

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

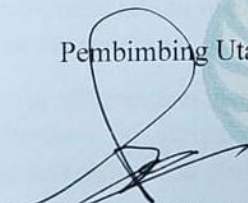
A. Muhammad Rafli Risal
D021 19 1138

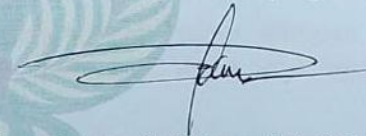
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 23 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

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 terdalem 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) :

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

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

➤ 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) :

$$f = \left(-1,52 \log \left(\left(\frac{\varepsilon}{\frac{D}{7,21}} \right)^{1,042} + \left(\frac{2,731}{Re} \right)^{0,9152} \right) \right)^{-2,169} \quad (15)$$

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)

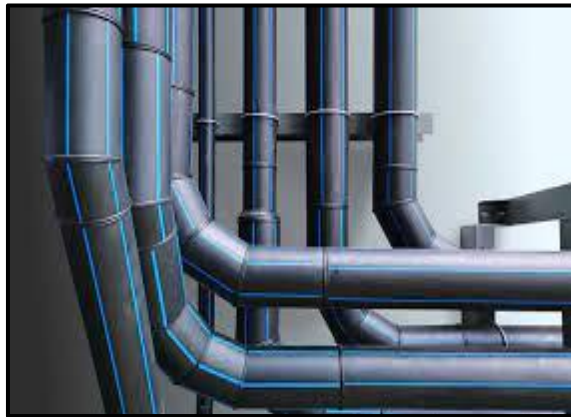
Polyvinyl chloride (PVC) adalah produk berbasis sumber daya alam bumi, yang berasal dari garam dan gas atau minyak. Elektrolisis air garam menghasilkan klorin (selain sodium hidroksida dan hidrogen). Etilen dapat diturunkan dari nafta ketika minyak disuling atau dari gas alam. Klorin dan etilen dapat 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)