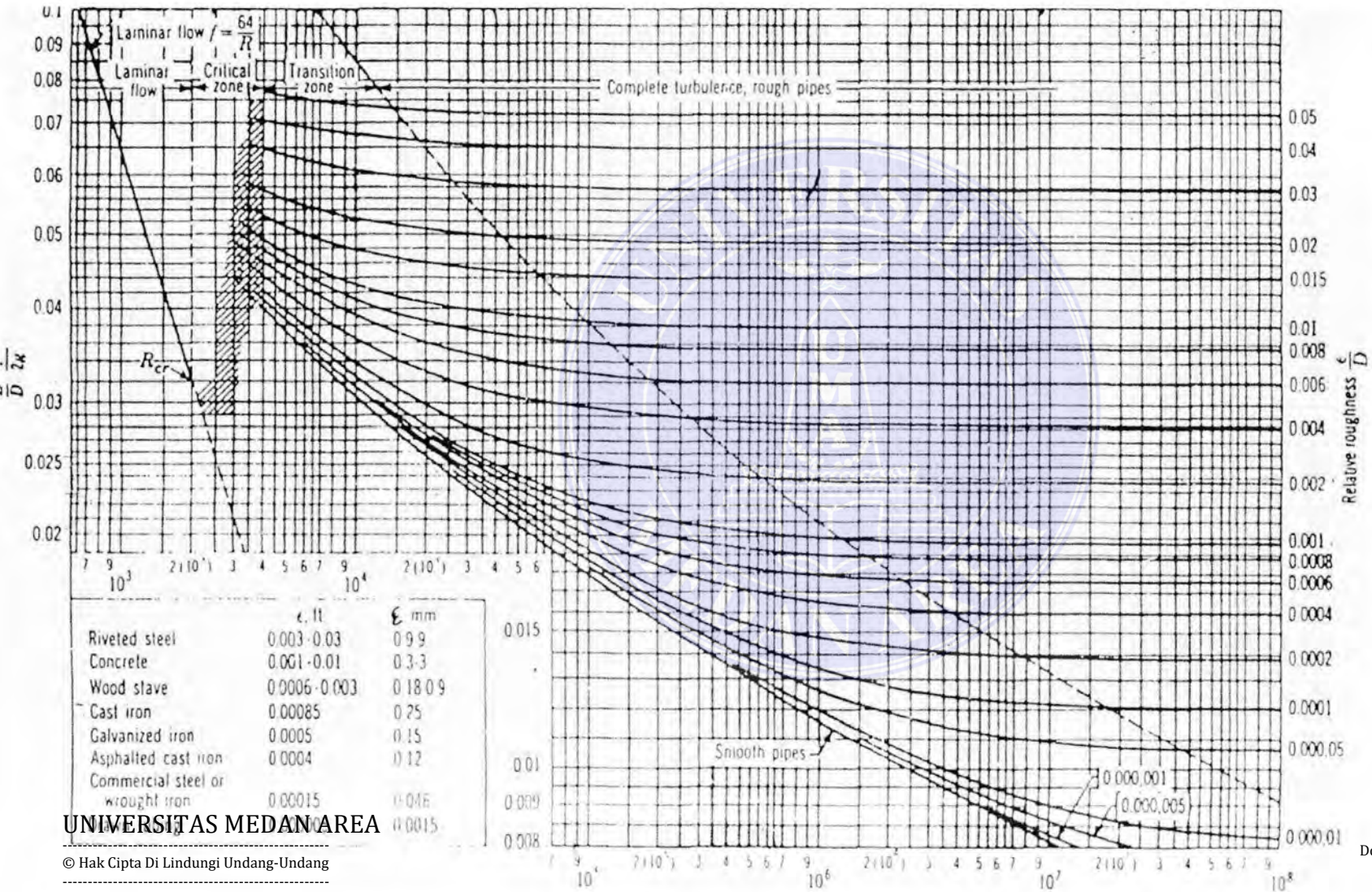
Document Accepted 25/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (Repository.uma.ac.id)25/9/23



Gambar 2.2 : Diagram Moody

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



Diagram Moody telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida di dalam pipa dengan menggunakan faktor gesekan pipa ( $f$ ) dari rumus Darcy – Weisbach. Untuk aliran laminar dimana bilangan Reynold kurang dari 2000, faktor gesekan dihubungkan dengan bilangan Reynold, dinyatakan dengan rumus:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Untuk aliran turbulen dimana bilangan Reynold lebih besar dari 4000, maka hubungan antara bilangan Reynold, faktor gesekan dan kekasaran relatif menjadi lebih kompleks. Faktor gesekan untuk aliran turbulen dalam pipa didapatkan dari hasil eksperimen antara lain :

1. Untuk daerah complete roughness, rough pipes yaitu :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,0 \log \left( \frac{3,7}{\varepsilon/d} \right)$$

2. Untuk pipa sangat halus seperti glass dan plastic, hubungan antara bilangan Reynold dan faktor gesekan yaitu :

- a. Blasius :  $f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$  , untuk  $Re = 3000 - 100.000$

- b. Von Karman :  $\frac{1}{f} = 2,0 \log \left[ \frac{Re \sqrt{f}}{2,51} \right]$

$$= 2,0 \log (Re \sqrt{f}) - 0,8 \text{ , Untuk } Re \text{ sampai dengan } 3,10^6$$

3. Untuk pipa kasar, yaitu :

$$\text{Von Karman : } \frac{1}{f} = 2,0 \log \frac{d}{\varepsilon} + 1,74$$

Dimana harga f tidak tergantung pada bilangan Reynold.

4. Untuk pipa antara kasar dan halus atau dikenal dengan daerah transisi yaitu :

$$\text{Corelbrook - white : } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left[ \frac{\varepsilon/d}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

### 2.3.2. Kehilangan Tinggi Tekan Minor (Minor Losses)

Kerugian yang kecil akibat gesekan pada jalur pipa yang terjadi pada komponen-komponen tambahan seperti katup, sambungan, belokan, reduser, dan lain-lain disebut dengan kerugian head minor (minor losses).

Besarnya kerugian minor akibat adanya kelengkapan pipa menurut dirumuskan sebagai:

$$hm = \sum k \frac{v^2}{2g}$$

dimana: g = percepatan gravitasi

v = kecepatan aliran fluida dalam pipa

k = koefisien kerugian

untuk pipa yang panjang ( $L/d \gg 1000$ ), minor losses dapat diabaikan tanpa

kesalahan yang cukup berarti tetapi menjadi penting pada pipa yang pendek.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)25/9/23

**Tabel 2.2 : kehilangan tinggi tekanan pada katup, alat penyesuaian dan pipa yang digunakan**

Harga K dalam $h = K \frac{v^2}{2g}$	
<b>1. Katup pintu</b>	
- Terbuka penuh	0.19
- $\frac{3}{4}$ terbuka	1.15
- $\frac{1}{2}$ terbuka	5.6
- $\frac{1}{4}$ terbuka	24
<b>2. Katup bola, terbuka</b>	10
<b>3. Katup sudut, terbuka</b>	5
<b>4. Bengkokan 90°</b>	
- Jari-jari pendek	0.9
- Jari-jari pertengahan	0.75
- Jari-jari panjang	0.6
<b>5. Lengkungan pengembalian 180°</b>	2.2
<b>6. Bengkokan 45°</b>	0.42
<b>7. Bengkokan 22 <math>\frac{1}{2}</math>° (45cm)</b>	0.13
<b>8. Sambungan T</b>	1.25
<b>9. Sambungan pengecil (katup pada ujung yang kecil)</b>	0.25
<b>10. Sambungan Pembesar</b>	$0.25 (v_1^2 - v_2^2)/2g$
<b>11. Sambungan pengecil mulut lonceng</b>	0.10

---

12. lubang terbuka	1.80
--------------------	------

---

**Sumber :** *J.M.K. Dake, Endang P.Tachyan, Y.P. Pangaribuan "Hidrolika Teknik Edisi*

*Kedua. Erlangga. Jakarta.1985 . Hal. 78*

#### 2.4. Persamaan Empiris Untuk Aliran Di Dalam Pipa

Seperti yang diuraikan sebelumnya bahwa permasalahan aliran fluida dalam pipa dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach dan Diagram Moody. Penggunaan rumus empiris juga dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran. Dalam hal ini digunakan dua model rumus yaitu persamaan Hazen Williams dan persamaan Manning.

1. Persamaan Hazen-Williams dengan menggunakan satuan international yaitu:

$$V = 0,849 C R^{0,63} s^{0,54}$$

Dimana :  $v$  = kecepatan aliran (m/s)

$C$  = koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams

$R$  = jari-jari hidrolis ;  $d/4$  untuk pipa bundar

$s$  = slope dari gradient energi ( $H/L$ )

2. Persamaan Manning dengan satuan international yaitu

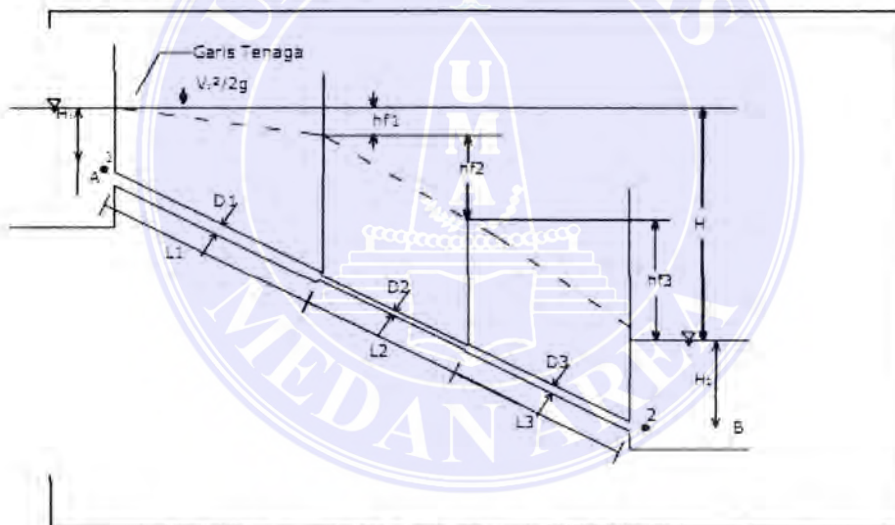
$$V = \frac{1,49}{n} R^{2/3} s^{1/2}$$

Dimana :  $n$  = koefisien kekasaran pipa Manning

Persamaan Hazen-Williams umumnya digunakan untuk menghitung *headloss* dalam pipa yang sangat panjang seperti jalur pipa penyedia air minum. Persamaan ini tidak dapat digunakan untuk zat cair lain selain air dan digunakan khusus untuk aliran yang bersifat turbulen. Persamaan Darcy-Weisbach secara teoritis tepat digunakan untuk semua rezim aliran dan semua jenis zat cair. Persamaan Manning biasanya digunakan untuk saluran terbuka (*open channel flow*).

## 2.5. Mekanisme Aliran Pada Pipa

### 2.5.1. Pipa Hubungan Seri



Gambar 2.3 : Pipa hubungan seri

Jika dua buah pipa atau lebih dihubungkan secara seri maka semua pipa akan dialiri oleh aliran yang sama. Total kerugian *head* pada seluruh sistem adalah jumlah kerugian pada setiap pipa dan perlengkapan pipa yang dirumuskan sebagai :

Pada gambar 2.4, jika  $H$  diketahui,  $Q$  dapat dihitung dengan persamaan 2 energi (Bernouli)  $\rightarrow Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$

Persamaan Bernouli pada titik 1 dan 2 :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + hf_1 + hf_2 + hf_3$$

Tinggi tekanan di 1, H<sub>1</sub>, di 2, H<sub>2</sub> : V<sub>1</sub> = V<sub>2</sub> = 0

$$Z_1 + H_1 = Z_2 + H_2 + hf_1 + hf_2 + hf_3$$

$$(Z_1 + H_1) - (Z_2 + H_2) = hf_1 + hf_2 + hf_3$$

$$H = hf_1 + hf_2 + hf_3$$

Dengan menggunakan persamaan Darcy – Weisbach persamaan tersebut menjadi :

$$H = f_1 \frac{L_1 V_1^2}{D_1 2g} + f_2 \frac{L_2 V_2^2}{D_2 2g} + f_3 \frac{L_3 V_3^2}{D_3 2g}$$

$$V_1 = \frac{Q}{\pi D_1^2/4} ; V_2 = \frac{Q}{\pi D_2^2/4} ; V_3 = \frac{Q}{\pi D_3^2/4}$$

$$H = \frac{8Q^2}{g\pi^2} \left( \frac{f_1 L_1}{D_1^5} + \frac{f_2 L_2}{D_2^5} + \frac{f_3 L_3}{D_3^5} \right)$$

$$\text{maka } Q = \frac{\pi \sqrt{2gH}}{\left( 4 \cdot \frac{f_1 L_1}{D_1^5} + \frac{f_2 L_2}{D_2^5} + \frac{f_3 L_3}{D_3^5} \right)^{1/2}}$$

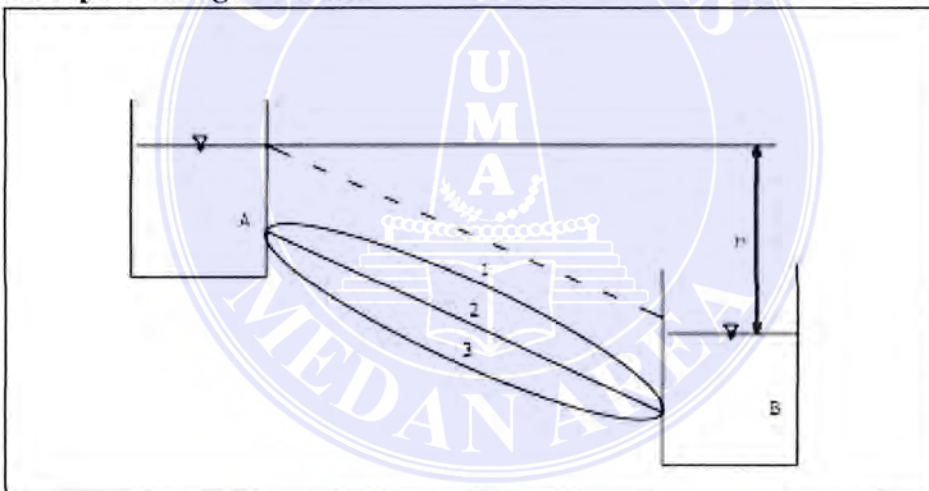
Keterangan : H : besarnya head (m)

Q : debit (m<sup>3</sup>/s)

- V : kecepatan aliran (m/s)
- Z : elevasi (m)
- D : diameter pipa (m)
- L : panjang pipa (m)
- g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- hf: kerugian head
- f: faktor gesekan



### 2.5.2. Pipa Hubungan Paralel



**Gambar 2.4 : Pipa Hubungan Paralel**

Jika ada dua buah pipa atau lebih yang dihubungkan secara paralel, total laju aliran sama dengan jumlah laju aliran yang melalui setiap cabang dan rugi *head* pada sebuah cabang sama dengan yang lain yang dirumuskan sebagai :

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_0 = A_1 V_1 + A_2 V_2 + A_3 V_3$$

$$Q = \pi/4 (D_1^2 V_1 + D_2^2 V_2 + D_3^2 V_3)$$

$$H = hf_1 = hf_2 = hf_3$$

$$H = f_1 \frac{L_1 V_1^2}{D_1 2g} = f_2 \frac{L_2 V_2^2}{D_2 2g} = f_3 \frac{L_3 V_3^2}{D_3 2g}$$

$$V_1 = \frac{Q}{\pi D_1^2/4}; V_2 = \frac{Q}{\pi D_2^2/4}; V_3 = \frac{Q}{\pi D_3^2/4}$$

karena H untuk masing-masing pipa adalah sama maka:

$$H = \frac{8Q^2 fL}{g\pi^2 \cdot D^5}$$

Maka untuk mencari Q ekuivalen:

$$Q_e = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{De^5}{feLe} \right)^{1/2} H^{1/2}$$

Keterangan : H : besarnya head (m)

Qe: debit ekuivalen (m<sup>3</sup>/s)

V : kecepatan aliran (m/s)

Z : elevasi (m)

De : diameter ekuivalen (m)

Le : panjang pipa ekuivalen (m)

g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

hf: kerugian head

f: faktor gesekan

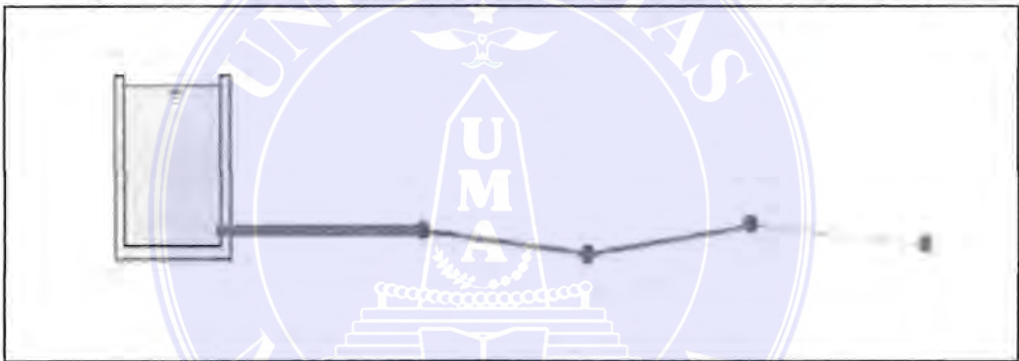


## 2.6. Jaringan Pipa

### 2.6.1. Jenis Sistem Jaringan Pipa

#### 2.6.1.1. Sistem Jaringan Pipa Seri

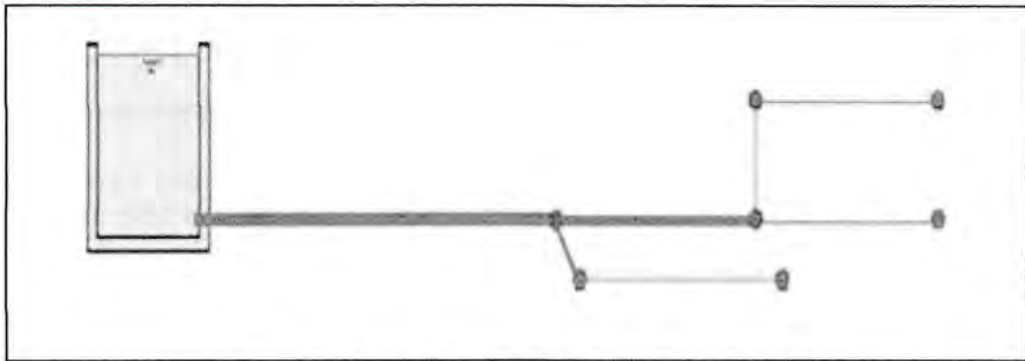
Sistem pemipaan dengan susunan seri merupakan jaringan pipa tanpa cabang ataupun loop. Jaringan ini memiliki satu sumber, satu ujung dan node yang menyambung 2 pipa yang berada dalam satu jalur. Jaringan pemipaan jenis ini sangat kecil dan dipakai untuk pendistribusian air kawasan yang kecil.



*Gambar 2.5 : Sistem jaringan pipa seri*

#### 2.6.1.2. Sistem Jaringan Pipa Bercabang

Sistem pemipaan dengan susunan bercabang merupakan kombinasi dari jaringan pemipaan susunan seri. Dimana, jaringannya terdiri dari satu sumber dan memiliki banyak cabang. Sistem ini cukup untuk memenuhi kebutuhan sebuah komunitas dan investasi yang dikeluarkan tidaklah besar.



**Gambar 2.6 : Sistem jaringan pipa bercabang**

### 2.6.1.3. Sistem Jaringan Pipa Tertutup (Loop)

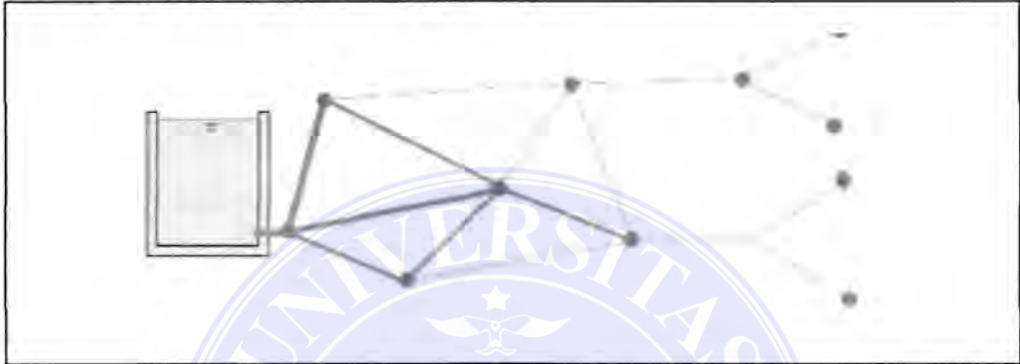


**Gambar 2.7 : Sistem jaringan pipa loop**

Sistem pemipaan ini merupakan sistem yang mana jaringannya saling terhubung yang terdiri dari node-node yang menerima aliran air lebih dari satu bagian. Dengan sistem ini masalah – masalah yang dihadapi pada sistem seri ataupun bercabang dapat ditangani seperti masalah tekanan. Namun, sistem pemipaan dengan jaringan ini lebih rumit jika dibandingkan dengan sistem seri atau bercabang. Untuk biaya operasi dan investasi yang cukup besar. Sistem ini biasanya dipakai pada daerah yang cukup luas dengan jumlah pemakai yang

#### 2.6.1.4. Sistem Jaringan Pipa Kombinasi

Sistem perpipaan jenis ini merupakan sistem jaringan pemipaan yang umum digunakan untuk daerah yang luas. Sistem ini merupakan gabungan antara sistem dengan jaringan bercabang dan loop



**Gambar 2.8 : Sistem jaringan pipa kombinasi**

#### 2.6.2. Analisa Sistem Jaringan Pipa

Sistem jaringan pipa mungkin tidak sesederhana seperti gambar di atas. Suatu jaringan suplai kota sering rumit dan di desain suatu sistem distribusi air yang efektif untuk seluruh kota diperlukan untuk memperhitungkan tekanan dan debit pada setiap titik di dalam jaringan.

Dalam menganalisa sistem jaringan pipa dapat digunakan metode *Hardy Cross* (1936). Metode *Hardy Cross* merupakan suatu metode yang lebih efisien dipergunakan untuk menetapkan besarnya debit dan kehilangan tinggi tekanan di masing-masing pipa dalam jaringan yang bersangkutan. Metode *Hardy Cross* adalah metode yang mencoba arah aliran dan debit aliran pada semua pipa. Jika ternyata persamaan kontinuitas dan energi belum terpenuhi maka percobaan diulang dengan menggunakan harga yang baru yang telah dikoreksi. Metoda

Hardy Cross juga disebut sebagai persamaan *Loops*. Persamaan tersebut terdiri dari persamaan kontinuitas dan persamaan energi

Pada tiap node berlaku Persamaan kontinuitas :  $\sum Q = q_{\text{external}}$

Pada setiap pipa berlaku persamaan energi :  $\sum KQ^n = 0$

Suatu jaringan kota dapat dibagi menjadi beberapa putaran atau "cincin" yang sesuai. Dua kebutuhan teoretis yaitu penurunan tinggi tekan netto sekeliling putaran harus nol dan besarnya aliran netto ke arah cabang juga harus nol (0)

Andaikan kehilangan tinggi tekan terhadap gesekan dan lain-lainnya pada masing-masing pipa dinyatakan dalam bentuk :

$$hf = K_p \cdot Q^n \dots\dots\dots(1)$$

dimana  $K_p$  dan indeks  $n$  diumpamakan tetap dan  $Q$  adalah debit yang melalui pipa. kita umpamakan :

$$Q = Q_0 + \Delta Q \dots\dots\dots(2)$$

dimana  $Q_0$  adalah debit yang diumpamakan (memenuhi kondisi kesinambungan) yang besarnya di bawah debit yang sebenarnya dengan perbedaan yang kecil seharga  $\Delta Q$ .

Dengan mensubstitusikan (1) kedalam (2) dan dengan mengembangkannya dengan teori binomial ( dengan menghilangkan faktor yang mempunyai  $(\Delta Q)^2$  dan pangkat yang lebih besar).

$$hf = K_p ( Q_0^n + nQ_0^{n-1} \Delta Q)$$

Dalam MEDAN AREA,  $\sum hf = 0$ , sehingga :

$$\sum n K_p Q_0^{n-1} \Delta Q = - \sum K_p Q_0^n \dots\dots\dots(3)$$

Untuk memenuhi kebutuhan kesinambungan pada setiap cabang( untuk aliran masuk dan keluar yang tetap ke dalam putaran tertentu), harga  $\Delta Q$  harus sama pada setiap pipa. Dengan demikian  $\Delta Q$  dapat dikeluarkan dari tanda pejumlahan. Sehingga persamaan (3) menghasilkan

$$\Delta Q = \frac{- \sum K_p Q_0^n}{\sum n K_p Q_0^{n-1}} = \frac{- \sum hf}{\sum n \frac{K_p}{Q_0}}$$

Harga n adalah eksponen dalam persamaan Hazen – Williams bila digunakan untuk menghitung hf dan besarnya adalah  $\frac{1}{0.54} = 1.85$  dan n menyatakan suku-suku yang terdapat dalam persamaan yang menggunakan satuan British, yaitu :

$$n = \frac{4.73 L}{C^{1.85} d^{4.87}}$$

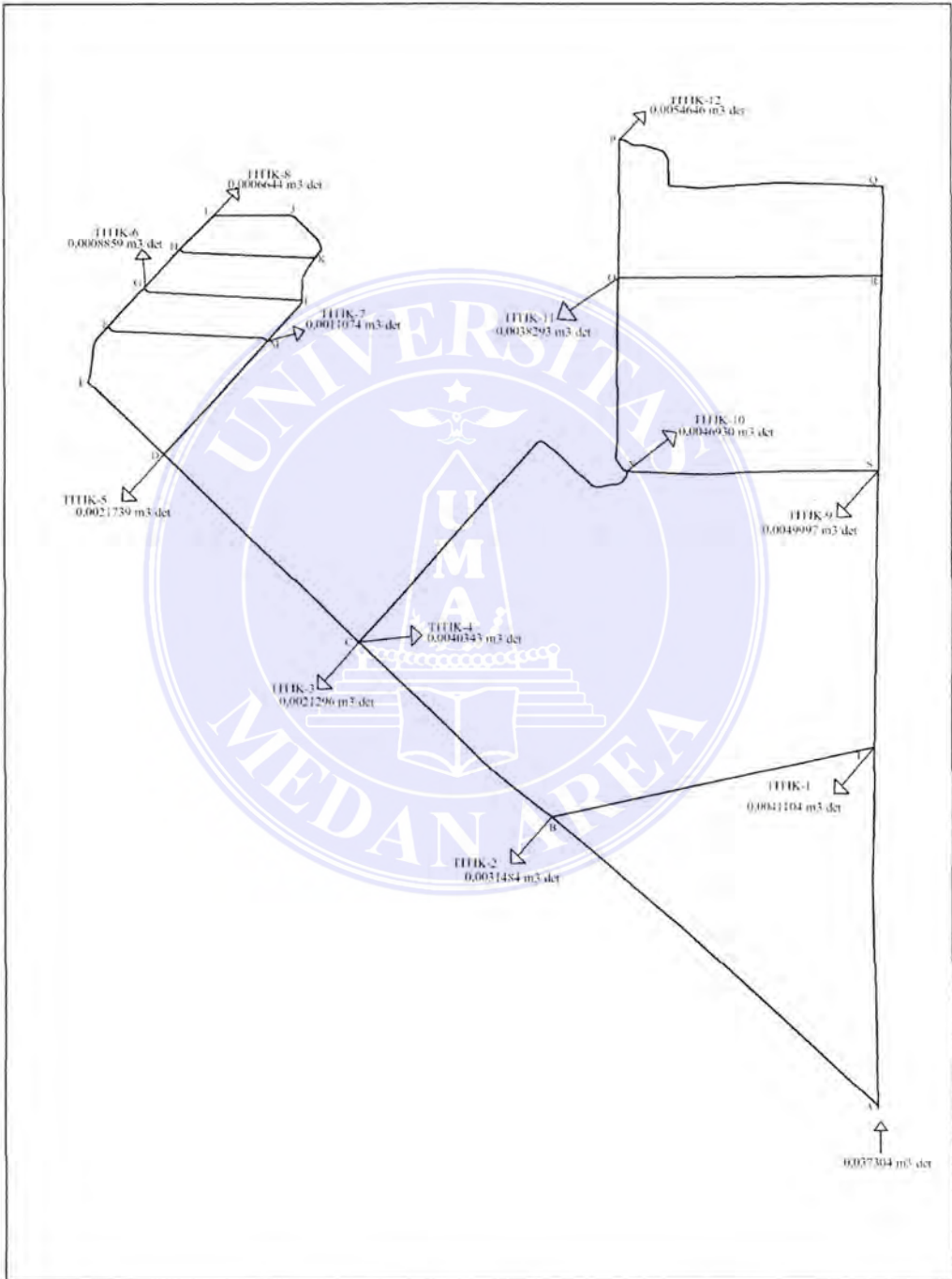
Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan persamaan Darcy – Weisbach dengan  $n = 2$  dan  $n = \frac{8f L}{g\pi^2 d^5}$  hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa faktor gesekan selalu berubah untuk setiap iterasi.

**Tabel 2.3 : Harga Kp untuk pipa**

Metode	Satuan Snit	Kp
<b>Hazen – Wiliam</b>	Q,cfs ; L,ft ; d,ft ; hf,ft	$\frac{4.73 L}{C^{1.85} d^{4.87}}$
	Q,gpm ; L,ft ; d,inc ; hf,ft	$\frac{10.44 L}{C^{1.85} d^{4.87}}$
	Q,m <sup>3</sup> /s ; L,m ; d,m ; hf,m	$\frac{10.70 L}{C^{1.85} d^{4.87}}$
<b>Darcy – Weisbach</b>	Q,cfs ; L,ft ; d,ft ; hf,ft	$\frac{f L}{39.70 d^5}$
	Q,gpm ; L,ft ; d,inc ; hf,ft	$\frac{f L}{32.15 d^5}$
	Q,m <sup>3</sup> /s ; L,m ; d,m ; hf,m	$\frac{f L}{12.70 d^5}$

**Sumber : Ram Gupta. S, "Hydrology & Hydraulic Engineering Systems. Pearson. New Jersey. 1989. Hal. 567.**

### 2.7. Prosedur Hitungan Metode Hardy – Cross



UNIVERSITAS MEDAN AREA: **Gambar 2.9: Skema Jaringan Perpipaan yang akan dianalisa**

1. Pilih pembagian debit melalui tiap-tiap pipa  $Q_0$  hingga terpenuhi kontinuitas
2. Hitung  $h_f$  pada tiap pipa,  $h_f = k \cdot Q^2$
3. Jaringan pipa dibagi menjadi sejumlah jaringan tertutup (tiap pipa minimal masuk dalam satu jaringan)
4. Hitung  $\sum h_f$  tiap jaringan, jika pengaliran seimbang,  $\sum h_f = 0$
5. Hitung nilai  $\sum |2kQ|$  untuk tiap jaringan
6. Hitung koreksi debit  $\Delta Q = \frac{\sum kQ_0^2}{\sum |2kQ|}$ ,  $Q_0$  =debit permisalan
7. Koreksi debit,  $Q = Q_0 + \Delta Q$ , prosedur 1 – 6 diulangi hingga diperoleh  $\frac{\Delta Q}{Q} \approx 0$

Pada suatu jaringan perpipaan harus dipenuhi ketentuan berikut:

- Perjumlahan tekanan disetiap *circuit* = 0 (nol)
- Aliran yang masuk pada setiap titik simpul = aliran keluar
- Persamaan Darcy – Weisbach atau rumus eksponensial berlaku untuk masing-masing pipa.

Analisis jaringan pipa ini cukup rumit dan memerlukan perhitungan yang besar, oleh karena itu pemakaian komputer untuk analisis ini akan mengurangi kesulitan. Untuk jaringan kecil, pemakaian kalkulator untuk hitungan masih bisa dilakukan. Perhitungan analisa ini menggunakan program *Microsoft Office Excel 2007*.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

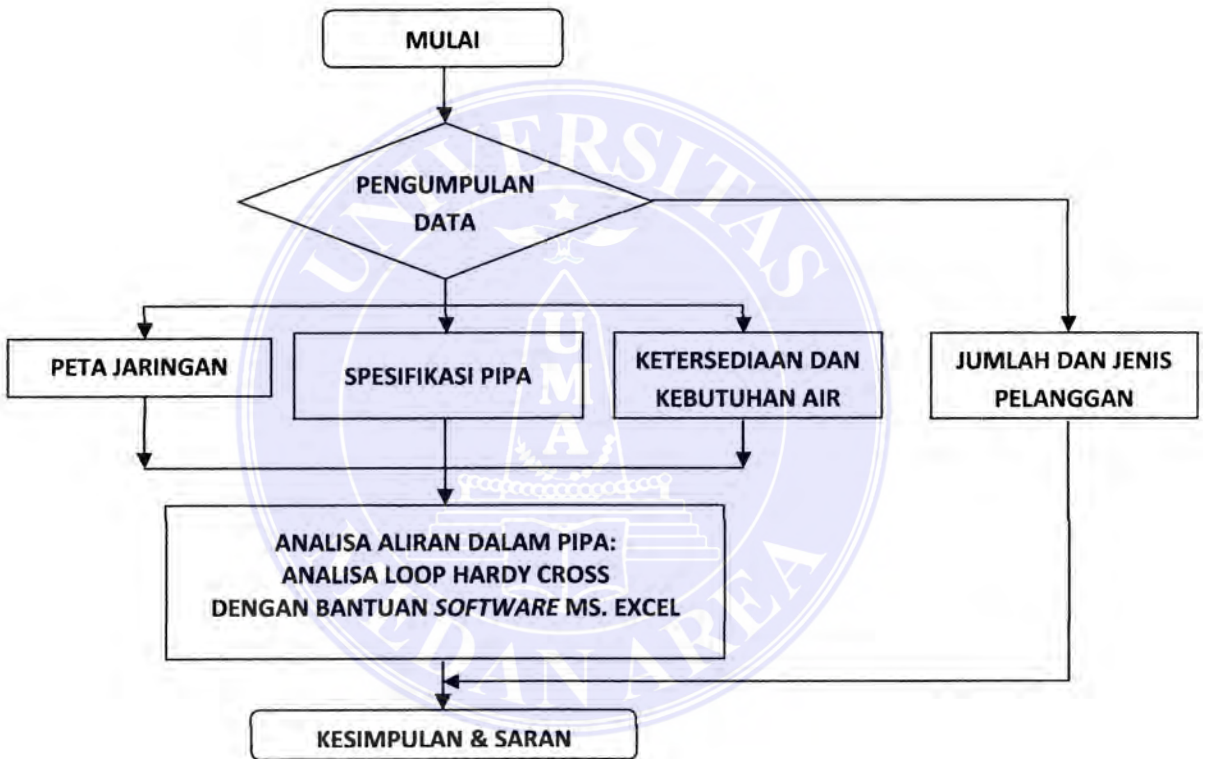
### 3.1. Lokasi Penelitian

Jenis Penelitian dari penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif studi kasus Analisa Distribusi Air Bersih pada Komplek Perumahan Pantai Mutiara Waikiki Menggunakan metode *Hardy-cross* dengan persamaan *Darcy-Weisbach* dan menggunakan *Program Microsoft Excel 2007*.



**Gambar 3.1: Lokasi Penelitian**

Metode yang dilakukan pada studi ini terlebih dahulu melakukan tinjauan lokasi di daerah penelitian, kemudian mengumpulkan data yang berhubungan dengan sistem distribusi air bersih dan menganalisa data sedemikian rupa untuk mendapatkan kesimpulan akhir. Alur pengerjaannya lebih jelas tergambar pada Gambar 3.1. Bagan alir metodologi pengerjaan tugas akhir adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2: Diagram metodologi penelitian

### 3.2. Pengumpulan Data

Untuk mencapai tujuan dan sasaran penelitian ini maka tahapan proses penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut :

#### 1. Studi Literatur

Mengumpulkan bahan-bahan atau teori-teori dari beberapa buku yang berhubungan dengan pengerjaan tugas akhir.

#### 2. Pengumpulan Data

Mengambil data-data yang diperlukan yang terdiri dari :

##### a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dengan mengadakan kunjungan langsung di daerah studi sehingga diperoleh kondisi eksisting penyaluran dan pendistribusian air bersih.

##### b. Data Sekunder

Merupakan data yang diperoleh dari PDAM Tirtanadi Cabang Sunggal. Adapun data-data tersebut yaitu :

- Peta jaringan pipa distribusi.
- Jumlah pelanggan.
- Jumlah pemakaian air
- Produksi air baku yang diolah oleh *Cleator* yang akan disuplai oleh *IPA Sunggal*
- Spesifikasi pipa yang digunakan pada lokasi survei yang ditinjau
- Spesifikasi pompa distribusi yang digunakan.

### 3.3. Analisa Data

Metode yang digunakan dalam analisis pendistribusian air bersih yaitu dengan memakai metode *Hardy-Cross* persamaan *Darcy-Weisbach* dengan bantuan kalkulator dan *Program Microsoft Excel 2007*. Adapun prosedur perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Pilih pembagian debit melalui tiap-tiap pipa  $Q_0$  hingga terpenuhi kontinuitas
2. Hitung  $h_f$  pada tiap pipa,  $h_f = k \cdot Q^2$ .
3. Jaringan pipa dibagi menjadi sejumlah jaringan tertutup (tiap pipa minimal masuk dalam satu jaringan).
4. Hitung  $\sum h_f$  tiap jaringan, jika pengaliran seimbang,  $\sum h_f = 0$ .
5. Hitung nilai  $\sum |2kQ|$  untuk tiap jaringan.
6. Hitung koreksi debit  $\Delta Q = \frac{\sum kQ_0^2}{\sum |2kQ|}$ ,  $Q_0$  =debit permisalan.
7. Koreksi debit,  $Q = Q_0 + \Delta Q$ , prosedur 1 – 6 diulangi hingga diperoleh  $\frac{\Delta Q}{Q} \approx 0$ .

Pada suatu jaringan perpipaan harus dipenuhi ketentuan berikut:

- Perjumlahan tekanan disetiap *circuit* = 0 (nol).
- Aliran yang masuk pada setiap titik simpul = aliran keluar.
- Persamaan Darcy – Weisbach atau rumus eksponensial berlaku untuk masing-masing pipa.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Bahwa dalam melakukan perhitungan yang mempunyai 8 (delapan) loop diselesaikan dengan 2 (dua) iterasi telah mendapatkan hasil  $\Delta Q \approx 0$ .
2. Pada perhitungan Iterasi pertama di dapat harga  $h_f$  sangatlah besar seperti terlihat perbandingan pada tabel 4.4. Nilai  $h_f$  adalah nilai kerugian *head* terhadap gesekan yang akan berpengaruh kepada tekanan pompa. Oleh sebab itu dilakukan evaluasi diameter pipa untuk mendapatkan harga  $h_f$  menjadi kecil. Perbedaan dapat dilihat dari tabel 4.4.

No	Diameter Eksisting	Diameter Evaluasi
1	75 mm	125 mm
2	50 mm	75 mm

3. Dalam melakukan perhitungan dengan rumus *Darcy-Weisbach* memiliki koefisien gesekan  $f$  yang pada setiap perhitungannya memiliki nilai yang berubah-ubah tergantung dengan nilai kecepatan aliran ( $v$ ).

## 5.2. Saran

1. Perhitungan dengan cara manual sedikit rumit, banyak koefisien yang berubah-ubah. maka untuk membantu perhitungan maka minimal dibantu dengan *software microsoft excel* agar perhitungan lebih mudah.
2. Mengingat umur dan kondisi pipa yang sudah cukup lama maka perlu adanya evaluasi terhadap diameter pipa untuk mengurangi kerugian *head* terhadap gesekan. Diameter 75 mm menjadi 125 mm dan 50 mm menjadi 75 mm.



## DAFTAR PUSTAKA

- Dake, J.M.K. Endang P.Tachyan dan Y.P. Pangaribuan, 1985. *Hidraulika Teknik Edisi II*. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Gupta S, Ram.1989. *Hydrology & Hydraulic Systems*. Prentice Hall. New Jersey
- Houghtalen, Robert J. Ned H.C. Hwang and A. Osman Akan, 2010. *Fundamental of Hydraulic Engineering Systems (4<sup>th</sup> ed)*. Pearson. New Jersey
- Linsey, Ray K. 1985. *Teknik Sumber Daya Air Jilid I*. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Streeter, Victor L and E. Benjamin Wylie, 1990. *Mekanika Fluida Jilid 1 Edisi VIII*. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Triatmodjo, Bambang. 1996. *Soal Penyelesaian Hidraulika-II*. Penerbit Beta Offset. Yogyakarta
- Kodoatie, Robert J. 2009. *Hidrolika Terapan Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Andi. Yogyakarta.
- Triatmadja, Radianta. 2009. *Hidraulika Sistem Jaringan Perpipaan Air Minum*. Beta Offset. Yogyakarta.
- United States Agency for International Development. 2006. Corporate Plan PDAM Tirtanadi Sumatera Utara 2006-2010. Environmental Service Program. Jakarta.*
- [http://id.wikipedia.org/wiki/persamaan\\_Darcy-weisbach](http://id.wikipedia.org/wiki/persamaan_Darcy-weisbach)