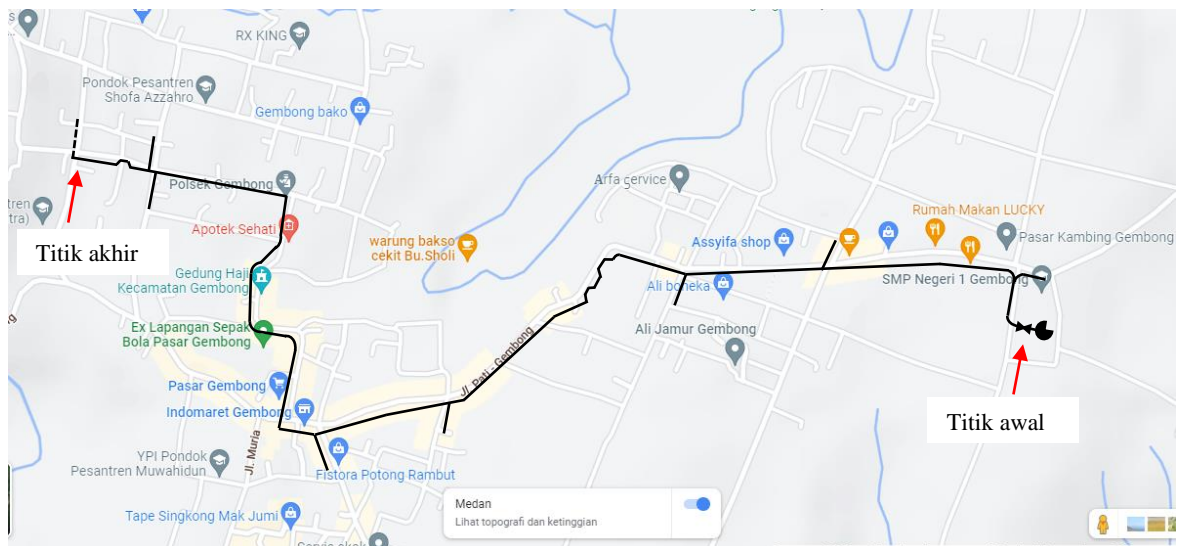


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Penelitian

4.1.1 Penentuan Rangkaian Pipa

Pada penelitian yang dilakukan pada jaringan pipa distribusi air bersih Perusahaan Umum Daerah Air Minum Cabang Pati V di Desa Gembong Kecamatan Gembong Kabupaten Pati, panjang jaringan pipa 3.221 m menggunakan pipa besi galvanis dengan diameter pipa 4 inci. Jaringan pipa ditentukan titik awal berada pada sumber sumur dalam dan titik akhir berada pada ujung pipa besi galvanis yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.

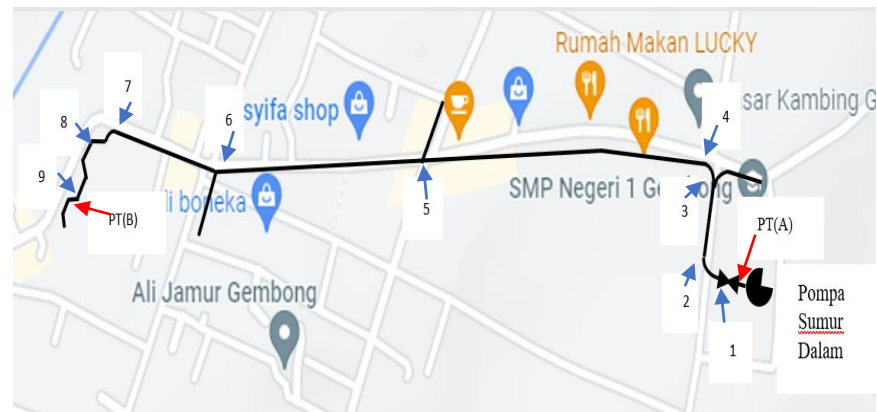


Gambar 4. 1 Denah Jaringan Pipa

Pada penelitian ini, jaringan pipa ditentukan menjadi tiga rangkaian untuk diteliti pada tiap rangkaian. Penentuan rangkaian berdasarkan letak titik pengukuran debit, elevasi dan tekanan aktual. Terdapat tiga rangkaian pipa yaitu A–B, B–C, dan C–D. Berikut penjelasan tiap rangkaian pipa yang diteliti:

- a. Rangkaian A–B merupakan rangkaian pipa dari titik pengukuran A di sumber sumur dalam menuju titik pengukuran B. Pada rangkaian A–B diameter pipa adalah 4 inci, panjang pipa 1.144 meter dengan jenis pipa besi galvanis. Rangkaian A–B dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada

rangkaian A–B terdapat aksesoris seperti satu buah *check valve* yang ditunjukkan pada nomor 1, tiga buah *elbow* 45° yang ditunjukkan pada nomor 2, 4 dan 7, tiga buah *tee* pada nomor 3, 5 dan 6, *crossing* dengan empat buah *elbow* 45° pada nomor 8 serta *crossing* dengan dua buah *elbow* 45° pada nomor 9.



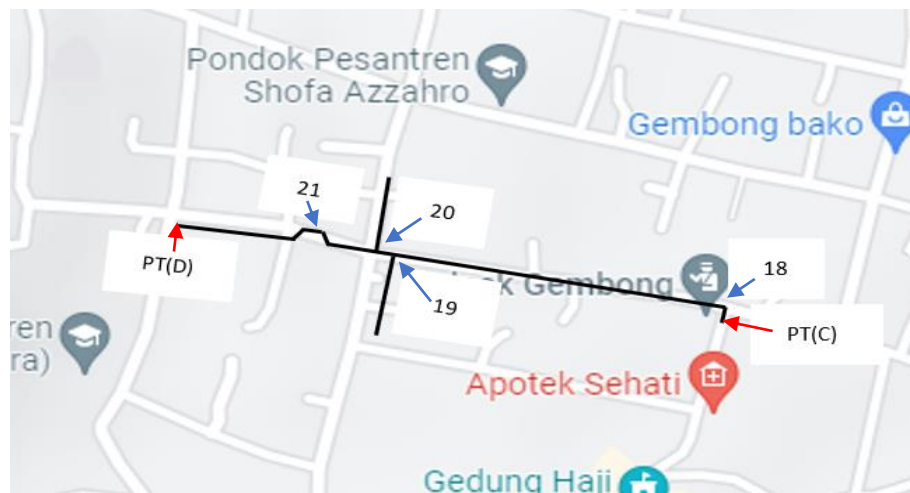
Gambar 4. 2 Denah Rangkaian A-B

- b. Rangkaian B–C merupakan rangkaian pipa dari titik pengukuran B menuju titik pengukuran C. Pada rangkaian B–C diameter pipa adalah 4 inchi, panjang pipa 1.540 meter dengan jenis pipa besi galvanis. Rangkaian B–C dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pada rangkaian B–C terdapat aksesoris seperti *crossing* dengan dua buah *elbow* 45° pada nomor 10, dua buah *tee* pada nomor 11 dan 12, satu buah *elbow* 90° yang ditunjukkan pada nomor 13, serta empat buah *elbow* 45° pada nomor 14, 15, 16 dan 17.



Gambar 4. 3 Denah Rangkaian B-C

- c. Rangkaian C–D merupakan rangkaian pipa dari titik pengukuran C menuju titik pengukuran D. Pada rangkaian C–D diameter pipa adalah 4 inchi, panjang pipa 537 meter dengan jenis pipa besi galvanis. Rangkaian C–D dapat dilihat pada Gambar 4.4. Pada rangkaian C–D terdapat aksesoris seperti satu buah *elbow* 90° yang ditunjukkan pada nomor 18, dua buah *tee* pada nomor 19 dan 20, serta *crossing* dengan empat buah *elbow* 45° pada nomor 21.



Gambar 4. 4 Denah Rangkaian C-D

Berikut data penelitian pada tiap rangkaian pipa yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Penelitian Pada Tiap Rangkaian Pipa

No	Rangkaian Pipa	Panjang Pipa (m)	Diameter Pipa, D (inchi)	Jenis Pipa
1	A – B	1144	4	GI
2	B – C	1540	4	GI
3	C – D	537	4	GI

Selanjutnya dilakukan pengambilan data mengenai aksesoris pipa pada tiap rangkaian pipa. Aksesoris pipa berupa sambungan (*fitting*) seperti belokan (*elbow*), percabangan (*Tee*), dan katub (*valve*). Untuk kebutuhan penelitian, saat pengujian

dilakukan penutupan pada daerah percabangan. Berikut data aksesoris pipa pada tiap rangkaian pipa dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data Aksesoris Pipa Pada Tiap Rangkaian Pipa

No	Rangkaian Pipa	Aksesoris			
		<i>Elbow 45°</i>	<i>Elbow 90°</i>	<i>Tee</i>	<i>Check Valve</i>
1	A – B	9 buah	-	3 buah	1 buah
2	B – C	6 buah	1 buah	2 buah	-
3	C – D	4 buah	1 buah	2 buah	-

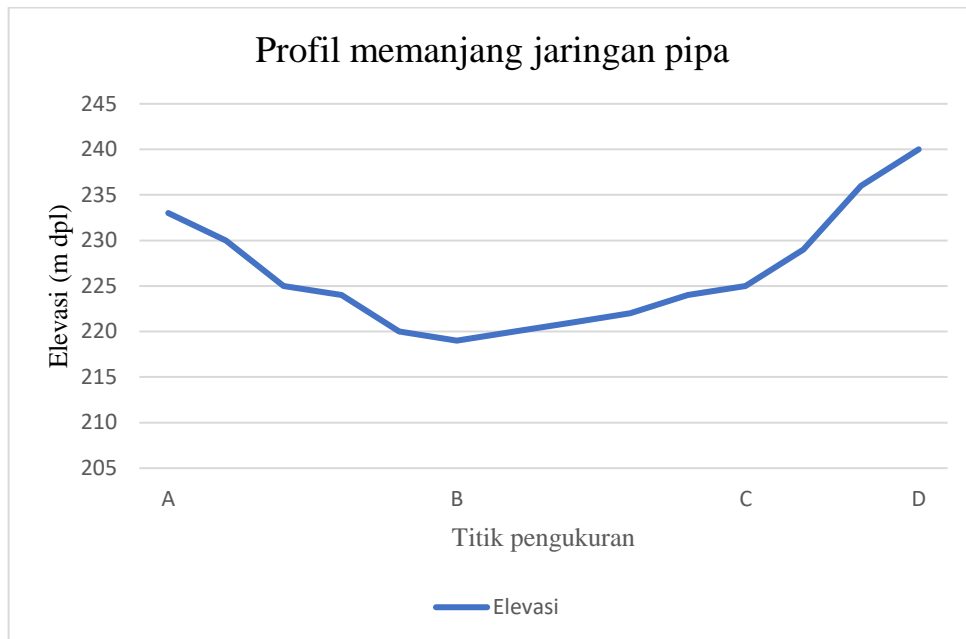
4.1.2 Debit, Elevasi dan Tekanan Aktual di Titik Pengukuran

Debit di titik pengukuran adalah besarnya debit yang diukur pada tiap titik pengukuran untuk mendapatkan kecepatan aliran. Elevasi diukur untuk mengetahui perbedaan ketinggian pada tiap titik pengukuran. Berikut besarnya debit dan elevasi pada tiap titik pengukuran yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Debit, Elevasi dan Tekanan Aktual di Tiap Titik Pengukuran

No	Titik	Debit, Q (L/s)	Elevasi, Z (m dpl)	Tekanan, P (bar)
1	A	5,27	233	3,2
2	B	3,89	219	4,0
3	C	2,44	225	3,0
4	D	1,46	240	1,4

Hasil pengukuran jalur pipa ditampilkan dalam bentuk gambar / grafik. Grafik profil memanjang jaringan pipa berdasarkan hasil pengukuran elevasi (ketinggian) tanah di atas permukaan air laut. Titik awal ditandai dengan titik A dan titik akhir ditandai dengan titik D, seperti terlihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 5 Profil Jaringan Pipa Berdasarkan Elevasi

4.2 Perhitungan *Head Loss* Pada Tiap Rangkaian Pipa

4.2.1 Perhitungan *Head Loss* pada rangkaian A–B

A. *Head Loss Mayor*

Diketahui : Debit (Q) = 5,27 L/s = 0,00527 m³/s
 Diameter (D) = 4 inchi = 101,6 mm = 0,1016 m
 Panjang (L) = 1144 m
 Densitas air (ρ) T = 30°C = 995,7 kg/m³
 Viskositas kinematik air (ν) T = 30°C = 0,804 × 10⁻⁶ m²/s

Langkah pertama pada perhitungan *head loss mayor* karena gesekan adalah mencari kecepatan aliran menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}\tilde{V} &= \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi D^2} = \frac{0,00527 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4} \pi (0,1016 \text{ m})^2} \\ &= 0,65 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Karena nilai kecepatan aliran sudah diketahui, maka Bilangan Reynolds yang dihasilkan menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\tilde{V}D}{\nu} = \frac{0,65 \frac{m}{s} \times 0,1016 m}{0,804 \times 10^{-6} m^2/s} \\ &= 82139,3 \text{ (turbulen)} \end{aligned}$$

Setelah itu mencari koefisien gesek pipa, karena penelitian menggunakan pipa jenis besi galvanis maka dalam nilai kekasaran absolut pipa = $0,15 \times 10^{-3} m$ (Tabel 2.1), sehingga didapatkan nilai koefisien gesek pipa sebagai berikut :

Pipe friction (f)

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{f}} &= -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \\ \frac{1}{\sqrt{f}} &= -2 \log \left(\frac{0,15 \times 10^{-3} m}{3,7 \times 0,1016 m} + \frac{2,51}{82139,3 \sqrt{f}} \right) \end{aligned}$$

Dengan *trial* didapat $f = 0,02404$

Setelah semua nilai untuk mencari *head loss mayor* sudah didapatkan, maka langkah selanjutnya untuk mendapatkan nilai *head loss mayor* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$H_f = f \frac{L}{D} \frac{\tilde{V}^2}{2g} = 0,02404 \times \frac{1144 m}{0,1016 m} \frac{(0,65 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 5,83 m$$

Untuk mencari besar kehilangan tekanan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = H_f \Rightarrow \Delta P = \rho g H_f = 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 5,83 m$$

$$\Delta P = 56988,0579 \text{ N/m}^2$$

Karena pengukuran tekanan pada penelitian ini menggunakan manometer skala bar, maka nilai kehilangan tekanan dikonversi : (1 bar = 100.000 N/m²)

$$\Delta P = 0,5698 \text{ bar}$$

B. *Head Loss Minor* Belokan (*elbow*)

Diketahui : Kecepatan aliran (\tilde{V}) = 0,65 m/s

$$\text{Sudut } (\theta) = 45^\circ$$

$$\text{Jari-jari (R)} = \tan \frac{1}{2} \theta \times 1,5 \times D = 0,063 m$$

Untuk perhitungan *head loss* karena belokan, terlebih dahulu ditentukan nilai koefisien kerugian pada belokan lengkung 45° sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K &= \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \times \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \\ &= \left[0,131 + 1,847 \times \left(\frac{0,1016 \text{ m}}{2 \times 0,063 \text{ m}} \right)^{3,5} \right] \times \left(\frac{45}{90} \right)^{0,5} \\ &= 0,999 \times 0,707 \\ &= 0,706 \end{aligned}$$

Setelah nilai koefisien kerugian didapatkan, maka untuk mendapatkan nilai *head loss minor* karena belokan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} H_m &= K \frac{\tilde{V}^2}{2g} \\ &= 0,706 \times \frac{\left(0,65 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,0152 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena pada rangkaian ini terdapat 9 buah *elbow* maka total $H_m = 0,0152 \text{ m} \times 9 = 0,1368 \text{ m}$. Untuk mencari besar kehilangan tekanan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = H_m \Rightarrow \Delta P = \rho g H_m = 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,1368 \text{ m}$$

$$\Delta P = 1336,23 \text{ N/m}^2$$

Kemudian nilai tersebut dikonversi : $\Delta P = 0,01336 \text{ bar}$

C. *Head loss* pada *check valve*

Diketahui koefisien kerugian pada *check valve* = 2,5 (Tabel 2.3), maka untuk mencari nilai *head loss* pada *valve* menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} H_{m(v)} &= K_v \frac{\tilde{V}^2}{2g} \\ &= 2,5 \times \frac{\left(0,65 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,0538 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk mencari besar kehilangan tekanan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = H_m(v) \Rightarrow \Delta P = \rho g H_m v = 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0538 \text{ m}$$

$$\Delta P = 525,854 \text{ N/m}^2$$

Kemudian nilai tersebut dikonversi :

$$\Delta P = 0,00526 \text{ bar}$$

D. Kehilangan tekanan total

Untuk mencari kehilangan tekanan total adalah dengan menjumlahkan besar kehilangan tekanan mayor dan minor sebagai berikut.

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_f + \Delta P_m$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 0,5698 + 0,01336 + 0,00526 = 0,58842 \text{ bar}$$

4.2.2 Perhitungan *Head Loss* pada rangkaian B–C

A. *Head Loss Mayor*

Diketahui : Debit (Q) = 3,89 L/s = 0,00389 m³/s

Diameter (D) = 4 inchi = 101,6 mm = 0,1016 m

Panjang (L) = 1540 m

Densitas air (ρ) T = 30°C = 995,7 kg/m³

Viskositas kinematik air (ν) T = 30°C = 0,804 × 10⁻⁶ m²/s

Langkah pertama pada perhitungan *head loss mayor* karena gesekan adalah mencari kecepatan aliran menggunakan persamaan :

$$\tilde{V} = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi D^2} = \frac{0,00389 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4} \pi (0,1016 \text{ m})^2}$$

$$= 0,48 \text{ m/s}$$

Karena nilai kecepatan aliran sudah diketahui, maka Bilangan Reynolds yang dihasilkan menjadi :

$$\text{Re} = \frac{\tilde{V} D}{\nu} = \frac{0,48 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,1016 \text{ m}}{0,804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 60656,7 \text{ (turbulen)}$$

Setelah itu mencari koefisien gesek pipa, karena penelitian menggunakan pipa jenis besi galvanis maka nilai kekasaran absolut pipa = $0,15 \times 10^{-3}$ (Tabel 2.1) sehingga didapatkan nilai koefisien gesek pipa sebagai berikut :

Pipe friction (f)

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

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{0,15 \times 10^{-3}}{3,7 \times 0,1016} + \frac{2,51}{60656,7\sqrt{f}} \right)$$

Dengan *trial* didapat $f = 0,02473$

Setelah semua nilai untuk mencari *head loss mayor* sudah didapatkan, maka langkah selanjutnya untuk mendapatkan nilai *head loss mayor* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Maka } Hf = f \frac{L}{D} \frac{\tilde{V}^2}{2g} = 0,02473 \times \frac{1540 \text{ m}}{0,1016 \text{ m}} \frac{(0,48 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} = 4,4 \text{ m}$$

Untuk mencari besar kehilangan tekanan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = Hf \Rightarrow \Delta P = \rho g Hf = 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 4,4 \text{ m}$$

$$\Delta P = 42978,39 \text{ N/m}^2$$

Karena pengukuran tekanan pada penelitian ini menggunakan manometer skala bar, maka nilai kehilangan tekanan dikonversi : (1 bar = 100.000 N/m²)

$$\Delta P = 0,4297 \text{ bar}$$

B. *Head Loss Minor* Belokan 45°

Diketahui : Kecepatan aliran (\tilde{V}) = 0,48 m/s

Sudut (θ) = 45°

Jari-jari = $\tan \frac{1}{2} \theta \times 1,5 \times D = 0,063 \text{ m}$

Untuk perhitungan *head loss* karena belokan 45°, terlebih dahulu ditentukan nilai koefisien kerugian pada belokan lengkung 45° sebagai berikut :

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \times \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[0,131 + 1,847 \times \left(\frac{0,1016}{2 \times 0,063} \right)^{3,5} \right] \times \left(\frac{45}{90} \right)^{0,5} \\
&= 0,999 \times 0,707 \\
&= 0,706
\end{aligned}$$

Setelah nilai koefisien kerugian didapatkan, maka untuk mendapatkan nilai *head loss minor* karena belokan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
H_m (45^\circ) &= K \frac{\tilde{v}^2}{2g} \\
&= 0,706 \times \frac{\left(0,48 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,0083 \text{ m}
\end{aligned}$$

Karena pada rangkaian ini terdapat 6 buah *elbow* maka total $H_e = 0,0083 \text{ m} \times 6 = 0,0498 \text{ m}$. Untuk mencari besar kehilangan tekanan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = H_m \Rightarrow \Delta P = \rho g H_m = 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0498 \text{ m}$$

$$\Delta P = 486,43 \text{ N/m}^2$$

Kemudian nilai tersebut dikonversi : $\Delta P = 0,00486 \text{ bar}$

C. *Head Loss Minor* Belokan 90°

Koefisien kerugian pada belokan patah 90°

$$\begin{aligned}
K &= 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \\
&= 0,946 \sin^2 \frac{90}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{90}{2} \\
&= 0,98
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Maka } H_m (90^\circ) &= K \frac{\tilde{v}^2}{2g} \\
&= 0,98 \times \frac{\left(0,48 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,0115 \text{ m}
\end{aligned}$$

Untuk mencari besar kehilangan tekanan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = H_m \Rightarrow \Delta P = \rho g H_m = 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0115 \text{ m}$$

$$\Delta P = 112,329 \text{ N/m}^2$$

Kemudian nilai tersebut dikonversi : $\Delta P = 0,00112 \text{ bar}$

D. Kehilangan Tekanan Total

Untuk mencari kehilangan tekanan total adalah dengan menjumlahkan besar kehilangan tekanan *mayor* dan *minor* sebagai berikut.

$$\Delta P \text{ total} = \Delta P_f + \Delta P_m$$

$$\Delta P \text{ total} = 0,4297 + 0,00486 + 0,00112 = 0,43568 \text{ bar}$$

4.2.3 Perhitungan *Head Loss* pada rangkaian C–D

A. *Head Loss Mayor*

Diketahui : Debit (Q) = 2,44 L/s = 0,00244 m³/s

Diameter (D) = 4 inchi = 101,6 mm = 0,1016 m

Panjang (L) = 537 m

Densitas air (ρ) T = 30°C = 995,7 kg/m³

Viskositas kinematik air (ν) T = 30°C = 0,804 × 10⁻⁶ m²/s

Langkah pertama pada perhitungan *head loss mayor* karena gesekan adalah mencari kecepatan aliran menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \tilde{V} &= \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi D^2} = \frac{0,00244 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4} \pi (0,1016 \text{ m})^2} \\ &= 0,3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Karena nilai kecepatan aliran sudah diketahui, maka Bilangan Reynolds yang dihasilkan menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\tilde{V} D}{\nu} = \frac{0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,1016 \text{ m}}{0,804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 37910,4 \text{ (turbulen)} \end{aligned}$$

Setelah itu mencari koefisien gesek pipa, karena penelitian menggunakan pipa jenis besi galvanis maka nilai kekasaran absolut pipa = 0,15 × 10⁻³ (Tabel 2.1) sehingga didapatkan nilai koefisien gesek pipa sebagai berikut :

Pipe friction (f)

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

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{0,15 \times 10^{-3}}{3,7 \times 0,1016} + \frac{2,51}{37910,4\sqrt{f}}\right)$$

Dengan *trial* didapat $f = 0,02614$

Setelah semua nilai untuk mencari *head loss mayor* sudah didapatkan, maka langkah selanjutnya untuk mendapatkan nilai *head loss mayor* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Maka } Hf = f \frac{L}{D} \frac{\tilde{V}^2}{2g} = 0,02614 \times \frac{537 \text{ m}}{0,1016 \text{ m}} \frac{(0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} = 0,64 \text{ m}$$

Untuk mencari besar kehilangan tekanan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = Hf \Rightarrow \Delta P = \rho g Hf = 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,64 \text{ m}$$

$$\Delta P = 6251,4 \text{ N/m}^2$$

Karena pengukuran tekanan pada penelitian ini menggunakan manometer skala bar, maka nilai kehilangan tekanan dikonversi : (1 bar = 100.000 N/m²)

$$\Delta P = 0,063 \text{ bar}$$

B. *Head Loss Minor* Belokan 45°

Diketahui : Kecepatan aliran (\tilde{V}) = 0,3 m/s

Sudut (θ) = 45°

Jari-jari = $\tan \frac{1}{2} \theta \times 1,5 \times D = 0,063 \text{ m}$

Untuk perhitungan *head loss* karena belokan 45°, terlebih dahulu ditentukan nilai koefisien kerugian pada belokan lengkung 45° sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K &= \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \times \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \\ &= \left[0,131 + 1,847 \times \left(\frac{0,1016}{2 \times 0,063} \right)^{3,5} \right] \times \left(\frac{45}{90} \right)^{0,5} \\ &= 0,999 \times 0,707 \end{aligned}$$

$$= 0,706$$

Setelah nilai koefisien kerugian didapatkan, maka untuk mendapatkan nilai *head loss minor* karena belokan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} H_m (45^\circ) &= K \frac{\tilde{v}^2}{2g} \\ &= 0,706 \times \frac{(0,3 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,0033 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena pada rangkaian ini terdapat 4 buah *elbow* maka total $H_e = 0,0033 \text{ m} \times 4 = 0,0132 \text{ m}$. Untuk mencari besar kehilangan tekanan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{\rho g} = H_m &\Rightarrow \Delta P = \rho g H_m = 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0132 \text{ m} \\ \Delta P &= 128,93 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Kemudian nilai tersebut dikonversi : $\Delta P = 0,00129 \text{ bar}$

C. *Head Loss Minor* Belokan 90°

Koefisien kerugian pada belokan patah 90°

$$\begin{aligned} K &= 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \\ &= 0,946 \sin^2 \frac{90}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{90}{2} \\ &= 0,98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } H_m (90^\circ) &= K \frac{\tilde{v}^2}{2g} \\ &= 0,98 \times \frac{(0,3 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,0046 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk mencari besar kehilangan tekanan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{\rho g} = H_m &\Rightarrow \Delta P = \rho g H_m = 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,0046 \text{ m} \\ \Delta P &= 44,932 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Kemudian nilai tersebut dikonversi : $\Delta P = 0,00045 \text{ bar}$

D. Kehilangan Tekanan Total

Untuk mencari kehilangan tekanan total adalah dengan menjumlahkan besar kehilangan tekanan *mayor* dan *minor* sebagai berikut.

$$\Delta P \text{ total} = \Delta P_f + \Delta P_m$$

$$\Delta P \text{ total} = 0,063 + 0,00128 + 0,00045 = 0,06473 \text{ bar}$$

4.3 Perhitungan Tekanan Pada Tiap Titik Pengujian

1. Perhitungan Tekanan di Titik B

$$\text{Diketahui : } P_A = 3,2 \text{ bar} \quad \Delta P_{A-B} = 0,58843 \text{ bar}$$

$$\tilde{V}_A = 0,65 \text{ m/s} \quad Z_A = 233 \text{ m}$$

$$\tilde{V}_B = 0,48 \text{ m/s} \quad Z_B = 219 \text{ m}$$

Untuk mengetahui besar tekanan yang terjadi pada titik B menggunakan persamaan Bernoulli sebagai berikut.

$$P_A + \frac{\tilde{V}_A^2}{2} \rho + \rho g Z_A = P_B + \frac{\tilde{V}_B^2}{2} \rho + \rho g Z_B + \Delta P$$

$$P_B = P_A + \frac{\rho(\tilde{V}_A^2 - \tilde{V}_B^2)}{2} + \rho g(Z_A - Z_B) - \Delta P$$

$$P_B = 3,2 \text{ bar} + \frac{995,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0,65^2 - 0,48^2) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2} \times \frac{1 \text{ bar}}{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \\ + 995,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (233 - 219) \text{ m} \times \frac{1 \text{ bar}}{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} - 0,58843 \text{ bar}$$

$$P_B = 3,2 \text{ bar} + 0,000956 \text{ bar} + 1,3675 \text{ bar} - 0,58843 \text{ bar}$$

$$P_B = 3,2 \text{ bar} + 0,78 \text{ bar}$$

$$P_B = 3,98 \text{ bar}$$

2. Perhitungan Tekanan di Titik C

$$\text{Diketahui : } P_B = 3,98 \text{ bar} \quad \Delta P_{B-C} = 0,43568 \text{ bar}$$

$$\tilde{V}_B = 0,65 \text{ m/s} \quad Z_B = 219 \text{ m}$$

$$\tilde{V}_C = 0,48 \text{ m/s} \quad Z_C = 225 \text{ m}$$

Untuk mengetahui besar tekanan yang terjadi pada titik C menggunakan persamaan Bernoulli sebagai berikut.

$$\frac{P_B}{\rho g} + \frac{\tilde{V}_B^2}{2g} + Z_B = \frac{P_C}{\rho g} + \frac{\tilde{V}_C^2}{2g} + Z_C + \Delta P$$

$$P_C = P_B + \frac{\rho(\tilde{V}_B^2 - \tilde{V}_C^2)}{2} + \rho g(Z_B - Z_C) - \Delta P$$

$$P_C = 3,98 \text{ bar} + \frac{995,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0,48^2 - 0,3^2) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2} \times \frac{1 \text{ bar}}{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \\ + 995,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (219 - 225) \text{ m} \times \frac{1 \text{ bar}}{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} - 0,43568 \text{ bar}$$

$$P_C = 3,98 \text{ bar} + 0,000698 \text{ bar} - 0,586069 \text{ bar} - 0,43568 \text{ bar}$$

$$P_C = 3,98 \text{ bar} - 1,025 \text{ bar}$$

$$P_C = 2,955 \text{ bar}$$

3. Perhitungan Tekanan di Titik D

$$\text{Diketahui : } P_C = 2,955 \text{ bar} \quad Z_B = 219 \text{ m}$$

$$\Delta P_{C-D} = 0,06473 \text{ bar} \quad Z_C = 225 \text{ m}$$

$$\tilde{V}_C = 0,3 \text{ m/s}$$

$$\tilde{V}_D = \frac{Q_D}{\frac{1}{4} \pi D^2} = \frac{0,00146 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4} \pi (0,1016 \text{ m})^2} = 0,18 \text{ m/s}$$

Untuk mengetahui besar tekanan yang terjadi pada titik D menggunakan persamaan Bernoulli sebagai berikut.

$$\frac{P_C}{\rho g} + \frac{\tilde{V}_C^2}{2g} + Z_C = \frac{P_D}{\rho g} + \frac{\tilde{V}_D^2}{2g} + Z_D + \Delta P$$

$$P_D = P_C + \frac{\rho(\tilde{V}_C^2 - \tilde{V}_D^2)}{2} + \rho g(Z_C - Z_D) - \Delta P$$

$$P_D = 2,955 \text{ bar} + \frac{995,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0,3^2 - 0,18^2) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2} \times \frac{1 \text{ bar}}{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \\ + 995,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (225 - 240) \text{ m} \times \frac{1 \text{ bar}}{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} - 0,0647 \text{ bar}$$

$$P_D = 2,955 \text{ bar} + 0,000286 \text{ bar} - 1,465172 \text{ bar} - 0,06473 \text{ bar}$$

$$P_D = 2,955 \text{ bar} - 1,529 \text{ bar}$$

$$P_D = 1,426 \text{ bar}$$

4.4 Data Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan tekanan dari sumber sumur dalam sampai titik ujung yang telah ditentukan dengan panjang jaringan pipa 3.221 m berdasarkan data-data yang telah didapatkan saat pengukuran di lapangan yaitu debit, elevasi, jarak jalur pipa, diameter pipa dan tekanan aktual. Pipa yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pipa besi galvanis dengan diameter 4 inchi. Hasil perhitungan tekanan berdasarkan persamaan Darcy Weisbach dan persamaan Bernoulli ditampilkan pada Tabel 4.4 sebagai berikut.

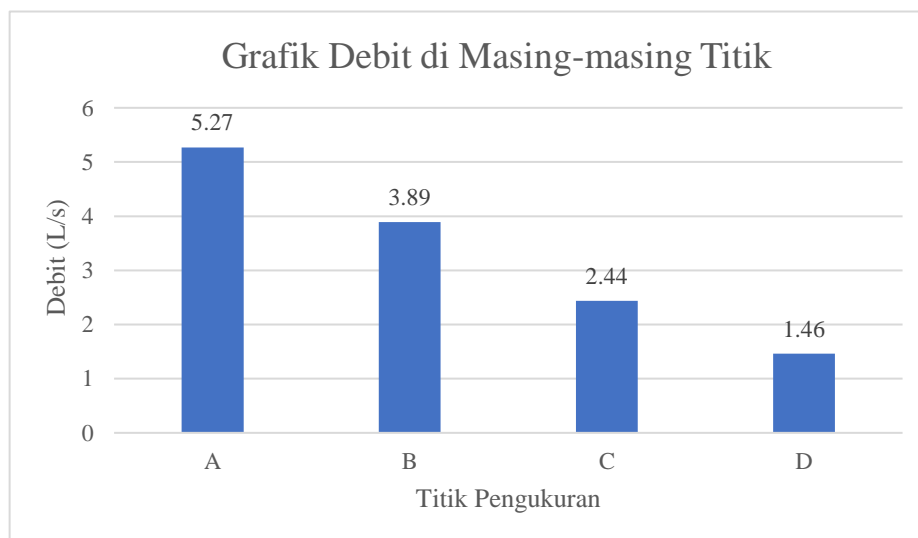
Tabel 4. 4 Data Hasil Perhitungan Tekanan

No	Titik	Debit (L/s)	Elevasi (m dpl)	Kecepatan aliran, \tilde{V} (m/s)	Tekanan (P) aktual (bar)	Tekanan (P) teoritis (bar)
1	A	5,27	233	0,65	3,2	3,2
2	B	3,89	219	0,48	4,0	3,98
3	C	2,44	225	0,3	3,0	2,955
4	D	1,46	240	0,18	1,4	1,426

4.5 Pembahasan

4.5.1 Besar Debit di Masing-masing Titik

Besar debit pada masing-masing titik pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut.

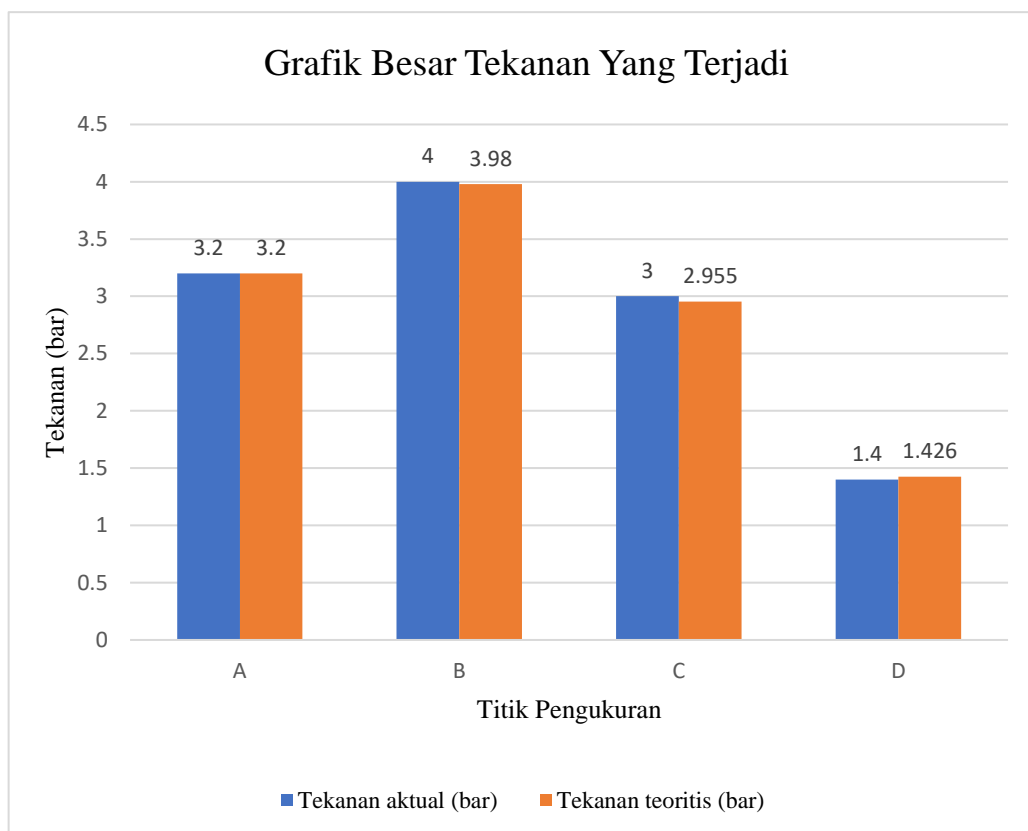


Gambar 4. 6 Grafik Besar Debit di Masing-masing Titik Pengukuran

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat grafik besar debit di masing-masing titik pengukuran. Pada titik A diperoleh debit sebesar 5,27 L/s. Pada titik B dengan panjang pipa 1.144 m dari titik A diperoleh debit sebesar 3,89 L/s. Pada titik C dengan panjang pipa 1.540 m dari titik B diperoleh debit sebesar 2,44 L/s. Pada titik D dengan panjang pipa 537 m dari titik C diperoleh debit sebesar 1,46 L/s. Dapat terlihat bahwa terjadi pengurangan debit aliran. Hal ini disebabkan karena di dalam pipa terjadi kehilangan energi yang diakibatkan oleh adanya gesekan air dengan dinding pipa dan perubahan arah aliran oleh belokan pipa di sepanjang pengaliran sehingga mempengaruhi kapasitas pipa sebagai sarana penghantar air.

4.5.2 Besar Tekanan Yang Terjadi di Masing-masing Titik

Besar tekanan yang terjadi di masing-masing titik pengukuran dan tekanan hasil perhitungan teoritis ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 4. 7 Grafik Besar Tekanan yang Terjadi di Masing-masing Titik Pengukuran

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat grafik tekanan teoritis dan aktual di masing-masing titik pengukuran. Pada titik A diperoleh tekanan sebesar 3,2 bar menjadi

tekanan awal pada pengujian. Pada titik B dengan beda tinggi (Δz) -14 m, didapatkan tekanan aktual sebesar 4,0 bar dan tekanan teoritis sebesar 3,98 bar. Pada titik C dengan beda tinggi (Δz) 6 m, didapatkan tekanan aktual sebesar 3,0 bar dan tekanan teoritis sebesar 2,955 bar. Pada titik D dengan beda tinggi (Δz) 15 m, didapatkan tekanan aktual sebesar 1,4 bar dan tekanan teoritis sebesar 1,426 bar. Tekanan dipengaruhi oleh gravitasi sehingga terjadi peningkatan tekanan pada titik B. Hal tersebut disebabkan karena keadaan kontur wilayah yang menurun dengan beda tinggi 14 meter. Kemudian keadaan kontur wilayah menanjak dengan beda tinggi 6 meter sehingga tekanan menurun di titik C. Pada titik D kontur wilayah kembali menanjak dengan beda tinggi 15 meter sehingga tekanan kembali menurun. Selain itu juga terjadi kehilangan energi yang menambah penurunan tekanan.

Perbandingan selisih hasil perhitungan secara teoritis dengan hasil eksperimen (aktual) di lapangan:

$$\begin{aligned} \text{Tekanan di titik B} &= \left| \frac{P_B(\text{teoritis}) - P_B(\text{aktual})}{P_B(\text{teoritis})} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{3,98 \text{ bar} - 4,0 \text{ bar}}{3,98 \text{ bar}} \right| \times 100\% \\ &= 0,5 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan di titik C} &= \left| \frac{P_C(\text{teoritis}) - P_C(\text{aktual})}{P_C(\text{teoritis})} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{2,955 \text{ bar} - 3,0 \text{ bar}}{2,955 \text{ bar}} \right| \times 100\% \\ &= 1,52 \% \end{aligned}$$

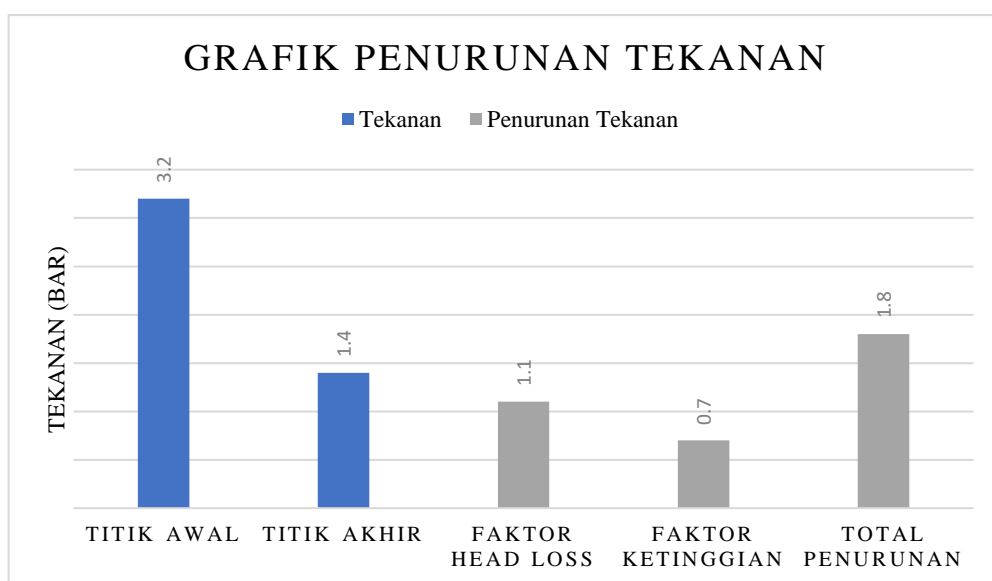
$$\begin{aligned} \text{Tekanan di titik D} &= \left| \frac{P_D(\text{teoritis}) - P_D(\text{aktual})}{P_D(\text{teoritis})} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1,426 \text{ bar} - 1,4 \text{ bar}}{1,426 \text{ bar}} \right| \times 100\% \\ &= 1,82 \% \end{aligned}$$

Besar tekanan yang terjadi pada *output* pipa dipengaruhi oleh debit, elevasi, diameter pipa, panjang pipa dan jenis pipa yang digunakan. Berdasarkan besar

tekanan yang didapatkan dari eksperimen yang dibandingkan dengan perhitungan teoritis persamaan Darcy-Weisbach dan persamaan Bernoulli yang diperoleh selisih kurang dari 2%, berarti kondisi pipa di jaringan distribusi air bersih tersebut adalah masih baik.

4.5.3 Besar Penurunan Tekanan Pada Jaringan Pipa

Besar penurunan tekanan pada jaringan pipa ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 4. 8 Grafik Penurunan Tekanan Pada Jaringan Pipa

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat grafik tekanan pada titik awal, titik akhir dan penurunan tekanan pada jaringan pipa. Pada titik awal diperoleh tekanan sebesar 3,2 bar. Pada titik akhir diperoleh tekanan sebesar 1,4 bar. Terjadi penurunan tekanan sebesar 1,8 bar. Penurunan tekanan disebabkan oleh faktor kehilangan energi akibat gesekan dan belokan arah aliran (*head loss*). Besar *head loss* total = $HL_{A-B} + HL_{B-C} + HL_{C-D} = (0,59 + 0,44 + 0,07)$ bar = 1,1 bar (61% dari total penurunan tekanan). Selain itu, penurunan tekanan juga disebabkan oleh faktor beda ketinggian dimana dari titik awal sampai titik akhir, keadaan kontur wilayah menanjak 7 meter sehingga didapatkan penurunan tekanan sebesar 0,7 bar (39% dari total penurunan tekanan).