

## BAB IV PEMBAHASAN

Pembahasan dimulai dari proses perhitungan besar debit yang dibutuhkan untuk mencapai angka *Reynolds* yang diinginkan. Data yang dikumpulkan adalah data dan spesifikasi objek penelitian berupa fluida cair dalam hal ini menggunakan air. Data data tersebut diolah dengan perhitungan untuk mendapatkan variabel yang diinginkan kemudian dilanjut dengan pembahasan. Berikut ini merupakan proses pengumpulan data, perhitungan, dan pembahasan.

### 4.1. Perhitungan Penentuan Debit Aliran Maksimal

Perhitungan penentuan debit aliran dengan besar nilai angka *Reynolds* maksimal menggunakan persamaan 2.1, dengan menggunakan propertis air pada suhu 20<sup>0</sup> adalah sebagai berikut:

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3 \qquad Re = 29356$$

$$\mu = 0,001002 \text{ kg/m} \cdot s \qquad D = 0,018 \text{ m}$$

Maka

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

$$v = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot D}$$

$$v = \frac{29356 \cdot 0,001002 \text{ kg/m} \cdot s}{998 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,018 \text{ m}}$$

$$v = 1,64 \text{ m/s}$$

Maka kapasitas debit aliran maksimal dapat dihitung dengan persamaan 2.10 adalah:

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot v$$

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot 0,018^2 \text{ m} \cdot 1,64 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.000417 \text{ m}^3/\text{s} = 25 \text{ LPM}$$

Jadi debit aliran maksimal pada besar nilai angka *Reynolds* 29356 yang terjadi pada perancangan alat ukur *head loss mayor* ini adalah 25 LPM.

## 4.2. Perhitungan Rugi Aliran Untuk Pompa

### 4.2.1. Perhitungan *Head loss mayor*

Perhitungan *head loss mayor* menggunakan persamaan 2.2 harus terlebih dahulu mengetahui koefisien gesek pipa, maka dengan menggunakan data kekasaran pila PVC, angka *Reynolds* dan diameter pipa didapatkan besar nilai koefisien gesek dengan melihat diagram Moody

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0000015}{0,018} = 0,00083 \text{ m}$$

$$Re = 29356$$

Dilihat dari diagram Moody pada lampiran 2, dengan nilai perbandingan angka kekasaran pipa PVC dan diameternya maka nilai *factor friction* pada pipa PVC adalah 0,0257.

Panjang total pipa lurus pada desain perancangan alat ukur *head loss mayor* pada pipa PVC ½” adalah 2,505 meter. Maka dengan propertis pipa PVC yang memiliki koefisien gesek 0,0115 *head loss mayor* akan didapat dengan persamaan 2.2:

$$f = 0,0257$$

$$D = 0,018 \text{ m}$$

$$L = 2,505 \text{ m}$$

$$v = 1,637 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Jadi :

$$h_{L,mayor} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{L,mayor} = 0,0257 \cdot \frac{2,505 \text{ m}}{0,018 \text{ m}} \cdot \frac{(1,637 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{L,mayor} = 0,488 \text{ m}$$

#### 4.2.2. Perhitungan *Head Loss Minor* pada Tee ½”

Jumlah tee ½” pada perancangan alat ukur *head loss mayor* adalah 4 buah, dengan propertis aliran koefisien tahanan untuk tee adalah 0,4 pada tabel 2.2, maka *head loss minor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$n = 4 \qquad v = 1,637 \text{ m/s}$$

$$K = 0,4 \qquad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Jadi :

$$h_{L,minor} = n \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{L,minor} = 4 \cdot 0,4 \cdot \frac{(1,637 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{L,minor} = 0,096 \text{ m}$$

#### 4.2.3. Perhitungan *Head Loss Minor* pada Tee 1”

Jumlah tee 1” pada perancangan alat ukur *head loss mayor* adalah 3 buah, dengan propertis aliran koefisien tahanan untuk tee adalah 0,4 pada tabel 2.2, maka *head loss minor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$n = 3 \qquad v = 1,049 \text{ m/s}$$

$$K = 0,4 \qquad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Jadi :

$$h_{L,minor} = n \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{L,minor} = 3 \cdot 0,4 \cdot \frac{(1,049 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{L,minor} = 0,072 \text{ m}$$

#### 4.2.4. Perhitungan *Head Loss Minor* pada Elbow ½”

Jumlah elbow ½” pada perancangan alat ukur *head loss mayor* adalah 4 buah, dengan propertis aliran koefisien tahanan untuk elbow adalah 0,75 pada tabel 2.2, maka *head loss minor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$n = 4 \qquad v = 1,637 \text{ m/s}$$

$$K = 0,75 \qquad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Jadi :

$$h_{L,minor} = n \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{L,minor} = 4 \cdot 0,75 \cdot \frac{(1,637 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{L,minor} = 0,409 \text{ m}$$

#### 4.2.5. Perhitungan *Head Loss Minor* pada *Globe Valve ½"*

Jumlah *globe valve ½"* pada perancangan alat ukur *head loss mayor* adalah 1 buah, dengan propertis aliran koefisien tahanan untuk *globe valve* adalah 6 pada tabel 2.2, maka *head loss minor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$n = 1 \qquad v = 1,637 \text{ m/s}$$

$$K = 6 \qquad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Jadi :

$$h_{L,minor} = n \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{L,minor} = 1 \cdot 6 \cdot \frac{(1,637 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{L,minor} = 0,819 \text{ m}$$

#### 4.2.6. Perhitungan *Head Loss Minor* pada *Globe Valve 1"*

Jumlah *globe valve 1"* pada perancangan alat ukur *head loss mayor* adalah 1 buah, dengan propertis aliran koefisien tahanan untuk *globe valve* adalah 6 pada tabel 2.2, maka *head loss minor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$n = 1 \qquad v = 1,049 \text{ m/s}$$

$$K = 6 \qquad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Jadi :

$$h_{L,minor} = n \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{L,minor} = 1 \cdot 6 \cdot \frac{(1,049 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{L,minor} = 0,336 \text{ m}$$

#### 4.2.7. Perhitungan *Head Loss Minor* pada *Ball Valve ½"*

Jumlah *ball valve ½"* pada perancangan alat ukur *head loss mayor* adalah 1 buah, dengan propertis aliran koefisien tahanan untuk *ball valve* adalah 0,1 pada tabel 2.2, maka *head loss minor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$n = 1 \qquad v = 1,637 \text{ m/s}$$

$$K = 0,1 \qquad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Jadi :

$$h_{L,minor} = n \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{L,minor} = 1 \cdot 0,1 \cdot \frac{(1,637 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{L,minor} = 0,0145 \text{ m}$$

#### 4.2.8. Perhitungan *Head Loss Minor* pada *Ball Valve 1"*

Jumlah *ball valve 1"* pada perancangan alat ukur *head loss mayor* adalah 1 buah, dengan propertis aliran koefisien tahanan untuk *ball valve* adalah 0,1 pada tabel 2.2, maka *head loss minor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$n = 1 \qquad v = 1,049 \text{ m/s}$$

$$K = 0,1 \qquad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Jadi :

$$h_{L,minor} = n \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{L,minor} = 1 \cdot 0,1 \cdot \frac{(1,049 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{L,minor} = 0,006 \text{ m}$$

#### 4.2.9. Perhitungan *Head Loss Minor* pada Rotameter

Untuk mencari nilai perbedaan tekanan pada rotameter dapat digunakan persamaan 2.5 maka perbedaan tekanan yang terjadi adalah.

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

$$\Delta P = \frac{998 \text{ kg/m}^3 \cdot (1,637 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$\Delta P = 1337,204 \text{ Pa}$$

Dengan adanya nilai perbedaan tekanan maka koefisien tahanan pada rotameter dapat dicari dengan persamaan 2.4.

$$K = \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot v^2}$$

$$K = \frac{2 \cdot 1337,204 \text{ Pa}}{998 \text{ kg/m}^3 \cdot (1,637 \text{ m/s})^2}$$

$$K = 0,999$$

Maka nilai *head loss minor* pada rotameter dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

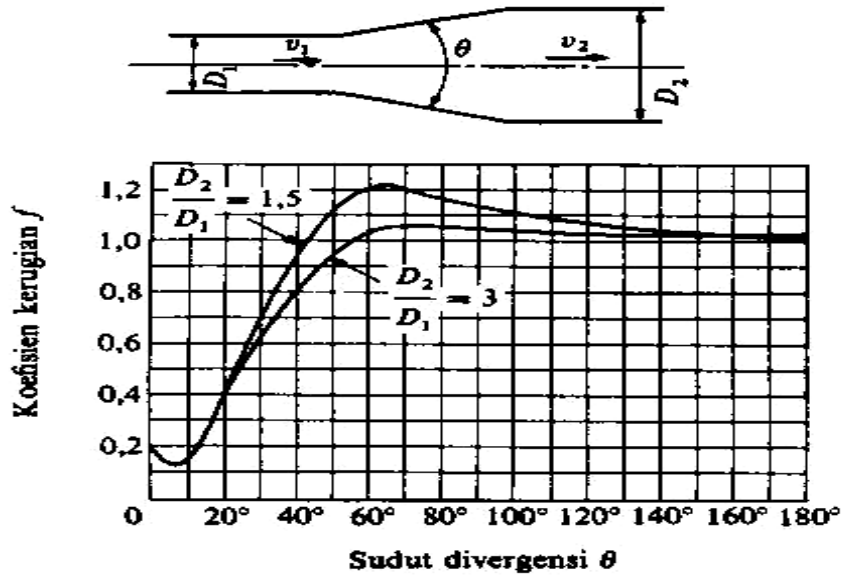
$$h_{L,minor} = n \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{L,minor} = 1 \cdot 0,999 \cdot \frac{(1,637 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{L,minor} = 0,136 \text{ m}$$

#### 4.2.10. Perhitungan *Head Loss Minor* pada *Reducer* 1 x ½"

Jumlah *reducer* 1 x ½" pada perancangan alat ukur *head loss mayor* adalah 2 buah, dengan propertis aliran koefisien tahanan untuk *ball valve* adalah 0,7 pada dengan melihat gambar 4.1  $D_2/D_1 = 1,45$  dan  $\theta = 29,9$ .



Gambar 4.1 Grafik koefisien tahanan *reducer* (Sularso, 2000)

maka *head loss minor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$n = 2 \qquad v_2 = 1,049 \text{ m/s}$$

$$K = 0,7 \qquad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$v_2 = 1,637 \text{ m/s}$$

Jadi :

$$h_{L,minor} = n \cdot K \cdot \frac{v_1^2 + v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{L,minor} = 1 \cdot 0,7 \cdot \frac{(1,637 \text{ m/s})^2 + (1,049 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{L,minor} = 0,134(m)$$

#### 4.2.11. Perhitungan *Head Loss Total*

*Head loss* total dihitung dari besar nilai *head loss mayor* dan *head loss minor* keseluruhan dari sistem perpipaan alat uji.

$$h_{L,mayor} = 0,488 \text{ m}$$

$$h_{L,minor total} = 0,09 \text{ m} + 0,072 \text{ m} + 0,409 \text{ m} + 0,819 \text{ m} + 0,336 \text{ m} \\ + 0,0145 \text{ m} + 0,006 \text{ m} + 0,136 \text{ m} + 0,134 \text{ m}$$

$$h_{L,minor total} = 2,0165 \text{ m}$$

$$\text{Head loss total} = h_{L,mayor} + h_{L,minor total}$$

$$\text{Head loss total} = 0,488 \text{ m} + 2,0165 \text{ m}$$

$$\text{Head loss total} = 2,5045 \text{ m}$$

#### 4.2.12. Perhitungan *Head Pompa*

Perbedaan tinggi pada sisi *discharge* dan sisi *suction* dengan permukaan air pada *reservoir* pada desain adalah 0,4 m. *head* tekanan desain ini adalah 0 tidak ada perbedaan tekanan karena input dan output aliran air terdapat pada satu *reservoir* maka dengan demikian dapat dihitung *head* total pompa dengan persamaan 2.9.

$$H_p = h_{statik} + \Delta h_p + h_l$$

$$H_p = h_{statik} + \frac{P_d - P_s}{\rho \cdot g} + h_l$$

$$H_p = 0,4 \text{ m} + 0 + 2,5045 \text{ m}$$

$$H_p = 2,9045 \text{ m}$$

### 4.3. Penetapan Pompa

Setelah dihitung *head* pompa maksimal yang didapatkan dari perhitungan *head* static, *head* tekanan, *head loss* adalah 2,9045 meter dan pada perhitungan maksimal dengan menggunakan besar angka *Reynolds* 29356 menghasilkan debit yang diperlukan adalah 25 LPM, maka untuk menetapkan pemilihan pompa yang sesuai dengan perancangan alat ukur *head loss mayor* ini adalah pompa yang berkapasitas lebih dari 25 LPM meter yaitu pompa 1AWZB125H1.



#### 4.4. Penetapan Rotameter

Rotameter yang sesuai pada pecarancangan untuk alat ukur *head loss mayor* ini adalah rotameter yang berkapasitas pengukurannya lebih dari 25 LPM maka rotameter yang digunakan adalah rotameter berkapasitas 1-11 LPM dan 20-150 LPM.

#### 4.5. Perhitungan Penentuan Manometer

Besar angka *Reynolds* adalah 29356, dengan propertis air dan densitas air raksa maka didapatkan panjang manometer air raksa sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\rho_{air} &= 998 \text{ kg/m}^3 & Re &= 29356 \\ \rho_{Hg} &= 13600 \text{ kg/m}^3 & \mu &= 0,0009321 \text{ kg/m.s} \\ D &= 0,018 \text{ m} & L &= 1 \text{ m} \\ f &= 0,0257 & v &= 1,637 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Maka *head loss mayor* dapat dihitung dengan persamaan 2.2:

$$\begin{aligned}h_l &= f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \\ h_l &= 0,0257 \cdot \frac{1 \text{ m}}{0,018 \text{ m}} \cdot \frac{(1,637 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ h_l &= 0,195 \text{ m} \\ \Delta P &= \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_l \\ \Delta P &= 13600 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,195 \text{ m} \\ \Delta P &= 26113,0275 \text{ Pa} \\ \Delta z &= \frac{\Delta P}{\rho_{Hg} \cdot g} \\ \Delta z &= \frac{26113,0275 \text{ Pa}}{13600 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \\ \Delta z &= 0,195 \text{ m}\end{aligned}$$

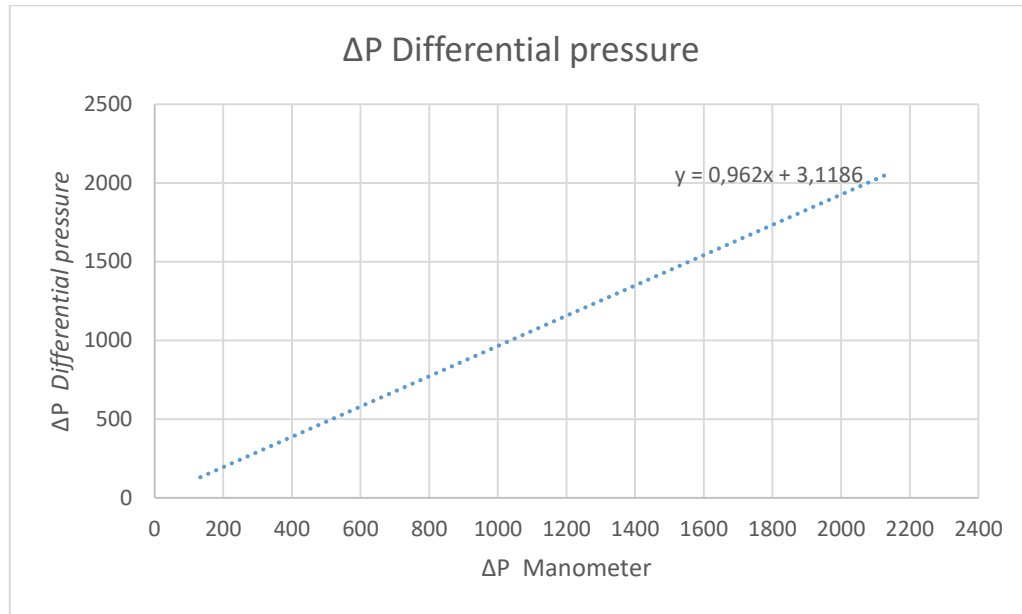
Jadi untuk panjang manometer yang digunakan untuk mengukur selisih  $\Delta z$  adalah minimal 19,5 cm, dan panjang selang yang digunakan 30 cm.

#### 4.6. Perhitungan Kalibrasi *Differential Pressure Meter*

Kalibrasi pada *differential pressure meter* bertujuan untuk memudahkan pengambilan data pada aliran laminar, transisi dan turbulen, tetapi manometer hanya dapat digunakan pada aliran turbulen karena tekanan dialiran turbulen lebih besar dibanding tekanan pada aliran laminar dan transisi. Maka untuk data awal kalibrasi diambil dari aliran turbulen, untuk memudahkan pengambilan data harus dihitung atau dikalibrasi dengan acuan manometer untuk pengukuran yang menggunakan *differential pressure meter* dengan data pada tabel 4.1 dan menghasilkan grafik kalibrasi pada gambar 4.1.

Tabel 4.1 Data awal untuk kalibrasi pada aliran turbulen

Pengujian	Debit (LPM)	$\Delta P$ differential pressure		$\Delta P$ manometer	
		InHg	Pa	$\Delta z$ (m)	Pa
1	7	0,053	179,478	0,001	133,416
2	8	0,084	284,456	0,002	266,832
3	9	0,116	392,820	0,003	400,248
4	10	0,141	477,480	0,004	533,664
5	11	0,164	555,366	0,005	667,08
6	20	0,431	1459,530	0,011	1467,576
7	22	0,504	1706,736	0,013	1734,408
8	25	0,599	2028,442	0,016	2134,656



Gambar 4.2 Grafik kalibrasi *differential pressure meter*

Gambar 4.2 menunjukkan perbedaan hasil dari pembacaan  $\Delta P$  pada alat ukur manometer dan alat *differential pressure*. Adanya sedikit perbedaan hasil tapi tetap konstan hasil  $\Delta P$  yang didapatkan mengalami kenaikan. Selisih antara hasil data eksperimen  $\Delta P$  ini mengalami deviasi dengan selisih yang sedikit. Baik alat ukur manometer maupun alat ukur *differential pressure* dapat digunakan, tetapi manometer hanya dapat digunakan pada tekanan tinggi yaitu pada aliran turbulen menunjukkan bahwa perhitungan kalibrasi hanya dapat dilakukan pada aliran turbulen dengan mendapatkan persamaan kalibrasi karena pada aliran transisi dan laminar manometer air raksa yang digunakan tidak dapat membaca selisih tekanan yang terjadi akibat faktor tekanan yang terlalu kecil maka harus menggunakan kalibrasi antara alat ukur manometer dan *differential pressure* Persamaan kalibrasi yang didapatkan pada grafik kalibrasi adalah :

$$y = 0,962x + 3,1186$$

$$\Delta P_{kalibrasi} = \frac{\Delta P_{differential\ pressure} - 3,1186}{0,962} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan data awal pada tabel 4.1 dengan percobaan pertama hasil  $\Delta P$  kalibrasi yang didapat yang didapat adalah:

$$\Delta P_{\text{differential pressure}} = 179,478 \text{ Pa}$$

Maka:

$$y = 0,962x + 3,1186$$

$$\Delta P_{\text{differential pressure}} = 0,962 \cdot \Delta P_{\text{kalibrasi}} + 3,1186$$

$$\Delta P_{\text{kalibrasi}} = \frac{\Delta P_{\text{differential pressure}} - 3,1186}{0,962}$$

$$\Delta P_{\text{kalibrasi}} = \frac{179,478 \text{ Pa} - 3,1186}{0,962}$$

$$\Delta P_{\text{kalibrasi}} = 183,326 \text{ Pa}$$

Tabel 4.2 menunjukkan semua data setelah  $\Delta P$  *differential pressure* dan  $\Delta P$  kalibrasi dikalibrasi pada percobaan uji awal.

Tabel 4.2 Tebel  $\Delta P$  *differential pressure* yang telah dikalibrasi

Pengujian	Debit (LPM)	$\Delta P_{\text{differential pressure}}$ (Pa)	$\Delta P$ kalibrasi (Pa)
1	7	133,416	183.3259
2	8	266,832	292.4504
3	9	400,248	405.0951
4	10	533,664	493.0987
5	11	667,08	574.0621
6	20	1467,576	1513.9409
7	22	1734,408	1770.9116
8	25	2134,656	2105.3254

#### 4.7. Data Awal Laminar

Tabel 4.3 merupakan hasil pengambilan data pengujian pada aliran laminar dengan debit 1-1,7 LPM.

Tabel 4.3 Data awal aliran laminar

Pengujian	Debit LPM	$\Delta P$ DPM InHg				
		1	1	0,003	0,005	0,003
2	1,1	0,003	0,005	0,003	0,004	0,003
3	1,2	0,003	0,002	0,005	0,003	0,003
4	1,3	0,004	0,001	0,002	0,003	0,004
5	1,4	0,004	0,004	0,005	0,001	0,005
6	1,5	0,005	0,005	0,001	0,006	0,005
7	1,6	0,005	0,004	0,005	0,002	0,006
8	1,7	0,006	0,004	0,006	0,003	0,005
9	1,8	0,006	0,006	0,007	0,003	0,004

Setelah mendapatkan data awal, data  $\Delta P$  *differential pressure* masih pada satuan InHg maka harus di konversi terlebih dahulu ke satuan Pa, dengan cara:

$$1 \text{ InHg} = 3386,38 \text{ Pa}$$

Jadi  $\Delta P$  pada pengujian 1 adalah:

$$\Delta P_{konversi} = \Delta P_{differential\ pressure} * 3386,38 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{konversi} = 0,003 \text{ InHg} * \frac{3386,38 \text{ Pa}}{1 \text{ InHg}}$$

$$\Delta P_{konversi} = 10,159 \text{ Pa}$$

Tabel 4.4 menunjukkan hasil konversi  $\Delta P$  dari InHg menjadi Pascal uji awal pada aliran laminar.

Tabel 4.4 Data konversi  $\Delta P$  aliran laminar

No	Debit		$\Delta P$ konversi (Pa)					Re
	LPM	m <sup>3</sup> /s						
1	1	0,000017	10,159	16,931	10,159	6,772	6,772	1174,221563
2	1,1	0,000018	10,159	16,931	10,159	13,545	10,159	1291,638788
3	1,2	0,00002	10,159	6,772	16,931	10,159	10,159	1409,063058
4	1,3	0,000022	13,545	3,386	6,772	10,159	13,545	1528,833418
5	1,4	0,000023	13,545	13,545	16,931	3,386	16,931	1643,904552
6	1,5	0,000025	16,931	16,931	3,386	20,318	16,931	1761,328822
7	1,6	0,00003	16,931	13,545	16,931	6,772	20,318	1878,753092
8	1,7	0,000028	20,318	13,545	20,318	10,159	16,931	1996,170317
9	1,8	0,00003	20,318	20,318	23.704	10,159	13,545	2113,594587

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa  $\Delta P$  konversi telah dikalibrasi dengan persamaan 4.1.

Diketahui:

$$\Delta P_{konversi} = 10,159 \text{ Pa}$$

Maka  $\Delta P$  kalibrasinya adalah:

$$\Delta P_{kalibrasi} = \frac{\Delta P_{konversi} - 3,1186}{0,962}$$

$$\Delta P_{kalibrasi} = \frac{10,159 \text{ Pa} - 3,1186}{0,962}$$

$$\Delta P_{kalibrasi} = 7,319 \text{ Pa}$$

Tabel 4.5 menunjukkan semua data setelah  $\Delta P$  yang telah terkalibrasi pada percobaan uji awal aliran laminar.

Tabel 4.5 Data  $\Delta P$  yang telah terkalibrasi

No	Debit		$\Delta P$ kalibrasi (Pa)					Re
	LPM	m <sup>3</sup> /s						
1	1	0,000017	7,319	14,359	7,319	3,799	3,799	1174,221563
2	1,1	0,000018	7,319	14,359	7,319	10,839	7,319	1291,638788
3	1,2	0,00002	7,319	3,799	14,359	7,319	7,319	1409,063058
4	1,3	0,000022	10,839	0,278	3,799	7,319	10,839	1528,833418
5	1,4	0,000023	10,839	10,839	14,359	0,278	14,359	1643,904552
6	1,5	0,000025	14,359	14,359	0,278	17,879	14,359	1761,328822
7	1,6	0,00003	14,359	10,839	14,359	3,799	17,879	1878,753092
8	1,7	0,000028	17,879	10,839	17,879	7,319	14,359	1996,170317
9	1,8	0,00003	17,879	17,879	21,399	7,319	10,839	2113,594587

#### 4.7.1. Perhitungan Penentuan Nilai Koefisien Gesek Aliran Laminar

Pengambilan data pertama untuk perhitungan aliran laminar menghasilkan data-data sebagai berikut:

$$Re = 1174,2216$$

$$D = 0,018 \text{ m}$$

$$Q = 0,000017 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$\rho = 998 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$$

$$\Delta P = 7,319 \text{ Pa}$$

Maka:

$$h_l = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$

$$h_l = \frac{7,319 \text{ Pa}}{998 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2}$$

$$h_l = 0,0007 \text{ m}$$

$$v = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2}$$

$$v = \frac{0,000017 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 4}{\pi \cdot (0,018 \text{ m})^2}$$

$$v = 0,0654 \text{ m/s}$$

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

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

$$f = \frac{0,0007 \text{ m} \cdot 0,018 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{1 \cdot 0,0654 \text{ m/s}}$$

$$f = 0,062$$

#### 4.7.2. Perhitungan Koefisien Gesek Teori Aliran Laminar

Untuk menghitung koefisien gesek teori persamaan yang digunakan adalah persamaan laminar pada tabel 2.1:

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

$$f = \frac{64}{1261,064}$$

$$f = 0,05$$

#### 4.7.3. Perhitungan Standar Deviasi

Perhitungan standar deviasi menggunakan persamaan simpangan baku dengan persamaan:

$$s^2 = \frac{(n \cdot (\sum f_{i,rata-rata})^2) - (\sum f_i^2)}{n * (n - 1)}$$



$$s^2 = \frac{(9 \cdot 0,024) - (0,212)}{9 \cdot (9 - 1)}$$

$$s^2 = 0,000083$$

$$SD = \sqrt{s^2}$$

$$SD = \sqrt{0,000083}$$

$$SD = 0,0091$$

$$SD_{rata-rata} = \left( \frac{SD}{f_{rata-rata}} \right) \cdot 100\%$$

$$SD_{rata-rata} = \left( \frac{0,0091}{0,051} \right) \cdot 100\%$$

$$SD_{rata-rata} = 17,768\%$$

#### 4.7.4. Perhitungan Deviasi

Perhitungan deviasi diperlukan untuk mengetahui besar selisih nilai koefisien gesek teori dengan koefisien gesek eksperimen

$$\Delta f = \frac{f_{eksperimen} - f_{teori}}{f_{teori}} \cdot 100\%$$

$$\Delta f = \frac{0,067 - 0,0545}{0,0545} \cdot 100\%$$

$$\Delta f = 23,77\%$$

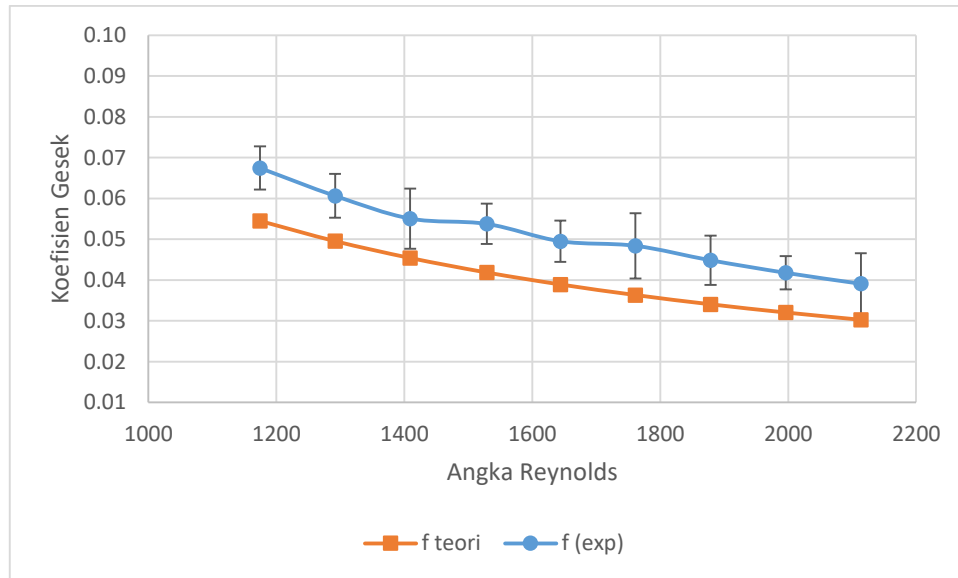
Tabel 4.6 dan tabel 4.7 adalah tabel total data hasil perhitungan koefisien gesek, *head loss* mayor, defiasi dan selisih antara hasil kefisien gesek teori dengan eksperimen.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan koefisien gesek eksperimen dan teori aliran laminar

No	Debit m <sup>3</sup> /s	Re	<i>Head loss</i> (m)					<i>f</i> eksperimen					<i>f</i> teori
1	0,000017	1174,221	0,0007	0,0015	0,0007	0,0004	0,0004	0,062	0,121	0,062	0,032	0,032	0,0545
2	0,000018	1291,638	0,0007	0,0015	0,0007	0,0011	0,0007	0,051	0,100	0,051	0,075	0,051	0,0495
3	0,00002	1409,063	0,0007	0,0004	0,0015	0,0007	0,0007	0,043	0,022	0,084	0,043	0,043	0,0454
4	0,000022	1528,833	0,0011	0,0000	0,0004	0,0007	0,0011	0,054	0,001	0,019	0,036	0,054	0,0419
5	0,000023	1643,904	0,0011	0,0011	0,0015	0,0000	0,0015	0,047	0,047	0,062	0,001	0,062	0,0389
6	0,000025	1761,328	0,0015	0,0015	0,0000	0,0018	0,0015	0,054	0,054	0,001	0,067	0,054	0,0363
7	0,00003	1878,753	0,0015	0,0011	0,0015	0,0004	0,0018	0,047	0,036	0,047	0,012	0,059	0,0341
8	0,000028	1996,170	0,0018	0,0011	0,0018	0,0007	0,0015	0,052	0,032	0,052	0,021	0,042	0,0321
9	0,000017	2113,594	0,0018	0,0018	0,0022	0,0007	0,0011	0,046	0,046	0,056	0,019	0,028	0,0303

Tabel 4.7 Standar deviasi dan deviasi koefisien gesek aliran laminar

No	Debit m <sup>3</sup> /s	n	<i>f</i> eksperimen					<i>f</i> eksperimen rata-rata	<i>f</i> teori	( $\Sigma \hat{f}_i$ ) <sup>2</sup>	Deviasi (%)
1	0,000017	9	0,062	0,121	0,062	0,032	0,032	0,067	0,0545	0,0046	23,77
2	0,000018	9	0,051	0,100	0,051	0,075	0,051	0,061	0,0495	0,0037	22,40
3	0,00002	9	0,043	0,022	0,084	0,043	0,043	0,055	0,0454	0,0030	21,25
4	0,000022	9	0,054	0,001	0,019	0,036	0,054	0,054	0,0419	0,0029	28,44
5	0,000023	9	0,047	0,047	0,062	0,001	0,062	0,050	0,0389	0,0025	27,20
6	0,000025	9	0,054	0,054	0,001	0,067	0,054	0,048	0,0363	0,0023	33,21
7	0,00003	9	0,047	0,036	0,047	0,012	0,059	0,045	0,0341	0,0020	31,67
8	0,000028	9	0,052	0,032	0,052	0,021	0,042	0,042	0,0321	0,0017	30,31
9	0,000017	9	0,046	0,046	0,056	0,019	0,028	0,039	0,0303	0,0015	29,11
Deviasi rata-rata %			27,48								
<i>f</i> rata-rata			0,051								
$\Sigma \hat{f}_i^2$ rata-rata			0,212								
(Σ <i>f</i> <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> rata-rata			0,024								
Standar deviasi %			17,77								



Gambar 4.3 Grafik perbandingan koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori aliran laminar

Berdasarkan pada gambar 4.4 untuk titik tertinggi koefisien gesek teori terjadi pada angka *Reynolds* paling rendah dan secara kontinyu menurun seiring membesarnya angka *Reynolds*, karena untuk perhitungan koefisien gesek teori pada aliran laminar yang terdapat pada tabel 2.1 menunjukkan bahwa koefisien gesek berbanding terbalik dengan angka *Reynolds*. Untuk koefisien gesek eksperimen maupun teori menunjukkan nilai yang sama-sama menurun maka hasil eksperimen menunjukkan hasil yang bagus.

Deviasi nilai koefisien gesek pada aliran laminar antara nilai koefisien gesek teori dengan nilai koefisien gesek eksperimen adalah 27,48% nilai ini cukup besar. Tetapi masih dapat digunakan karena pada aliran laminar tekanan yang dihasilkan aliran terlalu kecil hingga alat ukur yang digunakan kurang peka terhadap perbedaan tekan yang kecil, meskipun untuk nilai koefisien gesek pada eksperimen seperti koefisien gesek pada teori sama-sama menurun terhadap besar angka *Reynolds* tetapi deviasinya cukup besar. Karena data eksperimen dihitung dari berbagai data yang didapat dari hasil pengamatan alat, dan faktor lainnya seperti ukuran maupun kesamaan alat yang

digunakan pada penelitian maupun perancangan saat pencarian rumus koefisien gesek teori berbeda baik dari ukuran diameter pipa, panjang pipa dan lain sebagainya menyebabkan selisih itu terjadi. Ini terjadi karena berbagai faktor seperti berbedanya alat uji, dan nilai koefisien gesek pada perhitungan teori hanya bergantung pada besar nilai angka *Reynolds*nya saja berbeda dengan eksperimen yang datanya rill eksperimen.

#### 4.8. Data Awal Transisi

Tabel 4.8 merupakan hasil pengambilan data pengujian pada aliran transisi dengan debit 2-3,1 LPM.

Tabel 4.8 Data awal aliran transisi

Pengujian	Debit LPM	$\Delta P$ DPM InHg				
		1	2	0,009	0,01	0,009
2	2,1	0,009	0,01	0,01	0,009	0,009
3	2,2	0,01	0,008	0,011	0,01	0,011
4	2,3	0,01	0,011	0,012	0,011	0,01
5	2,4	0,011	0,012	0,012	0,011	0,011
6	2,5	0,011	0,013	0,012	0,013	0,012
7	2,6	0,012	0,012	0,014	0,014	0,013
8	2,7	0,013	0,013	0,015	0,015	0,013
9	2,8	0,014	0,013	0,015	0,015	0,016
10	2,9	0,014	0,015	0,016	0,016	0,016

Setelah mendapatkan data awal, data  $\Delta P$  *differential pressure* masih pada satuan InHg maka harus di konversi terlebih dahulu ke satuan Pa, dengan cara:

$$1 \text{ InHg} = 3386,38 \text{ Pa}$$

Jadi  $\Delta P$  pada pengujian 1 adalah:

$$\Delta P_{\text{konversi}} = \Delta P_{\text{differential pressure}} * 3386,38 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{konversi} = 0,009 \text{ InHg} * \frac{3386,38 \text{ Pa}}{1 \text{ InHg}}$$

$$\Delta P_{konversi} = 30,477 \text{ Pa}$$

Tabel 4.9 menunjukkan hasil konversi  $\Delta P$  dari InHg menjadi Pascal uji awal pada aliran transisi.

Tabel 4.9 Data konversi  $\Delta P$  aliran transisi

No	Debit		$\Delta P$ konversi (Pa)					Re
	LPM	m <sup>3</sup> /s						
1	2	$3,33 \cdot 10^{-5}$	30,477	33,864	30,477	27,091	27,091	2348,43
2	2,1	$3,50 \cdot 10^{-5}$	30,477	33,864	33,864	30,477	30,477	2465,86
3	2,2	$3,66 \cdot 10^{-5}$	33,864	27,091	37,250	33,864	37,250	2583,28
4	2,3	$3,83 \cdot 10^{-5}$	33,864	37,250	40,637	37,250	33,864	2700,70
5	2,4	$4,0 \cdot 10^{-5}$	37,250	40,637	40,637	37,250	37,250	2818,12
6	2,5	$4,16 \cdot 10^{-5}$	37,250	44,023	40,637	44,023	40,637	2935,54
7	2,6	$4,33 \cdot 10^{-5}$	40,637	40,637	47,409	47,409	44,023	3052,97
8	2,7	$4,50 \cdot 10^{-5}$	44,023	44,023	50,796	50,796	44,023	3170,39
9	2,8	$4,66 \cdot 10^{-5}$	47,409	44,023	50,796	50,796	54,182	3287,81
10	2,9	$4,83 \cdot 10^{-5}$	47,409	50,796	54,182	54,182	54,182	3405,23

Tabel 4.10 menunjukkan bahwa  $\Delta P$  konversi telah dikalibrasi dengan persamaan 4.1.

Diketahui:

$$\Delta P_{konversi} = 30,477 \text{ Pa}$$

Maka  $\Delta P$  kalibrasinya adalah:

$$\Delta P_{kalibrasi} = \frac{\Delta P_{konversi} - 3,1186}{0,962}$$

$$\Delta P_{kalibrasi} = \frac{30,477 \text{ Pa} - 3,1186}{0,962}$$

$$\Delta P_{kalibrasi} = 28,44 \text{ Pa}$$

Tabel 4.10 menunjukkan semua data setelah  $\Delta P$  yang telah terkalibrasi pada percobaan uji awal aliran transisi.

Tabel 4.10 Data  $\Delta P$  yang telah terkalibrasi

No	Debit		$\Delta P$ kalibrasi (Pa)					Re
	LPM	m <sup>3</sup> /s						
1	2	$3,33 \cdot 10^{-5}$	28,440	31,960	28,440	24,919	24,919	2348,43
2	2,1	$3,50 \cdot 10^{-5}$	28,440	31,960	31,960	28,440	28,440	2465,86
3	2,2	$3,66 \cdot 10^{-5}$	31,960	24,919	35,480	31,960	35,480	2583,28
4	2,3	$3,83 \cdot 10^{-5}$	31,960	35,480	39,000	35,480	31,960	2700,70
5	2,4	$4,0 \cdot 10^{-5}$	35,480	39,000	39,000	35,480	35,480	2818,12
6	2,5	$4,16 \cdot 10^{-5}$	35,480	42,520	39,000	42,520	39,000	2935,54
7	2,6	$4,33 \cdot 10^{-5}$	39,000	39,000	46,040	46,040	42,520	3052,97
8	2,7	$4,50 \cdot 10^{-5}$	42,520	42,520	49,560	49,560	42,520	3170,39
9	2,8	$4,66 \cdot 10^{-5}$	46,040	42,520	49,560	49,560	53,081	3287,81
10	2,9	$4,83 \cdot 10^{-5}$	46,040	49,560	53,081	53,081	53,081	3405,23

#### 4.8.1. Perhitungan Penentuan Nilai Koefisien Gesek Aliran Transisi

Pengambilan data pertama untuk perhitungan aliran transisi menghasilkan data-data sebagai berikut:

$$Re = 2348,438$$

$$D = 0,018 \text{ m}$$

$$Q = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$\rho = 998 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$$

$$\Delta P = 28,44 \text{ Pa}$$

Maka:

$$h_l = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$

$$h_l = \frac{28,44 \text{ Pa}}{998 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_l = 0,0029 \text{ m}$$

$$v = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2}$$

$$v = \frac{3,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 4}{\pi \cdot (0,018 \text{ m})^2}$$

$$v = 0,13 \text{ m/s}$$

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

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

$$f = \frac{0,0029 \text{ m} \cdot 0,018 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{1 \cdot 0,13 \text{ m/s}}$$

$$f = 0,06$$

#### 4.8.2. Perhitungan Koefisien Gesek Teori Aliran Transisi

Untuk menghitung koefisien gesek teori persamaan yang digunakan adalah persamaan transisi pada tabel 2.1:

Asumsi nilai  $f = 0,047$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,14 - 2 \log \left\{ \frac{\varepsilon}{D} + \frac{9,35}{Re \cdot \sqrt{f}} \right\}$$



$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,14 - 2\log \left\{ \frac{0,0000015}{0,018} + \frac{9,35}{2348,438 \cdot \sqrt{f}} \right\}$$

$$\frac{1}{\sqrt{0,046}} = 1,14 - 2\log \left\{ \frac{0,0000015}{0,018} + \frac{9,35}{2348,438 \cdot \sqrt{0,046}} \right\}$$

$$4,66 = 4,66$$

Karena nilai  $f$  diatas sama maka nilai koefisien koefisien geseknya yang digunakan adalah  $f = 0,047$

#### 4.8.3. Perhitungan Standar Deviasi

Perhitungan standar deviasi menggunakan persamaan simpangan baku dengan persamaan:

$$s^2 = \frac{(n \cdot (\sum f_{i,rata-rata})^2) - (\sum f_i^2)}{n * (n - 1)}$$

$$s^2 = \frac{(10 \cdot 0,0293) - (0,293)}{10 \cdot (10 - 1)}$$

$$s^2 = 0,0000056$$

$$SD = \sqrt{s^2}$$

$$SD = \sqrt{0,0000056}$$

$$SD = 0,0023$$

$$SD_{rata-rata} = \left( \frac{SD}{f_{rata-rata}} \right) \cdot 100\%$$

$$SD_{rata-rata} = \left( \frac{0,0023}{0,054} \right) \cdot 100\%$$

$$SD_{rata-rata} = 4,36\%$$

#### 4.8.4. Perhitungan Deviasi

Perhitungan deviasi diperlukan untuk mengetahui besar selisih nilai koefisien gesek teori dengan koefisien gesek eksperimen

$$\Delta f = \frac{f_{\text{eksperimen}} - f_{\text{teori}}}{f_{\text{teori}}} \cdot 100\%$$

$$\Delta f = \frac{0,058 - 0,0471}{0,0471} \cdot 100\%$$

$$\Delta f = 23,79\%$$

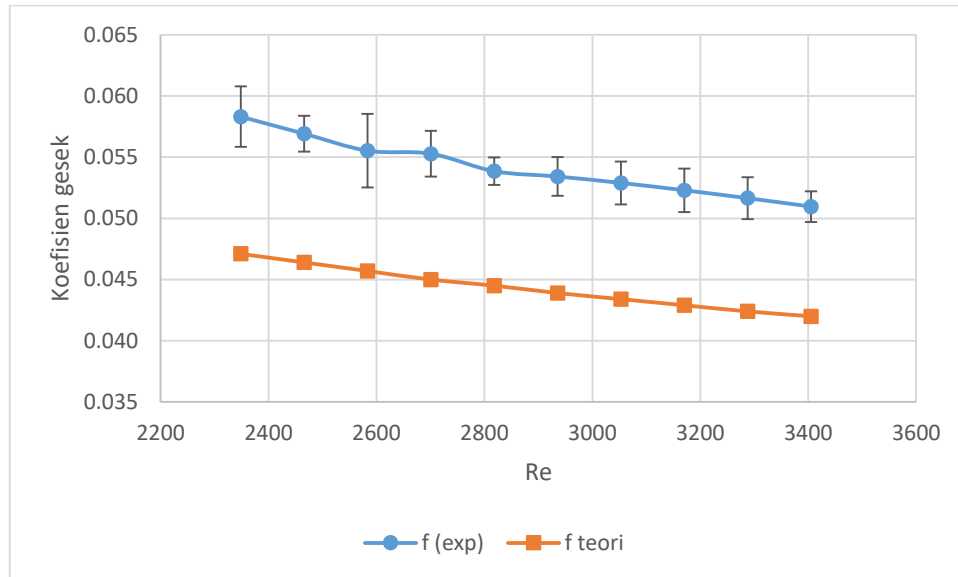
Tabel 4.11 dan tabel 4.12 adalah tabel total data hasil perhitungan koefisien gesek, *head loss* mayor, defiasi dan selisih antara hasil kefisien gesek teori dengan eksperimen.

Tabel 4.11 Hasil perhitungan koefisien gesek eksperimen dan teori aliran transisi

No	Debit m <sup>3</sup> /s	Re	<i>Head loss</i> (m)					<i>f</i> eksperimen					<i>f</i> teori
1	3,33 . 10 <sup>-5</sup>	2348,43	0,0029	0,0033	0,0029	0,0025	0,0025	0,060	0,067	0,060	0,052	0,052	0,0471
2	3,50 . 10 <sup>-5</sup>	2465,86	0,0029	0,0033	0,0033	0,0029	0,0029	0,054	0,061	0,061	0,054	0,054	0,0464
3	3,66 . 10 <sup>-5</sup>	2583,28	0,0033	0,0025	0,0036	0,0033	0,0036	0,056	0,043	0,062	0,056	0,062	0,0457
4	3,83 . 10 <sup>-5</sup>	2700,70	0,0033	0,0036	0,0040	0,0036	0,0033	0,051	0,056	0,062	0,056	0,051	0,045
5	4,0 . 10 <sup>-5</sup>	2818,12	0,0036	0,0040	0,0040	0,0036	0,0036	0,052	0,057	0,057	0,052	0,052	0,0445
6	4,16 . 10 <sup>-5</sup>	2935,54	0,0036	0,0043	0,0040	0,0043	0,0040	0,048	0,057	0,052	0,057	0,052	0,0439
7	4,33 . 10 <sup>-5</sup>	3052,97	0,0040	0,0040	0,0047	0,0047	0,0043	0,049	0,049	0,057	0,057	0,053	0,0434
8	4,50 . 10 <sup>-5</sup>	3170,39	0,0043	0,0043	0,0051	0,0051	0,0043	0,049	0,049	0,057	0,057	0,049	0,0429
9	4,66 . 10 <sup>-5</sup>	3287,81	0,0047	0,0043	0,0051	0,0051	0,0054	0,049	0,046	0,053	0,053	0,057	0,0424
10	4,83 . 10 <sup>-5</sup>	3405,23	0,0047	0,0051	0,0054	0,0054	0,0054	0,046	0,050	0,053	0,053	0,053	0,042

Tabel 4.12 Standar deviasi dan deviasi koefisien gesek aliran transisi

No	Debit m <sup>3</sup> /s	n	<i>f</i> eksperimen					<i>f</i> eksperimen rata-rata	<i>f</i> teori	( $\Sigma \hat{f}_i$ ) <sup>2</sup>	Deviasi (%)
1	0,000033	10	0,060	0,067	0,060	0,052	0,052	0,058	0,0471	0,0034	23,79
2	0,000035	10	0,054	0,061	0,061	0,054	0,054	0,057	0,0464	0,0032	22,66
3	0,000037	10	0,056	0,043	0,062	0,056	0,062	0,056	0,0457	0,0031	21,50
4	0,000038	10	0,051	0,056	0,062	0,056	0,051	0,055	0,045	0,0031	22,84
5	0,000040	10	0,052	0,057	0,057	0,052	0,052	0,054	0,0445	0,0029	21,02
6	0,000042	10	0,048	0,057	0,052	0,057	0,052	0,053	0,0439	0,0029	21,68
7	0,000043	10	0,049	0,049	0,057	0,057	0,053	0,053	0,0434	0,0028	21,87
8	0,000045	10	0,049	0,049	0,057	0,057	0,049	0,052	0,0429	0,0027	21,90
9	0,000047	10	0,049	0,046	0,053	0,053	0,057	0,052	0,0424	0,0027	21,81
10	0,000048	10	0,046	0,050	0,053	0,053	0,053	0,051	0,042	0,0026	21,34
Deviasi rata-rata %			22,04								
<i>f</i> rata-rata			0,054								
$\Sigma \hat{f}_i^2$ rata-rata			0,293								
( $\Sigma \hat{f}_i$ ) <sup>2</sup> rata-rata			0,029								
Standar deviasi %			4,362								



Gambar 4.4 Grafik perbandingan koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori aliran transisi

Berdasarkan pada gambar 4.4 untuk titik tertinggi nilai koefisien gesek terdapat pada titik pertama di Re 2348,438 baik pada koefisien gesek teori maupun koefisien gesek eksperimen, dan mengecil secara kontinyu dari titik pertama sampai titik kesepuluh yang berada di Re 3405,235. Deviasi yang terjadi pada aliran transisi ini adalah 22,04%. Ini terjadi karena perhitungan koefisien gesek pada teori hanya bergantung pada nilai kekasaran pipa, dan diameter pipa, berbeda dengan nilai koefisien gesek pada eksperimen itu harus mendapatkan data  $\Delta P$  yang hasilnya itu tidak selalu benar atau sesuai dari 5 kali pengambilan data pada tiap debit aliran. Dengan nilai deviasi sebesar 22,04% maka pada aliran transisi ini termasuk cukup kecil, kesamaan membesarnya nilai  $\Delta P$  terhadap besar nilai angka *Reynolds*, menandakan bahwa alat ukur *head loss mayor* ini cukup baik digunakan pada aliran transisi.

Untuk aliran transisi yang debit dan kecepatan aliran fluidanya lebih besar dibanding pada aliran laminar menyebabkan alat ukur *differential pressure* sedikit lebih mudah untuk membaca selisih tekanan yang terjadi. Maka hasil koefisien gesek

eksperimen pada aliran transisi tidak ada kenaikan hanya ada kesamaan hasil pada beberapa titik. Nilai  $\Delta P$  yang didapatkan pada eksperimen itu membesar secara kontinyu dengan membesarnya nilai angka *Reynolds*, nilai  $\Delta P$ nya semakin besar karena itu *head loss mayor* yang didapatkan membesar juga. Hasil data dari aliran transisi ini termasuk data yang bagus, karena nilai koefisien gesek teori dan nilai koefisien gesek eksperimen sama-sama turun.

#### 4.9. Data Awal Turbulen

Tabel 4.13 merupakan hasil pengambilan data pengujian pada aliran turbulen dengan debit 7-25 LPM.

Tabel 4.13 Data awal aliran turbulen

Pengujian	Debit LPM	$\Delta P$ DPM InHg				
		1	7	0,053	0,088	0,078
2	8	0,084	0,137	0,079	0,074	0,031
3	9	0,116	0,148	0,096	0,115	0,068
4	10	0,141	0,168	0,154	0,132	0,076
5	11	0,164	0,206	0,174	0,146	0,108
6	20	0,431	0,532	0,466	0,322	0,385
7	22	0,504	0,612	0,496	0,453	0,397
8	25	0,599	0,651	0,578	0,586	0,474

Setelah mendapatkan data awal, data  $\Delta P$  *differential pressure* masih pada satuan InHg maka harus di konversi terlebih dahulu ke satuan Pa, dengan cara:

$$1 \text{ InHg} = 3386,38 \text{ Pa}$$

Jadi  $\Delta P$  pada pengujian 1 adalah:

$$\Delta P_{\text{konversi}} = \Delta P_{\text{differential pressure}} * 3386,38 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{konversi}} = 0,053 \text{ InHg} * \frac{3386,38 \text{ Pa}}{1 \text{ InHg}}$$

$$\Delta P_{konversi} = 179,5 \text{ Pa}$$

Tabel 4.14 menunjukkan hasil konversi  $\Delta P$  dari InHg menjadi Pascal uji awal pada aliran turbulen.

Tabel 4.14 Data konversi  $\Delta P$  aliran turbulen

No	Debit		$\Delta P$ konversi (Pa)					Re
	LPM	m3/s						
1	7	0,000117	179,5	298,0	264,1	149,0	33,9	8219,56
2	8	0,000133	284,5	463,9	267,5	250,6	105,0	9393,73
3	9	0,000150	392,8	501,2	325,1	389,4	230,3	10567,97
4	10	0,000167	477,5	568,9	521,5	447,0	257,4	11742,22
5	11	0,000183	555,4	697,6	589,2	494,4	365,7	12916,39
6	20	0,000333	1459,5	1801,6	1578,1	1090,4	1303,8	23484,36
7	22	0,000367	1706,7	2072,5	1679,6	1534,0	1344,4	25832,85
8	25	0,000417	2028,4	2204,5	1957,3	1984,4	1605,1	29355,50

Tabel 4.15 menunjukkan bahwa  $\Delta P$  konversi telah dikalibrasi dengan persamaan 4.1.

Diketahui:

$$\Delta P_{konversi} = 179,5 \text{ Pa}$$

Maka  $\Delta P$  kalibrasinya adalah:

$$\Delta P_{kalibrasi} = \frac{\Delta P_{konversi} - 3,1186}{0,962}$$

$$\Delta P_{kalibrasi} = \frac{179,5 \text{ Pa} - 3,1186}{0,962}$$

$$\Delta P_{kalibrasi} = 183,33 \text{ Pa}$$

Tabel 4.15 menunjukkan semua data setelah  $\Delta P$  yang telah terkalibrasi pada percobaan uji awal aliran turbulen.

Tabel 4.15 Data  $\Delta P$  yang telah terkalibrasi

No	Debit		$\Delta P$ kalibrasi (Pa)					Re
	LPM	m <sup>3</sup> /s						
1	7	0,000117	183,33	306,53	271,33	151,64	31,96	8219,56
2	8	0,000133	292,45	479,02	274,85	257,25	105,88	9393,73
3	9	0,000150	405,10	517,74	334,69	401,57	236,13	10567,97
4	10	0,000167	493,10	588,14	538,86	461,42	264,29	11742,22
5	11	0,000183	574,06	721,91	609,26	510,70	376,93	12916,39
6	20	0,000333	1513,94	1869,48	1637,15	1130,25	1352,01	23484,36
7	22	0,000367	1770,91	2151,09	1742,75	1591,38	1394,26	25832,85
8	25	0,000417	2105,33	2288,37	2031,40	2059,56	1665,31	29355,50

#### 4.9.1. Perhitungan Penentuan Nilai Koefisien Gesek Aliran Turbulen

Pengambilan data pertama untuk perhitungan aliran turbulen menghasilkan data-data sebagai berikut:

$$Re = 8219,557$$

$$D = 0,018 \text{ m}$$

$$Q = 0,000117 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$\rho = 998 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$$

$$\Delta P = 183,33 \text{ Pa}$$

Maka:

$$h_l = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$

$$h_l = \frac{183,33 \text{ Pa}}{998 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2}$$

$$h_l = 0,019 \text{ m}$$



$$v = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2}$$

$$v = \frac{0,000117 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 4}{\pi \cdot (0,018 \text{ m})^2}$$

$$v = 0,4584 \text{ m/s}$$

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

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

$$f = \frac{0,019 \text{ m} \cdot 0,018 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{1 \cdot 0,4584 \text{ m/s}}$$

$$f = 0,031$$

#### 4.9.2. Perhitungan Koefisien Gesek Teori Aliran Turbulen

Untuk menghitung koefisien gesek teori persamaan yang digunakan adalah persamaan turbulen (*smooth pipe*) pada tabel 2.1:

Asumsi nilai  $f = 0.0331$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(Re \cdot \sqrt{f}) - 0.8$$

$$\frac{1}{\sqrt{0.033}} = 2 \log(8219,557 \cdot \sqrt{0.033}) - 0.8$$

$$5,5 = 5,5$$

Karena nilai  $f$  diatas sama maka nilai koefisien koefisien geseknya yang digunakan adalah  $f = 0,0331$

#### 4.9.3. Perhitungan Standar Deviasi

Perhitungan standar deviasi menggunakan persamaan simpangan baku dengan persamaan:

$$s^2 = \frac{(n \cdot (\sum f_{i,rata-rata})^2) - (\sum f_i^2)}{n * (n - 1)}$$

$$s^2 = \frac{(8 \cdot 0,0097) - (0,0,076)}{8 \cdot (8 - 1)}$$

$$s^2 = 0,0000225$$

$$SD = \sqrt{s^2}$$

$$SD = \sqrt{0,0000225}$$

$$SD = 0,004$$

$$SD_{rata-rata} = \left( \frac{SD}{f_{rata-rata}} \right) \cdot 100\%$$

$$SD_{rata-rata} = \left( \frac{0,004}{0,034} \right) \cdot 100\%$$

$$SD_{rata-rata} = 13,75\%$$

#### 4.9.4. Perhitungan Deviasi

Perhitungan deviasi diperlukan untuk mengetahui besar selisih nilai koefisien gesek teori dengan koefisien gesek eksperimen

$$\Delta f = \frac{f_{eksperimen} - f_{teori}}{f_{teori}} \cdot 100\%$$

$$\Delta f = \frac{0,0324 - 0,0314}{0,0281} \cdot 100\%$$

$$\Delta f = 17,96\%$$

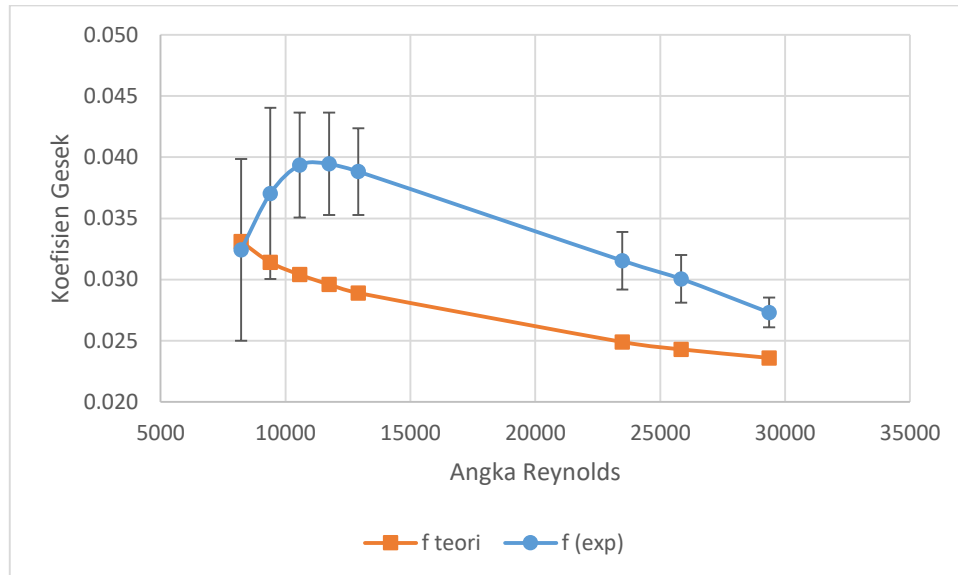
Tabel 4.16 dan tabel 4.17 adalah tabel total data hasil perhitungan koefisien gesek, *head loss* mayor, defiasi dan selisih antara hasil kefisien gesek teori dengan eksperimen.

Tabel 4.16 Hasil perhitungan koefisien gesek eksperimen dan teori aliran turbulen

No	Debit m <sup>3</sup> /s	Re	<i>Head loss</i> (m)					<i>f</i> eksperimen					<i>f</i> teori
1	0,000117	8219,56	0,019	0,031	0,028	0,015	0,003	0,031	0,053	0,047	0,026	0,005	0,0331
2	0,000133	9393,73	0,030	0,049	0,028	0,026	0,011	0,038	0,063	0,036	0,034	0,014	0,0314
3	0,000150	10567,97	0,041	0,053	0,034	0,041	0,024	0,042	0,054	0,035	0,042	0,025	0,0304
4	0,000167	11742,22	0,050	0,060	0,055	0,047	0,027	0,041	0,049	0,045	0,039	0,022	0,0296
5	0,000183	12916,39	0,059	0,074	0,062	0,052	0,039	0,040	0,050	0,042	0,035	0,026	0,0289
6	0,000333	23484,36	0,155	0,191	0,167	0,115	0,138	0,032	0,039	0,034	0,024	0,028	0,0249
7	0,000367	25832,85	0,181	0,220	0,178	0,163	0,142	0,031	0,037	0,030	0,028	0,024	0,0243
8	0,000417	29355,50	0,215	0,234	0,207	0,210	0,170	0,028	0,031	0,027	0,028	0,022	0,0236

Tabel 4.17 Standar deviasi dan deviasi koefisien gesek aliran turbulen

No	Debit m <sup>3</sup> /s	n	$f_{eksperimen}$					$f_{eksperimen}$ rata-rata	$f_{teori}$	$(\sum fi)^2$	Deviasi (%)
1	0,000117	8	0,031	0,053	0,047	0,026	0,005	0,03243	0,0331	0,0034	2,03
2	0,000133	8	0,038	0,063	0,036	0,034	0,014	0,03704	0,0314	0,0032	17,96
3	0,000150	8	0,042	0,054	0,035	0,042	0,025	0,03935	0,0304	0,0031	29,44
4	0,000167	8	0,041	0,049	0,045	0,039	0,022	0,03945	0,0296	0,0031	33,28
5	0,000183	8	0,040	0,050	0,042	0,035	0,026	0,03882	0,0289	0,0029	34,32
6	0,000333	8	0,032	0,039	0,034	0,024	0,028	0,03155	0,0249	0,0029	26,69
7	0,000367	8	0,031	0,037	0,030	0,028	0,024	0,03006	0,0243	0,0028	23,70
8	0,000417	8	0,028	0,031	0,027	0,028	0,022	0,02731	0,0236	0,0027	15,73
Deviasi rata-rata %			22,39								
$f$ rata-rata			0,0345								
$\sum fi^2$ rata-rata			0,0762								
$(\sum fi)^2$ rata-rata			0,0097								
Standar deviasi %			13,751								



Gambar 4.5 Grafik perbandingan koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori aliran turbulen

Berdasarkan gambar 4.4 terdapat kenaikan pada titik pertama sampai ketiga, kemudian turun secara kontinyu dititik ketiga sampai kebelapan. Grafik koefisien kekasaran teori pada gambar 4.4 menurut persamaan pada tabel 2.1 aliran turbulen pembeda nilai pada koefisien gesek hanya nilai kekasaran pipa, angka *Reynolds* dan diameter pipa, maka hasil dari grafiknya menunjukkan nilai yang menurun. Sedangkan pada nilai koefisien gesek eksperimen tidak konstan, ini karena aliran turbulen memiliki tekanan yang lebih besar, dan pasti koefisien geseknya akan berbeda-beda karena nilai  $\Delta P$  yang didapat berbeda-beda. Koefisien gesek akan lebih kecil apabila dicari dengan persamaan 2.6 karena debitnya lebih besar maka kecepatannya akan lebih besar yang akan mengecilkan nilai koefisien gesek. Besar nilai deviasi dari eksperimen pengambilan data aliran turbulen ini adalah 22,39%. Ini menunjukkan bahwa besar nilai koefisien gesek pada aliran turbulen cukup kecil semakin mendekati teori karena lebih kecil dibanding hasil deviasi aliran laminar.

Pada hasil pembacaan *differential pressure* menunjukkan bahwa  $\Delta P$  pada titik pertama sampai titik kedelapan mendapatkan hasil yang meningkat, yang menyebabkan

*head loss* pada semua titik meningkat juga, tetapi tidak dengan hasil koefisien geseknya. Pada koefisien gesek eksperimen terdapat kenaikan pada titik pertama sampai titik ketiga. Ini disebabkan karena besar nilai kecepatan pada titik pertama sampai titik ketiga lebih dominan dan menyebabkan hasil koefisien gesek menjadi meningkat. Pada nilai  $Re$  dibawah 10000 pada eksperimen aliran turbulen kecepatan aliran belum bisa menangani besar selisih tekanan yang terjadi, dan apabila nilai  $Re$  diatas 10000 kecepatan aliran sudah dapat menangani selisih tekanan yang terjadi.

Kenaikan pada titik pertama sampai titik ketiga ini disebabkan karena selisih tekanan yang diukur pada pipa lurus satu meter terdapat pada dinding bawah pipa atau tekanan statik. Dengan begitu mungkin alat ukur *differential pressure meter* sulit untuk membaca selisih tekanan karena kurang peka walaupun pada debit aliran yang cukup besar.

Hasil data perhitungan deviasi dan standar deviasi koefisien gesek pada aliran laminar, transisi, dan turbulen dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4.18 Standar deviasi dan deviasi koefisien gesek aliran laminar, transisi, dan turbulen

Koefisien gesek aliran laminar										Rata-rata Deviasi	
Deviasi %	23,77	22,4	21,25	28,44	27,2	33,21	31,67	30,31	29,11	27,48	
Standar Deviasi %	17,768										
Koefisien gesek aliran transisi										Rata-rata Deviasi	
Deviasi %	23,79	22,66	21,5	22,84	21,02	21,68	21,87	21,9	2,81	21,34	22,04
Standar Deviasi %	4,362										
Koefisien gesek aliran turbulen										Rata-rata Deviasi	
Deviasi %	2,03	17,96	29,44	33,28	34,32	26,69	23,7	15,73		22,39	
Standar Deviasi %	13,75										

Keterangan:

1. Untuk aliran laminar, persamaa koefisien gesek menurut persamaan Hegen.
2. Untuk aliran transisi, persamaa koefisien gesek menurut persamaan Colebrook dan White.
3. Untuk aliran turbulen (pipa halus), persamaa koefisien gesek menurut persamaan Von Karman's.