

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pembahasan pada bab IV ini merupakan tentang analisis data dan pembahasan, dengan data yang telah diperoleh dengan berbagai variasi. Data tersebut merupakan data dari hasil pengujian, sehingga data-data tersebut dapat diolah menjadi variable yang diinginkan kemudian dilakukan pembahasan. Pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui head loss mayor dan koefisien gesek yang terjadi pada fasa rejim aliran laminar menggunakan pipa PVC. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengatur debit aliran yang keluar dari pompa dan masuk ke dalam pipa dengan menggunakan 2 buah gate valve. Gate valve yang pertama digunakan untuk mengatur aliran yang masuk ke dalam pipa pengukuran dan yang kedua digunakan untuk membuang debit aliran yang berlebih yang keluar dari pompa untuk dikembalikan ke wadah pemasok air.

#### **4.1 Perhitungan Kalibrasi *Differential Pressure***

Pada saat kalibrasi *differential pressure* penelitian ini menggunakan manometer air raksa sebagai acuan. Pada penelitian ini menggunakan air raksa dikarenakan memiliki kepekaan yang sangat tinggi. Pada perhitungan kalibrasi juga memiliki kelemahan tidak mampu mengukur dibawah 1 mm, sedangkan untuk aliran laminar pengukuran perbedaan tekanan dibawah 1 mm, jadi untuk aliran laminar manometer air raksa hanya digunakan untuk sebagai kalibrasi tidak bisa untuk mengukur. Untuk mengkalibrasi menggunakan persamaan yang berasal dari data awal kalibrasi pada table 4.1 dan menjadi grafik kalibrasi antara  $\Delta p$  *differential pressure* dengan  $\Delta p$  manometer pada gambar 4.1 sehingga mendapat  $\Delta p$  *differential pressure* setelah kalibrasi. Pada  $\Delta p$  *differential pressure* data didapatkan dari alat *differential pressure* sedangkan untuk  $\Delta p$  manometer berasal dari  $\Delta z$  dari manometer.

Pada kalibrasi selisih ketinggian atau  $\Delta z$  yang didapatkan pada debit aliran.

$$Q = 25 \text{ LPM} = 4,16 \cdot 10^{-4} m^3/S$$

Setelah itu akan diubah menjadi  $\Delta p$  menggunakan rumus, dan contoh perhitungan percobaan ke-8 seperti dibawah ini :

$$\Delta z = 0,016 \text{ m}$$

Setelah diketahui data  $\Delta z$  maka selanjutnya dimasukan kedalam rumus :

$$\Delta p = \Delta z \cdot \rho \cdot g$$

$$\Delta p = 0,016 \cdot 13600 \cdot 9,81$$

$$\Delta p_{manometer} = 2134,656 \text{ Pa}$$

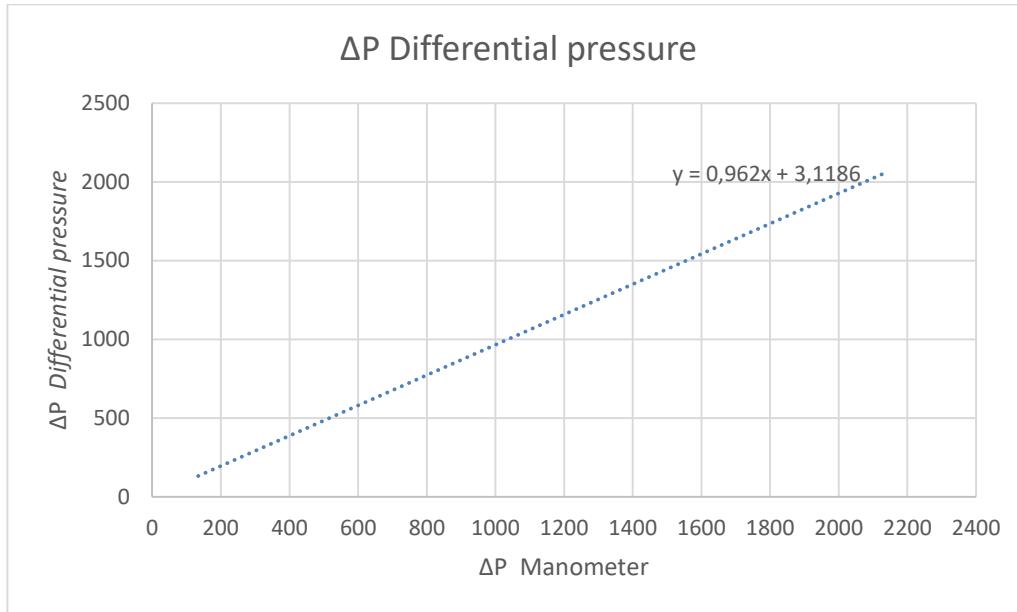
$$\Delta p_{Differential\ Pressure} = 2028,442 \text{ Pa}$$

Data hasil  $\Delta P$  pengukuran untuk kalibrasi dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data awal untuk kalibrasi

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

Setelah seluruh percobaan mendapatkan hasil  $\Delta P$  dari manometer air raksa maupun dari *differential pressure* maka selanjutnya data yang telah didapat dibuatlah grafik hubungan antara  $\Delta P$  manometer air raksa dan  $\Delta P$  *differential pressure* seperti gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik kalibrasi antara  $\Delta p$  manometer dan  $\Delta p$  *differential pressure*

Pada gambar 4.1 diatas dapat dilihat kurva pada  $\Delta p$  menghasilkan persamaan untuk kalibrasi adalah  $y = 0,962x + 3,1186$  yang mana variable “y” tersebut merupakan data  $\Delta p$  *differential pressure* sedangkan variable “x” merupakan data hasil kalibrasi sehingga persamaan untuk kalibrasi menjadi :

$$\Delta p_{Kaliibrasi} = \frac{\Delta p_{Awal} - 3,1186}{0,962}$$

Dari persamaan di atas seluruh data awal pada aliran laminar dihitung sehingga menghasilkan table kalibrasi yang dapat dilihat pada table 4.0.

## 1.2 Perhitungan Hasil Penelitian

Percobaan yang telah dilakukan selama 10 kali menghasilkan data berupa perbedaan tekanan seperti Pada tabel 4.2 dengan variasi debit aliran dengan angka *Reynolds* 1174,221-2231,25. Data temperature yang digunakan pada waktu pengujian dapat digunakan untuk menentukan sifat-sifat dari fluida tersebut yaitu seperti nilai massa jenis fluida dan viskositas kinematik.sedangkan untuk data perbedaan tekanan dapat digunakan untuk mengetahui nilai koefisien gesek. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4. 2 Data Awal Hasil Penelitian

Variasi	Re	Debit LPM	Percobaan <i>Differential Pressure Meter</i> (InHg)					Hasil Konversi Satuan (Pa)					$\Delta p$ Rata-rata (Pa)
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	1174,22	1	0,002	0,004	0,004	0,003	0,003	6,77	13,54	13,54	10,15	10,15	10,83
2	1291,63	1,1	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	10,15	13,54	10,15	10,15	13,54	11,51
3	1409,06	1,2	0,003	0,005	0,003	0,004	0,003	10,15	16,93	10,15	13,54	10,15	12,19
4	1528,83	1,3	0,004	0,004	0,005	0,004	0,003	13,54	13,54	16,93	13,54	10,15	13,54
5	1643,9	1,4	0,005	0,003	0,005	0,004	0,004	16,93	10,15	16,93	13,54	13,54	14,22
6	1761,32	1,5	0,005	0,005	0,004	0,004	0,005	16,93	16,93	13,54	13,54	16,93	15,57
7	1878,75	1,6	0,006	0,006	0,005	0,004	0,003	20,31	20,31	16,93	13,54	10,15	16,25
8	1996,17	1,7	0,006	0,005	0,006	0,004	0,004	20,31	16,93	20,31	13,54	13,54	16,93
9	2113,59	1,8	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	23,7	20,31	16,93	13,54	13,54	17,6
10	2231,25	1,9	0,007	0,007	0,006	0,004	0,004	23,7	23,70	20,31	13,54	13,54	18,96



Tabel 4. 3 Data Hasil Kalibrasi

Variasi	Re	Debit LPM	Tabel Konversi Tiap Percobaan (Pa)					Hasil Kalibrasi (Pa)					$\Delta p$ Rata-rata (Pa)
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	1174,22	1	6,77	13,54	13,54	10,15	10,15	3,798	10,83	10,83	7,318	7,318	8,0227
2	1291,63	1,1	10,15	13,54	10,15	10,15	13,54	7,318	10,83	7,318	7,318	10,83	8,7267
3	1409,06	1,2	10,15	16,93	10,15	13,54	10,15	7,318	14,35	7,318	10,83	7,318	9,4307
4	1528,83	1,3	13,54	13,54	16,93	13,54	10,15	10,83	10,83	14,35	10,83	7,318	10,8388
5	1643,9	1,4	16,93	10,15	16,93	13,54	13,54	14,35	7,318	14,35	10,83	10,83	11,5428
6	1761,32	1,5	16,93	16,93	13,54	13,54	16,93	14,35	14,35	10,83	10,83	14,35	12,9509
7	1878,75	1,6	20,31	20,31	16,93	13,54	10,15	17,87	17,87	14,35	10,83	7,318	13,6549
8	1996,17	1,7	20,31	16,93	20,31	13,54	13,54	17,87	14,35	17,87	10,83	10,83	14,3589
9	2113,59	1,8	23,7	20,31	16,93	13,54	13,54	21,39	17,87	14,35	10,83	10,83	15,0630
10	2231,25	1,9	23,7	23,70	20,31	13,54	13,54	21,39	21,39	17,87	10,83	10,83	16,4710

#### 4.2.1 Perhitungan Hasil Pengamatan Data Laminar

Pada tahapan perhitungan ini didapatkan 10 variasi percobaan dengan pada debit aliran menggunakan rotameter yang terjadi pada rejim aliran laminar untuk menentukan nilai *head loss major* yang terjadi. Pada pengukuran menggunakan alat rotameter untuk menaikan debit aliran ditunjukkan pada pin alat rotameter, sedangkan untuk mengetahui selisih tekanan digunakan alat differential pressure meter.

#### 4.2.2.1 Perhitungan Hasil Pengamatan Aliran Laminar Ke-Dua

Pengambilan data pada percobaan kedua dengan variasi angka *Reynolds* dan variasi pada debit aliran sehingga didapatkan, seperti contoh pada percobaan kedua:

$$Q = 1,1 \text{ LPM} = 1,83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Untuk mengetahui bilangan Reynolds yang akan digunakan maka tahap selanjutnya adalah menghitung kecepatan aliran menggunakan persamaan 2.9, sebelum menghitung kecepatan aliran, diperlukan data pada spesifikasi pipa PVC  $\frac{1}{2}$ " yang digunakan seperti dibawah ini:

$$\text{Diameter pipa} = \frac{1}{2}'' = 0,018 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2_{\text{pipa}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,018^2 = 2,544 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Selanjutnya, setelah didapatkan data luas penampang pipa maka selanjutnya menghitung kecepatan aliran fluida dari persamaan 2.9.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1,83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{2,544 \cdot 10^{-4} \text{ m}} = 0,072045316 \text{ m/s}$$

Sehingga mendapatkan hasil kecepatan fluida yaitu  $v = 0,072 \text{ m/s}$  pada debit 1,1 LPM. Langkah perhitungan selanjutnya adalah untuk mengetahui pada debit 1,1 LPM ini masih terjadi pada  $Re = 100 - 2300$  yang termasuk dalam aliran laminar. Untuk mengetahui masih terjadi pada aliran laminar menggunakan

persamaan 2.7.

$$Re = \frac{\rho \cdot D_{pipa} \cdot v}{\mu} = \frac{998 \text{ Kg/m}^2 \cdot 0,018 \text{ m} \cdot 0,072045316 \text{ m/s}}{0,001002} = 1291,638788$$

Setelah angka *Reynolds* didapatkan dan masih dalam keadaan aliran laminar, sehingga dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu pengukuran selisih tekanan pada dua titik ujung ke ujung pada pipa sepanjang 1 meter menggunakan alat *differential pressure* pada debit 1,1 LPM. Setelah melakukan pengambilan data selisih tekanan yang sudah dikalibrasi dapat dilihat dibawah ini :

$$\Delta p_{Kalibrasi} = \frac{\Delta p_{Awal} - 3,1186}{0,962}$$

$$\Delta p_{Kalibrasi} = \frac{10,15 - 3,1186}{0,962}$$

$$\Delta p_{Kalibrasi} = 7,318 \text{ Pa}$$

Setelah diketahui selisih tekanan atau  $\Delta P$  maka selanjutnya untuk menghitung besarnya *head loss major* yang terjadi pada percobaan kedua dengan debit 1,1 LPM. Untuk menghitung *head loss* menggunakan persamaan 2.15.

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

$$h_l = \frac{7,318 \text{ Pa}}{998 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,000748 \text{ m}$$

Setelah dihitung mendapatkan hasil 0,001316768 m *head loss* atau rugi-rugi aliran yang terjadi pada percobaan kedua dengan Re 1291,63 dengan debit sebesar 1,1 LPM. Untuk langkah selanjutnya mencari koefisien gesek yang terjadi pada daerah laminar percobaan kedua dengan debit sebesar 1,1 LPM. Untuk mencari koefisien gesek menggunakan persamaan 2.10.

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

$$f_{exp} = \frac{h_l \cdot D_{Pipa} \cdot 2 \cdot g}{L \cdot v^2}$$

$$f_{exp} = \frac{0,000748 \text{ m} \cdot 0,018 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{1 \text{ m} \cdot 0,072^2 \text{ m/s}}$$

$$f_{exp} = 5,09 \cdot 10^{-2}$$

#### 4.2.2 Perhitungan koefisien gesek teori menurut Moody

Setelah didapatkan koefisien gesek eksperimen yang terjadi pada percobaan kedua dengan debit 1,1 LPM, selanjutnya menghitung koefisien gesek teori menggunakan persamaan 2.11 menurut Moody untuk sebagai perbandingan dengan koefisien gesek eksperimen.

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1291,6388} = 0,049549457$$

maka koefisien gesek yang diperoleh setelah menggunakan rumus persamaan 2.1 menurut Everts dan Mayer menghasilkan nilai koefisien gesek  $f_{Everts} = 4,95 \cdot 10^{-2}$ . Data dapat dilihat secara lengkap pada table 4.5.

#### 4.2.3 Perhitungan koefisien gesek teori menurut Garcia et al., (2017)

Setelah didapatkan koefisien gesek eksperimen yang terjadi pada percobaan kedua dengan debit 1,1 LPM, selanjutnya menghitung koefisien gesek teori menggunakan persamaan 2.12 menurut Garcia et al., (2017) untuk sebagai perbandingan dengan koefisien gesek eksperimen.

$$f = \frac{16}{Re} = \frac{16}{1291,6388} = 0,012387364$$

maka koefisien gesek yang diperoleh setelah menggunakan rumus persamaan 2.1 menurut Garcia et al., menghasilkan nilai koefisien gesek  $f_{Garcia} = 1,23 \cdot 10^{-2}$ .

Data dapat dilihat secara lengkap pada table 4.5.

#### **4.2.4 Perhitungan koefisien gesek teori menurut aliran transisi**

Setelah didapatkan koefisien gesek eksperimen yang terjadi pada percobaan kedua dengan debit 1,1 LPM, selanjutnya menghitung koefisien gesek teori menggunakan persamaan 2.13 yang digunakan pada aliran transisi untuk sebagai perbandingan dengan koefisien gesek eksperimen.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,14 - 2 \cdot \log_{10} \left\{ \frac{\varepsilon}{D} + \frac{9,35}{Re \cdot \sqrt{f}} \right\}$$

Karena data yang diperlukan pada persamaan diatas adalah terdapat dilai koefisien gesek sedangkan rumus diatas belum diketahui nilai koefisien geseknya, maka cara yang dilakukan adalah dengan mengasumsikan niali koefisien geseknya untuk mendapatkan hasil yang sama pada sisi kiri maupun sisi kanan.

Variasi debit ke-2 Re = 1291,6388

Asumsi nilai  $f_{transisi} = 5,73 \cdot 10^{-2}$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,14 - 2 \cdot \log_{10} \left\{ \frac{\varepsilon}{D} + \frac{9,35}{Re \cdot \sqrt{f}} \right\}$$

$$\frac{1}{\sqrt{5,73 \cdot 10^{-2}}} = 1,14 - 2 \cdot \log_{10} \left\{ \frac{0,0015}{0,018} + \frac{9,35}{1291,6388 \cdot \sqrt{5,73 \cdot 10^{-2}}} \right\}$$

$$4,176 = 4,176$$

Karena nilai f pada sisi kanan maupun kiri sama maka nilai koefisien geseknya adalah  $5,73 \cdot 10^{-2}$ . Data lengkap dapat dilihat pada tabel 4.5.

#### **4.2.5 Perhitungan koefisien gesek teori menurut aliran turbulen**

Setelah didapatkan koefisien gesek eksperimen yang terjadi pada percobaan

kedua dengan debit 1,1 LPM, selanjutnya menghitung koefisien gesek teori menggunakan persamaan 2.14 yang digunakan pada aliran turbulen untuk sebagai perbandingan dengan koefisien gesek eksperimen.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,14 - 2 \cdot \log_{10} \{Re \cdot \sqrt{f}\} - 0,8$$

Karena data yang diperlukan pada persamaan diatas adalah terdapat dilai koefisien gesek sedangkan rumus diatas belum diketahui nilai koefisien geseknya, maka cara yang dilakukan adalah dengan mengasumsikan niali koefisien geseknya untuk mendapatkan hasil yang sama pada sisi kiri maupun sisi kanan.

Variasi debit ke-2  $Re = 1291,6388$

Asumsi nilai  $f_{turbulen} = 5,72 \cdot 10^{-2}$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,14 - 2 \cdot \log_{10} \{Re \cdot \sqrt{f}\} - 0,8$$

$$\frac{1}{\sqrt{5,72 \cdot 10^{-2}}} = 1,14 - 2 \cdot \log_{10} \left\{ 1291,6388 \cdot \sqrt{5,72 \cdot 10^{-2}} \right\} - 0,8$$

$$4,179 = 4,179$$

Karena nilai f pada sisi kanan maupun kiri sama maka nilai koefisien geseknya adalah  $5,72 \cdot 10^{-2}$ . Data lengkap dapat dilihat pada tabel 4.4 dan 4.5. Rumus yang digunakan merupakan rumus dari pipa yang merupakan jenis pipa halus karena dari beberapa jenis pipa pipa pvc merupakan pipa yang memiliki nilai kekasaran yang rendah sehingga rumus yang digunakan rumus dari *smooth pipe* atau pipa halus.

Tabel 4. 4 Data Hasil Perhitungan *Head Loss Major* Keseluruhan Pengamatan Laminar

No	Re	Debit LPM	Hasil Perhitungan <i>Head loss Major</i> Eksperimen (Pa)						Hasil Perhitungan <i>Head Loss Major</i> Teori (Pa)		<i>Head Loss Major</i> untuk Pengecekan Kondisi	
			1	2	3	4	5	Rata-rata	Moody	Garcia	Transisi	Turbulen
1	1174,22	1	$3,88 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$8,19 \cdot 10^{-4}$	$6,62 \cdot 10^{-4}$	$1,66 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$
2	1291,63	1,1	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$8,91 \cdot 10^{-4}$	$7,28 \cdot 10^{-4}$	$1,82 \cdot 10^{-4}$	$8,43 \cdot 10^{-4}$	$8,41 \cdot 10^{-4}$
3	1409,06	1,2	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$9,63 \cdot 10^{-4}$	$7,94 \cdot 10^{-4}$	$1,99 \cdot 10^{-4}$	$9,73 \cdot 10^{-4}$	$9,73 \cdot 10^{-4}$
4	1528,83	1,3	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$8,62 \cdot 10^{-4}$	$2,15 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-3}$	$1,11 \cdot 10^{-3}$
5	1643,9	1,4	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$9,27 \cdot 10^{-4}$	$2,32 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$
6	1761,32	1,5	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$9,93 \cdot 10^{-4}$	$2,48 \cdot 10^{-4}$	$1,41 \cdot 10^{-3}$	$1,41 \cdot 10^{-3}$
7	1878,75	1,6	$1,82 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$1,39 \cdot 10^{-3}$	$1,05 \cdot 10^{-3}$	$2,65 \cdot 10^{-4}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$	$1,56 \cdot 10^{-3}$
8	1996,17	1,7	$1,82 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$2,81 \cdot 10^{-4}$	$1,74 \cdot 10^{-3}$	$1,74 \cdot 10^{-3}$
9	2113,59	1,8	$2,18 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,53 \cdot 10^{-3}$	$1,19 \cdot 10^{-3}$	$2,98 \cdot 10^{-4}$	$1,91 \cdot 10^{-3}$	$1,91 \cdot 10^{-3}$
10	2231,25	1,9	$2,18 \cdot 10^{-3}$	$2,18 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,68 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$3,15 \cdot 10^{-4}$	$2,09 \cdot 10^{-3}$	$2,09 \cdot 10^{-3}$

Tabel 4. 5 Data Hasil Perhitungan Koefisien Gesek Keseluruhan Pengamatan Laminar

No	Re	Debit LPM	Hasil Perhitungan Koefisien Gesek Eksperimen (Pa)						Hasil Perhitungan Koefisien Gesek Teori (Pa)		Koefisien Gesek untuk Pengecekan Kondisi	
			1	2	3	4	5	Rata-rata	Moody	Garcia	Transisi	Turbulen
1	1174,22	1	$3,19 \cdot 10^{-2}$	$9,11 \cdot 10^{-2}$	$9,11 \cdot 10^{-2}$	$6,15 \cdot 10^{-2}$	$6,15 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$5,45 \cdot 10^{-2}$	$1,36 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$
2	1291,63	1,1	$5,09 \cdot 10^{-2}$	$7,53 \cdot 10^{-2}$	$5,09 \cdot 10^{-2}$	$5,09 \cdot 10^{-2}$	$7,53 \cdot 10^{-2}$	$6,1 \cdot 10^{-2}$	$4,95 \cdot 10^{-2}$	$1,24 \cdot 10^{-2}$	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$5,7 \cdot 10^{-2}$
3	1409,06	1,2	$4,27 \cdot 10^{-2}$	$8,39 \cdot 10^{-2}$	$4,27 \cdot 10^{-2}$	$6,33 \cdot 10^{-2}$	$4,27 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$4,54 \cdot 10^{-2}$	$1,14 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$
4	1528,83	1,3	$5,38 \cdot 10^{-2}$	$5,38 \cdot 10^{-2}$	$7,12 \cdot 10^{-2}$	$5,38 \cdot 10^{-2}$	$3,63 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$4,19 \cdot 10^{-2}$	$1,05 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$
5	1643,9	1,4	$6,16 \cdot 10^{-2}$	$3,14 \cdot 10^{-2}$	$6,16 \cdot 10^{-2}$	$4,65 \cdot 10^{-2}$	$4,65 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$3,89 \cdot 10^{-2}$	$9,7 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$
6	1761,32	1,5	$5,37 \cdot 10^{-2}$	$5,37 \cdot 10^{-2}$	$4,05 \cdot 10^{-2}$	$4,05 \cdot 10^{-2}$	$5,37 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$	$3,63 \cdot 10^{-2}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$
7	1878,75	1,6	$5,87 \cdot 10^{-2}$	$5,87 \cdot 10^{-2}$	$4,72 \cdot 10^{-2}$	$3,56 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$3,41 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$5,05 \cdot 10^{-2}$	$5,04 \cdot 10^{-2}$
8	1996,17	1,7	$5,20 \cdot 10^{-2}$	$4,18 \cdot 10^{-2}$	$5,20 \cdot 10^{-2}$	$3,15 \cdot 10^{-2}$	$3,15 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$3,21 \cdot 10^{-2}$	$8,02 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$
9	2113,59	1,8	$5,55 \cdot 10^{-2}$	$4,64 \cdot 10^{-2}$	$3,73 \cdot 10^{-2}$	$2,81 \cdot 10^{-2}$	$2,81 \cdot 10^{-2}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$3,03 \cdot 10^{-2}$	$7,6 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$
10	2231,25	1,9	$4,98 \cdot 10^{-2}$	$4,98 \cdot 10^{-2}$	$4,16 \cdot 10^{-2}$	$2,52 \cdot 10^{-2}$	$2,52 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$2,87 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$

#### 4.2.6 Standar Deviasi

Perhitungan standar deviasi digunakan untuk mengetahui jumlah variasi yang digunakan atau untuk mengetahui sebaran pada sejumlah nilai data. Standar deviasi yang dihasilkan apabila semakin kecil berarti data yang didapatkan sudah mendekati dengan rata-rata dan apabila nilai dari standar deviasi semakin tinggi maka rentang variasi datanya masih terlalu besar. Pada perhitungan standar deviasi digunakan nilai koefisien gesek rata-rata, dan untuk perhitungan deviasi digunakan percobaan ke-1 sebagai contoh. Data yang didapatkan selanjutnya akan ditabelkan dan dapat dilihat pada tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4. 6 Data Standar Deviasi

<b>Percobaan</b>	<b>Koefisien gesek</b>	
	<b>f</b>	<b>f<sup>2</sup></b>
1	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$4,55 \cdot 10^{-3}$
2	$6,1 \cdot 10^{-2}$	$3,67 \cdot 10^{-3}$
3	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$3,03 \cdot 10^{-3}$
4	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$2,89 \cdot 10^{-3}$
5	$5 \cdot 10^{-2}$	$2,45 \cdot 10^{-3}$
6	$4,8 \cdot 10^{-2}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$
7	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$2,01 \cdot 10^{-3}$
8	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$1,74 \cdot 10^{-3}$
9	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$1,52 \cdot 10^{-3}$
10	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$1,47 \cdot 10^{-3}$

$\Sigma$	$4,98 \cdot 10^{-1}$	$2,57 \cdot 10^{-2}$
----------	----------------------	----------------------

$$\left( \sum_{i=1}^n f_i \right)^2 = (4,98 \times 10^{-1})^2 = 2,48 \times 10^{-1}$$

$$\text{Varian} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i^2)^2}{n \cdot (n-1)} = \frac{(10) \cdot (2,57 \times 10^{-2}) - (2,48 \times 10^{-1})}{(10) \cdot (9)}$$

$$\text{Varian} = 8,99 \times 10^{-5}$$

$$\text{Standar deviasi} = \sqrt{\text{Varian}} = \sqrt{8,99 \times 10^{-5}}$$

$$\text{Standar deviasi} = 9,48 \times 10^{-3}$$

$$\text{Standar deviasi} = \frac{9,48 \times 10^{-3}}{4,99 \times 10^{-2}} \times 100\% = 19,01\%$$

Perhitungan dibawah ini merupakan perhitungan deviasi menggunakan percobaan ke-1 sebagai contoh. Pada data yang digunakan sebagai pembanding adalah koefisien gesek teori menurut Moody dikarenakan koefisien gesek menurut Moody yang sangat mendekati dengan koefisien gesek eksperimen.

$$\text{Deviasi}_f = \frac{f \text{ eksperimen} - f \text{ teori}}{f \text{ teori}} \cdot 100\%$$

$$\text{Deviasi}_f = \frac{0,067462 - 0,054504}{0,054504} \cdot 100\%$$

$$\text{Defiasi}_f = 23,77\%$$



Tabel 4. 7 Standar Deviasi & Deviasi

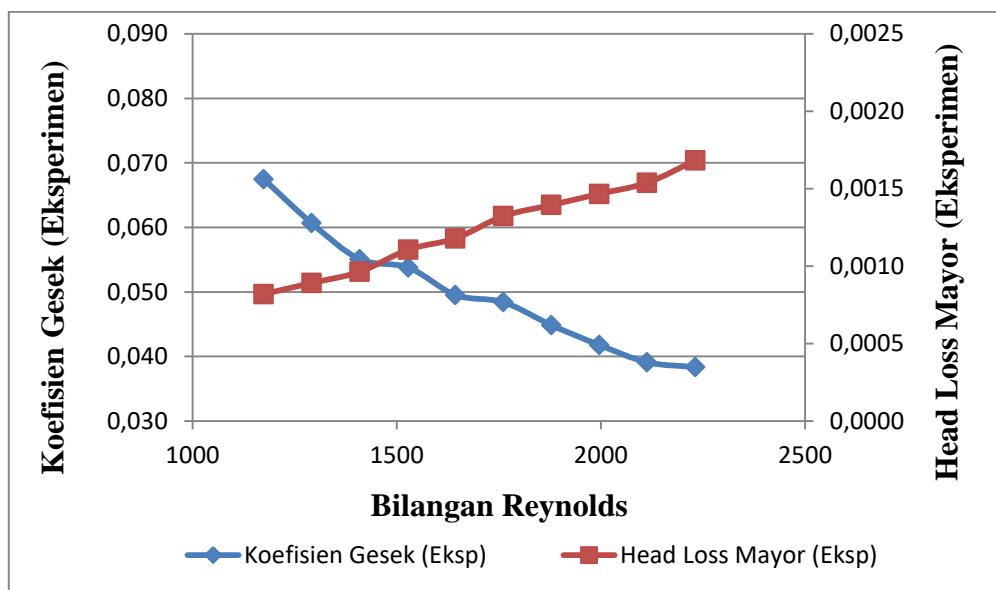


Standar deviasi dan nilai deviasi yang didapatkan dari tabel diatas dapat dilihat bahwa standar deviasi yang dimiliki pada data teori menurut aliran laminar lebih besar dibandingkan dengan data teori menurut turbulen, karena selisih percobaan ke-1 dan yang lainnya jauh dibandingkan dengan aliran turbulen. Nilai pada deviasi untuk aliran laminar lebih kecil dan mendekati dengan nilai dari teori, sedangkan untuk aliran transisi maupun turbulen sangat jauh dengan teori yang berarti bahwa aliran yang diteliti termasuk dalam aliran laminar.

### 4.3 Pembahasan

#### 4.3.1 Hubungan antara Bilangan Reynolds, Koefisien Gesek, dan Head loss

*Mayor hasil eksperimen*

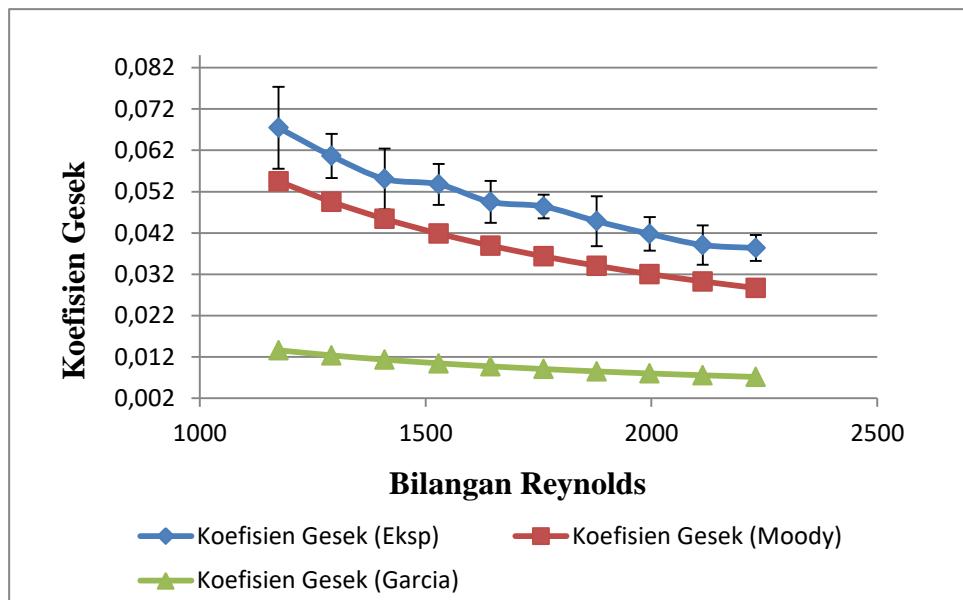


Gambar 4. 2 Grafik hubungan antara bilangan Reynolds, koefisien gesek dan *head loss mayor* hasil eksperimen

Pada grafik hubungan antara koefisien gesek eksperimen dan *head loss mayor* eksperimen dapat dilihat pada gambar 4.2. Pada grafik *head loss mayor* berbanding lurus dengan kecepatan aliran fluida yang terjadi dan angka Reynolds ketika terus meningkatnya kecepatan fluida dan angka Reynolds maka nilai dari *head loss mayor* juga terus meningkat. Pada grafik diatas berbanding terbalik dengan koefisien gesek yang terjadi, apabila *head loss mayor* berbanding lurus sedangkan koefisien gesek berbanding terbalik, ketika terus meningkatnya kecepatan fluida dan angka Reynolds maka nilai koefisien gesek yang terjadi akan menurun. Pada grafik koefisien gesek, titik 3 ke-4 dan titik 4 ke- 5, mengalami penurunan hanya saja grafik menjadi tidak menurun secara signifikan tetapi grafik menjadi gelombang karena data f atau koefisien gesek pada titik 3 hingga 6 memiliki selisih yang konstan, berbeda dengan

titik 1 hingga 3 yang memiliki selisih yang besar. Pada titik 3 ke-4 memiliki selisih  $f = 0,001$  sedangkan titik 4 ke-5 mengalami kenaikan selisih yaitu 0,004 sehingga grafik menjadi naik, dan ketika menuju titik 5 ke-6 mengalami penurunan selisih yang sama yaitu 0,001, sehingga pada grafik berbentuk gelombang. Hasil eksperimen ini sesuai dengan Penelitian yang dilakukan Everts dan Mayer (2018), Burger (2010), Garcia et al., (2018), DRAAD et al., (1998), Srivastava et al., (2013), Chilton and Stainsby et al., (1998), Tam dkk (2012), dan Heshmati dan Erturk (2016).

#### 4.3.2 Hubungan antara Koefisien gesek eksperimen dan Koefisien gesek Teori Terhadap angka *Reynolds*.

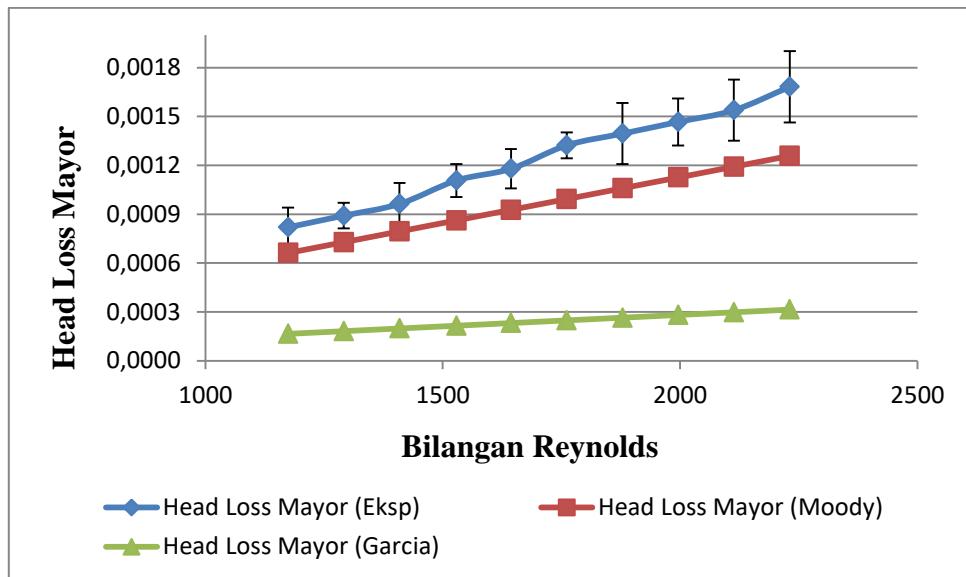


Gambar 4. 3 Grafik hubungan antara koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori terhadap angka *reynolds*

Pada gambar grafik 4.3 dapat dilihat hubungan antara koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori dari beberapa peneliti mengalami selisih berkisar 0,1 dengan nilai terkecil pada peneliti Garcia. Pada penelitian eksperimen yang dilakukan masih jauh dari nilai koefisien gesek teori dikarenakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur aliran laminar hanya mampu membaca ketelitian 0,001 sedangkan untuk laminar agar mampu untuk mendekati nilai yang dihasilkan oleh peneliti koefisien gesek menurut Moody maupun Garcia adalah 0,0001, sehingga pada waktu proses pengambilan data dikarenakan perubahan yang terjadi sangat kecil alat yang digunakan tidak mampu, akibatnya data yang diambil terdapat data yang sama antara percobaan 1 dengan yang lainnya. Pada proses pengambilan data terdapat data yang sama sehingga mengakibatkan selisih antara eksperimen dan teori juga menjadi besar selain itu adanya perbedaan juga dapat disebabkan aliran yang sulit berada dalam keadaan stedy ketika berubah menjadi aliran turbulent baru berada

dalam keadaan *stedy*. Perbedaan yang terjadi antara eksperimen dan teori memang jauh tetapi grafik yang dihasilkan pada eksperimen dan teori sudah mengikuti yaitu grafik koefisien gesek yang dihasilkan menurun pada teori menurut Moody dan menurut Garcia. Pada eksperimen juga mengalami penurunan walaupun tidak signifikan mengalami penurunan. Koefisien gesek yang terkecil yang mampu diukur adalah 0,0383 yang terjadi pada  $Re = 2231,25$ , dan koefisien gesek terbesar yang mampu diukur adalah 0,0674 yang terjadi pada  $Re = 1174,22$ .

### 4.3.3 Hubungan antara Head Loss Mayor Eksperimen dan Head Loss Mayor Teori terhadap angka Reynolds.



Gambar 4. 4 Grafik hubungan antara *Head Loss Mayor* eksperimen dan *Head Loss Mayor* teori terhadap angka *Reynolds*.

Pada gambar grafik 4.4 dapat dilihat hubungan antara *head loss mayor* eksperimen dan *head loss teori* dapat dilihat bahwa antara grafik eksperimen dan teori sudah sama mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya kecepatan fluida dan angka *Reynolds*. Pada grafik terlihat pada titik 3 ke-4 mengalami kenaikan yang cukup besar dan terjadi juga pada titik 4 ke-5 dikarenakan nilai selisih tekanan atau  $\Delta p$  pada titik tersebut juga mengalami kenaikan yang cukup besar dibandingkan dengan titik lain. Dapat disimpulkan bahwa nilai *head loss mayor* eksperimen mengalami kenaikan yang menurut *head loss mayor* teori juga mengalami kenaikan walaupun pada *head loss mayor* eksperimen tidak selalu mengalami kenaikan yang signifikan, jadi sudah sesuai dengan *head loss mayor* teori.