BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang analisis dan pembahasan mengenai hasil penelitian dengan berbagai variasi yang telah dilakukan. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui besar *Head Loss Mayor* dan koefisien gesek yang terjadi pada fluida fasa cair rejim aliran transisi pada pipa PVC diameter ½". Penelitian ini dilakukan dengan cara mengatur debit aliran yang masuk ke dalam pipa pengukuran hingga berada pada rejim aliran transisi dengan cara mengatur 2 *gate valve* yang terpasang pada rangkaian pipa. Terdapat 2 buah *gate valve* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *gate valve* 1 untuk mengatur aliran yang masuk pada pipa pengukuran dan *gate valve* 2 yang digunakan untuk membuang debit aliran berlebih yang keluar dari pompa untuk dikembalikan ke wadah pemasok air, mengukur perbedaan tekanan yang terjadi pada aliran fluida dalam rejim aliran transisi di kedua tempat yang berbeda dengan alat *differential pressure meter* yang sudah dikalibrasi, mencatat hasil perbedaan tekanan yang tampak pada alat ukur *differential pressure meter* setelah 30 detik. Hasil pengamatan tekanan yang terjadi pada kedua titik yang berbeda akan digunakan untuk mencari besar selisih tekanannya (ΔP) kemudian dihitung dengan persamaan 2.8 untuk mendapatkan besar *head loss mayor* dan koefisien gesek yang terjadi. Hasil perhitungan dengan berbagai variasi akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik yang selanjutnya akan dianalisa.

4.1 Hasil Penelitian

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan data berupa perbedaan *head* tekanan. Data temperatur fluida yang digunakan pada saat pengujian digunakan untuk menentukan sifat-sifat dari fluida yaitu nilai massa jenis fluida (ρ) dan viskositas kinematik yang digunakan bersama dengan data massa fluida yang ditampung selama waktu tertentu untuk mencari kecepatan fluida dan bilangan Reynolds. Sedangkan data perbedaan tekanan digunakan untuk mengetahui nilai koefisien gesek. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.1.

Debit aliran fluida (Q) dan bilangan Reynolds (Re) yang digunakan untuk menentukan rejim aliran transisi yang terjadi pada aliran fluida didapat dari hasil perhitungan pada persamaan 2.10 dan persamaan 2.9 di mana aliran transisi terjadi pada saat bilangan Reynolds berada pada 2300 sampai dengan 4000. Data hasil perhitungan debit aliran fluida dan bilangan Reynolds dapat dilihat pada tabel 4.3. Hasil perhitungan debit aliran fluida dan bilangan Reynolds menjadi acuan untuk mengatur aliran fluida yang masuk ke dalam pipa pengukuran yang selanjutnya dilakukan pengukuran selisih tekanan (ΔP) yang terjadi pada sisi masuk dan sisi keluar pipa menggunakan alat ukur *differential pressure meter* yang suddah dikalibrasi. Data selisih tekanan (ΔP) hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.1. Data hasil pengukuran selisih tekanan (ΔP) digunakan untuk menghitung *Head Loss Mayor* yang terjadi di dalam pipa pengukuran berdasarkan hasil eksperimen menggunakan persamaan 2.8.

Data hasil perhitungan *Head Loss Mayor* yang terjadi di dalam pipa digunakan untuk menghitung besar koefisien gesek (f) yang terjadi di dalam pipa berdasarkan hasil eksperimen menggunakan persamaan 2.12. Data hasil perhitungan koefisien gesek (f) berdasarkan hasil eksperimen dilihat pada tabel 4.3. Setelah koefisien gesek hasil eksperimen didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung koefisien gesek secara teori menggunakan persamaan 2.13 dan persamaan 2.14 untuk membandingkan hasil eksperimen dengan hasil perhitungan secara teori. Data yang digunakan untuk persamaan 2.13 dan persamaan 2.14 didapat dari spesifikasi bahan dan perhitungan persamaan 2.9. Data hasil perhitungan koefisien gesek (f) berdasarkan teori dapat dilihat pada tabel 4.3. Koefisien gesek (f) yang didapatkan nantinya akan digunakan untuk menentukan besar *Head Loss Mayor* yang terjadi pada aliran fluida secara teoritis menggunakan persamaan 2.12. Hasil perhitungan koefisien gesek secara teoritis dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 1 Data Awal Hasil Penelitian

Variasi	Re	Debit		Percobaan Differential Pressure Meter (InHg)					Hasil konversi satuan (Pa)				
		LPM	m^3/s	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2348,43	2	$3,33 \cdot 10^{-5}$	0,009	0,01	0,009	0,008	0,008	30,47	33,86	30,47	27,09	27,09
2	2465,86	2,1	$3,50 \cdot 10^{-5}$	0,009	0,01	0,01	0,009	0,009	30,47	33,86	33,86	30,47	30,47
3	2583,28	2,2	$3,66 \cdot 10^{-5}$	0,01	0,011	0,011	0,01	0,01	33,86	37,25	37,25	33,86	33,86
4	2700,70	2,3	$3,83 \cdot 10^{-5}$	0,01	0,011	0,012	0,011	0,01	33,86	37,25	40,63	37,25	33,86
5	2818,12	2,4	$4,0 \cdot 10^{-5}$	0,011	0,012	0,012	0,013	0,011	37,25	40,64	40,63	44,02	37,25
6	2935,54	2,5	$4,16 \cdot 10^{-5}$	0,011	0,013	0,012	0,013	0,012	37,25	44,02	40,63	44,02	40,63
7	3052,97	2,6	$4,33 \cdot 10^{-5}$	0,012	0,013	0,014	0,014	0,013	40,63	44,02	47,40	47,40	44,02
8	3170,39	2,7	$4,50 \cdot 10^{-5}$	0,013	0,014	0,015	0,015	0,013	44,02	47,40	50,79	50,79	44,02
9	3287,81	2,8	$4,66 \cdot 10^{-5}$	0,014	0,014	0,015	0,016	0,016	47,40	47,40	50,79	54,18	54,18
10	3405,23	2,9	$4,83 \cdot 10^{-5}$	0,014	0,015	0,016	0,016	0,016	47,40	50,79	54,18	54,18	54,18
11	3522,65	3	$5,0 \cdot 10^{-5}$	0,015	0,015	0,016	0,017	0,017	50,79	50,79	54,18	57,56	57,56
12	3640,07	3,1	$5,16 \cdot 10^{-5}$	0,016	0,016	0,017	0,017	0,017	54,18	54,18	57,56	57,56	57,56

4.2 Perhitungan

4.2.1 Perhitungan Kalibrasi *Differential Pressure Meter*

Manometer air raksa menjadi standard kalibrasi *Differential Pressure Meter* karena manometer air raksa memiliki tingkat kepekaan yang cukup tinggi dalam mengukur perbedaan tekanan, akan tetapi manometer air raksa mempunyai kelemahan yaitu minimal pengukuran perbedaan ketinggian sebesar 1 mm sehingga manometer air raksa tidak mampu mengukur perbedaan ketinggian dibawah 1 mm. Untuk mengukur perbedaan tekanan yang tidak dapat diukur menggunakan manometer air raksa maka digunakan *Differential Pressure Meter* yang sudah dikalibrasi. Untuk mengkalibrasi *Differential Pressure Meter* maka menggunakan persamaan 2.24.

Pada kalibrasi ini variasi Bilangan Reynolds digunakan dari variasi debit aliran fluida dapat dilihat dibawah ini:

Q = 7 LPM

Kemudian dilakukan pengambilan data menggunakan manometer air raksa dan didapatkan selisih ketinggian berikut ini

Δz = 0,001 m

Setelah data selisih ketinggian pada manometer air raksa didapatkan maka selanjutnya digunakan untuk menghitung selisih tekanan yang terjadi menggunakan persamaan 2.24.

$\Delta P = \rho_{air\ raksa} \cdot g \cdot \Delta z$

ΔP = 13600 . 9,81 . 0,001 m

ΔP = 133,416 Pa

Setelah data selisih ketinggian pada manometer air raksa didapatkan maka selanjutnya dilakukan pengambilan data menggunakan *Differential Pressure Meter* pada debit aliran yang sama untuk membandingkan perbedaan tekanan dengan manometer air raksa dan diperoleh data berikut ini.

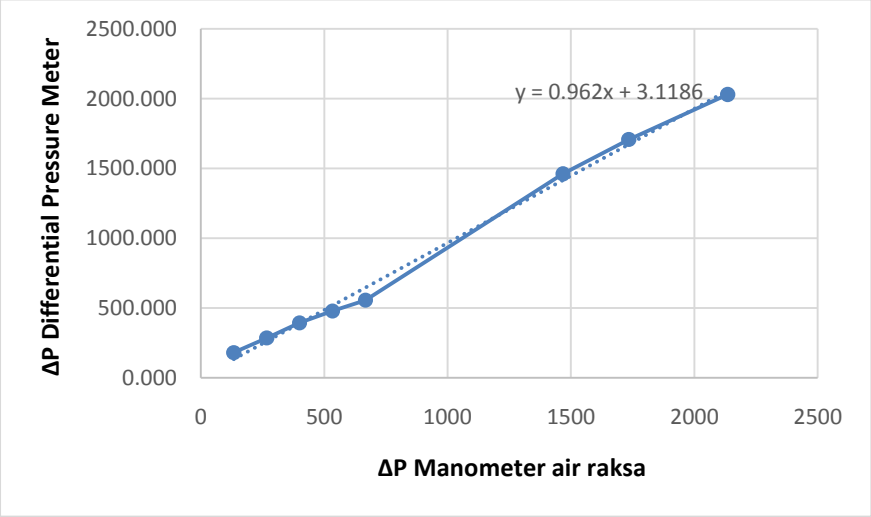
ΔP = 0,053 InHg = 179,478 Pa

Data ΔP hasil pengukuran untuk kalibrasi ditampilkan pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data ΔP hasil pengukuran untuk kalibrasi

Pengujian	Debit (LPM)	ΔP *differential pressure*		ΔP manometer	
		inHg	Pa	Δz (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	667,080
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 ΔP hasil pengukuran manometer air raksa dan *differential pressure meter* didapatkan maka selanjutnya dibuat kurva hubungan ΔP hasil pengukuran manometer air raksa dan *differential pressure meter* seperti yang terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Kalibrasi Differential Pressure Meter

Dari kurva hubungan ΔP hasil pengukuran menggunakan manometer air raksa dan *differential pressure meter* didapatkan persamaan kalibrasi yaitu: $y = 0{,}962x + 3.1186$ di mana "x" adalah ΔP dari *diferential pressure meter* dan "y" adalah ΔP hasil kalibrasi.

Tabel 4. 3 Data Hasil Kalibrasi

Variasi	Re	Debit		Hasil konversi tiap percobaan (Pa)					Hasil Kalibrasi (Pa)				
		LPM	m^3/s	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2348,43	2	$3,33 \cdot 10^{-5}$	30,47	33,86	30,47	27,09	27,09	32,43	35,69	32,43	29,18	29,18
2	2465,86	2,1	$3,50 \cdot 10^{-5}$	30,47	33,86	33,86	30,47	30,47	32,43	35,69	35,69	32,43	32,43
3	2583,28	2,2	$3,66 \cdot 10^{-5}$	33,86	37,25	37,25	33,86	33,86	35,69	38,95	38,95	35,69	35,69
4	2700,70	2,3	$3,83 \cdot 10^{-5}$	33,86	37,25	40,63	37,25	33,86	35,69	38,95	42,21	38,95	35,69
5	2818,12	2,4	$4,0 \cdot 10^{-5}$	37,25	40,64	40,63	44,02	37,25	38,95	42,21	42,21	45,46	38,95
6	2935,54	2,5	$4,16 \cdot 10^{-5}$	37,25	44,02	40,63	44,02	40,63	38,95	45,46	42,21	45,46	42,21
7	3052,97	2,6	$4,33 \cdot 10^{-5}$	40,63	44,02	47,40	47,40	44,02	42,21	45,46	48,72	48,72	45,46
8	3170,39	2,7	$4,50 \cdot 10^{-5}$	44,02	47,40	50,79	50,79	44,02	45,46	48,72	51,98	51,98	45,46
9	3287,81	2,8	$4,66 \cdot 10^{-5}$	47,40	47,40	50,79	54,18	54,18	48,72	48,72	51,98	55,24	55,24
10	3405,23	2,9	$4,83 \cdot 10^{-5}$	47,40	50,79	54,18	54,18	54,18	48,72	51,98	55,24	55,24	55,24
11	3522,65	3	$5,0 \cdot 10^{-5}$	50,79	50,79	54,18	57,56	57,56	51,98	51,98	55,24	58,49	58,49
12	3640,07	3,1	$5,16 \cdot 10^{-5}$	54,18	54,18	57,56	57,56	57,56	55,24	55,24	58,49	58,49	58,49

4.2.2 Perhitungan Hasil Pengamatan Transisi

Debit aliran fluida (Q) dan selisih tekanan (ΔP) yang terjadi pada aliran fluida saat berada pada rejim aliran transisi diukur menggunakan alat ukur rotameter dan *Differential Pressure Meter.* Indikasi kenaikan debit aliran fluida ditunjukkan oleh pin yang terdapat pada rotameter sedangkan indikasi selisih tekanan yang terjadi pada pipa pengukuran ditunjukkan pada layar digital dari alat ukur *Differential Pressure Meter.* Pada perhitungan ini terdapat 12 variasi percobaan pengukuran aliran fluida pada rejim aliran transisi untuk menentukan besar *Head Loss Mayor* yang terjadi.

4.2.2.1 Perhitungan hasil pengamatan Transisi percobaan ke-1

Pada percobaan ini variasi Bilangan Reynolds didapatkan dari variasi debit aliran fluida yang dapat dilihat dibawah ini:

Q = 2 LPM = 2 $l \cdot \frac{1}{1000 m^3} \cdot \frac{1}{60\ s}$ = 3,33 . $10^{-5}\ m^3/s$

Untuk menghitung Bilangan Reynolds yang akan digunakan maka langkah awal yang dilakukan adalah menghitung kecepatan aliran mengunakan persamaan 2.11. Data yang diperlukan untuk perhitungan pada persamaan 2.11 didapat dari spesifikasi bahan pipa pvc ½" berikut ini.

Diameter pipa = ½"= 0,018 m

$A = \frac{\pi}{4} . D_{pipa}^2 = \frac{\pi}{4} . 0{,}018^2 m$ = 2,544 . 10^{-4} m

Setelah mendapatkan luas penampang pipa maka selanjutnya adalah menentukan kecepatan aliran fluida menggunakan persamaan 2.11.

$v = \frac{Q}{A} = \frac{3{,}33 .10^{-5}\ m^3/s}{2{,}544 .10^{-4}\ \text{m}}$ = 1,309. $10^{-1}\ m^3/s$

Setelah kecepatan aliran didapatkan maka langkah selanjutnya adalah memastikan bilangan Reynolds yang terjadi pada percobaan ini tetap berada di 2300<Re<4000 pada saat aliran fluida mengalir pada debit 2 LPM atau 3,33 . $10^{-5}\ m^3/s$ dengan menggunakan persamaan 2.9.

$$Re = \frac{\rho . D_{pipa} . v}{\mu} = \frac{998\ kg/m^2 .0{,}018\ m .0{,}1309\ m^3/s}{10{,}02 .10^{-4} kg/m.s} = 2348{,}43$$

Setelah bilangan Reynolds didapatkan dan dipastikan masih berada pada rejim aliran transisi maka langkah selanjutnya adalah pengukuran selisih tekanan (ΔP) yang terjadi menggunakan alat ukur *Differential Pressure Meter* pada aliran fluida pada debit 2 LPM. Data yang didapatkan dari hasil pengamatan alat ukur *Differential Pressure Meter* yang sudah dikalibrasi dapat dilihat dibawah ini.

$$\Delta P_{kalibrasi} = 0{,}962 \,.\, \Delta P_{DPM} + 3{,}1186$$

$$\Delta P_{kalibrasi} = 0{,}962 \,.\, 30{,}47 \; Pa + 3{,}1186$$

$$\Delta P_{kalibrasi} = 32{,}43 \; Pa$$

Setelah selisih tekanan (ΔP) didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung besar *Head Loss Mayor* yang terjadi menggunakan persamaan 2.8.

$$h_l = \frac{\Delta P}{\rho \,.g} = \frac{32{,}43 \; Pa}{998 \; kg/m^2 . 9{,}81 m/s^2} = 3{,}31 \,.\, 10^{-3} \text{ m}$$

Setelah nilai *Head loss mayor* didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung koefisien gesek (f) hasil eksperimen yang terjadi menggunakan persamaan 2.12.

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

$$f_{exp} = \frac{h_l \,.\, D \,.\; 2.\,g}{L \,.\; v^2}$$

$$f_{exp} = \frac{3{,}31 \,.\, 10^{-3} \; m \,.\, 0{,}018 \, m \,.\, 2 \,.\, 9{,}81 \; m/s^2}{1 \, m \,.\; 0{,}1309^2 \; m/s}$$

$$f_{exp} = 6{,}81 \,.\, 10^{-2}$$

4.2.2.2 Perhitungan koefisien gesek menurut Colebrook dan White (1937)

Setelah koefisien gesek hasil eksperimen didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung koefisien gesek secara teori menggunakan persamaan Colebrook dan White (1937) yang terdapat pada persamaan 2.14 bagian transisi untuk membandingkan hasil eksperimen dengan hasil perhitungan secara teori menurut Colebrook dan White (1937). Data yang digunakan untuk persamaan 2.14 didapat dari spesifikasi bahan dan perhitungan sebelumnya. Pada perhitungan ini menggunakan data pada variasi ke-1 percobaan ke-1 yang

digunakan sebagai contoh perhitungan dan untuk perhitungan dari keseluruhan data akan ditabelkan yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

Karena data yang dibutuhkan pada persamaan di atas terdapat koefisien gesek (f) pada keduanya sedangkan koefisien geseknya belum diketahi maka cara yang digunakan adalah dengan cara mengasumsikan nilai koefisien geseknya untuk mendapatkan hasil yang mendekati sama pada sisi kiri dan kanan persamaan tersebut.

Untuk variasi debit ke-1 $Re = 2348{,}43$

Asumsi nilai $f_{Colebrook} = 4{,}71.10^{-2}$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2.\log\left\{\frac{\varepsilon}{D} + \frac{9.35}{Re.\sqrt{f}}\right\}$$

$$\frac{1}{\sqrt{4{,}71.10^{-2}}} = 1.14 - 2.\log\left\{\frac{1{,}5 \text{ x } 10^{-3} mm}{18\ mm} + \frac{9.35}{2348{,}43.\sqrt{4{,}71.10^{-2}}}\right\}$$

$4{,}6 = 4{,}6$

Karena nilai f di atas hampir sama maka nilai koefisien geseknya adalah $f_{Colebrook} = 4{,}71.10^{-2}$. Setelah koefisien gesek pada persamaan 2.14 didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung besar *head loss mayor* yang terjadi pada aliran fluida menggunakan persamaan 2.22.

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

$$h_l = 4{,}71.10^{-2}.\frac{1}{0{,}018}\ .\frac{(1{,}309.10^{-1}\ m^3/s)^2}{2\ .\ 9{,}81}$$

$$h_l = 2{,}28\ .\ 10^{-3}\ m$$

Jadi besar *head loss mayor* yang terjadi pada pipa PVC berdiameter ½” untuk kondisi aliran transisi menurut persamaan 2.14 Colebrook adalah sebesar 2,28 $.\ 10^{-3}\ m$. Data hasil perhitungan ditampilkan secara lengkap pada tabel 4.2.

4.2.2.3 Perhitungan koefisien gesek menurut Nikuradse (1937)

Setelah koefisien gesek hasil eksperimen didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung koefisien gesek secara teori menggunakan persamaan 2.31 untuk membandingkan hasil eksperimen dengan hasil perhitungan secara teori menurut Nikuradse (1937). Pada perhitungan ini menggunakan data pada variasi ke-1 percobaan ke-1 yang digunakan sebagai contoh perhitungan dan untuk perhitungan dari keseluruhan data akan ditabelkan yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

Karena data yang dibutuhkan pada persamaan di atas terdapat koefisien gesek (f) pada keduanya sedangkan koefisien geseknya belum diketahui maka cara yang digunakan adalah dengan cara mengasumsikan nilai koefisien geseknya untuk mendapatkan hasil yang mendekati sama pada sisi kiri dan kanan persamaan tersebut.

Untuk variasi debit ke-1 $Re = 2348{,}43$

Asumsi nilai $\lambda_{Nikuradse} = 4{,}7.10^{-2}$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.\log\left\{\frac{k}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}}\right\}$$

$$\frac{1}{\sqrt{4{,}7.10^{-2}}} = -2.\log\left\{\frac{1{,}5 \text{ x } 10^{-3}mm}{3{,}7\,.\,18\,mm} + \frac{2{,}51}{2348{,}43\sqrt{4{,}7.10^{-2}}}\right\}$$

$$4{,}61 = 4{,}61$$

Karena nilai f diatas hampir sama maka nilai koefisien geseknya adalah $\lambda_{Nikuradse} = 4{,}7.10^{-2}$. Setelah koefisien gesek pada persamaan 2.13 didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung besar *head loss mayor* yang terjadi pada aliran fluida menggunakan persamaan 2.22.

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

$$h_l = 4{,}70.10^{-2}.\frac{1}{0{,}018}\,.\frac{(1{,}309.10^{-1}\ m^3/s)^2}{2\,.\,9{,}81}$$

$$h_l = 2{,}28\,.\,10^{-3}\,m$$

Jadi besar *head loss mayor* yang terjadi pada pipa PVC berdiameter ½" untuk kondisi aliran transisi menurut persamaan 2.13 adalah sebesar $2.28 \,.\, 10^{-3}\ m$. Data hasil perhitungan ditampilkan secara lengkap pada tabel 4.2.

4.2.2.4 Perhitungan koefisien gesek menurut Draad dkk., (1998)

Setelah koefisien gesek hasil eksperimen didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung koefisien gesek secara teori menggunakan persamaan 2.17 untuk membandingkan hasil eksperimen dengan hasil perhitungan secara teori menurut Draad dkk., (1998). Pada perhitungan ini menggunakan data pada variasi ke-1 percobaan ke-1 yang digunakan sebagai contoh perhitungan dan untuk perhitungan dari keseluruhan data akan ditabelkan yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

Data hasil eksperimen yang sudah didapat kemudian dihitung ulang menggunakan persamaan menurut Draad dkk., (1998) untuk mengetahui perbandingan besar koefisien gesek hasil eksperimen dengan koefisien gesek menurut Draad dkk., (1998).

Untuk variasi debit ke-1 $\Delta\mathrm{p} = 32{,}43\ Pa$

$$f_{Draad} = \frac{D}{\mathrm{L}} \frac{\Delta\mathrm{p}}{\frac{1}{2}\,\rho\, W^2}$$

$$f_{Draad} = \frac{0{,}018\ m}{1} \frac{32{,}43\ Pa}{\frac{1}{2}\,.\ 998\ kg/m^2.\ (1{,}309.10^{-1})^2\ \ m^3_{/s}}$$

$$f_{Draad} = 6{,}81\,.\,10^{-2}$$

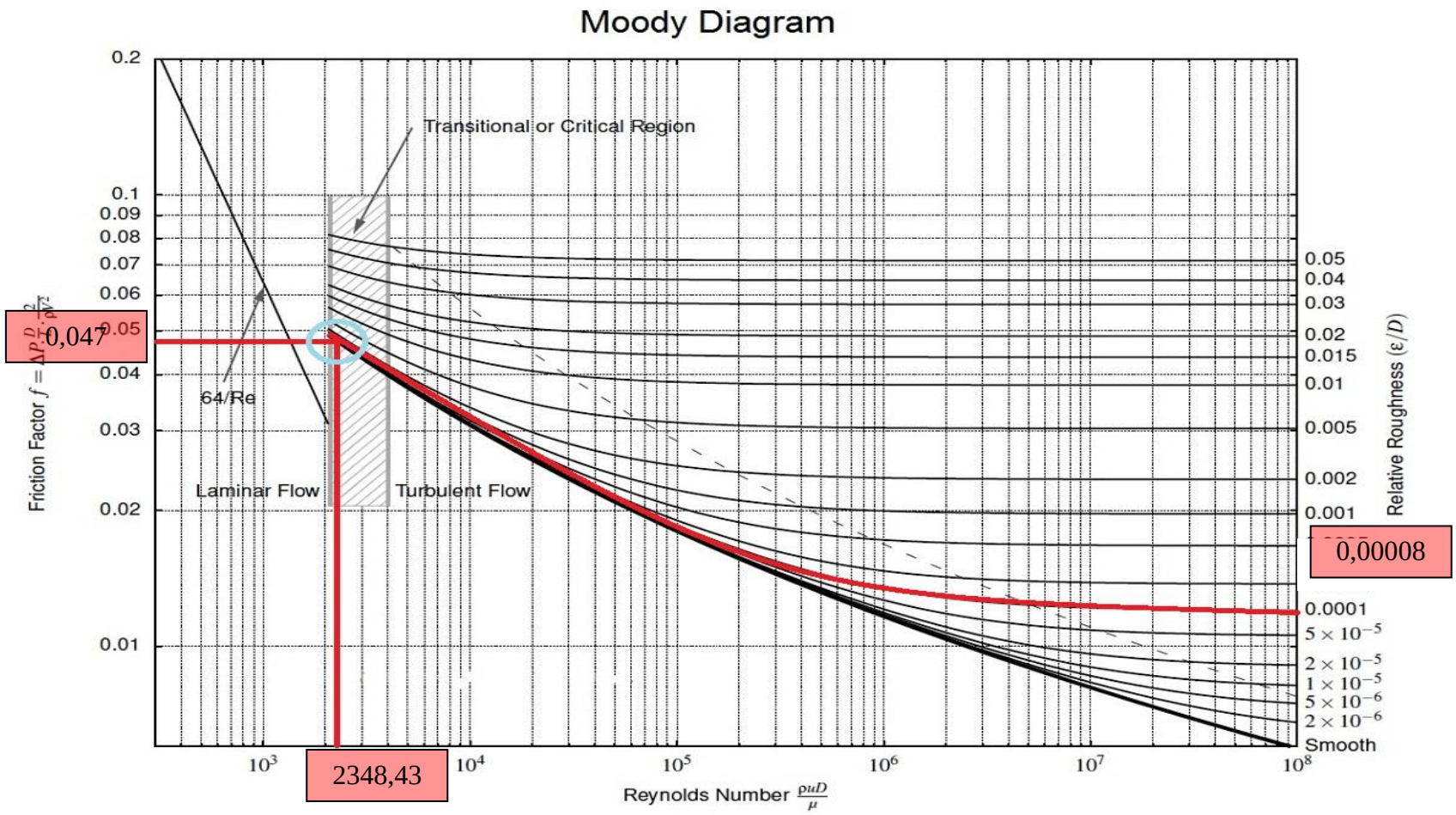
Setelah koefisien gesek pada persamaan 2.13 didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung besar *head loss mayor* yang terjadi pada aliran fluida menggunakan persamaan 2.22.

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

$$h_l = \ 6{,}81\,.\,10^{-2}\,.\frac{1}{0{,}018}\,.\frac{(1{,}309.10^{-1}\ \ m^3_{/s})^2}{2\,.\,9{,}81}$$

$$h_l = 3{,}31\,.\,10^{-3}\ \mathrm{m}$$

4.2.2.5 Perhitungan koefisien gesek menurut diagram Moody



4.2.2.6 Perhitungan koefisien gesek menggunakan persamaan laminar

Setelah koefisien gesek hasil eksperimen didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung koefisien gesek secara teori menggunakan persamaan 2.19 kondisi aliran laminar untuk memastikan bahwa hasil eksperimen tidak berada pada kondisi aliran laminar dengan cara menghitung kembali hasil eksperimen menggunakan persamaan 2.19 menurut Moody untuk kondisi aliran laminar yang kemudian dihitung standar deviasinya. Pada perhitungan ini mengunakan data pada variasi ke-1 percobaan ke-1 yang digunakan sebagai contoh perhitungan dan untuk perhitungan dari keseluruhan data akan ditabelkan yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

Data yang dibutuhkan pada persamaan 2.19 ini berasal dari perhitungan persamaan 2.9 yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk variasi debit ke-1 percobaan ke-1 $Re = 2348{,}43$

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

$$f = \frac{64}{2348{,}43}$$

$$f = 2{,}72.10^{-2}$$

Jadi nilai koefisien gesek yang didapatkan apabila menggunakan persamaan laminar adalah $2{,}72.10^{-2}$. Setelah koefisien gesek pada persamaan 2.19 didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung besar *head loss mayor* yang terjadi pada aliran fluida menggunakan persamaan 2.22.

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

$$h_l = 2{,}72.10^{-2}\,.\frac{1}{0{,}018}\,.\frac{(1{,}309.10^{-1}\ m^3/s)^2}{2\,.\,9{,}81}$$

$$h_l = 1{,}32\,.\,10^{-3}\ \text{m}$$

4.2.2.7 Perhitungan koefisien gesek menggunakan persamaan turbulen

Setelah koefisien gesek hasil eksperimen didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung koefisien gesek secara teori menggunakan persamaan 2.20 kondisi aliran turbulen untuk memastikan bahwa hasil eksperimen

tidak berada pada kondisi aliran turbulen dengan cara menghitung kembali hasil eksperimen menggunakan persamaan 2.20 menurut Moody untuk kondisi aliran turbulen yang kemudian dihitung standar deviasinya. Pada perhitungan ini mengunakan data pada variasi ke-1 percobaan ke-1 yang digunakan sebagai contoh perhitungan dan untuk perhitungan dari keseluruhan data akan ditabelkan yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

Data yang dibutuhkan pada persamaan 2.20 ini berasal dari tabel kekasaran pipa. Pipa PVC memiliki kekasaran 1,5 x 10^{-3}mm.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2.\log\left\{\frac{\varepsilon}{D}\right\}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2.\log\left\{\frac{1{,}5 \text{ x } 10^{-3} mm}{18\, mm}\right\}$$

$$f = 1{,}15x10^{-2}$$

Jadi nilai koefisien gesek yang didapatkan apabila menggunakan persamaan turbulen adalah $1{,}15x10^{-3}$. Setelah koefisien gesek pada persamaan 2.20 didapatkan maka langkah selanjutnya adalah menghitung besar *head loss mayor* yang terjadi pada aliran fluida menggunakan persamaan 2.22.

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

$$h_l = 1{,}15x10^{-3}\,.\frac{1}{0{,}018}\,.\frac{(1{,}309.10^{-1}\ m^3/_s)^2}{2\,.\,9{,}81}$$

$$h_l = 5{,}57\,.\,10^{-4} \text{ m}$$

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan keseluruhan pengamatan transisi

No	Re	Debit	Hasil perhitungan koefisien gesek transisi tiap percobaan (Pa)					Hasil perhitungan koefisien gesek transisi teori (Pa)			Koefisien gesek untuk pengecekan kondisi	
		LPM	1	2	3	4	5	Nirkuladse	Celebrook	Moody	Laminar	Turbulent
1	2348,43	2	$6,81.10^{-2}$	$7,50.10^{-2}$	$6,81.10^{-2}$	$6,13.10^{-2}$	$6,13.10^{-2}$	$4,7.10^{-2}$	$4,71.10^{-2}$	$4,70.10^{-2}$	$1,32.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
2	2465,86	2,1	$6,18.10^{-2}$	$6,80.10^{-2}$	$6,80.10^{-2}$	$6,18.10^{-2}$	$6,18.10^{-2}$	$4,63.10^{-2}$	$4,64.10^{-2}$	$4,60.10^{-2}$	$1,39.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
3	2583,28	2,2	$6,20.10^{-2}$	$6,76.10^{-2}$	$6,76.10^{-2}$	$6,20.10^{-2}$	$6,20.10^{-2}$	$4,57.10^{-2}$	$4,57.10^{-2}$	$4,57.10^{-2}$	$1,45.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
4	2700,70	2,3	$5,67.10^{-2}$	$6,19.10^{-2}$	$6,70.10^{-2}$	$6,19.10^{-2}$	$5,67.10^{-2}$	$4,50.10^{-2}$	$4,50.10^{-2}$	$4,50.10^{-2}$	$1,52.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
5	2818,12	2,4	$5,68.10^{-2}$	$6,16.10^{-2}$	$6,16.10^{-2}$	$6,63.10^{-2}$	$5,68.10^{-2}$	$4,44.10^{-2}$	$4,45.10^{-2}$	$4,45.10^{-2}$	$1,58.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
6	2935,54	2,5	$5,240.10^{-2}$	$6,11.10^{-2}$	$5,67.10^{-2}$	$6,11.10^{-2}$	$5,67.10^{-2}$	$4,39.10^{-2}$	$4,39.10^{-2}$	$4,35.10^{-2}$	$1,65.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
7	3052,97	2,6	$5,25.10^{-2}$	$5,65.10^{-2}$	$6,06.10^{-2}$	$6,06.10^{-2}$	$5,65.10^{-2}$	$4,34.10^{-2}$	$4,34.10^{-2}$	$4,30.10^{-2}$	$1,72.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
8	3170,39	2,7	$5,244.10^{-2}$	$5,62.10^{-2}$	$5,99.10^{-2}$	$5,99.10^{-2}$	$5,24.10^{-2}$	$4,29.10^{-2}$	$4,29.10^{-2}$	$4,25.10^{-2}$	$1,78.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
9	3287,81	2,8	$5,22.10^{-2}$	$5,22.10^{-2}$	$5,57.10^{-2}$	$5,92.10^{-2}$	$5,92.10^{-2}$	$4,24.10^{-2}$	$4,24.10^{-2}$	$4,24.10^{-2}$	$1,85.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
10	3405,23	2,9	$4,87.10^{-2}$	$5,19.10^{-2}$	$5,52.10^{-2}$	$5,52.10^{-2}$	$5,52.10^{-2}$	$4,20.10^{-2}$	$4,20.10^{-2}$	$4,20.10^{-2}$	$1,91.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
11	3522,65	3	$4,85.10^{-2}$	$4,85.10^{-2}$	$5,16.10^{-2}$	$5,46.10^{-2}$	$5,46.10^{-2}$	$4,15.10^{-2}$	$4,16.10^{-2}$	$4,15.10^{-2}$	$1,98.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$
12	3640,07	3,1	$4,83.10^{-2}$	$4,83.10^{-2}$	$5,11.10^{-2}$	$5,11.10^{-2}$	$5,11.10^{-2}$	$4,11.10^{-2}$	$4,12.10^{-2}$	$4,10.10^{-2}$	$2,05.10^{-2}$	$1,15.10^{-2}$

4.2.3 Standar Deviasi

Standar deviasi adalah ukuran yang digunakan untuk mengukur jumlah variasi atau sebaran sejumlah nilai data. Semakin rendah standar deviasi maka semakin mendekati rata-rata, sedangkan jika nilai standar deviasi semakin tinggi maka semakin lebar rentang variasi datanya. Pada perhitungan ini menggunakan data pada percobaan ke-1 dan untuk perhitungan dari keseluruhan data akan ditabelkan yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Data Standar Deviasi

Percobaan	f	f^2	Hl	hl^2
1	$6{,}82 \text{ x } 10^{-2}$	$4{,}7 \text{ x } 10^{-3}$	$3{,}31 \text{ x } 10^{-3}$	$1{,}09 \text{ x } 10^{-5}$
2	$6{,}19 \text{ x } 10^{-2}$	$3{,}8 \text{ x } 10^{-3}$	$3{,}31 \text{ x } 10^{-3}$	$1{,}09 \text{ x } 10^{-5}$
3	$6{,}20 \text{ x } 10^{-2}$	$3{,}8 \text{ x } 10^{-3}$	$3{,}65 \text{ x } 10^{-3}$	$1{,}32 \text{ x } 10^{-5}$
4	$5{,}67 \text{ x } 10^{-2}$	$3{,}2 \text{ x } 10^{-3}$	$3{,}65 \text{ x } 10^{-3}$	$1{,}32 \text{ x } 10^{-5}$
5	$5{,}69 \text{ x } 10^{-2}$	$3{,}2 \text{ x } 10^{-3}$	$3{,}98 \text{ x } 10^{-3}$	$1{,}58 \text{ x } 10^{-5}$
6	$5{,}24 \text{ x } 10^{-2}$	$2{,}7 \text{ x } 10^{-3}$	$3{,}98 \text{ x } 10^{-3}$	$1{,}58 \text{ x } 10^{-5}$
7	$5{,}25 \text{ x } 10^{-2}$	$2{,}8 \text{ x } 10^{-3}$	$4{,}31 \text{ x } 10^{-3}$	$1{,}85 \text{ x } 10^{-5}$
8	$5{,}24 \text{ x } 10^{-2}$	$2{,}8 \text{ x } 10^{-3}$	$4{,}64 \text{ x } 10^{-3}$	$2{,}15 \text{ x } 10^{-5}$
9	$5{,}23 \text{ x } 10^{-2}$	$2{,}7 \text{ x } 10^{-3}$	$4{,}98 \text{ x } 10^{-3}$	$2{,}47 \text{ x } 10^{-5}$
10	$4{,}87 \text{ x } 10^{-2}$	$2{,}4 \text{ x } 10^{-3}$	$4{,}98 \text{ x } 10^{-3}$	$2{,}47 \text{ x } 10^{-5}$
11	$4{,}86 \text{ x } 10^{-2}$	$2{,}4 \text{ x } 10^{-3}$	$5{,}31 \text{ x } 10^{-3}$	$2{,}81 \text{ x } 10^{-5}$
12	$4{,}83 \text{ x } 10^{-2}$	$2{,}3 \text{ x } 10^{-3}$	$5{,}64 \text{ x } 10^{-3}$	$3{,}84 \text{ x } 10^{-5}$
$\boldsymbol{\Sigma}$	$6{,}61 \text{ x } 10^{-1}$	$3{,}6 \text{ x } 10^{-2}$	$5{,}17 \text{ x } 10^{-3}$	$2{,}29 \text{ x } 10^{-4}$

$$\left(\sum_{i=1}^{n} f_i\right)^2 = (6{,}61 \text{ x } 10^{-1})^2 = 4{,}36 \text{ x } 10^{-1}$$

$$Varian^2 = \frac{\mathrm{n}\ \Sigma_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{x}_{\mathrm{i}}^2 - (\Sigma_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{x}_1\ )^2}{\mathrm{n}\ .\ (\mathrm{n}-1)} = \frac{(12).\,(3{,}6 \text{ x } 10^{-2}) - (4{,}36 \text{ x } 10^{-1})}{(12).\,(11)}$$

$$Varian^2 = 3{,}89 \text{ x } 10^{-5}$$

$$Varian = \sqrt{3{,}89\ x\ 10^{-5}} = 6{,}24 \text{ x } 10^{-3}$$

$$\text{Standar Deviasi} = \frac{6{,}24 \text{ x } 10^{-3}}{5{,}50 \text{ x} 10^{-2}} \text{ x } 100\% = 11{,}34\%$$

Tabel 4. 6 Standar Deviasi

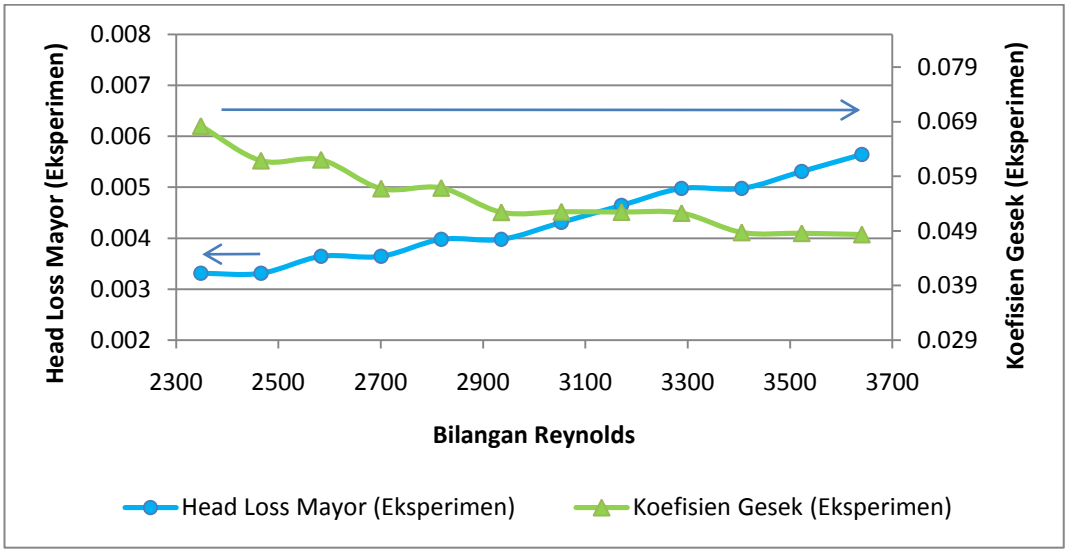
	Koefisien gesek & Head loss mayor				
	Teori Laminar	Percobaan			
	Moody	Ke-1	Ke-2	Ke-3	Ke-4	Ke-5
Standar Deviasi (*f*)		46,04 %	52,18 %	52,81 %	51,19 %	47,7 %
Standar Deviasi (*hl*)		48,69 %	52,24 %	55,88 %	57,49 %	54,74 %
	Koefisien gesek & Head loss mayor				
	Teori Transisi	Percobaan			
	Nirkuladse, Coolebrook, dan Moody	Ke-1	Ke-2	Ke-3	Ke-4	Ke-5
Standar Deviasi (*f*)		11,34 %	15,16 %	11,52 %	12,87 %	15,49 %
Standar Deviasi (*hl*)		18,30 %	15,70 %	20,04 %	24,19%	24,68 %
	Koefisien gesek & Head loss mayor				
	Teori Turbulen	Percobaan			
	Moody	Ke-1	Ke-2	Ke-3	Ke-4	Ke-5
Standar Deviasi (*f*)		68,28 %	75,27 %	76,26 %	74,54 %	70,51 %
Standar Deviasi (*hl*)		69,80 %	74,21 %	78,12 %	79,65 %	76,32 %

Standar Deviasi sebesar 11,34 % hal ini dikarenakan kemampuan alat ukur *Differential Pressure Meter* tidak dapat mengukur selisih tekanan yang sangat kecil.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Hubungan antara Bilangan Reynolds, koefisien gesek dan *Head Loss Mayor* hasil eksperimen.

Grafik hubungan Bilangan Reynolds, koefisien gesek dan *Head Loss Mayor* hasil eksperimen ditunjukkan pada gambar 4.2.

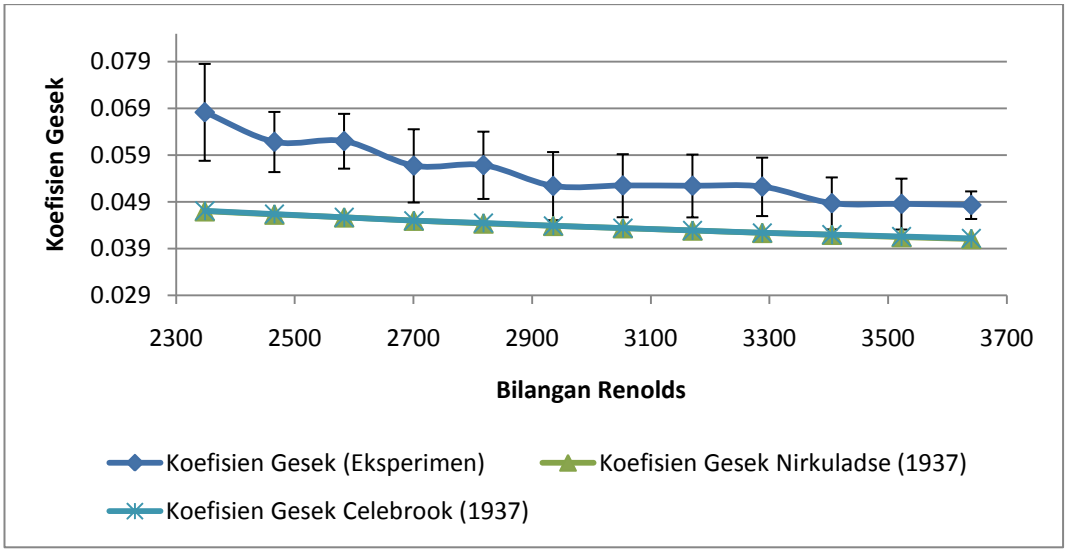


Gambar 4. 2 Hubungan Bilangan Reynolds, koefisien gesek dan *Head Loss Mayor*.

Berdasarkan grafik hubungan bilangan Reynolds, koefisien gesek dan *Head Loss Mayor* eksperimen pada gambar 4.2 terlihat bahwa pada saat aliran fluida mulai mendekati pola aliran turbulen *head loss mayor* yang terjadi cenderung meningkat, hal ini disebabkan karena perbedaan tekanan yang terjadi pada aliran fluida juga terus meningkat seiring dengan bertambahnya bilangan Reynolds. Berbanding terbalik dengan *head loss mayor*, koefisien gesek yang terjadi pada aliran fluida cenderung menurun seiring dengan bertambahnya bilangan Reynolds. Hal ini disebabkan karena semakin besar bilangan Reynolds menyebabkan kecepatan aliran fluida yang menjadi bilangan pembagi pada persamaan koefisien gesek juga semakin besar sehingga menyebabkan koefisien gesek pada aliran fluida cenderung mengecil. Hasil eksperimen ini sesuai dengan penelitan yang dilakukan oleh Nikuradse (1937), Colebrook dan White (1937), Chen dan Ackland (1990), Garcia dkk., (2017), Draad dkk., (1998), Amicis dkk., (2014) serta Karyono (2008).

4.3.2 Hubungan antara koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori.

Grafik hubungan Bilangan Reynolds, koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori ditunjukkan pada gambar 4.3.

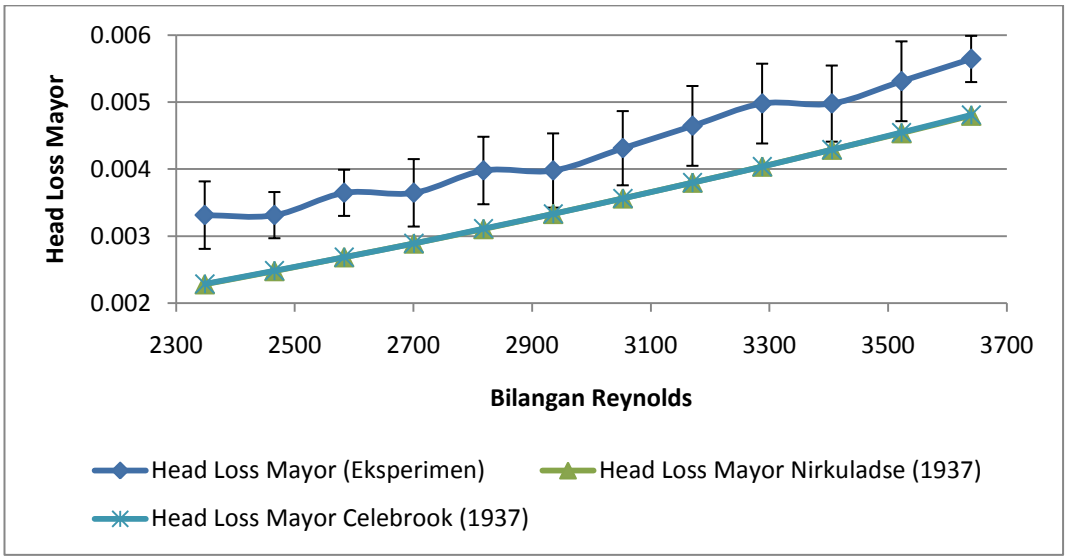


Gambar 4.3 Hubungan Bilangan Reynolds, koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori.

Berdasarkan grafik pada gambar 4.3 hubungan antara bilangan Reynolds, koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek dari beberapa peneliti sebelumnya dapat terlihat bahwa koefisien gesek eksperimen mendekati hasil koefisien gesek dari beberapa peneliti sebelumnya, hal ini membuktikan bahwa data yang diperoleh pada eksperimen ini tidak terlalu menyimpang dengan penelitian sebelumnya dan koefisien gesek pada penelitian ini memiliki standard deviasi sebesar 11,34 % Koefisien gesek terbesar yang mampu terukur pada aliran transisi ini terjadi ketika aliran fluida berada pada bilangan Reynolds Re=2348,43 dengan besar koefisien gesek terbesar sebesar 6,81. 10^{-2}dan koefisien gesek terkecil yang mampu terukur pada aliran transisi ini terjadi ketika aliran fluida berada pada bilangan Reynolds Re=3640,07 dengan besar koefisien gesek sebesar 4,83. 10^{-2}.

4.3.3 Hubungan antara Bilangan Reynolds, head loss mayor eksperimen, dan head loss mayor teori.

Grafik hubungan Bilangan Reynolds, *head loss mayor* eksperimen dan *head loss mayor* teori.



Gambar 4. 4 Hubungan Bilangan Reynolds, *Head Loss Mayor* Eksperimen dan *Head Loss Mayor* Teori.

Berdasarkan grafik pada gambar 4.4 hubungan antara Bilangan Reynolds, *Head Loss Mayor* eksperimen dan *Head Loss Mayor* teori dapat terlihat bahwa *Head Loss Mayor* eksperimen mendekati hasil *Head Loss Mayor* secara teori, hal ini membuktikan bahwa hasil eksperimen sudah memenuhi persamaan-persamaan fluida. Pada grafik terlihat ada 2 kali lengkungan pada peningkatan besar *Head Loss Mayor*, ini disebabkan karena terdapat data yang sama pada LPM 2 ke 2,1 dan 2,3 ke 2,4 serta 2,7 ke 2,8. Beberapa LPM mempunyai besar yang sama disebabkan oleh ketidakmampuan alat ukur *Differential Pressure Meter* untuk mengukur perbedaan tekanan yang sangat kecil sehingga menyebabkan data pada LPM 2 ke 2,1 dan 2,3 ke 2,4 serta 2,7 ke 2,8 tidak mengalami perubahan. Bentuk grafik yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya bilangan Reynolds sesuai dengan penelitian Eck dan Mevissen (2015). Pada penelitian ini hasil *head loss mayor* memiliki standard deviasi sebesar 18,30 %.