

SKRIPSI

ANALISIS PERBANDINGAN KERUGIAN ALIRAN (*HEAD LOSSES*) PADA PIPA JENIS PVC DAN HDPE DENGAN MENGGUNAKAN *ELBOW* 90°

Disusun dan diajukan oleh:

A. MUHAMMAD RAFLI RISAL

D021 19 1138



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS PERBANDINGAN KERUGIAN ALIRAN (*HEAD LOSSES*) PADA PIPA JENIS PVC DAN HDPE DENGAN MENGGUNAKAN *ELBOW 90°*

Disusun dan diajukan oleh

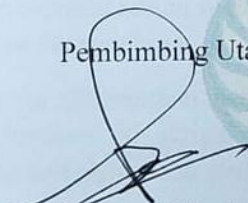
A. Muhammad Rafli Risal
D021 19 1138

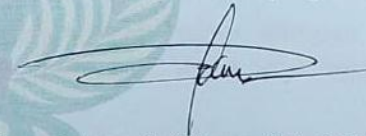
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 23 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,


Pembimbing Utama,

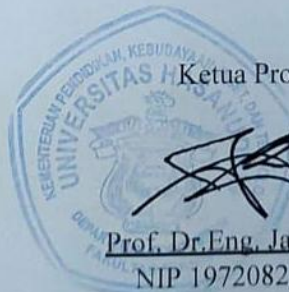
Pembimbing Pendamping,


Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si
NIP 19611017 198503 1 004


Gerard Antonini Duma, ST., MT
NIP 19920226 201903 1 009

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT
NIP 19720825 200003 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : A. Muhammad Rafli Risal
NIM : D021 19 1138
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“ANALISIS PERBANDINGAN KERUGIAN ALIRAN (*HEAD LOSSES*) PADA
PIPA JENIS PVC DAN HDPE DENGAN MENGGUNAKAN *ELBOW 90°*”

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

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

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

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

Gowa, 23 Agustus 2023

Yang menyatakan



METERAI
TEMPEL
25ABAKX605860125

A. Muhammad Rafli Risal

ABSTRAK

A. MUHAMMAD RAFLI RISAL. *Analisis Perbandingan Kerugian Aliran (Head Losses) pada Pipa Jenis PVC dan HDPE dengan Menggunakan Elbow 90°* (dibimbing oleh Bapak Nasruddin Azis dan Bapak Gerard Antonini Duma)

Sistem perpipaan merupakan suatu sistem yang digunakan untuk transportasi fluida. Umumnya, pengaplikasian yang sering dijumpai pada sistem perpipaan ada pada kebutuhan rumah tangga. Selain itu, sistem perpipaan juga diaplikasikan pada dunia perindustrian. Pada suatu sistem perpipaan kerugian aliran (*head losses*) selalu terjadi, kerugian aliran merupakan suatu faktor yang mempengaruhi kapasitas pipa sebagai media fluida bertransportasi baik itu fluida cair maupun gas. Kerugian aliran yang terjadi dalam pipa menyebabkan terjadinya pengurangan debit aliran. Hal ini, disebabkan karena beberapa faktor diantaranya adalah kekasaran permukaan dinding pipa dan akibat adanya sambungan (*fittings*) pipa. Kekasaran permukaan dari dinding pipa tergantung dari jenis-jenis pipa yang digunakan, seperti pada pipa HDPE dan PVC keduanya memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda, dimana pipa HDPE memiliki nilai kekasaran permukaan yang lebih besar. Pada pipa PVC dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan total *head losses* terkecil bernilai $0,2438 \text{ m}$ pada metode Hazen-Williams kemudian pada debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan total *head losses* terbesar bernilai $1,4285 \text{ m}$ pada metode Darcy-Weisbach. Pada pipa HDPE dengan debit aliran $0,00025 \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan total *head losses* terkecil bernilai $0,2268 \text{ m}$ pada metode Hazen-Williams kemudian pada debit aliran $0,00045 \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan total *head losses* terbesar bernilai $1,9859 \text{ m}$ pada metode Darcy-Weisbach. Sehingga hubungan antara debit aliran dengan kerugian aliran berbanding lurus dan kekasaran permukaan juga berbanding lurus dengan kerugian aliran.

Kata kunci : kerugian aliran, pipa PVC dan HDPE, kekasaran permukaan, debit.

ABSTRACT

A. MUHAMMAD RAFLI RISAL. *Comparative Analysis of Head Losses in PVC and HDPE Pipe Using 90-Degree Elbow* (supervised by Mr. Nasruddin Azis and Mr. Gerard Antonini Duma).

The piping system constitutes a framework employed for fluid transportation. Typically, applications commonly encountered in piping systems pertain to household needs. Furthermore, piping systems find application in the industrial domain as well. Within a piping system, head losses during flow are inevitable. These head losses serve as a determinant impacting the pipe's capacity as a conduit for fluid transport, encompassing both liquid and gas mediums. The occurrence of flow-related losses in pipes leads to a reduction in flow rate. This phenomenon is attributed to several factors, including the surface roughness of the pipe walls and the presence of pipe fittings. The extent of surface roughness on pipe walls is contingent upon the types of pipes used. For instance, HDPE and PVC pipes exhibit differing values of surface roughness, with HDPE pipes demonstrating greater roughness. In the case of PVC pipes, with a flow rate of $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$, the least recorded total head loss was 0.2438 m using the Hazen-Williams method. Conversely, at a flow rate of $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$, the highest recorded total head loss was $1,4285 \text{ m}$ using the Darcy-Weisbach method. Similarly, for HDPE pipes, a flow rate of $0,00025 \text{ m}^3/\text{s}$ resulted in the smallest total head loss of $0,2268 \text{ m}$ using the Hazen-Williams method. As the flow rate increased to $0,00045 \text{ m}^3/\text{s}$, the highest total head loss observed was $1,9859 \text{ m}$ using the Darcy-Weisbach method. Hence, the relationship between flow rate and flow-related losses is directly proportional. Additionally, surface roughness exhibits a proportional relationship with flow-related losses.

Keywords : head losses, PVC and HDPE pipe, surface roughness, discharge.

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN | ii |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | iv |
| DAFTAR ISI | i |
| DAFTAR TABEL | ixx |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL | xvi |
| KATA PENGANTAR | xv |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Sistem Perpipaan | 5 |
| 2.2 Komponen-komponen Sistem Perpipaan | 6 |
| 2.2.1 Katup | 6 |
| 2.2.2 <i>Elbow</i> | 7 |
| 2.2.3 Pompa | 8 |
| 2.2.4 <i>Reservoir</i> (Tandon) | 9 |
| 2.2.5 <i>Pressure Gauge</i> (Alat Ukur Tekanan) | 9 |
| 2.2.6 <i>Boltings</i> (Baut-Baut) | 10 |
| 2.2.7 <i>Pipe Supports</i> (Penyangga Pipa) | 10 |
| 2.3 <i>Head Losses</i> (Kerugian Aliran) | 11 |
| 2.3.1 <i>Mayor Losses</i> | 12 |
| 2.3.2 <i>Minor Losses</i> | 13 |

| | |
|--|-------------------------------------|
| 2.4 Tekanan Aliran | 13 |
| 2.5 Koefisien Hazen-William | 14 |
| 2.6 Kekasaran Permukaan | 15 |
| 2.7 Tabel Sifat Air | 15 |
| 2.8 Laju Aliran Massa | 16 |
| 2.9 Bilangan Reynold | 16 |
| 2.10 Faktor Gesek | 17 |
| 2.11 Laju Aliran Fluida (<i>Flow Rate</i>) | 18 |
| 2.12 Pipa <i>Polyinyl Chloride</i> (PVC) | 19 |
| 2.13 Pipa <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE) | 20 |
| | |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 21 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 21 |
| 3.2 Jenis dan Sumber Data | 21 |
| 3.3 Alat dan Bahan | 22 |
| 3.3.1 Alat | 22 |
| 3.3.2 Bahan | 29 |
| 3.4 Prosedur Pengambilan Data | 38 |
| 3.5 Rancangan Alat Penelitian | 39 |
| 3.6 <i>Flow Chart</i> Penelitian | 40 |
| 3.7 Instalasi Alat Penelitian | Error! Bookmark not defined. |
| | |
| BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN | 42 |
| 4.1 Hasil | 42 |
| 4.1.1 Data pada Pipa PVC | 42 |
| 4.1.2 Data pada Pipa HDPE | 46 |
| 4.1.3 Contoh Perhitungan | 49 |
| 4.1.4 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Perubahan Tekanan (ΔP) | 58 |
| 4.1.5 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap <i>Mayor Losses</i> (h_f) pada Metode Darcy-Weisbach dan Metode Hazen-Williams | 63 |
| 4.1.6 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Total <i>Head Losses</i> ($h_{l,total}$) ... | 65 |
| 4.1.7 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Tekanan pada Tiap Titik (P) 67 | |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.1.8 | Hubungan antara Perubahan Tekanan (ΔP) terhadap Bilangan Reynold (Re) | 74 |
| 4.1.9 | Perbandingan Metode Perhitungan <i>Mayor Losses</i> dengan Menghugungkan pada Kecepatan Aliran (V)..... | 79 |
| 4.1.10 | Hubungan antara <i>Minor Losses</i> ($h_{l,minor}$) terhadap Tekanan pada Tiap Titik (P)..... | 86 |
| 4.1.11 | Hubungan antara Faktor Gesek (f) terhadap Bilangan Reynold (Re)..... | 93 |
| 4.1.12 | Hubungan antara <i>Mayor Losses</i> (h_f) pada Metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap Perubahan tekanan (ΔP)..... | 95 |
| 4.1.13 | Hubungan antara <i>Mayor Losses</i> (h_f) pada Setiap Metode Perhitungan terhadap Perubahan Tekanan (ΔP)..... | 103 |
| 4.1.14 | Hubungan antara Faktor Gesek (f) terhadap Laju Aliran Massa(\dot{m})..... | 116 |
| 4.1.15 | Perbandingan Persentasi Kesalahan (%) terhadap Bilangan Reynold (Re) pada Nilai Kekasaran Permukaan (ϵ) pada Kedua Jenis Pipa..... | 124 |
| 4.2 | Pembahasan..... | 129 |
| 4.2.1 | Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Perubahan Tekanan (ΔP).. | 129 |
| 4.2.2 | Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap <i>Mayor Losses</i> (h_f) pada Metode Darcy-Weisbach dan Metode Hazen-Williams..... | 130 |
| 4.2.3 | Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Total <i>Head Losses</i> (h_f)..... | 131 |
| 4.2.4 | Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Tekanan pada Tiap Titik (P) | 133 |
| 4.2.5 | Hubungan antara Perubahan Tekanan (ΔP) dan Bilangan Reynold (Re) | 134 |
| 4.2.6 | Perbandingan Metode Perhitungan <i>Mayor Losses</i> dengan Menghugungkan pada Kecepatan Aliran (V)..... | 135 |
| 4.2.7 | Hubungan antara <i>Minor Losses</i> ($h_{l,minor}$) terhadap Tekanan pada Tiap Titik (P)..... | 136 |
| 4.2.8 | Hubungan antara Faktor Gesek (f) terhadap Bilangan Reynold (Re)..... | 137 |
| 4.2.9 | Hubungan antara <i>Mayor Losses</i> (h_f) pada Metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap Perubahan Tekanan (ΔP)..... | 138 |
| 4.2.10 | Hubungan antara <i>Mayor Losses</i> (h_f) pada Setiap Metode Perhitungan terhadap Perubahan Tekanan (ΔP)..... | 139 |
| 4.2.11 | Hubungan antara Faktor Gesek (f) terhadap Laju Aliran Massa (\dot{m})..... | 141 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.12 Perbandingan Persentasi Kesalahan (%) terhadap Bilangan Reynold (Re) pada Nilai Kekasaran Permukaan (ϵ) pada Kedua Jenis Pipa | 142 |
| BAB V PENUTUP | 146 |
| 5.1 Kesimpulan | 146 |
| 5.2 Saran | 148 |
| DAFTAR PUSTAKA | 149 |
| LAMPIRAN | 153 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|----------|--|-----|
| Tabel 1 | Data hubungan antara debit aliran (Q) dan perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup..... | 58 |
| Tabel 2 | Data hubungan antara debit aliran (Q) terhadap <i>major losses</i> (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams pada variasi pembukaan katup..... | 63 |
| Tabel 3 | Data hubungan antara debit aliran (Q) terhadap total <i>head losses</i> ($h_{l,total}$) pada variasi pembukaan katup..... | 65 |
| Tabel 4 | Data hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup..... | 67 |
| Tabel 5 | Data hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup..... | 75 |
| Tabel 6 | Data perbandingan metode perhitungan <i>major losses</i> (h_f) dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V)..... | 79 |
| Tabel 7 | Data hubungan antara <i>minor losses</i> ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup..... | 87 |
| Tabel 8 | Data hubungan antara faktor gesek (f) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup..... | 94 |
| Tabel 9 | Data hubungan <i>major losses</i> (h_f) pada metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup..... | 95 |
| Tabel 10 | Data hubungan <i>major losses</i> (h_f) pada setiap metode perhitungan terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup | 103 |
| Tabel 11 | Data hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup | 117 |
| Tabel 12 | Data perbandingan persentasi kesalahan (EP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada nilai kekasaran permukaan (ϵ) di kedua jenis pipa pada variasi pembukaan katup..... | 124 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1 Katup bola (<i>ball valve</i>)..... | 6 |
| Gambar 2 <i>Gate valve</i> | 7 |
| Gambar 3 <i>Elbow 90⁰</i> | 7 |
| Gambar 4 <i>Elbow 45⁰</i> | 8 |
| Gambar 5 Pompa..... | 9 |
| Gambar 6 <i>Reservoir</i> (tandon)..... | 9 |
| Gambar 7 <i>Pressure gauge</i> | 10 |
| Gambar 8 <i>Boltings</i> (baut-baut)..... | 10 |
| Gambar 9 <i>Pipe supports</i> (penyangga pipa)..... | 11 |
| Gambar 10 Pipa <i>polyvinyl chloride</i> (PVC)..... | 19 |
| Gambar 11 Pipa <i>high density polyethylene</i> (HDPE)..... | 20 |
| Gambar 12 Gergaji..... | 22 |
| Gambar 13 <i>Pressure gauge</i> | 22 |
| Gambar 14 <i>Coupler female</i> | 23 |
| Gambar 15 <i>Reservoir</i> | 23 |
| Gambar 16 Pompa..... | 24 |
| Gambar 17 <i>Stopwatch</i> | 24 |
| Gambar 18 Gelas ukur..... | 25 |
| Gambar 19 Ember..... | 25 |
| Gambar 20 Mesin las..... | 26 |
| Gambar 21 Bor listrik..... | 26 |
| Gambar 22 Mesin gerinda..... | 27 |
| Gambar 23 Penyangga pipa..... | 27 |
| Gambar 24 Tang..... | 28 |
| Gambar 25 Meteran..... | 28 |
| Gambar 26 Pipa PVC $\frac{3}{4}$ inch..... | 29 |
| Gambar 27 Pipa PVC 1 inch..... | 29 |
| Gambar 28 Pipa PVC 2 inch..... | 30 |
| Gambar 29 <i>Elbow 90^o</i> PVC 2 inch..... | 30 |
| Gambar 30 <i>Elbow 90^o</i> galvanis 2 inch..... | 31 |
| Gambar 31 <i>Elbow 90^o</i> PVC 1 inch..... | 31 |
| Gambar 32 <i>Elbow 90^o</i> PVC $\frac{3}{4}$ inch..... | 32 |
| Gambar 33 <i>Elbow 90^o</i> HDPE $\frac{3}{4}$ inch..... | 32 |
| Gambar 34 <i>Socket reducer</i> | 33 |
| Gambar 35 Katup bola (<i>ball valve</i>)..... | 33 |
| Gambar 36 Soket drat luar..... | 34 |
| Gambar 37 Selang timbang..... | 34 |
| Gambar 38 Besi siku..... | 35 |
| Gambar 39 Lem besi..... | 35 |
| Gambar 40 Isolasi pipa..... | 36 |
| Gambar 41 Lem pipa..... | 36 |
| Gambar 42 Pipa <i>high density polyethylene</i> (HDPE)..... | 37 |
| Gambar 43 Busur derajat..... | 37 |
| Gambar 44 Gambar rancangan instalasi penelitian..... | 39 |
| Gambar 45 Instalasi alat penelitian..... | 41 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Gambar 46 | Gambar aliran pembukaan katup 50° pada pipa PVC..... | 43 |
| Gambar 47 | Gambar aliran pembukaan katup 60° pada pipa PVC..... | 43 |
| Gambar 48 | Gambar aliran pembukaan katup 70° pada pipa PVC..... | 44 |
| Gambar 49 | Gambar aliran pembukaan katup 80° pada pipa PVC..... | 45 |
| Gambar 50 | Gambar aliran pembukaan katup 90° pada pipa PVC..... | 45 |
| Gambar 51 | Gambar aliran pembukaan katup 50° pada pipa HDPE..... | 46 |
| Gambar 52 | Gambar aliran pembukaan katup 60° pada pipa HDPE..... | 47 |
| Gambar 53 | Gambar aliran pembukaan katup 70° pada pipa HDPE..... | 48 |
| Gambar 54 | Gambar aliran pembukaan katup 80° pada pipa HDPE..... | 48 |
| Gambar 55 | Gambar aliran pembukaan katup 90° pada pipa HDPE..... | 49 |
| Gambar 56 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup..... | 59 |
| Gambar 57 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup di belokan 1..... | 60 |
| Gambar 58 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup di belokan 2..... | 61 |
| Gambar 59 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup di belokan 3..... | 62 |
| Gambar 60 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap <i>major losses</i> (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan Metode Hazen-Williams pada variasi pembukaan katup..... | 64 |
| Gambar 61 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap total <i>head losses</i> ($h_{l,total}$) pada variasi pembukaan katup..... | 66 |
| Gambar 62 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup | 68 |
| Gambar 63 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 1..... | 69 |
| Gambar 64 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 2..... | 70 |
| Gambar 65 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 3..... | 71 |
| Gambar 66 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 4..... | 72 |
| Gambar 67 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 5..... | 73 |
| Gambar 68 | Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 6..... | 74 |
| Gambar 69 | Hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup..... | 75 |
| Gambar 70 | Hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup di belokan 1..... | 76 |
| Gambar 71 | Hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup di belokan 2..... | 77 |
| Gambar 72 | Hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup di belokan 3..... | 78 |
| Gambar 73 | Grafik metode perhitungan <i>major losses</i> (h_f) dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup..... | 80 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Gambar 74 | Grafik metode perhitungan <i>major losses</i> (h_f) Hazen-Williams dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup..... | 81 |
| Gambar 75 | Grafik metode perhitungan <i>major losses</i> (h_f) Haaland dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup..... | 82 |
| Gambar 76 | Grafik metode perhitungan <i>major losses</i> (h_f) Serghides dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup..... | 83 |
| Gambar 77 | Grafik metode perhitungan <i>major losses</i> (h_f) Vatankah & Kouchak dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup..... | 84 |
| Gambar 78 | Grafik metode perhitungan <i>major losses</i> (h_f) Buzelli dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup..... | 85 |
| Gambar 79 | Grafik metode perhitungan <i>major losses</i> (h_f) Ghanbari dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup..... | 86 |
| Gambar 80 | Hubungan antara <i>minor losses</i> ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup..... | 87 |
| Gambar 81 | Hubungan antara <i>minor losses</i> ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 1 (P) pada variasi pembukaan katup..... | 88 |
| Gambar 82 | Hubungan antara <i>minor losses</i> ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 2 (P) pada variasi pembukaan katup..... | 89 |
| Gambar 83 | Hubungan antara <i>minor losses</i> ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 3 (P) pada variasi pembukaan katup..... | 90 |
| Gambar 84 | Hubungan antara <i>minor losses</i> ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 4 (P) pada variasi pembukaan katup..... | 91 |
| Gambar 85 | Hubungan antara <i>minor losses</i> ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 5 (P) pada variasi pembukaan katup..... | 92 |
| Gambar 86 | Hubungan antara <i>minor losses</i> ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 6 (P) pada variasi pembukaan katup..... | 93 |
| Gambar 87 | Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup..... | 94 |
| Gambar 88 | Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup | 96 |
| Gambar 89 | Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada di belokan 1..... | 97 |
| Gambar 90 | Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada di belokan 2..... | 98 |
| Gambar 91 | Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada di belokan 3..... | 99 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 92 Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode Hazen-Williams terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada di belokan 1..... | 100 |
| Gambar 93 Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode Hazen-Williams terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada di belokan 2..... | 101 |
| Gambar 94 Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode Hazen-Williams terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada di belokan 3..... | 102 |
| Gambar 95 Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada setiap metode perhitungan terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup..... | 104 |
| Gambar 96 Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode perhitungan Hazen-Williams terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup..... | 105 |
| Gambar 97 Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode perhitungan Haaland terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup..... | 107 |
| Gambar 98 Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode perhitungan Serghides terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup..... | 109 |
| Gambar 99 Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode perhitungan Vatankah & Kouchak terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup..... | 111 |
| Gambar 100 Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode perhitungan Buzelli terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup..... | 113 |
| Gambar 101 Hubungan antara <i>major losses</i> (h_f) pada metode perhitungan Ghanbari terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup..... | 115 |
| Gambar 102 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup..... | 118 |
| Gambar 103 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup pada metode Haaland..... | 119 |
| Gambar 104 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup pada metode Serghides..... | 120 |
| Gambar 105 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup pada metode Vatankah & Kouchak..... | 121 |
| Gambar 106 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup pada metode Buzelli..... | 122 |
| Gambar 107 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup pada metode Ghanbari..... | 123 |
| Gambar 108 Perbandingan persentasi kesalahan (EP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada nilai kekasaran permukaan (ϵ) di pipa PVC pada variasi pembukaan katup..... | 125 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 109 Perbandingan persentasi kesalahan (EP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada nilai kekasaran permukaan (ϵ) di pipa HDPE pada variasi pembukaan katup..... | 127 |
|---|-----|

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|-------------|--|-----|
| Lampiran 1 | Tabel hasil pengamatan pengujian debit aliran dan tekanan pada pipa PVC..... | 153 |
| Lampiran 2 | Tabel hasil pengamatan pengujian debit aliran dan tekanan pada pipa HDPE..... | 155 |
| Lampiran 3 | Tabel hasil perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa HDPE dan PVC..... | 157 |
| Lampiran 4 | Tabel sifat air berdasarkan temperatur..... | 160 |
| Lampiran 5 | Koefisien <i>minor losses</i> pada sambungan (<i>Fittings</i>)..... | 160 |
| Lampiran 6 | Koefisien Hazen-Williams pada beberapa jenis pipa..... | 161 |
| Lampiran 7 | Nilai kekasaran permukaan pada beberapa jenis pipa..... | 161 |
| Lampiran 8 | Dokumentasi pembuatan instalasi pipa PVC dan HDPE..... | 162 |
| Lampiran 9 | Dokumentasi pengambilan data pada pipa PVC dan HDPE di Laboratorium Mesin Fluida..... | 165 |
| Lampiran 10 | Tabel persentasi kenaikan pada tiap data..... | 168 |
| Lampiran 11 | Gambaran aliran yang mengalir pada pipa PVC dan HDPE saat pengambilan data..... | 174 |

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

| Lambang/Singkatan | Arti dan Keterangan |
|-------------------|--|
| Q | Debit air (m^3/s) |
| V | Kecepatan aliran air (m/s) |
| $h_{l,minor}$ | <i>Minor losses</i> (m) |
| h_f | <i>Mayor losses</i> (m) |
| $h_{l,total}$ | Total <i>head losses</i> (m) |
| Re | Bilangan Reynold |
| \dot{m} | Laju aliran massa (kg/s) |
| f | Faktor gesek/ <i>friction factor</i> |
| P | Tekanan pada tiap titik (Pa) |
| ΔP | Perubahan tekanan/ <i>pressure drop</i> (Pa) |
| EP | Persentasi kesalahan/ <i>error percentage</i> (%) |
| D | Diameter pipa (m) |
| g | Gravitasi bumi (m/s^2) |
| L | Panjang pipa (m) |
| ρ | Massa jenis air (kg/m^3) |
| ε | Kekasaran permukaan (m) |
| C | Koefisien Hazen-Williams |
| n | Jumlah sambungan (<i>fittings</i>) |
| A | Luas alas permukaan pipa (m^2) |
| ν | Viskositas kinematis air (m^2/s) |
| f | Koefisien sambungan |
| HZ | Hazen-Williams |
| DW | Darcy-Weisbach |

KATA PENGANTAR

Puji dan puja syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang senantiasa memberikan nikmat rezeki dan kesehatan. Hanya karena kebaikan Kasih Sayang dan Berkat-Nya lah yang menuntun penulis dalam mengerjakan skripsi ini dengan judul “Analisis Perbandingan Kerugian Aliran (*Head Losses*) pada Pipa Jenis PVC dan HDPE dengan Menggunakan *Elbow 90°*”. Penelitian ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S1 di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih yang terdalam untuk kedua orangtua yakni Ibu Narni Dely dan Bapak Andi Risal Bachri serta adik yakni Andi Nabilah Naurah Risal atas cinta, doa, dan juga dukungan moril dan materi yang diberikan sehingga penulis mampu sampai pada titik ini. Semoga Allah Yang Maha Esa lagi Maha Penyayang senantiasa memberikan rezeki yang berlimpah, melindungi, menganugrahi kesehatan, kekuatan, keharmonisan, dan kebaikan bagi kita semua.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, yakni :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc, selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si., dan Bapak Gerard Antonini Duma, ST., MT., selaku pembimbing 1 dan pembimbing 2 yang senantiasa memberikan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT., dan Bapak Dr. Rustan Tarakka, ST., MT., selaku penguji 1 dan penguji 2 yang senantiasa memberikan koreksi-koreksi, masukan, dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

5. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat bermanfaat bagi penulis.
6. Staf Departemen Teknik Mesin terkhusus Bapak Hafrison Salamba, ST. yang telah membantu penulis dalam pembuatan instalasi, Bapak Mansyur, Kak Yaya, dan Kak Shita yang telah banyak membantu penulis dalam mengurus segala administrasi pada saat seminar dan pengumpulan map merah.
7. Partner penelitian yaitu Muhammad Dimaz Putranto sebagai teman kerja sama dan diskusi mengenai masalah penelitian. Semua masalah yang harusnya sulit dilalui menjadi gampang ketika bekerja sama.
8. Kak Sandra ST. dan Kak Muh. Faqih Imam Djafar ST. yang telah membantu penulis dalam menemukan judul penelitian.
9. Asisten-asisten Laboratorium Mekanika Fluida yaitu Kanda Muh. Alif Wahab Adhichahya, Muh. Dzulfaqar Syaifullah, Muh. Adam Padanrangi, Fairuz Adhim, Andrian Saputra Tanyawan, Agung Tri Saputra, Alfriandi Kansasi Issan, Febry Valentino dan Ilham Ananda yang telah menjadi partner sesama asisten yang selalu menjadi tempat bercerita dan berdiskusi mengenai masalah mekanika fluida.
10. Saudara Jailani Ahmad T. dan Sofia Nadila yang telah memberikan kontribusi besar berupa alat-alat kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan instalasi perpipaan.
11. Saudara Henry Dwiputra Hafid yang telah membantu penulis dalam penulisan format skripsi sehingga skripsi dapat sesuai dengan prosedur.
12. Teman-teman Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas yang selalu menyediakan tempat untuk penulis beristirahat setelah melakukan pengambilan data sekaligus teman bercanda dan jalan.
13. Saudara seperjuangan Bruzhlezz 19 yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan kerjasamanya.
14. Teman-teman Kuliah Kerja Nyata terkhusus keluarga Posko 5 Desa Langkura yang telah memberikan dukungan dan semangatnya semasa penelitian.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat berharap adanya kritik maupun saran yang membangun untuk kesempurnaan skripsi ini di masa yang akan datang.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan juga bagi peneliti selanjutnya. Terima kasih.

Gowa, 23 Agustus 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kita hidup di dunia ini tidak akan pernah terpisahkan dengan sistem perpipaan dan fluida untuk memenuhi kebutuhan hidup. Sistem Perpipaan merupakan suatu sistem yang digunakan untuk memindahkan fluida antar peralatan (*equipment*) dari suatu tempat ke tempat yang lain atau digerakkan dari suatu tempat ke tujuan yang diinginkan, proses transportasi fluida dilakukan dengan bantuan pompa, kompresor, maupun dengan memanfaatkan gravitasi bumi. Pada suatu sistem perpipaan tidak dapat dipisahkan dengan fluida, fluida adalah tujuan utama dibuatnya suatu sistem perpipaan, tanpa adanya fluida suatu sistem perpipaan tidak akan berguna bagi kehidupan kita.

Suatu fluida dapat diartikan sebagai zat yang bisa berubah bentuk sesuai dengan bidang atau bentuk yang dialirinya. Apabila fluida mengalir suatu media, fluida akan mengalami kerugian aliran sesuai dengan media yang dilaluinya. Hal ini mengakibatkan aliran fluida kurang maksimal. Salah satu contoh kerugian energi yang terjadi pada aliran fluida adalah penampang yang menyebabkan reaksi berkelanjutan di dalam pipa. Kerugian ini dapat mengakibatkan gesekan fluida dengan permukaan dalam dinding pipa dan juga komponen yang terdapat pada sistem perpipaan tersebut.

Kerugian aliran yang terjadi pada pipa biasa disebut dengan *head losses*. Rugi-rugi aliran merupakan kehilangan energi mekanik persatuan massa fluida. Pada umumnya, rugi aliran yang terbesar terjadi pada fluida cair, hal ini dikarenakan sifat molekul dari air yang padat dibandingkan gas dan memiliki gesekan lebih besar terhadap media yang dilaluinya. Semakin besar rugi aliran semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan fluida. Misalnya, suatu sistem perpipaan memiliki

banyak percabangan, maka rugi-rugi aliran yang dimiliki akan semakin besar, sehingga penggunaan listrik pada mesin penggerak fluida (pompa) akan semakin besar. Selain itu, salah satu penyebab dari rugi aliran adalah jenis pipa yang digunakan yang memiliki kekasaran permukaan yang berbeda-beda sesuai dengan jenis pipanya.

Dari kerugian-kerugian tersebut juga mengakibatkan perbedaan tekanan yang terjadi antara sebelum dan sesudah komponen pipa, sehingga terjadi kehilangan daya tekanan dalam pipa atau *head loss*. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk membuat penelitian dengan “Analisis Perbandingan Kerugian Aliran pada Pipa Jenis PVC dan HDPE dengan Menggunakan *Elbow 90°*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, ada beberapa permasalahan yang dapat ditemukan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh material atau jenis pipa terhadap kerugian aliran (*head losses*) pada sistem perpipaan?
2. Bagaimana pengaruh material atau jenis pipa terhadap perubahan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi pada sistem perpipaan?
3. Bagaimana pengaruh material atau jenis pipa yang digunakan pada faktor gesek (*friction factor*)?
4. Bagaimana perbedaan metode perhitungan *major losses* Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap pengaruh material atau jenis pipa?
5. Bagaimana perbedaan metode perhitungan faktor gesek Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari terhadap pengaruh material atau jenis pipa dan metode perhitungan manakah yang direkomendasikan untuk digunakan menghitung faktor gesek?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada di atas, dapat disimpulkan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh material atau jenis pipa terhadap kerugian aliran pada sistem perpipaan.
2. Menganalisis pengaruh material atau jenis pipa terhadap perubahan tekanan yang terjadi pada sistem perpipaan.
3. Menganalisis pengaruh material atau jenis pipa terhadap faktor gesek pada sistem perpipaan.
4. Menganalisis perbedaan metode perhitungan *major losses* Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap pengaruh material atau jenis pipa.
5. Menganalisis perbedaan metode perhitungan faktor gesek Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari terhadap pengaruh material atau jenis pipa dan metode perhitungan yang direkomendasikan untuk digunakan menghitung faktor gesek.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah yang ada di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini, diameter dari kedua jenis pipa yang digunakan adalah $\frac{3}{4}$ " .
2. Fluida yang digunakan pada penelitian ini adalah air.
3. Alat yang digunakan untuk mengukur tekanan adalah *pressure gauge* dengan tekanan maksimum 2,5 bar atau 36,26 psi.
4. Jenis katup yang digunakan pada penelitian ini adalah *ball valve*.
5. Pembukaan katup yang digunakan pada penelitian ini ada 5 yaitu pembukaan katup 90° sebagai pembukaan katup

maksimal, 80°, 70°, 60°, dan 50° sebagai pembukaan katup minimal.

6. Pemasangan jenis pipa akan diganti pada setelah *ball valve*, sehingga yang untuk perhitungan panjang pipa dalam mencari *major losses* dihitung setelah *ball valve* pada instalasi perpipaan.
7. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *major losses* adalah persamaan Hazen-William dan Darcy-Weisbach yang akan digunakan sebagai perbandingan.
8. Pada persamaan Darcy-Weisbach akan digunakan 5 persamaan eksplisit untuk menemukan faktor gesek yang disediakan oleh 5 para peneliti yaitu Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari.
9. Tidak memperhitungkan *head pump*.
10. Tidak memperhitungkan tegangan geser dalam pipa.
11. Tidak memperhitungkan tekanan statis dalam pipa.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada peneliti yang meneliti hal yang berkaitan dengan pengaruh jenis material atau jenis pipa pada kerugian aliran.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menambahkan ilmu pengetahuan kepada pembaca mengenai pengaruh jenis material atau jenis pipa pada kerugian aliran, sehingga dapat lebih paham terhadap penggunaan jenis pipa yang sesuai digunakan pada suatu sistem perpipaan.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi dalam penelitian selanjutnya yang berkaitan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan merupakan bagian utama suatu sistem yang menghubungkan suatu titik ke titik lain dimana fluida disimpan ke titik pengeluaran semua pipa, baik untuk memindahkan tenaga atau pemompaan harus dipertimbangkan secara teliti karena keamanan dari suatu sistem pemipaan proses akan tergantung pada susunan perpipaan seperti halnya pada sistem pemipaan lainnya (Alexander Sihite, 2013). Sistem perpipaan berfungsi untuk mengalirkan zat cair dari satu tempat ke tempat yang lain. Aliran terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di kedua tempat, yang bisa terjadi karena adanya perbedaan elevasi muka air atau karena adanya pompa. Pemakaian jaringan pipa dalam bidang teknik mesin terdapat pada sistem jaringan distribusi air minum (Aida Nurfadillah, 2013).

Komponen pada sistem perpipaan yaitu percabangan, belokan pipa, sambungan pipa, katup-katup, pembesaran dan pengecilan pipa. Sambungan belokan pipa pastinya mengakibatkan kerugian yang terjadi karena kontraksi fluida dengan dinding pipa yang mengalami perubahan arah aliran fluida mengalir (Bambang Kurniawan, 2020). Pada pendistribusian air sambungan belokan pipa sangat banyak ditemukan baik di industri ataupun di perumahan. Dilihat dari jenis belokannya terdapat dua jenis belokan dalam sambungan pipa, yaitu sambungan belokan patah dan sambungan belokan yang berjari-jari. Dari kedua jenis belokan tersebut yang sering dan paling banyak ditemukan adalah sambungan belokan berjari-jari (Zainudin dkk, 2012). Perancangan sistem perpipaan yang baik dan aman sangat dibutuhkan untuk menjamin kelangsungan dari proses serta menjamin umur pemakaian dari sistem pemipaan sesuai dengan siklus rancangan (Parada Anugerah, 2014).

2.2 Komponen-Komponen Sistem Perpipaan

2.2.1 Katup

Valve atau yang biasa disebut katup adalah sebuah perangkat yang mengatur, mengarahkan atau mengontrol aliran dari fluida. *Valve* atau katup dapat dioperasikan secara manual, baik oleh pegangan, tuas pedal dan lain-lain. Selain dapat dioperasikan secara manual katup juga dapat dioperasikan secara otomatis dengan menggunakan prinsip perubahan aliran tekanan. Pembukaan atau penutupan sebagian katup dapat berpengaruh terhadap *head loss* yang dialami dalam sistem pemipaan, nilai *head loss* yang dialami pada setiap pembukaan ataupun penutupan sebagian katup pastinya akan berbeda-beda. Maka untuk mengetahui *head loss* yang diakibatkan dari pembukaan, atau penutupan sebagian katup perlu dilakukan analisis (Agung Nugroho, dkk. 2020).



Gambar 1 Katup bola (*ball valve*)



Gambar 2 *Gate valve*

2.2.2 *Elbow*

Elbow sebagai sambungan pipa digunakan untuk membelokkan atau merubah arah pipa. *Elbow* yang banyak digunakan memiliki sudut 45° dan 90° . Selain *elbow*, sambungan pipa yang digunakan antara lain *T joint*, *Y joint* dan lain-lain.



Gambar 3 *Elbow 90⁰*



Gambar 4 *Elbow 45⁰*

2.2.3 Pompa

Pompa merupakan sebuah alat yang dapat digunakan untuk mengalirkan fluida dari permukaan yang lebih rendah ketempat yang lebih tinggi, ataupun ketempat yang lebih tinggi ketempat yang lebih rendah. Pompa digunakan untuk memindahkan fluida dengan memberikan kerja mekanis melalui sudu-sudu atau baling-baling. Desain sistem perpipaan menjadi sangat penting dan mempunyai efek yang sangat besar dalam kinerja pompa. Sistem pompa akan beroperasi dengan performansi yang optimal jika ketiga komponen sistem pompa tersebut direncanakan dengan baik dan sesuai dengan standar pemakainya. Namun dalam aplikasinya sering kali sistem perpipaan pompa tersebut tidak dapat beroperasi sesuai dengan titik kerja performansi terbaiknya (*best efficiency point*) (Ifan Febrianto, dkk. 2018).



Gambar 5 Pompa

2.2.4 *Reservoir* (Tandon)

Reservoir (tandon) berfungsi sebagai wadah untuk menampung dan melindungi air yang ada agar terkumpul di suatu wadah sebelum disalurkan. Selain untuk menampung air, tandon juga berfungsi sebagai menjaga tekanan air agar tetap stabil (Wahyudi E., 2022).

Gambar 6 *Reservoir* (tandon)

2.2.5 *Pressure Gauge* (Alat Ukur Tekanan)

Pressure gauge merupakan salah satu jenis alat ukur yang banyak digunakan saat ini. Penggunaannya yang mudah dan praktis membuat alat ini lebih sering digunakan di industri. *Pressure gauge* dilengkapi dengan skala ukur yang memudahkan pemakai untuk mengetahui tekanan yang diteliti dengan cepat sehingga

kemungkinan kesalahan pengukuran akibat pembacaan ukuran semakin kecil (Ahmad Fathoni dkk, 2022).



Gambar 7 *Pressure gauge*

2.2.6 *Boltings* (Baut-Baut)

Baut atau *Bolting* berfungsi sebagai pengikat untuk menahan dua obyek bersama, dan berbagai jenis komponen atau *equipment*. Ada tiga jenis baut yang umum digunakan yaitu baut mesin (*machine bolt*), baut paku (*stud bolt*), dan ulir penutup (*cap screw*) (Rabbani, 2018).



Gambar 8 *Boltings* (baut-baut)

2.2.7 *Pipe Supports* (Penyangga Pipa)

Penyangga pipa adalah perakitan komponen yang menempel pada pipa dan mentransfer beban pipa ke struktur bangunan dengan cara yang akan memastikan pengendalian yang memadai di bawah

statis dan kondisi dinamis selama *startup*, operasi, dan *shutdown* pabrik. Oleh karena itu, pipa mendukung mewakili antarmuka antara sistem struktur bangunan dan sistem perpipaan, yang berinteraksi dengan lokasi peralatan dan industri (RJ Arbulu, 2002).



Gambar 9 *Pipe supports* (penyangga pipa)

2.3 *Head Losses* (Kerugian Aliran)

Head losses merupakan suatu fenomena rugi– rugi aliran di dalam sistem pemipaan. Rugi–rugi aliran selalu terjadi pada sistem pemipaan dengan menggunakan berbagai macam fluida, seperti fluida cair dan gas. Pada umumnya, rugi aliran yang terbesar terjadi pada fluida cair, hal ini dikarenakan sifat molekulnya yang padat dibandingkan gas dan memiliki gesekan lebih besar terhadap media yang dilaluinya, terutama jika koefisien gesek media yang dilalui itu lebih besar, maka gesekan yang terjadi pun akan semakin besar (Helmizar, 2010). Sistem perpipaan biasanya dilengkapi sambungan, *elbow* dan katup. Kelengkapan dalam perpipaan tersebut mengakibatkan adanya hambatan atau gesekan yang mengakibatkan *head loss* (Agung Nugroho, dkk. 2020).

Menurut Bambang Kurniawan, dkk dengan judul penelitian “Pengaruh Jenis Sambungan Pipa *Elbow 90°* dan *Short Bend* Terhadap *Head Loss* Pada Sistem Perpipaan” pada tahun 2020, *Head loss* adalah suatu ukuran dalam bentuk nilai yang digunakan untuk mengetahui seberapa besarnya pengurangan tekanan yang disebabkan oleh fluida saat

melewati sistem aliran berpenampang. Kehilangan tekanan dapat dibagi menjadi 2 yaitu kehilangan tekanan *mayor* dan kehilangan tekanan *minor*.

2.3.1 *Mayor Losses*

Mayor losses terjadi karena adanya kekentalan zat cair dan turbulensi karena adanya kekerasan dinding batas pipa yang akan menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan rugi aliran di sepanjang pipa dengan kecepatan konstan pada aliran seragam. Rugi aliran sepanjang satu satuan panjang akan konstan selama kekerasan dan diameter tidak berubah (Ismet Putra, dkk, 2017). Persamaan yang digunakan untuk menghitung *mayor losses* ada dua metode yaitu metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach, menurut Izhari Siregar pada tahun 2021 adalah persamaan Hazen-Williams yaitu :

$$h_f = \frac{10,666 \times Q^2 \times L}{C^{1,85} \times D^{4,85}} \quad (1)$$

Dan menurut S. Abdulameer pada tahun 2022 adalah persamaan Darcy-Weisbach :

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2)$$

Dimana :

h_f : koefisien kehilangan energi primer (m)

Q : debit aliran (m^3/s)

C : koefisien Hazen-Williams

D : diameter pipa (m)

L : panjang pipa (m)

V : kecepatan aliran fluida (m/s)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

2.3.2 *Minor Losses*

Kehilangan tekanan *minor* adalah kehilangan tekanan yang terjadi karena adanya gesekan antara fluida dengan sambungan pipa seperti belokan pipa (*elbow*), katub (*valve*), percabangan (*tee*) dan perubahan penampang. (Ermadi, Dwi dan Darmanto. 2018). Persamaan yang digunakan untuk menghitung *minor losses* menurut Zaid Hafiz pada tahun 2019 adalah :

$$h_{l,minor} = f \frac{V^2}{2 \times g} n \quad (3)$$

Dimana :

- $h_{l,minor}$: *Minor Head losses* (m)
- f : Koefisien *minor losses fitting*
- V : Kecepatan aliran fluida (m/s)
- n : Jumlah Komponen
- g : Percepatan gravitasi (m/s²)

2.4 Tekanan Aliran

Tekanan aliran adalah salah satu faktor penting dalam pengaliran air dalam pipa. Bila tekanan rendah, maka akan menimbulkan masalah dalam pendistribusian jaringan pipa. Namun bila tekanan terlalu besar akan menyebabkan kehilangan energi. Selain itu, dalam instalasi jaringan pipa akan terjadi hambatan aliran yang disebabkan faktor-faktor instalasi jaringan pipa itu sendiri seperti kecepatan aliran, perubahan dimensi pipa dan adanya belokan, serta perubahan kekasaran material pipa. Hambatan aliran akan menyebabkan turunnya energi dan tekanan (Siti Rahma, 2021). Untuk mengetahui perubahan tekanan persamaan yang digunakan menurut Izhari Siregar pada tahun 2021 dengan menggunakan manometer dan *pressure gauge* adalah :

$$P_A = P_{atm} + h_2\gamma_2h_1\gamma_1 \quad (4)$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (5)$$

Dimana :

P_A : Tekanan di suatu titik (N/m²)

ΔP : Perubahan Tekanan (N/m²)

P_1 : Tekanan sebelum belokan (N/m²)

P_2 : Tekanan sesudah belokan (N/m²)

P_{atm} : Tekanan atmosfer (N/m²)

h_1 : beda tinggi fluida 1 dan 2 (m)

h_2 : beda tinggi fluida 2 dan atmosfer (m)

$\gamma_{1,2}$: berat jenis fluida 1 dan 2 (kg/m³)

2.5 Koefisien Hazen-William

Koefisien Hazen – William merupakan suatu koefisien yang digunakan untuk menggambarkan kondisi fisik dari pipa seperti kehalusan dinding dalam pipa yang menggambarkan jenis pipa dan umur. Koefisien ini dapat kita temukan pada persamaan Hazen – William yang secara empiris persamaan ini menyatakan bahwa debit yang mengalir didalam pipa adalah sebanding dengan diameter pipa dan kemiringan hidrolis yang dinyatakan sebagai rasio antara kehilangan tekanan terhadap panjang pipa (Muhammad Zaid, dkk. 2019). Persamaan Hazen – William yang digunakan oleh Muhammad Zaid pada tahun 2019 adalah sebagai berikut :

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times S^{0,54} \quad (6)$$

$$S = \frac{H_l}{L} \quad (7)$$

Dimana :

C : Koefisien Hazen - William

D : Diameter dalam pipa (m)

H_l : *Mayor Loss* (m)

- S : Kemiringan pipa
L : Panjang pipa (m)

2.6 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan sangat berpengaruh terhadap rugi *head* yang terjadi pada aliran fluida, yang mana semakin kasar permukaan dalam pipa maka nilai kapasitas aliran semakin menurun dan nilai tekanan akan semakin meningkat dan besar (A. Intang, 2023).

Nilai dari kekasaran permukaan dari pipa tergantung dengan jenis pipa yang digunakan, dikarenakan setiap pipa memiliki nilai kekasaran permukaan masing-masing. Tabel nilai kekasaran permukaan jenis-jenis pipa dalam satuan meter ($m \times 10^{-6}$) terdapat pada buku *Fluide Design* oleh Jacques Chaurette.

2.7 Tabel Sifat Air

Nilai massa jenis (*density*) dapat sangat bervariasi antara cairan yang berbeda, tetapi untuk air, variasi dalam tekanan dan suhu umumnya hanya memiliki efek kecil pada nilai massa jenis. ketika temperatur meningkat, gaya kohesif dalam fluida berkurang dengan pengurangan yang sesuai dalam resistensi terhadap gerak. Karena viskositas adalah indeks dari resistensi ini, maka viskositas berkurang dengan kenaikan temperatur. Namun dalam gas, molekul-molekulnya tersebar luas dan gaya antar molekul dapat diabaikan. Dalam hal ini, resistensi terhadap gerakan relatif muncul karena pertukaran momentum molekul gas antara lapisan yang berdekatan (B. Munson, 1994).

2.8 Laju Aliran Massa

Mass flow rate atau laju aliran massa adalah massa suatu fluida yang mengalir per satuan waktu. *Mass flow rate* juga disebut fluks massa atau arus massa dimana dalam satuan internasional (SI) satuannya adalah kilogram per detik (kg/s) dan simbol yang digunakan adalah (\dot{m}) (D. Dewantara (2020)).

Menurut Dany Dewantara pada tahun 2020 persamaan yang digunakan adalah :

$$\dot{m} = Q \times \rho \quad (8)$$

Dimana :

- \dot{m} : Laju Aliran Massa (kg/s)
- Q : Debit Aliran (m³/s)
- ρ : Massa Jenis (kg/m³)

2.9 Bilangan Reynold

Osborne Reynold telah melakukan beberapa percobaan untuk menentukan kriteria aliran laminar dan turbulen. Reynold menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar, jika kecepatan alirannya diturunkan sedemikian rupa sehingga bilangan Reynold lebih kecil dari 2300 ($Re < 2300$). Begitupula dikatakan alirannya turbulen, pada saat bilangan Reynold lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$). Dan jika bilangan Reynold berada diantara 2300 dan 4000 ($2300 < Re < 4000$) maka aliran tersebut adalah aliran yang berada pada daerah transisi (Zainudin, 2012).

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (9)$$

Dimana :

- Re = Bilangan Reynold
- V = Kecepatan Aliran Fluida (m/s)
- D = Diameter Pipa (m)
- ν = Viskositas Kinematis (m²/s)

2.10 Faktor Gesek

Untuk mengukur penurunan gesekan dalam pipa aliran, hubungan Darcy-Weisbach biasanya digunakan, salah satu bagian dari hubungan tersebut adalah faktor gesekan Darcy. Satu hubungan yang tepat untuk mengukur koefisien ini adalah persamaan Colebrook-White. Namun, karena hubungan ini bersifat implisit dan membutuhkan metode pencarian akar numerik untuk mendapatkan faktor gesekan, para peneliti menyediakan berbagai hubungan substansial dan eksplisit untuk itu, di mana mempertimbangkan akurasi hubungan sebelum diterapkan sangat penting. Dalam penelitian ini, 29 hubungan eksplisit yang dikumpulkan oleh peneliti yang berbeda disediakan dan kemudian diuji dalam hal akurasi. Hasil menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan persamaan Colebrook-White (Saeed Kazemi, 2014).

➤ Colebrook-White :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right] \quad (10)$$

➤ Haaland (1983) :

$$f = \left[-1,8 \log \left(\left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right) \right]^{-2} \quad (11)$$

➤ Serghides (1984) :

$$\begin{aligned} A &= -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{12}{Re} \right) \\ B &= -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51A}{Re} \right) \\ C &= -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51B}{Re} \right) \\ \frac{1}{\sqrt{f}} &= \frac{A - (B - A)^2}{C - 2B + A} \end{aligned} \quad (12)$$

➤ Vatankah-Kouchak (2008) :

$$S = 0,124 \times \frac{\varepsilon}{D} \times Re + \ln(0,4587 \times Re)$$

$$f = \left(0,8686 \times \ln \left(\frac{0,4587 Re}{(S-0,31) \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{0,9633}} \right) \right)^{-2} \quad (13)$$

➤ Buzelli (2008) :

$$\alpha = \frac{0,744 \ln(Re) - 1,41}{1 + 1,32 \sqrt{\frac{\varepsilon}{D}}}$$

$$\beta = \frac{\frac{\varepsilon}{D} \times Re}{3,7} + \frac{2,51}{\alpha} \quad (14)$$

$$f = \left(\frac{\alpha - \left(2 - \log \frac{\beta}{Re} \right)}{1 + \frac{2,18}{\beta}} \right)^{-2}$$

➤ Ghanbari (2011) :

$$f = \left(-1,52 \log \left(\left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1,042} + \left(\frac{2,731}{Re} \right)^{0,9152} \right) \right)^{-2,169} \quad (15)$$

Dimana : f = Faktor Gesek (*friction factor*)

ε = Kekasaran Permukaan Pipa (m)

D = Diameter Pipa (m)

Re = Bilangan Reynold

2.11 Laju Aliran Fluida (*Flow Rate*)

Perubahan tekanan di dalam pipa pengujian terjadi seiring bertambahnya laju aliran fluida. Semakin besar laju aliran fluida dalam pipa maka semakin kecil tekanan yang terjadi pada fluida (U. Dharma, 2012).

Untuk memperhitungkan laju aliran fluida di dalam pipa kita dapat menggunakan persamaan menurut U. Dharma pada tahun 2012 yaitu sebagai berikut :

$$V = \frac{Q}{A} \quad (16)$$

Dimana : V = Laju Aliran Fluida (m/s)

Q = Debit Aliran (m³/s)

A = Luas Alas Permukaan Pipa/Lubang (m²)

2.12 Pipa *Polyinyl Chloride* (PVC)

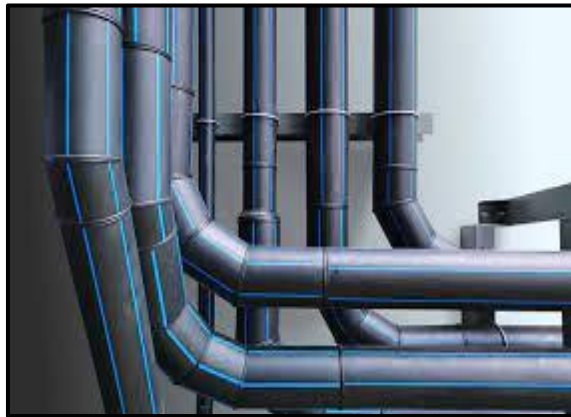
Polyvinyl chloride (PVC) adalah produk berbasis sumber daya alam bumi, yang berasal dari garam dan gas atau minyak. Elektrolisis air garam menghasilkan klorin (selain sodium hidroksida dan hidrogen). Etilen dapat diturunkan dari nafta ketika minyak disuling atau dari gas alam. Klorin dan etilen dapat digabungkan untuk membentuk monomer vinil klorida. PVC dihasilkan dari polimerisasi vinil klorida (S. Patrick, 2005).



Gambar 10 Pipa *Polyvinyl chloride* (PVC)

2.13 Pipa *High Density Polyethylene* (HDPE)

Pipa HDPE adalah jenis pipa yang paling baik dari pada jenis pipa yang lainnya, mengapa bisa di katakan demikian karena pipa HDPE merupakan jenis pipa yang sangat elastis atau lentur, sehingga anda dapat dengan mudah untuk memasangnya, menyambunganya, memasukkan ke dalam tanah yang dapat mengikuti pergerakan tanah nya, dan juga sangat mudah dalam ekspedisi. Pipa HDPE merupakan jenis pipa yang terbuat dari bahan *polytline* atau PE, sehingga banyak orang yang menyebut nya dengan pipa PE yang di mana memiliki tingkat keretakan yang sangat rendah (Agus Topo Subekti, 2021).



Gambar 11 Pipa *high density polyethylene* (HDPE)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Mesin Fluida Departemen Teknik Mesin Lt. 1, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Jl. Poros Malino Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Waktu penelitian dilaksanakan selama 10 bulan, dimulai dari bulan Oktober 2022 sampai Agustus 2023.

3.2 Jenis dan Sumber Data

Untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam penyusunan tugas akhir ini, maka pengumpulan data dilakukan dengan cara pengujian di lapangan dan hasilnya divalidasi. Proses penelitian ini menggunakan beberapa teknik pengumpulan data sebagai berikut:

- a. Teknik observasi, melakukan pengambilan data dari pengujian di lapangan dan mencatat hasil yang didapatkan dari setiap pengujian.
- b. Teknik dokumentasi, mengumpulkan data melalui dokumentasi dilakukan untuk mengurangi kesalahan dalam pencatatan hasil dari pengujian.
- c. Studi kepustakaan (*library research*) yaitu dengan membaca dan mengumpulkan data-data teoritis melalui buku-buku, tulisan ilmiah, literatur serta catatan perkuliahan yang bersangkutan dengan masalah-masalah yang akan dibahas, sehingga diperoleh landasan yang digunakan dalam pemecahan masalah tersebut.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

1. Gergaji

Gergaji berfungsi untuk memotong pipa sesuai dimensi yang diinginkan.



Gambar 12 Gergaji

2. *Pressure Gauge*

Pressure Gauge digunakan untuk menghitung tekanan pada belokan pipa yang ditempatkan sebelum dan sesudah belokan pipa.



Gambar 13 *Pressure gauge*

3. *Coupler Female*

Digunakan sebagai tempat masuknya selang timbang pada *pressure gauge*.



Gambar 14 *Coupler female*

4. *Reservoir*

Digunakan sebagai tempat penampungan air.



Gambar 15 *Reservoir*

5. Pompa

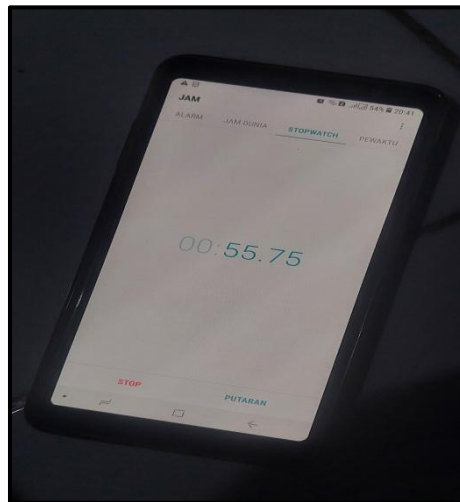
Pompa digunakan untuk menggerakkan fluida dari *reservoir* (tandon) yang akan dialirkan di pipa.



Gambar 16 Pompa

6. *Stopwatch*

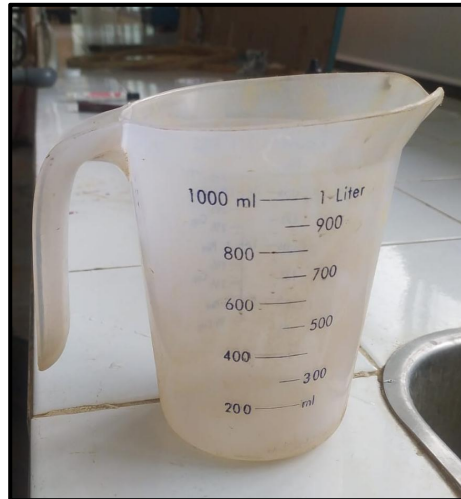
Stopwatch digunakan untuk menghitung total waktu yang dibutuhkan untuk mengisi penuh ember dengan volume 10 L untuk menghitung debit setiap pembukaan katup.



Gambar 17 *Stopwatch*

7. Gelas Ukur

Digunakan untuk mengisi air di ember hingga 10 liter agar diketahui sampai dimana batas 10 liter pada ember.



Gambar 18 Gelas ukur

8. Ember

Ember digunakan sebagai media penampung air sebesar 10 liter yang akan dihitung debitnya dengan total waktu yang dibutuhkan untuk mengisi penuh ember.



Gambar 19 Ember

9. Mesin Las

Mesin las digunakan untuk membuat *pipe support* dengan menyambungkan kerangka *pipe support*, dan untuk menyambung *elbow* besi 2" ke *reservoir*.



Gambar 20 Mesin las

10. Bor Listrik

Digunakan untuk melubangi *reservoir* dan pipa pada setiap titik tekanan tempat dimana *pressure gauge* akan diletakkan.



Gambar 21 Bor listrik

11. Mesin Gerinda

Digunakan untuk memotong besi siku pada saat pembuatan *pipe supports*.



Gambar 22 Mesin gerinda

12. *Pipe Support* (Penyangga Pipa)

Alat yang digunakan untuk menyangga pipa.



Gambar 23 Penyangga pipa

13. Tang

Digunakan untuk merapatkan sambungan yang memiliki drat.



Gambar 24 Tang

14. Meteran

Digunakan untuk mengukur panjang pipa pada saat pembuatan instalasi perpipaan.



Gambar 25 Meteran

3.3.2 Bahan

1. Pipa PVC ($\frac{3}{4}$, 1, dan 2 inch)

- Pipa PVC $\frac{3}{4}$ inch, digunakan sebagai objek penelitian.



Gambar 26 Pipa pvc $\frac{3}{4}$ inch

- Pipa PVC 1 inch, digunakan sebagai saluran balik air dari *reservoir* bawah ke *reservoir* atas.



Gambar 27 Pipa pvc 1 inch

- Pipa PVC 2 inch, digunakan sebagai saluran penghubung antara *elbow* besi 2 inch dengan *elbow* PVC 2 inch, agar tekanan yang dihasilkan semakin besar.



Gambar 28 Pipa pvc 2 inch

2. *Elbow 90°* (PVC, HDPE, dan Galvanis)

- *Elbow 90°* PVC 2 inch, digunakan sebagai penghubung antara pipa PVC 2 inch yang terhubung dengan *reservoir* atas dengan pipa PVC 2 inch yang terhubung dengan *socket reducer*.



Gambar 29 *Elbow 90°* pvc 2 inch

- *Elbow 90°* Galvanis 2 inch, digunakan sebagai penghubung antara *reservoir* atas dengan pipa PVC 2 inch yang langsung mengarah ke bawah.



Gambar 30 *Elbow 90° galvanis 2 inch*

- *Elbow 90° PVC 1 inch*, digunakan sebagai penghubung pipa PVC 1 inch yang digunakan sebagai saluran balik air ke *reservoir* atas.



Gambar 31 *Elbow 90° pvc 1 inch*

- *Elbow 90° PVC ¾ inch*, digunakan sebagai objek penelitian.



Gambar 32 *Elbow 90° pvc ¾ inch*

- *Elbow 90° HDPE ¾ inch*, digunakan sebagai objek penelitian.



Gambar 33 *Elbow 90° hdpe ¾ inch*

3. *Socket Reducer*

Digunakan sebagai sambungan dari pipa PVC diameter 2 inch ke pipa PVC diameter ¾ inch.



Gambar 34 *Socket reducer*

4. *Valve* (Katup)

Valve digunakan untuk mengatur bukaan katup.



Gambar 35 Katup bola (*ball valve*)

5. Soket Drat Luar

Sebagai sambungan yang digunakan pada pompa yang terdapat ulir dalam atau pada sambungan yang lain yang memiliki drat dalam.



Gambar 36 Soket drat luar

6. Selang Timbang

Digunakan untuk menyambungkan lubang titik tekanan pada pipa ke *coupler female pressure gauge*.



Gambar 37 Selang timbang

7. Besi Siku

Besi siku digunakan untuk membuat *pipe supports*.



Gambar 38 Besi siku

8. Lem Besi

Digunakan untuk menambal kebocoran yang ada pada instalasi perpipaan.



Gambar 39 Lem besi

9. Isolasi Pipa

Digunakan untuk merapatkan pipa dengan sambungan sebelum diberi lem pipa.



Gambar 40 Isolasi pipa

10. Lem Pipa

Lem pipa digunakan untuk menyambungkan pipa dengan *elbow* atau merekatkan komponen-komponen yang diinginkan.



Gambar 41 Lem pipa

11. Pipa *High Density Polyethylene* (HDPE)

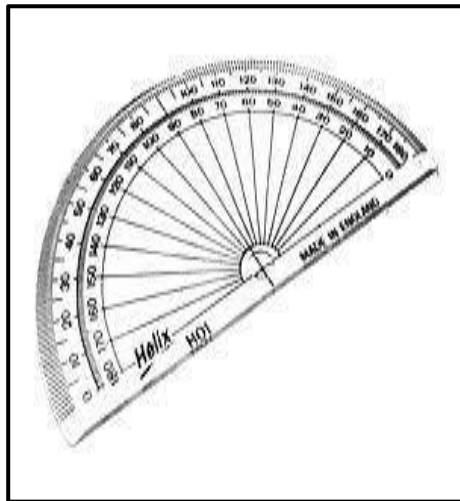
Pipa HDPE $\frac{3}{4}$ inch, digunakan sebagai objek penelitian.



Gambar 42 Pipa *high density polyethylene* (HDPE)

12. Busur Derajat

Busur derajat, digunakan untuk mengatur derajat pembukaan katup.

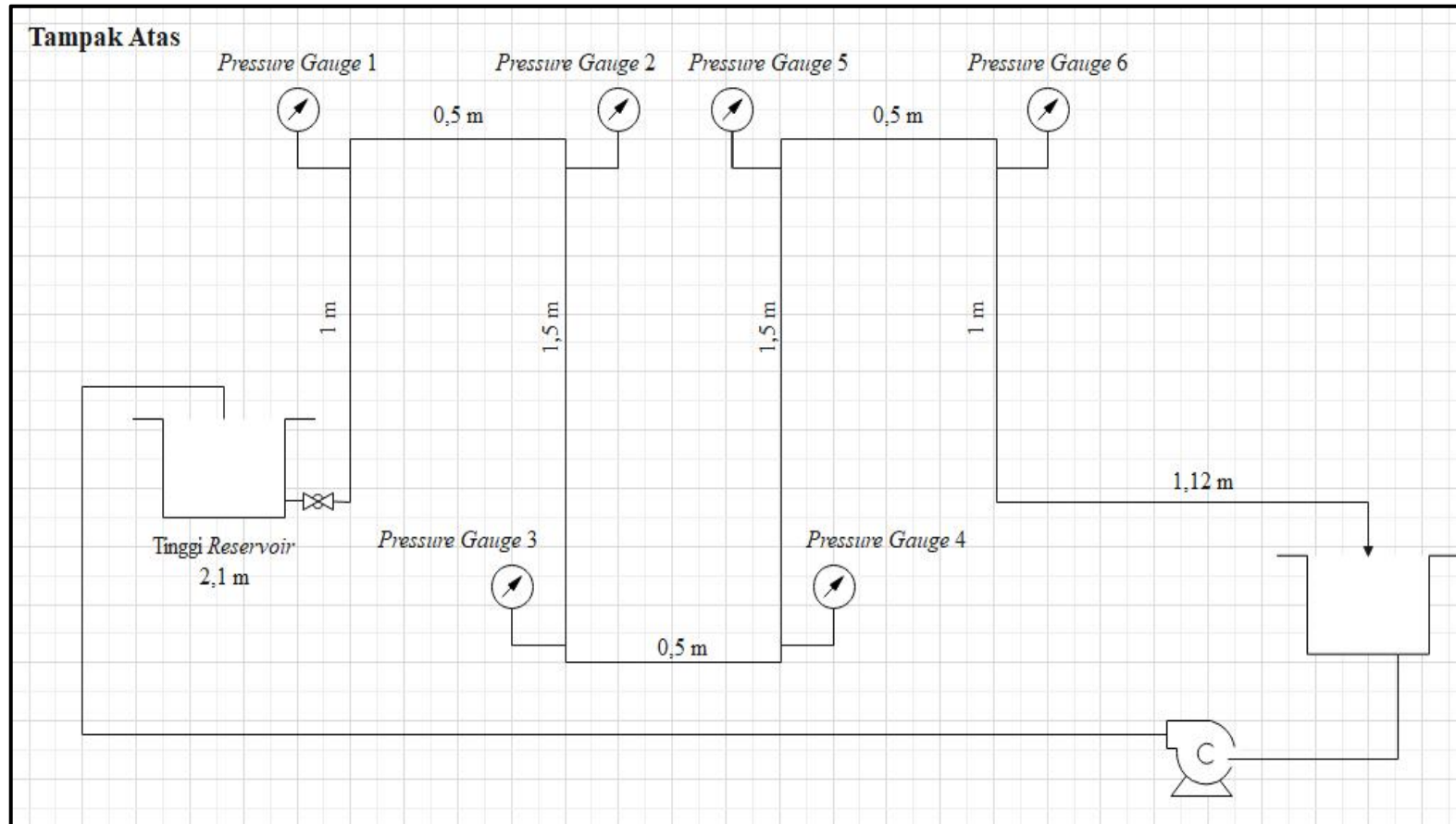


Gambar 43 Busur derajat

3.4 Prosedur Pengambilan Data

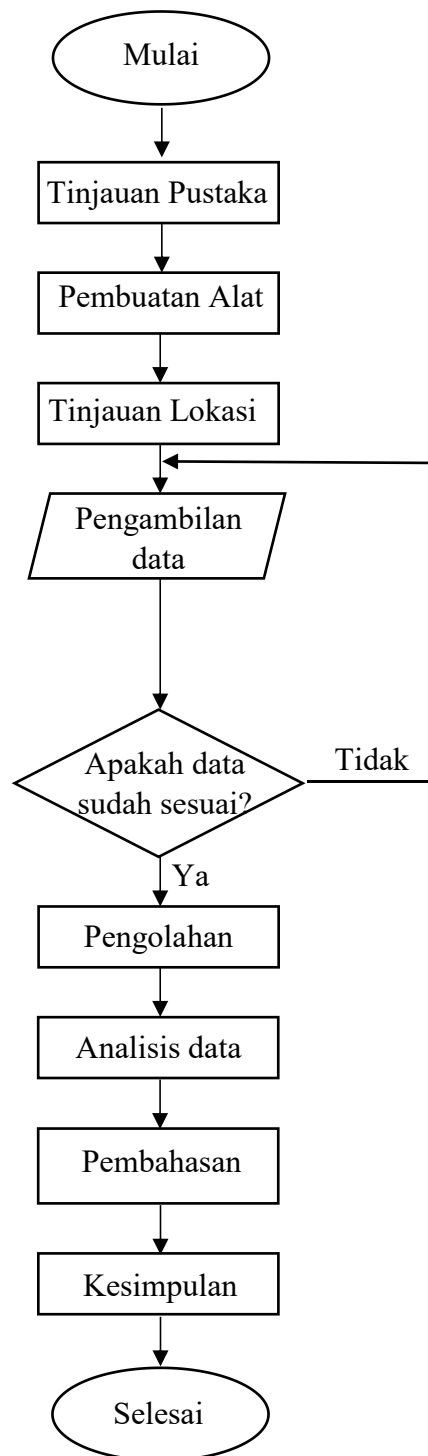
1. Menyiapkan instalasi sistem perpipaan di lokasi penelitian.
2. Memeriksa keadaan instalasi sistem perpipaan saat akan melakukan pengujian.
3. Memeriksa jarum *pressure gauge* untuk memastikan jarumnya menunjuk angka 0.
4. Menghitung panjang instalasi perpipaan dengan menggunakan meteran.
5. Menyalakan pompa untuk memastikan pompa dapat bekerja dengan baik.
6. Mengisi *reservoir* bagian atas sebelum melakukan pengujian.
7. Menghitung debit aliran pada masing-masing pengaturan pembukaan katup yaitu 50° , 60° , 70° , 80° , dan 90° dengan mengisi penuh ember 10 liter kemudian menghitung waktu dengan menggunakan *stopwatch*, saat ember 10 liter dipenuhi air *stopwatch* dihentikan dan mencatat waktu yang didapatkan. Pengukuran dilakukan sebanyak 15 kali lalu kemudian dirata-ratakan dengan tujuan mendapatkan nilai yang akurat.
8. Menghitung tekanan pada setiap titik tekanan pada ketiga belokan dengan melihat jarum yang ditunjukkan pada *pressure gauge* yang dipasang di sebelum belokan dan sesudah belokan pada masing-masing pengaturan pembukaan katup 50° , 60° , 70° , 80° , dan 90° . Pengukuran dilakukan sebanyak 15 kali lalu kemudian dirata-ratakan dengan tujuan mendapatkan nilai yang akurat.
9. Kemudian menghitung selisih tekanan pada setiap belokan dengan mengurangi tekanan yang ada pada sebelum belokan dengan tekanan yang ada pada sesudah belokan.
10. Mengubah jenis pipa yang digunakan pada instalasi sistem perpipaan yang sama. Kemudian mengulangi prosedur 1-9.
11. Membongkar instalasi perpipaan dari lokasi penelitian dan membersihkan lokasi penelitian serta alat-alat yang digunakan pada saat penelitian.

3.5 Rancangan Alat Penelitian



Gambar 44 Gambar rancangan instalasi penelitian

3.6 Flow Chart Penelitian



3.7 Instalasi Alat Penelitian



Gambar 45 Instalasi alat penelitian

BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN

4.1 Hasil

4.1.1 Data pada Pipa PVC

Adapun spesifikasi dari pipa PVC dan temperatur ruangan saat pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- $L = 7,62$ (m)
- $D = 0,019$ (m)
- $\varepsilon = 0,0000015$ (m) (Lampiran 7)
- $C = 140$ (Koefisien Hazen-William) (Lampiran 6)
- $T = 28$ °C
- $n = 8$ (jumlah *elbow*)

Berikut data hasil pengujian kerugian aliran (*head losses*) pada pipa PVC dengan pembukaan katup 50° sebagai berikut :

- $Q = 0,00027$ (m³/s)
- $P_1 = 24545,33$ (Pa)
- $P_2 = 23672,00$ (Pa)
- $P_3 = 19121,46$ (Pa)
- $P_4 = 18156,19$ (Pa)
- $P_5 = 15490,22$ (Pa)
- $P_6 = 14387,06$ (Pa)



Gambar 46 Gambar aliran pembukaan katup 50° pada pipa pvc

Berikut data hasil pengujian kerugian aliran (*head losses*) pada pipa PVC dengan pembukaan katup 60° sebagai berikut :

- $Q = 0,00034 \text{ (m}^3/\text{s)}$
- $P_1 = 25924,29 \text{ (Pa)}$
- $P_2 = 24867,09 \text{ (Pa)}$
- $P_3 = 22109,19 \text{ (Pa)}$
- $P_4 = 20500,41 \text{ (Pa)}$
- $P_5 = 16455,49 \text{ (Pa)}$
- $P_6 = 15306,36 \text{ (Pa)}$



Gambar 47 Gambar aliran pembukaan katup 60° pada pipa pvc

Berikut data hasil pengujian kerugian aliran (*head losses*) pada pipa PVC dengan pembukaan katup 70° sebagai berikut :

- $Q = 0,00038 \text{ (m}^3/\text{s)}$
- $P_1 = 28038,68 \text{ (Pa)}$
- $P_2 = 26521,83 \text{ (Pa)}$
- $P_3 = 23120,42 \text{ (Pa)}$
- $P_4 = 21281,82 \text{ (Pa)}$
- $P_5 = 17880,40 \text{ (Pa)}$
- $P_6 = 16041,80 \text{ (Pa)}$



Gambar 48 Gambar aliran pembukaan katup 70° pada pipa pvc

Berikut data hasil pengujian kerugian aliran (*head losses*) pada pipa PVC dengan pembukaan katup 80° sebagai berikut :

- $Q = 0,00042 \text{ (m}^3/\text{s)}$
- $P_1 = 29417,63 \text{ (Pa)}$
- $P_2 = 27533,06 \text{ (Pa)}$
- $P_3 = 24637,27 \text{ (Pa)}$
- $P_4 = 22155,15 \text{ (Pa)}$
- $P_5 = 19213,39 \text{ (Pa)}$
- $P_6 = 16639,35 \text{ (Pa)}$



Gambar 49 Gambar aliran pembukaan katup 80° pada pipa pvc

Berikut data hasil pengujian kerugian aliran (*head losses*) pada pipa PVC dengan pembukaan katup 90° sebagai berikut :

- $Q = 0,00047 \text{ (m}^3\text{/s)}$
- $P_1 = 31669,92 \text{ (Pa)}$
- $P_2 = 28590,26 \text{ (Pa)}$
- $P_3 = 25602,53 \text{ (Pa)}$
- $P_4 = 22982,52 \text{ (Pa)}$
- $P_5 = 20638,31 \text{ (Pa)}$
- $P_6 = 17696,54 \text{ (Pa)}$



Gambar 50 Gambar aliran pembukaan katup 90° pada pipa pvc

4.1.2 Data pada Pipa HDPE

Adapun spesifikasi dari pipa HDPE yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- $L = 7,62$ (m)
- $D = 0,019$ (m)
- $\varepsilon = 0,00007$ (m) (Lampiran 7)
- $T = 28$ °C
- $C = 130$ (Koefisien Hazen-William) (Lampiran 6)
- $n = 8$ (jumlah elbow)

Berikut data hasil pengujian kerugian aliran (*head losses*) pada pipa HDPE dengan pembukaan katup 50° sebagai berikut :

- $Q = 0,00025$ (m³/s)
- $P_1 = 23809,89$ (Pa)
- $P_2 = 22890,59$ (Pa)
- $P_3 = 18569,88$ (Pa)
- $P_4 = 17053,03$ (Pa)
- $P_5 = 14065,30$ (Pa)
- $P_6 = 12732,32$ (Pa)



Gambar 51 Gambar aliran pembukaan katup 50° pada pipa HDPE

Berikut data hasil pengujian kerugian aliran (*head losses*) pada pipa HDPE dengan pembukaan katup 60° sebagai berikut :

- $Q = 0,00033 \text{ (m}^3/\text{s)}$
- $P_1 = 25464,64 \text{ (Pa)}$
- $P_2 = 24453,40 \text{ (Pa)}$
- $P_3 = 21557,61 \text{ (Pa)}$
- $P_4 = 19351,28 \text{ (Pa)}$
- $P_5 = 15306,36 \text{ (Pa)}$
- $P_6 = 13881,44 \text{ (Pa)}$



Gambar 52 Gambar aliran pembukaan katup 60° pada pipa HDPE

Berikut data hasil pengujian kerugian aliran (*head losses*) pada pipa HDPE dengan pembukaan katup 70° sebagai berikut :

- $Q = 0,00036 \text{ (m}^3/\text{s)}$
- $P_1 = 27395,17 \text{ (Pa)}$
- $P_2 = 26154,11 \text{ (Pa)}$
- $P_3 = 22614,80 \text{ (Pa)}$
- $P_4 = 20362,52 \text{ (Pa)}$
- $P_5 = 17282,86 \text{ (Pa)}$
- $P_6 = 15398,29 \text{ (Pa)}$



Gambar 53 Gambar aliran pembukaan katup 70° pada pipa HDPE

Berikut data hasil pengujian kerugian aliran (*head losses*) pada pipa HDPE dengan pembukaan katup 80° sebagai berikut :

- $Q = 0,00041 \text{ (m}^3/\text{s)}$
- $P_1 = 28912,01 \text{ (Pa)}$
- $P_2 = 27073,41 \text{ (Pa)}$
- $P_3 = 24269,54 \text{ (Pa)}$
- $P_4 = 21695,50 \text{ (Pa)}$
- $P_5 = 18799,70 \text{ (Pa)}$
- $P_6 = 16363,56 \text{ (Pa)}$



Gambar 54 Gambar aliran pembukaan katup 80° pada pipa HDPE

Berikut data hasil pengujian kerugian aliran (*head losses*) pada pipa HDPE dengan pembukaan katup 90° sebagai berikut :

- $Q = 0,00045 \text{ (m}^3/\text{s)}$
- $P_1 = 30245,00 \text{ (Pa)}$
- $P_2 = 28268,50 \text{ (Pa)}$
- $P_3 = 25372,71 \text{ (Pa)}$
- $P_4 = 22706,73 \text{ (Pa)}$
- $P_5 = 20040,76 \text{ (Pa)}$
- $P_6 = 17190,93 \text{ (Pa)}$



Gambar 55 Gambar aliran pembukaan katup 90° pada pipa HDPE

4.1.3 Contoh Perhitungan

Pada penelitian ini yang akan diperhitungkan pada kedua jenis pipa adalah sebagai berikut :

- ΔP = Perubahan Tekanan (*pressure drop*) (Pa)
- V = Kecepatan Aliran Fluida (m/s)
- $h_{l,minor}$ = *Minor Losses* (m)
- Re = Bilangan Reynold
- \dot{m} = Laju Aliran Massa (kg/s)
- f = Faktor Gesek (*friction factor*)
- h_f = Kerugian Gesek (*mayor losses*) (m)
- $h_{l,total}$ = Total *Head Losses* (m)
- EP = Persentasi *Error* Faktor Gesek (%)

Pada contoh perhitungan akan digunakan data pipa HDPE pada pembukaan katup 70°, berikut contoh perhitungannya :

1. Perubahan Tekanan (*pressure drop*)

Untuk memperhitungkan perubahan tekanan yang terjadi pada setiap belokan, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5) satuan tekanan dikonversi dari satuan Psi menjadi Pascal (Pa) dengan mengalikan 6894,757 pada satuan psi :

➤ Perubahan Tekanan Belokan 1

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = 27395,17 - 26154,11 \text{ (pa)}$$

$$\Delta P = \mathbf{1241,056 \text{ (Pa)}}$$

➤ Perubahan Tekanan Belokan 2

$$\Delta P = P_3 - P_4$$

$$\Delta P = 22614,80 - 20362,52 \text{ (pa)}$$

$$\Delta P = \mathbf{2252,287 \text{ (Pa)}}$$

➤ Perubahan Tekanan Belokan 3

$$\Delta P = P_5 - P_6$$

$$\Delta P = 17282,86 - 15398,29 \text{ (pa)}$$

$$\Delta P = \mathbf{1884,567 \text{ (Pa)}}$$

2. Laju Aliran Fluida (*flow rate*)

Untuk memperhitungkan laju aliran fluida pada pipa, dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan (16) :

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,00036}{\frac{3,14}{4} 0,019}$$

$$V = \mathbf{1,27506 \text{ m/s}}$$

3. *Minor Losses* (kerugian sambungan)

Minor Losses dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) dan koefisien *minor losses* dari tabel lampiran :

$$h_{l,minor} = f \frac{V^2}{2 \times g} n$$

$$h_{l,minor} = 0,3 \frac{1,27506^2}{2 \times 9,81} 8$$

$$\mathbf{h_{l,minor} = 0,19887 m}$$

4. Bilangan Reynold (Re)

Dengan menggunakan persamaan (9) bilangan Reynold dalam pipa dapat ditemukan, untuk nilai dari viskositas kinematis air dapat kita lihat pada tabel lampiran karena temperatur 28 °C tidak ada pada tabel kita melakukan interpolasi, berikut nilai Reynoldnya :

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$Re = \frac{1,27506 \times 0,019}{8,415 \times 10^{-7}}$$

$$\mathbf{Re = 28789}$$

5. Laju Aliran Massa (\dot{m})

Laju aliran massa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (8), untuk nilai dari densitas air dapat kita lihat pada tabel lampiran karena temperatur 28 °C tidak ada pada tabel kita melakukan interpolasi, berikut nilai laju aliran massanya :

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

$$\dot{m} = 0,00036 \times 996,2$$

$$\mathbf{\dot{m} = 0,35996 kg/s}$$

6. Friction factor (faktor gesek)

Faktor gesek nilainya dapat ditemukan pada beberapa persamaan yang berhubungan substansial dan eksplisit untuk itu, pada penelitian ini digunakan hanya 5 persamaan yang akurat dengan persamaan Colebrook-White. Dimana pada penelitian Saeed Kazemi pada tahun 2014 menyimpulkan bahwa persamaan dari peneliti bernama Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari memiliki persentase kesalahan hanya sebesar $\pm 0,05\%$. Berikut nilai faktor gesek dengan menggunakan persamaan 10, 11, 12, 13, 14, dan 15 :

➤ Persamaan (10) (Colebrook-White) :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{0,00007/0,019}{3,7} + \frac{2,51}{28789\sqrt{f}} \right] = \mathbf{0,02345}$$

➤ Persamaan (11) (Haaland, 1983) :

$$f = \left[-1,8 \log \left(\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right) \right]^{-2}$$

$$f = \left[-1,8 \log \left(\left(\frac{0,00007/0,019}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{28789} \right) \right]^{-2}$$

$$\mathbf{f = 0,03107}$$

➤ Persamaan (12) (Serghides, 1984) :

$$A = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{12}{Re} \right)$$

$$A = -2 \log \left(\frac{0,00007}{\frac{0,019}{3,7}} + \frac{12}{28789} \right) = \mathbf{5,17710}$$

$$B = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51A}{Re} \right)$$

$$B = -2 \log \left(\frac{0,00007/0,019}{3,7} + \frac{2,51(5,17710)}{28789} \right)$$

$$= \mathbf{5,16554}$$

$$C = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51B}{Re} \right)$$

$$C = -2 \log \left(\frac{0,00007/0,019}{3,7} + \frac{2,51(5,16554)}{28789} \right)$$

$$= \mathbf{5,16588}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{A - (B - A)^2}{C - 2B + A}$$

$$f = \left(\frac{C - 2B + A}{A - (B - A)^2} \right)^2$$

$$f = \left(\frac{5,16588 - 2(5,16554) + 5,17710}{5,17710 - (5,16554 - 5,17710)^2} \right)^2 = \mathbf{0,04793}$$

➤ Persamaan (13) (Vatankah & Kouchak, 2008)

$$S = 0,124 \times \frac{\varepsilon}{D} \times Re + \ln(0,4587 \times Re)$$

$$= 0,124 \times \frac{0,00007}{0,019} \times 28789 + \ln(0,4587 \times 28789) = \mathbf{22,64021}$$

$$f = \left(0,8686 \times \ln \left(\frac{0,4587Re}{(S - 0,31)^{\left(\frac{S}{22,64021 + 0,9633}\right)}} \right) \right)^{-2}$$

$$f = \left(0,8686 \times \ln \left(\frac{0,4587(28789)}{(22,64021 - 0,31)^{\left(\frac{22,64021}{22,64021 + 0,9633}\right)}} \right) \right)^{-2}$$

$$= \mathbf{0,03128}$$

➤ Persamaan (14) (Buzzelli, 2008)

$$\alpha = \frac{0,744 \ln(Re) - 1,41}{1 + 1,32 \sqrt{\varepsilon/D}}$$

$$\alpha = \frac{0,744 \ln(28789) - 1,41}{1 + 1,32 \sqrt{0,00007/0,019}} = \mathbf{5,76713}$$

$$\beta = \frac{\varepsilon/D \times Re}{3,7} + \frac{2,51}{\alpha}$$

$$\beta = \frac{0,00007/0,019 \times 28789}{3,7} + \frac{2,51}{5,76713} = \mathbf{29,10096}$$

$$f = \left(\frac{\alpha - (2 - \log \beta/Re)}{1 + 2,18/\beta} \right)^{-2}$$

$$f = \left(\frac{5,76713 - (2 - \log 29,10096/28789)}{1 + 2,18/29,10096} \right)^{-2}$$

$$= \mathbf{0,02718}$$

➤ Persamaan (15) (Ghanbari, 2011)

$$f = \left(-1,52 \log \left(\left(\frac{\varepsilon/D}{7,21} \right)^{1,042} + \left(\frac{2,731}{Re} \right)^{0,9152} \right) \right)^{-2,169}$$

$$= \left(-1,52 \log \left(\left(\frac{0,00007/0,019}{7,21} \right)^{1,042} + \left(\frac{2,731}{28789} \right)^{0,9152} \right) \right)^{-2,169} = \mathbf{0,03156}$$

Rata-rata faktor gesek dari kelima persamaan eksplisit yang disediakan peneliti yang akan menjadi rata-rata faktor gesek adalah sebagai berikut :

$$\frac{0,03107 + 0,04793 + 0,03128 + 0,02718 + 0,03156}{5} = \mathbf{0,03381}$$

7. *Mayor Losses* (kerugian gesek)

Untuk mendapatkan *mayor losses* yang terjadi pada pipa HDPE ada 2 metode yang digunakan yaitu metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach. Pada metode Darcy terbagi menjadi 5 karena faktor gesek yang digunakan ada 5, dapat dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2) dan rata-ratakan hasil dari ke 5 persamaannya pada metode Darcy-Weisbach:

A. Metode Hazen-Williams

$$h_f = \frac{10,666 \times Q^2 \times L}{C^{1,85} \times D^{4,85}}$$

$$h_f = \frac{10,666 \times 0,00036^2 \times 7,62}{130^{1,85} \times 0,019^{4,85}}$$

$$h_f = \mathbf{0,29042 \text{ m}}$$

B. Metode Darcy-Weisbach

➤ Haaland (1983)

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

$$h_f = 0,03107 \frac{7,62}{0,019} \frac{1,27506^2}{2(9,81)} = 1,03260 \text{ m}$$

➤ Serghides (1) (1984)

$$h_f = 0,04793 \frac{7,62}{0,019} \frac{1,27506^2}{2(9,81)} = 1,59281 \text{ m}$$

➤ Vatankah & Kouchak (2008)

$$h_f = 0,03128 \frac{7,62}{0,019} \frac{1,27506^2}{2(9,81)} = 1,03961 \text{ m}$$

➤ Buzelli (2008)

$$h_f = 0,02718 \frac{7,62}{0,019} \frac{1,27506^2}{2(9,81)} = 0,90329 \text{ m}$$

➤ Ghanbari (2011)

$$h_f = 0,03156 \frac{7,62}{0,019} \frac{1,27506^2}{2(9,81)} = 1,04886 \text{ m}$$

Rata-rata *major losses* pada metode Darcy-Weisbach adalah sebagai berikut :

$$\frac{1,03260 + 1,59281 + 1,03961 + 0,90329 + 1,04886}{5} = \mathbf{1,12343 \text{ m}}$$

8. Total *Head Losses* (kerugian aliran total)

Untuk total *head losses* tambahkan *major losses* dan *minor losses*, total *head losses* terbagi menjadi dua yaitu total *head losses* dari metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach. Untuk metode Darcy-Weisbach gunakan rata-ratakan kelima metode yang digunakan.

- Metode Hazen-Williams

$$h_f + h_{l,minor} = 0,29042 + 0,19887 = \mathbf{0,48929\ m}$$

- Metode Darcy-Weisbach

$$h_f + h_{l,minor} = 1,12343 + 0,19887 = \mathbf{1,32231\ m}$$

9. Persentasi *Error* pada Faktor Gesek (*Error Percentage*)

Untuk persentasi *error* pada faktor gesek nilai aktual yang digunakan adalah persamaan eksplisit yang disediakan oleh lima peneliti yaitu Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari sedangkan untuk nilai teoritis yang digunakan adalah persamaan Colebrook-White.

$$\left(\frac{|f_{aktual} - f_{teoritis}|}{f_{teoritis}} \right) \times 100\%$$

- Metode Haaland

$$\left(\frac{|0,03107 - 0,02425|}{0,02425} \right) \times 100\% = \mathbf{28,13171\ \%}$$

- Metode Serghides

$$\left(\frac{|0,04793 - 0,02425|}{0,02425} \right) \times 100\% = \mathbf{97,64533\ \%}$$

- Metode Vatankah & Kouchak

$$\left(\frac{|0,03128 - 0,02425|}{0,02425} \right) \times 100\% = \mathbf{29,00134\ \%}$$

- Metode Buzelli

$$\left(\frac{|0,02718 - 0,02425|}{0,02425} \right) \times 100\% = \mathbf{12,08555\ \%}$$

- Metode Ghanbari

$$\left(\frac{|0,03156 - 0,02425|}{0,02425} \right) \times 100\% = \mathbf{30,14944\ \%}$$

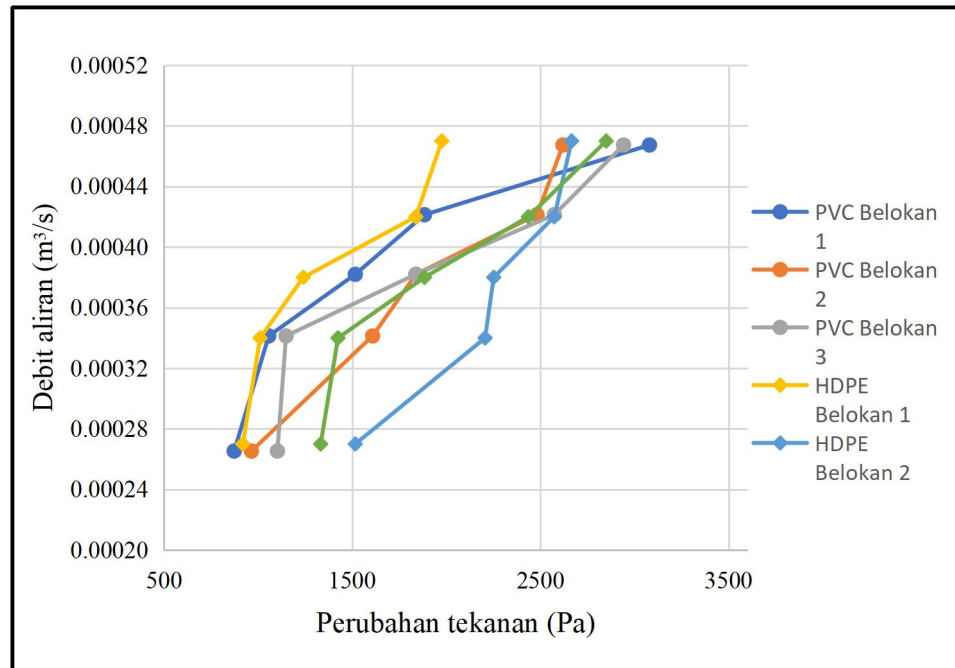
4.1.4 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Perubahan Tekanan (ΔP)

Berikut data hubungan antara debit aliran (Q) terhadap perubahan tekanan (ΔP) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1 Data hubungan antara debit aliran (Q) dan perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

| Jenis pipa | Pembukaan katup (°) | Debit aliran (m ³ /s) | Perubahan tekanan (ΔP) (Pa) | | |
|------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|
| | | | Belokan 1 | Belokan 2 | Belokan 3 |
| PVC | 50 | 0.00027 | 873.335 | 965.265 | 1103.161 |
| | 60 | 0.00034 | 1057.196 | 1608.776 | 1149.126 |
| | 70 | 0.00038 | 1516.846 | 1838.601 | 1838.601 |
| | 80 | 0.00042 | 1884.566 | 2482.112 | 2574.042 |
| | 90 | 0.00047 | 3079.658 | 2620.007 | 2941.762 |
| HDPE | 50 | 0.00027 | 919.300 | 1516.846 | 1332.986 |
| | 60 | 0.00034 | 1011.231 | 2206.322 | 1424.916 |
| | 70 | 0.00038 | 1241.056 | 2252.287 | 1884.566 |
| | 80 | 0.00042 | 1838.601 | 2574.042 | 2436.147 |
| | 90 | 0.00047 | 1976.497 | 2665.972 | 2849.832 |

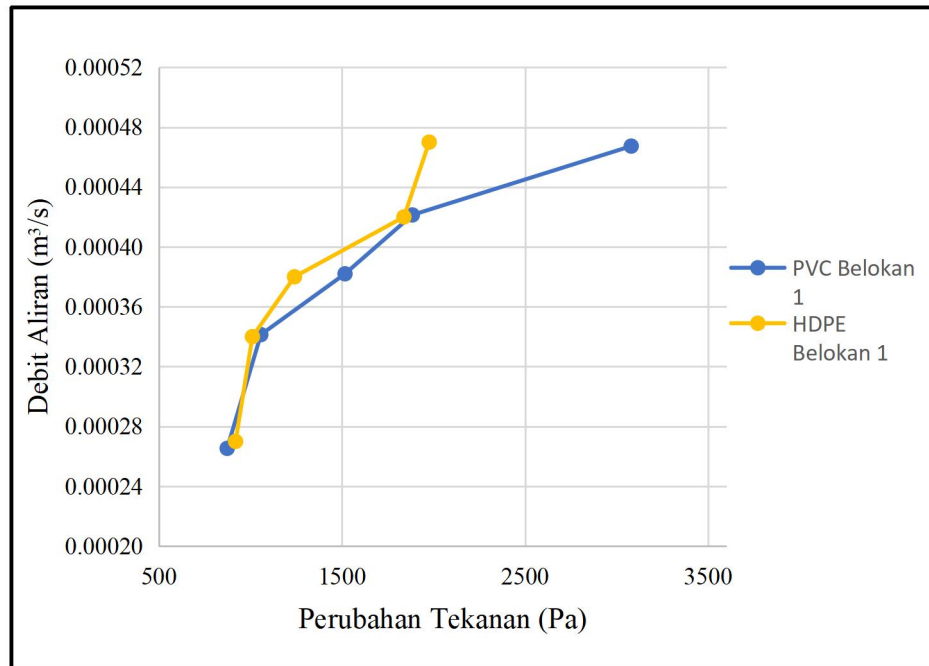
Adapun grafik hubungan antara debit aliran (Q) terhadap perubahan tekanan (ΔP) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 56.



Gambar 56 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 56 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada ketiga belokan pada pipa jenis PVC dan HDPE.

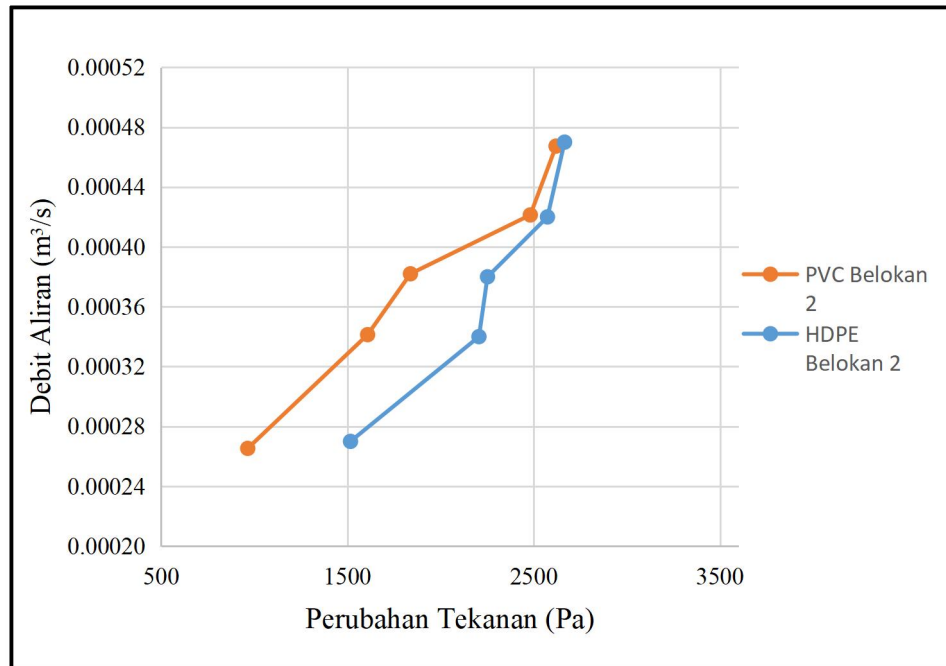
Sehingga, pada gambar 56 dapat kita lihat bahwa pada pipa PVC di belokan 1 pada pembukaan katup 90° memiliki perubahan tekanan terbesar yaitu 3079,65813 Pa dengan debit aliran sebesar $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan, untuk perubahan tekanan terkecil berada di pipa PVC belokan 1 dengan nilai 873,33589 Pa dengan debit aliran sebesar $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ pada pembukaan katup 50° .



Gambar 57 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup di belokan 1

Pada gambar 57 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus di belokan 1 pada pipa jenis PVC dan HDPE.

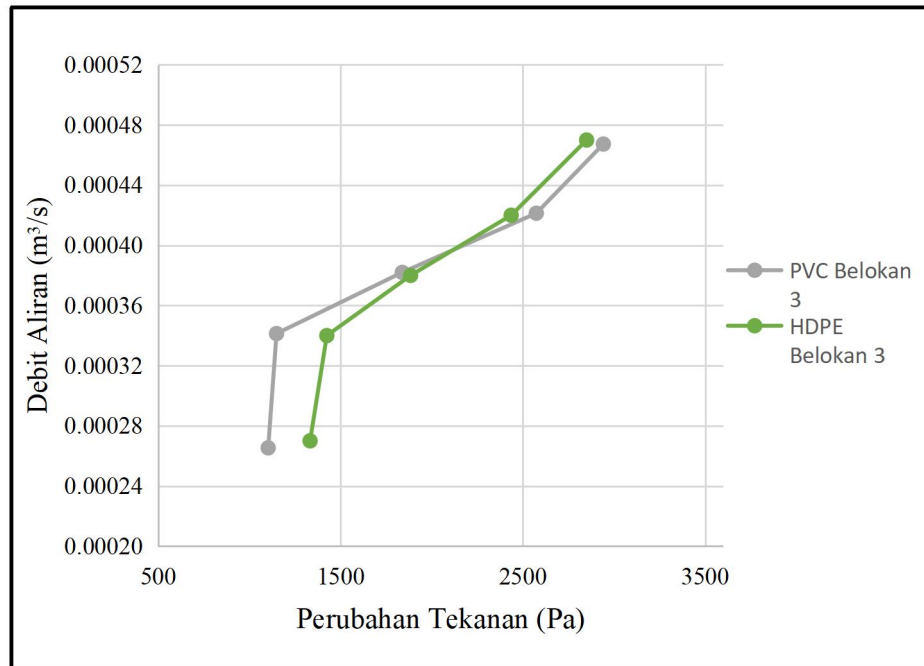
Dapat dilihat pada pipa PVC belokan 1 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil yaitu 873,33589 Pa dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan perubahan tekanan terbesar 3079,65813 Pa dengan debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE belokan 1 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil yaitu 919,30093 Pa dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan perubahan tekanan terbesar 1976,49701 Pa dengan debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ pada pembukaan katup 90° .



Gambar 58 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup di belokan 2

Pada gambar 58 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus di belokan 2 pada pipa jenis PVC dan HDPE.

Dapat dilihat pada pipa PVC belokan 2 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil yaitu 965,26598 Pa dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan perubahan tekanan terbesar 2620,00766 Pa dengan debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE belokan 2 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil yaitu 1516,84654 Pa dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan perubahan tekanan terbesar 2665,97271 Pa dengan debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ pada pembukaan katup 90° .



Gambar 59 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup di belokan 3

Pada gambar 59 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus di belokan 3 pada pipa jenis PVC dan HDPE.

Pada pipa PVC belokan 3 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil yaitu 1103,16112 Pa dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan perubahan tekanan terbesar 2574,04261 Pa dengan debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE belokan 3 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil yaitu 1332,98635 Pa dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan perubahan tekanan terbesar 2849,83289 Pa dengan debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ pada pembukaan katup 90° .

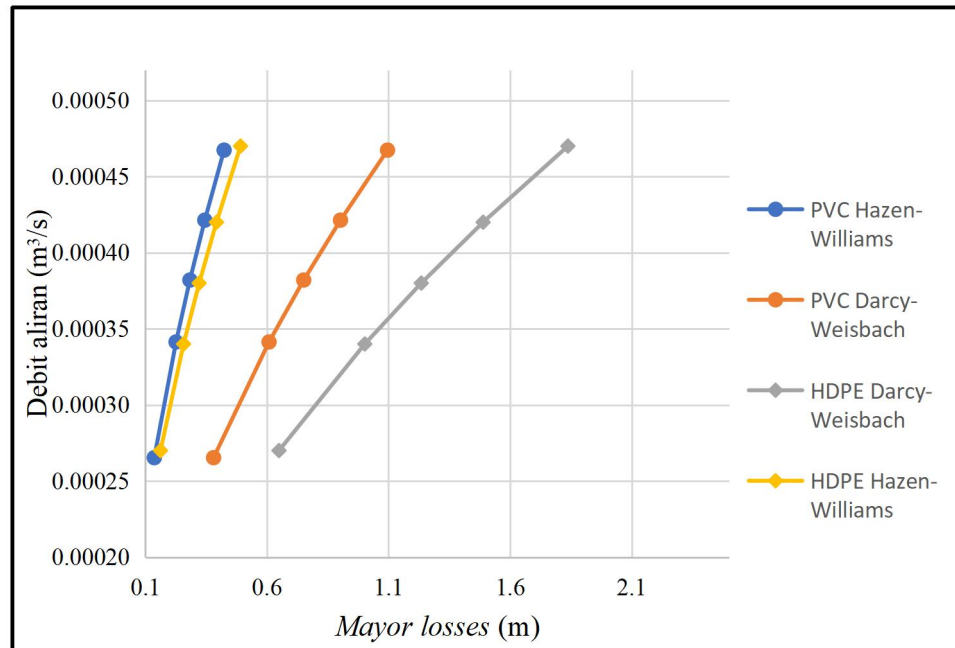
4.1.5 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap *Mayor Losses* (h_f) pada Metode Darcy-Weisbach dan Metode Hazen-Williams

Berikut data hubungan antara debit aliran (Q) terhadap *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2 Data hubungan debit aliran (Q) terhadap *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams pada variasi pembukaan katup

| Jenis pipa | Pembukaan katup (°) | Debit aliran (m ³ /s) | <i>Mayor losses</i> (m) | |
|------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | | Metode Darcy-Weisbach | Metode Hazen-Williams |
| PVC | 50 | 0.00027 | 0.380 | 0.136 |
| | 60 | 0.00034 | 0.608 | 0.225 |
| | 70 | 0.00038 | 0.751 | 0.283 |
| | 80 | 0.00042 | 0.902 | 0.344 |
| | 90 | 0.00047 | 1.095 | 0.423 |
| HDPE | 50 | 0.00027 | 0.544 | 0.134 |
| | 60 | 0.00034 | 0.965 | 0.247 |
| | 70 | 0.00038 | 1.123 | 0.290 |
| | 80 | 0.00042 | 1.453 | 0.382 |
| | 90 | 0.00047 | 1.680 | 0.446 |

Adapun grafik hubungan debit aliran (Q) terhadap *major losses* (h_f) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 60.



Gambar 60 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan Metode Hazen-Williams pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 60 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan *major losses* (h_f) berbanding lurus pada kedua jenis pipa dari setiap metode perhitungan *major losses*.

Dapat dilihat pada pipa PVC pembukaan katup 50° dengan metode Hazen-Williams menghasilkan nilai *major losses* terkecil yaitu 0,13654 m dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *major losses* terbesar yaitu 0,42356 m dengan debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC pembukaan katup 50° metode Darcy-Weisbach menghasilkan nilai *major losses* terkecil yaitu 0,38048 m dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *major losses* terbesar yaitu 1,09587 m dengan debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pembukaan katup 50° metode Hazen-Williams nilai *major losses* terkecil yaitu 0,13461 m dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *major losses* terbesar yaitu 0,44644 m dengan debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pembukaan katup 50° metode Darcy-Weisbach nilai *major losses* terkecil yaitu 0,54443 m dengan debit aliran $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *major losses* terbesar yaitu 1,68017 m dengan debit aliran $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ pembukaan katup 90° .

Sehingga, pada gambar 60 dapat kita lihat bahwa *major losses* terbesar berada di pipa HDPE pembukaan katup 90° dengan menggunakan metode perhitungan Darcy-Weisbach, dimana *major losses* yang didapatkan sebesar 1,68017 m pada debit aliran 0,00047 m³/s. Sedangkan, untuk *major losses* terkecil berada di pipa HDPE dengan metode perhitungan Hazen-Williams dengan nilai sebesar 0,13461 m dengan debit aliran sebesar 0,00027 m³/s pembukaan katup 50°.

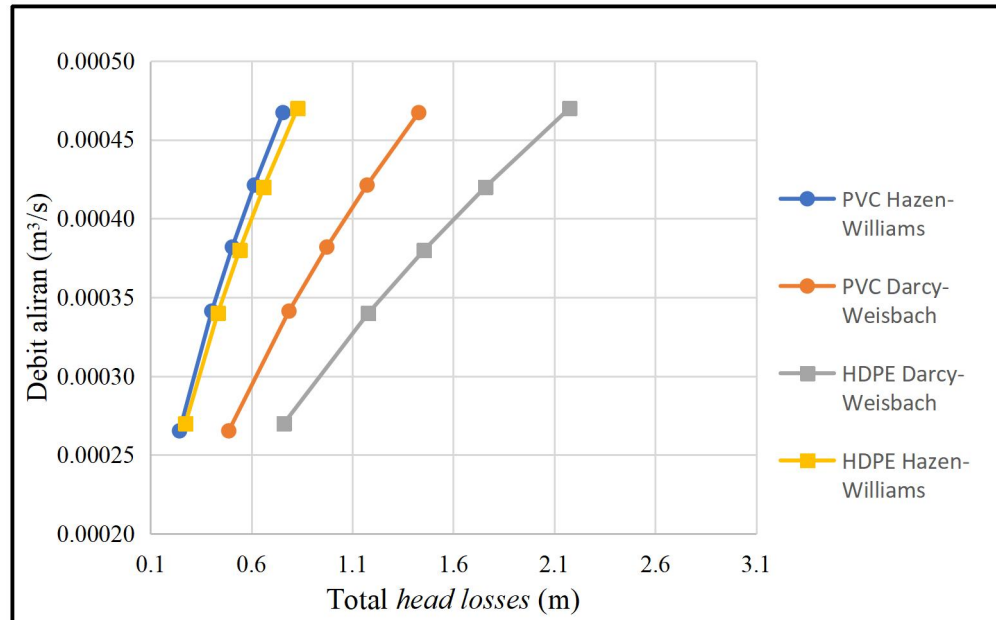
4.1.6 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Total Head Losses ($h_{l,total}$)

Berikut data hubungan antara debit aliran (Q) terhadap total *head losses* ($h_{l,total}$) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3 Data hubungan antara debit aliran (Q) terhadap total *head losses* ($h_{l,total}$) pada variasi pembukaan katup

| Jenis pipa | PK (°) | Debit aliran (m ³ /s) | Major losses (m) | | Minor losses (m) | Total head losses (m) | |
|------------|--------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| | | | Metode Hazen-Williams | Metode Darcy-Weisbach | | Hazen-Williams | Darcy-Weisbach |
| PVC | 50 | 0.00027 | 0.1365 | 0.3804 | 0.1072 | 0.2437 | 0.4877 |
| | 60 | 0.00034 | 0.2259 | 0.6085 | 0.1774 | 0.4034 | 0.7859 |
| | 70 | 0.00038 | 0.2830 | 0.7510 | 0.2222 | 0.5052 | 0.9733 |
| | 80 | 0.00042 | 0.3442 | 0.9023 | 0.2704 | 0.6146 | 1.1727 |
| | 90 | 0.00047 | 0.4235 | 1.0958 | 0.3326 | 0.7562 | 1.4285 |
| HDPE | 50 | 0.00027 | 0.1346 | 0.5444 | 0.0921 | 0.2267 | 0.6366 |
| | 60 | 0.00034 | 0.2471 | 0.9656 | 0.1692 | 0.4164 | 1.1349 |
| | 70 | 0.00038 | 0.2904 | 1.1234 | 0.1988 | 0.4892 | 1.3223 |
| | 80 | 0.00042 | 0.3824 | 1.4538 | 0.2619 | 0.6443 | 1.7158 |
| | 90 | 0.00047 | 0.4464 | 1.6801 | 0.3057 | 0.7521 | 1.9858 |

Adapun grafik hubungan antara debit aliran (Q) terhadap total *head losses* ($h_{l,total}$) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 61.



Gambar 61 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap total *head losses* ($h_{l,total}$) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 61 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan total *head losses* ($h_{l,total}$) berbanding lurus pada kedua jenis pipa dari setiap metode perhitungan *head losses*.

Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° dengan metode Hazen-Williams menghasilkan nilai *head losses* terkecil yaitu 0,24377 m dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan *head losses* terbesar yaitu 0,75623 m dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°. Pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode Darcy-Weisbach menghasilkan nilai *head losses* terkecil yaitu 0,48771 m dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan *head losses* terbesar yaitu 1,42854 m dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE metode Hazen-Williams pada pembukaan katup 50° nilai *head losses* terkecil yaitu 0,22679 m dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan *head losses* terbesar yaitu 0,75215 m dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE

metode Darcy-Weisbach pada pembukaan katup 50° nilai *head losses* terkecil yaitu 0,63661 m dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan *head losses* terbesar yaitu 1,98588 m dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°.

Sehingga, pada gambar 61 dapat kita lihat bahwa total *head losses* terbesar berada di pipa HDPE pada pembukaan katup 90° dengan menggunakan metode perhitungan Darcy-Weisbach, dimana total *head losses* yang didapatkan sebesar 1,98588 m pada debit aliran 0,00047 m³/s. Sedangkan, untuk total *head losses* terkecil berada di pipa HDPE pada pembukaan katup 50° dengan metode perhitungan Hazen-Williams dengan nilai sebesar 0,22679 m dengan debit aliran sebesar 0,00027 m³/s.

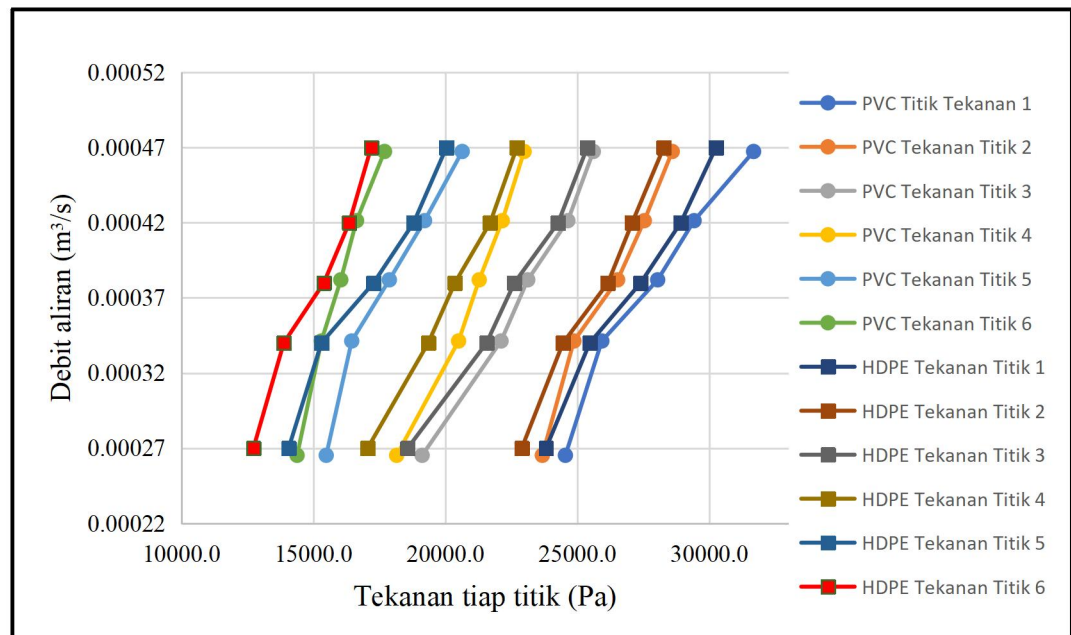
4.1.7 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Tekanan pada Tiap Titik (P)

Berikut data hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4 Data hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup

| Jenis pipa | PK (°) | Debit aliran (m ³ /s) | Belokan 1 | | Belokan 2 | | Belokan 3 | |
|------------|--------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | Tekanan di titik 1 (Pa) | Tekanan di titik 2 (Pa) | Tekanan di titik 3 (Pa) | Tekanan di titik 4 (Pa) | Tekanan di titik 5 (Pa) | Tekanan di titik 6 (Pa) |
| PVC | 50 | 0.00027 | 24545.33 | 23672.00 | 19121.46 | 18156.19 | 15490.22 | 14387.06 |
| | 60 | 0.00034 | 25924.29 | 24867.09 | 22109.19 | 20500.41 | 16455.49 | 15306.36 |
| | 70 | 0.00038 | 28038.68 | 26521.83 | 23120.42 | 21281.82 | 17880.40 | 16041.80 |
| | 80 | 0.00042 | 29417.63 | 27533.06 | 24637.27 | 22155.15 | 19213.39 | 16639.35 |
| | 90 | 0.00047 | 31669.92 | 28590.26 | 25602.53 | 22982.52 | 20638.31 | 17696.54 |
| HDPE | 50 | 0.00027 | 23809.89 | 22890.59 | 18569.88 | 17053.03 | 14065.30 | 12732.32 |
| | 60 | 0.00034 | 25464.64 | 24453.40 | 21557.61 | 19351.28 | 15306.36 | 13881.44 |
| | 70 | 0.00038 | 27395.17 | 26154.11 | 22614.80 | 20362.52 | 17282.86 | 15398.29 |
| | 80 | 0.00042 | 28912.01 | 27073.41 | 24269.54 | 21695.50 | 18799.70 | 16363.56 |
| | 90 | 0.00047 | 30245.00 | 28268.50 | 25372.71 | 22706.73 | 20040.76 | 17190.92 |

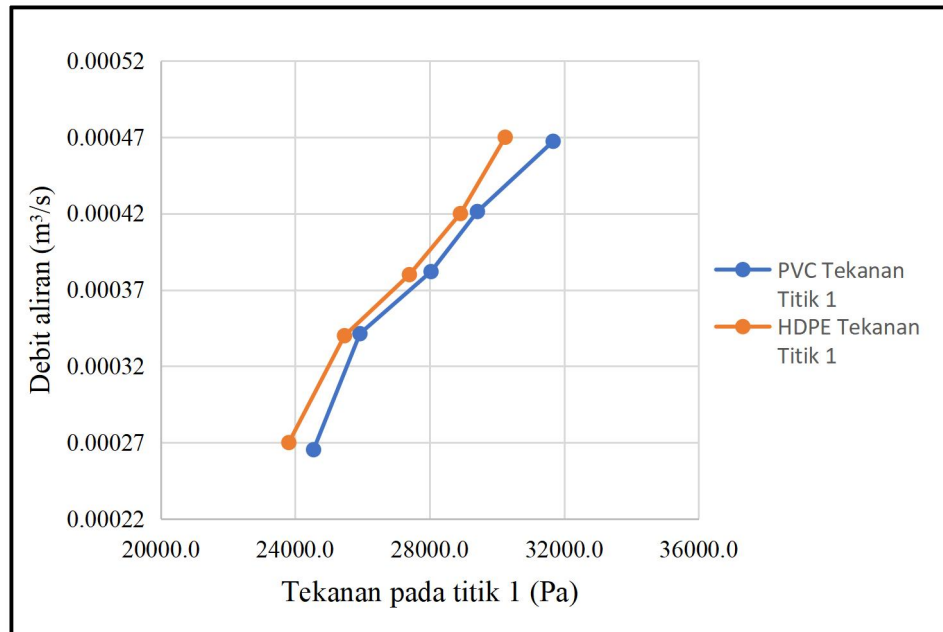
Adapun grafik hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 62.



Gambar 62 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 62 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan tekanan pada tiap Titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada tiap titik tekanannya.

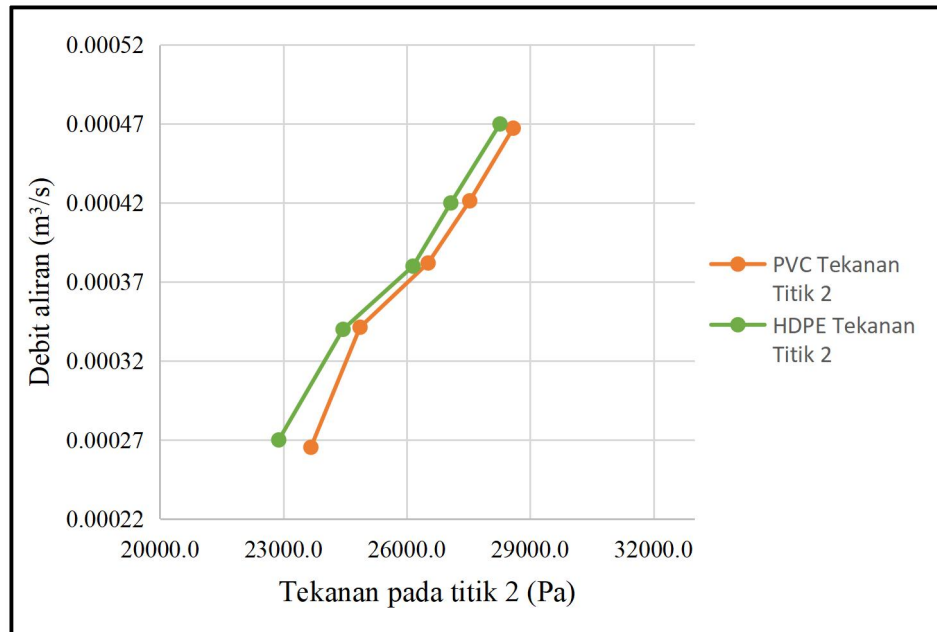
Sehingga, pada gambar 62 dapat dilihat tekanan terbesar berada pada titik tekanan 1 pada pipa PVC yaitu 31669,92 Pa dengan debit aliran 0,00047 m^3/s . Sedangkan untuk perubahan tekanan terkecil berada pada titik tekanan 6 pada pipa HDPE dengan nilai sebesar 12732,32 Pa dengan debit aliran sebesar 0,00027 m^3/s .



Gambar 63 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 1

Pada gambar 63 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 1.

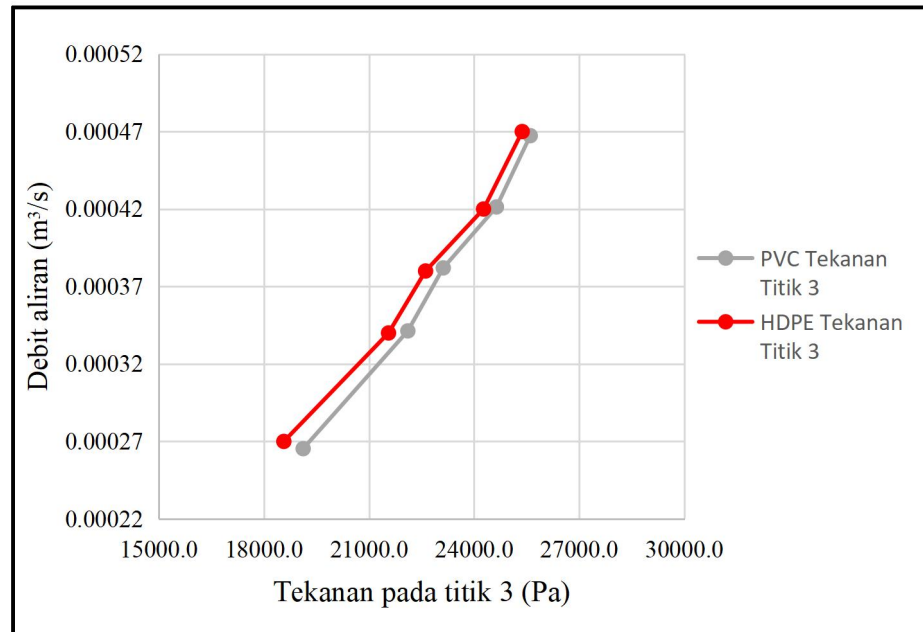
Dapat dilihat pada pipa PVC titik tekanan 1 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 24545,33 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 31669,92 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE titik tekanan 1 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 23809,89 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 30245,00 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°.



Gambar 64 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 2

Pada gambar 64 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 2.

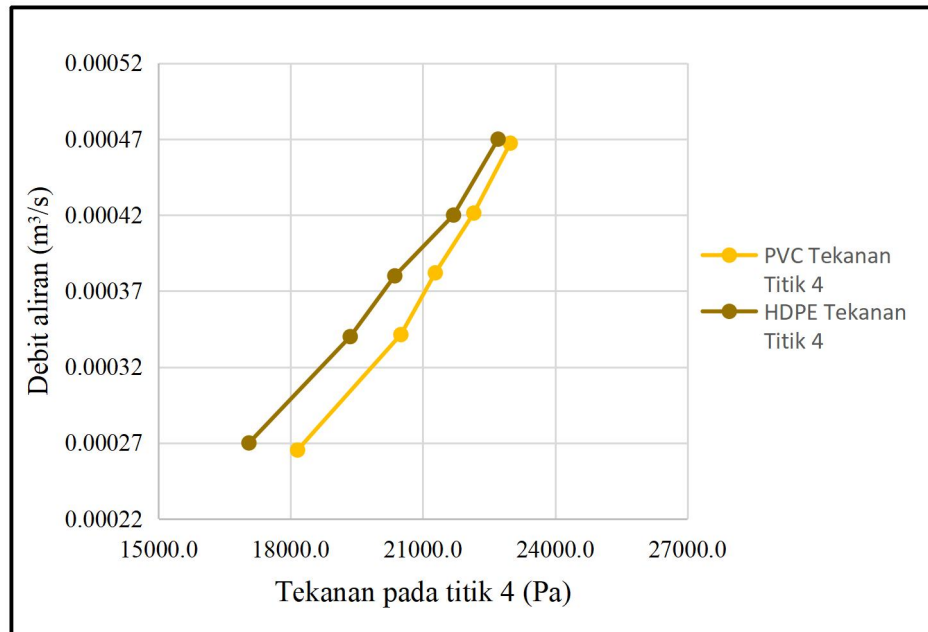
Pada pipa PVC titik tekanan 2 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 23672,00 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 28590,26 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE titik tekanan 2 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 22890,60 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 28268,50 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°.



Gambar 65 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 3

Pada gambar 65 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 3.

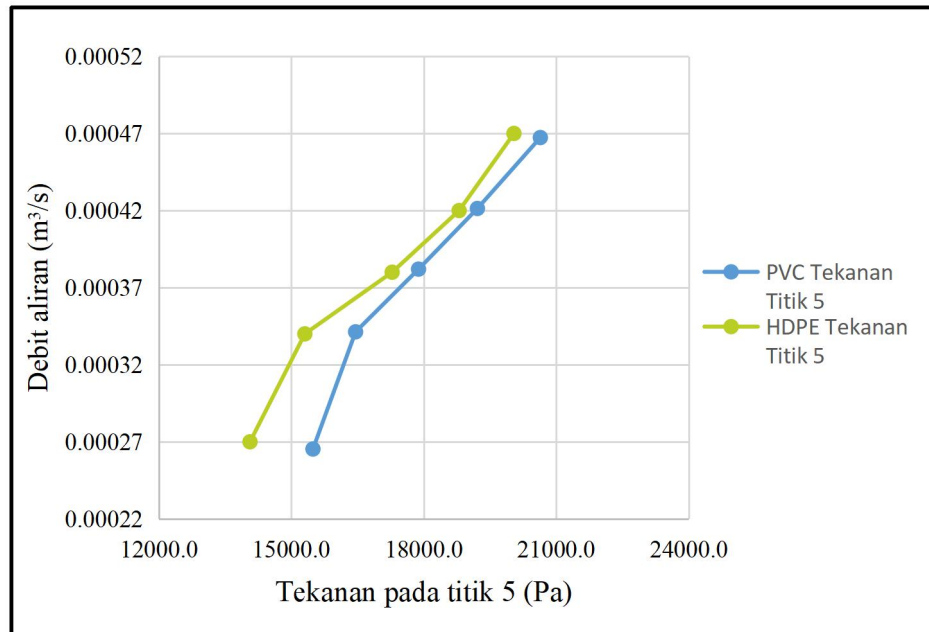
Pada pipa PVC titik tekanan 3 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 19121,46 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 25602,53 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE titik tekanan 3 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 18569,88 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 25372,71 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°.



Gambar 66 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 4

Pada gambar 66 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 4.

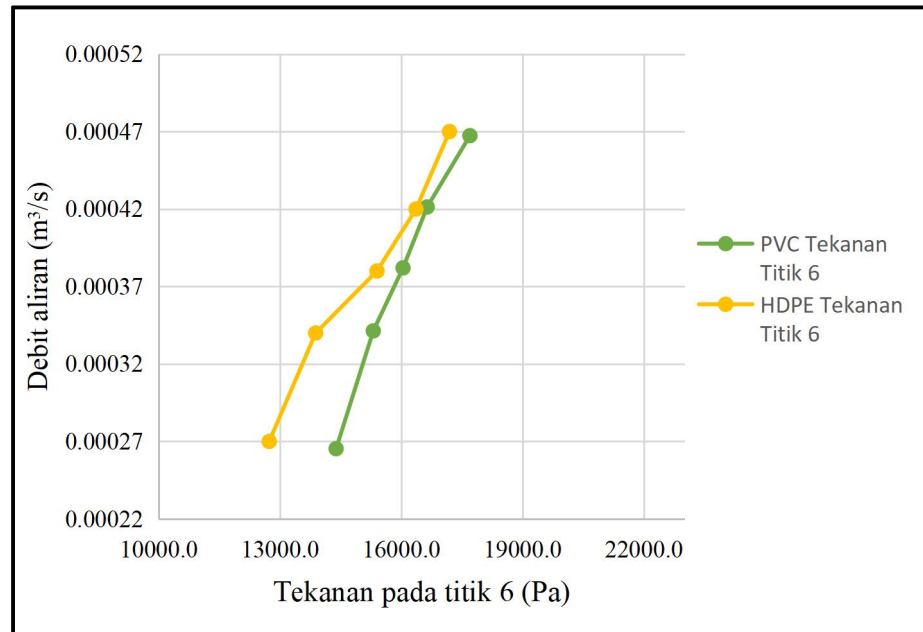
Pada pipa PVC titik tekanan 4 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 18156,19 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 22982,52 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE titik tekanan 4 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 17053,03 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 22706,73 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°.



Gambar 67 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 5

Pada gambar 67 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 5.

Pada pipa PVC titik tekanan 5 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 15490,22 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 20638,31 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE titik tekanan 5 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 14065,30 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 20040,76 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°.



Gambar 68 Hubungan antara debit aliran (Q) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup di titik 6

Pada gambar 68 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 6.

Pada pipa PVC titik tekanan 6 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 14387,06 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 17696,54 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE titik tekanan 6 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 12732,32 Pa dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan tekanan terbesar 17190,93 Pa dengan debit aliran 0,00047 m³/s pada pembukaan katup 90°.

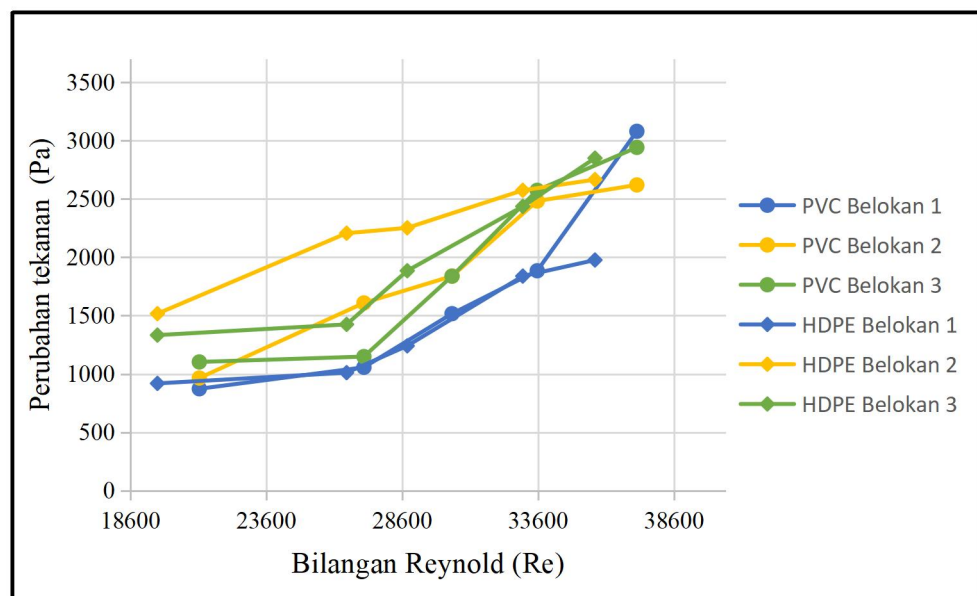
4.1.8 Hubungan antara Perubahan Tekanan (ΔP) terhadap Bilangan Reynold (Re)

Berikut data hubungan antara *pressure drop* (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5 Data hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup

| Jenis pipa | PK ($^{\circ}$) | Perubahan tekanan (ΔP) (Pa) | | | Bilangan Reynold |
|------------|-------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|------------------|
| | | Belokan 1 | Belokan 2 | Belokan 3 | |
| PVC | 50 | 873.335 | 965.265 | 1103.161 | 21140 |
| | 60 | 1057.196 | 1608.776 | 1149.126 | 27195 |
| | 70 | 1516.846 | 1838.601 | 1838.601 | 30435 |
| | 80 | 1884.566 | 2482.112 | 2574.042 | 33569 |
| | 90 | 3079.658 | 2620.007 | 2941.762 | 37234 |
| HDPE | 50 | 919.300 | 1516.846 | 1332.986 | 19600 |
| | 60 | 1011.231 | 2206.322 | 1424.916 | 26558 |
| | 70 | 1241.056 | 2252.287 | 1884.566 | 28789 |
| | 80 | 1838.601 | 2574.042 | 2436.147 | 33038 |
| | 90 | 1976.497 | 2665.972 | 2849.832 | 35694 |

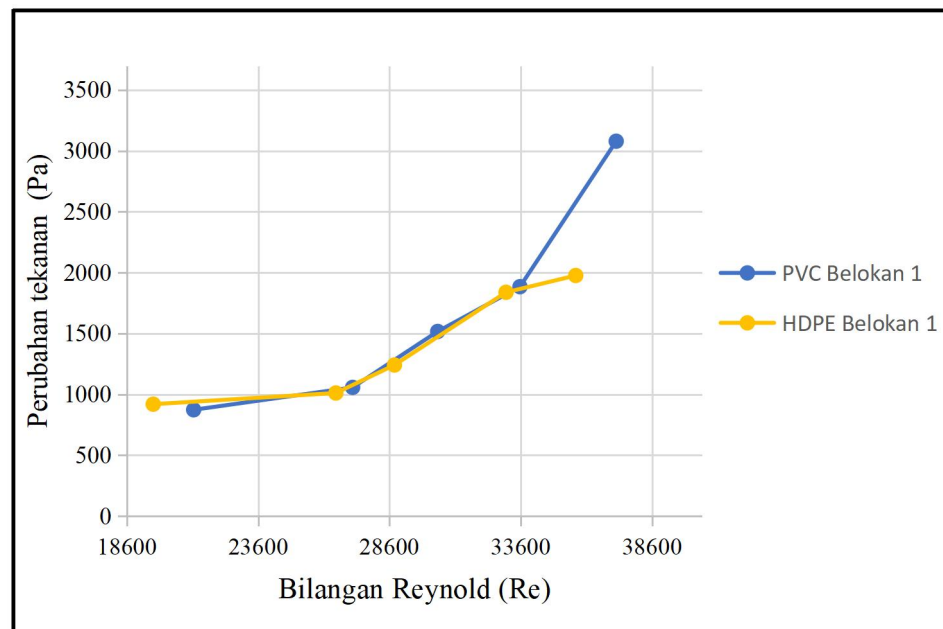
Adapun grafik hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 69.



Gambar 69 Hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 69 terlihat bahwa hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) dan bilangan Reynold (Re) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada tiap belokannya.

Sehingga, dapat dilihat pada gambar 69 perubahan tekanan terbesar berada di belokan 1 pada pipa PVC pada pembukaan katup 90° dengan nilai sebesar 3079,65813 Pa dengan bilangan Reynold sebesar 37234. Sedangkan, untuk perubahan tekanan terkecil berada di belokan 1 pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° dengan nilai sebesar 873,33589 Pa dengan bilangan Reynold sebesar 21140.

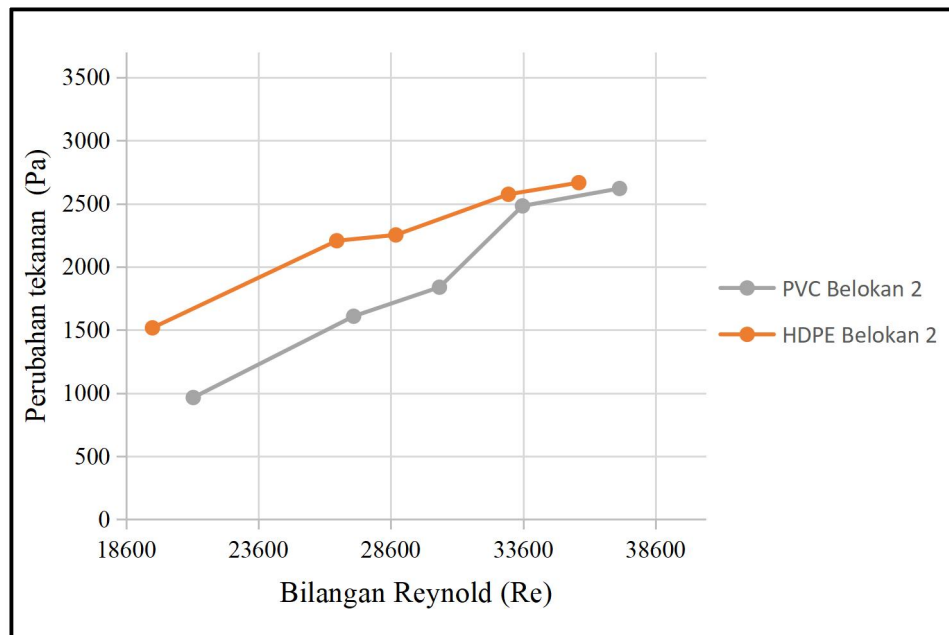


Gambar 70 Hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup di belokan 1

Pada gambar 70 terlihat bahwa hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) dan bilangan Reynold (Re) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada belokan 1.

Dapat dilihat pada pipa PVC belokan 1 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 873,33589 Pa dengan bilangan Reynold yaitu 21140 dan perubahan tekanan terbesar yaitu 3079,65813 Pa dengan bilangan Reynold 37234 pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE belokan 1 pada pembukaan

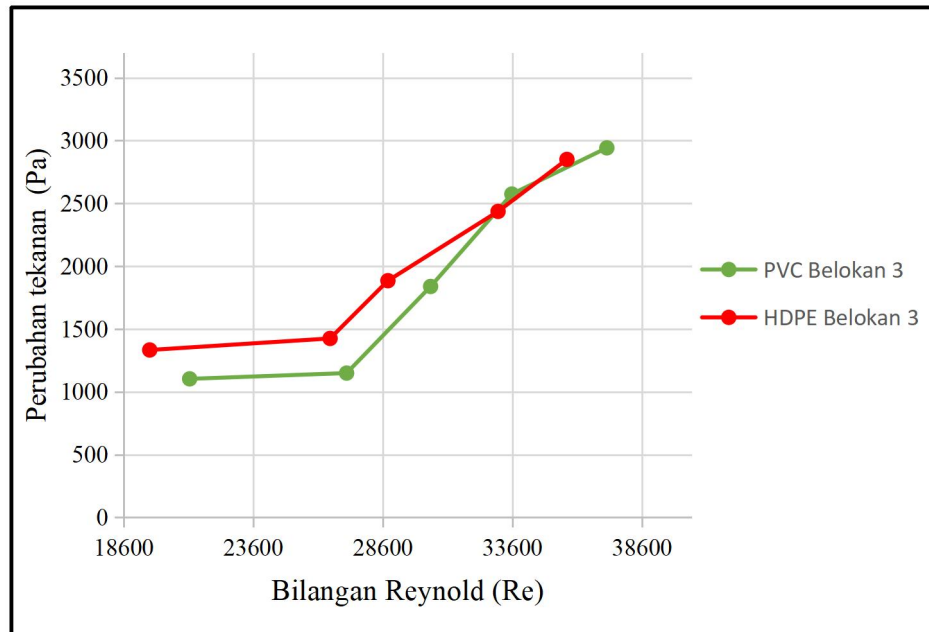
katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 919,30093 Pa dengan bilangan Reynold yaitu 19600 dan perubahan tekanan terbesar yaitu 1976,49701 Pa dengan bilangan Reynold 35694 pada pembukaan katup 90°.



Gambar 71 Hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup di belokan 2

Pada gambar 71 terlihat bahwa hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) dan bilangan Reynold (Re) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada belokan 2.

Dapat dilihat pada pipa PVC belokan 2 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 965,26598 Pa dengan bilangan Reynold yaitu 21140 dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2620,00766 Pa dengan bilangan Reynold 37324 pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE belokan 2 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1516,84654 Pa dengan bilangan Reynold yaitu 19600 dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2665,97271 Pa dengan bilangan Reynold 35694 pada pembukaan katup 90°.



Gambar 72 Hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup di belokan 3

Pada gambar 72 terlihat bahwa hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) dan bilangan Reynold (Re) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada belokan 3.

Dapat dilihat pada pipa PVC belokan 3 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1103,16112 Pa dengan bilangan Reynold yaitu 21140 dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2941,76299 Pa dengan bilangan Reynold 37324 pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE belokan 3 pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1332,98635 Pa dengan bilangan Reynold yaitu 19600 dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2849,83289 Pa dengan bilangan Reynold 35694 pada pembukaan katup 90° .

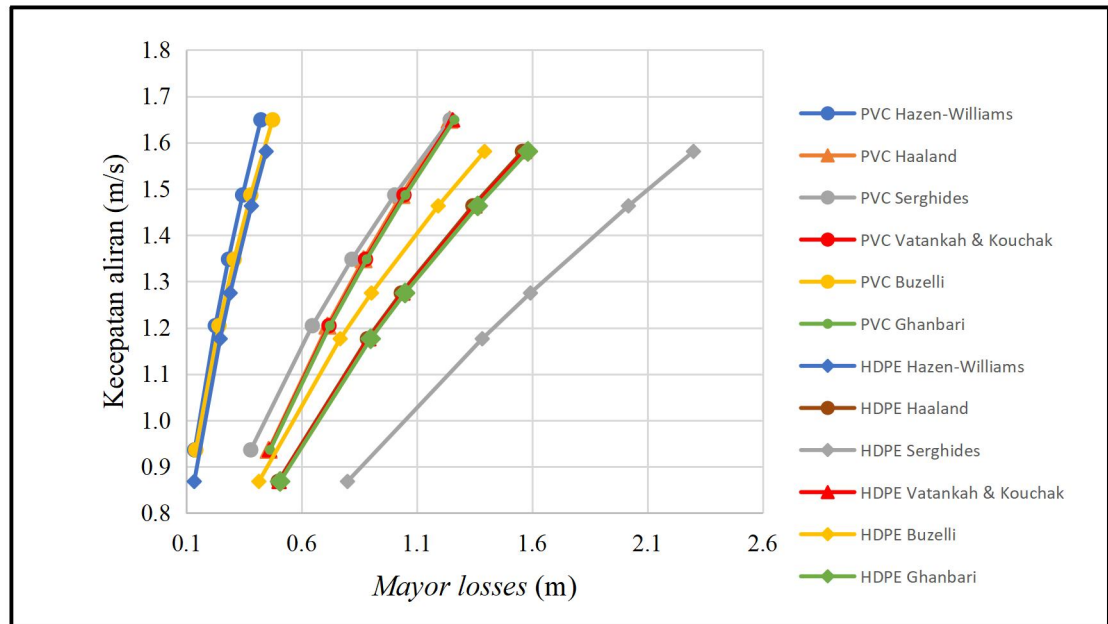
4.1.9 Perbandingan Metode Perhitungan *Mayor Losses* dengan Menghubungkan pada Kecepatan Aliran (V)

Berikut data perbandingan metode perhitungan *major losses* dengan menghubungkan pada kecepatan aliran yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 6.

Tabel 6 Data perbandingan metode perhitungan *major losses* (h_f) dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V)

| Jenis pipa | PK (°) | Metode perhitungan <i>major losses</i> (m) | | | | | | Kecepatan rata-Rata aliran (m/s) |
|------------|--------|--|----------------|----------------------|---------------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|
| | | Hazen-Williams | Halaand (1983) | Serghides (1) (1984) | Vatankah & Kouchak (2008) | Buzelli (2008) | Ghanbari (2011) | |
| PVC | 50 | 0.1365 | 0.4573 | 0.3795 | 0.4608 | 0.1413 | 0.4633 | 0.9363 |
| | 60 | 0.2259 | 0.7123 | 0.6466 | 0.7188 | 0.2416 | 0.7229 | 1.2044 |
| | 70 | 0.2830 | 0.8689 | 0.8185 | 0.8774 | 0.3076 | 0.8826 | 1.3479 |
| | 80 | 0.3442 | 1.0334 | 1.0040 | 1.0440 | 0.3797 | 1.0503 | 1.4867 |
| | 90 | 0.4235 | 1.2418 | 1.2448 | 1.2551 | 0.4746 | 1.2629 | 1.6491 |
| HDPE | 50 | 0.1346 | 0.4987 | 0.7991 | 0.5026 | 0.4149 | 0.5067 | 0.8680 |
| | 60 | 0.2471 | 0.8856 | 1.3836 | 0.8918 | 0.7674 | 0.8996 | 1.1762 |
| | 70 | 0.2904 | 1.0326 | 1.5928 | 1.0396 | 0.9032 | 1.0488 | 1.2750 |
| | 80 | 0.3824 | 1.3433 | 2.0176 | 1.3517 | 1.1926 | 1.3640 | 1.4632 |
| | 90 | 0.4464 | 1.5580 | 2.2999 | 1.5673 | 1.3938 | 1.5816 | 1.5808 |

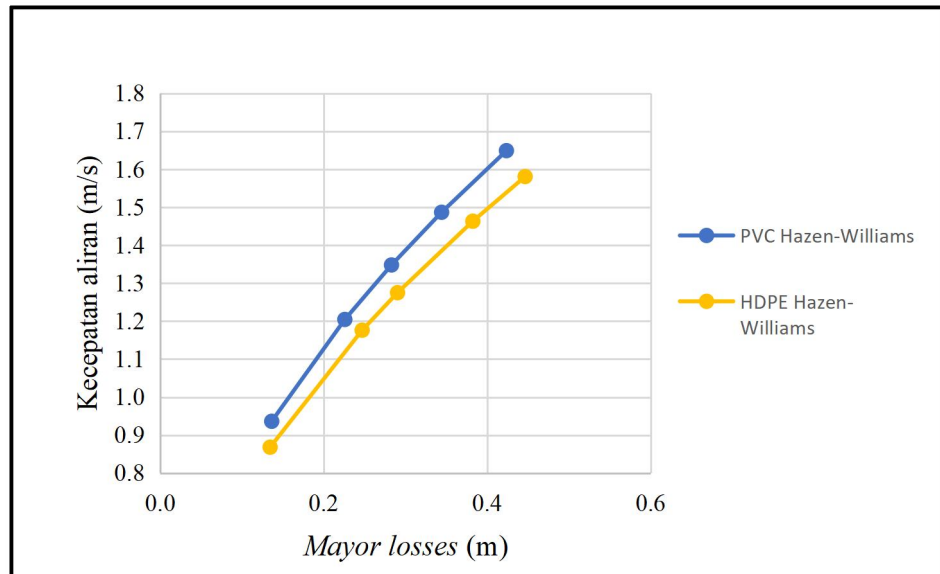
Adapun grafik perbandingan metode perhitungan *major losses* (h_f) dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 73.



Gambar 73 Perbandingan metode perhitungan *major losses* (h_f) dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 73 terlihat bahwa perbandingan metode perhitungan *major losses* dengan menghubungkan pada kecepatan aliran berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada seluruh metode perhitungan.

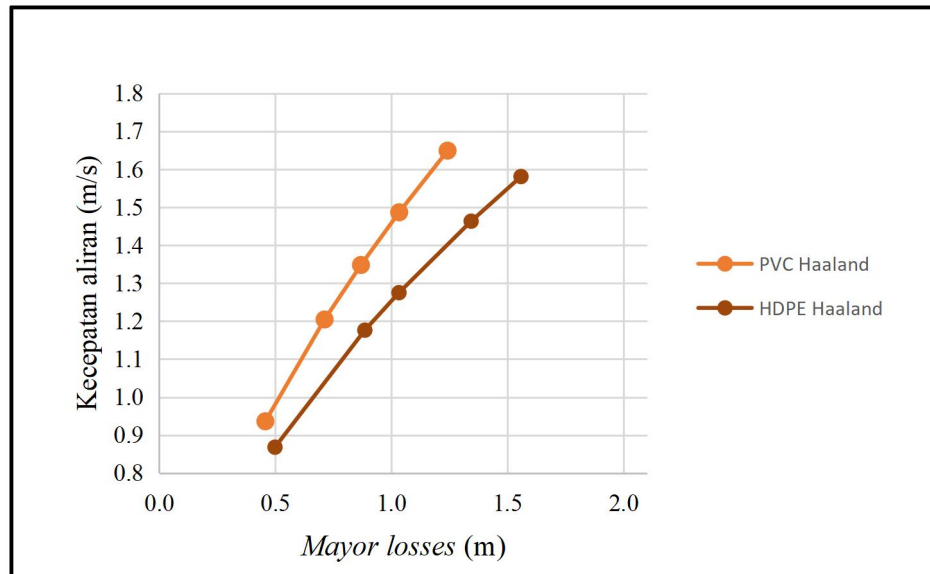
Sehingga, dapat dilihat pada gambar 73 *major losses* terbesar berada di pipa HDPE pembukaan katup 90° dengan metode perhitungan Serghides dengan nilai sebesar 2,29994 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,58089 m/s. Sedangkan, untuk *major losses* terkecil berada di pipa HDPE pembukaan katup 50° dengan metode Hazen-Williams dengan nilai sebesar 0,13461 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,86808 m/s.



Gambar 74 Grafik metode perhitungan *major losses* (h_f) Hazen-Williams dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 74 terlihat bahwa metode perhitungan *major losses* Hazen-Williams dengan menghubungkan pada kecepatan aliran nilai yang didapatkan berbanding lurus.

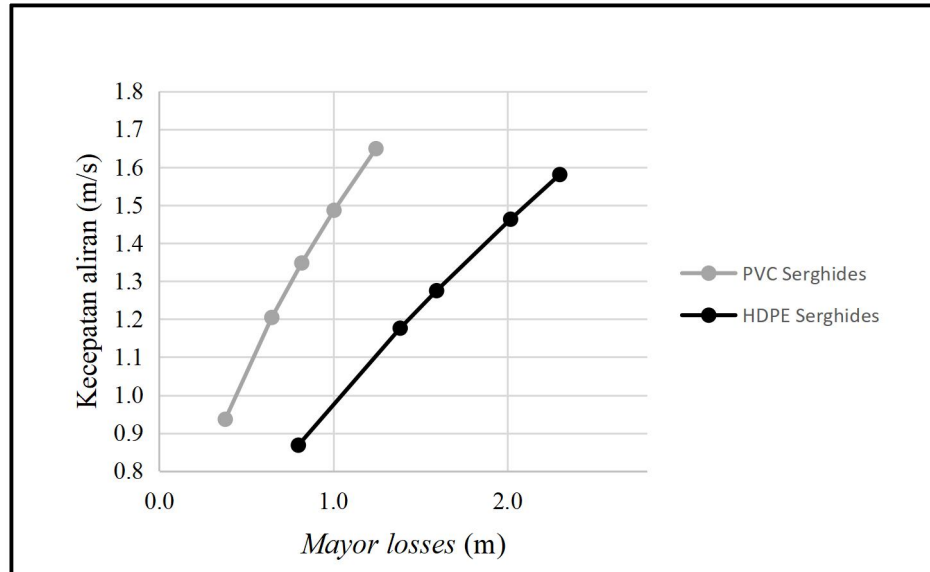
Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Hazen-Williams menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,13654 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,93630 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 0,42356 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,64911 m/s pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Hazen-Williams menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,13461 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,86808 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 0,44644 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,58089 m/s pembukaan katup 90° .



Gambar 75 Grafik metode perhitungan *major losses* (h_f) Haaland dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 75 terlihat bahwa metode perhitungan *major losses* Haaland dengan menghubungkan pada kecepatan aliran nilai yang didapatkan berbanding lurus.

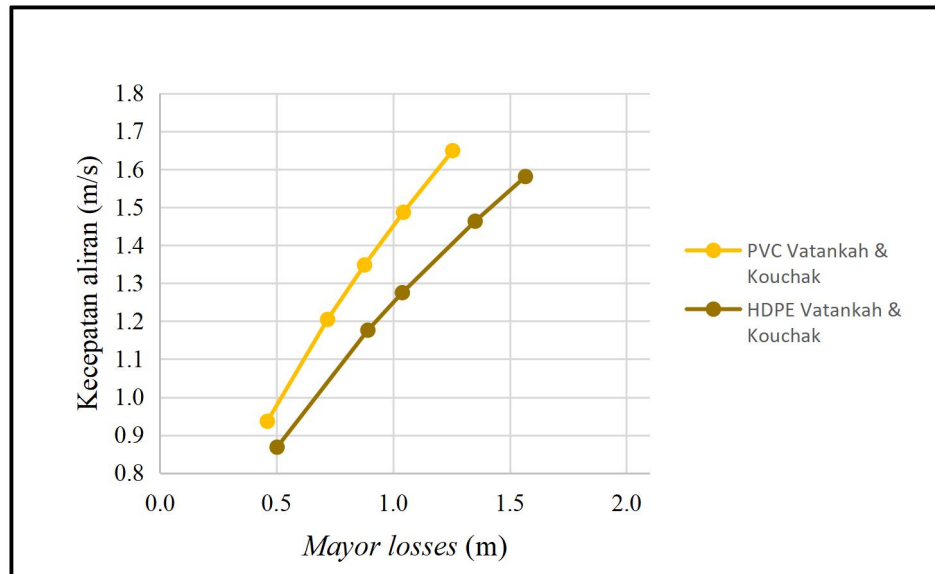
Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Haaland menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,45732 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,93630 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 1,24183 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,64911 m/s pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Haaland menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,49873 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,86808 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 1,55801 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,58089 m/s pembukaan katup 90° .



Gambar 76 Grafik metode perhitungan *major losses* (h_f) Serghides dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 76 terlihat bahwa metode perhitungan *major losses* Serghides dengan menghubungkan pada kecepatan aliran nilai yang didapatkan berbanding lurus.

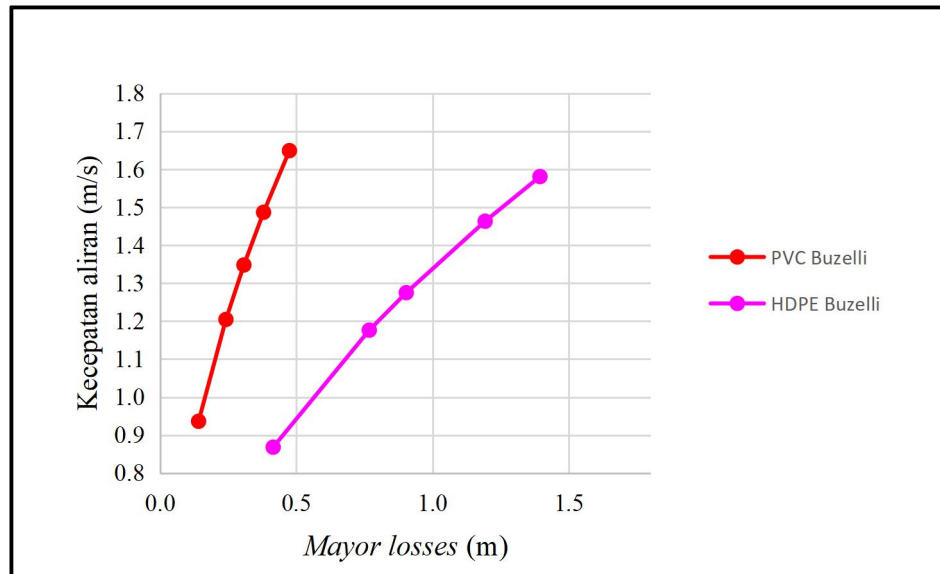
Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Serghides menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,37959 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,93630 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 1,24481 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,64911 m/s pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Serghides menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,79915 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,86808 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 2,29994 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,58089 m/s pembukaan katup 90° .



Gambar 77 Grafik metode perhitungan *major losses* (h_f) Vatankah & Kouchak dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 77 terlihat bahwa metode perhitungan *major losses* Vatankah & Kouchak dengan menghubungkan pada kecepatan aliran nilai yang didapatkan berbanding lurus.

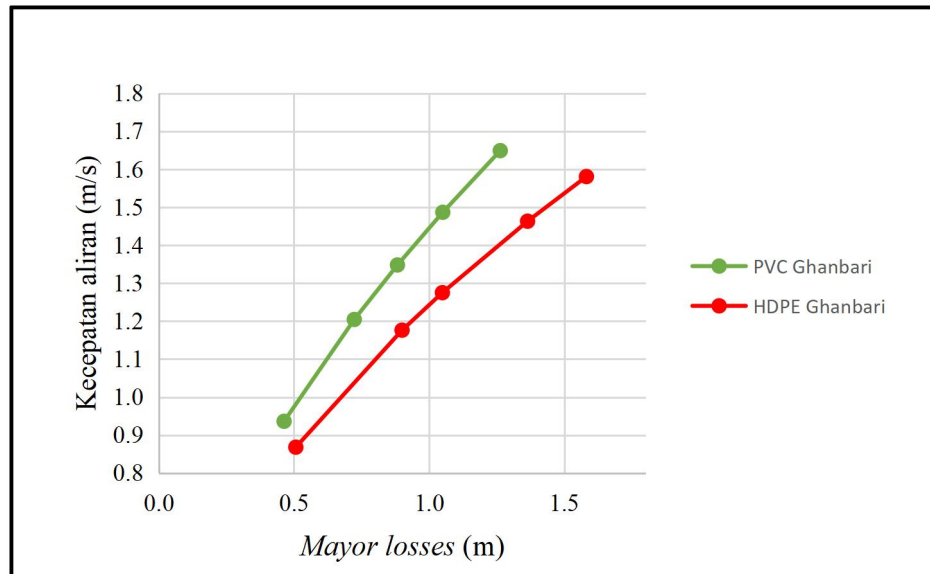
Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Vatankah & Kouchak menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,46083 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,93630 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 1,25517 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,64911 m/s pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Vatankah & Kouchak menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,50263 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,86808 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 1,56733 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,58089 m/s pembukaan katup 90° .



Gambar 78 Grafik metode perhitungan *major losses* (h_f) Buzelli dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 78 terlihat bahwa metode perhitungan *major losses* Buzelli dengan menghubungkan pada kecepatan aliran nilai yang didapatkan berbanding lurus.

Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Buzelli menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,14133 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,93630 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 0,47460 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,64911 m/s pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Buzelli menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,41494 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,86808 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 1,39385 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,58089 m/s pembukaan katup 90° .



Gambar 79 Grafik metode perhitungan *major losses* (h_f) Ghanbari dengan menghubungkan pada kecepatan aliran (V) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 79 terlihat bahwa metode perhitungan *major losses* Ghanbari dengan menghubungkan pada kecepatan aliran nilai yang didapatkan berbanding lurus.

Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Ghanbari menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,46331 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,93630 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 1,26294 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,64911 m/s pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Ghanbari menghasilkan nilai *major losses* terkecil sebesar 0,50671 m dengan kecepatan aliran sebesar 0,86808 m/s dan *major losses* terbesar yaitu 1,58169 m dengan kecepatan aliran sebesar 1,58089 m/s pada pembukaan katup 90° .

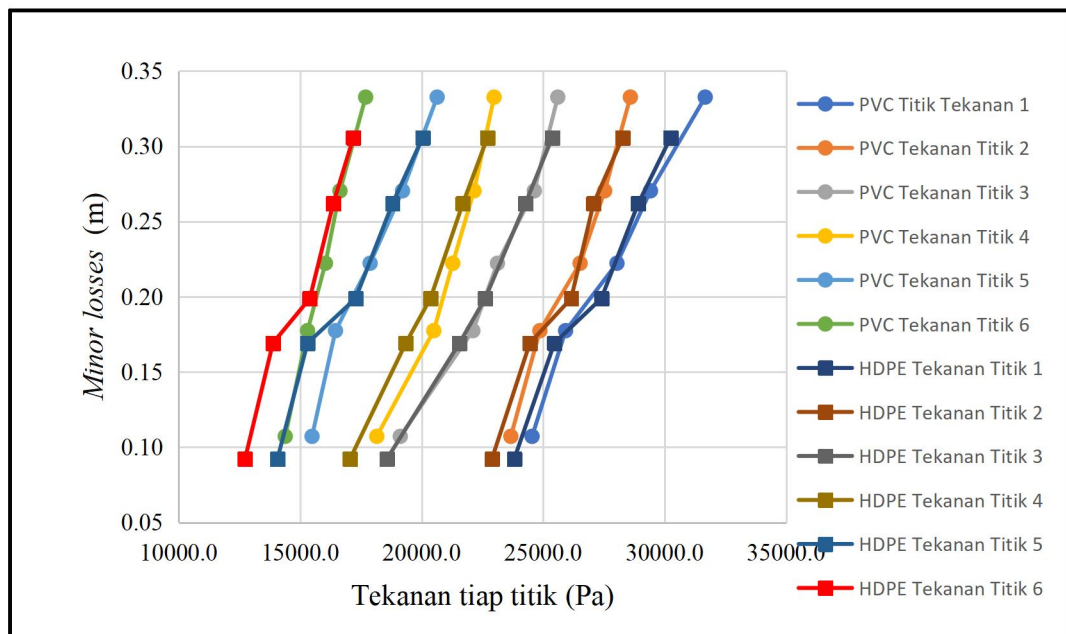
4.1.10 Hubungan antara *Minor Losses* ($h_{l,minor}$) terhadap Tekanan pada Tiap Titik (P)

Berikut data hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada tiap titik (P) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 7.

Tabel 7 Data hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup

| Jenis pipa | PK (°) | Minor losses (m) | Belokan 1 | | Belokan 2 | | Belokan 3 | |
|------------|--------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | Tekanan di titik 1 (Pa) | Tekanan di titik 2 (Pa) | Tekanan di titik 3 (Pa) | Tekanan di titik 4 (Pa) | Tekanan di titik 5 (Pa) | Tekanan di titik 6 (Pa) |
| PVC | 50 | 0.1072 | 24545.33 | 23672.00 | 19121.46 | 18156.19 | 15490.22 | 14387.06 |
| | 60 | 0.1774 | 25924.29 | 24867.09 | 22109.19 | 20500.41 | 16455.49 | 15306.36 |
| | 70 | 0.2222 | 28038.68 | 26521.83 | 23120.42 | 21281.82 | 17880.40 | 16041.80 |
| | 80 | 0.2704 | 29417.63 | 27533.06 | 24637.27 | 22155.15 | 19213.39 | 16639.35 |
| | 90 | 0.3326 | 31669.92 | 28590.26 | 25602.53 | 22982.52 | 20638.31 | 17696.54 |
| HDPE | 50 | 0.0921 | 23809.89 | 22890.59 | 18569.88 | 17053.03 | 14065.30 | 12732.32 |
| | 60 | 0.1692 | 25464.64 | 24453.40 | 21557.61 | 19351.28 | 15306.36 | 13881.44 |
| | 70 | 0.1988 | 27395.17 | 26154.11 | 22614.80 | 20362.52 | 17282.86 | 15398.29 |
| | 80 | 0.2619 | 28912.01 | 27073.41 | 24269.54 | 21695.50 | 18799.70 | 16363.56 |
| | 90 | 0.3057 | 30245.00 | 28268.50 | 25372.71 | 22706.73 | 20040.76 | 17190.92 |

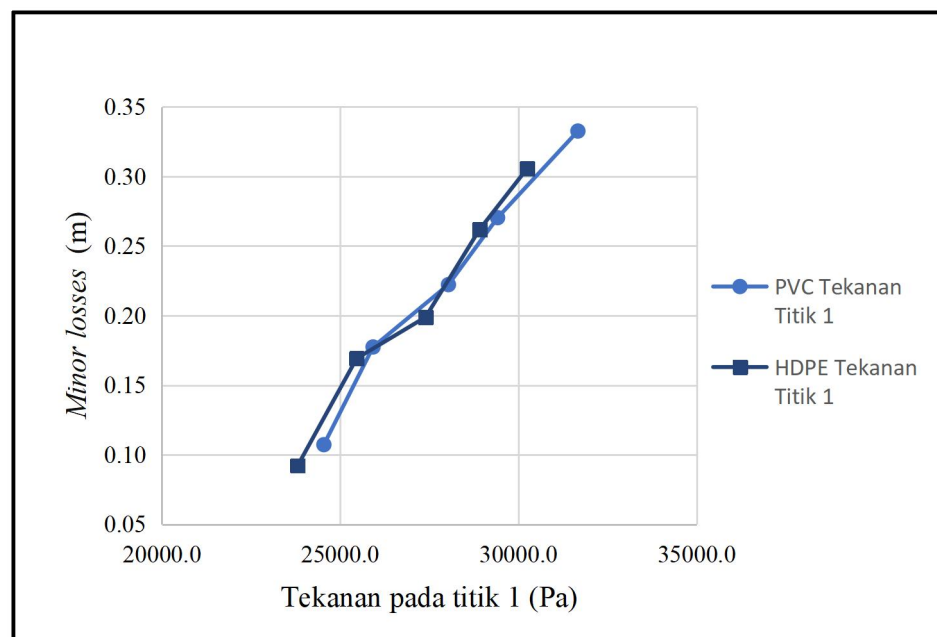
Adapun grafik hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada tiap titik (P) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 80.



Gambar 80 Hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada tiap titik (P) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 80 terlihat bahwa hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada tiap titik tekanannya.

Sehingga, pada gambar 80 dapat dilihat tekanan terbesar berada pada titik tekanan 1 pada pipa PVC pembukaan katup 90° yaitu 4,59333 Psi dengan *minor losses* sebesar 0,33267 m. Sedangkan untuk tekanan terkecil berada pada titik tekanan 6 pada pipa HDPE pembukaan katup 50° dengan nilai sebesar 1,84667 Psi dengan *minor losses* 0,09218 m.

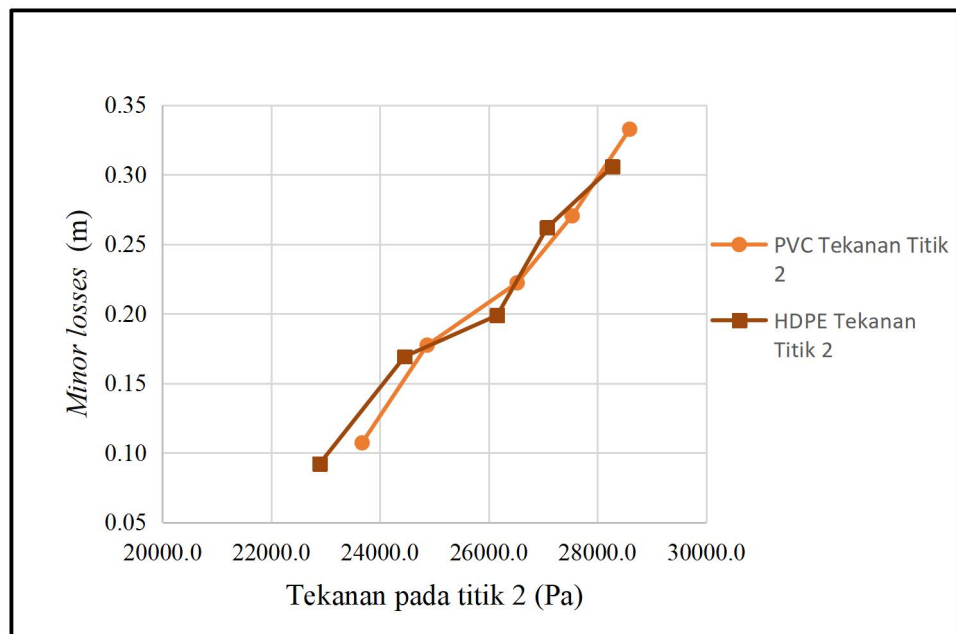


Gambar 81 Hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 1 (P) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 81 terlihat bahwa hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 1.

Dapat dilihat pada pipa PVC titik tekanan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 24545,33 Pa dengan *minor losses* 0,10724 m dan tekanan terbesar 31669,92 Pa dengan *minor losses* 0,33267 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pembukaan katup 50° titik tekanan 1 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 23809,89 Pa dengan *minor losses* 0,09218 m dan tekanan

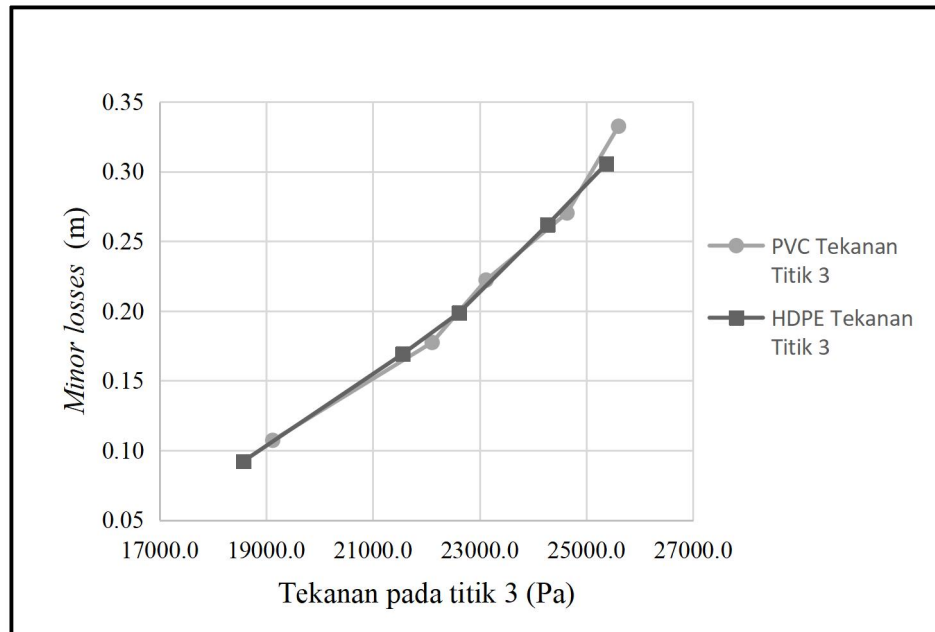
terbesar 30245,00 Pa dengan *minor losses* 0,30571 m pada pembukaan katup 90°.



Gambar 82 Hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 2 (P) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 82 terlihat bahwa hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 2.

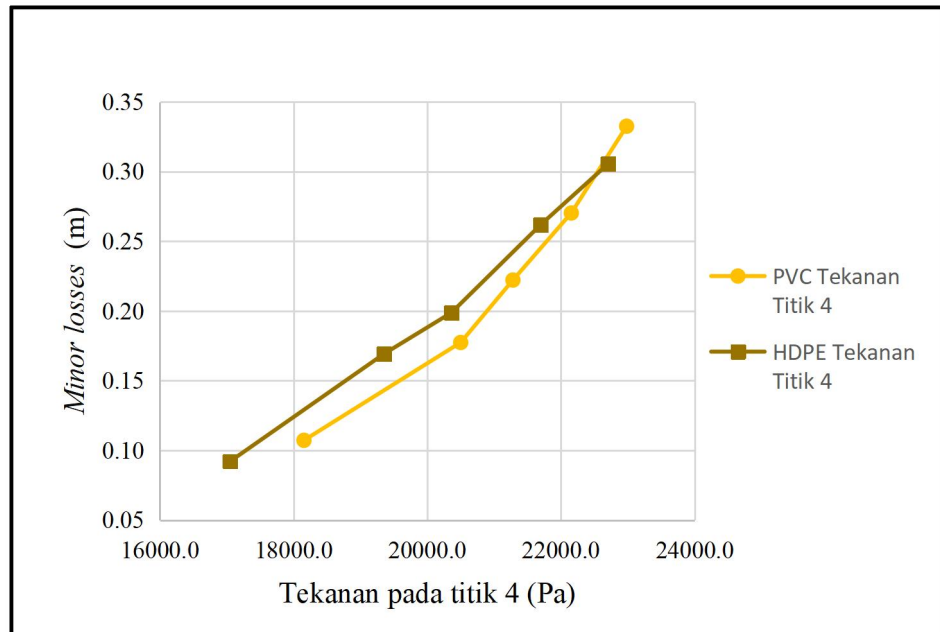
Dapat dilihat pada pipa PVC pembukaan katup 50° titik tekanan 2 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 23672,00 Pa dengan *minor losses* 0,10724 m dan tekanan terbesar 28590,26 Pa dengan *minor losses* 0,33267 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE pembukaan katup 50° titik tekanan 2 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 22890,60 Pa dengan *minor losses* 0,09218 m dan tekanan terbesar 28268,50 Pa dengan *minor losses* 0,30571 m pada pembukaan katup 90°.



Gambar 83 Hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 3 (P) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 83 terlihat bahwa hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 3.

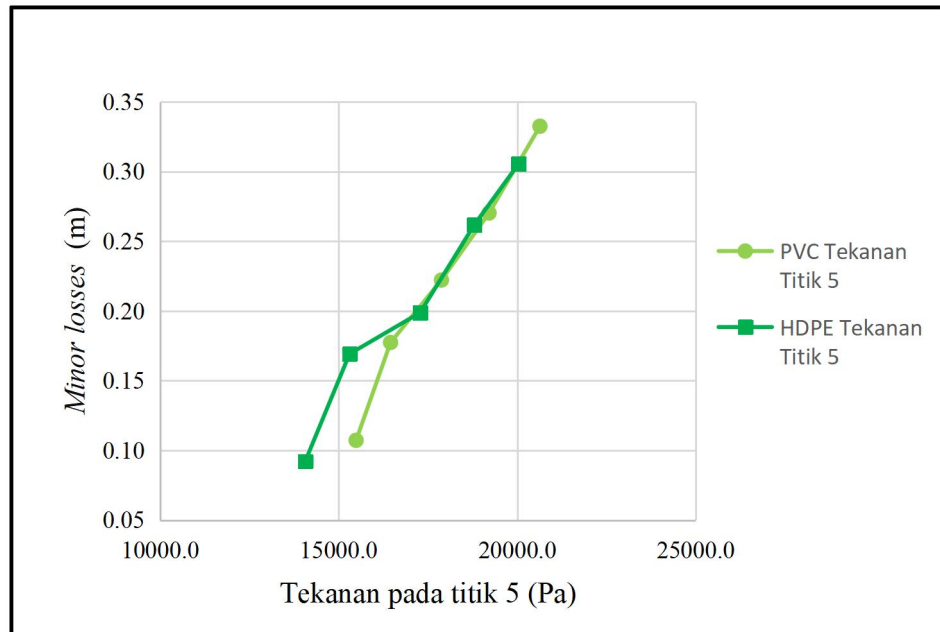
Dapat dilihat pada pipa PVC pembukaan katup 50° titik tekanan 3 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 19121,46 Pa dengan *minor losses* 0,10724 m dan tekanan terbesar 25602,53 Pa dengan *minor losses* 0,33267 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pembukaan katup 50° titik tekanan 3 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 18569,87 Pa dengan *minor losses* 0,09218 m dan tekanan terbesar 25372,70 Pa dengan *minor losses* 0,30571 m pada pembukaan katup 90° .



Gambar 84 Hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 4 (P) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 84 terlihat bahwa hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 4.

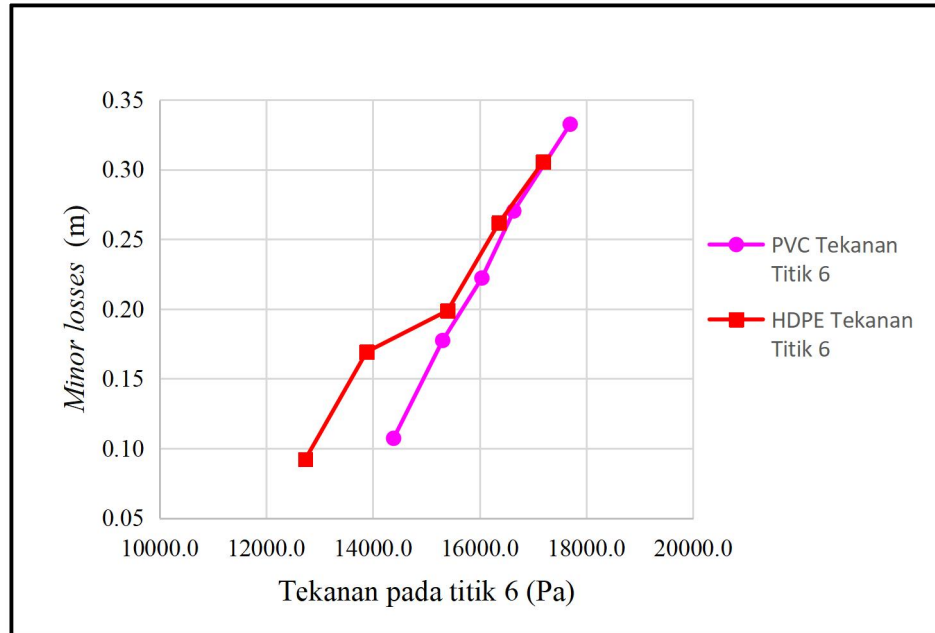
Dapat dilihat pada pipa PVC pembukaan katup 50° titik tekanan 4 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 18156,19 Pa dengan *minor losses* 0,10724 m dan tekanan terbesar 22982,52 Pa dengan *minor losses* 0,33267 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pembukaan katup 50° titik tekanan 4 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 17053,03 Pa dengan *minor losses* 0,09218 m dan tekanan terbesar 22706,73 Pa dengan *minor losses* 0,30571 m pada pembukaan katup 90° .



Gambar 85 Hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 5 (P) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 85 terlihat bahwa hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 5.

Dapat dilihat pada pipa PVC pembukaan katup 50° titik tekanan 5 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 15490,22 Pa dengan *minor losses* 0,10724 m dan tekanan terbesar 20638,31 Pa dengan *minor losses* 0,33267 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE pembukaan katup 50° titik tekanan 5 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 14065,30 Pa dengan *minor losses* 0,09218 m dan tekanan terbesar 20040,76 Pa dengan *minor losses* 0,30571 m pada pembukaan katup 90°.



Gambar 86 Hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) terhadap tekanan pada titik 6 (P) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 86 terlihat bahwa hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada titik tekanan 6.

Dapat dilihat pada pipa PVC pembukaan katup 50° titik tekanan 6 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 14387,06 Pa dengan *minor losses* 0,10724 m dan tekanan terbesar 17696,54 Pa dengan *minor losses* 0,33267 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE pembukaan katup 50° titik tekanan 6 menghasilkan nilai tekanan terkecil yaitu 12732,32 Pa dengan *minor losses* 0,09218 m dan tekanan terbesar 17190,93 Pa dengan *minor losses* 0,30571 m terdapat pada pembukaan katup 90°.

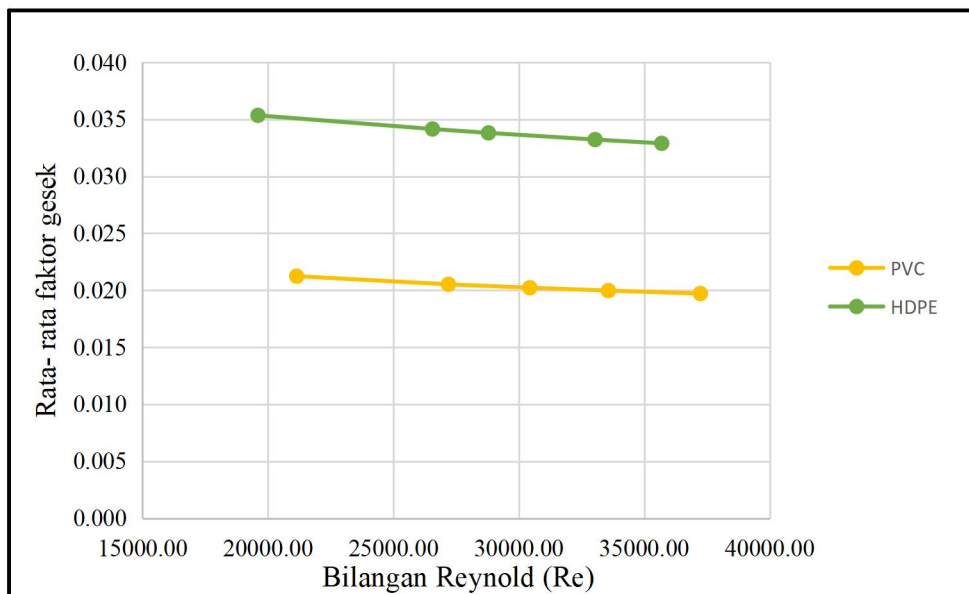
4.1.11 Hubungan antara Faktor Gesek (f) terhadap Bilangan Reynold (Re)

Berikut data hubungan faktor gesek (f) dan bilangan Reynold (Re) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE diperlihatkan pada tabel 8.

Tabel 8 Data hubungan antara faktor gesek (f) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup

| Jenis pipa | Pembukaan katup ($^{\circ}$) | Bilangan Reynold | Rata-rata faktor gesek |
|------------|--------------------------------|------------------|------------------------|
| PVC | 50 | 21140 | 0.02123 |
| | 60 | 27195 | 0.02052 |
| | 70 | 30435 | 0.02022 |
| | 80 | 33569 | 0.01997 |
| | 90 | 37234 | 0.01971 |
| HDPE | 50 | 19600 | 0.03534 |
| | 60 | 26558 | 0.03414 |
| | 70 | 28789 | 0.03381 |
| | 80 | 33038 | 0.03322 |
| | 90 | 35694 | 0.03289 |

Adapun grafik hubungan antara bilangan Reynold terhadap rata-rata faktor gesek (f) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 4.42



Gambar 87 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap bilangan Reynold (Re) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 87 terlihat bahwa hubungan antara faktor gesek (f) terhadap bilangan Reynold (Re) berbanding terbalik pada kedua jenis pipa.

Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 90° memiliki nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,01971 pada bilangan Reynold 37234 dan pada pipa HDPE memiliki faktor gesek terbesar yaitu 0,03534 pada bilangan Reynold 19600 pada pembukaan katup 50° .

4.1.12 Hubungan antara *Mayor Losses* (h_f) pada Metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap Perubahan tekanan (ΔP)

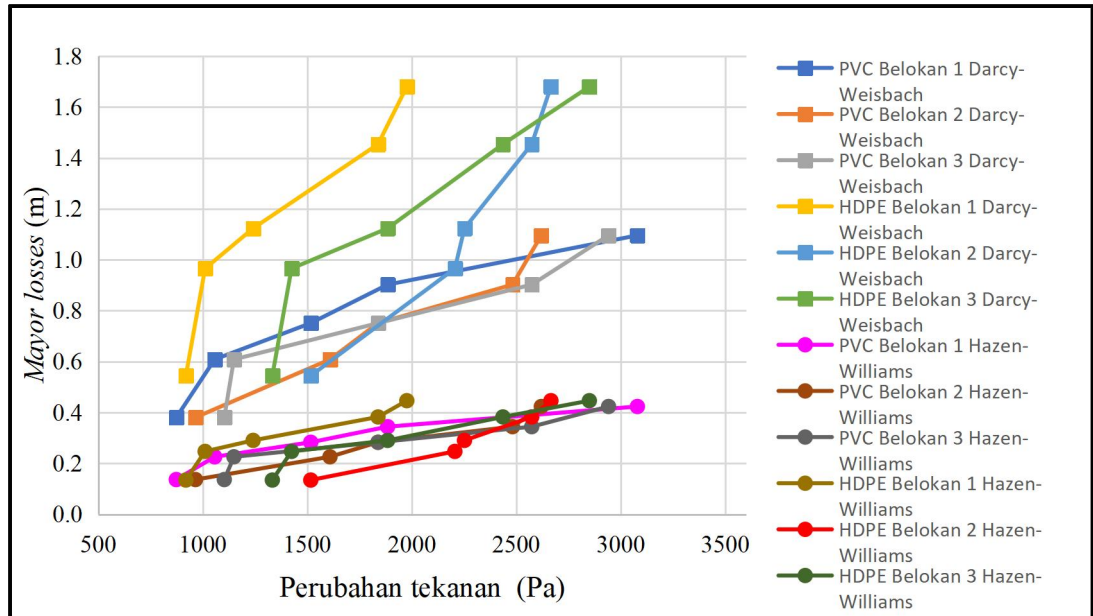
Berikut data hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 9.

Tabel 9 Data hubungan *major losses* (h_f) pada metode Hazen-Williams dan Darcy Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

| Jenis pipa | PK ($^\circ$) | Metode perhitungan <i>major losses</i> (m) | | Perubahan tekanan (ΔP) (Pa) | | |
|------------|-----------------|--|----------------|---------------------------------------|-----------|-----------|
| | | Hazen-Williams | Darcy-Weisbach | Belokan 1 | Belokan 2 | Belokan 3 |
| PVC | 50 | 0.1365 | 0.3804 | 873.335 | 965.265 | 1103.161 |
| | 60 | 0.2259 | 0.6085 | 1057.196 | 1608.776 | 1149.126 |
| | 70 | 0.2830 | 0.7510 | 1516.846 | 1838.601 | 1838.601 |
| | 80 | 0.3442 | 0.9023 | 1884.566 | 2482.112 | 2574.042 |
| | 90 | 0.4235 | 1.0958 | 3079.658 | 2620.007 | 2941.762 |
| HDPE | 50 | 0.1346 | 0.5444 | 919.300 | 1516.846 | 1332.986 |
| | 60 | 0.2471 | 0.9656 | 1011.231 | 2206.322 | 1424.916 |
| | 70 | 0.2904 | 1.1234 | 1241.056 | 2252.287 | 1884.566 |
| | 80 | 0.3824 | 1.4538 | 1838.601 | 2574.042 | 2436.147 |
| | 90 | 0.4464 | 1.6801 | 1976.497 | 2665.972 | 2849.832 |

Adapun grafik hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP)

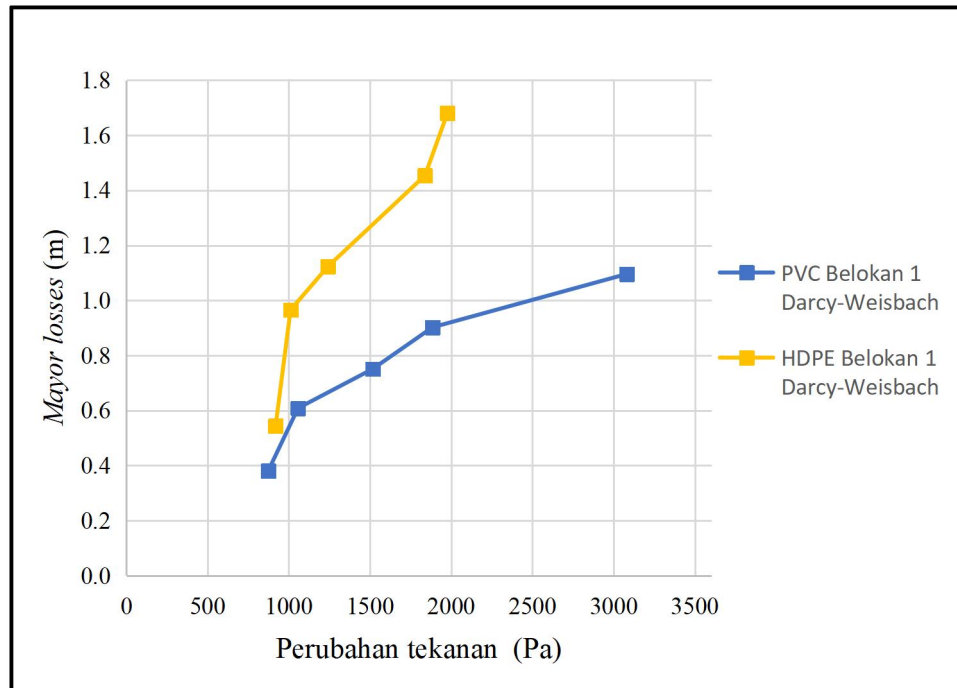
yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 88.



Gambar 88 Hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 88 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) pada Metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada setiap metode perhitungan yang digunakan.

Sehingga, dapat dilihat pada gambar 88 *major losses* terbesar ada pada pipa HDPE di metode Darcy-Weisbach pada pembukaan katup 90° yaitu sebesar 1,68017 m dengan perubahan tekanan terbesar di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 90° yaitu sebesar 3079,65813 Pa. Sedangkan, untuk *major losses* terkecil ada pada pipa HDPE di metode Hazen-Williams pada pembukaan katup 50° yaitu sebesar 0,13461 m dengan perubahan tekanan terkecil di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 50° yaitu sebesar 873,33589 Pa.

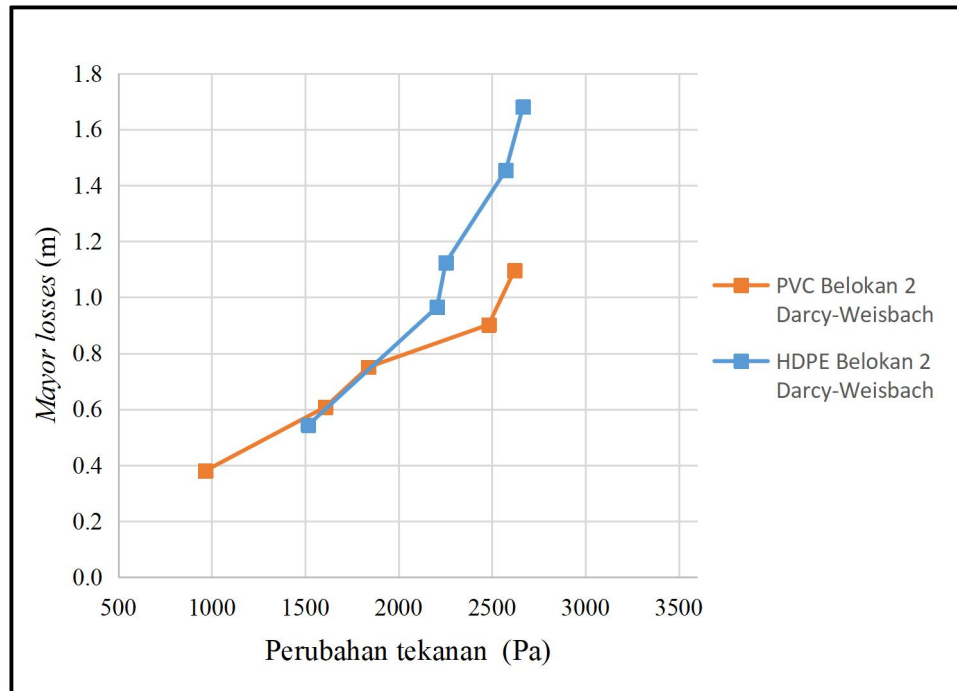


Gambar 89 Hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada belokan

1

Pada gambar 89 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada belokan 1.

Dapat dilihat pada pipa PVC Belokan 1 Darcy-Weisbach pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 873,33589 Pa dengan *major losses* 0,38048 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 3079,65813 Pa dengan *major losses* 1,09587 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE Belokan 1 Darcy-Weisbach pembukaan katup 50° pada pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 919,30093 Pa dengan *major losses* 0,54443 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 1976,49701 Pa dengan *major losses* 1,68017 m pada pembukaan katup 90° .

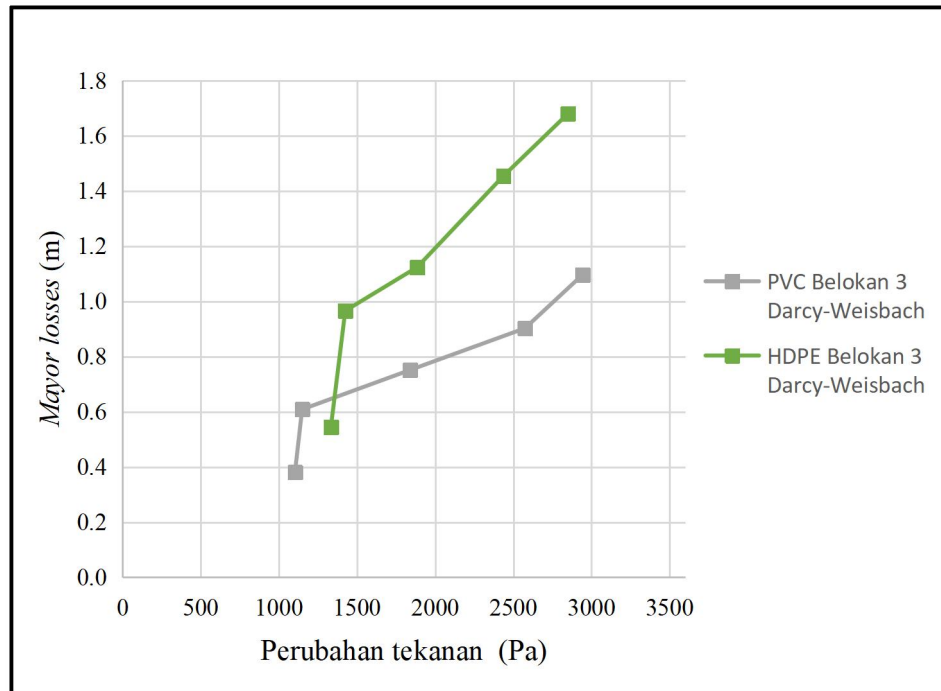


Gambar 90 Hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada belokan

2

Pada gambar 90 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada belokan 2.

Dapat dilihat pada pipa PVC Belokan 2 Darcy-Weisbach pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 965,26598 Pa dengan *major losses* 0,38048 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2620,00766 Pa dengan *major losses* 1,09587 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE Belokan 2 Darcy-Weisbach pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1516,84654 Pa dengan *major losses* 0,54443 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2665,97271 Pa dengan *major losses* 1,68017 m pada pembukaan katup 90° .

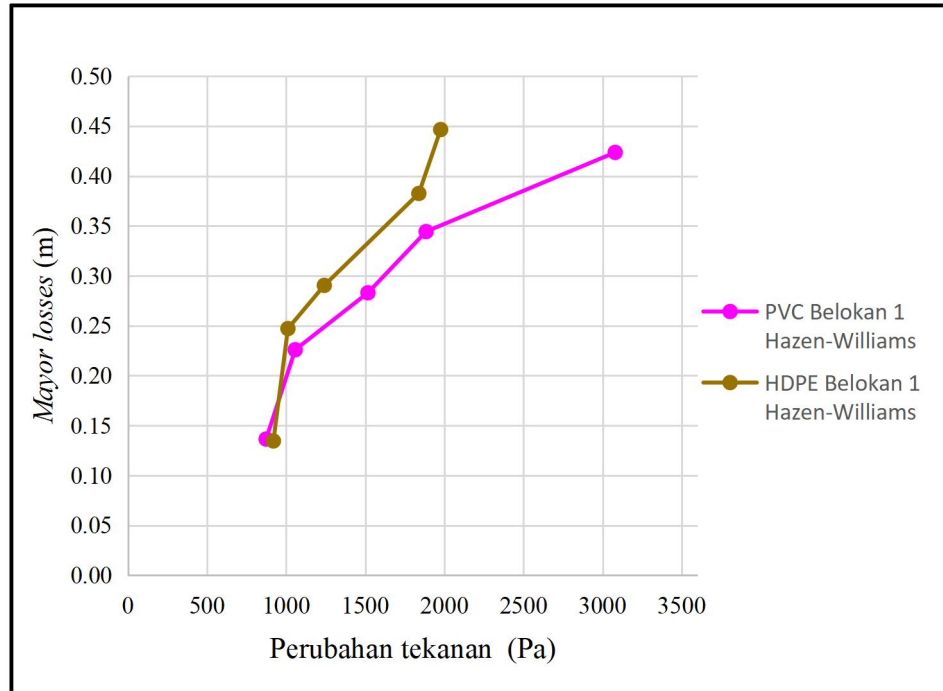


Gambar 91 Hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada belokan

3

Pada gambar 91 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada belokan 3.

Dapat dilihat pada pipa PVC Belokan 3 Darcy-Weisbach pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1103,16112 Pa dengan *major losses* 0,38048 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2941,76299 Pa dengan *major losses* 1,09587 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE Belokan 3 Darcy-Weisbach pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1332,98635 Pa dengan *major losses* 0,54443 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2849,83289 Pa dengan *major losses* 1,68017 m pada pembukaan katup 90° .

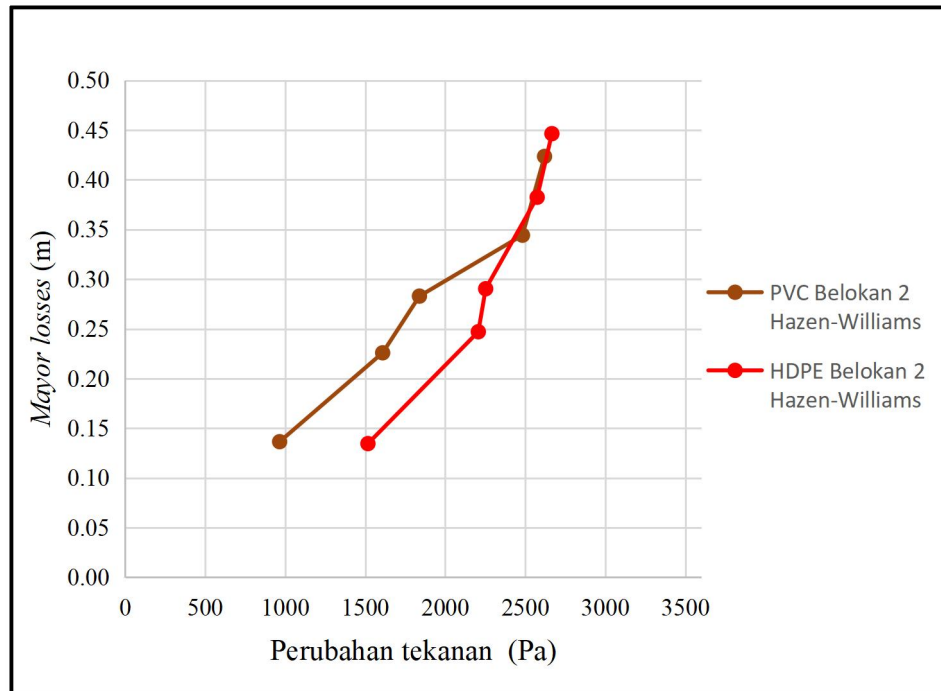


Gambar 92 Hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Hazen-Williams terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada belokan

1

Pada gambar 92 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Hazen-Williams dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada belokan 1.

Dapat dilihat pada pipa PVC Belokan 1 Hazen-Williams pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 873,33589 Pa dengan *major losses* 0,13654 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 3079,65813 Pa dengan *major losses* 0,42356 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE Belokan 1 Hazen-Williams pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 919,30093 Pa dengan *major losses* 0,13461 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 1976,49701 Pa dengan *major losses* 0,44644 m pada pembukaan katup 90° .

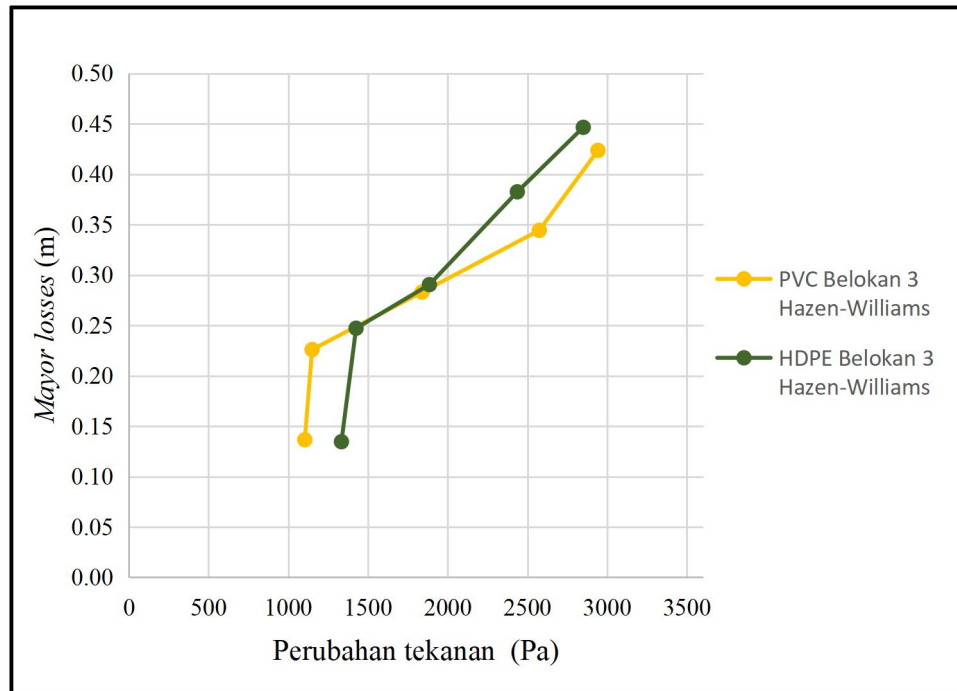


Gambar 93 Hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Hazen-Williams terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada belokan

2

Pada gambar 93 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Hazen-Williams dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada belokan 2.

Dapat dilihat pada pipa PVC Belokan 2 Hazen-Williams pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 965,26598 Pa dengan *major losses* 0,13654 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2620,00766 Pa dengan *major losses* 0,42356 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE Belokan 2 Hazen-Williams pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1516,84654 Pa dengan *major losses* 0,13461 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2665,97271 Pa dengan *major losses* 0,44644 m pada pembukaan katup 90° .



Gambar 94 Hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Hazen-Williams terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup pada belokan

3

Pada gambar 94 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) pada metode Hazen-Williams dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada belokan 3.

Dapat dilihat pada pipa PVC Belokan 3 Hazen-Williams pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1103,16112 Pa dengan *major losses* 0,13654 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2941,76299 Pa dengan *major losses* 0,42356 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE Belokan 3 Hazen-Williams pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1332,98635 Pa dengan *major losses* 0,13461 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2849,83289 Pa dengan *major losses* 0,44644 m pada pembukaan katup 90° .

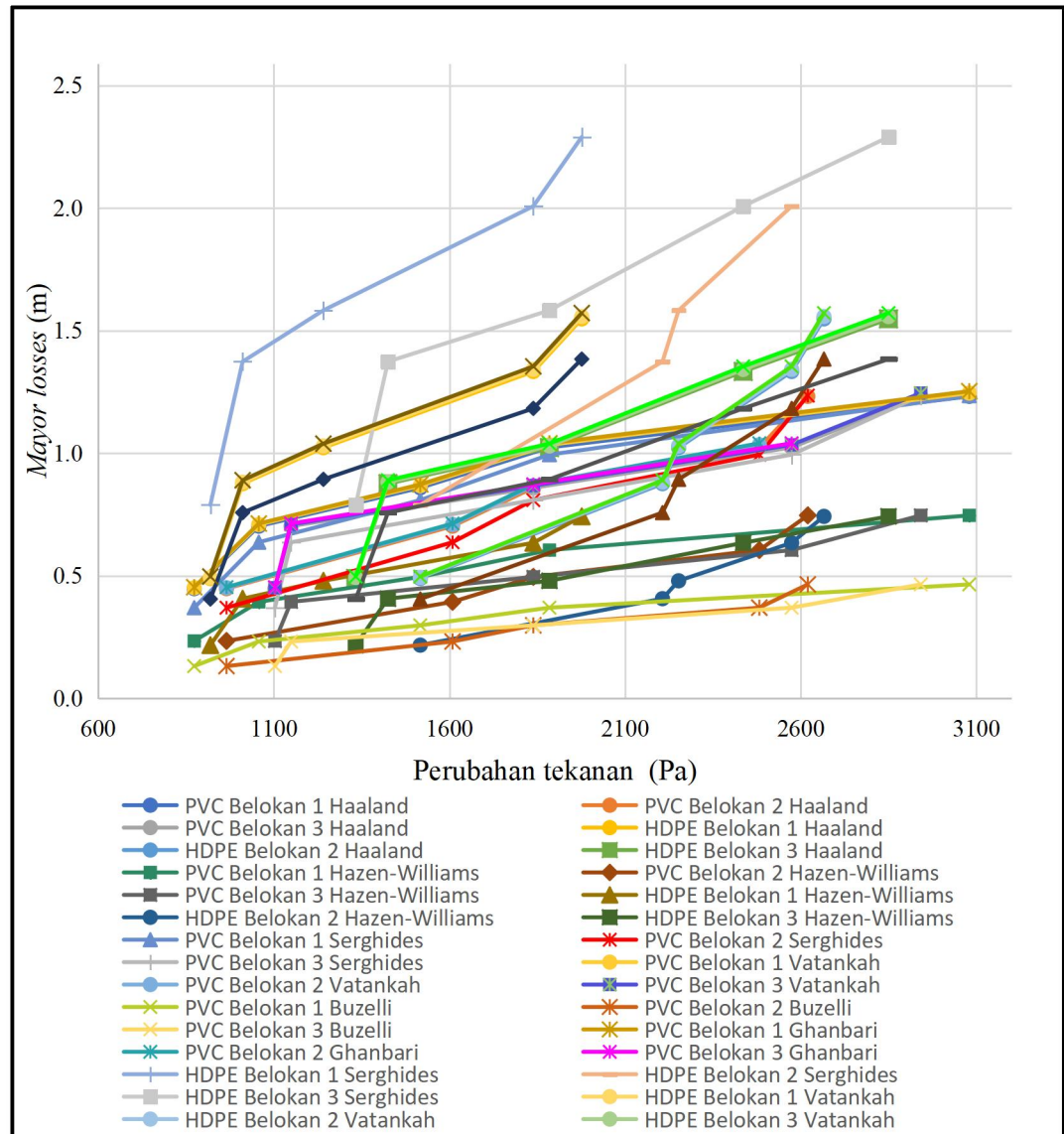
4.1.13 Hubungan antara *Mayor Losses* (h_f) pada Setiap Metode Perhitungan terhadap Perubahan Tekanan (ΔP)

Berikut data hubungan *major losses* (h_f) pada setiap metode perhitungan terhadap perubahan tekanan (ΔP) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 10.

Tabel 10 Data hubungan antara *major losses* (h_f) pada setiap metode perhitungan terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

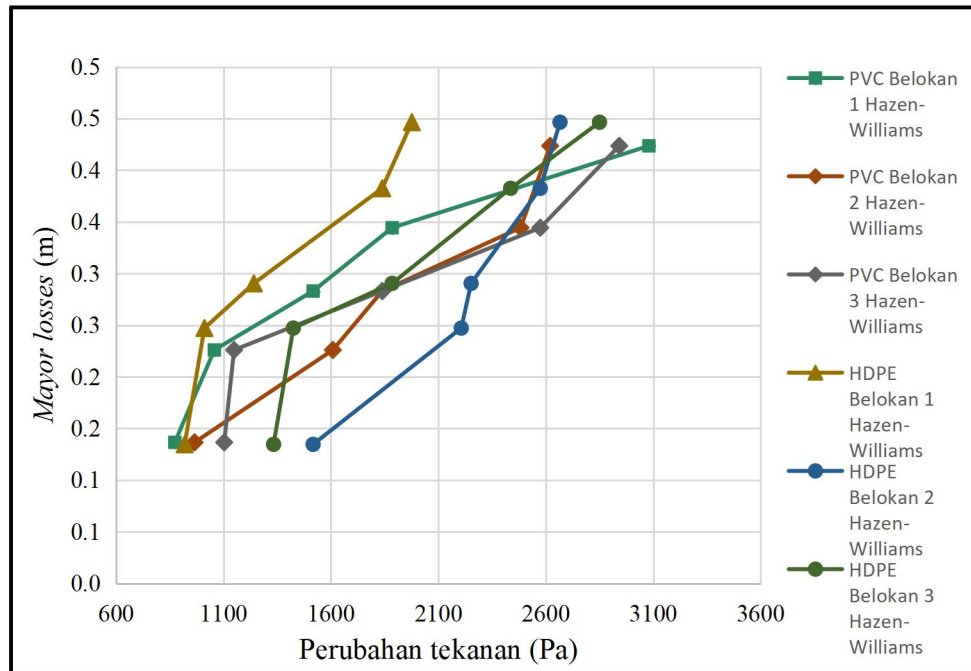
| Jenis pipa | PK (°) | Metode perhitungan <i>major losses</i> (m) | | | | | | Perubahan tekanan (ΔP) (Pa) | | |
|------------|--------|--|----------------|----------|---------------------|--------|----------|---------------------------------------|-----------|-----------|
| | | Hazen-Williams | Darcy-Weisbach | | | | | Belokan 1 | Belokan 2 | Belokan 3 |
| | | | Haland | Sergides | Vatankah & Kouckhak | Buzeli | Ghanbari | | | |
| PVC | 50 | 0.1365 | 0.4573 | 0.3795 | 0.4608 | 0.1413 | 0.4633 | 873.335 | 965.265 | 1103.161 |
| | 60 | 0.2259 | 0.7123 | 0.6466 | 0.7188 | 0.2416 | 0.7229 | 1057.196 | 1608.776 | 1149.126 |
| | 70 | 0.2830 | 0.8689 | 0.8185 | 0.8774 | 0.3076 | 0.8826 | 1516.846 | 1838.601 | 1838.601 |
| | 80 | 0.3442 | 1.0334 | 1.0040 | 1.0440 | 0.3797 | 1.0503 | 1884.566 | 2482.112 | 2574.042 |
| | 90 | 0.4235 | 1.2418 | 1.2448 | 1.2551 | 0.4746 | 1.2629 | 3079.658 | 2620.007 | 2941.762 |
| HDPE | 50 | 0.1346 | 0.4987 | 0.7991 | 0.5026 | 0.4149 | 0.5067 | 919.300 | 1516.846 | 1332.986 |
| | 60 | 0.2471 | 0.8856 | 1.3836 | 0.8918 | 0.7674 | 0.8996 | 1011.231 | 2206.322 | 1424.916 |
| | 70 | 0.2904 | 1.0326 | 1.5928 | 1.0396 | 0.9032 | 1.0488 | 1241.056 | 2252.287 | 1884.566 |
| | 80 | 0.3824 | 1.3433 | 2.0176 | 1.3517 | 1.1926 | 1.3640 | 1838.601 | 2574.042 | 2436.147 |
| | 90 | 0.4464 | 1.5580 | 2.2999 | 1.5673 | 1.3938 | 1.5816 | 1976.497 | 2665.972 | 2849.832 |

Adapun grafik hubungan antara *major losses* (h_f) pada setiap metode perhitungan terhadap perubahan tekanan (ΔP) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 95.



Gambar 95 Hubungan antara *major losses* (h_f) pada setiap metode perhitungan terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 95 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) pada setiap metode perhitungan dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada setiap metode perhitungan *major losses*. Untuk memperjelas grafik di atas maka grafik di atas dibagi menjadi enam grafik, dimana pada setiap grafik adalah metode perhitungan *major losses* yang berbeda.



Gambar 96 Hubungan *major losses* (h_f) pada metode perhitungan Hazen-Williams terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

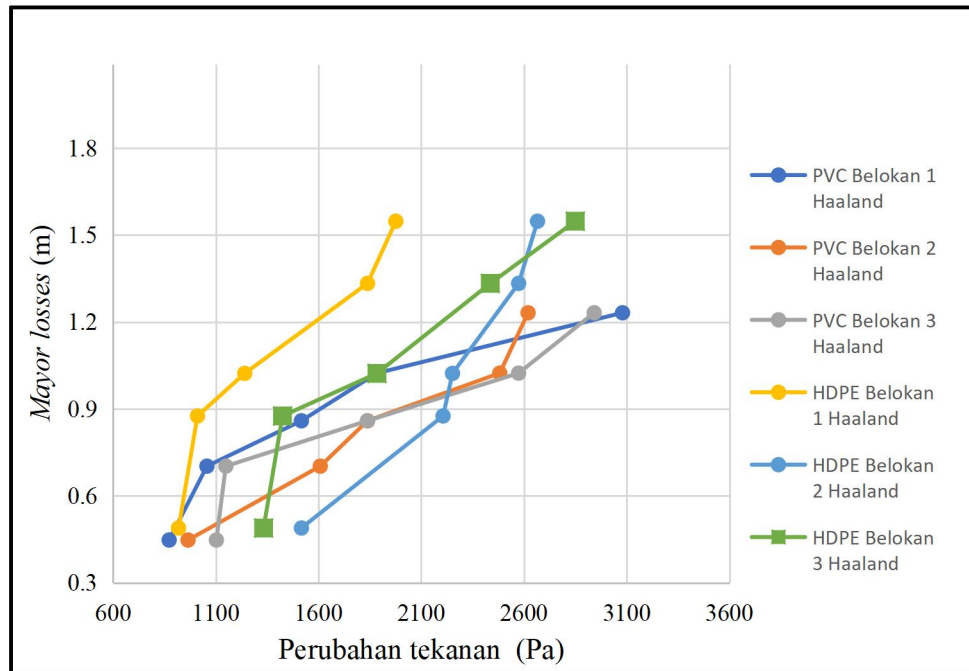
Pada gambar 96 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada metode Hazen-Williams.

Pada pipa PVC Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 873,33589 Pa dengan *major losses* 0,13654 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 3079,65813 Pa dengan *major losses* 0,42356 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 965,26598 Pa dengan *major losses* 0,13654 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2620,00766 Pa dengan *major losses* 0,42356 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1103,16112 Pa dengan *major losses* 0,13654 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2917,6299 Pa dengan *major losses* 0,42356 m pada pembukaan katup 90° .

Dapat dilihat pada pipa HDPE Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 919,30093 Pa dengan *major losses* 0,13461 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu

1976,49701 Pa dengan *major losses* 0,44644 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1516,84654 Pa dengan *major losses* 0,13461 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2665,97271 Pa dengan *major losses* 0,44644 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1332,98635 Pa dengan *major losses* 0,13461 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2849,83289 Pa dengan *major losses* 0,44644 m pada pembukaan katup 90°.

Sehingga, dapat dilihat pada gambar 96 *major losses* terbesar ada pada pipa HDPE pada pembukaan katup 90° yaitu sebesar 0,44644 m dengan perubahan tekanan terbesar di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 90° yaitu sebesar 3079,65813 Pa. Sedangkan, untuk *major losses* terkecil ada pada pipa HDPE di pada pembukaan katup 50° yaitu sebesar 0,13461 m dengan perubahan tekanan terkecil di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 50° yaitu sebesar 873,33589 Pa.



Gambar 97 Hubungan *major losses* (h_f) pada metode perhitungan Haaland terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

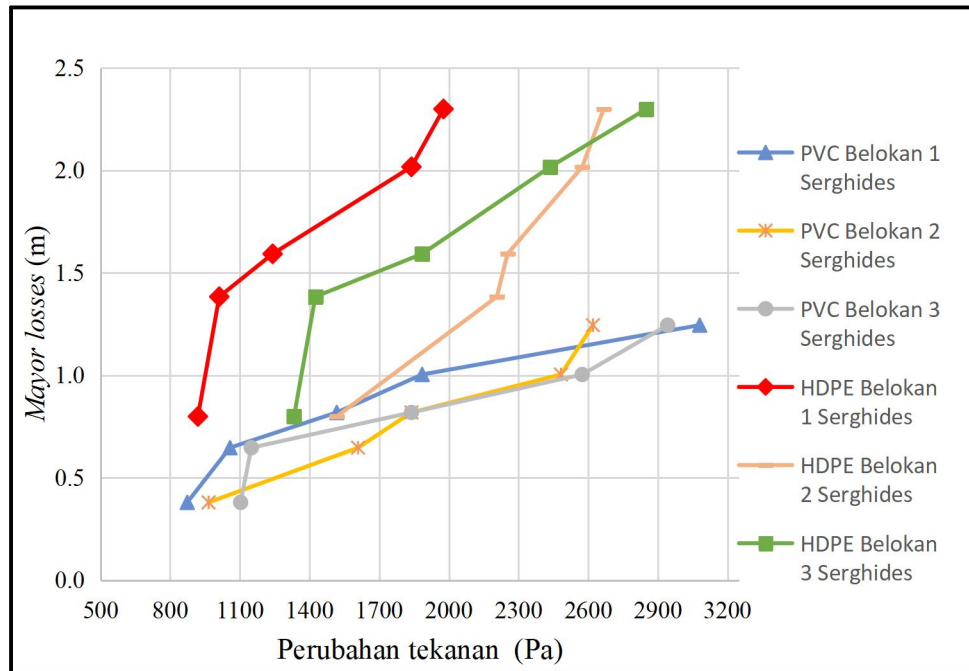
Pada gambar 97 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada metode Haaland.

Pada pipa PVC Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 873,33589 Pa dengan *major losses* 0,45732 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 3079,65813 Pa dengan *major losses* 1,24183 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 965,26598 Pa dengan *major losses* 0,45732 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2620,00766 Pa dengan *major losses* 1,24183 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1103,16112 Pa dengan *major losses* 0,45732 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2941,76299 Pa dengan *major losses* 1,24183 m pada pembukaan katup 90° .

Dapat dilihat pada pipa HDPE Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 919,30093 Pa dengan *major losses* 0,49873 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu

1976,49701 Pa dengan *major losses* 1,55801 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1516,84654 Pa dengan *major losses* 0,49873 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2665,97271 Pa dengan *major losses* 1,55801 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1332,98635 Pa dengan *major losses* 0,49873 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2849,83289 Pa dengan *major losses* 1,55801 m pada pembukaan katup 90°.

Sehingga, dapat dilihat pada gambar 97 *major losses* terbesar ada pada pipa HDPE pada pembukaan katup 90° yaitu sebesar 1,55801 m dengan perubahan tekanan terbesar di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 90° yaitu sebesar 3079,65813 Pa. Sedangkan, untuk *major losses* terkecil ada pada pipa PVC di pada pembukaan katup 50° yaitu sebesar 0,45732 m dengan perubahan tekanan terkecil di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 50° yaitu sebesar 873,33589 Pa.



Gambar 98 Hubungan *major losses* (h_f) pada metode perhitungan Serghides terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

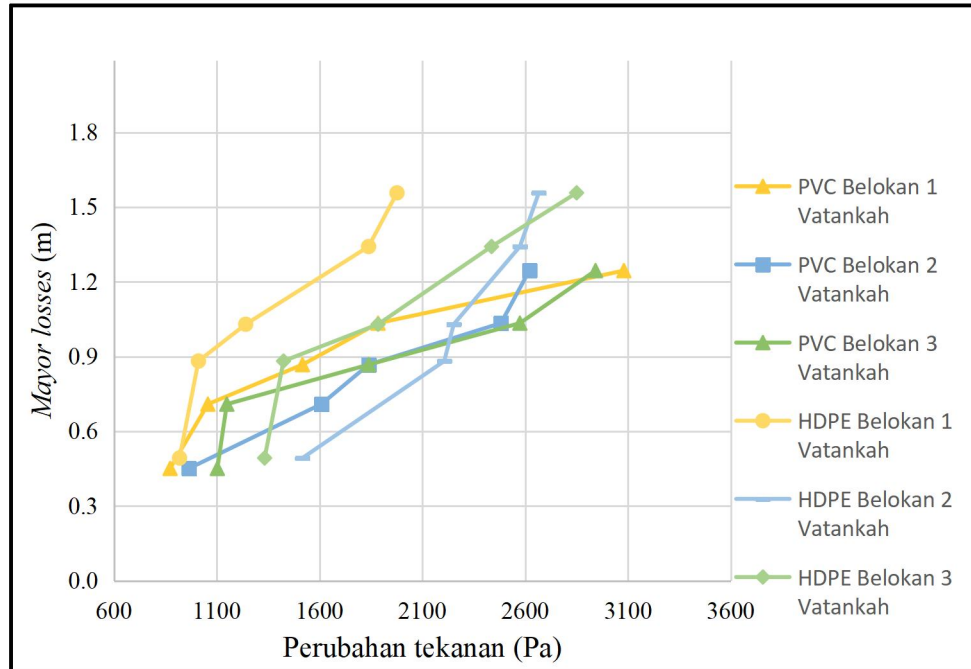
Pada gambar 98 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada metode Serghides.

Pada pipa PVC Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 873,33589 Pa dengan *major losses* 0,37959 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 3079,65813 Pa dengan *major losses* 1,24481 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 965,26598 Pa dengan *major losses* 0,37959 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2620,00766 Pa dengan *major losses* 1,24481 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1103,16112 Pa dengan *major losses* 0,37959 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2941,76299 Pa dengan *major losses* 1,24481 m pada pembukaan katup 90° .

Dapat dilihat pada pipa HDPE Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 919,30093 Pa dengan *major losses* 0,79915 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu

1976,49701 Pa dengan *major losses* 2,29994 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1516,84654 Pa dengan *major losses* 0,79915 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2665,97271 Pa dengan *major losses* 2,29994 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1332,98635 Pa dengan *major losses* 0,79915 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2849,83289 Pa dengan *major losses* 2,29994 m pada pembukaan katup 90°.

Sehingga, dapat dilihat pada gambar 98 *major losses* terbesar ada pada pipa HDPE pada pembukaan katup 90° yaitu sebesar 2,29994 m dengan perubahan tekanan terbesar di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 90° yaitu sebesar 3079,65813 Pa. Sedangkan, untuk *major losses* terkecil ada pada pipa PVC di pada pembukaan katup 50° yaitu sebesar 0,37959 m dengan perubahan tekanan terkecil di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 50° yaitu sebesar 873,33589 Pa.



Gambar 99 Hubungan *major losses* (h_f) pada metode perhitungan Vatankah & Kouchak terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

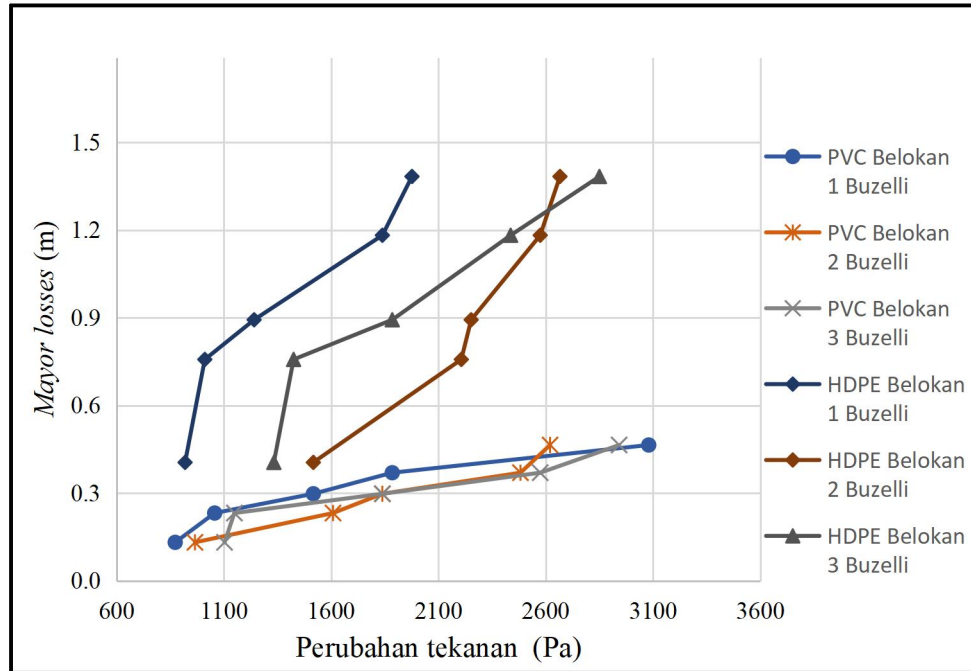
Pada gambar 99 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada metode Vatankah & Kouchak.

Pada pipa PVC Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 873,33589 Pa dengan *major losses* 0,46083 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 3079,65813 Pa dengan *major losses* 1,25517 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 965,26598 Pa dengan *major losses* 0,46083 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2620,00766 Pa dengan *major losses* 1,25517 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1103,16112 Pa dengan *major losses* 0,46083 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2941,76299 Pa dengan *major losses* 1,25517 m pada pembukaan katup 90° .

Dapat dilihat pada pipa HDPE Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 919,30093 Pa dengan *major losses* 0,50263 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu

1976,49701 Pa dengan *major losses* 1,56733 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1516,84654 Pa dengan *major losses* 0,50263 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2665,97271 Pa dengan *major losses* 1,56733 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1332,98635 Pa dengan *major losses* 0,50263 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2849,83289 Pa dengan *major losses* 1,56733 m pada pembukaan katup 90°.

Sehingga, dapat dilihat pada gambar 99 *major losses* terbesar ada pada pipa HDPE pada pembukaan katup 90° yaitu sebesar 1,56733 m dengan perubahan tekanan terbesar di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 90° yaitu sebesar 3079,65813 Pa. Sedangkan, untuk *major losses* terkecil ada pada pipa PVC di pada pembukaan katup 50° yaitu sebesar 0,46083 m dengan perubahan tekanan terkecil di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 50° yaitu sebesar 873,33589 Pa.



Gambar 100 Hubungan *major losses* (h_f) pada metode perhitungan Buzelli terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

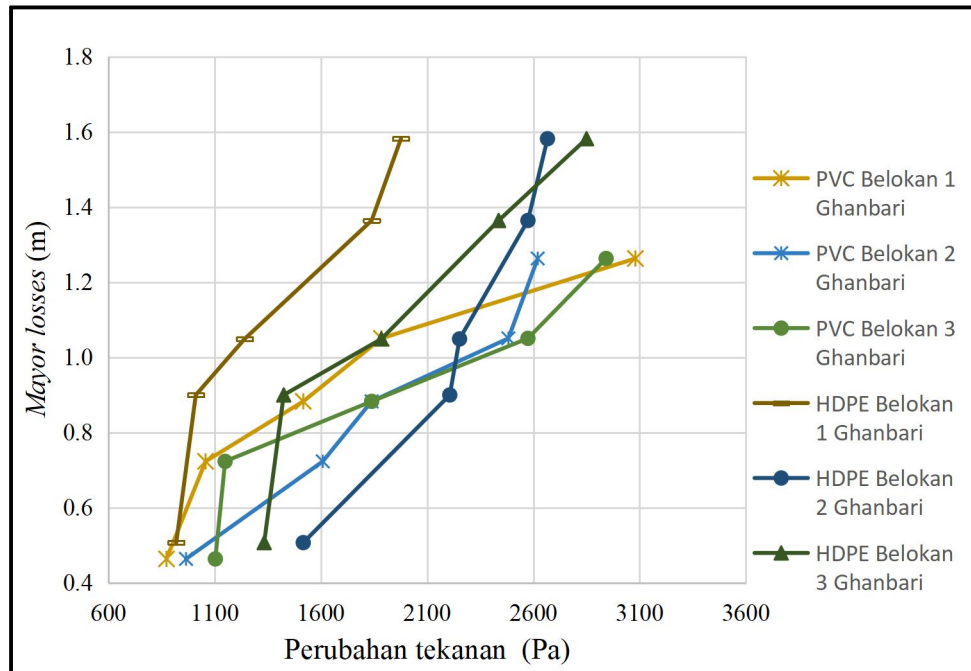
Pada gambar 100 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada metode Buzelli.

Pada pipa PVC Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 873,33589 Pa dengan *major losses* 0,14133 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 3079,65813 Pa dengan *major losses* 0,47460 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 965,26598 Pa dengan *major losses* 0,14133 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2620,00766 Pa dengan *major losses* 0,47460 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1103,16112 Pa dengan *major losses* 0,14133 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2917,76299 Pa dengan *major losses* 0,47460 m pada pembukaan katup 90° .

Dapat dilihat pada pipa HDPE Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 919,30093 Pa dengan *major losses* 0,41494 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu

1976,49701 Pa dengan *mayor losses* 1,39385 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1516,84654 Pa dengan *mayor losses* 0,41494 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2665,97271 Pa dengan *mayor losses* 1,39385 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1332,98635 Pa dengan *mayor losses* 0,41494 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2849,83289 Pa dengan *mayor losses* 1,39385 m pada pembukaan katup 90°.

Sehingga, dapat dilihat pada gambar 100 *mayor losses* terbesar ada pada pipa HDPE pada pembukaan katup 90° yaitu sebesar 1,39385 m dengan perubahan tekanan terbesar di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 90° yaitu sebesar 3079,65813 Pa. Sedangkan, untuk *mayor losses* terkecil ada pada pipa PVC di pada pembukaan katup 50° yaitu sebesar 0,14133 m dengan perubahan tekanan terkecil di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 50° yaitu sebesar 873,33589 Pa.



Gambar 101 Hubungan *major losses* (h_f) pada metode perhitungan Ghanbari terhadap perubahan tekanan (ΔP) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 101 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada metode Ghanbari.

Pada pipa PVC Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 873,33589 Pa dengan *major losses* 0,46331 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 3079,65813 Pa dengan *major losses* 1,26294 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 965,26598 Pa dengan *major losses* 0,46331 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2620,00766 Pa dengan *major losses* 1,26294 m pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1103,16112 Pa dengan *major losses* 0,46331 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2941,76299 Pa dengan *major losses* 1,26294 m pada pembukaan katup 90° .

Dapat dilihat pada pipa HDPE Belokan 1 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 919,30093 Pa dengan *major losses* 0,50671 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu

1976,49701 Pa dengan *major losses* 1,58169 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 2 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1516,84654 Pa dengan *major losses* 0,50671 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2665,97271 Pa dengan *major losses* 1,58169 m pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE Belokan 3 pembukaan katup 50° menghasilkan nilai perubahan tekanan terkecil sebesar 1332,98635 Pa dengan *major losses* 0,50671 m dan perubahan tekanan terbesar yaitu 2849,83289 Pa dengan *major losses* 1,58169 m pada pembukaan katup 90°.

Sehingga, dapat dilihat pada gambar 101 *major losses* terbesar ada pada pipa HDPE pada pembukaan katup 90° yaitu sebesar 1,58169 m dengan perubahan tekanan terbesar di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 90° yaitu sebesar 3079,65813 Pa. Sedangkan, untuk *major losses* terkecil ada pada pipa PVC di pada pembukaan katup 50° yaitu sebesar 0,46331 m dengan perubahan tekanan terkecil di pipa PVC ada pada belokan 1 pembukaan katup 50° yaitu sebesar 873,33589 Pa.

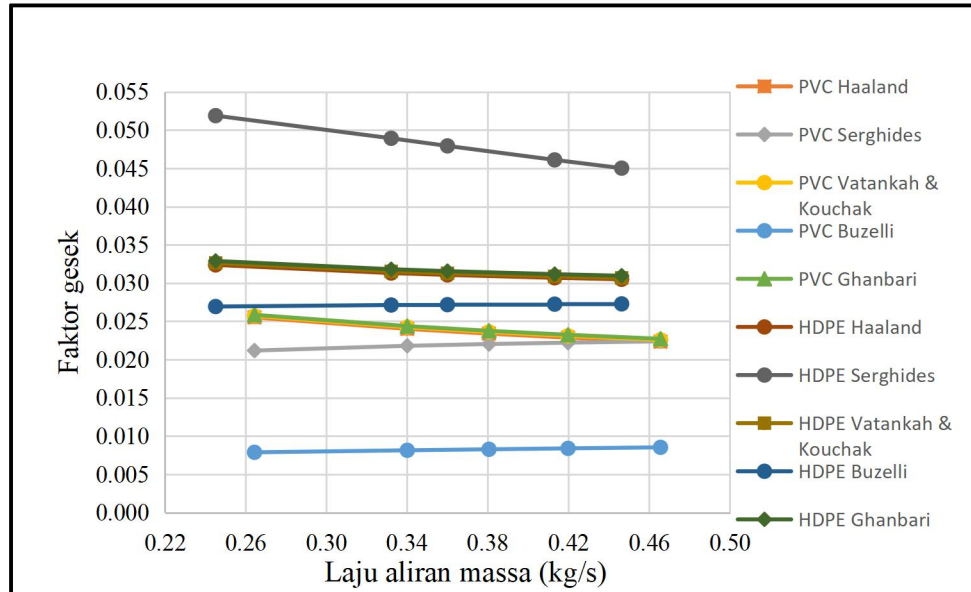
4.1.14 Hubungan antara Faktor Gesek (f) terhadap Laju Aliran Massa (\dot{m})

Berikut data hubungan faktor gesek (f) terhadap laju Aliran Massa (\dot{m}) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 11.

Tabel 11 Data hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup

| Jenis pipa | PK (°) | Laju aliran massa (kg/s) | Faktor gesek | | | | |
|------------|--------|--------------------------|--------------|-----------|--------------------|---------|----------|
| | | | Halaand | Serghides | Vatankah & Kouchak | Buzelli | Ghanbari |
| PVC | 50 | 0.26433 | 0.02552 | 0.02118 | 0.02572 | 0.00789 | 0.02585 |
| | 60 | 0.34004 | 0.02402 | 0.02181 | 0.02424 | 0.00815 | 0.02438 |
| | 70 | 0.38055 | 0.02339 | 0.02204 | 0.02362 | 0.00828 | 0.02376 |
| | 80 | 0.41973 | 0.02287 | 0.02222 | 0.02311 | 0.00840 | 0.02325 |
| | 90 | 0.46556 | 0.02234 | 0.02239 | 0.02258 | 0.00854 | 0.02272 |
| HDPE | 50 | 0.24507 | 0.03238 | 0.05188 | 0.03263 | 0.02694 | 0.03290 |
| | 60 | 0.33207 | 0.03131 | 0.04892 | 0.03154 | 0.02714 | 0.03181 |
| | 70 | 0.35996 | 0.03107 | 0.04793 | 0.03128 | 0.02718 | 0.03156 |
| | 80 | 0.41309 | 0.03069 | 0.04610 | 0.03089 | 0.02725 | 0.03117 |
| | 90 | 0.44630 | 0.03050 | 0.04502 | 0.03068 | 0.02728 | 0.03096 |

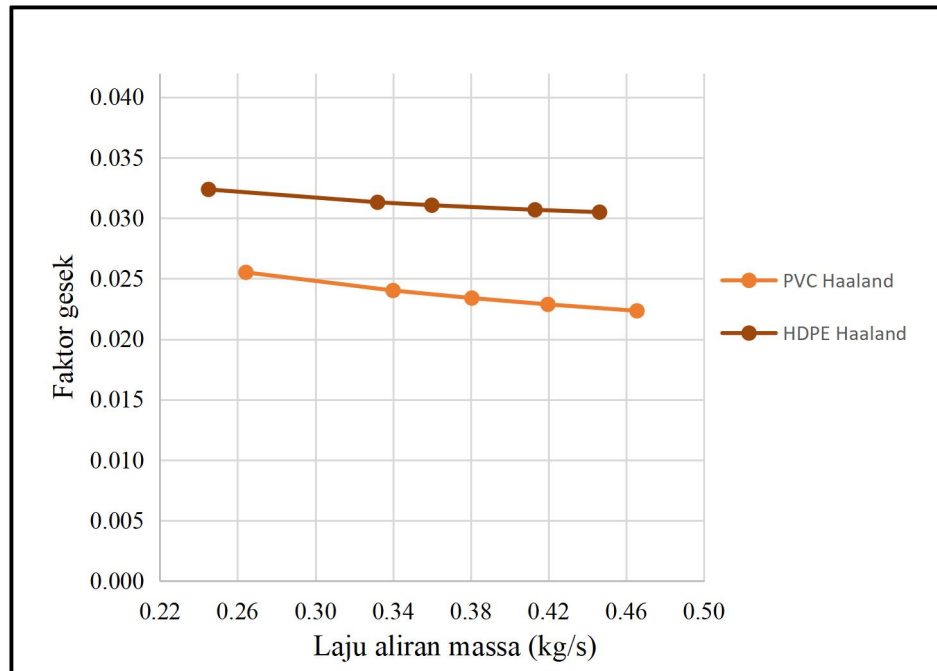
Adapun grafik hubungan antara faktor gesek (f) dan laju aliran massa (\dot{m}) yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 102.



Gambar 102 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 102 terlihat bahwa hubungan antara faktor gesek (f) dan laju aliran massa (\dot{m}) berbanding terbalik pada kedua jenis pipa pada semua metode. Garis yang paling jelas menandakan bahwa faktor gesek berbanding terbalik dengan laju aliran massa adalah pipa HDPE dengan metode Serghides, namun pada PVC metode Serghides dan pada pipa HDPE dan PVC metode Buzelli yang terjadi adalah sebaliknya nilai faktor geseknya berbanding lurus dengan laju aliran massa. Untuk garis yang lainnya tidak begitu menampakkan bahwa faktor gesek berbanding terbalik dengan laju aliran massa, dikarenakan perbedaan faktor gesek pada metode lainnya di setiap pembukaan katup memiliki selisih yang sangatlah kecil.

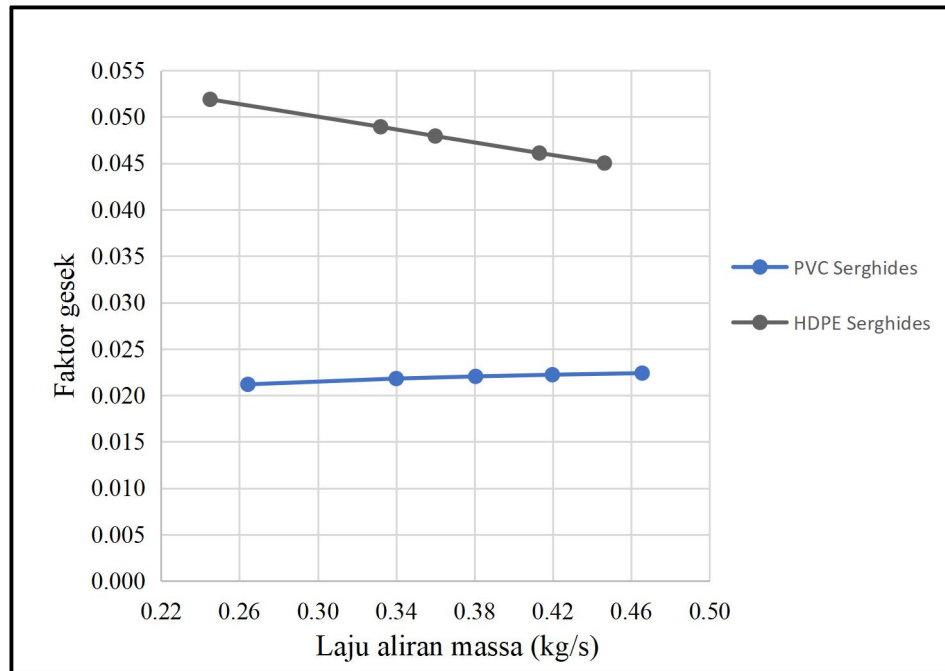
Sehingga, dapat dilihat pada gambar 102 faktor gesek terbesar ada pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Serghides yaitu 0,05188 dengan laju aliran massa sebesar 0,24507 kg/s. Sedangkan, untuk faktor gesek terkecil terdapat pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Buzelli menghasilkan nilai nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,00789 dengan laju aliran massa sebesar 0,24507 kg/s.



Gambar 103 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup pada metode Haaland

Pada gambar 103 terlihat bahwa hubungan antara faktor gesek (f) dan laju aliran massa (\dot{m}) berbanding terbalik pada kedua jenis pipa pada metode Haaland.

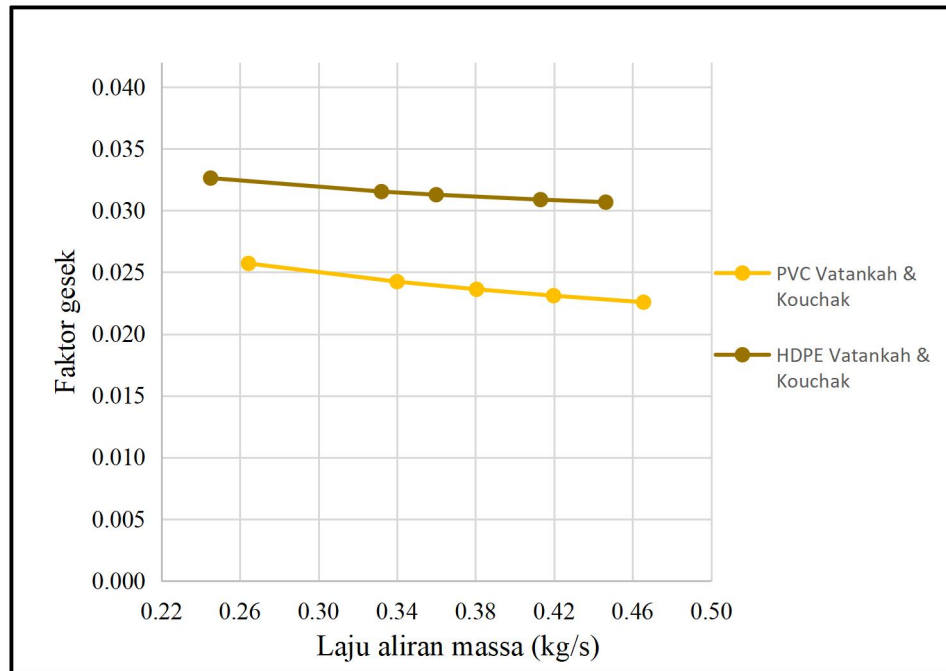
Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Haaland menghasilkan nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,02234 dengan laju aliran massa sebesar 0,46556 kg/s dan faktor gesek terbesar yaitu 0,02252 dengan laju aliran massa sebesar 0,26433 kg/s pembukaan katup 50° . Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Haaland menghasilkan nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,03050 dengan laju aliran massa sebesar 0,44630 kg/s dan faktor gesek terbesar yaitu 0,03238 dengan laju aliran massa sebesar 0,24507 kg/s pembukaan katup 50° .



Gambar 104 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup pada metode Serghides

Pada gambar 104 terlihat bahwa hubungan antara faktor gesek (f) dan laju aliran massa (\dot{m}) berbanding terbalik pada pipa HDPE dan berbanding lurus pada pipa PVC pada metode Serghides.

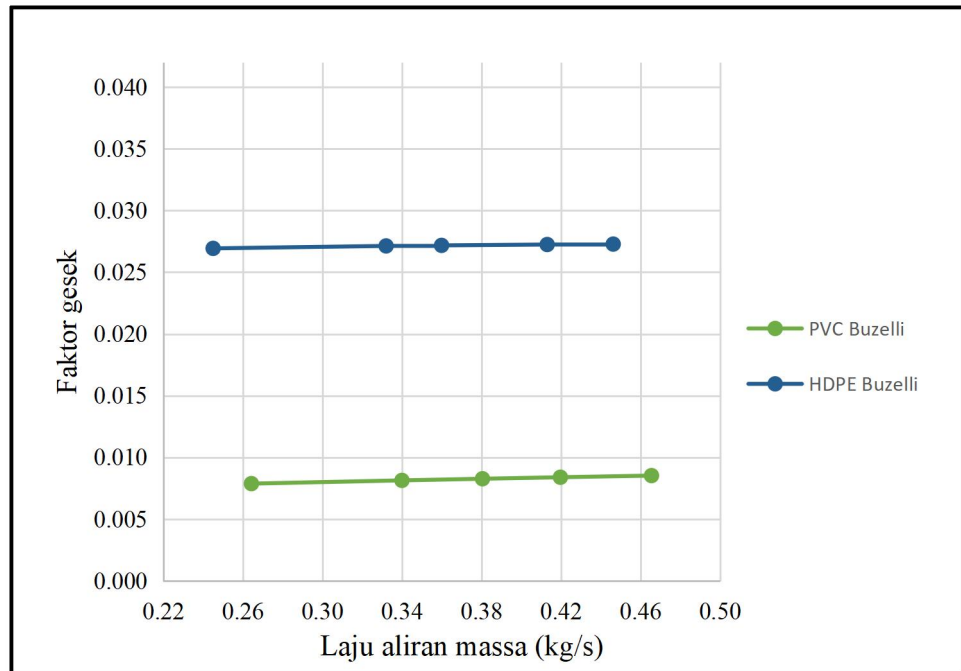
Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Serghides menghasilkan nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,02118 dengan laju aliran massa sebesar 0,26433 kg/s dan faktor gesek terbesar yaitu 0,02239 dengan laju aliran massa sebesar 0,46556 kg/s pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Serghides menghasilkan nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,04502 dengan laju aliran massa sebesar 0,44630 kg/s dan faktor gesek terbesar yaitu 0,05188 dengan laju aliran massa sebesar 0,24507 kg/s pembukaan katup 50°.



Gambar 105 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup pada metode Vatankah & Kouchak

Pada gambar 105 terlihat bahwa hubungan antara faktor gesek (f) dan laju aliran massa (\dot{m}) berbanding terbalik pada kedua jenis pipa pada metode Vatankah & Kouchak.

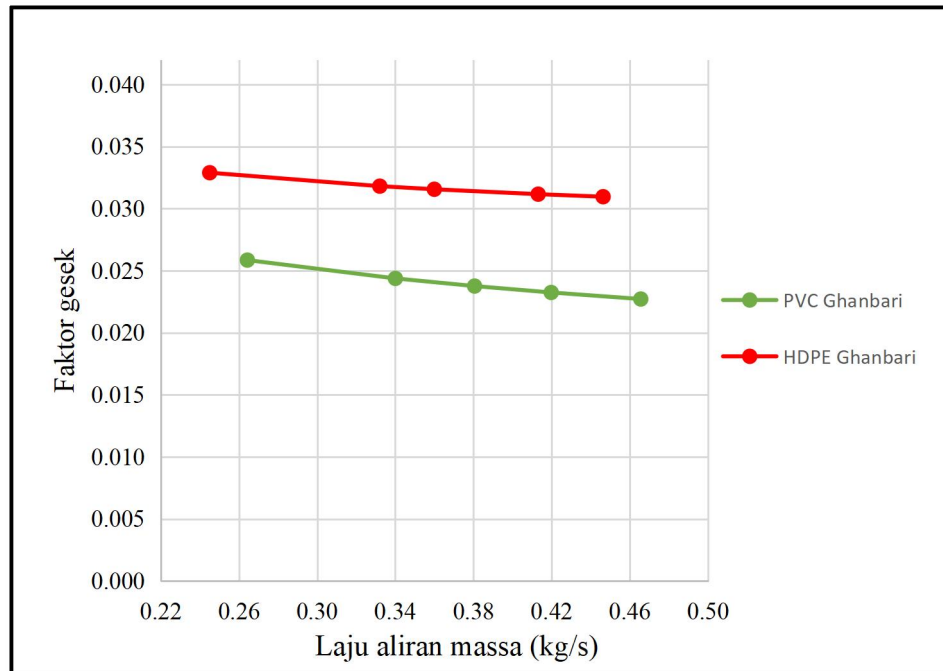
Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Vatankah & Kouchak menghasilkan nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,02258 dengan laju aliran massa sebesar 0,46556 kg/s dan faktor gesek terbesar yaitu 0,02572 dengan laju aliran massa sebesar 0,26433 kg/s pembukaan katup 50° . Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Vatankah & Kouchak menghasilkan nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,03068 dengan laju aliran massa sebesar 0,44630 kg/s dan faktor gesek terbesar yaitu 0,03263 dengan laju aliran massa sebesar 0,24507 kg/s pembukaan katup 50° .



Gambar 106 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup pada metode Buzelli

Pada gambar 106 terlihat bahwa hubungan antara faktor gesek (f) dan laju aliran massa (\dot{m}) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada metode Buzelli.

Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Buzelli menghasilkan nilai nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,00789 dengan laju aliran massa sebesar 0,26433 kg/s dan faktor gesek terbesar yaitu 0,00854 dengan laju aliran massa sebesar 0,46556 kg/s pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Buzelli menghasilkan nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,02694 dengan laju aliran massa sebesar 0,24507 kg/s dan faktor gesek terbesar yaitu 0,02728 dengan laju aliran massa sebesar 0,44630 kg/s pembukaan katup 90° .



Gambar 107 Hubungan antara faktor gesek (f) terhadap laju aliran massa (\dot{m}) pada variasi pembukaan katup pada metode Ghanbari

Pada gambar 107 terlihat bahwa hubungan antara faktor gesek (f) dan laju aliran massa (\dot{m}) berbanding terbalik pada kedua jenis pipa pada metode Ghanbari.

Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Ghanbari menghasilkan nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,02272 dengan laju aliran massa sebesar 0,46556 kg/s dan faktor gesek terbesar yaitu 0,02585 dengan laju aliran massa sebesar 0,26433 kg/s pembukaan katup 50° . Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Ghanbari menghasilkan nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,03096 dengan laju aliran massa sebesar 0,44630 kg/s dan faktor gesek terbesar yaitu 0,03290 dengan laju aliran massa sebesar 0,24507 kg/s pembukaan katup 50° .

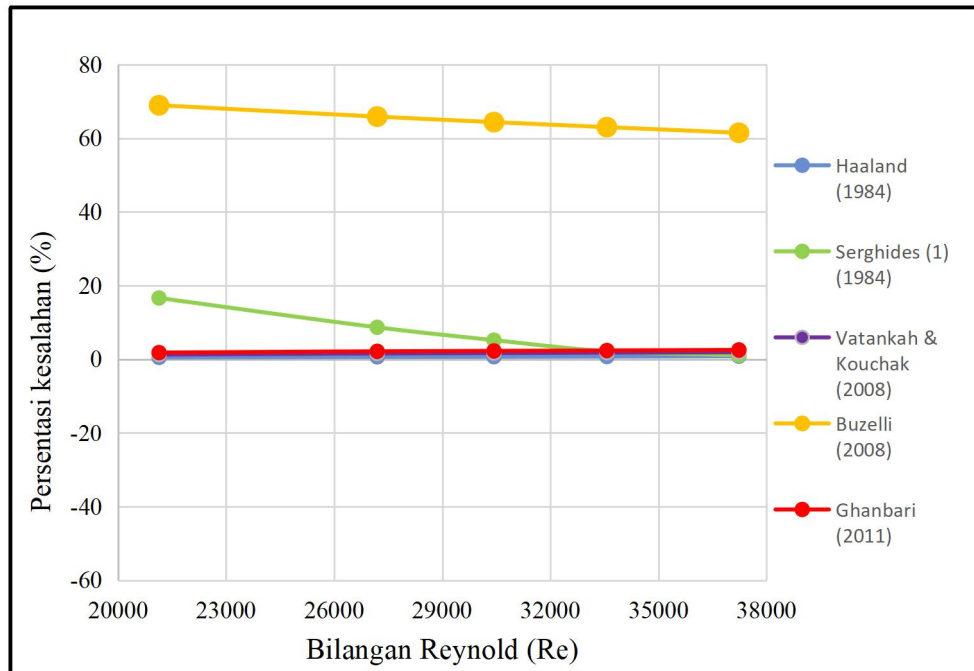
4.1.15 Perbandingan Persentasi Kesalahan (%) terhadap Bilangan Reynold (Re) pada Nilai Kekasaran Permukaan (ϵ) pada Kedua Jenis Pipa

Berikut data perbandingan persentasi kesalahan (%) terhadap bilangan Reynold (Re) pada nilai kekasaran permukaan (ϵ) pada kedua jenis pipa yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° diperlihatkan pada tabel 12.

Tabel 12 Data perbandingan persentasi kesalahan (EP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada nilai kekasaran permukaan (ϵ) di kedua jenis pipa pada variasi pembukaan katup

| Jenis pipa | PK (°) | Bilangan Reynold | Persentasi kesalahan faktor gesek (%) | | | | |
|------------|--------|------------------|---------------------------------------|-----------|---------------------|---------|----------|
| | | | Haland | Serghides | Vatankah & Kouc hak | Buzelli | Ghanbari |
| PVC | 50 | 21140 | 0.473 | 16.603 | 1.246 | 68.948 | 1.790 |
| | 60 | 27195 | 0.628 | 8.650 | 1.555 | 65.859 | 2.134 |
| | 70 | 30435 | 0.666 | 5.169 | 1.652 | 64.363 | 2.249 |
| | 80 | 33569 | 0.711 | 2.154 | 1.746 | 62.995 | 2.359 |
| | 90 | 37234 | 0.807 | 1.048 | 1.890 | 61.473 | 2.520 |
| HDPE | 50 | 19600 | 22.550 | 96.370 | 23.508 | 1.960 | 24.510 |
| | 60 | 26558 | 21.988 | 90.590 | 22.849 | 5.712 | 23.926 |
| | 70 | 28789 | 28.131 | 97.645 | 29.001 | 12.085 | 30.149 |
| | 80 | 33038 | 29.177 | 94.025 | 29.989 | 14.685 | 31.170 |
| | 90 | 35694 | 31.796 | 94.557 | 32.584 | 17.909 | 33.799 |

Adapun grafik perbandingan persentasi kesalahan (%) terhadap bilangan Reynold (Re) pada nilai kekasaran permukaan (ϵ) pada kedua pipa yang diperoleh dari perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa jenis PVC dan HDPE dengan menggunakan *elbow* 90° dapat dilihat pada gambar 108 dan 109.



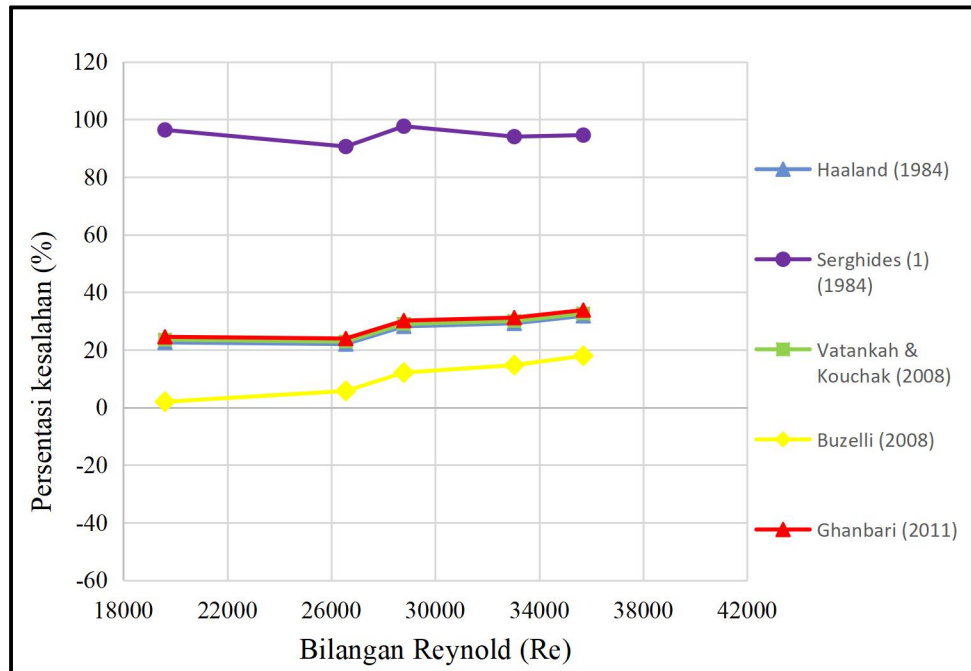
Gambar 108 Perbandingan persentasi kesalahan (EP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada nilai kekasaran permukaan (ϵ) di pipa PVC pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 108 terlihat bahwa perbandingan persentasi kesalahan (EP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada nilai kekasaran permukaan (ϵ) di pipa PVC terdapat beberapa garis yang saling berbeda. Dimana pada metode Haaland, Vatankah & Kouchak, dan Ghanbari garis yang dilihat menunjukkan bahwa semakin besar bilangan Reynoldnya maka semakin besar pula persentasi kesalahannya dan hanya memiliki selisih persentasi kesalahan yang sangat kecil pada tiap pembukaan katup. Sedangkan untuk metode Serghides dan Buzelli menunjukkan sebaliknya dan selisihnya terbilang lumayan besar tiap pembukaan katup terkhususnya pada metode Serghides.

Dapat dilihat Pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Haaland menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 0,47340% dengan bilangan Reynold sebesar 21140 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 0,71156% dengan bilangan Reynold sebesar 37234 pada pembukaan katup 90° . Pada pipa PVC pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Serghides menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 1,04876% dengan bilangan

Reynold sebesar 37234 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 16,60358% bilangan Reynold sebesar 21140 pembukaan katup 50°. Pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Vatankah & Kouchak menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 1,24623% dengan bilangan Reynold sebesar 21140 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 1,89011% dengan bilangan Reynold sebesar 37234 pada pembukaan katup 90°. Pada pipa PVC pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Buzelli menghasilkan nilai nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 61,47398% dengan bilangan Reynold sebesar 37234 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 68,94875% dengan bilangan Reynold sebesar 21140 pada pembukaan katup 50°. Pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Ghanbari menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 1,79012% dengan bilangan Reynold sebesar 21140 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 2,52074% dengan bilangan Reynold sebesar 37234 pada pembukaan katup 90°.

Sehingga, dapat kita lihat pada gambar 108, bahwa diantara semua metode yang memiliki persentasi kesalahan terbesar berada di metode Buzelli pada pembukaan katup 50° dengan nilai sebesar 68,94875% dengan bilangan Reynold sebesar 21140. Sedangkan, untuk persentasi kesalahan terkecil ada pada metode Haaland pada pembukaan katup 50° dengan nilai 0,47340% dengan bilangan Reynold 21140.



Gambar 109 Perbandingan persentasi kesalahan (EP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada nilai kekasaran permukaan (ϵ) di pipa HDPE pada variasi pembukaan katup

Pada gambar 109 terlihat bahwa perbandingan persentasi kesalahan (EP) terhadap bilangan Reynold (Re) pada nilai kekasaran permukaan (ϵ) di pipa HDPE terdapat beberapa garis yang saling berbeda. Dimana pada metode Haaland, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari garis yang dilihat menunjukkan bahwa semakin besar bilangan Reynoldnya maka semakin besar pula persentasi kesalahannya dan hanya memiliki selisih persentasi kesalahan yang lumayan besar pada tiap pembukaan katup. Sedangkan untuk metode Serghides menunjukkan garis yang tidak konstan terjadi penurunan di pembukaan katup 50° ke 60° namun pada katup 60° hingga ke katup 70° mengalami kenaikan persentasi kesalahan kemudian kembali mengalami penurunan di pembukaan katup 80° .

Dapat dilihat Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 60° metode perhitungan Haaland menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 21,98832 % dengan bilangan Reynold sebesar 26558 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 31,79617% dengan bilangan Reynold sebesar 35694 pada pembukaan katup 90° . Pada pipa HDPE

pada pembukaan katup 60° metode perhitungan Serghides menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 90,59080 % dengan bilangan Reynold sebesar 26558 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 97,64533 % bilangan Reynold sebesar 28789 pembukaan katup 70°. Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 60° metode perhitungan Vatankah & Kouchak menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 22,84923 % dengan bilangan Reynold sebesar 26558 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 32,58428 % dengan bilangan Reynold sebesar 35694 pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Buzelli menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 1,96091 % dengan bilangan Reynold sebesar 19600 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 17,90957 % dengan bilangan Reynold sebesar 35694 pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 60° metode perhitungan Ghanbari menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 23,92614 % dengan bilangan Reynold sebesar 26558 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 33,79925 % dengan bilangan Reynold sebesar 35694 pada pembukaan katup 90°.

Sehingga, dapat kita lihat pada gambar 109, bahwa diantara semua metode yang memiliki persentasi kesalahan terbesar berada di metode Serghides pada pembukaan katup 70° dengan nilai sebesar 97,64533 % dengan bilangan Reynold sebesar 28789. Sedangkan, untuk persentasi kesalahan terkecil ada pada metode Buzelli pada pembukaan katup 50° dengan nilai 1,96091 % dengan bilangan Reynold 19600.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Perubahan Tekanan (ΔP)

Pada tabel 1 dan gambar 56, 57, 58, dan 59 dapat kita lihat bahwa bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada ketiga belokan pada pipa jenis PVC dan HDPE. Pada pipa PVC dapat kita lihat bahwa debit dan perubahan tekanan yang terkecil ada pada pembukaan katup 50° dengan sebesar $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan pada belokan 1 perbedaan tekanan yang di hasilkan adalah $873,33589 \text{ Pa}$ dan untuk debit dan perubahan tekanan yang terbesar ada pada pembukaan katup 90° dengan debit sebesar $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ dan tekanan yang dihasilkan adalah $3079,65813 \text{ Pa}$ pada belokan 1. Sedangkan, pada pipa HDPE debit terkecil yang dihasilkan ada pada pembukaan katup 50° yaitu senilai $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dan perubahan tekanan terkecilnya berada di belokan 1 yaitu $919,30093 \text{ Pa}$ dan debit dan perubahan tekanan terbesar dihasilkan di pembukaan katup 90° dengan nilai $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan tekanan sebesar $2849,832289 \text{ Pa}$ pada belokan 3.

Dapat kita lihat, bahwa hubungan antara debit (Q) dan perubahan tekanan (ΔP) yang dihasilkan saling berhubungan satu sama lain dimana ketika debitnya semakin besar maka perubahan tekanan yang dihasilkan akan semakin besar. Pada pipa HDPE memiliki nilai perubahan tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan pipa PVC hal ini dipengaruhi karena kekasaran pada permukaan pipa HDPE lebih besar daripada pipa PVC sehingga perubahan tekanan yang dihasilkan akan semakin besar pula. Dapat kita tinjau dari lampiran 7 nilai kekasaran permukaan dari pipa HDPE lebih besar dibandingkan pipa PVC .

4.2.2 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap *Mayor Losses* (h_f) pada Metode Darcy-Weisbach dan Metode Hazen-Williams

Pada tabel 2 dan gambar 60, dapat kita temukan bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan *major losses* (h_f) berbanding lurus pada kedua jenis pipa dari kedua metode perhitungan *major losses*. Dapat kita lihat pada pipa PVC, di pembukaan katup 50° sebagai debit terkecil dengan nilai debit 0,00027 m³/s didapatkan nilai *major losses* terkecil pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams dengan nilai 0,38048 m dan 0,13654 m. Sedangkan untuk pembukaan katup 90° sebagai debit terbesar dengan nilai debit 0,00047 m³/s dihasilkan nilai *major losses* terbesar pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams dengan nilai 1,09587 m dan 0,42356 m. Untuk pada pipa HDPE, di pembukaan katup 50° sebagai debit terkecil dengan nilai debit 0,00027 m³/s ditemukan nilai *major losses* terkecil pula pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams dengan nilai 0,54443 m dan 0,13461 m. Sedangkan untuk pembukaan katup 90° sebagai debit terbesar dengan nilai debit 0,00047 m³/s dihasilkan pula nilai *major losses* terbesar pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams dengan nilai 1,68017 m dan 0,44644 m.

Hal ini, disebabkan karena nilai debit suatu aliran sangat mempengaruhi nilai *major losses* suatu aliran dalam instalasi perpipaan. Dimana debit suatu aliran berbanding lurus dengan *major losses*, dapat ditinjau pada persamaan (1) untuk metode Hazen-Williams yang menyatakan bahwa nilai debit semakin besar maka nilai *major losses* semakin besar pula dan pada persamaan (2) pada metode Darcy-Weisbach menyatakan bahwa nilai kecepatan aliran semakin besar maka nilai *major losses* akan semakin besar juga. Seperti yang diketahui, pada persamaan (16) dinyatakan bahwa debit aliran berbanding lurus dengan kecepatan aliran. Selain itu, dapat kita tinjau dari lampiran 7 nilai kekasaran permukaan dari pipa HDPE lebih besar dibandingkan pipa PVC yang dimana nilai kekasaran permukaan itu dapat mempengaruhi besar nya faktor gesek yang dapat kita tinjau dari

persamaan 10, 11, 12, 13, 14, dan 15 yang menyatakan nilai kekasaran permukaan itu berbanding lurus dengan nilai faktor gesek sehingga mempengaruhi besarnya nilai *major losses* pada persamaan (2) pada metode Darcy-Weisbach, sedangkan untuk persamaan (1) pada metode Hazen-Williams terdapat C (koefisien Hazen-Williams) yang digunakan sebagai nilai kekasaran permukaan namun apabila nilai C semakin kecil maka semakin besar nilai kekasaran permukaannya, dapat kita tinjau dari lampiran 6 nilai C dari pipa HDPE lebih kecil daripada nilai PVC sehingga pipa HDPE memiliki nilai kekasaran permukaan yang lebih besar sehingga nilai *major losses*-nya pun lebih besar daripada pipa PVC.

Adapun penyebab mengapa nilai *major losses* dari metode Darcy-Weisbach lebih besar daripada metode Hazen-Williams dikarenakan pada metode Darcy-Weisbach memiliki banyak faktor yang diperhitungkan seperti dalam faktor gesek terdapat nilai kekasaran permukaan dan bilangan Reynold dan lain-lain. Selain itu, metode Hazen-Williams digunakan pada instalasi pipa yang memiliki panjang lebih dari 1000 m, sehingga banyak faktor yang diabaikan pada instalasi perpipaan yang pendek.

4.2.3 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Total Head Losses ($h_{l,total}$)

Pada tabel 3 dan gambar 61 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan total *head losses* ($h_{l,total}$) berbanding lurus pada kedua jenis pipa dari setiap metode perhitungan *head losses*. Pada pipa PVC metode Darcy-Weisbach dapat kita lihat pada pembukaan katup 90° dengan debit 0,00047 m³/s dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terbesar yaitu 1,09587 m dan 0,33267 m sehingga menghasilkan total *head losses* terbesar pula dengan nilai 1,42854 m. Sedangkan pada pembukaan katup 50° dengan debit 0,00027 m³/s dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terkecil yaitu 0,38048 m dan 0,10724 m sehingga menghasilkan total *head losses* terkecil pula dengan nilai

0,48771 m. Pada pipa PVC metode Hazen-Williams dapat kita lihat pada pembukaan katup 90° dengan debit $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terbesar yaitu 0,42356 m dan 0,33267 m sehingga menghasilkan total *head losses* terbesar pula dengan nilai 0,75623 m. Sedangkan pada pembukaan katup 50° dengan debit $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terkecil yaitu 0,13654 m dan 0,10724 m sehingga menghasilkan total *head losses* terkecil pula dengan nilai 0,24377 m. Untuk pipa HDPE metode Darcy-Weisbach dapat kita lihat pada pembukaan katup 90° dengan debit $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terbesar yaitu 1,68017 m dan 0,30571 m sehingga menghasilkan total *head losses* terbesar pula dengan nilai 1,98588 m. Sedangkan pada pembukaan katup 50° dengan debit $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terkecil yaitu 0,54443 m dan 0,09218 m sehingga menghasilkan total *head losses* terkecil pula dengan nilai 0,63661 m. Pada pipa HDPE metode Hazen-Williams dapat kita lihat pada pembukaan katup 90° dengan debit $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terbesar yaitu 0,44644 m dan 0,30571 m sehingga menghasilkan total *head losses* terbesar pula dengan nilai 0,75215 m. Sedangkan pada pembukaan katup 50° dengan debit $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terkecil yaitu 0,13461 m dan 0,009218 m sehingga menghasilkan total *head losses* terkecil pula dengan nilai 0,22679 m.

Hal ini, dapat kita tinjau pada persamaan (1) dimana pada metode Hazen-Williams debit berbanding lurus dengan *major losses* yang akan dihasilkan dan pada metode Darcy-Weisbach di persamaan (2) dapat kita lihat bahwa kecepatan berbanding lurus dengan *major losses* yang akan dihasilkan, sedangkan kecepatan berbanding lurus dengan debit yang dihasilkan dapat kita tinjau pada persamaan (16). Begitupula dengan *minor losses* dapat kita tinjau pada persamaan (3) dimana kecepatan berbanding lurus dengan *minor losses* yang akan dihasilkan. Selain itu, kekasaran permukaan juga sangat mempengaruhi besarnya

major losses sehingga total *head losses* yang dihasilkan juga terpengaruh, dapat kita lihat pipa HDPE memiliki kekasaran permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan pipa PVC. Sehingga, *major losses* yang dihasilkan pada pipa HDPE lebih besar dibandingkan pipa PVC, selisih kerugian aliran yang dihasilkan juga cukup besar hal ini dikarenakan selisih kekasaran permukaan pipa PVC dan HDPE juga lumayan besar. Jadi *major losses* yang dihasilkan suatu pipa sangat bergantung pada kekasaran permukaan pipa.

4.2.4 Hubungan antara Debit Aliran (Q) terhadap Tekanan pada Tiap Titik (P)

Pada tabel 4 dan gambar 62, 63, 64, 65, 66, 67, dan 68 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada tiap titik tekanannya. Pada pipa PVC di pembukaan katup 90° dengan debit 0,00047 m³/s sebagai debit terbesar menghasilkan tekanan yang terbesar pula pada tekanan di titik 1 sebesar 31669,92 Pa dan pada pipa HDPE di pembukaan katup 90° dengan debit terbesar 0,00047 m³/s menghasilkan tekanan yang terbesar pula pada tekanan di titik 1 sebesar 30245,00 Pa. Pada pipa PVC di pembukaan katup 50° dengan debit 0,00027 m³/s sebagai debit terkecil menghasilkan tekanan yang terkecil pula pada tekanan di titik 6 sebesar 14387,06 Pa dan pada pipa HDPE di pembukaan katup 50° dengan debit terkecil 0,00027 m³/s menghasilkan tekanan yang terkecil pula pada tekanan di titik 6 sebesar 12732,32 Pa.

Hal ini, membuktikan bahwa semakin besar debit yang dihasilkan maka semakin besar pula tekanan yang dihasilkan. Pada kedua jenis pipa, berlaku hal yang sama pula, namun letak perbedaannya berada di tekanan yang dihasilkan pada kedua pipa. Dimana dapat kita lihat pada tekanan di titik 6 PVC menghasilkan tekanan lebih besar dibandingkan dengan tekanan di titik 6 HDPE. Hal ini, disebabkan karena kekasaran permukaan dari pipa PVC lebih kecil dibandingkan dengan pipa HDPE.

Semakin kasar permukaan suatu pipa maka tekanan yang dihasilkan akan semakin kecil.

4.2.5 Hubungan antara Perubahan Tekanan (ΔP) dan Bilangan Reynold (Re)

Pada tabel 5 dan gambar 69, 70, 71, dan 72 dapat kita lihat bahwa bahwa hubungan antara perubahan tekanan (ΔP) terhadap bilangan Reynold (Re) berbanding lurus pada ketiga belokan pada pipa jenis PVC dan HDPE. Pada pipa PVC dapat kita lihat bahwa bilangan Reynold dan perubahan tekanan yang terkecil ada pada pembukaan katup 50° dengan sebesar 21140 dan pada belokan 1 perbedaan tekanan yang di hasilkan adalah 873,33589 Pa dan untuk bilangan Reynold dan perubahan tekanan yang terbesar ada pada pembukaan katup 90° dengan bilangan Reynold sebesar 37234 dan tekanan yang dihasilkan adalah 3079,65813 Pa pada belokan 1. Sedangkan, pada pipa HDPE bilangan Reynold terkecil yang dihasilkan ada pada pembukaan katup 50° yaitu senilai 19600 dan perubahan tekanan terkecilnya berada di belokan 1 yaitu 919,30093 Pa dan bilangan Reynold dan perubahan tekanan terbesar dihasilkan di pembukaan katup 90° dengan nilai 35694 dengan tekanan sebesar 2849,83289 Pa pada belokan 3.

Hal ini, dapat kita lihat pada persamaan (9) dimana bilangan Reynold berbanding lurus dengan kecepatan aliran sedangkan kecepatan aliran berbanding lurus dengan debit aliran. Dimana pada hubungan sebelumnya yaitu pada hubungan antara debit dan perubahan tekanan berbanding lurus, sehingga dapat kita simpulkan bahwa bilangan Reynold berbanding lurus dengan perubahan tekanan yang dihasilkan. Selain itu, hal ini juga sudah terbukti dari data yang ditemukan pada tabel 5. Selain itu, nilai kekasaran permukaan dari pipa HDPE lebih besar dibandingkan pipa PVC sehingga nilai perubahan tekanan yang dihasilkan akan lebih besar karena kekasaran permukaan dapat mempengaruhi hilangnya energi atau tekanan pada suatu instalasi perpipaan.

4.2.6 Perbandingan Metode Perhitungan *Mayor Losses* dengan Menghubungkan pada Kecepatan Aliran (V)

Pada tabel 6 dan gambar 73, 74, 75, 76, 77, 78, dan 79 terlihat bahwa perbandingan metode perhitungan *major losses* dengan menghubungkan pada kecepatan aliran berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada seluruh metode perhitungan. Pada pipa PVC di pembukaan katup 90° dengan kecepatan aliran 1,64911 m/s pada metode Ghanbari dihasilkan *major losses* terbesar dengan nilai 1,26294 m dan pada pipa PVC di pembukaan katup 50° dengan kecepatan aliran 0,93630 m/s pada metode Hazen-Williams dihasilkan *major losses* terkecil dengan nilai 0,13654 m. Untuk pipa HDPE pada pembukaan katup 90° dengan kecepatan aliran sebesar 1,58089 m/s pada metode Serghides dihasilkan *major losses* terbesar dengan nilai 2,29994 m dan pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° dengan kecepatan aliran 0,86808 m/s dan metode Hazen-Williams dihasilkan *major losses* terkecil dengan nilai 0,13461 m.

Pada metode Haaland, Buzelli, Vatankah & Kouchak, dan Ghanbari merupakan empat persamaan yang memiliki nilai selisih yang kecil, namun untuk metode Serghides nilai yang ditemukan memiliki selisih yang cukup besar untuk pipa HDPE, dimana pada metode ini *major losses* yang ditemukan merupakan *major losses* yang memiliki nilai terbesar diantara ke empat metode ini. Nilai yang ditemukan dari ke empat persamaan tersebut hampir sama kecuali metode Serghides. Pada metode Hazen-Williams dan Buzelli merupakan kedua persamaan yang memiliki *major losses* paling kecil dan selisih *major losses* di antara kedua persamaan ini memiliki nilai yang sangat kecil.

Kecepatan aliran sangat mempengaruhi besarnya *major losses*, hal ini dapat kita tinjau di persamaan (2) yang menyatakan bahwa jumlah kecepatan aliran berbanding lurus dengan jumlah *major losses* hal ini berlaku untuk semua metode persamaan. Untuk metode Hazen-Williams memiliki persamaan yang berbeda yaitu pada persamaan (1) namun kecepatan aliran tetap saja berbanding lurus dengan *major*

losses pada persamaan tersebut, hal ini disebabkan karena pada persamaan (1) menyatakan bahwa debit aliran berbanding lurus dengan kecepatan aliran yang dapat kita lihat pada persamaan (16), sehingga dapat kita simpulkan bahwa kecepatan aliran juga berbanding lurus dengan *major losses* pada metode Hazen-Williams.

Dapat kita temui, bahwa nilai *major losses* pada pipa PVC cenderung lebih kecil dibandingkan pada pipa HDPE hal ini disebabkan karena nilai kekasaran permukaan pada pipa PVC yang lebih kecil dibandingkan dengan pipa HDPE.

4.2.7 Hubungan antara Minor Losses ($h_{l,minor}$) terhadap Tekanan pada Tiap Titik (P)

Dapat kita lihat data pada tabel 7 dan gambar 80, 81, 82, 83, 84, 85, dan 86 ditemukan bahwa hubungan antara *minor losses* ($h_{l,minor}$) dan tekanan pada tiap titik (P) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada tiap titik tekanannya. Pada pipa PVC di pembukaan katup 90° dihasilkan *minor losses* terbesar dengan nilai sebesar 0,33267 m dan dihasilkan tekanan yang terbesar pula dengan nilai 31669,92 Pa pada tekanan di titik 1. Sedangkan pada pembukaan katup 50° dihasilkan *minor losses* terkecil dengan nilai 0,10724 m dan dihasilkan tekanan yang terkecil pula dengan nilai 14387,06 Pa pada tekanan di titik 6. Untuk pipa HDPE di pembukaan katup 90° dihasilkan *minor losses* terbesar dengan nilai sebesar 0,30571 m dan dihasilkan tekanan yang terbesar pula dengan nilai 30245,00 Pa pada tekanan di titik 1. Sedangkan pada pembukaan katup 50° dihasilkan *minor losses* terkecil dengan nilai 0,09218 m dan dihasilkan tekanan yang terkecil pula dengan nilai 12732,32 Pa pada tekanan di titik 6.

Dari data yang ditemukan, dapat kita nyatakan bahwa *minor losses* berbanding lurus dengan tekanan yang dihasilkan pada tiap titik, hal ini dapat ditinjau pada persamaan (3) yang menyatakan bahwa nilai *minor losses* berbanding lurus dengan kecepatan aliran dan pada persamaan (16) dinyatakan bahwa kecepatan aliran berbanding lurus

dengan debit hal ini sudah dinyatakan pada sebelumnya pada bagian 4.2.4 bahwa debit aliran berbanding lurus dengan tekanan yang dihasilkan pada tiap titik. Selain itu, hal ini juga sudah terbukti pada data yang ditemukan.

Kekasaran permukaan dari pipa HDPE lebih besar dibandingkan pada pipa PVC, namun hal ini tidak mempengaruhi nilai dari *minor losses*. Nilai suatu *minor losses* pada sistem perpipaan hanyalah dipengaruhi pada jumlah sambungan (*fittings*) yang digunakan dan jenis sambungan yang digunakan pada sistem perpipaan, melainkan hal yang sangat mempengaruhi nilai *minor losses* adalah kecepatan dan nilai koefisien dari jenis sambungan dan jumlah sambungan yang digunakan. Berbeda pada tekanan yang dihasilkan, hal ini sangat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan. Apabila permukaan semakin kasar maka tekanan yang dihasilkan akan semakin kecil. Dapat ditinjau pada data tabel 7 pada tekanan di titik 6 pada pembukaan katup 50° pipa PVC dan HDPE mendapatkan nilai tekanan sebesar 14387,06 Pa dan 12732,32 Pa, nilai tekanan dari pipa HDPE lebih kecil dibandingkan pipa PVC, hal ini disebabkan karena permukaan pipa HDPE lebih kasar dari pipa PVC. Selain itu, tekanan di titik 6 diambil sebagai tinjauan karena merupakan titik tekanan dimana fluida mengalir paling jauh dari tekanan lainnya sehingga selisih yang ditemukan diantara kedua pipa lebih jelas karena pengaruh tegangan geser.

4.2.8 Hubungan antara Faktor Gesek (f) terhadap Bilangan Reynold (Re)

Pada tabel 8 dan gambar 87 kita menemukan data dimana hubungan antara faktor gesek (f) dan bilangan Reynold (Re) berbanding terbalik pada kedua jenis pipa. Dapat dilihat pada pipa PVC pada pembukaan katup 90° memiliki nilai faktor gesek terkecil sebesar 0,01971 pada bilangan Reynold 37234 dan pada pipa HDPE memiliki faktor gesek terbesar yaitu 0,03534 pada bilangan Reynold 19600 pada pembukaan katup 50°.

Bilangan Reynold sangat mempengaruhi jumlah dari faktor gesek, dapat kita tinjau dari persamaan 10, 11, 12, 13, 14, dan 15 dinyatakan bahwa nilai bilangan Reynold semakin kecil maka semakin besar jumlah dari faktor gesek. Pada pipa HDPE memiliki nilai faktor gesek lebih besar dikarenakan kekasaran permukaannya yang lebih besar sehingga nilai faktor geseknya lebih besar pula.

4.2.9 Hubungan antara *Mayor Losses* (h_f) pada Metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach terhadap Perubahan Tekanan (ΔP)

Dapat kita lihat pada tabel 9 dan gambar 88, 89, 90, 91, 92, 93, dan 94 ditemukan bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada kedua metode perhitungan. Pada pipa PVC di pembukaan katup 90° ditemukan perubahan tekanan terbesar pada belokan 1 dengan nilai tekanan sebesar 3079,65813 Pa dengan *major losses* terbesar pada metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach sebesar 0,42356 m dan 1,09587 m. Sedangkan di pembukaan katup 50° perubahan tekanan terkecil ada pada belokan 1 dengan nilai tekanan sebesar 873,33589 Pa dan *major losses* terkecil pada metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach sebesar 0,13654 m dan 0,38048 m. Untuk pipa HDPE di pembukaan katup 90° ditemukan perubahan tekanan terbesar pada belokan 3 dengan nilai tekanan sebesar 2849,83289 Pa dengan *major losses* terbesar pada metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach sebesar 0,44644 m dan 1,68017 m. Sedangkan di pembukaan katup 50° perubahan tekanan terkecil ada pada belokan 1 dengan nilai tekanan sebesar 919,30093 Pa dan *major losses* terkecil pada metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach sebesar 0,13461 m dan 0,54443 m.

Mayor losses yang ditemukan juga mempengaruhi perubahan tekanan dikarenakan pada persamaan (1) pada metode Hazen-Williams menyatakan bahwa debit berbanding lurus dengan *major losses* yang dihasilkan pada bagian 4.2.2 telah dinyatakan bahwa debit berbanding

lurus dengan perubahan tekanan yang dihasilkan dan untuk metode Darcy-Weisbach dapat kita lihat pada persamaan (2) yang menyatakan bahwa kecepatan aliran berbanding lurus dengan *major losses* yang dihasilkan dan pada persamaan (16) menyatakan bahwa kecepatan aliran berbanding lurus dengan debit yang dihasilkan. Sehingga hal ini, sudah sesuai dengan data-data yang ditemukan.

Dapat kita temukan pada pipa HDPE memiliki *major losses* dan perubahan tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan pipa PVC hal ini disebabkan lagi karena permukaan dari pipa HDPE lebih kasar dibanding pipa PVC hal ini juga sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya.

4.2.10 Hubungan antara *Major Losses* (h_f) pada Setiap Metode Perhitungan terhadap Perubahan Tekanan (ΔP)

Pada tabel 10 dan gambar 95, 96, 97, 98, 99, 100, dan 101 terlihat bahwa hubungan antara *major losses* (h_f) dan perubahan tekanan (ΔP) berbanding lurus pada kedua jenis pipa pada setiap metode perhitungan *major losses*. Pada pipa PVC di pembukaan katup 90° ditemukan perubahan tekanan terbesar pada belokan 1 dengan nilai tekanan sebesar 3079,65813 Pa dengan *major losses* terbesar berturut-turut pada metode Hazen-Williams, Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari sebesar 0,42356 m, 1,24183 m, 1,24481 m, 1,25517 m, 0,47460 m, dan 1,26294 m. Sedangkan di pembukaan katup 50° perubahan tekanan terkecil ada pada belokan 1 dengan nilai tekanan sebesar 873,33589 Pa dan *major losses* terkecil pada berturut-turut metode Hazen-Williams, Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari sebesar 0,13654 m, 0,45732 m, 0,37959 m, 0,46083 m, 0,14133 m, dan 0,46331 m. Untuk pipa HDPE di pembukaan katup 90° ditemukan perubahan tekanan terbesar pada belokan 3 dengan nilai tekanan sebesar 2849,83289 Pa dengan *major losses* terbesar berturut-turut pada metode Hazen-Williams, Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan

Ghanbari sebesar 0,44644 m, 1,55801 m, 2,29994 m, 1,56733 m, 1,39385 m, dan 1,58169 m. Sedangkan di pembukaan katup 50° perubahan tekanan terkecil ada pada belokan 1 dengan nilai tekanan sebesar 919,30093 Pa dan *major losses* terkecil berturut-turut pada metode Hazen-Williams, Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari sebesar 0,13461 m, 0,49873 m, 0,79915 m, 0,50263 m, 0,41494 m, dan 0,50671 m.

Major losses yang ditemukan juga mempengaruhi perubahan tekanan dikarenakan pada persamaan (1) pada metode Hazen-Williams menyatakan bahwa debit berbanding lurus dengan *major losses* yang dihasilkan pada bagian 4.2.2 telah dinyatakan bahwa debit berbanding lurus dengan perubahan tekanan yang dihasilkan dan untuk metode Darcy-Weisbach dapat kita lihat pada persamaan (2) yang menyatakan bahwa kecepatan aliran berbanding lurus dengan *major losses* yang dihasilkan dan pada persamaan (16) menyatakan bahwa kecepatan aliran berbanding lurus dengan debit yang dihasilkan. Sehingga hal ini, sudah sesuai dengan data-data yang ditemukan.

Selain itu, pada metode Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, dan Ghanbari ditemukan selisih nilai *major losses* yang kecil pada jenis pipa PVC. Pada metode Ghanbari yang memiliki *major losses* yang terbesar dan metode Hazen-William memiliki nilai *major losses* terkecil. Pada metode Hazen-Williams dan Buzelli memiliki nilai selisih *major losses* kecil pada pipa PVC dan metode Buzelli memiliki nilai *major losses* lebih besar daripada Hazen-Williams. Selain itu, pada metode Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli dan Ghanbari ditemukan selisih nilai *major losses* yang kecil pada jenis pipa HDPE dan pada metode Serghides yang memiliki *major losses* yang terbesar dan metode Hazen-William memiliki nilai *major losses* terkecil. Pada metode Hazen-Williams memiliki nilai selisih *major losses* kecil pada pipa HDPE dan metode Buzelli memiliki nilai *major losses* lebih besar daripada Hazen-Williams. Di antara semua metode, metode Ghanbari memiliki nilai *major losses* paling besar dan metode

Hazen-Williams memiliki nilai *major losses* terkecil untuk pipa jenis PVC. Dan metode Serghides memiliki nilai *major losses* paling besar dan metode Hazen-Williams memiliki nilai *major losses* terkecil untuk pipa jenis HDPE.

4.2.11 Hubungan antara Faktor Gesek (f) terhadap Laju Aliran Massa (\dot{m})

Pada tabel 11 dan gambar 102, 103, 104, 105, 106, dan 107 ditemukan bahwa antara faktor gesek (f) dan laju aliran massa (\dot{m}) berbanding terbalik pada kedua jenis pipa pada metode Haaland, Vatankah & Kouchak, dan Ghanbari sedangkan pada metode Serghides dan Buzelli menyatakan sebaliknya. Pada pipa PVC di pembukaan katup 90° ditemukan laju aliran massa terbesar yang bernilai 0,46556 kg/s dan nilai faktor gesek berturut-turut pada metode Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari sebesar 0,02234; 0,02239; 0,02258; 0,00854; dan 0,02272. Sedangkan untuk pembukaan katup 50° ditemukan laju aliran massa 0,26433 kg/s dan nilai faktor gesek berturut-turut pada metode Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari sebesar 0,02552; 0,02118; 0,02572; 0,00789; dan 0,02585. Untuk pipa HDPE di pembukaan katup 90° ditemukan laju aliran massa terbesar yang bernilai 0,44630 kg/s dan nilai faktor gesek berturut-turut pada metode Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari sebesar 0,03050; 0,04502; 0,03068; 0,02728; dan 0,03096. Sedangkan untuk pembukaan katup 50° ditemukan laju aliran massa 0,24507 kg/s dan nilai faktor gesek berturut-turut pada metode Haaland, Serghides, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari sebesar 0,03238; 0,05188; 0,03263; 0,02694; dan 0,03290.

Dapat kita temukan bahwa pada metode Haaland, Vatankah & Kouchak, dan Ghanbari menyatakan bahwa faktor gesek berbanding terbalik dengan laju aliran massa, hal ini sesuai dengan pada persamaan mereka di persamaan 11, 13, dan 15. Laju aliran massa berbanding

lurus dengan dengan debit dapat ditinjau dari persamaan (8) dan debit aliran berbanding lurus dengan kecepatan aliran pada persamaan (16) dan kecepatan aliran berbanding lurus dengan bilangan Reynold pada persamaan (9). Dan seperti kita ketahui pada bagian 4.2.8 telah dijelaskan bahwa bilangan Reynold itu berbanding terbalik dengan nilai faktor gesek.

Dan untuk nilai faktor gesek pada pipa HDPE lebih besar dibandingkan dengan nilai PVC, kembali lagi pada bagian 4.2.8 hal ini disebabkan karena kekasaran permukaan HDPE lebih besar dibandingkan pipa PVC.

4.2.12 Perbandingan Persentasi Kesalahan (%) terhadap Bilangan Reynold (Re) pada Nilai Kekasaran Permukaan (ϵ) pada Kedua Jenis Pipa

Pada tabel 12, gambar 108 dan gambar 109 terlihat ada beberapa garis pada tiap metode saling berbeda. Pada gambar 108, di metode Haaland, Vatankah & Kouchak, dan Ghanbari garis yang dilihat menunjukkan bahwa semakin besar bilangan Reynoldnya maka semakin besar pula persentasi kesalahannya dan hanya memiliki selisih persentasi kesalahan yang sangat kecil pada tiap pembukaan katup. Sedangkan untuk metode Serghides dan Buzelli menunjukkan sebaliknya dan selisihnya terbilang lumayan besar tiap pembukaan katup terkhususnya pada metode Serghides. Pada gambar 109, di metode Haaland, Vatankah & Kouchak, Buzelli, dan Ghanbari garis yang dilihat menunjukkan bahwa semakin besar bilangan Reynoldnya maka semakin besar pula persentasi kesalahannya dan hanya memiliki selisih persentasi kesalahan yang lumayan besar pada tiap pembukaan katup. Sedangkan untuk metode Serghides menunjukkan garis yang tidak konstan terjadi penurunan di pembukaan katup 50° ke 60° namun pada katup 60° hingga ke katup 70° mengalami kenaikan persentasi

kesalahan dengan selisih yang kecil dan kembali mengalami penurunan di pembukaan katup 80°.

Pada pipa PVC ($\varepsilon = 1,5 \times 10^{-5}$), pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Haaland menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 0,47340% dengan bilangan Reynold sebesar 21140 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 0,71156% dengan bilangan Reynold sebesar 37234 pada pembukaan katup 90°. Pada pipa PVC pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Serghides menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 1,04876% dengan bilangan Reynold sebesar 37234 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 16,60358% bilangan Reynold sebesar 21140 pada pembukaan katup 50° . Pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Vatankah & Kouchak menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 1,24623% dengan bilangan Reynold sebesar 21140 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 1,89011% dengan bilangan Reynold sebesar 37234 pada pembukaan katup 90°. Pada pipa PVC pada pembukaan katup 90° metode perhitungan Buzelli menghasilkan nilai nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 61,47398% dengan bilangan Reynold sebesar 37234 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 68,94875% dengan bilangan Reynold sebesar 21140 pada pembukaan katup 50°. Pada pipa PVC pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Ghanbari menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 1,79012% dengan bilangan Reynold sebesar 21140 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 2,52074% dengan bilangan Reynold sebesar 37234 pada pembukaan katup 90°. Diantara semua metode yang memiliki persentasi kesalahan terbesar berada di metode Buzelli pada pembukaan katup 50° dengan nilai sebesar 68,94875% dengan bilangan Reynold sebesar 21140. Sedangkan, untuk persentasi kesalahan terkecil ada pada metode Haaland pada pembukaan katup 50° dengan nilai 0,47340% dengan bilangan Reynold 21140.

Pada pipa HDPE ($\varepsilon = 7 \times 10^{-5}$), pada pembukaan katup 60° metode perhitungan Haaland menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil

sebesar 21,98832 % dengan bilangan Reynold sebesar 26558 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 31,79617 % dengan bilangan Reynold sebesar 35694 pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 60° metode perhitungan Serghides menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 90,59080 % dengan bilangan Reynold sebesar 26558 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 97,64533 % bilangan Reynold sebesar 28789 pembukaan katup 70°. Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 60° metode perhitungan Vatankah & Kouchak menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 22,84923 % dengan bilangan Reynold sebesar 26558 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 32,58428 % dengan bilangan Reynold sebesar 35694 pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 50° metode perhitungan Buzelli menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 1,96091 % dengan bilangan Reynold sebesar 19600 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 17,90957 % dengan bilangan Reynold sebesar 35694 pada pembukaan katup 90°. Pada pipa HDPE pada pembukaan katup 60° metode perhitungan Ghanbari menghasilkan nilai persentasi kesalahan terkecil sebesar 23,92614 % dengan bilangan Reynold sebesar 26558 dan persentasi kesalahan terbesar yaitu 33,79925 % dengan bilangan Reynold sebesar 35694 pada pembukaan katup 90°. Diantara semua metode yang memiliki persentasi kesalahan terbesar berada di metode Serghides pada pembukaan katup 70° dengan nilai sebesar 97,64533% dengan bilangan Reynold sebesar 28789. Sedangkan, untuk persentasi kesalahan terkecil ada pada metode Buzelli pada pembukaan katup 50° dengan nilai 1,96091 % dengan bilangan Reynold 19600.

Untuk penggunaan metode yang direkomendasikan untuk menemukan nilai faktor gesek metode Haaland merupakan metode yang paling tepat digunakan pada pipa PVC sedangkan untuk pipa HDPE metode Buzelli merupakan metode yang paling tepat dalam menemukan nilai factor gesek. Sedangkan untuk metode yang tidak

direkomendasikan mencari faktor gesek pada pipa PVC adalah metode Buzelli dan untuk pipa HDPE metode yang paling tidak direkomendasikan adalah metode Serghides. Semua hal ini, ditinjau dari persentasi kesalahan yang ditemukan, semakin kecil persentasi kesalahannya maka semakin direkomendasikan untuk digunakan, begitupula sebaliknya.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari beberapa penjelasan di atas mengenai pengujian “Analisis Perbandingan Kerugian Aliran pada Pipa Jenis PVC dan HDPE dengan Menggunakan *elbow 90°*”, maka kesimpulan yang dapat dihasilkan adalah sebagai berikut :

1. Dengan adanya perbedaan jenis pipa yaitu pipa PVC dan HDPE maka dapat memberikan pengaruh terhadap kerugian aliran (*head losses*). Dalam hal ini, pengaruh kekasaran permukaan sangat berpengaruh pada kerugian gesek (*major losses*) dan sambungan pipa (*fittings*) berpengaruh pada *minor losses* dimana ketika kekasaran permukaan semakin besar dan jumlah sambungan semakin banyak maka kerugian gesek akan semakin besar dan kerugian aliran semakin besar pula pada metode Darcy-Weisbach, sedangkan untuk metode Hazen-Williams setiap jenis pipa memiliki koefisien Hazen-Williams yang menandakan kekasaran permukaan, namun untuk koefisien Hazen-Williams jika nilainya semakin kecil, maka semakin besar pula nilai kekasaran permukaannya. Kerugian aliran terbesar terdapat di pipa HDPE pada kedua metode perhitungan, dikarenakan kekasaran permukaan pipa HDPE lebih besar dibandingkan dengan pipa PVC. Dapat disimpulkan bahwa pipa HDPE memiliki nilai kerugian aliran lebih besar dibandingkan dengan pipa PVC.
2. Untuk perubahan tekanan berlaku sama halnya dengan kerugian aliran dimana ketika kekasaran permukaan suatu jenis pipa dapat mempengaruhi besarnya perubahan tekanan yang terjadi pada aliran. Ketika kekasaran permukaan semakin besar maka semakin besar pula perubahan tekanan yang terjadi pada aliran dalam pipa. Sehingga, dari hal ini, dapat kita simpulkan bahwa harusnya pipa HDPE memiliki nilai perubahan tekanan yang lebih besar dikarenakan memiliki kekasaran permukaan yang lebih besar pula, sedangkan untuk pipa PVC memiliki perubahan tekanan yang

lebih kecil dikarenakan kekasaran permukaan yang dimilikinya lebih kecil dibandingkan dengan pipa HDPE.

3. Pada persamaan faktor gesek dapat kita temukan bahwa bilangan Reynold berbanding terbalik dengan nilai faktor gesek, sedangkan untuk kekasaran permukaan berbanding lurus terhadap faktor gesek, dimana ketika kekasaran permukaan semakin besar maka semakin besar pula nilai dari faktor gesek. Dapat kita temukan, bahwa pipa HDPE memiliki nilai faktor gesek yang lebih besar dibandingkan pipa PVC, dikarenakan pipa HDPE memiliki nilai kekasaran permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan pipa PVC.
4. Perbedaan dari metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach dalam menemukan kerugian gesek terletak di persamaannya keduanya menggunakan panjang pipa dan diameter pipa, namun letak perbedaannya adalah dimana dalam persamaannya dimana pada metode Hazen-Williams menggunakan debit aliran dan koefisien Hazen-Williams pada persamaannya, sedangkan untuk metode Darcy-Weisbach menggunakan kecepatan aliran, faktor gesek, dan percepatan gravitasi. Dapat kita temui pada metode Darcy-Weisbach memiliki nilai kerugian gesek cenderung lebih besar dibandingkan dengan nilai kerugian gesek dari metode Hazen-Williams. Hal ini disebabkan karena pada metode Darcy-Weisbach lebih banyak faktor yang diperhitungkan.
5. Di kelima metode yang digunakan dalam menghitung jumlah faktor gesek memiliki perbedaan masing-masing pada persamaannya, sehingga nilai dari faktor gesek yang ditemukan dari kelima metode berbeda-beda pula dengan selisih yang sangat kecil. Pada data yang sudah ditemukan dapat kita simpulkan, bahwa pada pipa PVC metode yang direkomendasikan untuk digunakan dalam mencari nilai faktor gesek adalah metode Haaland, sedangkan metode yang tidak direkomendasikan adalah metode Buzelli. Untuk pipa HDPE direkomendasikan untuk menggunakan metode Buzelli dalam menemukan nilai faktor gesek, sedangkan metode yang tidak direkomendasikan adalah metode Serghides. Masing-masing metode

memiliki kondisi yang tepat untuk digunakan, semuanya bergantung dari nilai kekasaran permukaan jenis pipa dan debit aliran yang dihasilkan.

5.2 Saran

1. Menggunakan *pressure gauge* dengan skala 0-1 bar atau manometer-U agar tekanan yang didapatkan lebih akurat.
2. Menambahkan poin penelitian yakni mengukur tegangan geser yang terjadi dalam pipa agar perubahan tekanan yang dihasilkan lebih akurat.
3. Menempatkan *reservoir* pada posisi yang lebih tinggi atau menggunakan pompa dengan daya hisap yang lebih besar agar tekanan yang dihasilkan lebih besar.
4. Memperhatikan dengan baik bagian perekat pada *fittings* agar tidak terjadi kebocoran, supaya data yang dihasilkan lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Nugroho, & Sumaryo, T. P. dan Y. (2020). Kaji Eksperimental *Head Loss* pada *Gate Valve* Dan *Ball Valve*. *Prosiding Seminar Nasional NCIET*, 1(1), 397–405.
- Arbulu, R. J., & Tommelein, I. D. (2002). *Alternative Supply-Chain Configurations for Engineered or Catalogued Made-to-Order Components: Case Study on Pipe Supports Used in Power Plants*. *10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, June 2015, 1–13.
- B. Munson, D. Young, T. Okiishi. (1994) *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 739-739.
- Chaurette. (2003). *Pipe Absolute Roughness Values (RMS)*. *Fluide Design Inc*. 7867-7867
- D. Dewantara. (2020). Analisa Dan Perhitungan Laju Aliran Massa Air Pada *Cooling Tower* Di Mesin *Heat Chamber*. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(8). 4-4
- Dannaezar, D., Tumbelaka, H. H., & Warpindyasmoro, H. S. (2020). Pemanfaatan Aliran Air dari Tandon Air Atas Rumah Tangga sebagai Pembangkit Energi Listrik. *Jurnal Teknik Elektro*, 13(1), 19–24.
- Eka Putra, I., Sulaiman, S., & Galsha, A. (2017). Analisa Rugi Aliran (*Head Losses*) pada Belokan Pipa *PVC*. 34–39.
- Fathoni, A., Subekti, P., & Hakim, L. (2022). Pembuatan dan Pengujian Alat Uji Sistim Perpipaan Skala Laboratorium. *Jurnal APTEK*, 14(2), 87–93.
- Febrianto, I., Khabib, M., & Nugraha, B. S. (2018). Perancangan Sistem Pompa Paralel dengan Daya Bervariasi Untuk Meningkatkan Kapasitas Air. *Jurnal Crankshaft*, 1(1), 49–54.
- Hadi, S., & Jumarlis, D. (2013). Pengaruh Lingkungan Minyak Mentah terhadap Laju Korosi pada Pipa Baja Karbon Dan Pipa Galvanis. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 66–69.

- Helmizar. (2010). Studi Eksperimental Pengukuran *Head Losses Mayor* (Pipa PVC Diameter $\frac{3}{4}$ ") dan *Head Losses Minor* (Belokan Knee 90° Diameter $\frac{3}{4}$ ") pada Sistem Instalasi Pipa. *Dinamika Jurnal Teknik Mesin*, 1(2), 59–64.
- Izhary Siregar, A. T. S. (2021). Analisa Perbandingan Kerugian Aliran (*Losses*) pada Pipa Jenis HDPE dan Galvanis (Studi Eksperimen). *Analisa Perbandingan Kerugian Aliran (Losses) Pada Pipa Jenis HDPE Dan Galvanis (Studi Eksperimen)*, vol.6 no 2(2), 1–4.
- Jokosisworo, S. (2012). Studi Komparasi Pipa Sch 40 *Galvanize* Dengan Sch 40 *Non Galvanize* pada Sistem Pipa *Ballast* Dikaji dari Segi Teknis dan Ekonomis. *Kapal*, 7(3), 146833.
- Kurniawan, B., Basuki, & Irfa'i, M. A. (2020). Pengaruh Jenis Sambungan Pipa *Elbow* 90° dan *Short Bend* Terhadap *Head Loss* Pada Sistem Perpipaan. *Jurnal Reaktom*, 5(1), 28–32.
- L. Abdulameer, N. Dzhumagulova, H. Algretawee et al. (2022). *COMPARISON BETWEEN HAZEN-WILLIAMS AND DARCY-WEISBACH EQUATIONS TO CALCULATE HEAD LOSS THROUGH CONVEYANCING TREATED WASTEWATER IN KERBALA CITY, IRAQ*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, (1). 1-115
- Muhammad, Z. H. (2020). Analisa *Head Pompa Water Intake* terhadap *Self Cleaning Filter* Pada PT.XY. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2), 102.
- Norhadi, A., Marzuki, A., Wicaksono, L., & Addetya Yacob, R. (2015). Studi Debit Aliran Pada Sungai Antasan Kelurahan sungai Andai Banjarmasin Utara. *Jurnal Poros Teknik*, 7(1), 1–53.
- Nurchahyo, B., Yudo, H., & Jokosisworo, S. (2017). Analisa Kekuatan Belokan Pipa (*Elbow Pipe*) dengan Variasi Sudut Akibat Beban Momen Bending. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(4), 780–784.
- Nurfadilah, A., & Terunajaya. (2017). Analisa Perhitungan Debit dan Kehilangan Tinggi Tekanan (*Head Loss*) pada Sistem Jaringan Pipa Daerah Layanan PDAM Tirtanadi Cabang Sunggal. *Universitas Sumatera Utara*, 2(3), 1–10.

- Osra, F. A. (2020). *A Laboratory Study of Solid-Water Mixture Flow Head Losses Through Pipelines at Different Slopes and Solid Concentrations*. *South African Journal of Chemical Engineering*, 33(September 2019), 29–34.
- Paik, S., & Song, I. (2011). *A Study on The Buckling Characteristics of Pipe Support (V6)*. 59–62.
- Parada Anugerah Pridyatama. (2014). Analisa Rancangan Pipe Support pada Sistem Pemipaan *High Pressure Vent* Berdasarkan *Stress Analysis* dengan Pendekatan CAESAR II. *Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Patrick, S. (2005). *Practical Guide to Polyvinyl Chloride*. iSmithers Rapra Publishing
- Puspawan, A. (2013). Analisa Rugi-Rugi Instalasi Pipa dan Pompa *Reciprocating* di PT. Pertamina EP-Region Area Prabumulih Provinsi Sumatera Selatan. *Teknosia*, 1(11), 50–62.
- Rahayu, P., Putri, D. K., & Indriyani, N. (2021). Pengaruh Diameter Pipa pada Aliran Fluida Terhadap Nilai *Head Loss*. *Jurnal Agitasi*, 2(2), 2776–513.
- S. Lazuardi. (2018). Perencanaan Sambungan Mur dan Baut pada Gerobak Sampah Motor. *Spark : Jurnal Mahasiswa Teknik Mesin ITN, Malang*, 1(1). 21-26.
- S. Mohsenabadi. (2014). *Comparison of Explicit Relations of Darcy Friction Measurement with Colebrook-White Equation*. *Applied mathematics in Engineering, Management and Technology*, (2), 570-578
- SaeedSayoga, I. M. A., & Nuarsa, I. M. (2012). Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan terhadap *Head Losses* Aliran Pipa. 2(2), 75–83.
- Sena, B. (2015). Pengaruh Densitas dan Viskositas Terhadap Profil Kecepatan pada Aliran Fluida Laminar di Dalam Pipa Horizontal. *Faktor Exacta*, 5(3), 192–201.
- Shellan Affan, B. (2010). Kaji Eksperimental Rugi Tekan (*Head Loss*) dan Faktor

Gesekan yang Terjadi pada Pipa Lurus dan Belokan Pipa (*End*). 1–43.

- SINAGA, F. (2020). Analisis *Head Losses* pada Sistem Pemipaan Alat Penyulingan Minyak Atsiri Kapasitas Ketel 5 Kilogram. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201*, 2(1), 41–49.
- Sinaga, N., & Zahri, A. (2014). Simulasi Numerik Perhitungan Tegangan Geser dan Momen Pada Fuel *Flowmeter* Jenis *Positive Displacement* dengan Variasi Debit Aliran pada Berbagai Sudut Putar Rotor. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 2(4), 470–479.
- U. Dharma, G. Prasetyo. (2012). Pengaruh Perubahan Laju Aliran Terhadap Tekanan dan Jenis Aliran yang Terjadi pada Alat Uji Praktikum Mekanika Fluida. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 2(1).
- Utomo, G. P., & Abidin, K. (1945). Analisa Pengaruh Panjang Pipa Galvanis dan Diameter Bukan Katup Terhadap *Head* Pompa pada Pompa Hidram. 38–44.
- Wahyudi, Y., & Fahrudin, A. (2017). Analisa Perbandingan Pelapisan Galvanis Elektroplating Dengan *Hot Dip Galvanizing* Terhadap Ketahanan Korosi Dan Kekerasan Pada Baja. 1(1).
- Waspodo, W. (2017). Analisa *Head Loss* Sistem Jaringan Pipa Pada Sambungan Pipa Kombinasi Diameter Berbeda. *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah*, 8(1), 1–12.
- Widodo, E., Akbar, A., & Timur, J. (2015). Pengaruh Konsentrasi Garam Terhadap Karakteristik Aliran Dua Fase Gas Dan Air. *Snttm Xiv*, 7–8.
- Z. Zainuddin, I. Sayoga, I. Nuarsa. (2012). Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap *Head Losses* Aliran Pipa. 2(2). 75-83

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel hasil pengamatan pengujian debit aliran dan tekanan pada pipa PVC

| Pipa PVC | | | | | | | | |
|----------|--------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Data ke- | PK (°) | Debit aliran (m ³ /s) | Belokan 1 | | Belokan 2 | | Belokan 3 | |
| | | | Tekanan di titik 1 (Psi) | Tekanan di titik 2 (Psi) | Tekanan di titik 3 (Psi) | Tekanan di titik 4 (Psi) | Tekanan di titik 5 (Psi) | Tekanan di titik 6 (Psi) |
| 1 | 50 | 0.00027 | 3.6 | 3.5 | 2.9 | 2.8 | 2.3 | 2.1 |
| | 60 | 0.00035 | 3.9 | 3.7 | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 2.3 |
| | 70 | 0.00039 | 4 | 3.8 | 3.4 | 3 | 2.7 | 2.5 |
| | 80 | 0.00042 | 4.2 | 3.9 | 3.6 | 3.3 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00045 | 4.4 | 4.1 | 3.6 | 3.4 | 3.1 | 2.7 |
| 2 | 50 | 0.00026 | 3.4 | 3.3 | 2.9 | 2.8 | 2.3 | 2.1 |
| | 60 | 0.00034 | 3.8 | 3.6 | 3.2 | 3 | 2.4 | 2.2 |
| | 70 | 0.00038 | 3.9 | 3.7 | 3.3 | 3.1 | 2.6 | 2.3 |
| | 80 | 0.00041 | 4.2 | 3.8 | 3.6 | 3.2 | 2.7 | 2.3 |
| | 90 | 0.00048 | 4.6 | 4.1 | 3.7 | 3.3 | 2.9 | 2.5 |
| 3 | 50 | 0.00026 | 3.5 | 3.4 | 2.7 | 2.6 | 2.2 | 2 |
| | 60 | 0.00032 | 3.6 | 3.5 | 3.2 | 3 | 2.3 | 2.1 |
| | 70 | 0.00035 | 4.1 | 3.9 | 3.3 | 3.1 | 2.4 | 2.2 |
| | 80 | 0.0004 | 4.2 | 4 | 3.4 | 3.1 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00043 | 4.3 | 3.9 | 3.5 | 3.2 | 3 | 2.6 |
| 4 | 50 | 0.00025 | 3.5 | 3.4 | 2.7 | 2.6 | 2.3 | 2.1 |
| | 60 | 0.00033 | 3.7 | 3.5 | 3.2 | 3 | 2.4 | 2.2 |
| | 70 | 0.00038 | 4 | 3.8 | 3.3 | 3.1 | 2.6 | 2.4 |
| | 80 | 0.00041 | 4.2 | 3.9 | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00046 | 4.5 | 4.1 | 3.6 | 3.2 | 2.9 | 2.5 |
| 5 | 50 | 0.00027 | 3.6 | 3.4 | 2.8 | 2.7 | 2.3 | 2 |
| | 60 | 0.00035 | 3.8 | 3.6 | 3.2 | 3.1 | 2.5 | 2.3 |
| | 70 | 0.00039 | 4 | 3.8 | 3.4 | 3.2 | 2.7 | 2.4 |
| | 80 | 0.00042 | 4.2 | 3.9 | 3.6 | 3.4 | 2.7 | 2.4 |
| | 90 | 0.00047 | 4.6 | 4.2 | 3.7 | 3.4 | 3 | 2.6 |
| 6 | 50 | 0.00025 | 3.4 | 3.1 | 2.7 | 2.6 | 2.3 | 2.2 |
| | 60 | 0.00033 | 3.6 | 3.4 | 3.2 | 3 | 2.3 | 2.2 |
| | 70 | 0.00038 | 4 | 3.8 | 3.3 | 3.1 | 2.6 | 2.3 |
| | 80 | 0.00042 | 4.2 | 3.9 | 3.6 | 3.1 | 2.8 | 2.5 |
| | 90 | 0.00046 | 4.5 | 4 | 3.7 | 3.4 | 2.9 | 2.5 |

| | | | | | | | | |
|----|----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 7 | 50 | 0.00024 | 3.3 | 3.2 | 2.6 | 2.5 | 2.1 | 1.9 |
| | 60 | 0.00034 | 3.7 | 3.6 | 3.2 | 3.1 | 2.4 | 2.2 |
| | 70 | 0.00038 | 4 | 3.8 | 3.2 | 3.1 | 2.5 | 2.2 |
| | 80 | 0.0004 | 4.2 | 3.9 | 3.6 | 3.2 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00047 | 4.6 | 4.2 | 3.7 | 3.2 | 2.9 | 2.4 |
| 8 | 50 | 0.00028 | 3.7 | 3.5 | 2.9 | 2.6 | 2.2 | 2 |
| | 60 | 0.00035 | 3.8 | 3.6 | 3 | 2.9 | 2.3 | 2.1 |
| | 70 | 0.0004 | 4.2 | 3.8 | 3.4 | 3.2 | 2.5 | 2.3 |
| | 80 | 0.00045 | 4.4 | 4.1 | 3.8 | 3.2 | 2.7 | 2.4 |
| | 90 | 0.00048 | 4.7 | 4.2 | 3.8 | 3.3 | 3 | 2.4 |
| 9 | 50 | 0.00027 | 3.5 | 3.4 | 2.8 | 2.6 | 2.2 | 2.1 |
| | 60 | 0.00035 | 3.8 | 3.7 | 3.3 | 3.1 | 2.4 | 2.2 |
| | 70 | 0.00039 | 4 | 3.8 | 3.4 | 3.2 | 2.6 | 2.3 |
| | 80 | 0.00042 | 4.2 | 4 | 3.6 | 3.3 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00047 | 4.6 | 4.1 | 3.7 | 3.3 | 2.9 | 2.6 |
| 10 | 50 | 0.00026 | 3.5 | 3.4 | 2.7 | 2.6 | 2.3 | 2.1 |
| | 60 | 0.00033 | 3.6 | 3.5 | 3.2 | 3 | 2.4 | 2.3 |
| | 70 | 0.00037 | 4.2 | 3.9 | 3.5 | 3 | 2.7 | 2.3 |
| | 80 | 0.00044 | 4.4 | 4.2 | 3.7 | 3.1 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00048 | 4.8 | 4.3 | 3.8 | 3.4 | 3.1 | 2.8 |
| 11 | 50 | 0.00029 | 3.8 | 3.7 | 2.8 | 2.6 | 2.2 | 2.1 |
| | 60 | 0.00035 | 3.9 | 3.8 | 3.3 | 3 | 2.3 | 2.2 |
| | 70 | 0.00038 | 4.2 | 4 | 3.5 | 3.1 | 2.6 | 2.3 |
| | 80 | 0.00043 | 4.4 | 4.1 | 3.6 | 3.3 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00048 | 4.7 | 4.3 | 3.7 | 3.5 | 3.1 | 2.6 |
| 12 | 50 | 0.00027 | 3.7 | 3.6 | 2.8 | 2.6 | 2.3 | 2.2 |
| | 60 | 0.00034 | 3.8 | 3.6 | 3.2 | 2.9 | 2.5 | 2.3 |
| | 70 | 0.00038 | 4.2 | 4 | 3.3 | 3 | 2.6 | 2.3 |
| | 80 | 0.00043 | 4.4 | 4.1 | 3.6 | 3.1 | 2.9 | 2.5 |
| | 90 | 0.00047 | 4.6 | 4.2 | 3.9 | 3.3 | 3 | 2.4 |
| 13 | 50 | 0.00028 | 3.6 | 3.5 | 2.8 | 2.7 | 2.4 | 2.3 |
| | 60 | 0.00035 | 3.8 | 3.6 | 3.2 | 2.9 | 2.5 | 2.4 |
| | 70 | 0.00039 | 4 | 3.8 | 3.4 | 2.9 | 2.6 | 2.4 |
| | 80 | 0.00042 | 4.2 | 4 | 3.5 | 3.3 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00045 | 4.5 | 4 | 3.6 | 3.3 | 2.9 | 2.7 |
| 14 | 50 | 0.00026 | 3.6 | 3.5 | 2.7 | 2.6 | 2.2 | 2.1 |
| | 60 | 0.00034 | 3.8 | 3.7 | 3.2 | 2.9 | 2.3 | 2.2 |
| | 70 | 0.00038 | 4.2 | 4 | 3.3 | 3 | 2.7 | 2.4 |
| | 80 | 0.00043 | 4.4 | 4.1 | 3.5 | 3.1 | 2.8 | 2.5 |
| | 90 | 0.00049 | 4.8 | 4.2 | 3.8 | 3.4 | 3.1 | 2.6 |
| 15 | 50 | 0.00027 | 3.7 | 3.6 | 2.8 | 2.6 | 2.1 | 2 |
| | 60 | 0.00035 | 3.8 | 3.7 | 3.2 | 2.8 | 2.3 | 2.1 |
| | 70 | 0.00039 | 4 | 3.8 | 3.3 | 3.2 | 2.5 | 2.3 |
| | 80 | 0.00042 | 4.2 | 4 | 3.4 | 3.3 | 2.8 | 2.4 |

| | | | | | | | | |
|--|----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 90 | 0.00047 | 4.7 | 4.3 | 3.9 | 3.4 | 3.1 | 2.6 |
|--|----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Lampiran 2 Tabel hasil pengamatan pengujian debit aliran dan tekanan pada pipa HDPE

| Pipa HDPE | | | | | | | | |
|-----------|--------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Data Ke - | PK (°) | Debit aliran (m ³ /s) | Belokan 1 | | Belokan 2 | | Belokan 3 | |
| | | | Tekanan di titik 1 (Psi) | Tekanan di titik 2 (Psi) | Tekanan di titik 3 (Psi) | Tekanan di titik 4 (Psi) | Tekanan di titik 5 (Psi) | Tekanan di titik 6 (Psi) |
| 1 | 50 | 0.00024 | 3.4 | 3.3 | 2.7 | 2.6 | 1.9 | 1.7 |
| | 60 | 0.00035 | 3.7 | 3.5 | 3.3 | 2.8 | 2.3 | 2.2 |
| | 70 | 0.00038 | 4.1 | 4 | 3.3 | 3.1 | 2.6 | 2.4 |
| | 80 | 0.00041 | 4.2 | 4.1 | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.5 |
| | 90 | 0.00042 | 4.4 | 4.2 | 3.6 | 3.3 | 2.9 | 2.7 |
| 2 | 50 | 0.00025 | 3.3 | 3.2 | 2.7 | 2.6 | 2.1 | 1.8 |
| | 60 | 0.00034 | 3.6 | 3.5 | 3.1 | 3 | 2.2 | 1.9 |
| | 70 | 0.00035 | 3.7 | 3.6 | 3.2 | 2.8 | 2.5 | 2.2 |
| | 80 | 0.00041 | 4.1 | 3.9 | 3.6 | 3.1 | 2.8 | 2.3 |
| | 90 | 0.00045 | 4.3 | 4.2 | 3.8 | 3.3 | 2.9 | 2.5 |
| 3 | 50 | 0.00025 | 3.4 | 3.2 | 2.6 | 2.5 | 2.1 | 2 |
| | 60 | 0.00033 | 3.6 | 3.5 | 3.2 | 2.9 | 2.3 | 2.1 |
| | 70 | 0.00037 | 4 | 3.8 | 3.4 | 3 | 2.5 | 2.2 |
| | 80 | 0.00041 | 4.3 | 4 | 3.7 | 3.3 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00044 | 4.4 | 4.1 | 3.8 | 3.5 | 2.9 | 2.6 |
| 4 | 50 | 0.00025 | 3.4 | 3.2 | 2.6 | 2.5 | 2.1 | 2 |
| | 60 | 0.00034 | 3.8 | 3.4 | 3.1 | 3 | 2.2 | 2.1 |
| | 70 | 0.00036 | 4.1 | 3.7 | 3.3 | 3.1 | 2.4 | 2.3 |
| | 80 | 0.00041 | 4.2 | 3.8 | 3.5 | 3.1 | 2.7 | 2.4 |
| | 90 | 0.00045 | 4.4 | 4.1 | 3.7 | 3.3 | 2.8 | 2.5 |
| 5 | 50 | 0.00025 | 3.4 | 3.3 | 2.6 | 2.5 | 2 | 1.9 |
| | 60 | 0.00033 | 3.6 | 3.5 | 3 | 2.7 | 2.2 | 2.1 |
| | 70 | 0.00036 | 3.9 | 3.8 | 3.3 | 3 | 2.5 | 2.3 |
| | 80 | 0.00042 | 4 | 3.9 | 3.5 | 3.3 | 2.6 | 2.4 |
| | 90 | 0.00045 | 4.3 | 4.1 | 3.7 | 3.4 | 2.8 | 2.5 |
| 6 | 50 | 0.00024 | 3.2 | 3 | 2.6 | 2.3 | 2.1 | 2 |
| | 60 | 0.00032 | 3.5 | 3.4 | 3 | 2.8 | 2.2 | 2.1 |
| | 70 | 0.00036 | 3.8 | 3.6 | 3.2 | 3 | 2.5 | 2.2 |
| | 80 | 0.00041 | 4.1 | 3.8 | 3.5 | 3.2 | 2.7 | 2.4 |
| | 90 | 0.00045 | 4.3 | 4 | 3.6 | 3.3 | 2.8 | 2.5 |
| 7 | 50 | 0.00027 | 3.2 | 3.1 | 2.5 | 2.4 | 2 | 1.9 |

| | | | | | | | | |
|----|----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 60 | 0.00033 | 3.4 | 3.4 | 3.2 | 2.9 | 2.3 | 2 |
| | 70 | 0.00036 | 3.8 | 3.7 | 3.3 | 3 | 2.5 | 2.3 |
| | 80 | 0.00042 | 4.1 | 3.8 | 3.5 | 3.2 | 2.6 | 2.4 |
| | 90 | 0.00044 | 4.2 | 4.1 | 3.6 | 3.3 | 2.8 | 2.4 |
| 8 | 50 | 0.00025 | 3.4 | 3.3 | 2.8 | 2.5 | 2 | 1.8 |
| | 60 | 0.00035 | 3.6 | 3.5 | 3 | 2.7 | 2.2 | 2 |
| | 70 | 0.00036 | 4 | 3.8 | 3.3 | 2.9 | 2.4 | 2.2 |
| | 80 | 0.00041 | 4.1 | 3.9 | 3.7 | 3.2 | 2.5 | 2.3 |
| | 90 | 0.00046 | 4.3 | 4 | 3.8 | 3.3 | 2.9 | 2.4 |
| 9 | 50 | 0.00023 | 3.4 | 3.3 | 2.6 | 2.4 | 2 | 1.9 |
| | 60 | 0.00033 | 3.6 | 3.5 | 3.1 | 2.8 | 2.3 | 2.1 |
| | 70 | 0.00036 | 3.7 | 3.6 | 3.2 | 3 | 2.5 | 2.2 |
| | 80 | 0.00042 | 4 | 3.8 | 3.5 | 3.1 | 2.7 | 2.3 |
| | 90 | 0.00045 | 4.3 | 4 | 3.6 | 3.2 | 2.9 | 2.4 |
| 10 | 50 | 0.00024 | 3.8 | 3.7 | 2.9 | 2.6 | 2.1 | 1.9 |
| | 60 | 0.00033 | 4 | 3.8 | 3.1 | 2.6 | 2.1 | 1.8 |
| | 70 | 0.00037 | 4.2 | 3.9 | 3.3 | 2.8 | 2.5 | 2.2 |
| | 80 | 0.00041 | 4.4 | 4.1 | 3.5 | 3 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00045 | 4.6 | 4.2 | 3.7 | 3.2 | 3 | 2.5 |
| 11 | 50 | 0.00024 | 3.8 | 3.7 | 2.8 | 2.4 | 2 | 1.7 |
| | 60 | 0.00034 | 4 | 3.9 | 3.2 | 2.8 | 2.2 | 2 |
| | 70 | 0.00035 | 4.2 | 4 | 3.3 | 2.9 | 2.6 | 2.2 |
| | 80 | 0.00043 | 4.4 | 4.1 | 3.5 | 3.1 | 2.8 | 2.3 |
| | 90 | 0.00046 | 4.5 | 4.2 | 3.8 | 3.3 | 3 | 2.5 |
| 12 | 50 | 0.00024 | 3.8 | 3.5 | 2.9 | 2.6 | 2.1 | 1.9 |
| | 60 | 0.00034 | 4 | 3.8 | 3.2 | 2.8 | 2.2 | 2 |
| | 70 | 0.00036 | 4.2 | 4 | 3.3 | 2.9 | 2.6 | 2.3 |
| | 80 | 0.00043 | 4.4 | 4.1 | 3.5 | 3.1 | 2.8 | 2.5 |
| | 90 | 0.00045 | 4.5 | 4.2 | 3.7 | 3.2 | 3 | 2.5 |
| 13 | 50 | 0.00025 | 3.6 | 3.5 | 2.9 | 2.6 | 2.1 | 1.9 |
| | 60 | 0.00034 | 3.7 | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.2 | 2 |
| | 70 | 0.00037 | 3.8 | 3.6 | 3.3 | 2.9 | 2.6 | 2.3 |
| | 80 | 0.00041 | 4.1 | 3.7 | 3.5 | 3.1 | 2.8 | 2.4 |
| | 90 | 0.00045 | 4.4 | 4 | 3.6 | 3.3 | 3 | 2.5 |
| 14 | 50 | 0.00025 | 3.5 | 3.4 | 2.7 | 2.5 | 2.1 | 1.9 |
| | 60 | 0.00034 | 3.7 | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.2 | 2 |
| | 70 | 0.00035 | 4 | 3.8 | 3.3 | 3 | 2.6 | 2.2 |
| | 80 | 0.00041 | 4.2 | 4 | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.3 |
| | 90 | 0.00046 | 4.5 | 4.1 | 3.7 | 3.3 | 3 | 2.4 |
| 15 | 50 | 0.00024 | 3.2 | 3.1 | 2.5 | 2.1 | 1.9 | 1.4 |
| | 60 | 0.00029 | 3.6 | 3.5 | 3 | 2.7 | 2.2 | 1.8 |
| | 70 | 0.00036 | 4.1 | 4 | 3.2 | 2.9 | 2.3 | 2 |

| | | | | | | | | |
|--|----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 80 | 0.00041 | 4.3 | 3.9 | 3.3 | 3 | 2.7 | 2.3 |
| | 90 | 0.00044 | 4.4 | 4 | 3.5 | 3.2 | 2.9 | 2.5 |

Lampiran 3 Tabel hasil perhitungan pengujian perbandingan kerugian aliran pada pipa HDPE dan PVC

| Jenis pipa | PK (°) | Perubahan tekanan (ΔP) (Pa) | | | Kecepatan rata-rata aliran (m/s) | Bilangan Reynold | Laju aliran massa (kg/s) |
|------------|--------|---------------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|------------------|--------------------------|
| | | Belokan 1 | Belokan 2 | Belokan 3 | | | |
| PVC | 50 | 873.335 | 965.265 | 1103.161 | 0.9363 | 21140 | 0.2643 |
| | 60 | 1057.196 | 1608.776 | 1149.126 | 1.2044 | 27195 | 0.3400 |
| | 70 | 1516.846 | 1838.601 | 1838.601 | 1.3479 | 30435 | 0.3805 |
| | 80 | 1884.566 | 2482.112 | 2574.042 | 1.4867 | 33569 | 0.4197 |
| | 90 | 3079.658 | 2620.007 | 2941.762 | 1.6491 | 37234 | 0.4655 |
| HDPE | 50 | 919.300 | 1516.846 | 1332.986 | 0.8680 | 19600 | 0.2450 |
| | 60 | 1011.231 | 2206.322 | 1424.916 | 1.1762 | 26558 | 0.3320 |
| | 70 | 1241.056 | 2252.287 | 1884.566 | 1.2750 | 28789 | 0.3599 |
| | 80 | 1838.601 | 2574.042 | 2436.147 | 1.4632 | 33038 | 0.4130 |
| | 90 | 1976.497 | 2665.972 | 2849.832 | 1.5808 | 35694 | 0.4463 |

| Jenis Pipa | PK (°) | Faktor Gesek (<i>Friction Factor</i>) | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|---|-------|-------|---------|----------------|---------------------------|---------|-----------------|---------|---------|------------------|------------------------|-----------------|
| | | Serghides (1) (1984) | | | | Haaland (1983) | Vatankah & Kouchak (2008) | | Buzzelli (2008) | | | Ghanbari, (2011) | Rata-Rata Faktor Gesek | Colebrook-White |
| | | A | B | C | f | | S | f | α | β | f | | | |
| PVC | 50 | 6.459 | 6.206 | 6.240 | 0.02118 | 0.02552 | 9.386 | 0.02572 | 5.929 | 0.874 | 0.00789 | 0.02585 | 0.02123 | 0.02540 |
| | 60 | 6.669 | 6.391 | 6.427 | 0.02181 | 0.02402 | 9.697 | 0.02424 | 6.115 | 0.990 | 0.00815 | 0.02438 | 0.02052 | 0.02387 |
| | 70 | 6.762 | 6.474 | 6.510 | 0.02204 | 0.02339 | 9.841 | 0.02362 | 6.197 | 1.054 | 0.00828 | 0.02376 | 0.02022 | 0.02324 |
| | 80 | 6.843 | 6.546 | 6.583 | 0.02222 | 0.02287 | 9.970 | 0.02311 | 6.269 | 1.116 | 0.00840 | 0.02325 | 0.01997 | 0.02271 |
| | 90 | 6.927 | 6.622 | 6.659 | 0.02239 | 0.02234 | 10.110 | 0.02258 | 6.346 | 1.189 | 0.00854 | 0.02272 | 0.01971 | 0.02216 |
| HDPE | 50 | 5.113 | 5.100 | 5.100 | 0.05188 | 0.03238 | 18.057 | 0.03263 | 5.502 | 19.972 | 0.02694 | 0.03290 | 0.03534 | 0.02642 |
| | 60 | 5.165 | 5.153 | 5.153 | 0.04892 | 0.03131 | 21.540 | 0.03154 | 5.711 | 26.883 | 0.02714 | 0.03181 | 0.03414 | 0.02567 |
| | 70 | 5.177 | 5.165 | 5.165 | 0.04793 | 0.03107 | 22.640 | 0.03128 | 5.767 | 29.100 | 0.02718 | 0.03156 | 0.03381 | 0.02425 |
| | 80 | 5.195 | 5.184 | 5.184 | 0.04610 | 0.03069 | 24.719 | 0.03089 | 5.861 | 33.325 | 0.02725 | 0.03117 | 0.03322 | 0.02376 |
| | 90 | 5.204 | 5.194 | 5.194 | 0.04502 | 0.03050 | 26.009 | 0.03068 | 5.915 | 35.965 | 0.02728 | 0.03096 | 0.03289 | 0.02314 |

| Jenis pipa | PK (°) | Total head losses (m) | |
|------------|--------|-----------------------|----------------|
| | | Hazen-Williams | Darcy-Weisbach |
| PVC | 50 | 0.2437 | 0.4877 |
| | 60 | 0.4034 | 0.7859 |
| | 70 | 0.5052 | 0.9733 |
| | 80 | 0.6146 | 1.1727 |
| | 90 | 0.7562 | 1.4285 |
| HDPE | 50 | 0.2267 | 0.6366 |
| | 60 | 0.4164 | 1.1349 |
| | 70 | 0.4892 | 1.3223 |
| | 80 | 0.6443 | 1.7158 |
| | 90 | 0.7521 | 1.9858 |

| Jenis pipa | PK (°) | Mayor losses (m) | | | | | | |
|------------|--------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|
| | | Metode Hazen-Williams | Metode Darcy-Weisbach | | | | | Rata-rata metode Darcy-Weisbach |
| | | | Halaand (1983) | Serghides (1) (1984) | Vatankah & Kouchak (2008) | Buzelli (2008) | Ghanbari (2011) | |
| PVC | 50 | 0.1365 | 0.4573 | 0.3795 | 0.4608 | 0.1413 | 0.4633 | 0.3804 |
| | 60 | 0.2259 | 0.7123 | 0.6466 | 0.7188 | 0.2416 | 0.7229 | 0.6085 |
| | 70 | 0.2830 | 0.8689 | 0.8185 | 0.8774 | 0.3076 | 0.8826 | 0.7510 |
| | 80 | 0.3442 | 1.0334 | 1.0040 | 1.0440 | 0.3797 | 1.0503 | 0.9023 |
| | 90 | 0.4235 | 1.2418 | 1.2448 | 1.2551 | 0.4746 | 1.2629 | 1.0958 |
| HDPE | 50 | 0.1346 | 0.4987 | 0.7991 | 0.5026 | 0.4149 | 0.5067 | 0.5444 |
| | 60 | 0.2471 | 0.8856 | 1.3836 | 0.8918 | 0.7674 | 0.8996 | 0.9656 |
| | 70 | 0.2904 | 1.0326 | 1.5928 | 1.0396 | 0.9032 | 1.0488 | 1.1234 |
| | 80 | 0.3824 | 1.3433 | 2.0176 | 1.3517 | 1.1926 | 1.3640 | 1.4538 |
| | 90 | 0.4464 | 1.5580 | 2.2999 | 1.5673 | 1.3938 | 1.5816 | 1.6801 |

| Jenis pipa | PK (°) | Persentasi kesalahan faktor gesek | | | | |
|------------|--------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------|-----------------|
| | | Metode Darcy-Weisbach | | | | |
| | | Halaand (1983) | Serghides (1) (1984) | Vatankah & Kouchak (2008) | Buzelli (2008) | Ghanbari (2011) |
| PVC | 50 | 0.473 | 16.603 | 1.246 | 68.948 | 1.790 |
| | 60 | 0.628 | 8.650 | 1.555 | 65.859 | 2.134 |
| | 70 | 0.666 | 5.169 | 1.652 | 64.363 | 2.249 |
| | 80 | 0.711 | 2.154 | 1.746 | 62.995 | 2.359 |
| | 90 | 0.807 | 1.048 | 1.890 | 61.473 | 2.520 |
| HDPE | 50 | 22.550 | 96.370 | 23.508 | 1.960 | 24.510 |
| | 60 | 21.988 | 90.590 | 22.849 | 5.712 | 23.926 |
| | 70 | 28.131 | 97.645 | 29.001 | 12.085 | 30.149 |
| | 80 | 29.177 | 94.025 | 29.989 | 14.685 | 31.170 |
| | 90 | 31.796 | 94.557 | 32.584 | 17.909 | 33.799 |

| <i>Minor losses pada fittings</i> | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|-----------|-------------------------|
| Pipa PVC | | | | |
| <i>Fittings</i> | PK (°) | Jumlah | Koefisien | <i>Minor losses (m)</i> |
| <i>Elbow 90°</i> | 50 | 8 | 0.3 | 0.1072 |
| | 60 | 8 | 0.3 | 0.1774 |
| | 70 | 8 | 0.3 | 0.2222 |
| | 80 | 8 | 0.3 | 0.2704 |
| | 90 | 8 | 0.3 | 0.3326 |
| Pipa HDPE | | | | |
| <i>Fittings</i> | PK (°) | Jumlah | Koefisien | <i>Minor losses (m)</i> |
| <i>Elbow 90°</i> | 50 | 8 | 0.3 | 0.0921 |
| | 60 | 8 | 0.3 | 0.1692 |
| | 70 | 8 | 0.3 | 0.1988 |
| | 80 | 8 | 0.3 | 0.2619 |
| | 90 | 8 | 0.3 | 0.3057 |

Lampiran 4 Tabel sifat air berdasarkan temperatur (*Fundamental of Fluid Mechanics 7th Edition by Munson, 1994*)

Table B.2
Physical Properties of Water (SI Units)^a

| Temperature (°C) | Density, ρ (kg/m ³) | Specific Weight ^b , γ (kN/m ³) | Dynamic Viscosity, μ (N·s/m ²) | Kinematic Viscosity, ν (m ² /s) | Surface Tension ^c , σ (N/m) | Vapor Pressure, p_v [N/m ² (abs)] | Speed of Sound ^d , c (m/s) |
|---------------------|--|---|---|---|--|---|--|
| 0 | 999.9 | 9.806 | 1.787 E - 3 | 1.787 E - 6 | 7.56 E - 2 | 6.105 E + 2 | 1403 |
| 5 | 1000.0 | 9.807 | 1.519 E - 3 | 1.519 E - 6 | 7.49 E - 2 | 8.722 E + 2 | 1427 |
| 10 | 999.7 | 9.804 | 1.307 E - 3 | 1.307 E - 6 | 7.42 E - 2 | 1.228 E + 3 | 1447 |
| 20 | 998.2 | 9.789 | 1.002 E - 3 | 1.004 E - 6 | 7.28 E - 2 | 2.338 E + 3 | 1481 |
| 30 | 995.7 | 9.765 | 7.975 E - 4 | 8.009 E - 7 | 7.12 E - 2 | 4.243 E + 3 | 1507 |
| 40 | 992.2 | 9.731 | 6.529 E - 4 | 6.580 E - 7 | 6.96 E - 2 | 7.376 E + 3 | 1526 |
| 50 | 988.1 | 9.690 | 5.468 E - 4 | 5.534 E - 7 | 6.79 E - 2 | 1.233 E + 4 | 1541 |
| 60 | 983.2 | 9.642 | 4.665 E - 4 | 4.745 E - 7 | 6.62 E - 2 | 1.992 E + 4 | 1552 |
| 70 | 977.8 | 9.589 | 4.042 E - 4 | 4.134 E - 7 | 6.44 E - 2 | 3.116 E + 4 | 1555 |
| 80 | 971.8 | 9.530 | 3.547 E - 4 | 3.650 E - 7 | 6.26 E - 2 | 4.734 E + 4 | 1555 |
| 90 | 965.3 | 9.467 | 3.147 E - 4 | 3.260 E - 7 | 6.08 E - 2 | 7.010 E + 4 | 1550 |
| 100 | 958.4 | 9.399 | 2.818 E - 4 | 2.940 E - 7 | 5.89 E - 2 | 1.013 E + 5 | 1543 |

Lampiran 5 Koefisien *minor losses* pada sambungan (*Fittings*) (Hafiz, 2019)

| Komponen | Jumlah | Rumus | Koefisien | Head loss minor [m] |
|-----------------|--------|---|-----------|---------------------|
| Butterfly Valve | 2 | $f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$ | 0.6 | 0.057 |
| Check Valve | 2 | $f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$ | 2 | 0.095 |
| Reducer | 2 | $f \cdot \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot g} \cdot n$ | 0.04 | 0.0004 |
| Tee | 2 | $f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$ | 1 | 0.0005 |
| Elbow 90 | 4 | $f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot n$ | 0.3 | 0.057 |

Lampiran 6 Koefisien Hazen-Williams pada beberapa jenis pipa (Hafiz, 2019)

| No | Material Pipa | Angka |
|----|------------------------------|--------------|
| 1 | Asbes Cement | 120 |
| 2 | Poly Vinyl Chloride | 120 - 140 |
| 3 | High Density Poly Ethylene | 130 |
| 4 | Medium Density Poly Ethylene | 130 |
| 5 | Ductile Cast Iron Pipe | 110 |
| 6 | Besi Tuang, Cast Iron | 110 |
| 7 | Galvanized Iron Pipe | 110 |
| 8 | Steel Pipe | 110 |

Lampiran 7 Nilai kekasaran permukaan pada beberapa jenis pipa (Chaurette, 2003)

| Pipe absolute roughness values (RMS) | | |
|--|--|---|
| Material | Absolute roughness (in $\times 10^{-3}$) | Absolute roughness (micron or $m \times 10^{-6}$) |
| Riveted steel ¹ | 36-360 | 915-9150 |
| Concrete ¹ | 12-120 | 305-3050 |
| Ductile iron ² | 102 | 2591 |
| Wood stave ¹ | 3.6-7.2 | 91-183 |
| Galvanized iron ¹ | 6 | 152 |
| Cast iron – asphalt dipped ¹ | 4.8 | 122 |
| Cast iron uncoated ¹ | 10 | 254 |
| Carbon steel or wrought iron ¹ | 1.8 | 45 |
| Stainless steel ¹ | 1.8 | 45 |
| Fiberglass ³ | 0.2 | 5 |
| Drawn tubing – glass, brass, plastic ¹ | 0.06 | 1.5 |
| Copper ² | 0.06 | 1.5 |
| Aluminium ² | 0.06 | 1.5 |
| PVC ² | 0.06 | 1.5 |
| Red brass ² | 0.06 | 1.5 |

Tabel 4. Spesifikasi N2-N3

| Data Teknis | Nilai | Unit |
|---------------------------------|------------------------|----------------------|
| Material Pipa | HDPE | |
| Diameter Pipa (D) | DN315 PN 12.5 | [m] |
| Panjang Pipa (L) | 1098.46 | [m] |
| Density Fluida (ρ) | 1000 | [Kg/m ³] |
| Debit Fluida (Q) | 0.0694 | [m ³ /s] |
| Percepatan Gravitasi (g) | 9.81 | [m/s ²] |
| Luas Penampang Pipa (A) | 0.056 | [m ²] |
| Viskositas Kinematik (ν) | 1.003×10^{-6} | [m ² /s] |
| Roughness (ϵ) | 7×10^{-5} | [m] |
| Koefisien Hazen-William (C) | 130 | |
| Koef De Chezy Manning (n) | 0.010 | |

Lampiran 8 Dokumentasi pembuatan instalasi pipa PVC dan HDPE







Lampiran 9 Dokumentasi pengambilan data pada pipa PVC dan HDPE di
Laboratorium Mesin fluida







Lampiran 10 Tabel persentasi kenaikan pada tiap data

| Jenis pipa | PK (°) | Debit aliran (m ³ /s) | Major losses (%) | | Minor losses (%) | Total head losses (%) | |
|------------|--------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| | | | Metode Hazen-Williams | Metode Darcy-Weisbach | | Hazen-Williams | Darcy-Weisbach |
| PVC | 50 | 0.00027 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 0.00034 | 40 | 37 | 40 | 40 | 38 |
| | 70 | 0.00038 | 52 | 49 | 52 | 52 | 50 |
| | 80 | 0.00042 | 60 | 58 | 60 | 60 | 58 |
| | 90 | 0.00047 | 68 | 65 | 68 | 68 | 66 |
| HDPE | 50 | 0.00025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 0.00033 | 46 | 44 | 46 | 46 | 44 |
| | 70 | 0.00036 | 54 | 52 | 54 | 54 | 53 |
| | 80 | 0.00041 | 62 | 60 | 62 | 62 | 61 |
| | 90 | 0.00045 | 71 | 70 | 71 | 71 | 70 |

| Jenis pipa | PK (°) | Debit aliran (m ³ /s) | Belokan 1 | | Belokan 2 | | Belokan 3 | |
|------------|--------|----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | Tekanan di titik 1 (%) | Tekanan di titik 2 (%) | Tekanan di titik 3 (%) | Tekanan di titik 4 (%) | Tekanan di titik 5 (%) | Tekanan di titik 6 (%) |
| PVC | 50 | 0.00027 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 0.00034 | 5 | 5 | 14 | 11 | 6 | 6 |
| | 70 | 0.00038 | 12 | 11 | 17 | 15 | 13 | 10 |
| | 80 | 0.00042 | 17 | 14 | 22 | 18 | 19 | 14 |
| | 90 | 0.00047 | 22 | 17 | 25 | 21 | 25 | 19 |
| HDPE | 50 | 0.00025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 0.00033 | 8 | 6 | 10 | 10 | 9 | 9 |
| | 70 | 0.00036 | 12 | 10 | 16 | 16 | 22 | 21 |
| | 80 | 0.00041 | 15 | 14 | 23 | 23 | 29 | 29 |
| | 90 | 0.00045 | 21 | 22 | 26 | 26 | 34 | 33 |

| Jenis pipa | PK (°) | Debit aliran (m ³ /s) | Perubahan tekanan (%) | | | Bilangan Reynold (%) |
|------------|--------|----------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------------------|
| | | | Belokan 1 | Belokan 2 | Belokan 3 | |
| PVC | 50 | 0.00027 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 0.00034 | 17 | 40 | 4 | 22 |
| | 70 | 0.00038 | 42 | 48 | 40 | 31 |
| | 80 | 0.00042 | 54 | 61 | 57 | 37 |
| | 90 | 0.00047 | 72 | 63 | 63 | 43 |
| HDPE | 50 | 0.00025 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 0.00033 | 45 | 11 | 6 | 26 |
| | 70 | 0.00036 | 51 | 17 | 18 | 33 |
| | 80 | 0.00041 | 61 | 22 | 29 | 40 |
| | 90 | 0.00045 | 64 | 29 | 38 | 46 |

| Jenis pipa | PK (°) | Bilangan Reynold (%) | Rata-rata faktor gesek (%) |
|------------|--------|----------------------|----------------------------|
| PVC | 50 | 0 | 7 |
| | 60 | 22 | 4 |
| | 70 | 31 | 3 |
| | 80 | 37 | 1 |
| | 90 | 43 | 0 |
| HDPE | 50 | 0 | 5 |
| | 60 | 26 | 3 |
| | 70 | 33 | 2 |
| | 80 | 40 | 1 |
| | 90 | 46 | 0 |

| Jenis pipa | PK (°) | Bilangan Reynold (%) | Belokan 1 | | Belokan 2 | | Belokan 3 | |
|------------|--------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | Tekanan di titik 1 (%) | Tekanan di titik 2 (%) | Tekanan di titik 3 (%) | Tekanan di titik 4 (%) | Tekanan di titik 5 (%) | Tekanan di titik 6 (%) |
| PVC | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 22 | 5 | 5 | 14 | 11 | 6 | 6 |
| | 70 | 31 | 12 | 11 | 17 | 15 | 13 | 10 |
| | 80 | 37 | 17 | 14 | 22 | 18 | 19 | 14 |
| | 90 | 43 | 22 | 17 | 25 | 21 | 25 | 19 |
| HDPE | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 26 | 8 | 6 | 10 | 10 | 9 | 9 |
| | 70 | 33 | 12 | 10 | 16 | 16 | 22 | 21 |
| | 80 | 39 | 15 | 14 | 23 | 23 | 29 | 29 |
| | 90 | 45 | 21 | 22 | 26 | 26 | 34 | 33 |

| Jenis pipa | PK (°) | Debit aliran (m ³ /s) | Mayor losses (%) | |
|------------|--------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | Metode Darcy-Weisbach | Metode Hazen-Williams |
| PVC | 50 | 0.00027 | 0 | 0 |
| | 60 | 0.00034 | 37 | 40 |
| | 70 | 0.00038 | 49 | 52 |
| | 80 | 0.00042 | 58 | 60 |
| | 90 | 0.00047 | 65 | 10 |
| HDPE | 50 | 0.00025 | 0 | 0 |
| | 60 | 0.00033 | 44 | 46 |
| | 70 | 0.00036 | 52 | 54 |
| | 80 | 0.00041 | 60 | 62 |
| | 90 | 0.00045 | 70 | 71 |

| Jenis pipa | PK (°) | Mayor losses(%) | | Perubahan tekanan (%) | | |
|------------|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| | | Metode Hazen-Williams | Metode Darcy-Weisbach | Belokan 1 | Belokan 2 | Belokan 3 |
| PVC | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 40 | 37 | 17 | 40 | 4 |
| | 70 | 52 | 49 | 42 | 48 | 40 |
| | 80 | 60 | 58 | 54 | 61 | 57 |
| | 90 | 68 | 65 | 72 | 63 | 63 |
| HDPE | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 46 | 44 | 45 | 11 | 6 |
| | 70 | 54 | 52 | 51 | 17 | 18 |
| | 80 | 62 | 60 | 61 | 22 | 29 |
| | 90 | 71 | 70 | 64 | 29 | 38 |

| Jenis pipa | PK (°) | Debit aliran (m ³ /s) | Perubahan tekanan (%) | | |
|------------|--------|----------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| | | | Belokan 1 | Belokan 2 | Belokan 3 |
| PVC | 50 | 0.00027 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 0.00034 | 17 | 40 | 4 |
| | 70 | 0.00038 | 42 | 48 | 40 |
| | 80 | 0.00042 | 54 | 61 | 57 |
| | 90 | 0.00047 | 72 | 63 | 63 |
| HDPE | 50 | 0.00025 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 0.00033 | 45 | 11 | 6 |
| | 70 | 0.00036 | 51 | 17 | 18 |
| | 80 | 0.00041 | 61 | 22 | 29 |
| | 90 | 0.00045 | 64 | 29 | 38 |

| Jenis pipa | PK (°) | Minor losses (%) | Belokan 1 | | Belokan 2 | | Belokan 3 | |
|------------|--------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | Tekanan di titik 1 (%) | Tekanan di titik 2 (%) | Tekanan di titik 3 (%) | Tekanan di titik 4 (%) | Tekanan di titik 5 (%) | Tekanan di titik 6 (%) |
| PVC | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 40 | 5 | 5 | 14 | 11 | 6 | 6 |
| | 70 | 52 | 12 | 11 | 17 | 15 | 13 | 10 |
| | 80 | 60 | 17 | 14 | 22 | 18 | 19 | 14 |
| | 90 | 68 | 22 | 17 | 25 | 21 | 25 | 19 |
| HDPE | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 46 | 8 | 6 | 10 | 10 | 9 | 9 |
| | 70 | 54 | 12 | 10 | 16 | 16 | 22 | 21 |
| | 80 | 62 | 15 | 14 | 23 | 23 | 29 | 29 |
| | 90 | 71 | 21 | 22 | 26 | 26 | 34 | 33 |

| Jenis Pipa | PK (°) | Laju aliran massa (kg/s) | Faktor gesek | | | | |
|------------|--------|--------------------------|--------------|-----------|--------------------|---------|----------|
| | | | Halaand | Serghides | Vatankah & Kouchak | Buzelli | Ghanbari |
| PVC | 50 | 0 | 12 | 0 | 12 | 0 | 12 |
| | 60 | 22 | 7 | 3 | 7 | 3 | 7 |
| | 70 | 31 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| | 80 | 37 | 2 | 4.7 | 2 | 6 | 2 |
| | 90 | 43 | 0 | 5.4 | 0 | 8 | 0 |
| HDPE | 50 | 0 | 5 | 14 | 5 | 0 | 5 |
| | 60 | 26 | 3 | 8 | 3 | 0 | 3 |
| | 70 | 34 | 1.7 | 7 | 1.7 | 0.5 | 1.7 |
| | 80 | 41 | 0.6 | 5 | 0.7 | 0.6 | 0.6 |
| | 90 | 46 | 0 | 0 | 0 | 0.7 | 0 |

| Jenis pipa | PK (°) | Mayor losses pada persen peningkatan (%) | | | | | | Perubahan tekanan (%) | | |
|------------|--------|--|-----------------------|-----------|--------------------|---------|----------|-----------------------|-----------|-----------|
| | | Metode Hazen-Williams | Metode Darcy-Weisbach | | | | | Belokan 1 | Belokan 2 | Belokan 3 |
| | | | Halaand | Serghides | Vatankah & Kouchak | Buzelli | Ghanbari | | | |
| PVC | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 40 | 36 | 41 | 36 | 42 | 36 | 17 | 40 | 4 |
| | 70 | 52 | 47 | 54 | 47 | 54 | 48 | 42 | 48 | 40 |
| | 80 | 60 | 56 | 62 | 56 | 63 | 56 | 54 | 61 | 57 |
| | 90 | 68 | 63 | 70 | 63 | 70 | 63 | 72 | 63 | 63 |
| HDPE | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 47 | 46 | 44 | 46 | 48 | 46 | 45 | 11 | 6 |
| | 70 | 57 | 56 | 53 | 56 | 57 | 56 | 51 | 17 | 18 |
| | 80 | 64 | 65 | 61 | 65 | 64 | 64 | 61 | 22 | 29 |
| | 90 | 71 | 70 | 67 | 71 | 72 | 71 | 64 | 29 | 38 |

| Jenis pipa | PK (°) | Metode perhitungan mayor losses (%) | | | | | | Kecepatan rata-rata aliran (%) |
|------------|--------|-------------------------------------|---------|-----------|--------------------|---------|----------|--------------------------------|
| | | Hazen-Williams | Halaand | Serghides | Vatankah & Kouchak | Buzelli | Ghanbari | |
| PVC | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 40 | 36 | 41 | 36 | 42 | 36 | 22 |
| | 70 | 52 | 47 | 54 | 47 | 54 | 48 | 31 |
| | 80 | 60 | 56 | 62 | 56 | 63 | 56 | 37 |
| | 90 | 68 | 63 | 70 | 63 | 70 | 63 | 43 |
| HDPE | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 | 47 | 46 | 44 | 46 | 48 | 46 | 26 |
| | 70 | 57 | 56 | 53 | 56 | 57 | 56 | 33 |
| | 80 | 64 | 65 | 61 | 65 | 64 | 64 | 41 |
| | 90 | 71 | 70 | 67 | 71 | 71 | 71 | 47 |

Lampiran 11 Gambaran aliran yang mengalir pada pipa PVC dan HDPE pada saat pengambilan data







