



TESIS – RC 142501

## ANALISA HIDROLIKA SISTEM IRIGASI PERPIPAAN

NURUL JANNAH ASID  
3116205001

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. WASIS WARDOYO, M.Sc

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



TESIS – RC 142501

## ANALISA HIDROLIKA SISTEM IRIGASI PERPIPAAN

Nurul Jannah Asid  
3116205001

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



TESIS – RC 142501

## HYDROLIC ANALYSIS OF PIPED IRRIGATION SYSTEM

Nurul Jannah Asid  
3116205001

SUPERVISOR  
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc

MAGISTER PROGRAM  
MANAGEMENT AND WATER RESOURCE ENGINEERING  
DEPARTEMEN OF CIVIL ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL, ENVIROMENTAL AND GEO ENGINEERING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:  
Nurul Jannah Asid  
NRP. 3116205001**

**Tanggal Ujian : 04 Januari 2018  
Periode Wisuda : Maret 2018**

**Disetujui Oleh :**


**1. Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.**  
NIP : 19610927 198701 1 001

  
(Pembimbing)

**2. Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.**  
NIP : 19540113 198010 1 001

  
(Penguji)

**3. Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T, M.Sc.**  
NIP : 19610972 198701 1 001

  
(Penguji)

**4. Dr.Ir.Edijatno, CES,DEA**  
NIP : 19520311 198003 1 003

  
(Penguji)



**Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Dean**

  
**D.A.A Warmadewanthi, ST., MT, PH.D**  
NIP:19750212 199903 2 001

## **Analisa Hidrolika Sistem Irigasi Perpipaan**

Nama Mahasiswa : Nurul Jannah Asid  
NRP : 3116205001  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc

### **ABSTRAK**

Agropolitan Poncokusumo berada di Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang menggunakan irigasi perpipaan untuk mengairi tanaman sayur dan buah seluas 670 ha. Penggunaan irigasi perpipaan untuk efisiensi penggunaan air dan pemanfaatan air hingga lahan terjauh.. Setelah beroperasi selama tiga tahun terjadi kehilangan energi di jaringan irigasi tersebut. Kehilangan energi mempengaruhi kinerja irigasi yang ada. Saat ini belum diketahui penyebab kehilangan energi serta letak permasalahan yang diperkirakan menyebabkan kehilangan energi. Sehingga perlu adanya penelitian untuk melihat kondisi pipa setelah beroperasi selama tiga tahun. Tujuan dari penelitian ini adalah analisa kondisi pipa setelah beroperasi selama tiga tahun dengan membandingkan nilai koefisien gesek pipa (f) simulasi dengan teori.

Penelitian ini akan dilakukan pada jaringan pipa yang ada. Jaringan pipa yang ada dibagi menjadi 5 rangkaian, tiap rangkaian akan mengalirkan air dari reservoir ke satu titik pengambilan dengan melewati satu hingga tiga pipa dengan diameter berbeda. Menggunakan data elevasi, debit lapangan, diameter pipa, dan panjang pipa. Tiap rangkaian dilakukan simulasi dengan tiga variasi ketinggian air di reservoir. Hasil simulasi akan diketahui besar tekanan yang tersisa diujung pengambilan. Dari output tersebut kemudian dilakukan perhitungan kehilangan energi pada tiap rangkaian. Dari nilai kehilangan energi dilakukan perhitungan analitik untuk mendapatkan Nilai f simulasi. Nilai f simulasi dibandingkan dengan f teori yang didapat dengan rumus Blasius dan Grafik Moody. Jika selisih nilai lebih dari 10% maka kondisi pipa bermasalah, jika kurang dari 10% maka kondisi pipa masih baik.

Hasil dari penelitian didapatkan besar kehilangan energi pada masing-masing rangkaian tiga variasi ketinggian air di reservoir, Yaitu : Rangkaian R-B = 0,02 m dengan debit 2,5 l/dtk, Rangkaian R-C= 5,89 m dengan debit 14,5 l/dtk. Rangkaian R-F= 3,09 m dengan debit 12 l/dtk, Rangkaian R-H=7,5 m dengan debit 4 l/dtk, Rangkaian R-D = 6,82 m dengan debit 9 l/dtk. Nilai f hasil simulasi pada lima rangkaian pipa mendapatkan nilai f simulasi adalah Pipa 1  $\varnothing$ 8 Inch = 0,019, pipa 2  $\varnothing$ 6 Inch = 0,019, Pipa 3  $\varnothing$ 3 Inch = 0,022, Pipa 4  $\varnothing$ 4 Inch = 0,019. Nilai f teori menurut Rumus Blasius adalah Pipa 1  $\varnothing$ 8Inch = 0,020, pipa 2  $\varnothing$ 6Inch = 0,018, Pipa 3  $\varnothing$ 3 Inch = 0,020, Pipa 4  $\varnothing$ 4 Inch = 0,017. Menurut Grafik Moody adalah Pipa 1  $\varnothing$ 8 Inch = 0,020, pipa 2  $\varnothing$ 6 Inch = 0,018, Pipa 3  $\varnothing$ 3 Inch = 0,020, Pipa 4  $\varnothing$ 4 Inch = 0,018. Selisih f simulasi dan f teori kurang dari 10%. Dari nilai selisih antara f teori dan simulasi tersebut dapat disimpulkan jika kondisi pipa

masih baik setelah beroperasi selama tiga tahun, dan pipa tidak perlu dilakukan pergantian karena masih kondisi bagus.

**(Kata Kunci : Analisa Hidrolika, Koefisien gesek Darcy Weisbach  $f$ .)**

## Hydraulic Analysis of Piping Irrigation System

Name : Nurul Jannah Asid  
NRP : 3116205001  
Supervisor : Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc

### ABSTRACT

Poncokusumo Agropolitan is located in Poncokusumo District, Malang Regency using piping irrigation to irrigate 670 ha of vegetables and fruits. The use of piping irrigation is for the efficiency of the use of water and the utilization of water to the forest land. In addition, the condition of soil in Poncokusumo is sandy, so when using open irrigation, the water will absorb so that water will not come to the forest land. After operating for three years, there is a head loss in the irrigation network. Head loss affects existing irrigation performance. Currently, the cause of head loss and the problem estimated to cause head loss are unknown. Therefore it is necessary to research to see the condition of the pipe after operating for three years. The purpose of this research is pipeline condition analysis after three years operation by comparing the coefficient of friction pipe (f) simulation with theory.

In this research will be analyzed on existing pipelines. The existing pipe network is divided into 5 pipeline, each series will drain the water from the reservoir to a single point of retrieval by passing through one to three pipes of different diameter. This uses elevation data, field debit, pipe diameter, and pipe length. Each series is simulated with three variations of water level in the reservoir. In the simulation results, it will be known the amount of pressure remaining at the end of the retrieval. From the output, the calculation of the head loss in each pipeline will be carried out. From the head loss value, it will find the value of f simulation. The value of f simulation is compared with the f theory obtained by the formula of Blasius and Moody Graph. If the difference in value is more than 10%, then the condition of the pipe is problematic, if less than 10% then the condition of pipe is still good.

From the results of the research, it obtains the amount of head loss in each series of three water height variations in the reservoir, they are: Pipeline R-B = 0.02 m with with 2,5 l/s discharge, Pipeline R-C = 5,01 m with 14,5 l/s discharge, Pipeline R-F = 2.82 m with 12 l/s discharge, Pipeline R-H = 6.21 m with 4 l/s discharge, Pipeline R-D = 5.8 m with 9 l/s discharge. The value of f simulation in five pipe networks obtaining the value of f simulation is Pipe 1  $\phi$ 8 Inch = 0.019, Pipe 2  $\phi$ 6 Inch = 0.018, Pipe 3  $\phi$ 3 Inch = 0.022, Pipe 4  $\phi$ 4 Inch = 0.019. The f theoretical value according to Blasius Formula is Pipe 1  $\phi$ 8 Inch = 0.020, Pipe 2  $\phi$ 6 Inch = 0.018, Pipe 3  $\phi$ 3 Inch = 0.020, Pipe 4  $\phi$ 4 Inch = 0.017. According to Moody Graph is Pipe 1  $\phi$ 8 Inch = 0.020, pipe  $\phi$ 6 Inch = 0.018, Pipe 3  $\phi$ 3 Inch = 0.020, Pipe 4  $\phi$ 4 Inch = 0.018. Dispute of f simulation and f theory is less than

10%. Of these values, it can be concluded if the pipe condition is still good after operating for three years. There is no need to change the pipes

**(Key Words: Hydraulic Analysis, Darcy Weisbach f friction coefficient)**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT penulis panjatkan karena atas rahmat, karuniaNya serta bantuannya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “Analisa Hidrolika Sistem Irigasi Perpipaan”. Penulisan tesis ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Studi Jenjang Strata II (S2) Bidang Keahlian Manajemen dan Rekayasa Sumber Air Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulisan Tesis ini dapat terselesaikan karena bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak dan Ibu Penulis **H. Achmadullah (Alm) dan Hj. Fatimah (Alm)** yang telah membesarkan dan membentuk penulis menjadi seperti sekarang;
2. Bapak **Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc** selaku pembimbing yang selalu dengan sabar membimbing, memberikan masukan, semangat dan pandangan sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik;
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc** selaku dosen wali dan penguji pada penyusunan tesis ini atas segala masukan untuk tesis ini;
4. Bapak **Dr.Ir.Edijatno, CES,DEA** selaku penguji atas segala masukan pada tesis ini;
5. Bapak **Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T, M.Sc.** selaku penguji atas segala masukan pada tesis ini;
6. Segenap Dosen dan Karyawan di Jurusan Teknik Sipil ITS atas segala bantuannya penulis ucapkan terima kasih;
7. Kepada ITS dan Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan atas kesempatan menimba ilmu kepada saya;
8. Kakak pertama penulis **Abd. Qodir Asid** dan **Umi Kulsum** atas semangat dan dorongan pada penulis;
9. Kakak Kedua Penulis **Ummu Hani** dan **Moh Romli** atas segala doa dan nasehat pada penulis

10. Kakak Ketiga **Siti Salwah Asid** dan **Muhammad Surah** atas nasehat dan doa pada penulis
11. Kakak Keempat **M. Quraisyi Asid** dan **Ayu Idora Librania** atas nasehat pada penulis
12. Para Keponakan penulis yang menjadi penghibur.
13. Keluarga Besar Bani Syamsuddin Atas doa dan semangat yang tidak pernah berhenti selama penulis mengerjakan tesis ini.
14. Teman-teman dari penulis atas segala bantuan kepada penulis

Pada penulisan tesis ini masih terdapat kekurangan yang dibuat oleh penulis, Oleh karena itu, kritik dan saran dari berbagai pihak akan sangat diterima. Semoga tesis ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua untuk menambah wawasan dan pengetahuan khususnya dalam bidang Teknik sipil keairan.

Surabaya, 10 Januari 2018

Nurul Jannah Asid

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                                  | <b>i</b>    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>                              | <b>ii</b>   |
| <b>ABSTRAK .....</b>  | <b>iii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                       | <b>v</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                  | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                      | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                   | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                   | <b>xv</b>   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                                | <b>xvii</b> |
| <b>1. BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>                           | <b>1</b>    |
| 1.1. Latar Belakang.....                                    | 1           |
| 1.2. Rumusan Masalah.....                                   | 3           |
| 1.3. Tujuan Studi.....                                      | 4           |
| 1.4. Manfaat Penelitian .....                               | 4           |
| <b>2. BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....</b>                        | <b>5</b>    |
| 2.1. Penelitian Sebelumnya.....                             | 5           |
| 2.2. Sisa Tenaga .....                                      | 6           |
| 2.3. Garis Gradien Hidrolik dan Garis Gradien Energi .....  | 8           |
| 2.3.1 Garis Gradien Hidrolik .....                          | 8           |
| 2.3.2 Garis Gradien Energi .....                            | 8           |
| 2.4. Kehilangan Tekanan Air.....                            | 9           |
| 2.4.1 Mayor Losses.....                                     | 9           |
| 2.4.2 Minor Losses .....                                    | 10          |
| 2.5. Macam-Macam Kehilangan Energi Sekunder Pada Pipa ..... | 11          |
| 2.5.1 Perbesaran Pipa .....                                 | 11          |
| 2.5.2 Pengecilan Penampang .....                            | 13          |
| 2.5.3 Belokan .....   | 15          |
| 2.5.4 Fitting .....   | 17          |
| 2.6. Persamaan Tahanan Gesek Pipa .....                     | 18          |
| 2.6.1 Aliran Laminer.....                                   | 18          |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 2.6.2     | Rumus Empiris Untuk Pipa Halus .....                    | 19        |
| 2.6.3     | Pipa Kasar .....  | 19        |
| 2.6.4     | Rumus Empiris Aliran Melalui Pipa .....                 | 21        |
| 2.7       | Operasi Matrik  |           |
| 2.7.1     | Deskripsi .....   | 26        |
| 2.7.2     | Operasi Matrik .....                                    | 27        |
| 2.7.3     | Matrik Transpose .....                                  | 27        |
| 2.7.4     | Matrik Invers .....                                     | 28        |
| 2.7.5     | Matrik Determinan .....                                 | 28        |
| 2.8       | Epanet .....  | 28        |
| 2.8.1     | Deskripsi .....   | 29        |
| 2.8.2     | Kemampuan Model Hidrolis .....                          | 29        |
| 2.8.3     | Kemampuan Model Kulaitas Air .....                      | 30        |
| 2.8.4     | Cara Mengerjakan Epanet.....                            | 31        |
| <b>3.</b> | <b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>                    | <b>35</b> |
| 3.1.      | Lokasi Penelitian .....                                 | 35        |
| 3.2.      | Kondisi Eksisting .....                                 | 36        |
| 3.3.      | Rancangan Kegiatan .....                                | 38        |
| 3.3.1.    | Survey Pendahuluan .....                                | 40        |
| 3.3.2.    | Studi Pustaka .....                                     | 40        |
| 3.3.3.    | Pengumpulan Data .....                                  | 41        |
| 3.3.4.    | Penentuan pembagian pipa.....                           | 41        |
| 3.3.5.    | Setting Program.....                                    | 41        |
| 3.3.6.    | Kalibrasi Program .....                                 | 41        |
| 3.3.7.    | Simulasi Pada Masing-Masing Rangkaian.....              | 41        |
| 3.3.8.    | Nilai Koefisien Gesek (f) Pada masing-masing pipa ..... | 42        |
| 3.3.9.    | Kalibrasi .....   | 42        |
| 3.3.10.   | Analisa Kondisi Pipa .....                              | 42        |
| 3.3.11.   | Penyelesaian Pipa Yang Mengalami Masalah .....          | 42        |
| 3.3.12.   | Kesimpulan dan Saran.....                               | 43        |
| <b>4.</b> | <b>BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>                | <b>45</b> |
| 4.1.      | Pengumpulan Data .....                                  | 45        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 4.1.1     | Debit di titik pengambilan .....                             | 45        |
| 4.1.2     | Debit dititik pengambilan .....                              | 46        |
| 4.1.3     | Diameter Pipa .....  | 46        |
| 4.2.      | Penentuan Rangkaian Pipa .....                               | 46        |
| 4.2.1.    | Rangkaian R-B.....   | 46        |
| 4.2.2.    | Rangkaian R-C.....   | 48        |
| 4.2.3.    | Rangkaian R-F .....  | 49        |
| 4.2.4.    | Rangkaian R-D .....  | 51        |
| 4.2.5.    | Rangkaian R-H .....  | 52        |
| 4.3.      | Setting Program Epanet .....                                 | 54        |
| 4.4.      | Kalibrasi Program.....                                       | 54        |
| 4.5.      | Hasil Simulasi Epanet.....                                   | 56        |
| 4.5.1.    | Rangkaian R-B.....   | 56        |
| 4.5.2.    | Rangkaian R-F .....  | 59        |
| 4.5.3.    | Rangkaian R-C.....   | 62        |
| 4.5.4.    | Rangkaian R-D .....  | 66        |
| 4.5.5.    | Rangkaian R-H .....  | 72        |
| 4.6.      | Nilai Kehilangan Energi .....                                | 75        |
| 4.7.      | Perhitungan Analitik Untuk Mendapatkan Nilai f Simulasi..... | 77        |
|           | Rangkaian R-B.....   | 78        |
|           | Rangkaian R-F .....  | 79        |
|           | Rangkaian R-C.....   | 80        |
|           | Rangkaian R-D .....  | 81        |
|           | Rangkaian R-H .....  | 82        |
| 4.8.      | Nilai f Hasil Teori.....                                     | 84        |
| 4.6.1     | Grafik Moody .....   | 84        |
| 4.6.2     | Rumus Blasius .....  | 88        |
| 4.9.      | Perbandingan Nilai f Simulasi dan F gteori.....              | 89        |
| 4.10.     | Analisa Kondisi Pipa .....                                   | 89        |
| <b>5.</b> | <b>BAB 5 KESIMPULAN PENELITIAN .....</b>                     | <b>91</b> |
| 5.1.      | Kesimpulan .....   | 91        |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 5.2. Saran .....            | 92        |
| <b>Daftar Pustaka .....</b> | <b>93</b> |
| <b>Lampiran .....</b>       | <b>95</b> |
| <b>Lembar Asistensi</b>     |           |
| <b>Biografi Penulis</b>     |           |

## DAFTAR TABEL

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>Tabel 2.1</b>  | Nilai $K$ sebagai Fungsi dari $\alpha$ .....                | 13 |
| <b>Tabel 2.2</b>  | Koefisien $K_b$ sebagai fungsi sudut belokan $\alpha$ ..... | 17 |
| <b>Tabel 2.3</b>  | Nilai $K_b$ sebagai fungsi $R/D$ .....                      | 17 |
| <b>Tabel 2.4</b>  | Nilai $K$ Pada Tiap Fitting .....                           | 17 |
| <b>Tabel 2.5</b>  | Tinggi Kekasaran Pipa .....                                 | 25 |
| <b>Tabel 2.6</b>  | Tinggi Kekasaran Pipa .....                                 | 26 |
| <b>Tabel 4.1</b>  | Debit Di Titik Pengambilan.....                             | 45 |
| <b>Tabel 4.2</b>  | Diameter Pipa .....   | 46 |
| <b>Tabel 4.3</b>  | Hasil Output Epanet Untuk Kalibrasi.....                    | 55 |
| <b>Tabel 4.4</b>  | Network Links Rangkaian R-B Elevasi 4,2 m .....             | 57 |
| <b>Tabel 4.5</b>  | Network Nodes Rangkaian R-B Elevasi 4,2 m .....             | 57 |
| <b>Tabel 4.6</b>  | Network Links Rangkaian R-B Elevasi 3 m .....               | 57 |
| <b>Tabel 4.7</b>  | Network Nodes Rangkaian R-B Elevasi 3 m .....               | 58 |
| <b>Tabel 4.8</b>  | Network Links Rangkaian R-B Elevasi 2 m .....               | 59 |
| <b>Tabel 4.9</b>  | Network Nodes Rangkaian R-B Elevasi 2 m .....               | 59 |
| <b>Tabel 4.10</b> | Network Links Rangkaian R-F Elevasi 4,2 m.....              | 59 |
| <b>Tabel 4.11</b> | Network Nodes Rangkaian R-B Elevasi 4,2m .....              | 60 |
| <b>Tabel 4.12</b> | Network Links Rangkaian R-F Elevasi 3 m.....                | 60 |
| <b>Tabel 4.13</b> | Network Nodes Rangkaian R-F Elevasi 3 m.....                | 61 |
| <b>Tabel 4.14</b> | Network Links Rangkaian R-F Elevasi 2 m.....                | 61 |
| <b>Tabel 4.15</b> | Network Nodes Rangkaian R-F Elevasi 2 m.....                | 62 |
| <b>Tabel 4.16</b> | Network Links Rangkaian R-C Elevasi 4,2 m .....             | 63 |
| <b>Tabel 4.17</b> | Network Nodes Rangkaian R-C Elevasi 4,2 m .....             | 64 |
| <b>Tabel 4.18</b> | Network Link Rangkaian R-C Elevasi 3 m.....                 | 64 |
| <b>Tabel 4.19</b> | Network Nodes Rangkaian R-C Elevasi 3 m .....               | 65 |
| <b>Tabel 4.20</b> | Network Links Rangkaian R-C Elevasi 2 m .....               | 65 |
| <b>Tabel 4.21</b> | Network Nodes Rangkaian R-C Elevasi 2 m .....               | 66 |
| <b>Tabel 4.22</b> | Network Links Rangkaian R-D Elevasi 4,2 m .....             | 67 |
| <b>Tabel 4.23</b> | Network Nodes Rangkaian R-D Elevasi 4,2 m .....             | 68 |
| <b>Tabel 4.24</b> | Network Links Rangkaian R-D Elevasi 3 m .....               | 69 |

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Tabel 4.25</b> | Network Nodes Rangkaian R-D Elevasi 3 m .....              | 69 |
| <b>Tabel 4.26</b> | Network Links Rangkaian R-D Elevasi 2 m.....               | 70 |
| <b>Tabel 4.27</b> | Network Nodes Rangkaian R-D Elevasi 2 m .....              | 71 |
| <b>Tabel 4.28</b> | Network Links Rangkaian R-H Elevasi 4,2 m.....             | 73 |
| <b>Tabel 4.29</b> | Network Nodes Rangkaian R-H Elevasi 4,2 m .....            | 73 |
| <b>Tabel 4.30</b> | Network Links Rangkaian R-H Elevasi 3 m.....               | 74 |
| <b>Tabel 4.31</b> | Network Nodes Rangkaian R-H Elevasi 3 m .....              | 75 |
| <b>Tabel 4.32</b> | Network Links Rangkaian R-H Elevasi 2 m.....               | 75 |
| <b>Tabel 4.33</b> | Network Nodes Rangkaian R-H Elevasi 2 m .....              | 76 |
| <b>Tabel 4.34</b> | Nilai Kehilangan Energi Pada Masing-Masing Rangkaian ..... | 77 |
| <b>Tabel 4.35</b> | Nilai f Hasil Perhitungan Simulasi .....                   | 83 |
| <b>Tabel 4.36</b> | Nilai f Berdasarkan Grafik Moody .....                     | 88 |
| <b>Tabel 4.37</b> | Nilai f Berdasarkan Rumus Blasius .....                    | 88 |
| <b>Tabel 4.38</b> | Perbandingan Nilai f Teoritis dan Simulasi .....           | 89 |



## DAFTAR GAMBAR

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Gambar 1.1</b>  | Kehilangan Energi .....                               | 2  |
| <b>Gambar 2.1</b>  | Garis Energi dan Hidrolis Pada Zat Cair Ideal .....   | 6  |
| <b>Gambar 2.2</b>  | Garis Gradien Energi dan Garis Gradien Hidrolis ..... | 9  |
| <b>Gambar 2.3</b>  | Perbesaran Pipa .....                                 | 11 |
| <b>Gambar 2.4</b>  | Perbesaran Pipa Menuju Kolam .....                    | 12 |
| <b>Gambar 2.5</b>  | Pebesaran Penampang Secara Berangsur-angsur .....     | 13 |
| <b>Gambar 2.6</b>  | Pengecilan Penampang Secara berangsur-angsur .....    | 13 |
| <b>Gambar 2.7</b>  | Nilai K Terhadap pengecilan Penampang .....           | 14 |
| <b>Gambar 2.8</b>  | Masing-masing lobang Pemasukan dari kolam .....       | 15 |
| <b>Gambar 2.9</b>  | Belokan Pipa.....                                     | 16 |
| <b>Gambar 2.10</b> | Belokan Pipa .....                                    | 17 |
| <b>Gambar 2.11</b> | Garfik Moody .....                                    | 24 |
| <b>Gambar 2.12</b> | Hasil Percobaan Nikuradse.....                        | 20 |
| <b>Gambar 2.13</b> | Tampilan Awal Epanet .....                            | 31 |
| <b>Gambar 2.14</b> | Jaringan Pipa .....                                   | 32 |
| <b>Gambar 2.15</b> | Edit pipa .....                                       | 32 |
| <b>Gambar 2.16</b> | Edit Node .....                                       | 33 |
| <b>Gambar 2.17</b> | Menu Running .....                                    | 33 |
| <b>Gambar 2.18</b> | Hasil Running .....                                   | 34 |
| <b>Gambar 3.1</b>  | Peta Lokasi Penelitian .....                          | 35 |
| <b>Gambar 3.2</b>  | Peta Daerah Layanan .....                             | 36 |
| <b>Gambar 3.3</b>  | Jaringan Perpipaan Eksisting.....                     | 37 |
| <b>Gambar 3.4</b>  | Diagram Alir Penelitian .....                         | 38 |
| <b>Gambar 4.1</b>  | Denah Rangkaian R-B.....                              | 47 |
| <b>Gambar 4.2</b>  | Rangkaian R-B Tampak Samping.....                     | 47 |
| <b>Gambar 4.3</b>  | Skema Rangkaian R-B .....                             | 48 |
| <b>Gambar 4.4</b>  | Denah Rangkaian R-C .....                             | 48 |
| <b>Gambar 4.5</b>  | Rangkaian R-C Tampak Samping.....                     | 49 |
| <b>Gambar 4.6</b>  | Skema Rangkaian R-C .....                             | 49 |
| <b>Gambar 4.7</b>  | Denah Rangkaian R-F .....                             | 50 |

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Gambar 4.8</b>  | Rangkaian R-F Tampak Samping.....           | 50 |
| <b>Gambar 4.9</b>  | Skema Rangkaian R-F Tampak Samping.....     | 51 |
| <b>Gambar 4.10</b> | Denah Rangkaian R-D.....                    | 52 |
| <b>Gambar 4.11</b> | Rangkaian R-D Tampak Samping.....           | 53 |
| <b>Gambar 4.12</b> | Skema Rangkaian R-D.....                    | 53 |
| <b>Gambar 4.13</b> | Denah Rangkaian R-H.....                    | 53 |
| <b>Gambar 4.14</b> | Rangkaian R-H Tampak Samping.....           | 52 |
| <b>Gambar 4.15</b> | Skema Rangkaian R-H.....                    | 53 |
| <b>Gambar 4.16</b> | Setting Rangkaian R-B.....                  | 54 |
| <b>Gambar 4.17</b> | Skema Kehilangan Energi Di lapangan.....    | 55 |
| <b>Gambar 4.18</b> | Skema Kehilangan Energi Hasil Simulasi..... | 55 |
| <b>Gambar 4.19</b> | Rangkaian R-B Pada Epanet.....              | 56 |
| <b>Gambar 4.20</b> | Rangkaian R-F Pada Epanet.....              | 59 |
| <b>Gambar 4.21</b> | Rangkaian R-C Pada Epanet.....              | 63 |
| <b>Gambar 4.22</b> | Rangkaian R-D Pada Epanet.....              | 67 |
| <b>Gambar 4.23</b> | Rangkaian R-H Pada Epanet.....              | 72 |
| <b>Gambar 4.24</b> | Besar Energi Pada Rangkaian R-B.....        | 78 |
| <b>Gambar 4.25</b> | Besar Energi Pada Rangkaian R-f.....        | 79 |
| <b>Gambar 4.26</b> | Besar Energi Pada Rangkaian R-C.....        | 80 |
| <b>Gambar 4.27</b> | Besar Energi Pada Rangkaian R-D.....        | 81 |
| <b>Gambar 4.28</b> | Besar Energi Pada Rangkaian R-H.....        | 82 |
| <b>Gambar 4.29</b> | Grafik Moody Pipa 1.....                    | 84 |
| <b>Gambar 4.30</b> | Grafik Moody Pipa 2.....                    | 84 |
| <b>Gambar 4.31</b> | Grafik Moody Pipa 3.....                    | 86 |
| <b>Gambar 4.32</b> | Grafik Moody Pipa 4.....                    | 87 |

## **DAFTAR LAMPIRAN**

|   |            |
|---|------------|
| <b>LAMPIRAN A Foto Kondisi Eksisting.....</b> | <b>95</b>  |
| <b>LAMPIRAN B Nilai Viskositas.....</b>       | <b>99</b>  |
| <b>LAMPIRAN C Output Epanet .....</b>         | <b>100</b> |

*Halaman ini sengaja di kosongkan*

# **BAB 1**

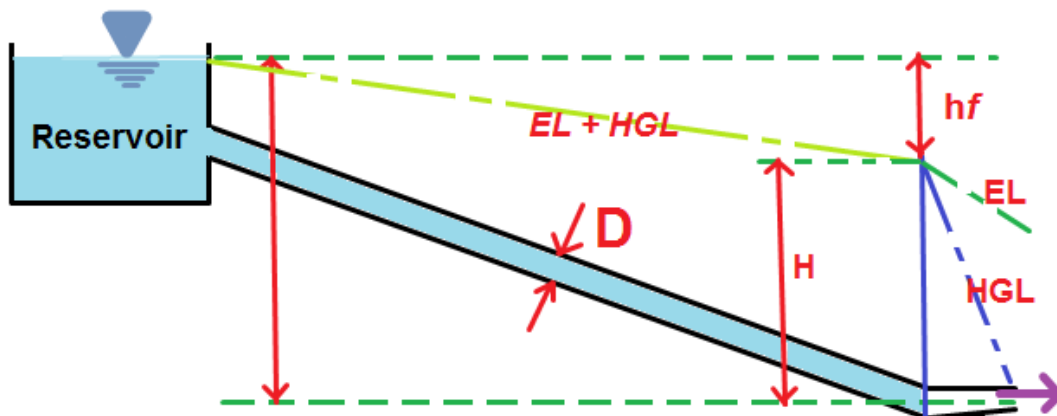
## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kawasan Agropolitan Poncokusumo berada di Desa Poncokusumo Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang menggunakan sistem irigasi perpipaan untuk mengairi tanaman sayur dan buah. Sistem irigasi perpipaan ini telah beroperasi selama tiga tahun untuk mengairi perkebunan seluas 670 ha. Sumber air irigasi diambil dari Sungai Lesti di Dam Sabo Lesti 2 menggunakan pipa besi  $\varnothing 8$  inch secara gravitasi kemudian di tampung di Reservoir. Air dari Reservoir dialirkan pada tiap titik pengambilan. Setiap luasan memiliki satu titik pengambilan.

Pemilihan irigasi pipa diharapkan sumber daya air yang ada dapat dimanfaatkan secara efisien oleh petani. Selain itu, kondisi tanah di Poncokusumo berpasir sehingga air akan menyerap ketika dialirkan dengan irigasi terbuka biasa. Dengan menggunakan irigasi konvensional maka air irigasi habis sebelum sampai pada lahan terjauh. Sehingga diharapkan dengan adanya jaringan irigasi perpipaan tersebut kebutuhan air pada lahan pertanian bisa terpenuhi.

Setelah beroperasi selama tiga tahun, terjadi kehilangan energi di jaringan pipa. Belum diketahui penyebab kehilangan energi yang terjadi. Kehilangan energi bisa disebabkan oleh banyak hal, diantaranya: Panjang pipa, diameter pipa, dan jenis pipa yang disebut kehilangan energi akibat friction atau mayor losses ( $h_f$ ). Selain itu, juga terdapat kehilangan energi akibat perubahan diameter dan belokan yang disebut dengan kehilangan energi sekunder/minor losses. Kehilangan energi berpengaruh terhadap tekanan pada ujung pengambilan dan mempengaruhi kinerja pipa dalam mengantarkan air. Pada Gambar 1.1 adalah contoh kehilangan energi yang terjadi pipa.



Sumber: sanggapramana,2013

**Gambar 1.1 Kehilangan Energi Pada Pipa**

Pada jaringan perpipaan yang biasa dilakukan untuk mengatasi kehilangan energi adalah dengan membongkar jaringan pipa yang ada untuk melihat kondisi pipa dan mengganti rangkaian pipa yang telah ada baik diameter pipa dan jaringan pipa.

Sehingga pada penelitian ini dicoba untuk melakukan penyelidikan kondisi pipa, berdasarkan perbandingan nilai  $f$  teori dan  $f$  simulasi.. Dengan data jaringan pipa, elevasi, debit, diameter, panjang dan jenis pipa yang digunakan dilapangan kemudian dilakukan simulasi dengan bantuan Program Epanet.

Nilai kehilangan energi yang didapatkan kemudian dilakukan perhitungan analitik untuk mendapatkan nilai koefisien gesek Darcy Weisbach ( $f$ ) tiap pipa.. Nilai koefisien gesek yang didapatkan digunakan untuk melakukan analisa terhadap kondisi pipa dan membandingkan dengan dengan nilai  $f$  teori. Nilai koefisien gesek pipa besar maka menandakan jika pipa tersebut mengalami masalah, misalnya kotor dan menjadi penyebab kehilangan energi. Sesuai dengan persamaan Darcy Weisbach nilai  $f$  berbanding lurus dengan dengan kehilangan energi, semakin besar nilai  $f$  maka nilai kehilangan energi yang terjadi juga besar.

Jika hasil pipa yang didapatkan menghasilkan nilai  $f$  yang masih dalam rentang, maka kondisi pipa masih bagus.

Dengan penelitian ini diharapkan didapatkan informasi kondisi pipa yang ada disana untuk menjadi bahan masukan dalam menyelesaikan permasalahan kehilangan energi yang terjadi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dalam uji koefisien gesek pipa pada jaringan irigasi perpipaan di Agropolitan Poncokusumo Kabupaten Malang maka, harus bisa menjawab pertanyaan berikut ini :

- a. Berapa Rangkaian pipa yang akan diteliti untuk mengetahui kondisi masing-masing pipa?;
- b. Berapa besar kehilangan energi pada tiap Rangkaian dengan debit tertentu sesuai hasil simulasi?
- c. Berapa Nilai Koefisien gesek Darcy Weisbach  $f$  pada masing-masing pipa berdasarkan hasil simulasi?;
- d. Berapa Nilai Koefisien gesek  $f$  pipa menggunakan Rumus Blasius dan Grafik Moody?
- e. Berapa perbedaan nilai  $f$  simulasi dan  $f$  teori?;
- f. Kondisi pipa berdasarkan nilai  $f$  ?.

## 1.3 Tujuan

Penelitian diharapkan untuk mendapatkan:

- a. Untuk menentukan rangkaian pipa yang akan diteliti untuk mengetahui kondisi masing-masing pipa;
- b. Untuk mengetahui nilai kehilangan energi pada tiap rangkaian dengan debit tertentu sesuai hasil simulasi;
- c. Untuk mengetahui Nilai Koefisien gesek Darcy Weisbach  $f$  pada masing-masing pipa;
- d. Untuk mengetahui Nilai Koefisien gesek  $f$  pada masing-masing rangkaian pipa berdasarkan Rumus Blasius dan Grafik Moody;
- e. Untuk melihat perbedaan nilai  $f$  simulasi dan teori;
- f. Untuk mengetahui kondisi rangkaian pipa berdasarkan nilai  $f$ .

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi upaya mendapatkan jaringan irigasi perpipaan yang optimal dengan mendapatkan kondisi pipa yang ada saat ini setelah beroperasi selama tiga tahun.

#### **1.5 Batasan Masalah**

- a. Tidak memperhitungkan analisa ekonomi akibat kehilangan energi;
- b. Pada penelitian ini bukan mencari penyebab kehilangan energi namun mencari kondisi pipa yang berhubungan dengan kehilangan energi;
- c. Penelitian ini dilakukan dengan analisa tiap rangkaian.



## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Menurut hasil penelitian Ir. Salomo Simanjuntak, MT yang berjudul Kehilangan Energi Pada Pipa Baja dan Pipa PVC menyatakan jika kehilangan pada jenis material yang sama, akan berbeda apabila diameter berbeda. Selain itu kehilangan energi pada diameter yang sama, kehilangan energi pada pipa baja lebih besar dari pipa PVC. Besar kecepatan pada pipa PVC diameter 1 inchi = 1,318 m/s dan pada pipa Baja = 1,288 m/s. Bisa disimpulkan jika kecepatan di pipa berpengaruh pada kehilangan energi pada pipa.

Penelitian tersebut dilakukan di laboratorium untuk mengukur kehilangan energi dipipa pada pipa PVC dan Pipa Baja. Masing-masing diameter pipa dan panjang pipa dibuat sama dan dialiri aliran dengan debit dan waktu tertentu. Kemudian dilakukan pengukuran tekanan pada beberapa titik, Setelah menghitung nilai tekanan dapat juga dihitung kehilangan energi yang terjadi pada jaringan. Nilai kehilangan energi yang digunakan untuk mencari koefisien Darcy-Weisbach (koefisien kekasaran pipa,  $f$ ), dan koefisien Hansen-Williams (koefisien  $C$ ), Nilai  $f$  yang diperoleh digunakan untuk perhitungan kehilangan energi secara teoritis. Didapatkan kesimpulan jika kehilangan energi yang didapatkan dari hasil penelitian hampir sama dengan hasil teoritis.

Penelitian yang lain menurut Jurnal oleh J Berlamont yang berjudul "Friction losses in Large-Diameter Pipe" untuk menghasilkan nilai faktor gesekan yang lebih kecil dari yang diperoleh hukum pipa halus Moody / Prandtl / White Colebrook / Nikuradse (atau hukum Blasius).

Barlamont melakukan riset pengaruh flow helik terhadap pengurangan nilai faktor gesek pada pipa. Flow helik pada pipa berdiameter besar dan bilangan Re yang besar dimungkinkan terjadi dan memberikan pengaruh pada nilai  $f$ . Kesimpulan yang didapatkan menunjukkan bahwa sedikit rotasi yang

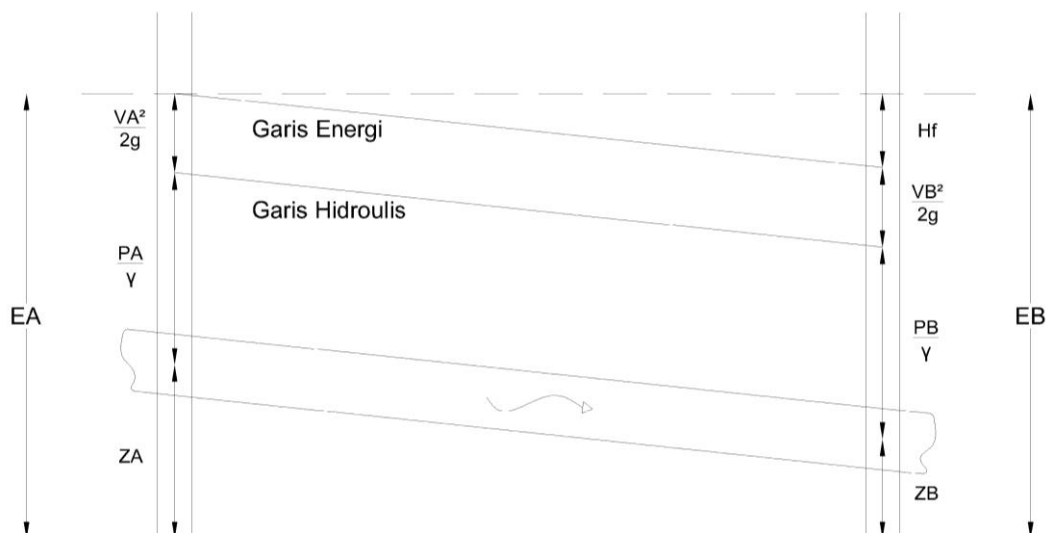
terjadi dalam sehingga mengurangi faktor gesekan dan nilai kehilangan energi yang terjadi.

Dua penelitian tersebut menjadi salah satu dasar penelitian yang akan dilakukan. Sehingga bisa dikembangkan suatu penelitian baru tentang pencarian penyebab kehilangan energi yang terjadi pada jaringan irigasi perpipaan di Agropolitan Poncokusumo Kabupaten Malang. Dengan hipotesa kondisi pipa menjadi penyebab kehilangan energi. Dalam penelitian ini diketahui jaringan pipa, panjang pipa, diameter pipa, debit, elevasi dan jenis pipa yang digunakan, kemudian akan dilakukan analisa hidrolika pada jaringan perpipaan. Hasil analisa akan didapatkan nilai  $f$ , untuk mendapatkan informasi kondisi pipa. Sehingga dari penelitian bisa diketahui kondisi pipa yang menjadi penyebab kehilangan energi di jaringan irigasi perpipaan Agropolitan Poncokusumo.

## 2.2 Sisa Tenaga

Sisa Tenaga adalah sisa energi yang pada tiap titik. Dengan persamaan Bernoulli yang mengasumsikan bahwa aliran air berada pada kondisi konstan. Prinsip Bernoulli tinggi tenaga disetiap titik pada saluran pipa adalah jumlah dari tinggi elevasi, tinggi tekanan dan tinggi kecepatan. Seperti tersaji Pada

### Gambar 2.1



Sumber: Trihatmojo,2013

**Gambar 2.1** Garis Energi dan Hidrolis Pada Zat Cair Ideal

Dengan persamaan Bernoulli yang mengasumsikan bahwa aliran air berada pada kondisi konstan, maka sisa tekanan maksimum sebesar 10m/km dapat diusahakan dengan Rumus Darcy-Weisbach (*Triatmodjo, 2013*):

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + hf \dots\dots\dots 2-1$$

Apabila pipa mempunyai penampang konstan, maka  $V_1 = V_2$ , dan persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana untuk kehilangan tenaga akibat gesekan.

$$hf = (Z_1 + \frac{P_1}{\rho g}) - (Z_2 + \frac{P_2}{\rho g}) \dots\dots\dots 2-2$$

Atau

$$hf = \Delta z + \frac{\Delta \rho}{\gamma} \dots\dots\dots 2-3$$

Dengan :

$Z_1$  = Elevasi pipa 1 dari datum (m)

$Z_2$  = Elevasi pipa 2 dari datum (m)

$\frac{P_1}{\rho g}$  = Tinggi tekanan dititik 1 (m)

$\frac{P_2}{\rho g}$  = Tinggi tekanan dititik 1 (m)

$\frac{V_1}{2g}$  = Tinggi kecepatan aliran dititik 1 (m)

$\frac{V_2}{2g}$  = Tinggi kecepatan aliran dititik 2 (m)

$g$  = Gravitasi ( $9,81 = m/dt^2$ )

$\rho$  = Massa jenis air ( $kg/m^3$ )

$h_f$  = Head loos/kehilangan energi (m)

### 2.3 Garis Gradien Hidrolik Dan garis Gradien Energi

Suatu zat cair yang mengalir dalam suatu bidang batas seperti melalui pipa akan mengalami tegangan geser dan kemiringan kecepatan (gradien kecepatan) pada seluruh medan aliran akibat kekekantalan. Tegangan geser tersebut akan mengakibatkan kehilangan energi selama pengaliran. Kehilangan energi ini disebut dengan kehilangan energi primer yang ditulis dengan  $h_f$ . Untuk mengetahui satu titik dengan titik lainnya (pipa) terjadi kehilangan energi dan tekanan, caranya yakni dibantu dengan garis khayal HGL (*hydraulic grade line*) dan EGL (*energy grade line*)

#### 2.3.1 Garis Gradien Hidrolik

Garis kemiringan hidrolik (garis kemiringan tekanan) atau HGL adalah garis yang menunjukkan tinggi tekanan (*pressure head*) sepanjang pipa. Secara persamaan Garis Gradien Hidrolik adalah jumlah dari tinggi tekanan ditambah dengan elevasi diukur dari datum:

$$\frac{\rho}{\gamma} + Z \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan :

$\frac{\rho}{\gamma}$  = Tinggi tekanan dititik (m)

$Z$  = Elevasi pipa (m)

#### 2.3.2 Garis Gradien Energi

Garis gradien energi (EGL) adalah garis yang menghubungkan sederetan titik-titik yang menggambarkan energi tersedia untuk tiap titik sepanjang pipa sebagai ordinat, yang digambar terhadap jarak sepanjang pipa sebagai absis. Garis Gradien energi adalah jumlah dari tinggi tekanan, tinggi kecepatan ditambah dengan elevasi diukur dari datum:

$$\frac{\rho}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \dots\dots\dots 2.5$$

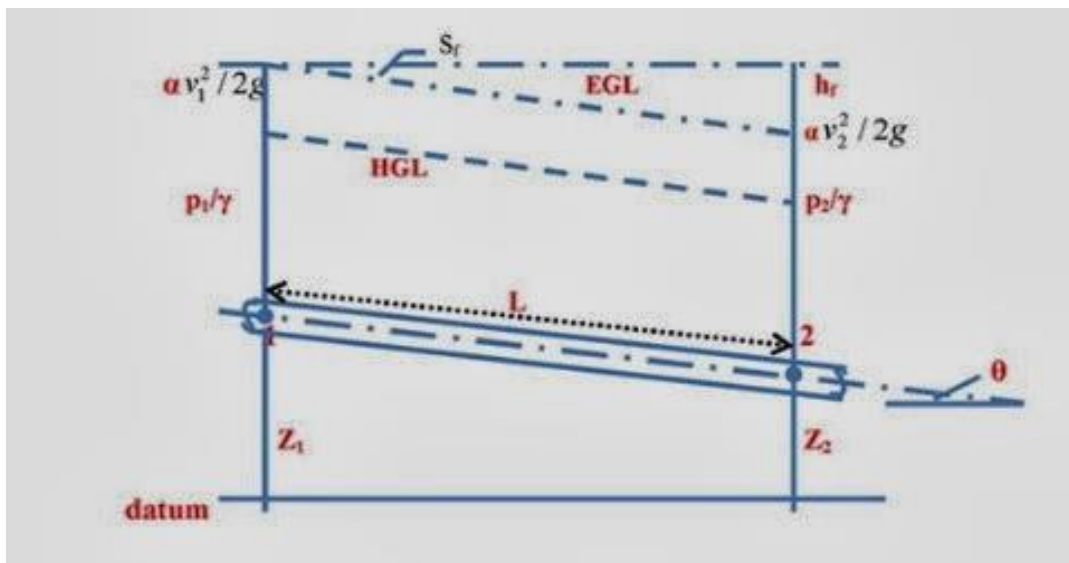
Dengan :

$$\frac{p}{\gamma} = \text{Tinggi tekanan (m)}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \text{Tinggi Kecepatan (m)}$$

$$Z = \text{Elevasi pipa (m)}$$

Di dalam pipa dengan penampang seragam, tinggi kecepatan adalah konstan dan garis kemiringan enersi adalah sejajar dengan garis kemiringan tekanan (*EGL // HGL*). Berikut garis HGL dan EGL pada pipa:



Sumber: Kambuaya, 2013

**Gambar 2.2** Garis Gradien Energi dan Garis Gradien Hidrolis

#### 2.4 Kehilangan Tekanan Air

Kehilangan tekanan ( $h_f$ ) didalam pipa terjadi karena adanya friction antara fluida dengan permukaan pipa. Kehilangan tekanan maksimum 10 m/km panjang pipa. Kehilangan tekanan ada dua macam yaitu :

##### 2.4.1 Mayor Losses

Yaitu kehilangan energi tekanan primer yang diakibatkan karena adanya gesekan pada pipa. Hal yang mempengaruhi mayor losses biasanya diakibatkan oleh kekasaran penampang air (*friction*) dan tergantung bahan material yang digunakan. Banyak persamaan untuk menghitung kehilangan energi, salah satunya menggunakan persamaan Darcy-Weisbach untuk aliran melalui pipa lingkaran (*Triatmodjo, 2013*):

$$h_f = f \frac{\Delta L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots 2-6$$

Apabila panjang pipa adalah L, maka persamaan 2-3 menjadi :

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots 2-7$$

Dengan :

$h_f$  = *Mayor losses* (m)

f = koef. kekasaran pipa

L = Panjang pipa (m)

Q = Debit (m<sup>3</sup>/dt)

V = Kecepatan Aliran (m/dt)

D = Diameter (m)

g = percepatan gravitasi ( 9,81 = m/dt<sup>2</sup> )

Dalam persamaan 2-6 *f* adalah koefisien gesekan Darcy-Weisbach yang tidak berdimensi.

#### 2.4.2 Minor Losses

Yaitu kehilangan tekanan yang terjadi pada tempat terjadinya perubahan penampang pipa, sambungan, belokan, dan katub ( kehilangan tenaga sekunder ). Jika kehilangan tenaga sekunder kurang dari 5% dari kehilangan tenaga primer, maka biasanya kehilangan tenaga sekunder tersebut bisa diabaikan (*Triatmodjo, 2013*):

$$h_f = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots 2-8$$

Dengan :

K =Konstanta

V = Kecepatan Aliran (m/dt).

$g$  = percepatan gravitasi (  $9,81 = m/dt^2$  )

Macam-macam penyebab kehilangan energi minor :

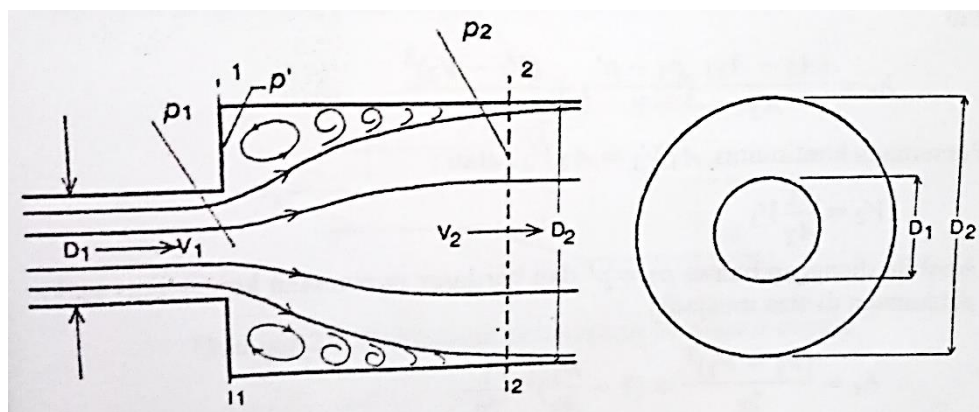
- a. Perbesaran Penampang
- b. Pengecilan Penampang
- c. Belokan pipa
- d. Fitting

## 2.5 Macam-Macam Kehilangan Energi Sekunder Dalam Pipa

Kehilangan energi sekunder diakibatkan oleh beberapa hal yaitu perubahan penampang pipa, sambungan, belokan dan katub. Pada pipa yang panjang kehilangan tenaga mayor lebih besar dari kehilangan tenaga minor sehingga pada beberapa keadaan tersebut kehilangan tenaga minor biasanya diabaikan. (Triatmodjo, 2013)

### 2.5.1 Perbesaran Penampang

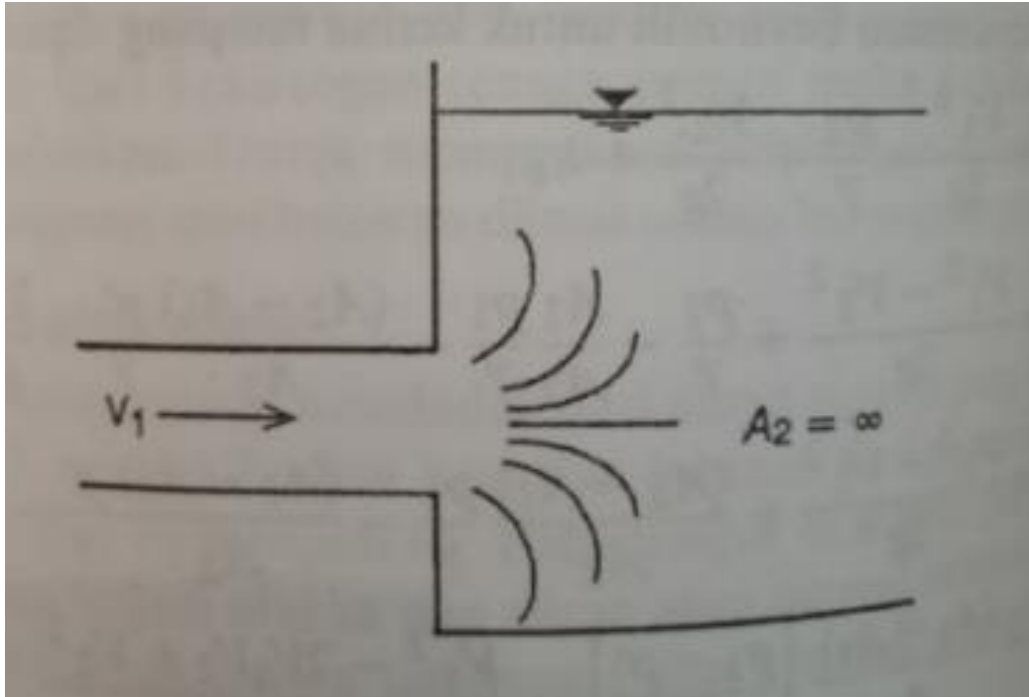
Perbesaran penampang tiba-tiba dari aliran. Mengakibatkan kenaikan tekanan pada  $p_1$  menjadi  $p_2$  kecepatan turun dari  $V_1$  menjadi  $V_2$ . Pada tempat di sekitar perbesaran akan terjadi olakan dan aliran akan normal kembali. (Triatmodjo, 2013)



Sumber : Triatmodjo, 2013

**Gambar 2.3. Perbesaran Pipa**

Apabila pipa masuk kedalam kolam besar seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4** dimana  $A_2$  sehingga  $v_2=0$



*Sumber : Triatmodjo, 2013*

**Gambar 2.4 Perbesaran Pipa Menuju Kolang**

Maka :

$$h_m = \frac{V_2^2}{2g}$$

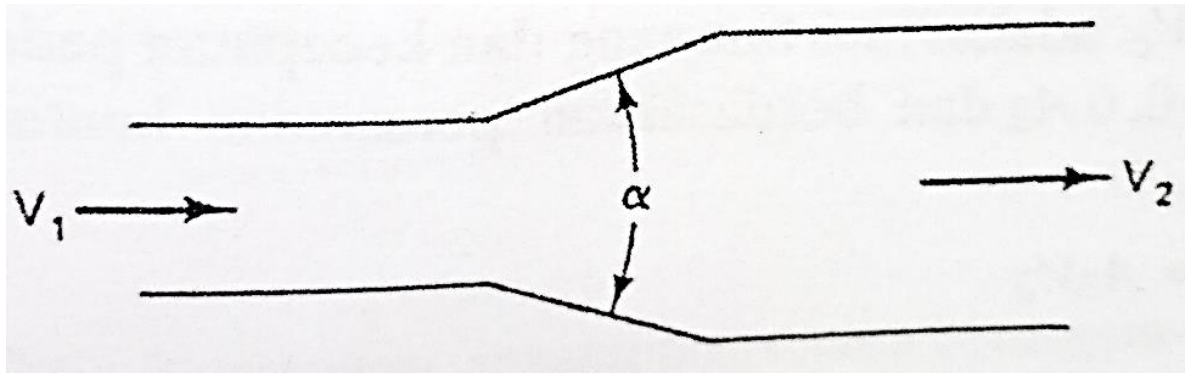
Dengan :

$h_m$  = kehilangan energi minor (m)

$\frac{V_2^2}{2g}$  = Tinggi Kecepatan (m)

Kehilangan tenaga pada perbesaran penampang akan berkurang jika perbesaran dibuat secara berangsur-angsur seperti ditunjukkan dalam **Gambar 2.5**





Sumber : Triatmodjo, 2013

**Gambar 2.5 Perbesaran Penampang Secara Berangsur-angsur**

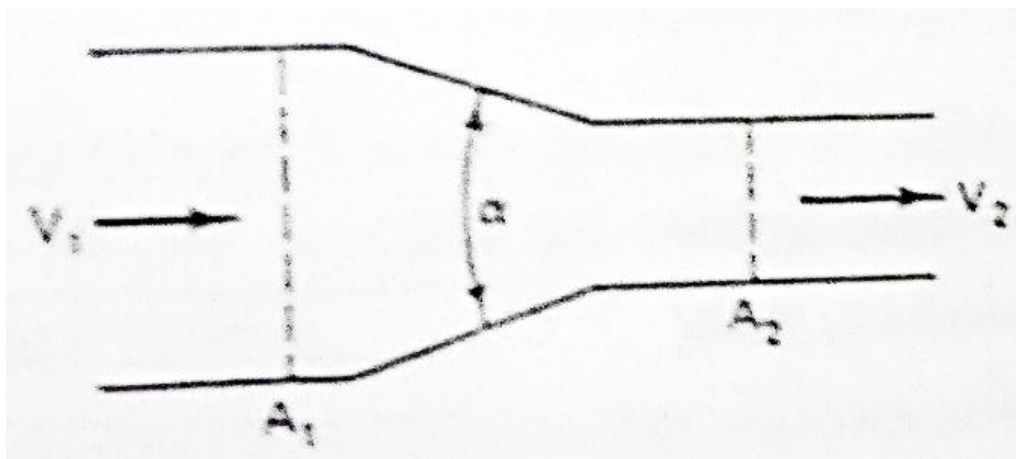
**Tabel 2.1 Nilai  $K'$  sebagai fungsi dari  $\alpha$**

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

Sumber : Triatmodjo, 2013

### 2.5.2 Pengecilan Penampang

Kehilangan tenaga pada pengecilan penampang dapat direduksi dengan membuat pengecilan penampang berangsur-angsur seperti ditunjukkan dalam **Gambar 2.6.** (Triatmodjo, 2013):



Sumber : Triatmodjo, 2013

**Gambar 2.6 Pengecilan Secara BerAngsur-Angsur**

Kehilangan tenaga diberikan oleh bentuk :

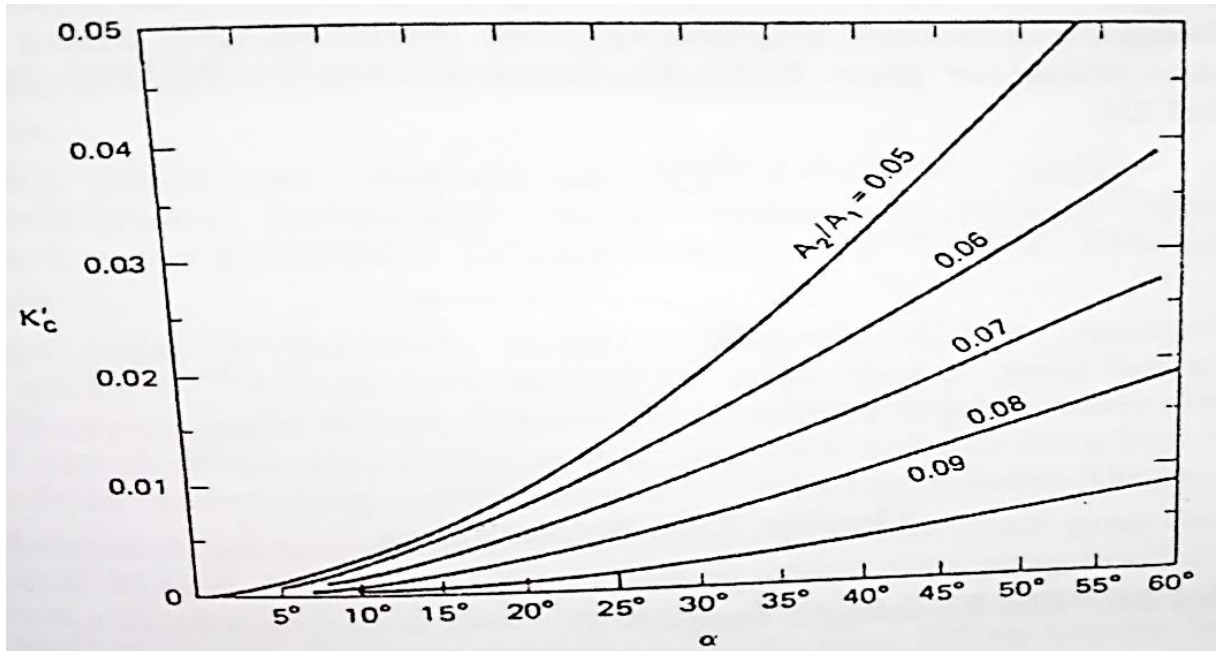
$$h_{mp} = K'_c \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots 2-9$$

$h_{mp}$  = Kehilangan minor akibat pengecilan (m)

$K'_c$  = Koefisien pengecilan

$\frac{V_2^2}{2g}$  = Tinggi kecepatan (m)

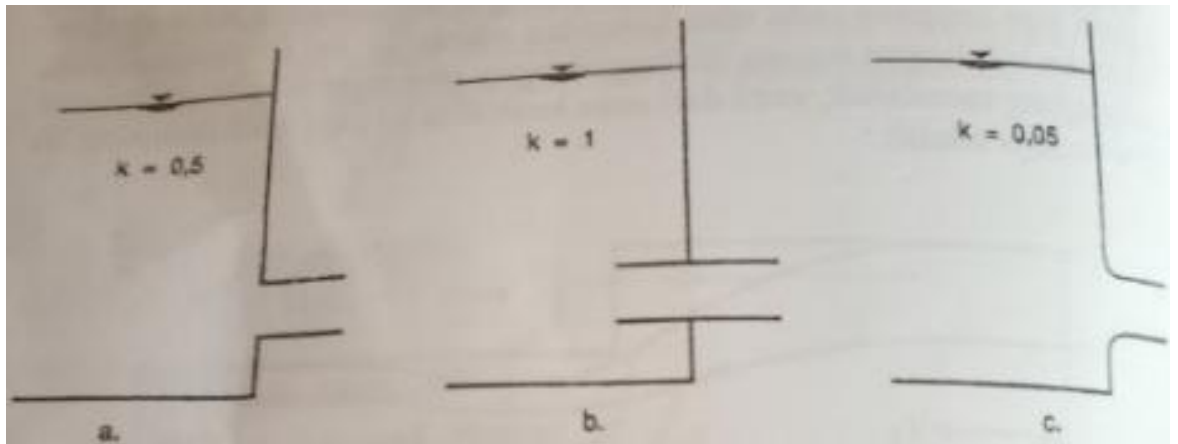
Nilai  $K'_c$  tergantung pada sudut transisi  $\alpha$  dan perbandingan luas tampang  $A_2/A_1$  seperti ditunjukkan dalam **Gambar 2.7**.



Sumber : Triatmodjo, 2013

**Gambar 2.7 Nilai K Terhadap Pengecilan Penampang**

Pada lobang masuk dari kolam ke pipa, kehilangan tenaga tergantung pada bentuk lobang pemasukan. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.8**



Sumber: Trihatmojo, 2013

**Gambar 2.8 Masing-Masing Lobang Pemasukan Dari Kolam**

### 2.5.3 Belokan

Kehilangan tenaga yang terjadi akibat belokan dipengaruhi oleh sudut belokan pipa. Rumus kehilangan tenaga pada belokan adalah serupa dengan rumus pada perubahan penampang, yaitu (Triatmodjo, 2013):

$$h_b = K_b \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots \mathbf{2-10}$$

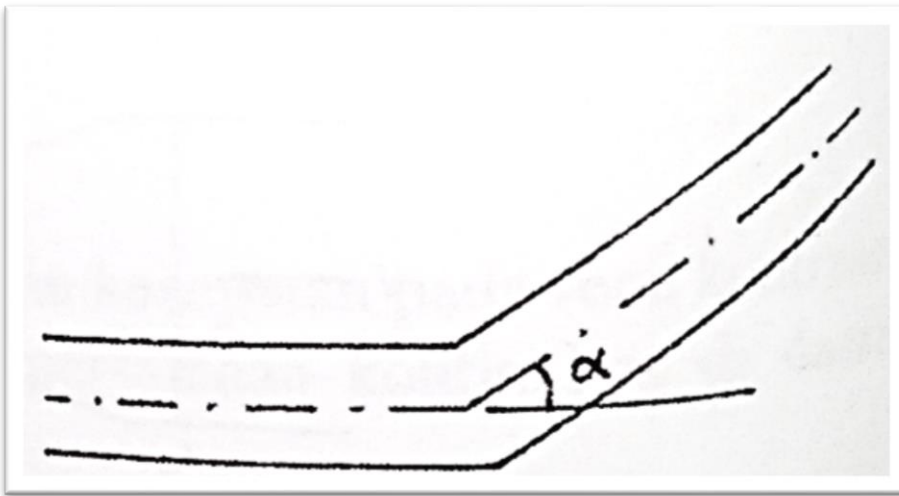
Dengan :

$h_b$  = Kehilangan energi akibat belokan (m)

$K_b$  = Koefisien belokan

$\frac{V^2}{2g}$  = Tinggi kecepatan (m)

Dengan nilai  $K_b$  adalah koefisien kehilangan tenaga pada belokan, yang diberikan oleh **tabel 2.3**.



Sumber : Triatmodjo, 2013

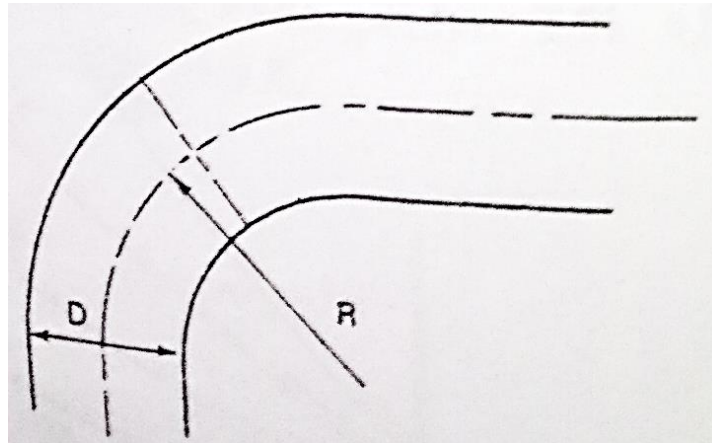
**Gambar 2.9 Belokan Pipa**

**Tabel 2.2 Koefisien  $K_b$  sebagai fungsi sudut belokan  $\alpha$**

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

Sumber : Triatmodjo, 2013

Untuk sudut belokan 90° pada belokan halus atau berangsur-angsur, kehilangan energi tergantung pada perbandingan dari jari-jari belokan dan diameter pipa. Nilai  $K_b$  untuk berbagai nilai  $R/D$  diberikan dalam **tabel 2.11**.



Sumber : Triatmodjo, 2013

**Gambar 2.10. Belokan pipa**

**Tabel 2.3 Nilai  $K_b$  sebagai fungsi  $R/D$**

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

Sumber : Triatmodjo, 2013

#### 2.5.4 Fitting

Fitting adalah aksesoris yang terdapat pada sambungan pipa dan titik pengambilan. Nilai koefisien fitting tergantung pada jenis fitting yang digunakan. Berikut merupakan nilai fitting yang terdapat pada jaringan pipa dan nilai koefisien kehilangan energi Nilai koefisien pada fitting pipa. (Manual Epanet) pada **Tabel 2.6**.

**Tabel 2.4 Nilai K Pada Tiap Fitting**

| Fitting                       | Loss Coefficient |
|-------------------------------|------------------|
| Globe Valve, Fully Open       | 10,0             |
| Angle Valve, Fully Open       | 5,0              |
| Swing Check Valve, Fully Open | 2,5              |
| Gate Valve, Fully Open        | 0,2              |

| <b>Fitting</b>                    | <b>Loss Coefficient</b> |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Short Radius Elbow                | 0,8                     |
| Long, Radius Elbow                | 0,6                     |
| 45 Degree Elbow                   | 0,6                     |
| Closed Return Bend                | 2,2                     |
| Standart Tee-Flow Throught run    | 0,6                     |
| Standart Tee-Flow Throught Bramch | 1,8                     |
| Square Entrance                   | 0,5                     |
| Exit                              | 1                       |

Sumber : Manual Epanet,2000

## 2.6 Persamaan Tahanan Gesek Pipa

Kehilangan tenaga selama pengaliran melalui pipa tergantung pada koefisien gesekan Darcy-Weisbach  $f$ . Penentuan nilai  $f$  berdasarkan beberapa rumus yang diusulkan oleh para ahli dan menggunakan grafik. Blasius memberikan persamaan tahanan gesek untuk pipa halus pada batasan angka Reynolds tertentu. Di samping rumus-rumus empiris tersebut, Prandtl mengusulkan suatu rumus semi empiris yang dapat digunakan secara menyeluruh (berbagai angka Reynolds).

### 2.6.1 Aliran Laminer

Persamaan kehilangan tenaga pada aliran laminar, yang mempunyai berbentuk : (Triatmodjo, 2013)

$$h_f = \frac{32 v V L}{g D^2} \dots\dots\dots 2-11$$

Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk :

$$h_f = \frac{64 v L V^2}{VD D 2g} = \frac{64 L V^2}{Re D 2g} \dots\dots\dots 2-12$$

Persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk persamaan Darcy-Weisbach.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots 2-13$$

Dengan:

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots 2-14$$

Dengan demikian, untuk aliran laminar untuk menghasilkan nilai  $f$  menggunakan persamaan yang diatas.

### 2.6.2 Rumus Empiris Untuk Pipa Halus

Koefisien gesekan pipa tergantung pada parameter jenis aliran. Apabila pipa adalah hidraulis halus, parameter tersebut adalah kecepatan aliran, diameter pipa dan kekentalan zat cair dalam bentuk angka Reynolds.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Blasius, dia mengemukakan rumus gesekan  $f$  untuk pipa halus dalam bentuk (Triatmodjo, 2013) :

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \dots\dots\dots 2-15$$

Rumus berlaku untuk  $4.000 < Re < 10^5$

Dari perhitungan koefisien gesekan di atas, akan diketahui nilai  $f$  dan akan dapat dihitung kehilangan energi di sepanjang pipa berdasarkan persamaan Darcy-Weisbach.

### 2.6.3 Pipa Kasar

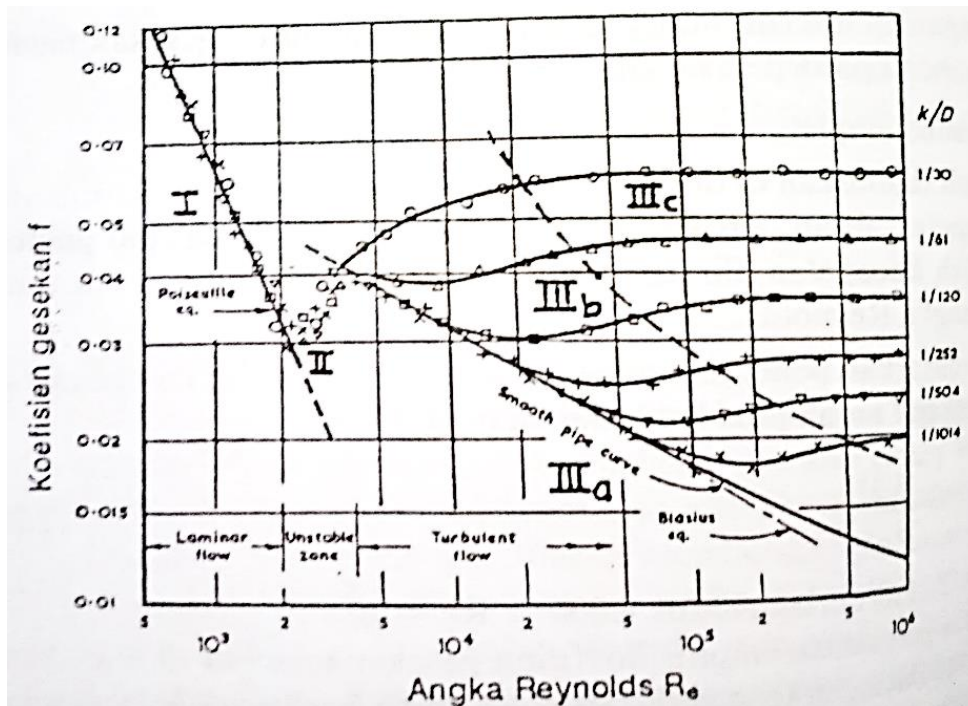
Rumus-rumus yang ada di atas berlaku untuk untuk pipa halus. Sedangkan dilapangan juga terdapat pipa kasar seperti pipa besi dan pipa beton yang ditemui termasuk pipa kotor.

Tahanan pada pipa kasar lebih besar dari pipa halus. Seperti telah dijelaskan di depan, untuk pipa halus nilai  $f$  hanya tergantung pada angka Reynolds. Untuk pipa kasar nilai  $f$  tidak hanya tergantung pada angka Reynolds, tetapi juga pada sifat-sifat dinding pipa yaitu kekasaran reratif  $k/D$ , atau (Triatmodjo, 2013) :

$$f = \Phi (Re, k/D) \dots\dots\dots 2-16$$

Menurut penelitian Nikuradse tentang pengaruh kekasaran pipa. Percobaan tersebut yaitu daerah aliran laminar dan turbulen sampai pada angka Reynolds  $Re = 10^6$ , dan untuk enam nilai  $k/D$  yang bervariasi antara 0,0333 sampai 0,000985. Hasil percobaan yaitu hubungan antara  $f$ ,  $Re$  dan  $k/D$  seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.2.

Dari gambar tersebut, gerak zat cair di dalam pipa halus dan kasar dapat dibedakan dalam lima daerah berikut ini. Berikut **Gambar 2.2**



Sumber : Trihatmodjo 2013

**Gambar 2.11 Hasil Percobaan Nikuradse**

1. *Daerah I*

Daerah I adalah daerah aliran laminar dimana  $Re < 2.000$ . Hubungan antara  $f$  dan  $Re$  merupakan garis lurus yaitu kemiringan  $45^\circ$  untuk skala horizontal dan vertikal yang sama, dan tidak dipengaruhi oleh kekasaran pipa.

2. *Daerah II*

Daerah ini adalah daerah dengan nilai  $Re = 2.000$  dan  $Re = 4.000$ , merupakan daerah tidak stabil dimana aliran berubah laminar ke turbulen atau sebaliknya. kekasaran pipa tidak banyak berpengaruh pada aliran.

3. *Daerah III*

Daerah ini merupakan daerah aliran turbulen dimana kekasaran pipa berpengaruh pada nilai koefisien gesekan pipa  $f$ . Daerah ini dapat dibedakan menjadi tiga sub daerah berikut ini.



a. *Sub daerah pipa halus*

Daerah ini ditunjukkan oleh garis paling bawah pada gambar 2.5, yang merupakan aliran turbulen melalui pipa halus. Nilai Koefisien gesek pipa  $f$  dihitung dengan rumus Blasius.

b. *Sub daerah transisi*

Di daerah ini koefisien gesekan tergantung pada angka Reynolds dan kekasaran pipa. Daerah ini terletak diantara garis paling bawah dan garis terputus dari gambar 2.5. kekasaran relatif yaitu kekasaran pipa dibagi dengan diameter sangat berpengaruh terhadap nilai  $f$ .

c. *Sub daerah pipa kasar*

Sub daerah ini terletak di atas garis terputus. Nilai koefisien gesek pipa  $f$  tergantung pada angka Reynolds, tetapi hanya tergantung pada kekasaran relatif. Untuk suatu nilai  $k/D$  tertentu nilai  $f$  adalah konstan dan sejajar dengan sumbu horizontal. Di daerah ini pengaliran adalah turbulen sempurna.

#### 2.6.4 Rumus Empiris Aliran Melalui Pipa

Diatas telah. Diuraikan beberapa kecepatan rata-rata aliran melalui pipa untuk jenis pipa halus dan pipa kasar. Sehingga didapatkan hasil. (Triatmodjo, 2013).

Untuk pipa halus :

$$\frac{V}{v_*} = 5,75 \log \frac{v_* D}{v} + 0,17 \dots\dots\dots 2-17$$

Untuk pipa kasar :

$$\frac{V}{v_*} = 5,75 \log \frac{v_* D}{v} + 0,17 \dots\dots\dots 2-18$$

Oleh karena  $v_* = \sqrt{\tau_o/\rho}$  , maka persamaan  $\tau_o = f/8 P V^2$  dapat ditulis dalam bentuk :

$$v_* = V \sqrt{\frac{f}{8}} \dots\dots\dots 2-19$$

Apabila persamaan 2.13 disubstitusikan ke dalam persamaan 2.11, maka :

$$\frac{v}{v \sqrt{f/8}} = 5,75 \log \frac{v \sqrt{f/8} D}{v} + 0,17 \dots\dots\dots 2-20$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,0329 \log \frac{1}{\sqrt{8}} Re \sqrt{f} + 0,0601 \dots\dots\dots 2-21$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,0329 \log Re \sqrt{f} - 0,86 \dots\dots\dots 2-22$$

atau

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = A \log Re \sqrt{f} + B \dots\dots\dots 2-23$$

Hasil percobaan yang dilakukan oleh Nikuradse memberikan konstanta yang sedikit berbeda dengan persamaan di atas, yaitu A = 2 dan B = -0,8. Dengan berdasarkan pada percobaan Nikuradse maka persamaan di atas menjadi :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log Re \sqrt{f} - 0,8 \dots\dots\dots 2-24$$

atau

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{Re \sqrt{f}}{2,51} \dots\dots\dots 2-25$$

Untuk selanjutnya persamaan **2-19** digunakan untuk menghitung koefisien gesekan pipa halus.

Dengan cara yang sama untuk aliran turbulen melalui pipa kasar, akan diperoleh :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,0329 \log \frac{D}{2k} + 1,6794 \dots\dots\dots 2-26$$

atau

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,0329 \log \frac{D}{2k} + 1,6794 \dots\dots\dots 2-27$$

Seperti halnya untuk pipa halus, percobaan Nikuradse juga menghasilkan persamaan dengan konstanta yang sedikit berbeda. Persamaan tersebut adalah :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{2k} + 1,74 \dots\dots\dots 2-28$$

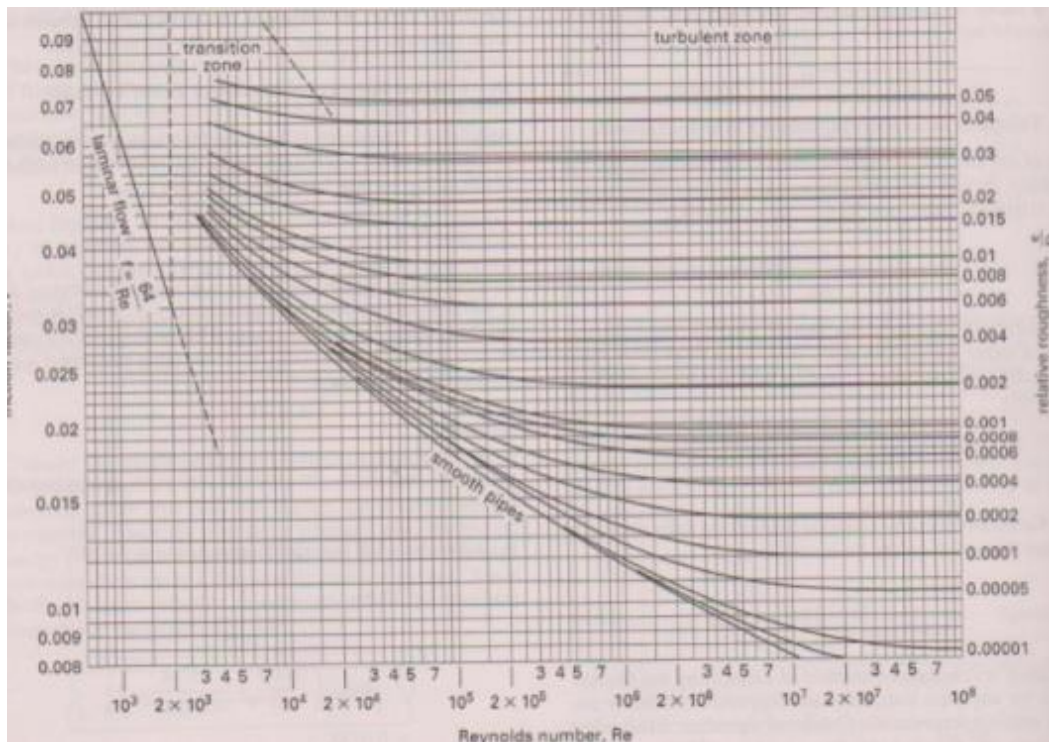
atau

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3,7D}{k} \dots\dots\dots 2-23$$

Persamaan 2.19 dan 2.23 digunakan untuk menentukan nilai koefisien gesekan  $f$  untuk aliran melalui pipa hidraulis halus dan kasar. Untuk aliran di daerah transisi, Colebrook mengusulkan persamaan berikut:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{k}{3,7 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots 2-24$$

Rumus diatas memberikan nilai  $f$  dengan persamaan, sehingga untuk menghitung nilai  $f$  harus dilakukan dengan memakan waktu cukup lama. Pada tahun 1944 Moody menyederhanakan prosedur hitungan dengan membuat suatu grafik. Grafik tersebut dikenal dengan nama Grafik Moody yang ditunjukkan dalam gambar 2.3.



Sumber : Streeter 1992

**Gambar 2.12 Grafik Moody**

Grafik tersebut mempunyai empat daerah aliran yaitu daerah aliran laminar, daerah aliran kritis dimana nilainya tidak tetap karena aliran kemungkinan bias laminar atau bisa turbulen dan daerah transisi dimana  $f$  merupakan fungsi dari angka Reynolds dan kekerasan dinding pipa. Selain itu juga ada daerah turbulen sempurna dimana nilai  $f$  tidak tergantung pada angka Reynolds tetapi hanya pada kekasaran relatif. Untuk menggunakan grafik tersebut, nilai  $k$  diperoleh dari tabel 2.1 untuk pipa tua nilai  $f$  dapat jauh lebih besar dari pipa baru, yang tergantung pada umur pipa dan sifat zat cair yang dialirkan. Untuk pipa kecil, endapan atau kerak yang terjadi dapat mengurangi diameter pipa. Oleh karena itu diperlukan kecermatan di dalam mengestimasi nilai  $k$  dan juga  $f$ .

**Tabel 2.5 Tinggi kekasaran pipa**

| Jenis Pipa (baru)   | Nilai k (mm) |
|---------------------|--------------|
| Kaca                | 0,0015       |
| Besi dilapisi aspal | 0,06 – 0,24  |
| Besi tuang          | 0,18 – 0,90  |
| Plester semen       | 0,27 – 1,20  |
| Beton               | 0,30 – 3,00  |
| Baja                | 0,03 – 0,09  |
| Baja dikeling       | 0,90 – 9,00  |
| Pasangan batu       | 6            |

*Sumber : Triatmodjo, 2013*

Untuk pengaliran turbulen sempurna, di mana gesekan berbanding langsung dengan nilai kuadrat kecepatan dan tidak tergantung pada angka Reynolds, nilai  $f$  ditentukan berdasarkan kekasaran relatif. Pada umumnya, masalah-masalah yang ada pada aliran dalam pipa berada pada daerah transisi, di mana nilai  $f$  juga dipengaruhi oleh angka Reynolds. Sehingga apabila pipa mempunyai ukuran dan kecepatan aliran tertentu, maka kehilangan tenaga mempunyai ukuran dan kecepatan aliran tertentu, maka kehilangan tenaga akibat gesekan dapat langsung di hitung. Tetapi jika diameter atau kecepatan tidak diketahui maka angka Reynolds juga tidak diketahui. Dengan perubahan nilai angka Reynolds yang besar, perubahan nilai  $f$  sangat kecil. Sehingga perhitungan dapat di selesaikan dengan menentukan secara coba-coba nilai angka Reynolds atau  $f$  pada awal hitungan dan dengan cara coba banding (*trial and error*) akhirnya dapat dihitung nilai  $f$  yang terakhir (yang benar). Oleh karena nilai  $f$  berkisar antara 0,01 dan 0,07, maka yang paling baik adalah

menganggap nilai  $f$ , dan biasanya dengan dua atau tiga kali percobaan (iterasi) akan dapat diperoleh nilai  $f$  yang benar.

Selain itu, juga terdapat tabel yang sudah menampilkan nilai kekasaran relatif pipa berdasarkan nilai jenis pipa, ialah perbandingan nilai kekasaran pipa dengan diameter pipa berdasarkan hasil percobaan. Berikut adalah daftar nilai kekasaran relatif pipa berdasarkan jenis pipa:

**Tabel 2.6 Nilai Kekasaran Pipa**

| Surface                             | Absolute Roughness Coefficient<br>-k- |                            |
|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
|                                     | (m) $10^{-3}$                         | (feet)                     |
| Copper, Lead, Brass, Aluminum (new) | 0,001 – 0,002                         | $3,33 - 6,7 \cdot 10^{-6}$ |
| PVC and Plastic Pipes               | 0,0015 – 0,007                        | $0,5 - 2,33 \cdot 10^{-5}$ |
| Stainless Steel                     | 0,015                                 | $5 \cdot 10^{-5}$          |
| Steel commercial pipe               | 0,045 – 0,09                          | $1,5 - 3 \cdot 10^{-4}$    |
| Stretched steel                     | 0,015                                 | $5 \cdot 10^{-5}$          |
| Weld steel                          | 0,045                                 | $1,5 \cdot 10^{-4}$        |
| Galvanized steel                    | 0,15                                  | $5 \cdot 10^{-4}$          |
| Rusted steel (corrosion)            | 0,15 – 4                              | $5 - 133 \cdot 10^{-4}$    |
| New cast iron                       | 0,25 – 0,8                            | $8 - 27 \cdot 10^{-4}$     |
| Worn cast iron                      | 0,8 – 1,5                             | $2,7 - 5 \cdot 10^{-3}$    |
| Rusty cast iron                     | 1,5 – 2,5                             | $5 - 8,3 \cdot 10^{-3}$    |
| Sheet or asphalted cast iron        | 0,01 – 0,015                          | $3,33 - 5 \cdot 10^{-5}$   |
| Smoothed cement                     | 0,3                                   | $1 \cdot 10^{-3}$          |
| Ordinary concrete                   | 0,3 – 1                               | $1 - 3,33 \cdot 10^{-3}$   |
| Coarse concrete                     | 0,3 – 5                               | $1 - 16,7 \cdot 10^{-3}$   |
| Well planed wood                    | 0,18 – 0,9                            | $6 - 30 \cdot 10^{-4}$     |
| Ordinary wood                       | 5                                     | $16,7 \cdot 10^{-3}$       |

Sumber :Joon Eeo, 2015

## 2.7 Operasi Matrik

### 2.7.1 Deskripsi

Dalam matematika merupakan kumpulan bilangan, simbol atau ekspresi berbentuk persegi panjang yang disusun menurut baris dan kolom. Bilangan-bilangan yang terdapat pada suatu matriks disebut dengan elemen atau disebut juga anggota dari suatu matriks.

Matriks banyak dimanfaatkan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan matematika misalnya dalam menemukan solusi masalah persamaan linear, transformasi linear yakni bentuk umum dari fungsi linear contohnya rotasi dalam 3 dimensi. Matriks juga seperti variabel biasa, sehingga matriks pun dapat dimanipulasi misalnya dikalikan, dijumlah, dikurangkan, serta didekomposisikan. Menggunakan representasi matriks, perhitungan dapat dilakukan dengan lebih terstruktur.

### 2.7.2 Operasi Matrik

- **Penjumlahan dan Pengurangan**

Penjumlahan serta pengurangan dalam matriks hanya dapat dilakukan apabila kedua matriks mempunyai ukuran atau tipe yang sama. Elemen-elemen dalam suatu matriks yang dijumlahkan atau dikurangkan yaitu elemen yang memiliki posisi/letak yang sama.

- **Perkalian dan Pembagian**

Perkalian matriks dilakukan dengan cara tiap baris dikalikan dengan tiap kolom, selanjutnya dijumlahkan pada kolom yang sama.

### 2.7.3 Matrik Transpose

Matriks transpose merupakan matriks yang mengalami pertukaran elemen dari kolom menjadi baris atau sebaliknya. Contoh :

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 5 \\ 1 & 4 & -7 \end{bmatrix}$$

Maka Transpose dari matriks tersebut adalah:

$$A^T = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 4 \\ 5 & -7 \end{bmatrix}$$

### 2.7.4 Matrik Invers

Matriks yang mempunyai invers disebut invertible atau matriks non singular, sedangkan matriks yang tidak mempunyai invers disebut matriks singular.

Jika A adalah suatu matriks kuadrat, dan jika kita dapat mencari matriks B sehingga  $AB = BA = I$ , maka A dikatakan dapat dibalik (invertible) dan B dinamakan invers dari A.

Jika matriks A adalah=  $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

matriks dapat dihitung menggunakan rumus  $A^{-1} = \frac{1}{\det A} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$

### 2.7.5 Matriks Determinan

Determinan adalah suatu bilangan real yang diperoleh dari suatu proses dengan aturan tertentu terhadap matriks bujur sangkar. Determinan dinyatakan sebagai jumlah semua hasil kali dasar bertanda dari matriks bujur sangkar A. Determinan dari sebuah matriks bujur sangkar A, dinotasikan dengan  $\det(A)$ , atau  $|A|$ .

$A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

$\det A = a.d - b.c$

## 2.8 Epanet

### 2.8.1 Deskripsi

EPANET adalah program komputer yang menggambarkan simulasi hidrolis dan kecenderungan kualitas air yang mengalir di dalam jaringan pipa. Jaringan itu sendiri terdiri dari Pipa, Node atau titik koneksi pipa, pompa, katub, dan tangki air atau reservoir. EPANET menjalankan aliran air di tiap pipa, kondisi tekanan air di tiap titik dan kondisi konsentrasi bahan kimia yang mengalir di dalam pipa selama dalam periode pengaliran. Sebagai tambahan, usia air (water age) dan pelacakan sumber dapat juga disimulasikan.

EPANET di design sebagai alat untuk mencapai dan mewujudkan pemahaman tentang pergerakan dan kandungan air minum dalam jaringan distribusi. Juga dapat digunakan untuk berbagai analisa berbagai aplikasi jaringan distribusi. Sebagai contoh untuk pembuatan design, kalibrasi model hidrolis, analisa sisa khlor, dan analisa pelanggan. EPANET dapat membantu dalam memmanage strategi untuk merealisasikan kualitas air dalam suatu system. Semua itu mencakup



- Alternatif penggunaan sumber dalam berbagai sumber dalam satu sistem
- Alternatif pemompaan dlm penjadwalan pengisian/pengosongan tangki.
- Penggunaan treatment, misal khlorinasi pada tangki penyimpanan
- Pen-target-an pembersihan pipa dan pengantiannya.

Dijalankan dalam lingkungan windows, EPANET dapat terintegrasi untuk melakukan editing dalam pemasukan data, running simulasi dan melihat hasil running dalam berbagai bentuk (format), Sudah pula termasuk kode-kode yang berwarna pada peta, tabel data-data, grafik, serta citra kontur.

### **2.8.2 Kemampuan Model Hidrolis**

Fasilitas yang lengkap serta pemodelan hidrolis yang akurat adalah salah satu langkah yang efektif dalam membuat model tentang pengaliran serta kualitas air. EPANET adalah alat bantu analisis hidrolis yang didalamnya terkandung kemampuan seperti :

- Kemampuan analisa yang tidak terbatas pada penempatan jaringan
- Perhitungan harga kekasaran pipa menggunakan persamaan Hazen-Williams, Darcy Weisbach, atau Chezy-Manning
- Termasuk juga minor head losses untuk bend, fitting, dsb
- Pemodelan terhadap kecepatan pompa yang konstant maupun variable
- Menghitung energi pompa dan biaya (cost)
- Pemodelan terhadap variasi tipe dari valve termasuk shitoff, check, pressure regulating, dan flow control valve
- Tersedia tangki penyimpanan dengan berbagai bentuk (seperti diameter yang bervariasi terhadap tingginya)
- Memungkinkan dimasukkannya kategori kebutuhan (demand) ganda pada node, masing-masing dengan pola tersendiri yang bergantung pada variasi waktu.
- Model pressure yang bergantung pada pengeluaran aliran dari emitter (Sprinkler head)
- Dapat dioperasikan dengan system dasar pada tangki sederhana atau kontrol waktu, dan pada kontrol waktu yang lebih kompleks

### 2.8.3 Kemampuan Model Kualitas Air

Sebagai tambahan dalam pemodelan hidrolis, EPANET menyediakan kemampuan pemodelan kualitas air, yaitu :

- Model pergerakan materi tracer non reaktif pada jaringan, sepanjang waktu
- Model pergerakan dan nasib dari materi reaktif yang tumbuh (missal hasil desinfeksi) atau yang meluruh (missal sisa khlor) terhadap waktu.
- Model umur air yang mengalir pada jaringan
- Melacak persentasi aliran dari node yang akan dicapai dari node lainnya sepanjang waktu
- Model reaksi baik pada aliran olahan dan pada dinding pipa
- Menggunakan orde ke-n untuk model reaksi pada aliran olahan
- Menggunakan orde nol atau pertama untuk model reaksi pada dinding pipa
- Menghitung batas transfer massa untuk menghitung reaksi pada dinding pipa
- Menyediakan reaksi pertumbuhan atau peluruhan untuk memproses keterbatasan konsentrasi
- Menghitung koefisien laju reaksi global yang dapat dimodifikasi berdasarkan pipa-pipa
- Menyediakan koefisien laju reaksi dinding dalam kaitannya dengan kekasaran pipa
- Menyediakan input massa pada variasi waktu konsentrasi pada semua lokasi di jaringan
- Pemodelan tangki penyimpanan berupa complete mixing, plug flow atau dua kompartemen reaktor.

Dengan tersedianya fasilitas tersebut, EPANET dapat melakukan kajian fenomena kualitas air seperti:

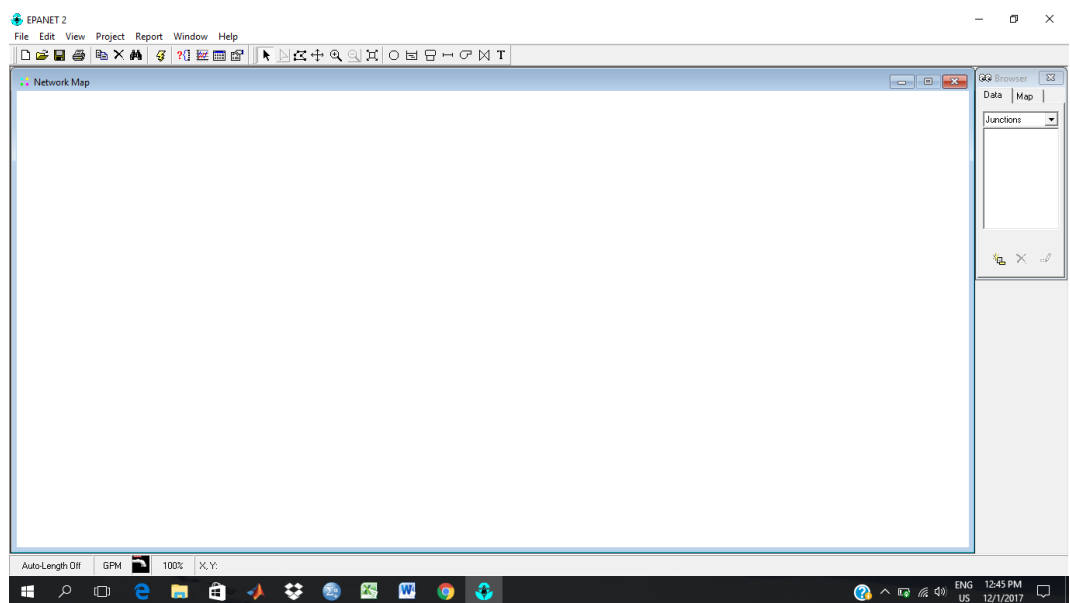
- Mencampur air dari sumber yang berbeda
- “Usia air” dalam sistem
- Kehilangan Sisa Chlor

- Pertumbuhan desinfektan
- Melacak Kontaminan.

#### 2.8.4 Cara Mengerjakan DiEpanet

- **Membuka Epanet**

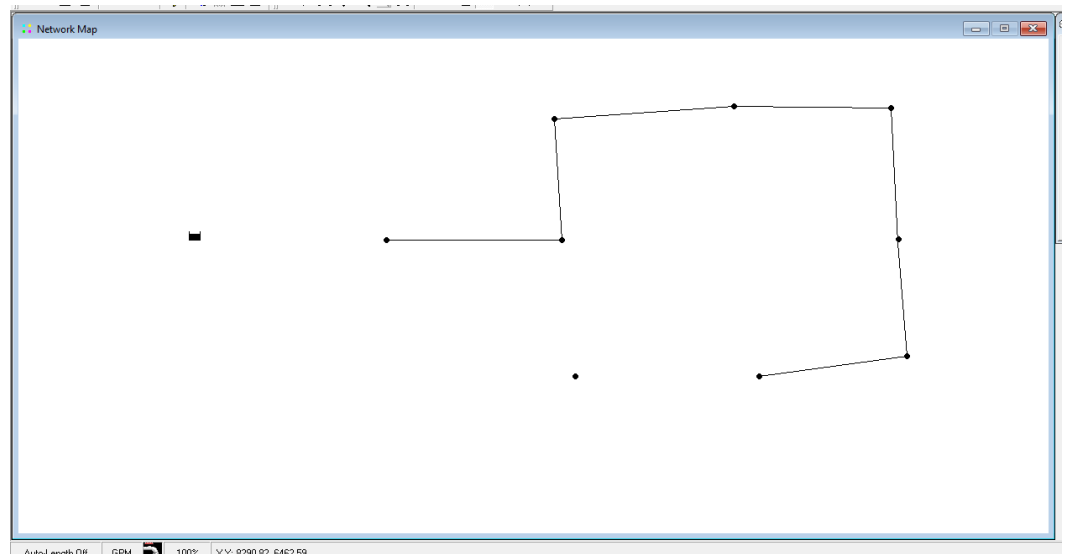
Untuk memulai menggunakan Program Epanet terlebih dahulu buka program Epanet pada Windows. Setelah membuka program Epanet maka akan didapatkan tampilan seperti berikut :



**Gambar 2.13 Tampilan Awal Epanet**

- **Menggambar Jaringan**

Pada Program Epanet telah disediakan beberapa tools untuk mempermudah Gambar Jaringan. Pada Epanet juga bisa menggambar jaringan berdasarkan Gambar AutoCad. Berikut Contoh Gambar jaringan pada Epanet :



**Gambar 2.14 Jaringan Pipa**

- **Edit Pipa**

Untuk fasilitas untuk mengedit ukuran pipa, panjang pipa dan jenis pipa bisa dilakukan dengan mengklik dua kali pipa yang akan diedit. Kemudian akan muncul seperti Gambar dibawah ini:

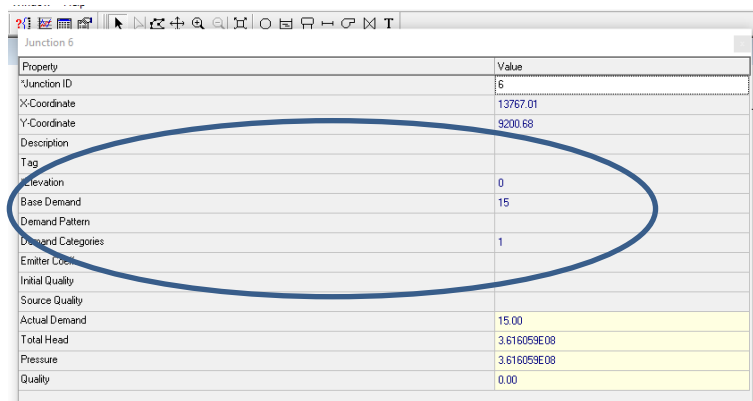
The screenshot shows a dialog box titled "Pipe 3" with a table of properties. An orange oval highlights the rows for "Length", "Diameter", and "Roughness".

| Property        | Value |
|-----------------|-------|
| *Pipe ID        | 3     |
| *Start Node     | 3     |
| *End Node       | 4     |
| Description     |       |
| Tag             |       |
| *Length         | 50    |
| *Diameter       | 100   |
| *Roughness      | 140   |
| Loss Coeff.     | 0     |
| Initial Status  | Open  |
| Bulk Coeff.     |       |
| Wall Coeff.     |       |
| Flow            | 22.50 |
| Velocity        | 0.80  |
| Unit Headloss   | 0.00  |
| Friction Factor | 0.000 |
| Reaction Rate   | 0.00  |
| Quality         | 0.00  |
| Status          | Open  |

**Gambar 2.15 Edit Pipa**

- **Edit Node/Junction**

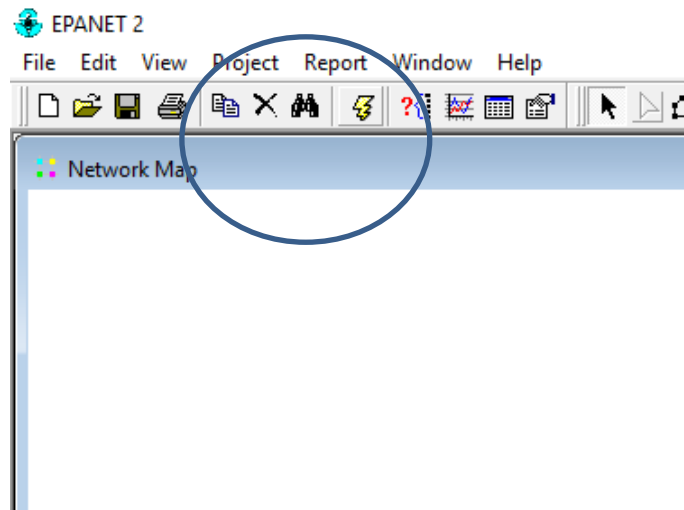
Untuk Fasilitas edit node atau junction untuk memasukkan nilai demand pada tipe node maka klik dua kali pada node yang akan diedit. Kemudian akan muncul Gambar seperti dibawah ini:



**Gambar 2.16 Edit Node**

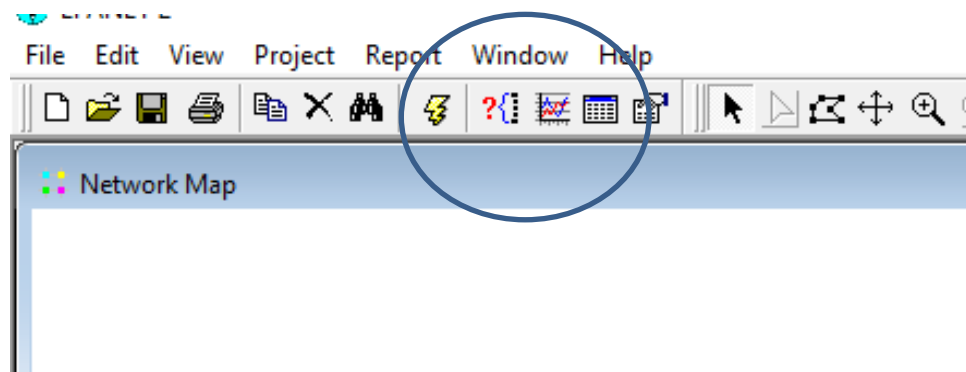
- **Hasil**

Jika telah dilakukan setting maka dilakukan running untuk mendapatkan hasil dari tiap Rangkaian.



**Gambar 2.17 Menu Running**

Kemudian akan diketahui hasil dari rangkaian, jika eror maka output tidak bisa ditampilkan. Jika sudah ok maka akan dapat menampilkan output. Berikut beberapa menu untuk menampilkan hasil output. Berikut menu menampilkan output:



**Gambar 4.18 Hasil Output**

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Agropolitan Poncokusumo Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang. Kecamatan Poncokusumo berada di bagian timur Kabupaten Malang terletak pada jarak kurang lebih 40 km dari pusat Ibukota Kabupaten Malang. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



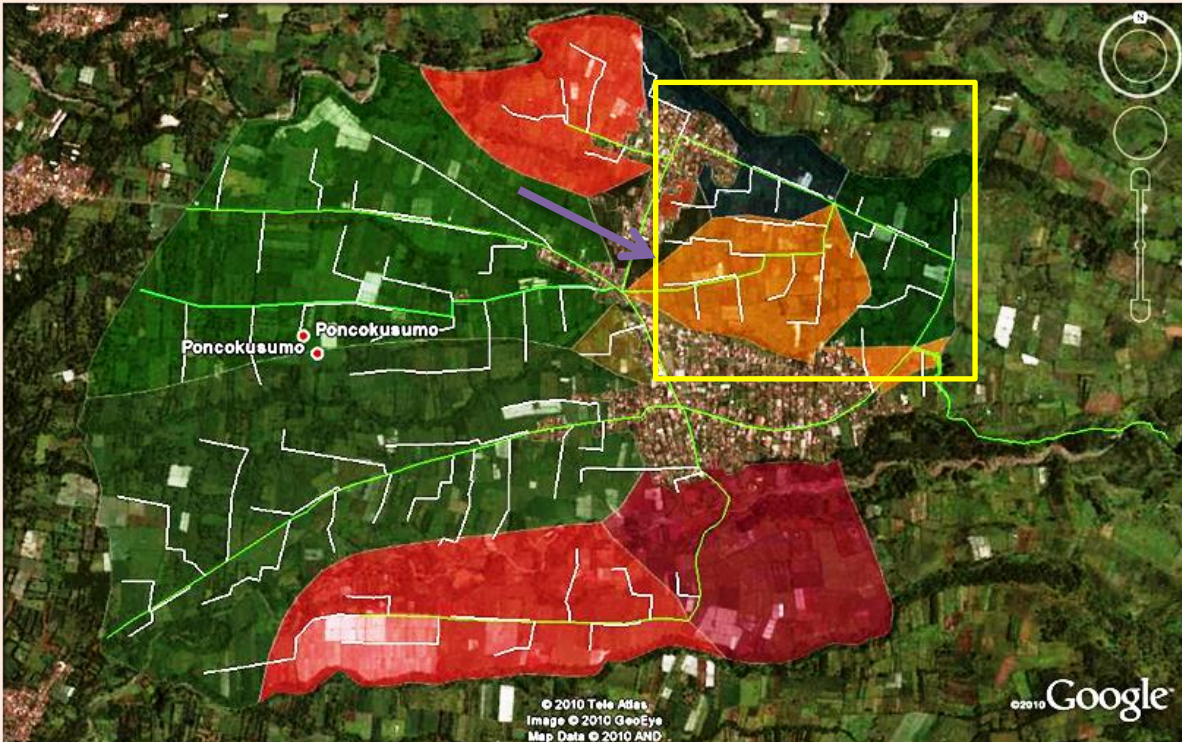
Sumber : UPT SDA 2014

**Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian**

Berdasarkan rencana awal maka pipa irigasi akan menjangkau seluruh Kecamatan Poncokusumo, namun yang terpasang dan beroperasi saat ini hanya di Desa Poncokusumo. Saat ini pipa yang telah terpasang ditandai dengan tanda kotak kuning, yang akan menjadi lokasi penelitian.

### 3.2 Kondisi Eksisting Jaringan Perpipaan

Agropolitan Poncokusumo memiliki luasan 670 Ha. Dari luasan lahan rencana yang dialiri diklasifikasikan tiap zona untuk mendapatkan daerah layanan yang optimal. Sebagian besar jenis tanaman ialah apel dan sayuran. Peta daerah layanan jaringan irigasi perpipaan yang ada bisa dilihat pada **Gambar 3.2**.

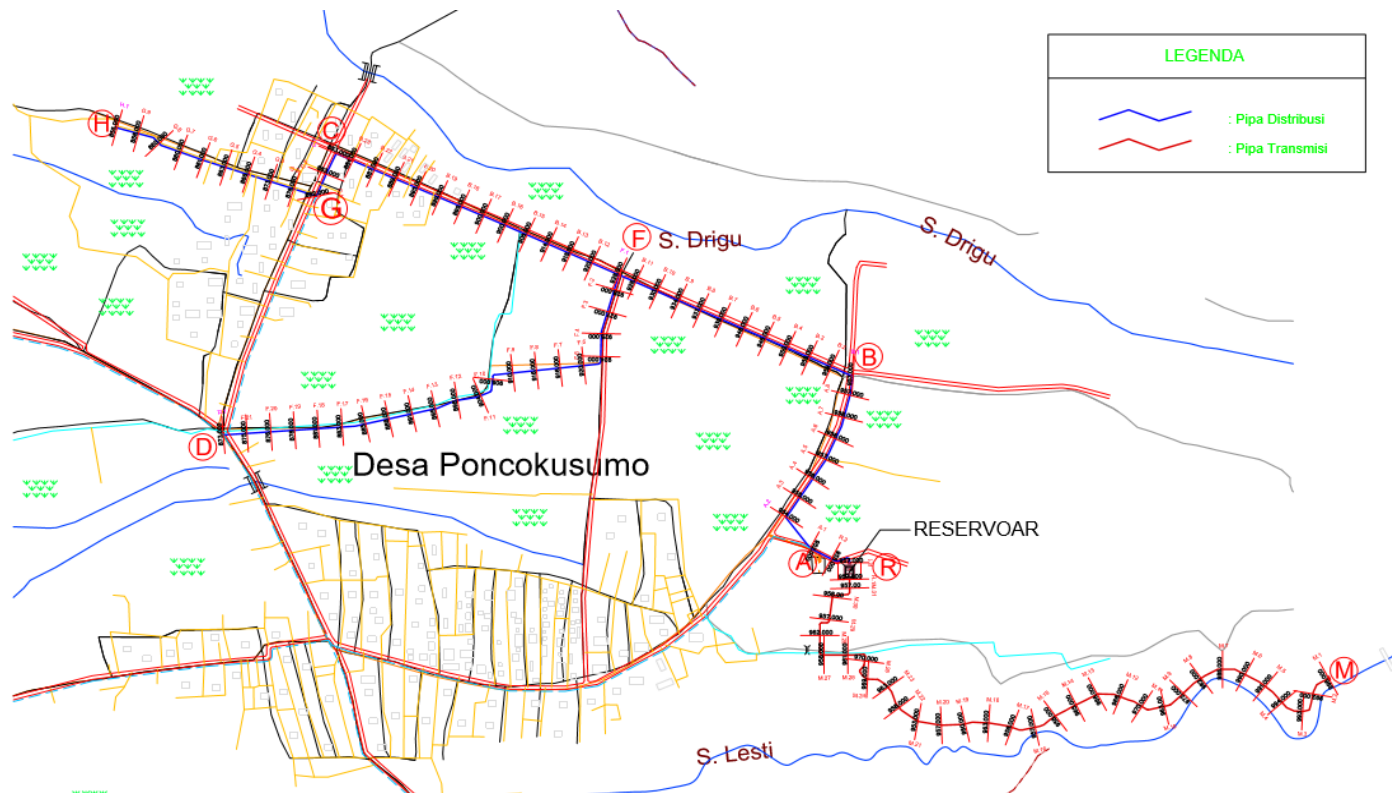


Sumber : UPT SDA 2014

#### Gambar 3.2 Peta Daerah Layanan

Pada jaringan irigasi diameter pipa yang digunakan ialah  $\varnothing 8$  Inch dan  $\varnothing 6$  Inch  $\varnothing 4$  Inch,  $\varnothing 3$  Inch, untuk mengalirkan air pada tiap titik pengambilan. Diameter  $\varnothing 8$  Inch digunakan pada jaringan yang mengalirkan air dari reservoir. Diameter  $\varnothing 6$  Inch digunakan pada jaringan pipa sekunder yang mengalirkan air dari jaringan utama ke tiap pipa tersier. Diameter  $\varnothing 4$  Inch dan  $\varnothing 3$  Inch digunakan pada tiap pipa tersier. Berikut sistem jaringan perpipaan yang telah ada saat ini tersaji pada **Gambar 3.3**.



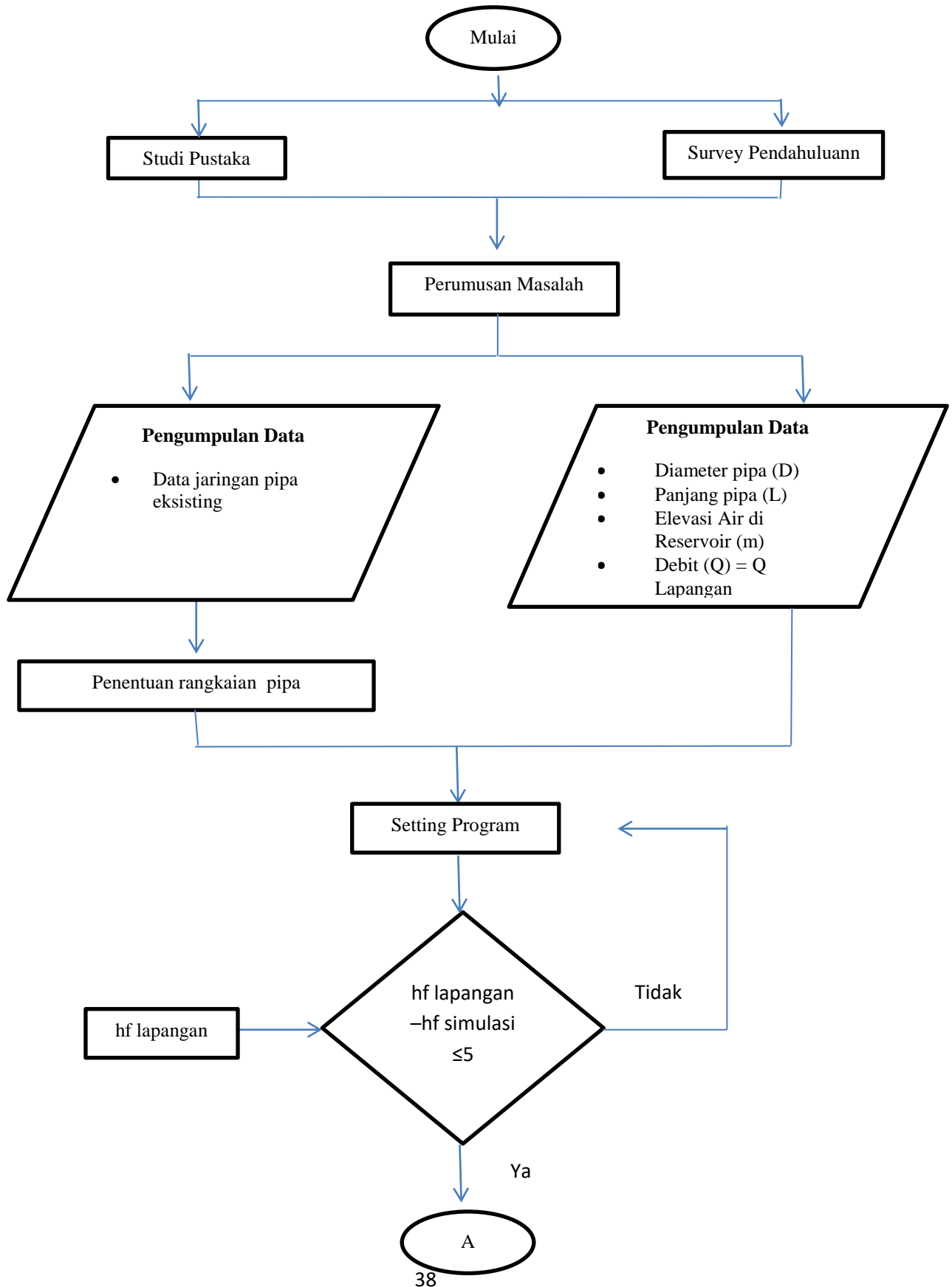


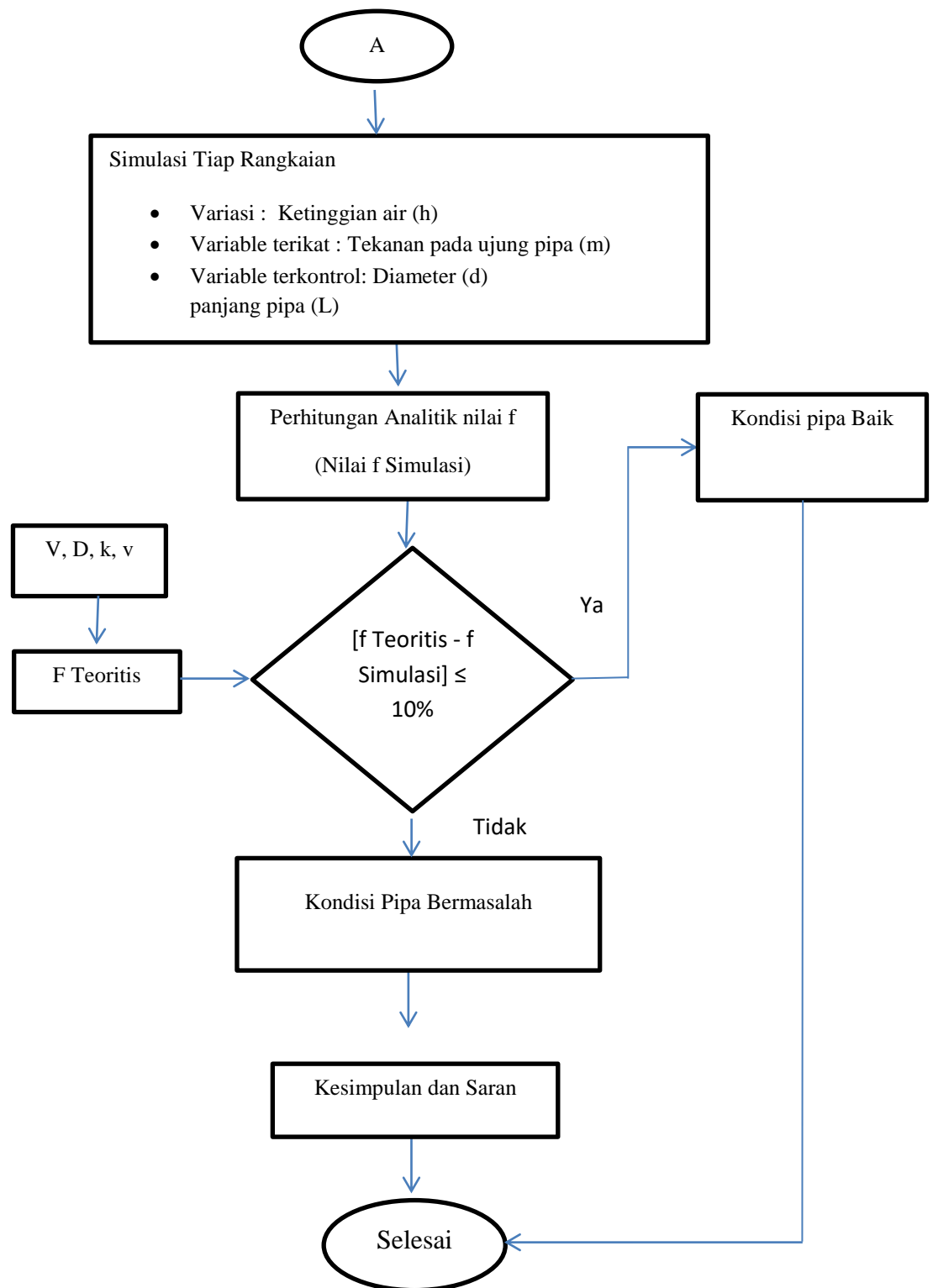
Sumber: UPT SDA 2014

**Gambar 3.3 Jaringan Perpipaan Eksisting**

### 3.3 Rancangan Penelitian

Rancangan pada penelitian disajikan pada diagram alir berikut ini:





**Gambar 3.4 Diagram Alir Kajian**

### **3.3.1 Survey Pendahuluan**

Survei pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kondisi awal wilayah penelitian pada tahap ini akan didapatkan permasalahan yang terdapat disana yaitu kehilangan energi pada jaringan pipa dan tidak diketahui penyebabnya. Lokasi penelitian ini ialah Agropolitan Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang. Selain itu dilakukan wawancara informal dengan petani dan pengurus kelompok tani setempat tentang permasalahan yang mereka alami disana. Survei Pendahuluan dilakukan sebanyak tiga kali sebelum proposal. Yang mendapatkna permasalahan: Saat ini terjadi kehilangan energi yang menyebabkan tidak optimalnya kinerja pengantaran air, belum diketahui penyebab dan letak kehilangan energi yang terjadi pada jaringan pipa. Sehingga memunculkan ide untuk meneliti kondisi pipa. Karena berdasarkan Persamaan Darcy Weisbach, kehilangan energi juga dipengaruhi oleh kondisi pipa.

### **3.3.2 Studi Pustaka**

Studi pustaka bertujuan untuk mendukung penelitian dari awal hingga akhir. Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh teori atau hasil penelitian sebelumnya yang dapat memperkuat penelitian ini. Media studi literatur dapat berupa buku, jurnal ilmiah dan penelitian sebelumnya. Studi Pustaka pada beberapa latar belakang teori tentang kehilangan energi di pipa dan penelitian sebelumnya tentang topik kehilangan energi di pipa. Pada studi pustaka juga untuk mencegah kesamaan dengan penelitian sebelumnya. Literatur yang dibutuhkan ialah hukum Bernoulli dan persamaan Darcy Weisbach tentang kehilangan energi. Jurnal yang dipakai ialah Ir. Salomon Simanjuntak dan J Berlamont. Beberapa buku yang dipakai ialah Hidraulika II (Bambang Trihatmdjo), Hidrolika (Anggrahini), Mekanika Fluida (Victor L Streeter),Rughness Coefficient, Eq uivalent Length and Piping Schedule (Joon Eo), Manual Epanet For User ( Rossman, Luis A),Teknik Sumber Daya Air Jilid 2. 1991. (Sasongko, Djoko., Koinsley, Roy L., Franzini, Joseph).

### **3.3.3 Pengumpulan Data**

Pada tahap ini, dilakukan identifikasi data-data yang dibutuhkan dalam penelitian. Identifikasi kebutuhan data bertujuan untuk memudahkan peneliti dalam mengumpulkan data, sehingga tidak terjadi kekurangan data saat analisis data. Pengumpulan data yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian yaitu: data jaringan pipa eksisting, diameter pipa, panjang pipa, jenis pipa yang digunakan, elevasi pipa, elevasi titik pengambilan dan debit pada masing-masing titik pengambilan. Data sebagian besar telah ada sebelum proposal. Setelah proposal dilakukan dua kali pengumpulan data yang masih kurang.

### **3.3.4 Penentuan Pembagian Rangkaian Pipa**

Untuk mengetahui kondisi pipa maka dilakukan pembagian rangkaian pipa untuk mengetahui keadaan masing-masing pipa berdasarkan nilai koefisien gesek. Pada tiap rangkaian akan dilakukan simulasi untuk melihat kehilangan energi pada masing-masing rangkaian dan nilai koefisien gesek pada masing-masing pipa.

### **3.3.5 Setting Program**

Pada tahap ini dilakukan penyetingan program sesuai dengan keadaan lapangan, seperti panjang pipa, diameter pipa, diameter pipa, ketinggian air.

### **3.3.6 Kalibrasi Program**

Pada tahap kalibrasi dilakukan perbandingan nilai kehilangan energi di program dengan nilai kalibrasi dilapangan, Jika kurang dari 10% maka program dianggap mewakili lapangan. Kalibrasi dilakukan pada salah satu rangkaian yang meemiliki data pengukuran. Setting ini kemudian digunakan untuk simulasi pada rangkaian lain

### **3.3.7 Simulasi Pada Masing-Masing Rangkaian**

Rangkaian pipa yang telah ditentukan kemudian dilakukan simulasi. Simulasi dibuat seperti kondisi lapangan. Variable terkontrol adalah

diameter dan panjang pipa. Variable terikat ialah tekanan pada ujung pengambilan. Sedangkan variasinya ialah ketinggian air di reservoir.

### **3.3.8 Nilai Koefisien Gesek (f) Pada Masing-Masing pipa Hasil Perhitungan (f simulasi)**

Hasil simulasi akan diketahui nilai tekanan pada masing-masing titik. Kemudian akan dicari nilai selisih antara energi pada reservoir dengan total energi pada tiap titik. Selisih tersebut adalah kehilangan energi yang terjadi pada tiap rangkaian. Kemudian akan dilakukan perhitungan analitik nilai koefisien Darcy Weisbach (f). Perhitungan analitik akan menghasilkan persamaan. Persamaan tersebut diselesaikan menggunakan matriks untuk mendapatkan nilai f1, f2, f3 dan f4.

### **3.3.9 Nilai Koefisien Gesek (f) Teori**

Nilai f teori didapatkan dari rumus Blasius dan Grafik Moody. Dengan Rumus Blasius dan Grafik moody akan didapatkan nilai f yang disebut f teori.. Nilai f teori menjadi pembanding nilai f simulasi.

### **3.3.10 Kalibrasi**

Pada tahap kalibrasi akan dilakukan perbandingan f hasil simulasi pada penelitian dengan nilai f teoritis. Sehingga bisa terlihat perbedaan nilai f simulasi dan f teori. Jika selisih nilai f lapangan dan f teori  $\leq 10\%$ , maka dapat ditetapkan jika kondisi pipa baik. Jika  $\geq 10\%$  maka kondisi pipa bermasalah.

### **3.3.11 Kondisi Pipa Baik**

Jika selisih nilai koefisien gesek teori dengan  $\leq 10\%$ , maka kondisi pipa baik. Kondisi pipa baik menjadi informasi bahwa kondisi pipa masih baik setelah beroperasi selama tiga tahun.

### **3.3.12 Kondisi Pipa Bermasalah**

Jika selisih nilai koefisien gesek teori dengan  $\geq 10\%$ , maka kondisi pipa bermasalah. Kondisi pipa bermasalah menjadi informasi tambahan untuk menentukan penyebab kehilangan energi.

### **3.3.13 Kesimpulan dan Saran**

Dari hasil penelitian yang didapatkan maka akan diketahui kondisi pipa setelah beroperasi selama tiga tahun. Serta saran yang bisa dilakukan oleh pihak-pihak terkait untuk mendapatkan penyebab dan mengoptimalkan kinerja pipa.

*Halaman ini Sengaja dikosongkan*



## **BAB 4**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data penelitian ini dilakukan secara dua tahap. Tahap pertama sebelum sidang proposal sebanyak dua kali untuk mendapatkan permasalahan yang terjadi disana. Yang pertama tepatnya pada tanggal 03 Maret 2017. Data yang didapatkan ialah data diameter, jaringan pipa, elevasi pipa dan reservoir. Setelah itu, dilakukan pengumpulan data kembali satu bulan kemudian. Hasil yang didapatkan ialah data debit pada titik pengambilan.

Setelah sidang proposal dilakukan pengumpulan data kembali data yang masih belum seperti gambar titik pengambilan, gambar sambungan, kondisi reservoir, contoh pengaliran air dari reservoir ke salahsatu titik pengambilan.

Berikut adalah data-data yang telah dikumpulkan untuk penelitian:

##### **4.1.1 Debit Di Titik Pengambilan**

Debit dititik pengambilan adalah besarnya debit yang keluar pada tiap titik pengambilan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Debit titik pengambilan adalah data yang harus diketahui sebelum melakukan simulasi dengan program. Berikut adalah besarnya debit pada tiap titik pengambilan :

**Tabel 4.1 Debit Di Titik Pengambilan**

| No | Nama | Debit (l/dtk) |
|----|------|---------------|
| 1  | B    | 2,5           |
| 2  | F    | 12            |
| 3  | C    | 14,5          |
| 4  | D    | 9             |
| 5  | H    | 4             |

Sumber : UPT SDA 2014

### 4.1.2 Diameter Pipa

Diameter pipa pada jaringan irigasi perpipaan terdiri dari empat ukuran. Berikut adalah diameter yang digunakan pada jaringan irigasi seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.2**

**Tabel 4.2 Diameter Pipa**

| No | Nama Pipa | Penyambung | Diameter (Inch) |
|----|-----------|------------|-----------------|
| 1  | 1         | R-B        | 8               |
| 2  | 2         | B-F        | 6               |
| 3  | 3         | F-C        | 6               |
| 4  | 4         | C-G        | 6               |
| 5  | 5         | F17-D      | 4               |
| 6  | 6         | G-H        | 3               |

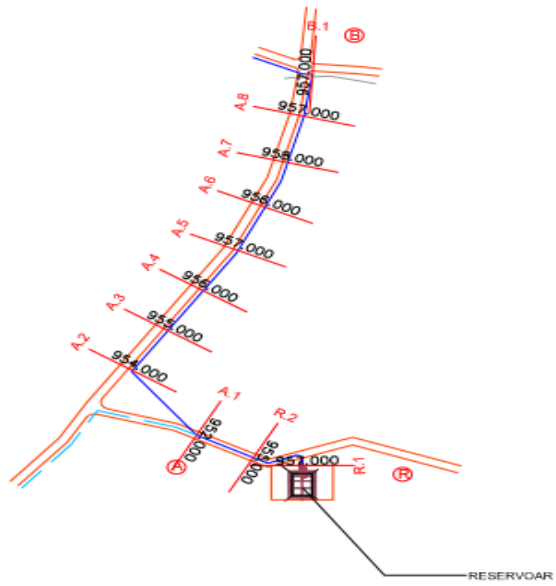
Sumber : UPT SDA 2014

## 4.2 Penentuan Rangkaian Pipa

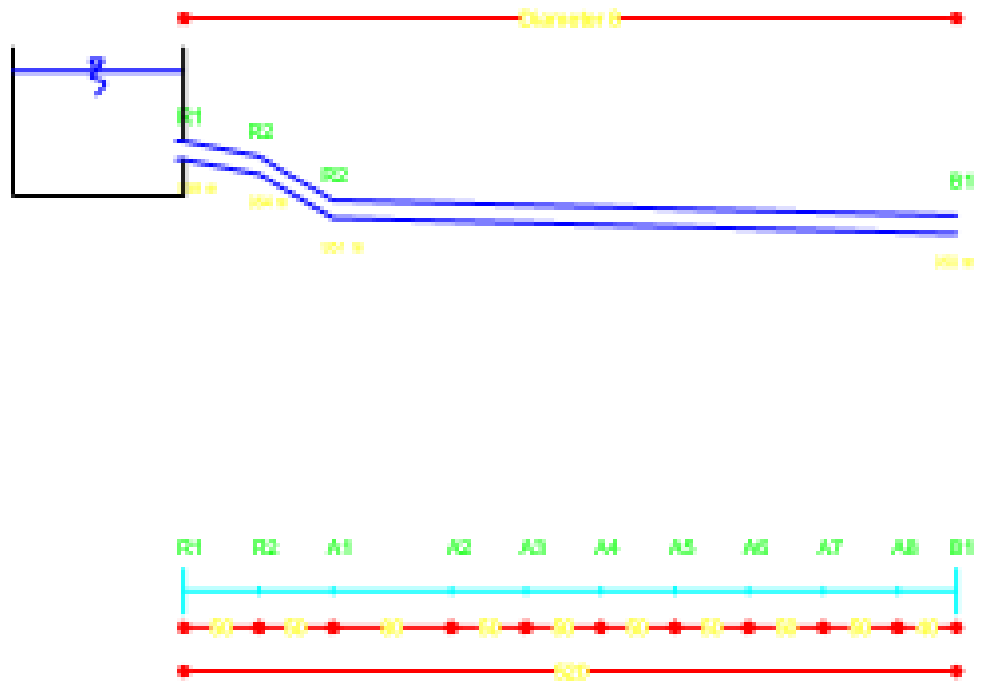
Pada penelitian yang akan dilakukan jaringan pipa yang ada ditentukan menjadi beberapa rangkaian pipa. Rangkaian pipa ditentukan menjadi lima rangkaian untuk dilakukan analisa pada tiap rangkaian. Penentuan rangkaian berdasarkan perbedaan diameter dan letak titik pengambilan air irigasi. Pada penelitian ini terdapat lima rangkaian pipa yaitu R-B, R-C, R-F, R-D dan R-H. Berikut adalah penjelasan masing-masing rangkaian pipa yang akan diteliti:

### 4.2.1 Rangkaian R-B

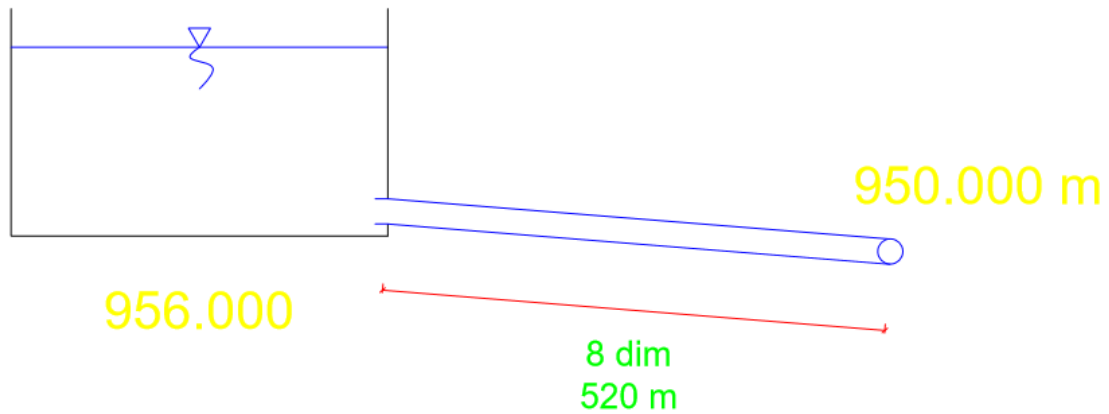
Rangkaian pipa R-B adalah rangkaian pipa dari Reservoir menuju titik pengambilan B. Pada rangkaian R-B diameter pipa adalah 8 dim dengan panjang 520 meter dengan jenis pipa PVC. Debit yang keluar pada titik pengambilan adalah 2,5 m/dtk. Berikut adalah gambar denah Rangkaian R-B, tampak samping Rangkaian R-B dan gambar skema dari rangkaian R-B:



**Gambar 4.1 Denah Rangkaian R-B**



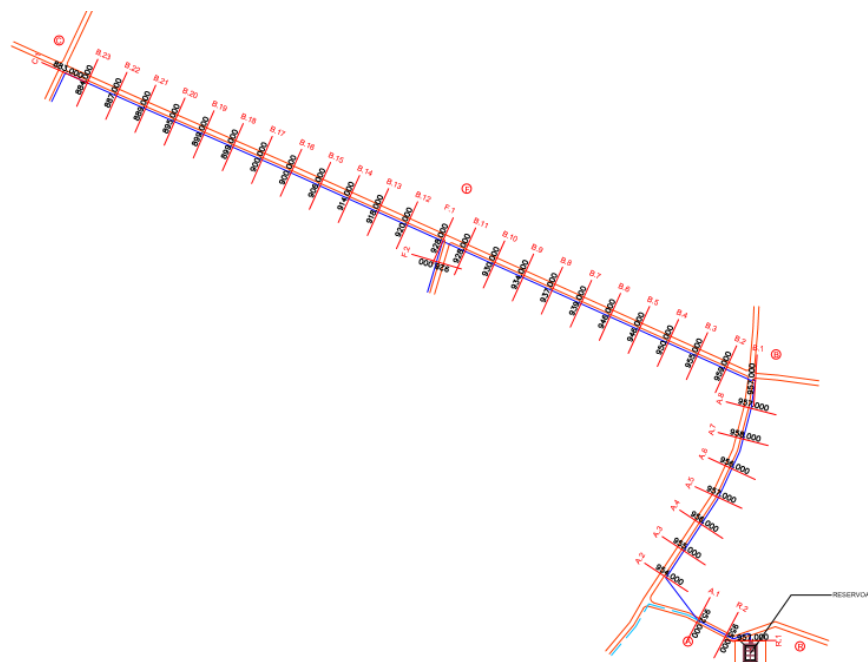
**Gambar 4.2 Rangkaian R-B Tampak Samping**



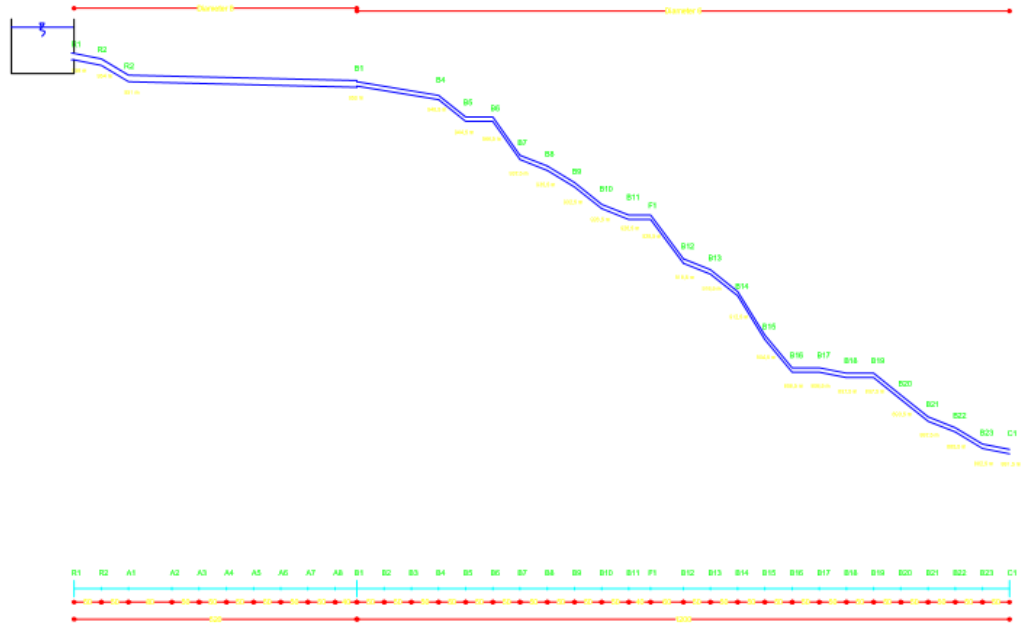
**Gambar 4.3 Skema Rangkaian R-B**

#### 4.2.2 Rangkaian R-C

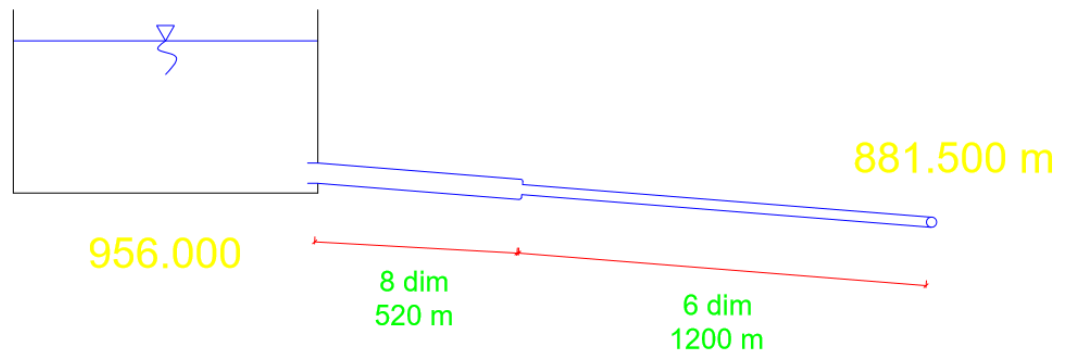
Rangkaian pipa R-C adalah rangkaian pipa dari Reservoir menuju titik pengambilan C. Pada rangkaian R-C diameter pipa yang dipakai ialah diameter 8 dim dengan panjang 520 meter dan 6 dim 1200 meter dengan jenis pipa PVC. Debit air keluar di titik C adalah 14,5 l/dtk. Berikut adalah gambar denah Rangkaian R-C, tampak samping Rangkaian R-C dan skema dari rangkaian R-C:



**Gambar 4.4 Denah Rangkaian R-C**



**Gambar 4.5 Rangkaian R-C Tampak Samping**

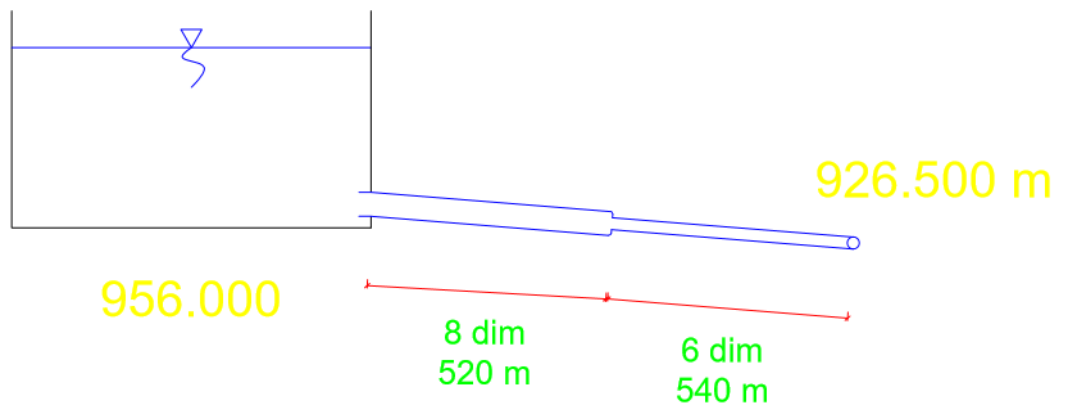


**Gambar 4.6 Skema Rangkaian R-C**

#### 4.2.3 Rangkaian R-F

Rangkaian pipa R-F adalah rangkaian pipa dari Reservoir menuju titik pengambilan F. Pada rangkaian R-F diameter pipa yang dipakai ialah diameter 8 dim dengan panjang 520 meter dan 6 dim 540 meter dengan jenis pipa PVC. Berikut adalah gambar denah, tampak samping dan skema dari rangkaian R-C:

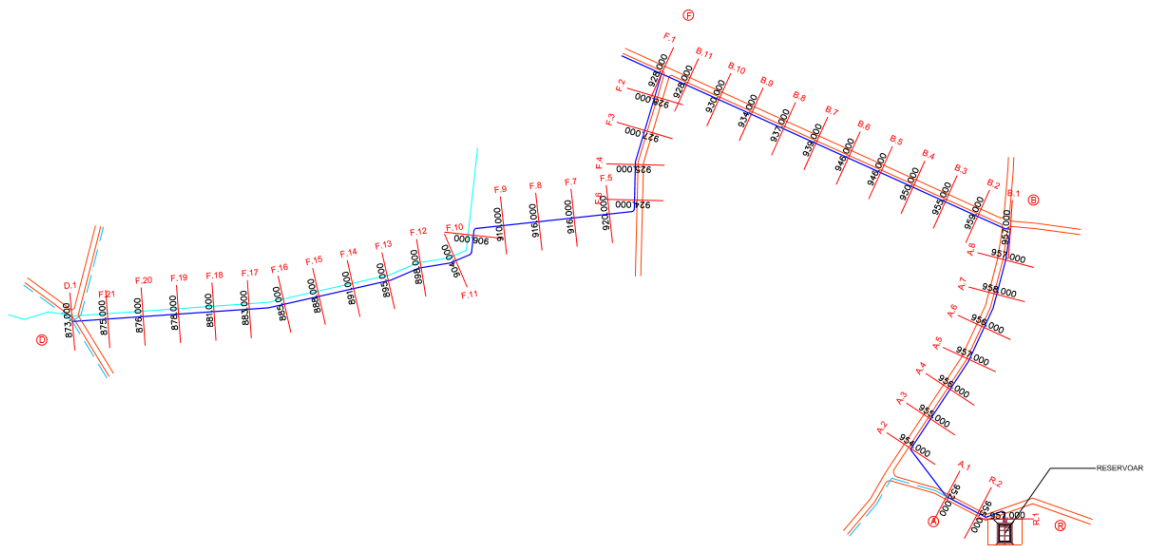




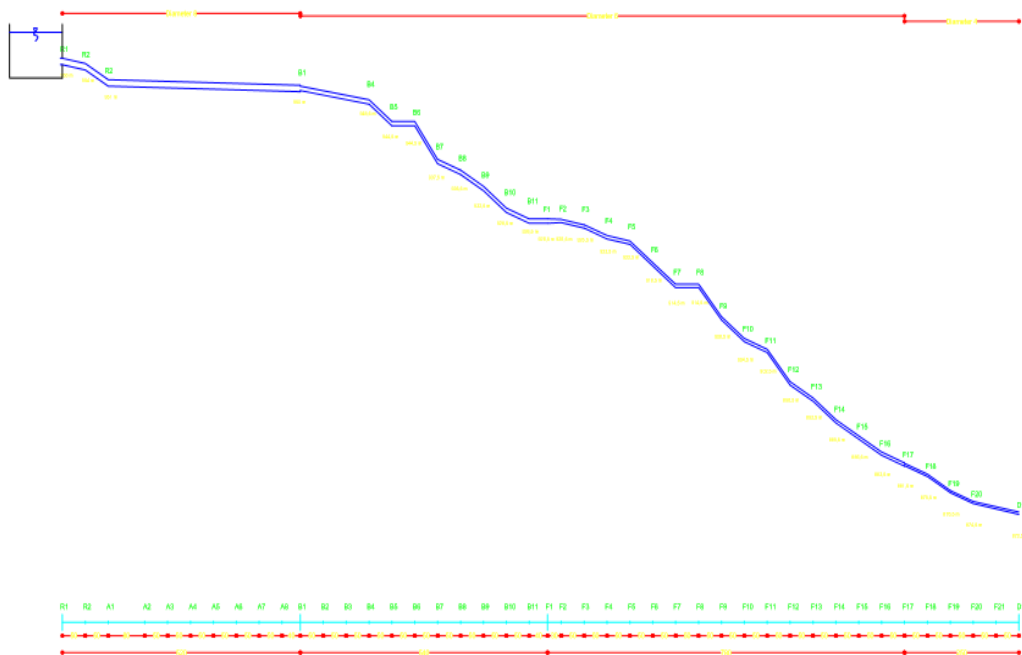
**Gambar 4.9 Skema Rangkaian R-F**

#### 4.2.4 Rangkaian R-D

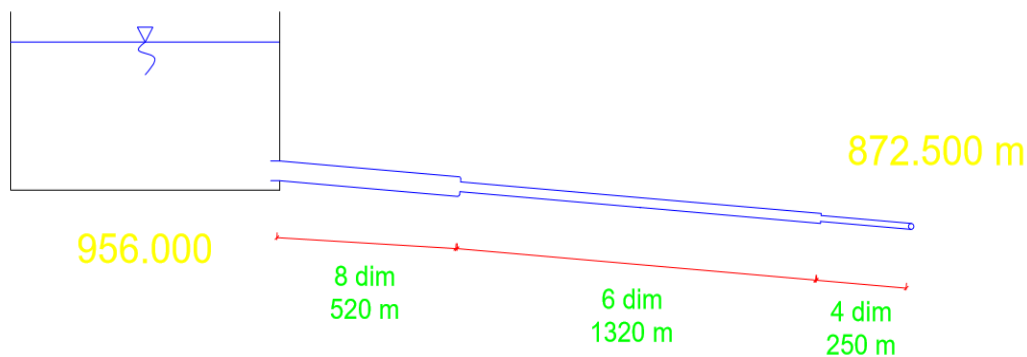
Rangkaian pipa R-D adalah rangkaian pipa dari Reservoir menuju titik pengambilan D. Pada rangkaian R-D diameter pipa yang dipakai ialah dimeter 8 dim dengan panjang 520 meter, 6 dim 1320 meter dan 4 dim 250 meter dengan jenis pipa PVC. Berikut adalah gambar denah, tampak samping dan skema dari rangkaian R-C.



**Gambar 4.10 Denah Rangkaian R-D**



**Gambar 4.11 Rangkaian R-D Tampak Samping**



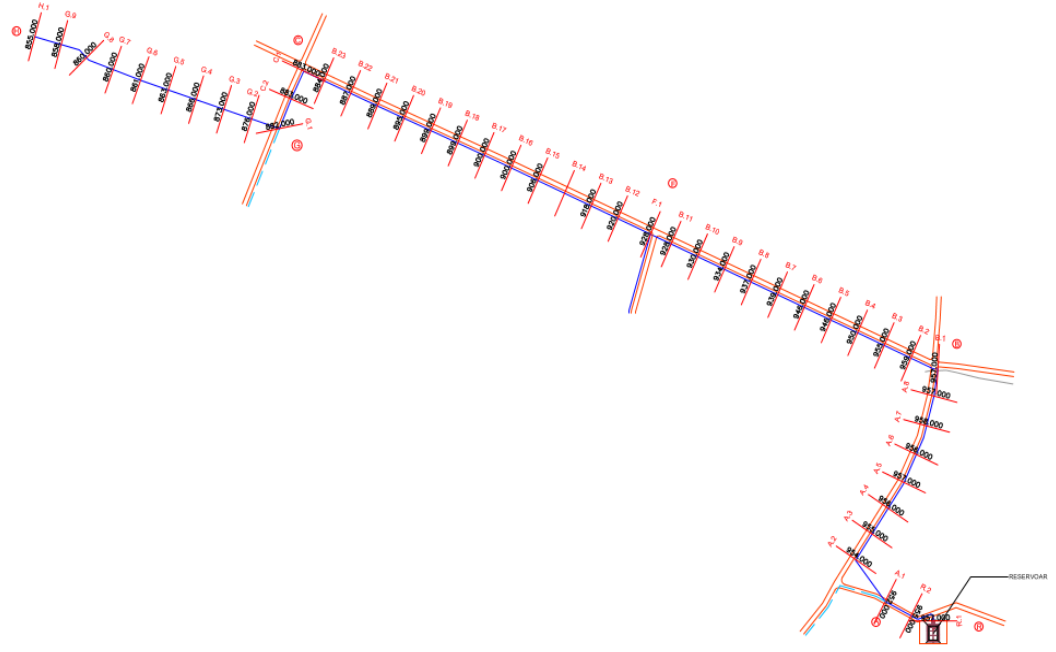
**Gambar 4.12 Skema Rangkaian R-D**

#### 4.2.5 Rangkaian R-H

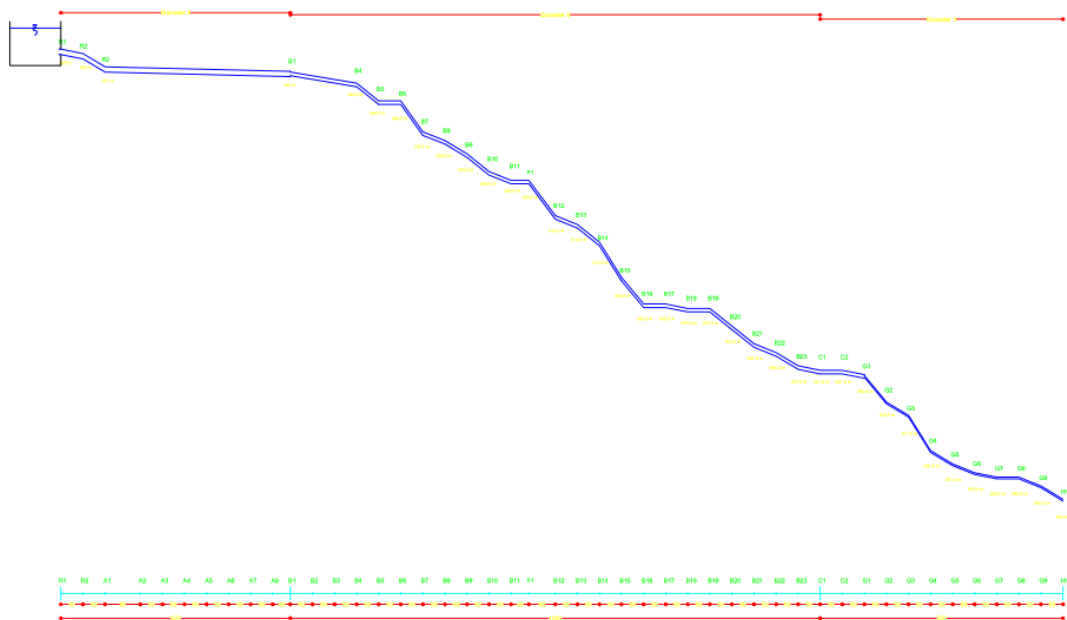
Rangkaian pipa R-H adalah rangkaian pipa dari Reservoir menuju titik pengambilan H. Pada rangkaian R-H diameter pipa yang dipakai ialah diameter 8 dim dengan panjang 520 meter, 6 dim 1200 meter dan 3 dim 550 meter dengan jenis pipa PVC. Debit yang mengalir dari reservoir ke titik H adalah 4 l/dtk. Berikut adalah



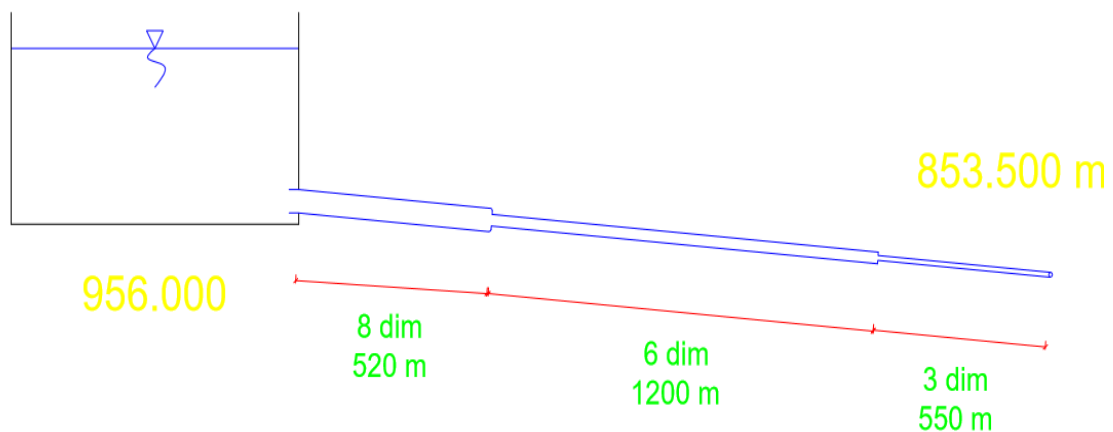
gambar denah Rangkaian R-H, tampak samping Rangkaian R-H dan skema dari rangkaian R-H:



**Gambar 4.13 Denah Rangkaian R-H**



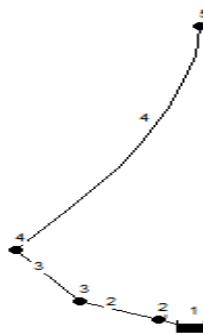
**Gambar 4.14 Rangkaian R-H Tampak Samping**



**Gambar 4.15 Skema Rangkaian R-H**

#### 4.3 Setting Program Epanet

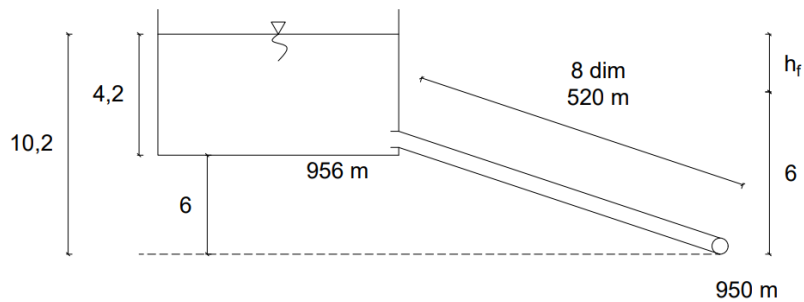
Setting program dilakukan sesuai dengan keadaan lapangan untuk mendapatkan nilai koefisien gesek yang sesuai dengan kondisi eksisting. Setting dilakukan pada Rangkaian R-B. Dengan panjang, diameter dan data yang lainnya. Berikut hasil setting Epanet :



**Gambar 4.16 Setting Rangkaian R-B**

#### 4.4 Kalibrasi Program

Kalibrasi dilakukan pada rangkaian R-B yang telah di setting program pada langkah sebelumnya. Rangkaian R-B Dilapangan dalam kondisi pipa semua titik pengambilan terbuka debit yang mengalir 42 l/dtk. Ketinggian air di reservoir 4,2 m. Dengan ketinggian air diujung adalah 6 meter.



**Gambar 4.17 Skema Kehilangan Energi Dilapangan**

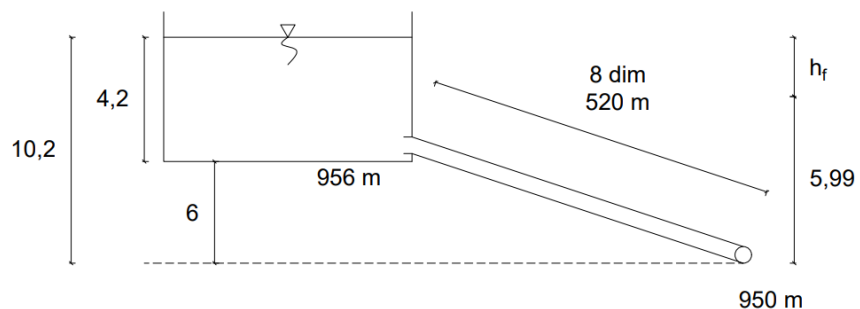
Maka kehilangan energi yang terjadi adalah  $10,2 - 6 = 4,2$  m.

Dari data tersebut kemudian dilakukan running hingga mendapatkan nilai yang sesuai dengan data lapangan. Setelah dilakukan running, didapatkan hasil seperti berikut ini:

**Tabel 4.3 Hasil Output Epanet Untuk Kalibrasi**

| Node   | Debit | Head   | Sisa Energi |
|--------|-------|--------|-------------|
|        | l/dtk | m      | m           |
| Junc 2 | 0.00  | 959.72 | 5.72        |
| Junc 3 | 0.00  | 959.33 | 8.33        |
| Junc 4 | 0.00  | 958.65 | 8.65        |
| Junc 5 | 42.00 | 955.99 | 5.99        |

Sumber: Hasil Kalibrasi



**Gambar 4.18 Skema Kehilangan Energi Hasil Simulasi**

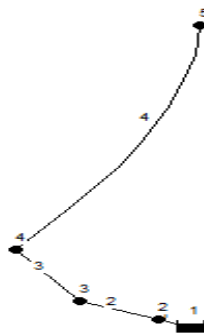
Dari output Epanet Sisa energi diujung pipa adalah 5,99 m. Maka kehilangan energi yang terjadi =  $10,2 - 5,99 = 4,21$  m. Selisih Nilai kehilangan energi antara program dengan lapangan adalah 0,23 %. Dari nilai selisih tersebut didapatkan jika setting program telah mendekati kondisi lapangan. Sehingga setting ini yang diambil untuk melakukan running pada rangkaian yang lainnya.

## 4.5 Simulasi Program Epanet

Sesuai data yang telah dimiliki berupa denah lima rangkaian pipa, diameter pipa, panjang pipa, debit diujung pengambilan dan elevasi titik maka dilakukan simulasi dengan menggunakan Epanet. Output dari simulasi ialah mengetahui sisa tekanan yang terdapat pada ujung pengambilan. Sisa tekan yang didapatkan kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien gesek ( $f$ ) dengan persamaan Darcy Weisbach. Berikut adalah simulasi pada lima rangkaian dengan variasi tiga ketinggian pada masing-masing rangkaian:

### 4.5.1 Rangkaian R-B

Pada rangkaian ini akan dilakukan simulasi dengan setting sesuai dengan lapangan. Debit yang mengalir ialah 2,5 l/dtk. Dengan variasi tiga ketinggian air yaitu 4,2 m, 3 m dan 2 m. Elevasi pipa tiap titik berdasarkan data lapangan, nilai koefisien kekasaran absolut. Serta nilai kehilangan untuk belokan, perubahan diameter dan kehilangan minor lain. Berikut output hasil simulasi pada Rangkaian pipa R-B pada masing-masing ketinggian:



**Gambar 4.19 Rangkaian R-B Pada Epanet**

## 1) Elevasi Air 4,2 m

- **Output Pipa**

**Tabel 4.4 Network Links Rangkaian R-B Elevasi 4,2 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.05       | 0.033           |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.05       | 0.029           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.04       | 0.03            |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.04       | 0.029           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Output Node**

**Tabel 4.5 Network Nodes Rangkaian R-B Elevasi 4,2 m**

| Node    | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|---------|---------|-------|--------------|------------|
|         | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2  | 954     | 0     | 960.2        | 6.2        |
| Junc 3  | 951     | 0     | 960.2        | 9.2        |
| Junc 4  | 950     | 0     | 960.19       | 10.19      |
| Junc 5  | 950     | 2.5   | 960.18       | 10.18      |
| Resvr 1 | 960.2   | -2.5  | 960.2        | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 4,2 m sisa tekan pada titik B adalah 10,18 m. Nilai ini kemudian dicari selisih dengan total energi pada reservoir untuk mendapatkan nilai kehilangan energi. Nilai kehilangan energi tersebut yang digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

## 2) Ketinggian Air 3 m

- **Network Links**

**Tabel 4.6 Network Links Rangkaian R-B Elevasi 3 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | M       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.05       | 0.033           |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.04       | 0.029           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.04       | 0.030           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.04       | 0.029           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Network Nodes**

**Tabel 4.7 Network Nodes Rangkaian R-B Elevasi 3 m**

| Node    | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|---------|---------|-------|--------------|------------|
|         | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2  | 954     | 0     | 959          | 5          |
| Junc 3  | 951     | 0     | 959          | 8          |
| Junc 4  | 950     | 0     | 958.99       | 8.99       |
| Junc 5  | 950     | 2.5   | 958.98       | 8.98       |
| Resvr 1 | 959     | -2.5  | 959          | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 3 m sisa tekan pada titik B adalah 8,98 m. . Nilai ini kemudian dicari selisih dengan total energi pada reservoir untuk mendapatkan nilai kehilangan energi. Nilai kehilangan energi tersebut yang digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa

### 3) Ketinggian Air 2 m

- **Network Links**

**Tabel 4.8 Network Links Rangkaian R-B Elevasi 2 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | M       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.04       | 0.033           |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.04       | 0.029           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.04       | 0.030           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 2.5    | 0.08      | 0.04       | 0.029           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Network Nodes**

**Tabel 4.9 Network Nodes Rangkaian R-B Elevasi 2 m**

| Node    | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|---------|---------|-------|--------------|------------|
|         | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2  | 954     | 0     | 958          | 4          |
| Junc 3  | 951     | 0     | 958          | 7          |
| Junc 4  | 950     | 0     | 957.99       | 7.99       |
| Junc 5  | 950     | 2.5   | 957.98       | 7.98       |
| Resvr 1 | 958     | -2.5  | 958          | 0          |

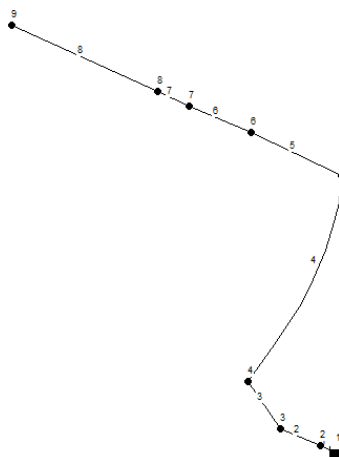
Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 3 m sisa tekan pada titik B adalah 7,98 m. Nilai ini kemudian dicari selisih dengan total energi pada reservoir untuk mendapatkan nilai kehilangan energi. Nilai

kehilangan energi tersebut yang digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

#### 4.5.2 Rangkaian R-F

Pada rangkaian ini akan dilakukan simulasi dengan setting sesuai dengan lapangan. Debit yang mengalir ialah 12 l/dtk. Dengan variasi tiga ketinggian air yaitu 4,2 m, 3 m dan 2 m. Elevasi pipa tiap titik berdasarkan data lapangan, nilai koefisien kekasaran absolut berdasarkan hasil kalibrasi. Berikut output hasil simulasi pada Rangkaian pipa R-F pada masing-masing ketinggian:



Gambar 4.20 Rangkaian R-F Pada Epanet

##### 1) Ketinggian 4,2 m

- Output Pipa

Tabel 4.10 Network Links Rangkaian R-F Elevasi 4,2 m

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | M       | Mm       | Mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.87       | 0.025           |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.74       | 0.022           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.79       | 0.023           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.73       | 0.021           |
| Pipe 5    | 150     | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,27       | 0.021           |
| Pipe 6    | 50      | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,09       | 0.020           |
| Pipe 7    | 50      | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,09       | 0.020           |
| Pipe 8    | 290     | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,09       | 0.020           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Output Node**

**Tabel 4.11 Network Nodes Rangkaian R-B Elevasi 4,2 m**

| Node    | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|---------|---------|-------|--------------|------------|
|         | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2  | 954     | 0     | 960.16       | 6.16       |
| Junc 3  | 951     | 0     | 960.13       | 9.12       |
| Junc 4  | 950     | 0     | 960.07       | 10.06      |
| Junc 5  | 950     | 0     | 959.84       | 9.81       |
| Junc 6  | 948.5   | 0     | 959.42       | 10.82      |
| Junc 7  | 944.5   | 0     | 959.29       | 14.66      |
| Junc 8  | 937.5   | 0     | 959.15       | 21.511     |
| Junc 9  | 926.5   | 12    | 958.38       | 31.61      |
| Resvr 1 | 960.2   | -12   | 960.2        | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 4,2 m sisa tekan pada titik F adalah 31,61 m. Sisa energi yang terdapat pada ujung titik pengambilan dicari selisih dengan total energi pada reservoir untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut yang digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

**2) Ketinggian 3 m**

- **Network Links**

**Tabel 4.12 Network Links Rangkaian R-F Elevasi 3 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.87       | 0.025           |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.74       | 0.022           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.79       | 0.023           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.73       | 0.021           |
| Pipe 5    | 150     | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,27       | 0.021           |
| Pipe 6    | 50      | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,09       | 0.020           |
| Pipe 7    | 50      | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,09       | 0.020           |
| Pipe 8    | 290     | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,09       | 0.020           |

Sumber : Hasil Simulasi



- **Network Nodes**

**Tabel 4.13 Network Nodes Rangkaian R-F Elevasi 3 m**

| Node    | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|---------|---------|-------|--------------|------------|
|         | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2  | 954     | 0     | 958.96       | 4.96       |
| Junc 3  | 951     | 0     | 958.92       | 7.92       |
| Junc 4  | 950     | 0     | 958.86       | 8.86       |
| Junc 5  | 950     | 0     | 958.61       | 8.61       |
| Junc 6  | 948.5   | 0     | 958.12       | 9.62       |
| Junc 7  | 944.5   | 0     | 957.96       | 13.46      |
| Junc 8  | 937.5   | 0     | 957.81       | 20.31      |
| Junc 9  | 926.5   | 12    | 956.91       | 30.41      |
| Resvr 1 | 960.2   | -12   | 959          | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 3,2 m sisa tekan pada titik F adalah 30,41 m. Sisa energi yang terdapat pada ujung titik pengambilan dicari selisih dengan total energi pada reservoir untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut yang digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

### 3) Ketinggian 2 m

- **Network Links**

**Tabel 4.14 Network Links Rangkaian R-F Elevasi 2 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | Mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.87       | 0.025           |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.74       | 0.022           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.79       | 0.023           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 12     | 0.37      | 0.73       | 0.021           |
| Pipe 5    | 150     | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,27       | 0.021           |
| Pipe 6    | 50      | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,10       | 0.020           |
| Pipe 7    | 50      | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,09       | 0.020           |
| Pipe 8    | 290     | 152      | 0.005     | 12     | 0.66      | 3,09       | 0.020           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Network Nodes**

**Tabel 4.15 Network Nodes Rangkaian R-F Elevasi 2 m**

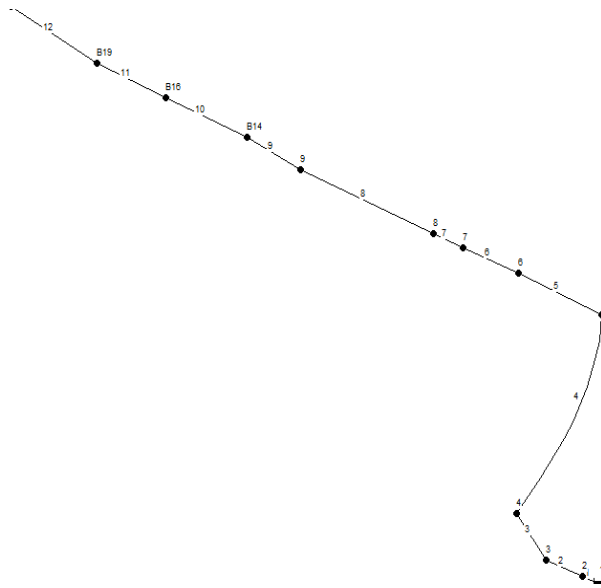
| Node    | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|---------|---------|-------|--------------|------------|
|         | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2  | 954     | 0     | 957.96       | 3.96       |
| Junc 3  | 951     | 0     | 957.92       | 6.92       |
| Junc 4  | 950     | 0     | 957.86       | 7.86       |
| Junc 5  | 950     | 0     | 957.61       | 7.64       |
| Junc 6  | 948.5   | 0     | 957.12       | 8.62       |
| Junc 7  | 944.5   | 0     | 956.96       | 12.46      |
| Junc 8  | 937.5   | 0     | 956.81       | 19.31      |
| Junc 9  | 926.5   | 12    | 956.91       | 29.41      |
| Resvr 1 | 958     | -12   | 958          | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 2 m sisa tekan pada titik F adalah 29,41 m. Sisa energi yang terdapat pada ujung titik pengambilan dicari selisih dengan total energi pada reservoir untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut yang digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

#### 4.5.3 Rangkaian R-C

Pada rangkaian ini akan dilakukan simulasi dengan setting sesuai dengan lapangan. Debit yang mengalir ialah 14,5 l/dtk. Dengan variasi tiga ketinggian air yaitu 4,2 m, 3 m dan 2 m. Elevasi pipa tiap titik berdasarkan data lapangan, nilai koefisien kekasaran absolut berdasarkan hasil kalibrasi. Kemudian juga di outputkan koefisien kehilangan untuk belokan dan perubahan diameter. Berikut output hasil simulasi pada Rangkaian pipa R-C pada masing-masing ketinggian:



**Gambar 4.21 Rangkaian R-H Pada Epanet**

**1) Ketinggian 4,2 m**

- **Output Pipa**

**Tabel 4.16 Network Links Rangkaian R-C Elevasi 4,2 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.25       | 0.025           |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.06       | 0.021           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.12       | 0.022           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.04       | 0.021           |
| Pipe 5    | 150     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.6        | 0.021           |
| Pipe 6    | 50      | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 7    | 50      | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 8    | 290     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 9    | 160     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 10   | 100     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 11   | 150     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 12   | 250     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Output Node**

**Tabel 4.17 Network Nodes Rangkaian R-C Elevasi 4,2 m**

| Node     | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|----------|---------|-------|--------------|------------|
|          | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2   | 954     | 0     | 960.14       | 6.14       |
| Junc 3   | 951     | 0     | 960.08       | 9.08       |
| Junc 4   | 950     | 0     | 960          | 10         |
| Junc 5   | 950     | 0     | 959.64       | 9.64       |
| Junc 6   | 948.5   | 0     | 958.95       | 10.45      |
| Junc 7   | 944.5   | 0     | 958.73       | 14.23      |
| Junc 8   | 937.5   | 0     | 958.51       | 21.01      |
| Junc 9   | 926.5   | 0     | 957.23       | 30.73      |
| Junc B14 | 912.5   | 0     | 956.52       | 44.02      |
| Junc B16 | 898.5   | 0     | 956.07       | 57.57      |
| Junc B19 | 897.5   | 0     | 955.41       | 57.91      |
| Junc C1  | 881.5   | 14.5  | 954.31       | 72.81      |
| Resvr 1  | 960.2   | -14.5 | 960.2        | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 4,2 m sisa tekan pada titik F adalah 72,81 m. Sisa energi yang terdapat pada ujung titik pengambilan dicari selisih dengan total energi pada reservoir untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut yang digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

## 2) Ketinggian 3 m

- **Network Links**

**Tabel 4.18 Network Link Rangkaian R-C Elevasi 3 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.25       | 0.025           |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.06       | 0.021           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.12       | 0.022           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.04       | 0.021           |
| Pipe 5    | 150     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.6        | 0.021           |
| Pipe 6    | 50      | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 7    | 50      | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 8    | 290     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 9    | 160     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 10   | 100     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 11   | 150     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 12   | 250     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Output Node**

**Tabel 4.19 Network Nodes Rangkaian R-C Elevasi 3 m**

| Node     | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|----------|---------|-------|--------------|------------|
|          | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2   | 954     | 0     | 958.94       | 4.94       |
| Junc 3   | 951     | 0     | 958.88       | 7.88       |
| Junc 4   | 950     | 0     | 958.8        | 8.8        |
| Junc 5   | 950     | 0     | 958.44       | 8.44       |
| Junc 6   | 948.5   | 0     | 957.75       | 9.25       |
| Junc 7   | 944.5   | 0     | 957.53       | 13.03      |
| Junc 8   | 937.5   | 0     | 957.31       | 19.81      |
| Junc 9   | 926.5   | 0     | 956.03       | 29.53      |
| Junc B14 | 912.5   | 0     | 955.32       | 42.82      |
| Junc B16 | 898.5   | 0     | 954.87       | 56.37      |
| Junc B19 | 897.5   | 0     | 954.21       | 56.71      |
| Junc C1  | 881.5   | 14.5  | 953.11       | 71.61      |
| Resvr 1  | 959     | -14.5 | 959          | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 3 m sisa tekan pada titik F adalah 71,61 m. Sisa energi yang terdapat pada ujung titik pengambilan dicari selisih dengan total energi pada reservoir untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut yang digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

### 3) Ketinggian 2 m

- **Output Pipa**

**Tabel 4.20 Network Links Rangkaian R-C Elevasi 2 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.25       | 0.025           |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.06       | 0.021           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.12       | 0.022           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 14.5   | 0.45      | 1.04       | 0.021           |
| Pipe 5    | 150     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.6        | 0.021           |
| Pipe 6    | 50      | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 7    | 50      | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 8    | 290     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 9    | 160     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 10   | 100     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 11   | 150     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |
| Pipe 12   | 250     | 152      | 0.005     | 14.5   | 0.8       | 4.42       | 0.021           |

- **Network Nodes**

**Tabel 4.21 Network Nodes Rangkaian R-C Elevasi 2 m**

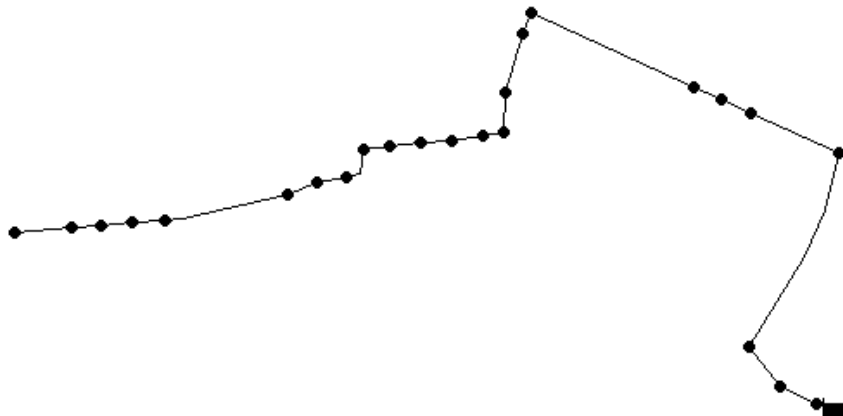
| Node     | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|----------|---------|-------|--------------|------------|
|          | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2   | 954     | 0     | 957.94       | 3.94       |
| Junc 3   | 951     | 0     | 957.88       | 6.88       |
| Junc 4   | 950     | 0     | 957.8        | 7.8        |
| Junc 5   | 950     | 0     | 957.44       | 7.44       |
| Junc 6   | 948.5   | 0     | 956.75       | 8.25       |
| Junc 7   | 944.5   | 0     | 956.53       | 12.03      |
| Junc 8   | 937.5   | 0     | 956.31       | 18.81      |
| Junc 9   | 926.5   | 0     | 955.03       | 28.53      |
| Junc B14 | 912.5   | 0     | 954.32       | 41.82      |
| Junc B16 | 898.5   | 0     | 953.87       | 55.37      |
| Junc B19 | 897.5   | 0     | 953.21       | 55.71      |
| Junc C1  | 881.5   | 14.5  | 952.11       | 70.61      |
| Resvr 1  | 958     | -14.5 | 958          | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 2 m sisa tekan pada titik F adalah 70,61 m. Sisa energi yang terdapat pada ujung titik pengambilan dicari selisih dengan total energi pada reservoir untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut yang digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

#### 4.5.4 Rangkaian R-D

Pada rangkaian ini akan dilakukan simulasi dengan setting sesuai dengan lapangan. Debit yang mengalir ialah 9 l/dtk. Dengan variasi tiga ketinggian air yaitu 4,2 m, 3 m dan 2 m. Elevasi pipa tiap titik berdasarkan data lapangan, nilai koefisien kekasaran absolut. Dimasukkan pula koefisien kehilangan energi akibat belokan dan perubahan diameter. Berikut output hasil simulasi pada Rangkaian pipa R-D pada masing-masing ketinggian.



Gambar 4.22 Rangkaian R-D Pada Epanet

1) Ketinggian 4,2 m

- Network Pipa

Tabel 4.22 Network Links Rangkaian R-D Elevasi 4,2 m

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 2    | 80      | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.46       | 0.024           |
| Pipe 3    | 340     | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.43       | 0.022           |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.51       | 0.026           |
| Pipe 8    | 50      | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.43       | 0.022           |
| Pipe 9    | 150     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.87       | 0.023           |
| Pipe 10   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 11   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 12   | 290     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 13   | 30      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 2.21       | 0.027           |
| Pipe 14   | 100     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 15   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 16   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 2.05       | 0.025           |
| Pipe 17   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 18   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 19   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 20   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 21   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 2.05       | 0.025           |
| Pipe 22   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 23   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 25   | 50      | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.55      | 0.022           |
| Pipe 26   | 50      | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.55      | 0.022           |
| Pipe 27   | 100     | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.55      | 0.022           |
| Pipe 28   | 200     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 29   | 50      | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.94      | 0.023           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Network Node**

**Tabel 4.23 Network Nodes Rangkaian R-D Elevasi 4,2 m**

| Node     | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|----------|---------|-------|--------------|------------|
|          | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc A1  | 951     | 0     | 960.15       | 9.15       |
| Junc A2  | 950     | 0     | 960.12       | 10.12      |
| Junc B1  | 950     | 0     | 959.97       | 9.97       |
| Junc F1  | 926.5   | 0     | 958.99       | 32.49      |
| Junc F5  | 922.5   | 0     | 958.65       | 36.15      |
| Junc F10 | 904.5   | 0     | 958.18       | 53.68      |
| Junc D1  | 872.5   | 9     | 953.88       | 81.38      |
| Junc R2  | 954     | 0     | 960.17       | 6.17       |
| Junc B4  | 948.5   | 0     | 959.69       | 11.19      |
| Junc B5  | 944.5   | 0     | 959.6        | 15.1       |
| Junc B6  | 944.5   | 0     | 959.51       | 15.01      |
| Junc F2  | 926.5   | 0     | 958.92       | 32.42      |
| Junc F4  | 923.5   | 0     | 958.74       | 35.24      |
| Junc F6  | 918.5   | 0     | 958.55       | 40.05      |
| Junc F7  | 914.5   | 0     | 958.46       | 43.96      |
| Junc F8  | 914.5   | 0     | 958.37       | 43.87      |
| Junc F9  | 908.5   | 0     | 958.28       | 49.78      |
| Junc F11 | 902.5   | 0     | 958.08       | 55.58      |
| Junc F12 | 896.5   | 0     | 957.99       | 61.49      |
| Junc F13 | 893.5   | 0     | 957.9        | 64.4       |
| Junc F18 | 879.5   | 0     | 956.79       | 77.29      |
| Junc F19 | 876.5   | 0     | 956.07       | 79.57      |
| Junc F20 | 874.5   | 0     | 955.34       | 80.84      |
| Junc F17 | 881.5   | 0     | 957.54       | 76.04      |
| Resvr 1  | 960.2   | -9    | 960.2        | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 4,2 m sisa tekan pada titik D adalah 81,38 m. Total energi pada reservoir dikurangi dengan sisa energi yang terdapat pada titik pengambilan untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut dimasukkan pada persamaan Darcy Weisbach dengan panjang pipa , diameter pipa, kecepatan yang diketahui untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.



## 2) Ketinggian 3 m

- Network Links

**Tabel 4.24 Network Links Rangkaian R-D Elevasi 3 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | Mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 2    | 80      | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.46       | 0.024           |
| Pipe 3    | 340     | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.43       | 0.022           |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.51       | 0.026           |
| Pipe 8    | 50      | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.43       | 0.022           |
| Pipe 9    | 150     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.87       | 0.023           |
| Pipe 10   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 11   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 12   | 290     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 13   | 30      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 2.21       | 0.027           |
| Pipe 14   | 100     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 15   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 16   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 2.05       | 0.025           |
| Pipe 17   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 18   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 19   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 20   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 21   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 2.05       | 0.025           |
| Pipe 22   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 23   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 25   | 50      | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.55      | 0.022           |
| Pipe 26   | 50      | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.55      | 0.022           |
| Pipe 27   | 100     | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.55      | 0.022           |
| Pipe 28   | 200     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 29   | 50      | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.94      | 0.023           |

Sumber : Hasil Simulasi

- Network Nodes

**Tabel 4.25 Network Nodes Rangkaian R-D Elevasi 3 m**

| Nama Node | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|-----------|---------|-------|--------------|------------|
|           | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc A1   | 951     | 0     | 958.95       | 7.95       |
| Junc A2   | 950     | 0     | 958.92       | 8.92       |
| Junc B1   | 950     | 0     | 958.77       | 8.77       |
| Junc F1   | 926.5   | 0     | 957.79       | 31.29      |
| Junc F5   | 922.5   | 0     | 957.45       | 34.95      |
| Junc F10  | 904.5   | 0     | 956.98       | 52.48      |
| Junc D1   | 872.5   | 9     | 952.68       | 80.18      |
| Junc R2   | 954     | 0     | 958.97       | 4.97       |
| Junc B4   | 948.5   | 0     | 958.49       | 9.99       |
| Junc B5   | 944.5   | 0     | 958.4        | 13.9       |
| Junc B6   | 944.5   | 0     | 958.31       | 13.81      |

| Nama Node | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|-----------|---------|-------|--------------|------------|
|           | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc F2   | 926.5   | 0     | 957.72       | 31.22      |
| Junc F4   | 923.5   | 0     | 957.54       | 34.04      |
| Junc F6   | 918.5   | 0     | 957.35       | 38.85      |
| Junc F7   | 914.5   | 0     | 957.26       | 42.76      |
| Junc F8   | 914.5   | 0     | 957.17       | 42.67      |
| Junc F9   | 908.5   | 0     | 957.08       | 48.58      |
| Junc F11  | 902.5   | 0     | 956.88       | 54.38      |
| Junc F12  | 896.5   | 0     | 956.79       | 60.29      |
| Junc F13  | 893.5   | 0     | 956.7        | 63.2       |
| Junc F18  | 879.5   | 0     | 955.59       | 76.09      |
| Junc F19  | 876.5   | 0     | 954.87       | 78.37      |
| Junc F20  | 874.5   | 0     | 954.14       | 79.64      |
| Junc F17  | 881.5   | 0     | 956.34       | 74.84      |
| Resvr 1   | 959     | -9    | 957.72       | 31.22      |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 3 m sisa tekan pada titik D adalah 80,18 m. Total energi pada reservoir dikurangi dengan sisa energi yang terdapat pada titik pengambilan untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut dimasukkan pada persamaan Darcy Weisbach dengan panjang pipa , diameter pipa, kecepatan yang diketahui untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

## 2) Ketinggian 2 m

- Network Links

**Tabel 4.26 Network Links Rangkaian R-D Elevasi 2 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien Gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 2    | 80      | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.46       | 0.024           |
| Pipe 3    | 340     | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.43       | 0.022           |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.51       | 0.026           |
| Pipe 8    | 50      | 203      | 0.005     | 9      | 0.28      | 0.43       | 0.022           |
| Pipe 9    | 150     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.87       | 0.023           |
| Pipe 10   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 11   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 12   | 240     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 13   | 30      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 2.21       | 0.027           |
| Pipe 14   | 100     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 15   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 16   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 2.05       | 0.025           |
| Pipe 17   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien Gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 18   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 19   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 20   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 21   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 2.05       | 0.025           |
| Pipe 22   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 23   | 50      | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 25   | 50      | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.55      | 0.022           |
| Pipe 26   | 50      | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.55      | 0.022           |
| Pipe 27   | 100     | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.55      | 0.022           |
| Pipe 28   | 200     | 152      | 0.005     | 9      | 0.5       | 1.8        | 0.022           |
| Pipe 29   | 50      | 100.33   | 0.005     | 9      | 1.14      | 14.94      | 0.023           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Network Nodes**

**Tabel 4.27 Network Nodes Rangkaian R-D Elevasi 2 m**

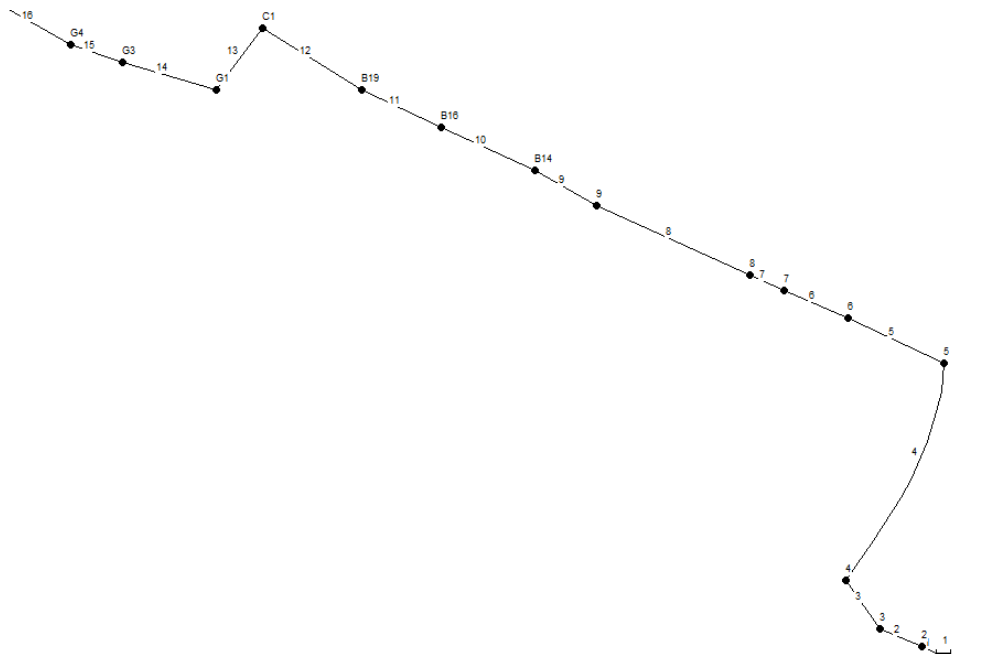
| Node     | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|----------|---------|-------|--------------|------------|
|          | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc A1  | 951     | 0     | 957.95       | 6.95       |
| Junc A2  | 950     | 0     | 957.92       | 7.92       |
| Junc B1  | 950     | 0     | 957.77       | 7.77       |
| Junc F1  | 926.5   | 0     | 956.79       | 30.29      |
| Junc F5  | 922.5   | 0     | 956.45       | 33.95      |
| Junc F10 | 904.5   | 0     | 955.98       | 51.48      |
| Junc D1  | 872.5   | 9     | 951.68       | 79.18      |
| Junc R2  | 954     | 0     | 957.97       | 3.97       |
| Junc B4  | 948.5   | 0     | 957.49       | 8.99       |
| Junc B5  | 944.5   | 0     | 957.4        | 12.9       |
| Junc B6  | 944.5   | 0     | 957.31       | 12.81      |
| Junc F2  | 926.5   | 0     | 956.72       | 30.22      |
| Junc F4  | 923.5   | 0     | 956.54       | 33.04      |
| Junc F6  | 918.5   | 0     | 956.35       | 37.85      |
| Junc F7  | 914.5   | 0     | 956.26       | 41.76      |
| Junc F8  | 914.5   | 0     | 956.17       | 41.67      |
| Junc F9  | 908.5   | 0     | 956.08       | 47.58      |
| Junc F11 | 902.5   | 0     | 955.88       | 53.38      |
| Junc F12 | 896.5   | 0     | 955.79       | 59.29      |
| Junc F13 | 893.5   | 0     | 955.7        | 62.2       |
| Junc F18 | 879.5   | 0     | 954.59       | 75.09      |
| Junc F19 | 876.5   | 0     | 953.87       | 77.37      |
| Junc F20 | 874.5   | 0     | 953.14       | 78.64      |
| Junc F17 | 881.5   | 0     | 955.34       | 73.84      |
| Resvr 1  | 958     | -9    | 958          | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 2 m sisa tekan pada titik D adalah 79,18 m. Total energi pada reservoir dikurangi dengan sisa energi yang terdapat pada titik pengambilan untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut dimasukkan pada persamaan Darcy Weisbach dengan panjang pipa, diameter pipa, kecepatan yang diketahui untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

#### 4.5.5 Rangkaian R-H

Pada rangkaian ini akan dilakukan simulasi dengan setting sesuai dengan lapangan. Debit yang mengalir ialah 4 l/dtk. Elevasi pipa tiap titik berdasarkan data lapangan, nilai koefisien kekasaran absolut berdasarkan hasil kalibrasi. Koefisien kehilangan akibat belokan dan perubahan diameter juga berubah. Dengan variasi tiga ketinggian air yaitu 4,2 m, 3 m dan 2 m. Berikut output hasil simulasi pada Rangkaian pipa R-H pada masing-masing ketinggian:



Gambar 4.23 Rangkaian R-H Pada Epanet

1) Ketinggian 4,2 m

- Network Links

Tabel 4.28 Network Links Rangkaian R-H Elevasi 4,2 m

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien Gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.11       | 0.03            |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.1        | 0.026           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.11       | 0.027           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.1        | 0.026           |
| Pipe 5    | 150     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.42       | 0.026           |
| Pipe 6    | 50      | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 7    | 50      | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 8    | 290     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 9    | 160     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 10   | 100     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 11   | 150     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 12   | 250     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 13   | 100     | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.89      | 0.025           |
| Pipe 14   | 100     | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.89      | 0.025           |
| Pipe 15   | 50      | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.5       | 0.024           |
| Pipe 16   | 200     | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.5       | 0.024           |
| Pipe 17   | 50      | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.58      | 0.024           |
| Pipe 18   | 50      | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.58      | 0.024           |

Sumber : Hasil Simulasi

- Network Nodes

Tabel 4.29 Network Nodes Rangkaian R-H Elevasi 4,2 m

| Nama Node | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|-----------|---------|-------|--------------|------------|
|           | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2    | 954     | 0     | 960.19       | 6.19       |
| Junc 3    | 951     | 0     | 960.19       | 9.19       |
| Junc 4    | 950     | 0     | 960.18       | 10.18      |
| Junc 5    | 950     | 0     | 960.15       | 10.15      |
| Junc 6    | 948.5   | 0     | 960.08       | 11.58      |
| Junc 7    | 944.5   | 0     | 960.06       | 15.56      |
| Junc 8    | 937.5   | 0     | 960.04       | 22.54      |
| Junc 9    | 926.5   | 0     | 959.93       | 33.43      |
| Junc B14  | 912.5   | 0     | 959.86       | 47.36      |
| Junc B16  | 898.5   | 0     | 959.82       | 61.32      |
| Junc B19  | 897.5   | 0     | 959.76       | 62.26      |
| Junc C1   | 881.5   | 0     | 959.66       | 78.16      |
| Junc G1   | 880.5   | 0     | 958.37       | 77.87      |
| Junc G3   | 871.5   | 0     | 957.08       | 85.58      |
| Junc G4   | 864.5   | 0     | 956.46       | 91.96      |
| Junc G8   | 858.5   | 0     | 953.96       | 95.46      |

| Nama Node | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|-----------|---------|-------|--------------|------------|
|           | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 18   | 856.5   | 0     | 953.33       | 96.83      |
| Junc H1   | 853.5   | 4     | 952.7        | 99.2       |
| Resvr 1   | 960.2   | -4    | 960.2        | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 4,2 m sisa tekan pada titik H adalah 99,2 m. Total energi pada reservoir dikurangi dengan sisa energi yang terdapat pada titik pengambilan untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut dimasukkan pada persamaan Darcy Weisbach dengan panjang pipa, diameter pipa, kecepatan yang diketahui untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

## 2) Ketinggian 3 m

- Network Links

**Tabel 4.30 Network Links Rangkaian R-H Elevasi 3 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien Gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.11       | 0.03            |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.1        | 0.026           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.11       | 0.027           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.1        | 0.026           |
| Pipe 5    | 150     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.42       | 0.026           |
| Pipe 6    | 50      | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 7    | 50      | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 8    | 290     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 9    | 160     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 10   | 100     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 11   | 150     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 12   | 250     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 13   | 100     | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.89      | 0.025           |
| Pipe 14   | 100     | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.89      | 0.025           |
| Pipe 15   | 50      | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.5       | 0.024           |
| Pipe 16   | 200     | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.5       | 0.024           |
| Pipe 17   | 50      | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.58      | 0.024           |
| Pipe 18   | 50      | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.58      | 0.024           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Network Nodes**

**Tabel 4.31 Network Nodes Rangkaian R-H Elevasi 3 m**

| Node     | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|----------|---------|-------|--------------|------------|
|          | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2   | 954     | 0     | 958.99       | 4.99       |
| Junc 3   | 951     | 0     | 958.99       | 7.99       |
| Junc 4   | 950     | 0     | 958.98       | 8.98       |
| Junc 5   | 950     | 0     | 958.95       | 8.95       |
| Junc 6   | 948.5   | 0     | 958.88       | 10.38      |
| Junc 7   | 944.5   | 0     | 958.86       | 14.36      |
| Junc 8   | 937.5   | 0     | 958.84       | 21.34      |
| Junc 9   | 926.5   | 0     | 958.73       | 32.23      |
| Junc B14 | 912.5   | 0     | 958.66       | 46.16      |
| Junc B16 | 898.5   | 0     | 958.62       | 60.12      |
| Junc B19 | 897.5   | 0     | 958.56       | 61.06      |
| Junc C1  | 881.5   | 0     | 958.46       | 76.96      |
| Junc G1  | 880.5   | 0     | 957.17       | 76.67      |
| Junc G3  | 871.5   | 0     | 955.88       | 84.38      |
| Junc G4  | 864.5   | 0     | 955.26       | 90.76      |
| Junc G8  | 858.5   | 0     | 952.76       | 94.26      |
| Junc 18  | 856.5   | 0     | 952.13       | 95.63      |
| Junc H1  | 853.5   | 4     | 951.5        | 98         |
| Resvr 1  | 959     | -4    | 959          | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 3 m sisa tekan pada titik H adalah 98 m. Total energi pada reservoir dikurangi dengan sisa energi yang terdapat pada titik pengambilan untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan energi tersebut dimasukkan pada persamaan Darcy Weisbach dengan panjang pipa , diameter pipa, kecepatan yang diketahui untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa.

### 3) Ketinggian 2 m

- **Network Links**

**Tabel 4.32 Network Links Rangkaian R-H Elevasi 2 m**

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien Gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 1    | 50      | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.11       | 0.03            |
| Pipe 2    | 50      | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.1        | 0.026           |
| Pipe 3    | 80      | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.11       | 0.027           |
| Pipe 4    | 340     | 203      | 0.005     | 4      | 0.12      | 0.1        | 0.026           |
| Pipe 5    | 150     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.42       | 0.026           |

| Nama Pipa | Panjang | Diameter | Kekasaran | Aliran | Kecepatan | Kehilangan | Koefisien Gesek |
|-----------|---------|----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
|           | m       | mm       | mm        | l/dtk  | m/dtk     | m/km       |                 |
| Pipe 6    | 50      | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 7    | 50      | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 8    | 290     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 9    | 160     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 10   | 100     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 11   | 150     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 12   | 250     | 152      | 0.005     | 4      | 0.22      | 0.4        | 0.025           |
| Pipe 13   | 100     | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.89      | 0.025           |
| Pipe 14   | 100     | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.89      | 0.025           |
| Pipe 15   | 50      | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.5       | 0.024           |
| Pipe 16   | 200     | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.5       | 0.024           |
| Pipe 17   | 50      | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.58      | 0.024           |
| Pipe 18   | 50      | 76.2     | 0.005     | 4      | 0.88      | 12.58      | 0.024           |

Sumber : Hasil Simulasi

- **Network Nodes**

**Tabel 4.33 Network Nodes Rangkaian R-H Elevasi 2 m**

| Node     | Elevasi | Debit | Tinggi Tekan | Sisa Tekan |
|----------|---------|-------|--------------|------------|
|          | m       | l/dtk | m            | m          |
| Junc 2   | 954     | 0     | 957.99       | 3.99       |
| Junc 3   | 951     | 0     | 957.99       | 6.99       |
| Junc 4   | 950     | 0     | 957.98       | 7.98       |
| Junc 5   | 950     | 0     | 957.95       | 7.95       |
| Junc 6   | 948.5   | 0     | 957.88       | 9.38       |
| Junc 7   | 944.5   | 0     | 957.86       | 13.36      |
| Junc 8   | 937.5   | 0     | 957.84       | 20.34      |
| Junc 9   | 926.5   | 0     | 957.73       | 31.23      |
| Junc B14 | 912.5   | 0     | 957.66       | 45.16      |
| Junc B16 | 898.5   | 0     | 957.62       | 59.12      |
| Junc B19 | 897.5   | 0     | 957.56       | 60.06      |
| Junc C1  | 881.5   | 0     | 957.46       | 75.96      |
| Junc G1  | 880.5   | 0     | 956.17       | 75.67      |
| Junc G3  | 871.5   | 0     | 954.88       | 83.38      |
| Junc G4  | 864.5   | 0     | 954.26       | 89.76      |
| Junc G8  | 858.5   | 0     | 951.76       | 93.26      |
| Junc 18  | 856.5   | 0     | 951.13       | 94.63      |
| Junc H1  | 853.5   | 4     | 950.5        | 97         |
| Resvr 1  | 958     | -4    | 958          | 0          |

Sumber : Hasil Simulasi

Dari hasil output dengan ketinggian air 3 m sisa tekan pada titik H adalah 97 m. Total energi pada reservoir dikurangi dengan sisa energi yang terdapat pada titik pengambilan untuk mendapatkan nilai kehilangan energi pada rangkaian tersebut. Nilai kehilangan



energi tersebut dimasukkan pada persamaan Darcy Weisbach dengan panjang pipa, diameter pipa, kecepatan yang diketahui untuk mencari nilai koefisien gesek (f) pada masing-masing pipa

#### 4.6 Nilai Kehilangan Energi

Kehilangan energi didapatkan dari selisih nilai energi di reservoir dengan sisa energi dititik pengambilan. Nilai sisa energi didapatkan dari output epanet. Berikut adalah nilai kehilangan energi pada masing-masing rangkaian dengan tiga ketinggian air di Reservoir.

**Tabel 4.34 Nilai Kehilangan Energi Pada Masing-Masing Rangkaian**

| No | Rangkaian | Ketinggian elevasi air(m) | Energi di Reservoir (m) | Sisa energi di ujung (m) | Kehilangan Energi (m) |
|----|-----------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1. | R-B       | 4,2                       | 10,2                    | 10,18                    | 0,02                  |
| 2. |           | 3                         | 9                       | 8,98                     | 0,02                  |
| 3. |           | 2                         | 8                       | 7,98                     | 0,02                  |
| 4. | R-F       | 4,2                       | 34,7                    | 31,61                    | 3,09                  |
| 5. |           | 3                         | 33,5                    | 30,41                    | 3,09                  |
| 6. |           | 2                         | 32,5                    | 29,41                    | 3,09                  |
| 7. | R-C       | 4,2                       | 78,7                    | 72,81                    | 5,89                  |
| 8. |           | 3                         | 77,5                    | 71,61                    | 5,89                  |
| 9. |           | 2                         | 76,5                    | 70,6                     | 5,89                  |
| 10 | R-D       | 4,2                       | 88,2                    | 81,38                    | 6,82                  |
| 11 |           | 3                         | 87                      | 80,18                    | 6,82                  |
| 12 |           | 2                         | 86                      | 79,18                    | 6,82                  |
| 13 | R-H       | 4,2                       | 106,7                   | 99,2                     | 7,5                   |
| 14 |           | 3                         | 105,5                   | 98                       | 7,5                   |
| 15 |           | 2                         | 104,5                   | 97                       | 7,5                   |

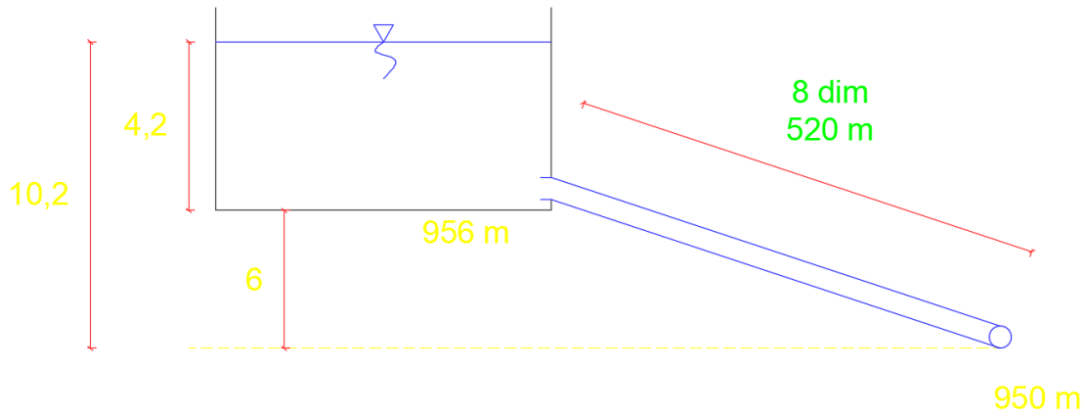
Sumber : Hasil Perhitungan

Dari **Tabel 4.34** nilai kehilangan energi pada tiap rangkaian dengan variasi ketinggian 4,2 m, 3 m dan 2 m mendapatkan nilai kehilangan energi yang sama. Dari nilai kehilangan tersebut kemudian dilakukan perhitungan analitik untuk mendapatkan persamaan tiap rangkaian pipa.

#### 4.7 Perhitungan Analitik Untuk Mendapatkan Nilai f Simulasi

Setelah dilakukan simulasi menggunakan program kemudian dilakukan perhitungan analitik untuk mendapatkan nilai f. Berikut perhitungan analitik yang dilakukan pada jaringan R-B dan R-C.

##### 4.5.1 Rangkaian R-B



**Gambar 4.24 Besar Energi Pada Rangkaian R-B**

$$\text{Ketinggian } 4,2 \text{ m} \rightarrow 10,2 - 10,18 = 0,02\text{m}$$

$$\text{Ketinggian } 3 \text{ m} \rightarrow 9 - 8,98 = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Ketinggian } 2 \text{ m} \rightarrow 8 - 7,98 = 0,02 \text{ m}$$

$$h_f = f_1 \frac{L}{D} \frac{V_1^2}{2g} + k_1 \frac{V_1^2}{2g} + k_2 \frac{V_2^2}{2g} + k_3 \frac{V_3^2}{2g} + k_4 \frac{V_3^2}{2g}$$

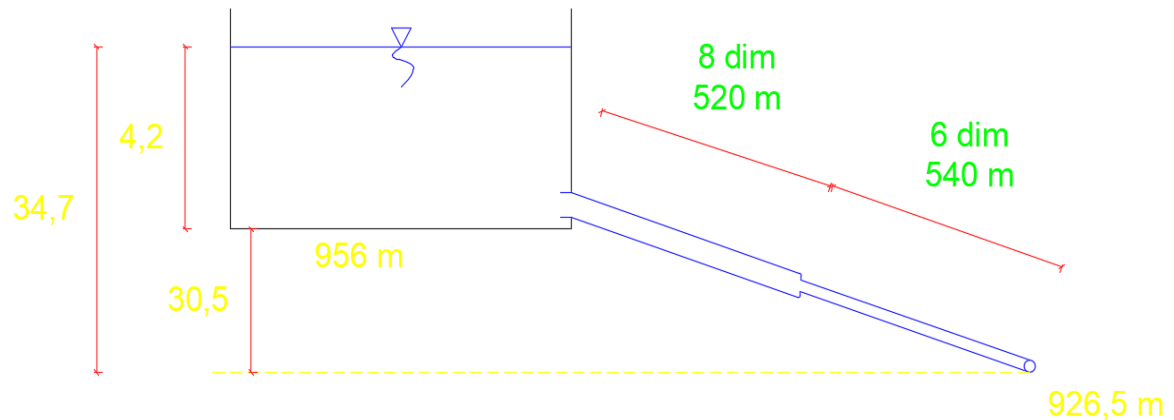
$$0,02 = f_1 \frac{520}{0,203} \frac{0,08^2}{2 \times 9,8} + (k_1 + k_2 + k_3) \frac{V_1^2}{2g}$$

$$0,02 = f_1 \frac{520}{0,203} \frac{0,08^2}{2 \times 9,8} + (1 + 0,0725 + 0,645 + 10) \frac{0,08^2}{2 \times 9,8}$$

$$0,02 = f_1 \times 2561,57 \times 0,000326 + 11,7175 \times 0,000326$$

$$0,01614 = 0,835 f_1$$

#### 4.6.2 Rangkaian R-F



**Gambar 4.25 Besar Energi Pada Rangkaian R-F**

$$\text{Ketinggian } 4,2 \text{ m} \rightarrow 34,7 - 31,61 = 3,09 \text{ m}$$

$$\text{Ketinggian } 3 \text{ m} \rightarrow 33,5 - 30,41 = 3,09 \text{ m}$$

$$\text{Ketinggian } 2 \text{ m} \rightarrow 32,5 - 29,41 = 3,09 \text{ m}$$

$$h_f = f_1 \frac{L V_1^2}{D 2g} + f_2 \frac{L V_2^2}{D 2g} + k_1 \frac{V_1^2}{2g} + k_2 \frac{V_2^2}{2g} + k_3 \frac{V_3^2}{2g} + k_4 \frac{V_4^2}{2g} + k_5 \frac{V_5^2}{2g} + k_6 \frac{V_5^2}{2g}$$

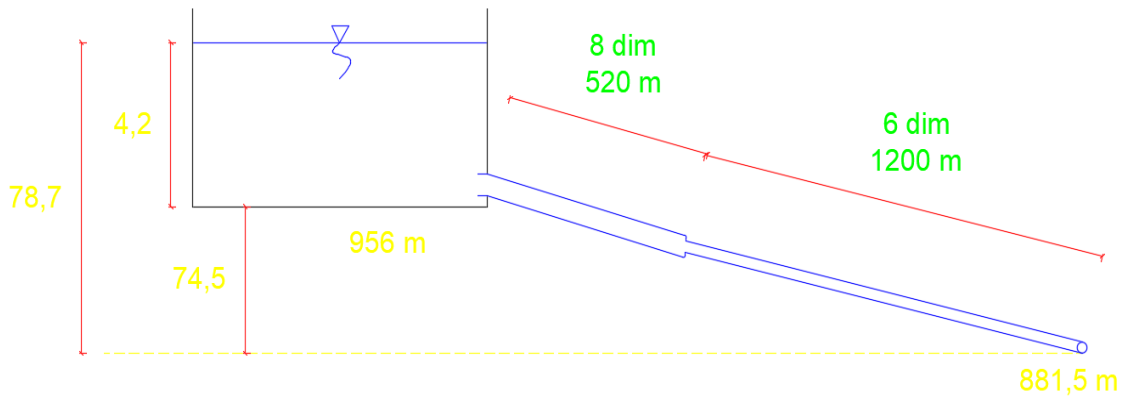
$$3,09 = f_1 \frac{520}{0,203} \frac{0,37^2}{2 \times 9,8} + f_2 \frac{520}{0,152} \frac{0,66^2}{2 \times 9,8} + (k_1 + k_2 + k_3) \frac{V_1^2}{2g} + (k_4 + k_5 + k_6) \frac{V_2^2}{2g}$$

$$3,09 = f_1 \frac{520}{0,203} \frac{0,37^2}{2 \times 9,8} + f_2 \frac{520}{0,152} \frac{0,66^2}{2 \times 9,8} + (1 + 0,0725 + 0,645) \frac{0,37^2}{2 \times 9,8} + (0,645 + 0,2 + 10) \frac{0,66^2}{2 \times 9,8}$$

$$3,09 = 17,67f_1 + 78,15f_2 + 1,717 \times 0,069 + 10,845 \times 0,022$$

$$2,73 = 17,67f_1 + 78,15f_2$$

### 4.6.3 Rangkaian R-C



**Gambar 4.26 Besar Energi Pada Rangkaian R-C**

Ketinggian 4,2 m  $\rightarrow 78,7 - 72,81 = 5,89$  m

Ketinggian 3 m  $\rightarrow 77,5 - 71,61 = 5,89$  m

Ketinggian 2 m  $\rightarrow 76,5 - 71,61 = 5,89$  m

$$h_f = f_1 \frac{L V_1^2}{D 2g} + f_2 \frac{L V_2^2}{D 2g} + k_1 \frac{V_1^2}{2g} + k_2 \frac{V_2^2}{2g} + k_3 \frac{V_3^2}{2g} + k_4 \frac{V_4^2}{2g} + k_5 \frac{V_5^2}{2g} + k_6 \frac{V_5^2}{2g}$$

$$5,89 = f_1 \frac{520 \cdot 0,45^2}{0,203 \cdot 2 \times 9,8} + f_2 \frac{1200 \cdot 0,8^2}{0,152 \cdot 2 \times 9,8} + (k_1 + k_2 + k_3) \frac{V_1^2}{2g} + (k_4 + k_5 + k_6) \frac{V_2^2}{2g}$$

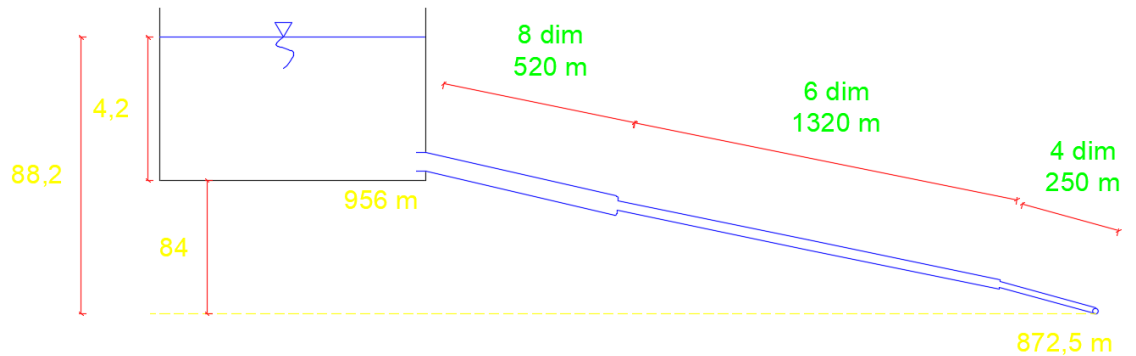
$$5,89 = f_1 \frac{520 \cdot 0,45^2}{0,203 \cdot 2 \times 9,8} + f_2 \frac{1200 \cdot 0,8^2}{0,152 \cdot 2 \times 9,8} + (1 + 0,0725 + 0,645) \frac{0,45^2}{2 \times 9,8} + (0,645 + 0,2 + 10) \frac{0,8^2}{2 \times 9,8}$$

$$5,89 = f_1 \times 2561,57 \times 0,010 + f_2 \times 7894,736 \times 0,032 + 1,715 \times 0,010 + 10,845 \times 0,032$$

$$5,89 = 25,61 f_1 + 252,63 f_2 + 0,01717 + 0,347$$

$$5,5328 = 25,61 f_1 + 252,63 f_2$$

#### 4.6.4 Rangkaian R-D



**Gambar 4.27 Besar Energi Pada Rangkaian R-B**

Ketinggian 4,2 m  $\rightarrow 88,2 - 81,38 = 6,82$  m

Ketinggian 3 m  $\rightarrow 87 - 80,18 = 6,82$  m

Ketinggian 2 m  $\rightarrow 86 - 79,18 = 6,82$  m

$$h_f = f_1 \frac{L V_1^2}{D 2g} + f_2 \frac{L V_2^2}{D 2g} + f_4 \frac{L V_4^2}{D 2g} + k_1 \frac{V_1^2}{2g} + k_2 \frac{V_2^2}{2g} + k_3 \frac{V_3^2}{2g} + k_4 \frac{V_4^2}{2g} + k_5 \frac{V_5^2}{2g} + k_6 \frac{V_5^2}{2g} + k_7 \frac{V_7^2}{2g} + k_8 \frac{V_8^2}{2g} + k_9 \frac{V_7^2}{2g} + k_{10} \frac{V_8^2}{2g}$$

$$6,82 = f_1 \frac{520}{0,203} \frac{0,28^2}{2 \times 9,8} + f_2 \frac{1320}{0,152} \frac{0,5^2}{2 \times 9,8} + f_4 \frac{250}{0,10} \frac{1,14^2}{2 \times 9,8} + (k_1 + k_2 + k_3) \frac{V_1^2}{2g}$$

$$+ (k_4 + k_5 + k_6 + k_7 + k_8 + k_9) \frac{V_2^2}{2g} + (k_{10} + k_{11}) \frac{V_3^2}{2g}$$

$$6,82 = f_1 \frac{520}{0,203} \frac{0,28^2}{2 \times 9,8} + f_2 \frac{1320}{0,152} \frac{0,5^2}{2 \times 9,8} + f_4 \frac{250}{0,10} \frac{1,14^2}{2 \times 9,8} + (1 + 0,0725 + 0,645) \frac{0,28^2}{2 \times 9,8}$$

$$+ (0,645 + 0,98 + 0,98 + 0,74 + 0,36 + 0,2) \frac{0,5^2}{2 \times 9,8}$$

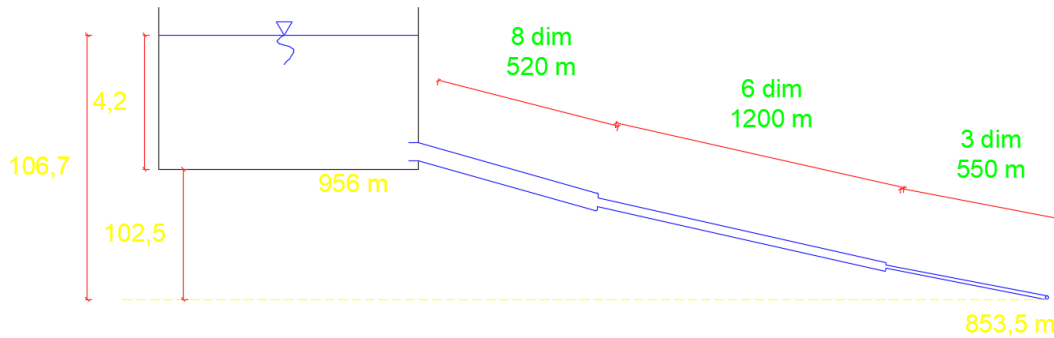
$$+ (0,3 + 10) \frac{1,14^2}{2 \times 9,8}$$

$$6,82 = f_1 \times 2561,57 \times 0,004 + f_2 \times 8684,21 \times 0,012 + f_4 \times 2500 \times 0,066 + 1,717 \times 0,004 + 3,905 \times 0,012 + 10,3 \times 0,012$$

$$6,82 = 10,24 f_1 + 104,21 f_2 + 165 f_4 + 0,0068 + 0,0446 + 0,1236$$

$$6,645 = 10,24 f_1 + 104,21 f_2 + 165 f_4$$

#### 4.6.5 Rangkaian R-H



**Gambar 4.28 Besar Energi Pada Rangkaian R-H**

Ketinggian 4,2 m  $\rightarrow 106,7 - 99,2 = 7,5$  m

Ketinggian 3 m  $\rightarrow 105,5 - 98 = 7,5$  m

Ketinggian 2 m  $\rightarrow 104,5 - 97 = 7,5$  m

$$h_f = f_1 \frac{L V_1^2}{D 2g} + f_2 \frac{L V_2^2}{D 2g} + f_3 \frac{L V_3^2}{D 2g} + k_1 \frac{V_1^2}{2g} + k_2 \frac{V_2^2}{2g} + k_3 \frac{V_3^2}{2g} + k_4 \frac{V_4^2}{2g} + k_5 \frac{V_5^2}{2g} + k_6 \frac{V_5^2}{2g} + k_7 \frac{V_7^2}{2g} + k_8 \frac{V_8^2}{2g} + k_9 \frac{V_9^2}{2g} + k_{10} \frac{V_{10}^2}{2g} + k_{11} \frac{V_{10}^2}{2g}$$

$$7,5 = f_1 \frac{520}{0,203} \frac{0,12^2}{2 \times 9,8} + f_2 \frac{1200}{0,152} \frac{0,22^2}{2 \times 9,8} + f_3 \frac{550}{0,0763} \frac{0,88^2}{2 \times 9,8} + (k_1 + k_2 + k_3) \frac{V_1^2}{2g} + (k_4 + k_5) \frac{V_2^2}{2g} + (k_6 + k_7 + k_8 + k_9 + k_{10} + k_{11}) \frac{V_3^2}{2g}$$

$$7,5 = f_1 \frac{520}{0,203} \frac{0,12^2}{2 \times 9,8} + f_2 \frac{1200}{0,152} \frac{0,22^2}{2 \times 9,8} + f_3 \frac{550}{0,0763} \frac{0,88^2}{2 \times 9,8} + (1 + 0,0725 + 0,645) \frac{0,12^2}{2 \times 9,8} + (0,645 + 0,2) \frac{0,22^2}{2 \times 9,8} + (0,98 + 0,98 + 0,095 + 0,095 + 0,35 + 10) \frac{0,88^2}{2 \times 9,8}$$

$$7,5 = f_1 2561,57 \times 0,00073 + f_2 7894,73 \times 0,0024 + f_3 7208,38 \times 0,039 + 1,717 \times 0,00073 + 0,845 \times 0,0024 + 12,5 \times 0,039$$

$$7,5 = 1,86 f_1 + 18,94 f_2 + 281 f_3 + 0,001 + 0,002 + 0,4875$$

$$7,0095 = 1,86 f_1 + 18,94 f_2 + 281 f_3$$

Perhitungan analitik pada lima rangkaian menghasilkan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned}
 0,01614 &= 0,835 f_1 \\
 2,73 &= 17,67 f_1 + 78,15 f_2 \\
 5,5328 &= 25,61 f_1 + 252,63 f_2 \\
 7,0095 &= 1,86 f_1 + 18,94 f_2 + 281 f_3 \\
 6,645 &= 10,24 f_1 + 104,21 f_2 + 165 f_4
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan penyelesaian dengan menggunakan matrik untuk mendapatkan nilai masing-masing  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ , dan  $f_4$  seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} 0,01614 \\ 2,73 \\ 7,0095 \\ 6,645 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,835 & 0 & 0 & 0 \\ 17,67 & 78,15 & 0 & 0 \\ 25,61 & 252,63 & 0 & 0 \\ 1,86 & 18,94 & 281 & 0 \\ 10,24 & 104,21 & 0 & 165 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix}$$

$$[Y] = [A] \cdot [\phi]$$

$$[A]^T \cdot [Y] = [A]^T \cdot [A] \cdot \phi$$

$$\phi = [A^T \cdot A]^{-1} \cdot A^T \cdot Y$$

$$\begin{aligned}
 &0,019 \\
 \text{hasil} &= \begin{bmatrix} 0,019 \\ 0,022 \\ 0,019 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan didapatkan nilai  $f$  seperti ditunjukkan pada tabel :

**Tabel 4.35 Nilai f Hasil Berdasarkan Simulasi**

| No | Nama Pipa | Nilai f |
|----|-----------|---------|
| 1. | Pipa 1    | 0,019   |
| 2. | Pipa 2    | 0,020   |
| 3. | Pipa 3    | 0,022   |
| 4. | Pipa 4    | 0,019   |

Sumber : Hasil Perhitungan

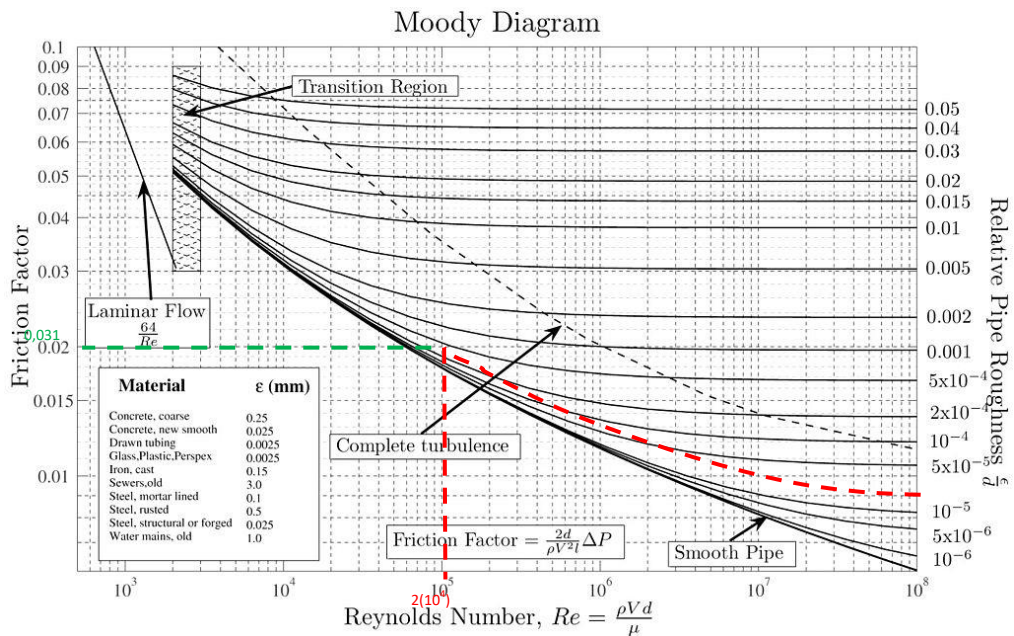
Hasil nilai  $f$  yang didapatkan disebut dengan nilai  $f$  Simulasi. Nilai  $f$  simulasi diamsusikan sebagai nilai  $f$  yang sebenarnya berdasarkan kondisi pipa dilapangan. Dari nilai  $f$  simulasi akan dianalisa kondisi pipa setelah beroperasi selama tiga tahun.

## 4.8 Nilai f Hasil Teori

### 4.8.1 Grafik Moody

#### 4.8.1.1 Pipa 1 Diameter 8 Inch

Untuk mencari nilai  $f$  dengan menggunakan Grafik Moody pipa satu, maka perlu diketahui nilai kekasaran absolut, kekasaran relative dan bilangan reynold dari pipa tersebut. Nilai  $e = 0,005$  mm dan  $D = 203$  mm, Bilangan Reynold = 156888,24. Maka dilakukan pencarian menggunakan Grafik Moody seperti dibawah ini:



Sumber : Streeter, 1992

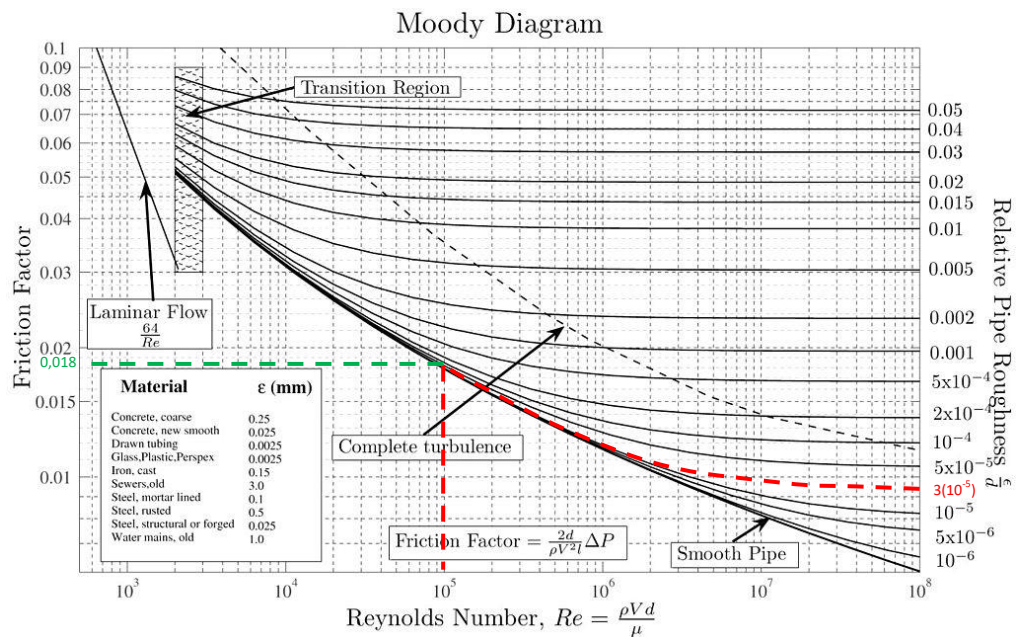
#### GAMBAR 4.29 Grafik Moody Pipa 1

Nilai kekasaran rekatif pada samping kiri didapatkan dari nilai kekasaran absolut dibagi dengan diameter pipa. Kekasaran absolut 0,005 dibagi dengan 203 mm. Didapatkan nilai  $1 \times 10^{-5}$ , kemudian ditarik garis sampai bertemu dengan nilai  $Re$ , titik pertemuan ditarik ke kiri untuk mendapatkan nilai koefisien gesek ( $f$ ) Hasil dari Grafik Moody Didapatkan nilai  $f$  untuk pipa satu adalah: 0,019.



#### 4.8.1.2 Pipa 2 Diameter 6 Inch

Untuk mencari nilai  $f$  dengan menggunakan Grafik Moody pipa dua, maka perlu diketahui nilai kekasaran absolut, kekasaran relative dan bilangan reynold dari pipa tersebut. Nilai  $e= 0,005$  mm dan  $D=152$ mm, Bilangan Reynold= $100569,90$ .. Maka dilakukan pencarian menggunakan Grafik Moody seperti dibawah ini:



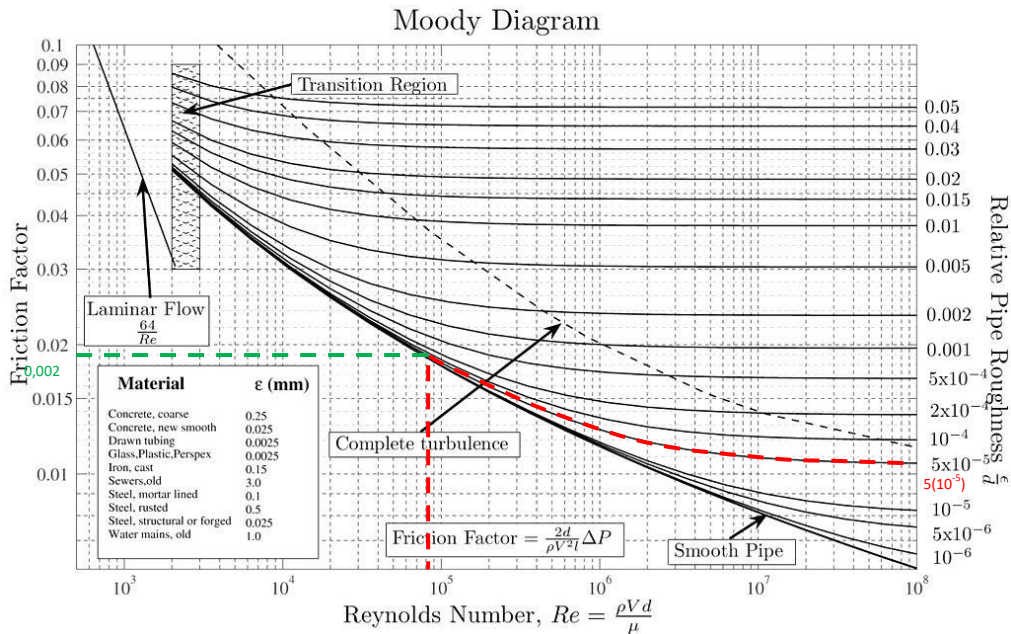
Sumber : Streeter, 1992

**GAMBAR 4.30 Grafik Moody Pipa 2**

Nilai kekasaran rekatif pada samping kiri didapatkan dari nilai kekasaran absolut dibagi dengan diameter pipa. Kekasaran absolut  $0,005$  dibagi dengan  $152$  mm. Didapatkan nilai  $3 \times 10^{-5}$ , kemudian ditarik garis sampai bertemu dengan nilai  $Re$ , titik pertemuan ditarik ke kiri untuk mendapatkan nilai koefisien gesek ( $f$ ) Hasil dari Grafik Moody Didapatkan nilai  $f$  untuk pipa satu adalah:  $0,018$ .

### 4.8.1.3 Pipa 3 Diameter 4 Inch

Untuk mencari nilai  $f$  dengan menggunakan Grafik Moody pipa dua, maka perlu diketahui nilai kekasaran absolut, kekasaran relative dan bilangan reynold dari pipa tersebut. Nilai  $e = 0,005$  mm dan  $D = 102$  mm, Bilangan Reynold = 112401,65. Maka dilakukan pencarian menggunakan Grafik Moody seperti dibawah ini:



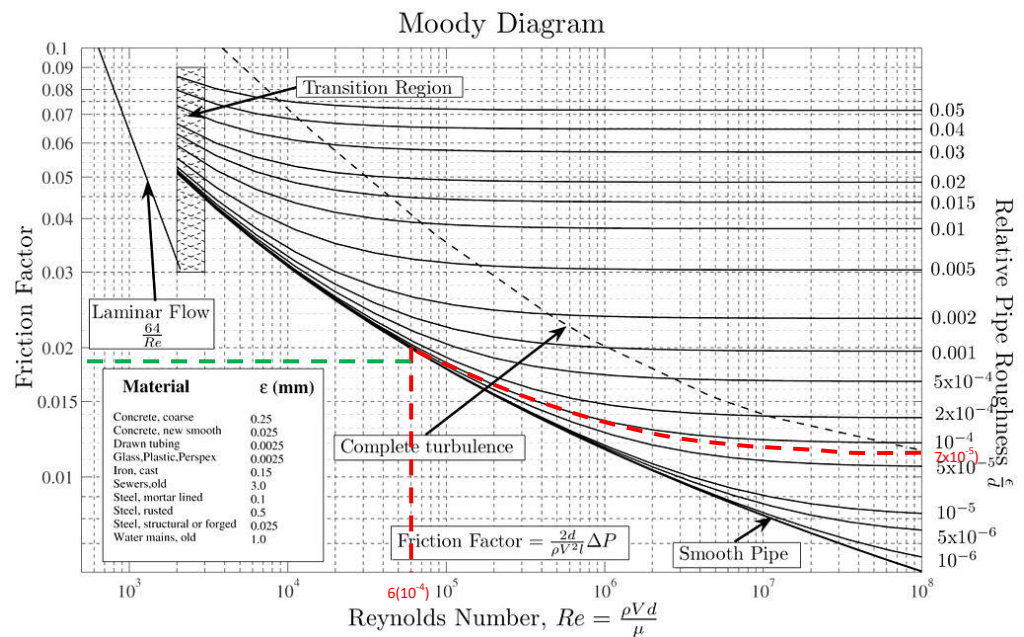
Sumber : Streeter, 1992

**GAMBAR 4.31 Grafik Moody Pipa 3**

Nilai kekasaran rekatif pada samping kiri didapatkan dari nilai kekasaran absolut dibagi dengan dimaeter pipa. Kekasaran absolut 0,005 dibagi dengan 102 mm. Didapatkan nilai  $5 \times 10^{-5}$ , kemudian ditarik garis sampai bertemu dengan nilai Re, titik pertemuan ditarik ke kiri untuk mendapatkan nilai koefisien gesek ( $f$ ) Hasil dari Grafik Moody Didapatkan nilai  $f$  untuk pipa satu adalah: 0,020.

#### 4.8.1.4 Pipa 4 Diameter 3 Inch

Untuk mencari nilai  $f$  dengan menggunakan Grafik Moody pipa dua, maka perlu diketahui nilai kekasaran absolut, kekasaran relative dan bilangan reynold dari pipa tersebut. Nilai  $e = 0,005$  mm dan  $D = 76,2$  mm, Bilangan Reynold = 66870,62. Maka dilakukan pencarian menggunakan Grafik Moody seperti dibawah ini:



Sumber : Streeter, 1992

#### GAMBAR 4.32 Grafik Moody Pipa 4

Nilai kekasaran rekatif pada samping kiri didapatkan dari nilai kekasaran absolut dibagi dengan dimaeter pipa. Kekasaran absolut 0,005 dibagi dengan 76,2 mm. Didapatkan nilai  $7 \times 10^{-5}$ , kemudian ditarik garis sampai bertemu dengan nilai  $Re$ , titik pertemuan ditarik ke kiri untuk mendapatkan nilai koefisien gesek ( $f$ ) Hasil dari Grafik Moody Didapatkan nilai  $f$  untuk pipa satu adalah: 0,019.

Hasil dari Grafik Moody Didapatkan nilai f untuk pipa Empat adalah

**Tabel 4.36 Nilai f Berdasarkan Grafik Moody**

| No | Nama Pipa | Diameter (Inch) | Nilai f |
|----|-----------|-----------------|---------|
| 1. | Pipa 1    | 8               | 0,019   |
| 2. | Pipa 2    | 6               | 0,018   |
| 3. | Pipa 3    | 3               | 0,020   |
| 4. | Pipa 4    | 4               | 0,018   |

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.8.2 Rumus Blasius

Berdasarkan teori, Blasius memberikan persamaan untuk mendapatkan nilai koefisien gesek pada pipa berdasarkan jenis aliran yang terjadi pada pipa. Pada tahap ini, dilakukan perhitungan bilangan Reynold yang terjadi pada tiap jaringan, kemudian berdasarkan jenis aliran ditentukan rumus untuk mendapatkan nilai koefisien gesek. Berdasarkan nilai Re kelima rangkaian termasuk dalam jenis aliran Turbulen maka rumus yang digunakan ialah:

$f = 0,316/Re^{0,25}$  . Hasil Dari perhitungannya seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.36**.

**Tabel 4.37 Nilai f Berdasarkan Rumus Blasius**

| Nama   | Q (l/dtk) | Q (m3/dtk) | V (m/dtk) | A (m2)  | D (m)  | RE<br>V D/ v | Viskositas | f     |
|--------|-----------|------------|-----------|---------|--------|--------------|------------|-------|
| Pipa 1 | 2.5       | 0.0025     | 0.08      | 0.03235 | 0.203  | 15688.24     | 0.000001   | 0.020 |
| Pipa 2 | 12        | 0.012      | 0.66      | 0.01814 | 0.152  | 100569.90    | 0.000001   | 0.018 |
| Pipa 3 | 4         | 0.004      | 0.88      | 0.00456 | 0.0762 | 66870.62     | 0.000001   | 0.020 |
| Pipa 4 | 9         | 0.009      | 1.10      | 0.00817 | 0.102  | 112401.65    | 0.000001   | 0.017 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil nilai f simulasi dan Rumus Blasius dilakukan perbandingan untuk mendapatkan nilai selisih.

#### 4.9 Perbandingan Nilai f Teoritis dan f Simulasi

**Tabel 4.38 Perbandingan Nilai f Teoritis dan Simulasi**

| No | f Simulasi | f Blasius | Selisih % | f Moody | Selisih % |
|----|------------|-----------|-----------|---------|-----------|
| 1  | 0,019      | 0,020     | 5         | 0,020   | 5         |
| 2  | 0,019      | 0,018     | 5         | 0,018   | 5         |
| 3  | 0,022      | 0,020     | 9         | 0,020   | 9         |
| 4  | 0,019      | 0,017     | 9         | 0,018   | 5         |

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari **Tabel 4.37** Didapatkan selisih antara f simulasi dan f teori kurang dari <10%.

#### 4.10 Analisa Kondisi Pipa

Nilai f di pengaruhi oleh debit, jenis pipa dan diameter pipa. Pipa dengan diameter tertentu akan memiliki nilai f yang berbeda ketika debit yang dialirkan berbeda. Pada penelitian ini menggunakan debit tertentu dengan besaran yang sama dengan debit yang digunakan pada perhitungan teori.

Berdasarkan nilai f yang didapatkan pada simulasi dihasilkan jika nilai f pada masing-masing pipa adalah baik. Selain itu, selisih antara nilai f teoritis yang di dapatkan dari rumus Blasius dan Grafik Moody yang dibandingkan dengan nilai f simulasi analitis dan program didapatkan selisih kurang dari 10%, berarti kondisi pipa di jaringan irigasi tersebut adalah baik dan masih sesuai dengan kriteria awal ketika perencanaan setelah beroperasi selama tiga tahun.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN

#### 5.1 Kesimpulan Penelitian

Dari hasil penelitian dan analisa dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada penelitian ini jaringan pipa yang ada dibagi menjadi lima rangkaian yaitu: R-F, R-B, R-C, R-D dan R-H, untuk menganalisa masing-masing kondisi pipa. Tiap Rangkaian mengalirkan air dari reservoir ke satu titik pengambilan.
2. Nilai kehilangan energi lima rangkaian menggunakan simulasi program dengan nilai debit tertentu masing-masing yaitu : Rangkaian R-B = 0,02 m, debit yang digunakan 2,5 l/dtk. Rangkaian R-C= 5,89 m, debit yang digunakan 14,5 l/dtk. Rangkaian R-F= 3,09 m, debit yang digunakan 12 l/dtk. Rangkaian R-H=7,5 m ,dengan debit yang digunakan 4 l/dtk. Rangkaian R-D=6,82 m, dengan debit 4 l/dtk. Nilai kehilangan energi ini digunakan untuk menghitung nilai  $f$  pada langkah selanjutnya.
3. Nilai  $f$  pipa pada masing-masing pipa didapatkan hasil Pipa 1  $\varnothing 8$ Inch = 0,019, pipa 2  $\varnothing 6$ Inch = 0,019, Pipa 3  $\varnothing 3$  Inch = 0,022, Pipa 4  $\varnothing 4$  Inch = 0,019.
4. Nilai  $f$  teori menurut Rumus Blasius adalah Pipa 1  $\varnothing 8$ Inch = 0,020, pipa 2  $\varnothing 6$ Inch = 0,018, Pipa 3  $\varnothing 3$  Inch = 0,020, Pipa 4  $\varnothing 4$  Inch = 0,017.  
Menurut Grafik Moody adalah Pipa 1  $\varnothing 8$ Inch = 0,020, pipa 2  $\varnothing 6$ Inch = 0,018, Pipa 3  $\varnothing 3$  Inch = 0,020, Pipa 4  $\varnothing 4$  Inch = 0,018.
5. Berdasarkan hasil kalibrasi  $f$  simulasi dengan  $f$  teoritis didapatkan nilai selisih koefisien gesek pada 4 pipa <10%.
6. Kondisi pipa setelah beroperasi selama tiga tahun masih baik, berdasarkan dari nilai koefisien gesek ( $f$ ).

## **5.2 Saran Penelitian**

Berdasarkan kesimpulan-kesimpulan yang telah disampaikan sebelumnya, saran yang dapat dikemukakan adalah tidak perlu mengganti pipa yang telah ada karena kondisinya masih bagus dan pengaruh kondisi pipa sangat kecil terhadap kehilangan energi yang terjadi. Perlu penelitian lanjutan dengan fokus berbeda pada jaringan irigasi perpipaan, misalnya masalah pengaruh ketinggian dengan debit yang keluar yang kemungkinan berpengaruh pada kehilangan energi yang terjadi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini. (1983). *Hidrolika*. Surabaya:-
- Bertamont, J. (2014). *Friction Losses in Large-Diameter Pipes.*\_(ASCE)  
PS .1949-1204.0000174.
- Direktorat Irigasi Pertanian. (2016). *Pedoman Teknis Irigasi Perpipaan dan Pemompaan.*\_-  
[http://lorenskambuaya.blogspot.co.id/2013/10/persamaan-persamaan-dasar-dalam-fluida\\_6.html](http://lorenskambuaya.blogspot.co.id/2013/10/persamaan-persamaan-dasar-dalam-fluida_6.html)
- <http://rumus-matematika.com/materi-matriks-lengkap-dan-contohnya/>
- [http://contohdanpenyelesaianmatrix.blogspot.co.id/2014/06/invers-matriks\\_5.html](http://contohdanpenyelesaianmatrix.blogspot.co.id/2014/06/invers-matriks_5.html)
- <https://www.google.co.id/search?q=grafik+moody&rlz>
- <https://sanggapramana.wordpress.com/2010/09/13/pipa-dengan-turbin/>
- Joon Eeo.(2005).*Roughness Coefficient, Eq uivalent Length and Piping Schedule.*(SCRIBD) 292037421
- Kooatie, Robert J. (2002). *Hidrolika Terapan: Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa*, Yogyakarta:Andi.
- Liu, Henry. (2013). *Pipeline Engineering.* -:Taylor & Francis.
- Provenzano,Guiseppe.,Purno,Dominico.,Dio Pietro Di. (2005). (ASCE)  
0733-9437(2005)131-6(525).
- Rossmann, Luis A. (2000). *Manual Epanet For User*. Jakarta: Ekamitra Engineering.
- Sasongko, Djoko., Koinsley, Roy L., Franzini, Joseph. (1991) Teknik Sumber Daya Air Jilid 2.: Jakarta.:Erlangga.

- Simanjuntak, Salomon. (2010) *Kehilangan Energi Pada Pipa Baja dan PVC*. Lembaga Penelitian Universitas HKBP Nommensen:Medan.
- Streeter, Victor L. 1992. *Mekanika Fluida Jilid 1 (Terjemahan)* Jakarta: Erlangga.
- Triatmodjo, Bambang 2011. *Hidrolika II*. Jakarta: beta Offset.
- Trihatmodjo, Bambang. 2014. *Hidrolika I*. Jakarta: Beta Offset.

## LAMPIRAN A

### Foto Kondisi Eksisting



**Gambar 1 Reservoir**



**Gambar 2 Tampilan Reservoir**



**Gambar 3 Salah Satu Lahan Yang Dialiri**



**Gambar 4 Pipa Pembuangan Jika Air Melebihi Ketinggian 4,2m**



**Gambar 5 Sambungan Pipa Menggunakan Shield**



**Gambar 6 Salah satu Titik Pengambilan**



**Gambar 7 Salah satu tampungan di Lahan**

## LAMPIRAN B

### Nilai Viskositas

Physical properties of water (SI units)

| Temperature<br>T<br>(°C) | Specific Weight<br>$\gamma$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Density <sup>a</sup><br>$\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Dynamic Viscosity <sup>b</sup><br>$\mu$<br>( $\times 10^{-3}$ kg/m·s) | Kinematic Viscosity<br>$\nu$<br>( $\times 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s) | Surface Tension <sup>c</sup><br>$\sigma$<br>(N/m) | Modulus of Elasticity <sup>a</sup><br>E<br>( $\times 10^9$ N/m <sup>2</sup> ) | Vapor Pressure<br>P <sub>v</sub><br>(kN/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|---|--|---|---|---|---|--|
| 0                        | 9.805   | 999.8  | 1.781   | 1.785   | 0.0765  | 1.98  | 0.61   |
| 5                        | 9.807   | 1000.0   | 1.518   | 1.519   | 0.0749  | 2.05  | 0.87   |
| 10                       | 9.804   | 999.7  | 1.307   | 1.306   | 0.0742  | 2.10  | 1.23   |
| 15                       | 9.798   | 999.1  | 1.139   | 1.139   | 0.0735  | 2.15  | 1.70   |
| 20                       | 9.789   | 998.2  | 1.002   | 1.003   | 0.0728  | 2.17  | 2.34   |
| 25                       | 9.777   | 997.0  | 0.890   | 0.893   | 0.0720  | 2.22  | 3.17   |
| 30                       | 9.764   | 995.7  | 0.798   | 0.800   | 0.0712  | 2.25  | 4.24   |
| 40                       | 9.730   | 992.2  | 0.653   | 0.658   | 0.0696  | 2.28  | 7.38   |
| 50                       | 9.689   | 988.0  | 0.547   | 0.553   | 0.0679  | 2.29  | 12.33  |
| 60                       | 9.642   | 983.2  | 0.466   | 0.474   | 0.0662  | 2.28  | 19.92  |
| 70                       | 9.589   | 977.8  | 0.404   | 0.413   | 0.0644  | 2.25  | 31.16  |
| 80                       | 9.530   | 971.8  | 0.354   | 0.364   | 0.0626  | 2.20  | 47.34  |
| 90                       | 9.466   | 965.3  | 0.315   | 0.326   | 0.0608  | 2.14  | 70.10  |
| 100                      | 9.399   | 958.4  | 0.282   | 0.294   | 0.0589  | 2.07  | 101.33   |

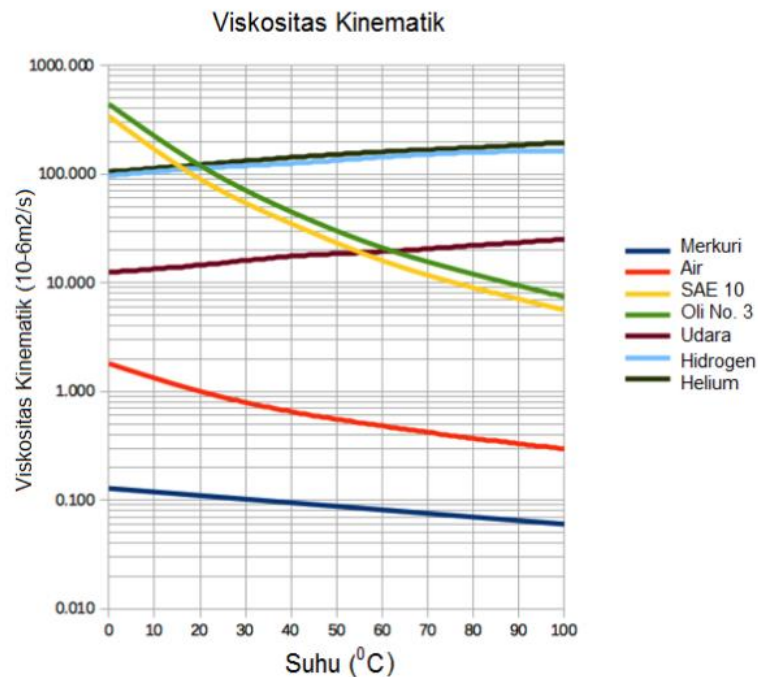
Source: Adapted from J. K. Venard and R. L. Street (1975). *Elementary Fluid Mechanics*, 5th ed., Wiley, New York.

<sup>a</sup>At atmospheric pressure.

<sup>b</sup>Dynamic viscosity can also be expressed in units of N·s/m<sup>2</sup>.

<sup>c</sup>In contact with air.

Tabel 1 Nilai Viskositas



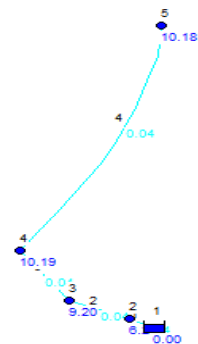
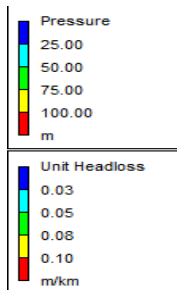
Sumber : Royen 2016

Grafik 1 Nilai Viskositas

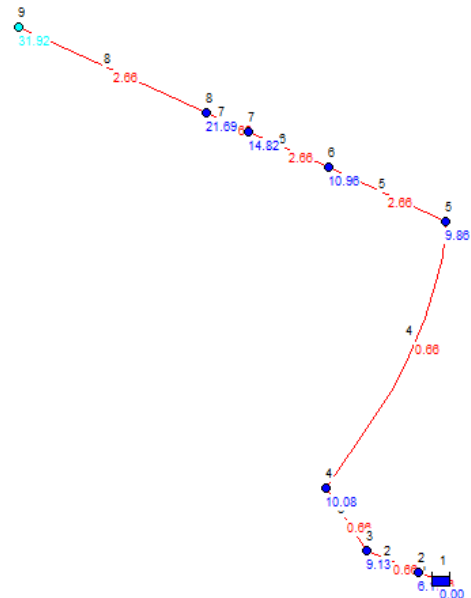
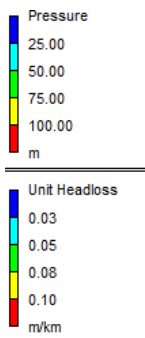
## LAMPIRAN C

### Gambar Output Epanet

#### 1. Ketinggian Air 4,2 m

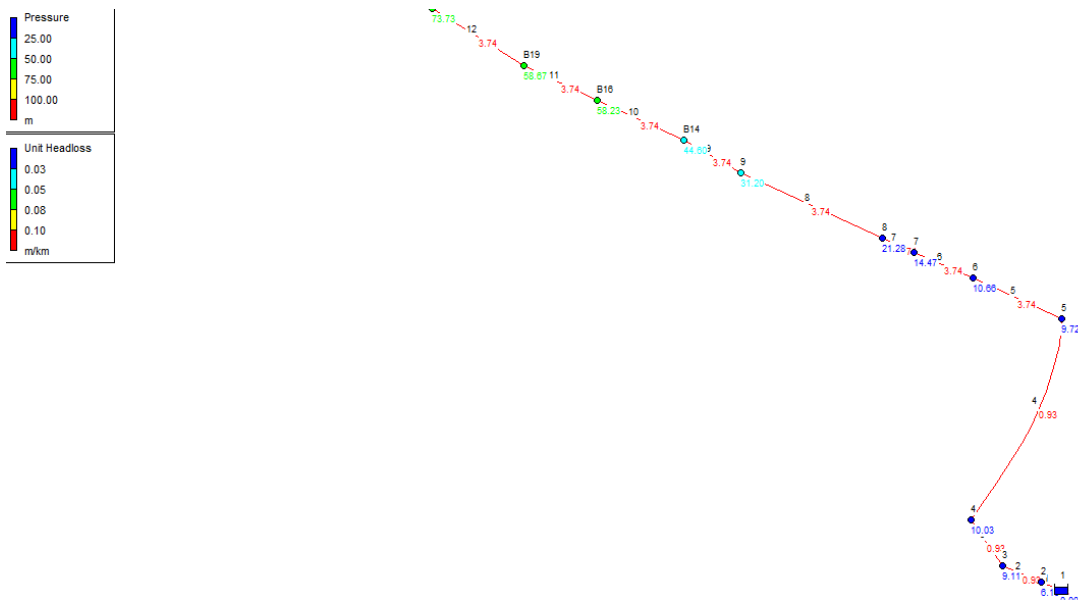


Gambar 1 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-B

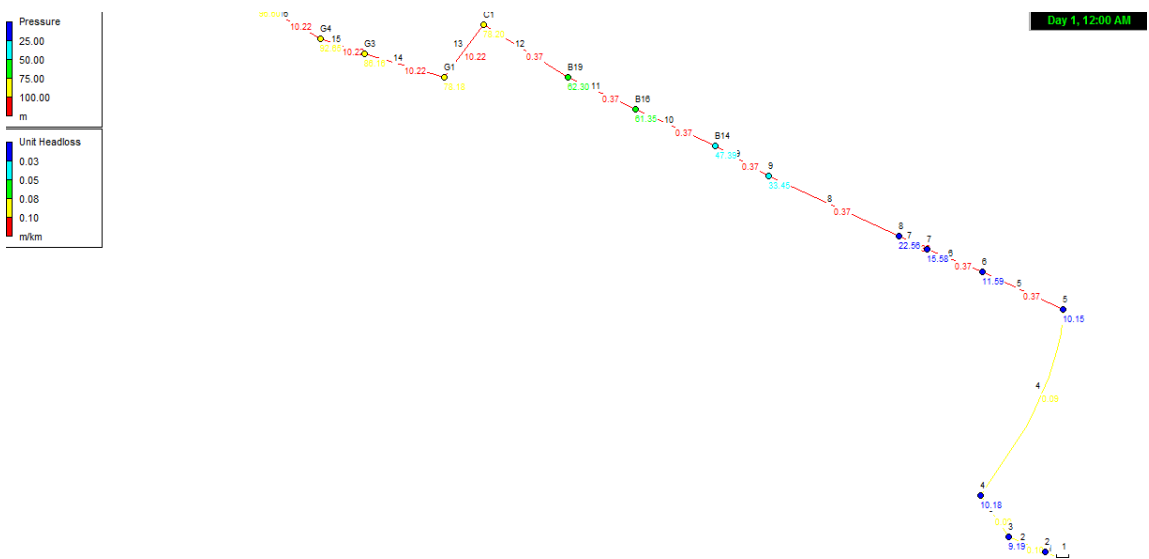


Gambar 2 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-F

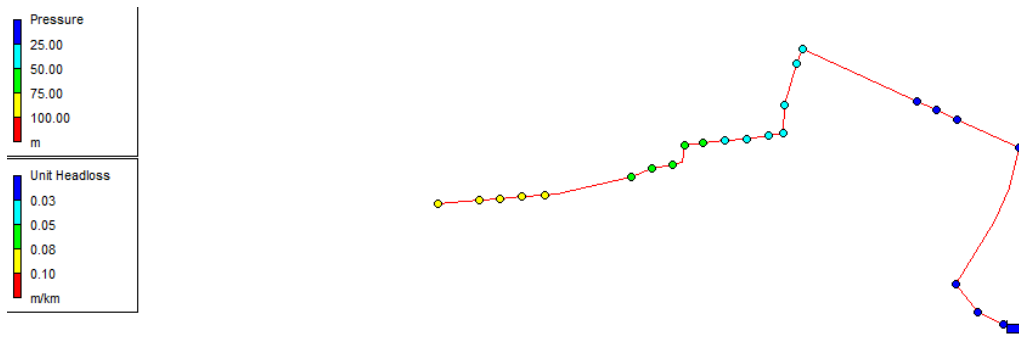




**Gambar 3 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-C**

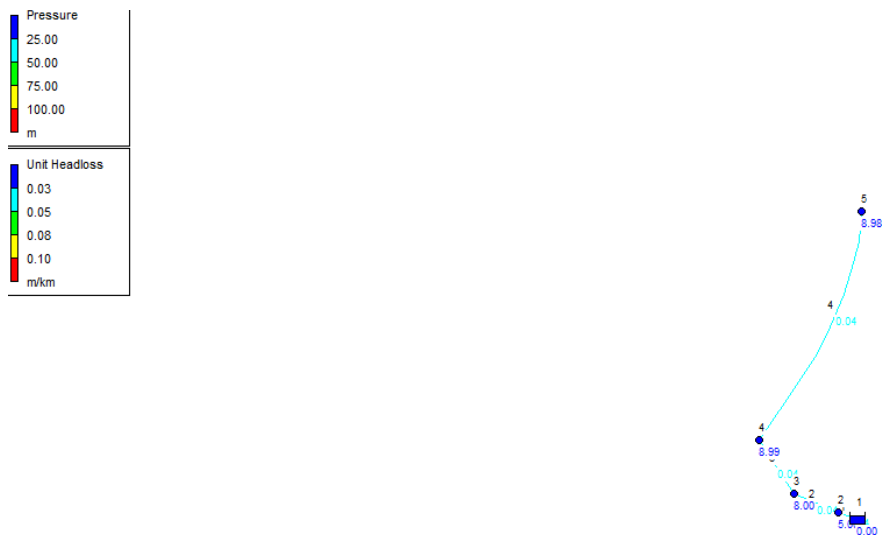


**Gambar 4 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-H**

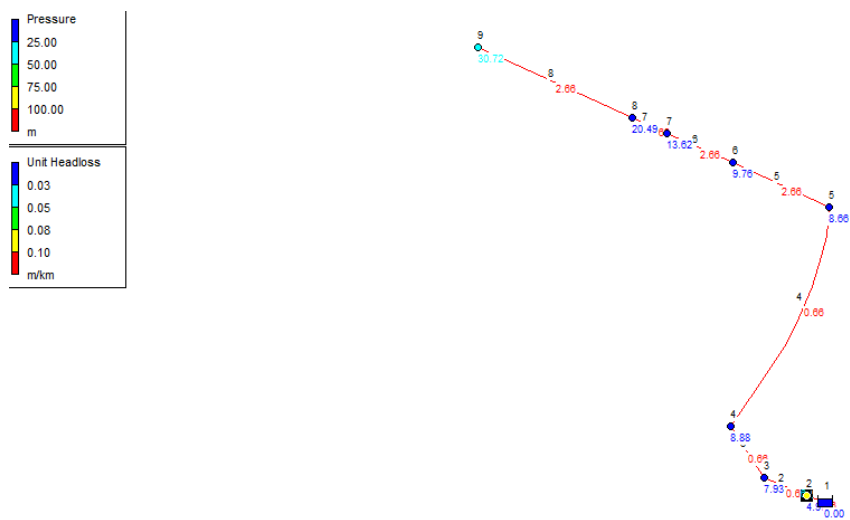


**Gambar 5 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-D**

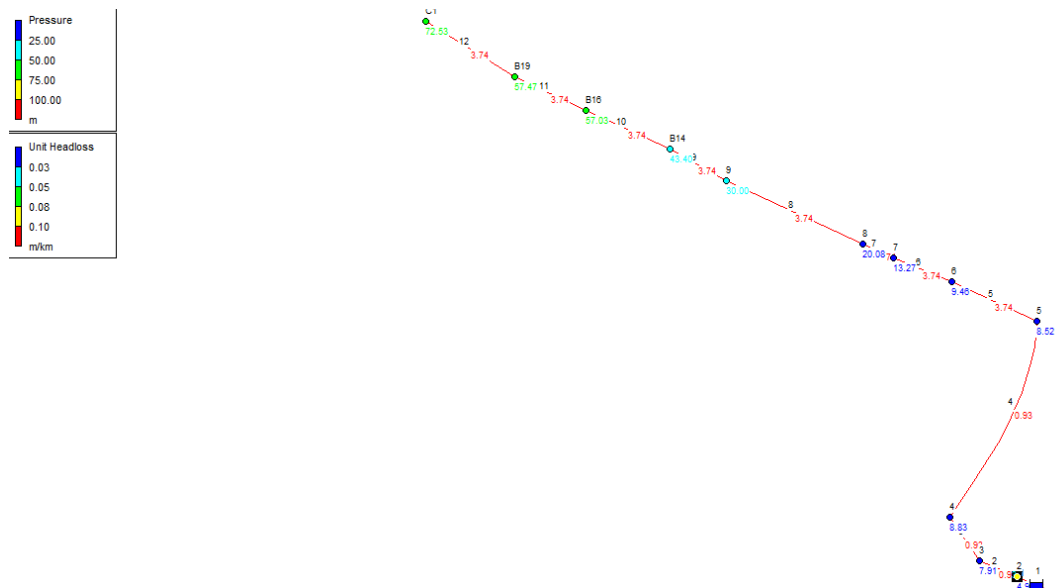
**2. Ketinggian Air 3 m**



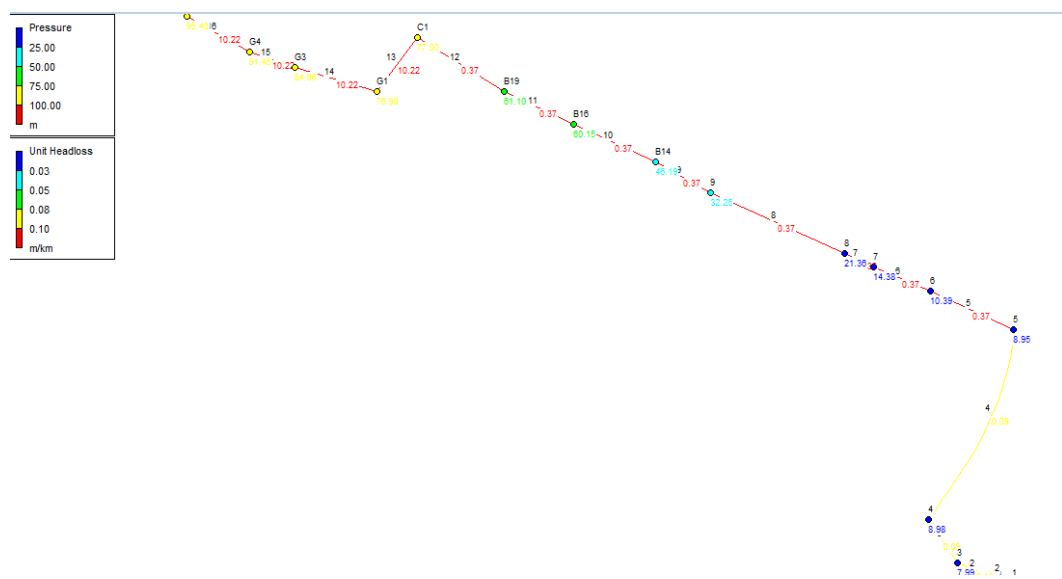
**Gambar 6 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-B**



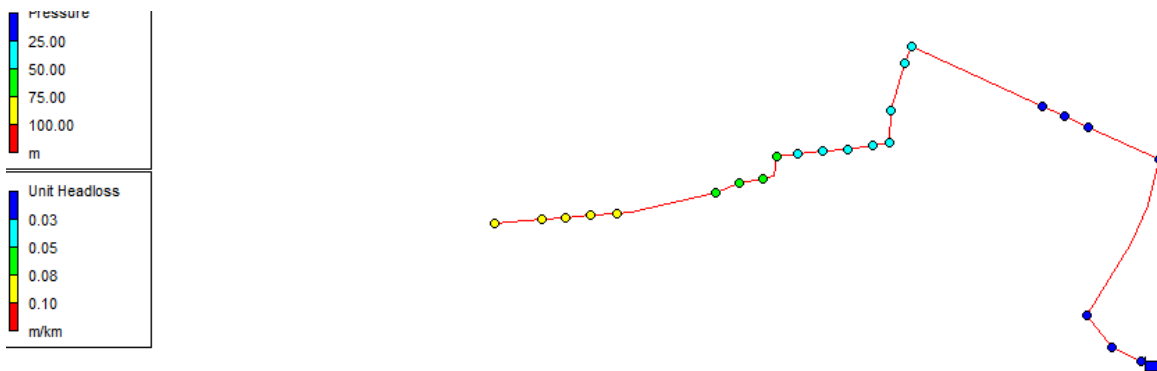
**Gambar 7 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-F**



**Gambar 8 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-C**



**Gambar 9 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-H**



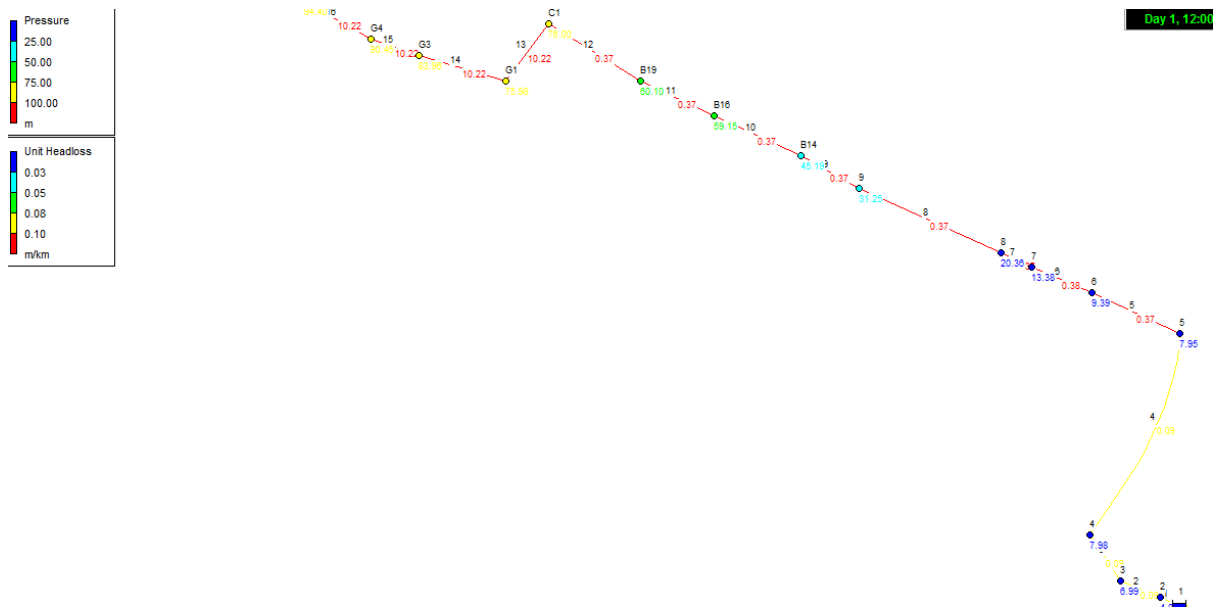
**Gambar 10 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-D**

### 3. Ketinggian 2 m

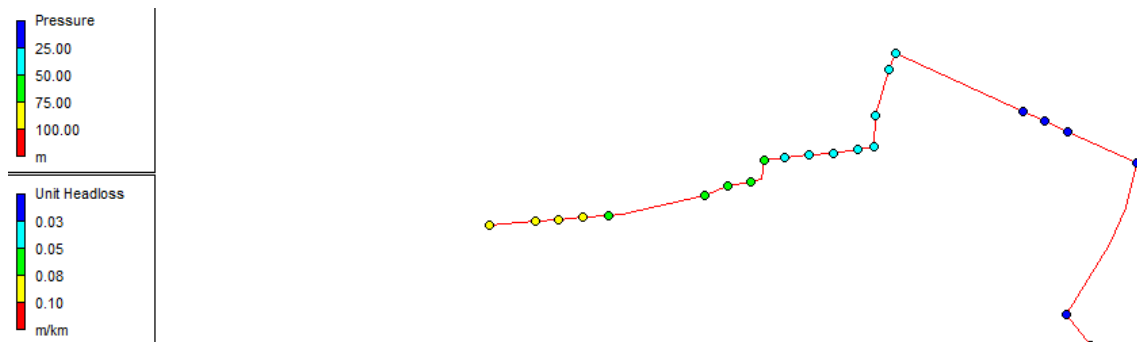


**Gambar 11 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-B**





**Gambar 14 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-H**



**Gambar 15 Tekanan dan Kehilangan Energi Pada Rangkaian R-D**



**FORMULIR KEGIATAN ASISTENSI TESIS / DISERTASI**

NAMA MAHASISWA : Nurul Jannah Asid  
 NRP. : 3116205001 / 03111650050001  
 JUDUL THESIS / DISERTASI : Analisa Hidrolika Sistem Irigasi Perpresan

| NO. | KEGIATAN  | PARAF DOSEN |
|-----|---|-------------|
| 1.  | 13/05/2019 Konsultasi Data & Epanet   | js-         |
| 2.  | 22/05/2019 Konsultasi Epanet  | js-         |
| 3.  | 28/05/2019 Asistensi hasil output Epanet u/ Seminar Internasional.  | js-         |
| 4.  | 11/10/2019 Latihan analisa secara analitis, hanya gunakan data Saat ini   | js-         |
| 5.  | 31/10/2019 Lanjutkan Vertubngan u/ Jaringan yang lain, Latihan simulasi u/ Jaringan dengan ketinggian tertentu. Untuk laporan blalkan diatur sendiri, apa yang sudah ada di bab 3 Halaq Berku diulang di bab 4. | js-         |

Pembimbing II

Surabaya,

Pembimbing I

*J. Wardoyo*  
 Dr. Ir. Nasir Wardoyo, M.Sc



**FORMULIR KEGIATAN ASISTENSI TESIS / DISERTASI**

NAMA MAHASISWA : Hurui Jannah Asid  
 NRP. : 3116205001 / 03111650050001  
 JUDUL THESIS / : Analisa Hidrolika Sistem Irigasi  
 DISERTASI : Pertiripaan

| NO. | KEGIATAN   | PARAF DOSEN |
|-----|--|-------------|
| 6.  | 9/11/2017 Perbandingan anatomi dan Matrik Sudah OK!<br>- Untuk melihat grafik boleh pakai beberapa sumber<br>- Hasil yang didapat tidak sama dengan hipotesa di awal tidak papa. | js -        |
| 7.  | Matrik → ditanyakan pada dosen Matematika.<br>grafik moody, Analisa.<br>15/11/2017.  | js -        |
| 8.  | 23/11/2017 Grafik moody dan Analisa  | js -        |
| 9.  | 28/11/2017 BAB I<br>BAB II → ditambah<br>BAB III<br>BAB IV<br>BAB V  | js -        |
| 10  | 05/12/2017 minor ujian thesis  | js -        |

Surabaya,

Pembimbing II

Pembimbing I

*Jan Purdono*  
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc.



## BIOGRAFI PENULIS



Nurul Jannah Asid dilahirkan di Sampang pada Tanggal 17 Maret 1993. Nurul (Biasa dia disapa) merupakan putri bungsu dari lima bersaudara pasangan H. Achmadullah dan Hj. Fatimah. Nurul bersekolah di SD Kamuning 1 Sampang Lulus Tahun 2005. Kemudian melanjutkan di SMPN 1 Sampang Lulus Tahun 2008. SMA lulus dari SMAN 1 Sampang Lulus Tahun 2011. Penulis Berkuliah di Universitas Muhammadiyah Malang Jurusan Teknik Sipil selama 3,5 Tahun, mengambil keahlian Manajemen Sumber Daya Air dengan Judul Skripsi **“Perencanaan Distribusi Air Bersih Untuk Kebutuhan Air Bersih Di Pulau Mandangin Kecamatan Sampang Kabupaten Sampang”** . Kemudian Penulis melanjutkan sekolah di Program Magister Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Sipil Bidang Keahlian Manajemen dan Rekayasa Sumber Air selama 1,5 Tahun. Judul Tesis yang diambil masih seputar perpipaan yaitu **“Analisa Hidrolika Sistem Irigasi Perpipaan”**. Penulis dapat dihubungi pada alamat email [nuruljannahasid@gmail.com](mailto:nuruljannahasid@gmail.com).