

BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

4.1 PERHITUNGAN DATA

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan data mentah berupa temperatur kerja fluida pada saat pengujian, perbedaan head tekanan, dan waktu yang diperlukan untuk menampung fluida pada volume tertentu. Data temperatur kerja fluida pada saat pengujian digunakan untuk menentukan sifat-sifat dari fluida, yaitu antara lain nilai massa jenis fluida (ρ) dan viskositas kinematik (ν) yang digunakan bersama dengan data massa fluida yang ditampung selama waktu tertentu untuk mencari kecepatan fluida dan Reynolds number. Sedangkan data perbedaan head tekanan digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (λ). Bilangan Reynolds dan koefisien gesek dari setiap aliran yang diambil datanya diplot dalam diagram *Moody*.

Adapun asumsi yang digunakan untuk memperoleh data dan mempermudah perhitungannya antara lain:

- Fluida yang dipakai *incompressible*,
- Aliran *steady* dan berkembang penuh,
- Tidak ada gelembung udara yang terjebak didalam pipa manometer,
- Tidak terdapat kebocoran pada sistem sirkulasi terutama pada instalasi pengujian,
- Perubahan tekanan udara luar diabaikan.

4.2 PENGUJIAN I

4.2.1 Contoh Perhitungan pada Pengujian I

Pada pengujian pertama ini untuk mendapatkan bilangan Reynolds (Re) digunakan rumus pipa berpenampang lingkaran dan faktor koefisien gesek (λ) didapatkan dengan menggunakan persamaan *Darcys-Weisbach*.

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk data yang didapat dari hasil pengujian I dengan pipa acrylic diameter 4 mm:

- Pipa penguji dengan diameter dalam (d) = 12 mm = 0,012 m
- Massa air yang ditampung (m) = 110 gram = 0,11 kg

- Waktu yang tercatat pada saat pengambilan data (t) = 10,53 detik
- Selisih head yang terukur pada manometer lurus yaitu = 1 mm = 1×10^{-3} m
- Massa jenis air ($T = 30^\circ\text{C}$) = $996,45 \text{ kg/m}^3$
- Viskositas kinematik fluida air ($T = 27.5^\circ\text{C}$) = $8,46 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- Gravitasi (g) = $9,81 \text{ m/s}^2$

Menghitung kecepatan rata-rata air pada pipa penguji dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran, U

$$Q = AU$$

$$\frac{m}{\rho \cdot t} = \frac{\pi d^2}{4} U$$

$$U = \frac{4m}{\rho t \pi d^2}$$

Dimana: Q = debit aliran (m^3/s)

A = luas penampang pipa (m^2)

U = kecepatan rata-rata (m/s)

m = massa fluida (kg)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

t = waktu fluida penampung (s)

d = diameter penampang pipa (m)

$$U = \frac{4 \cdot m}{\rho \cdot t \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot (0,11)}{(996,45)(10,53)(3,14)(0,012)^2} = 0,1283 \text{ m/s}$$

2. Menghitung bilangan Reynolds

Dari hasil perhitungan kecepatan rata-rata diatas maka bilangan Reynolds bisa dihitung, sebesar:

$$\text{Re} = \frac{Ud}{\nu}$$

$$\text{Re} = \frac{(0,1283)(0,012)}{(8,46 \times 10^{-7})} = 1517,05$$

3. Menghitung koefisien gesek (λ)

Koefisien gesek dapat dihitung sebagai berikut:

$$H_L = \lambda \frac{LU^2}{2gd} \Rightarrow \lambda = H_L \frac{2gd}{LU^2} = 1 \times 10^{-3} \frac{2(9,81)(0,012)}{(250 \times 10^{-3})(0,1283)^2} = 0,0461$$

Dari hasil yang di dapat (kondisi di 130 D) yaitu Reynolds (Re) dan koefisien gesek (λ) akan di plot sehingga menggambarkan diagram *Moody*.

4.2.2 Contoh Perhitungan Data dari Hasil Percobaan

Dari salah satu data hasil pengujian pada pipa inlet alumunium dengan diameter dalam 4 mm.

Parameter yang diperoleh dari pengujian:

Massa	:	0,11 kg
Waktu aliran (t)	:	10,21 s
Viskositas	:	$8,463 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
Jarak titik tapping (l)	:	250 mm
Pressure drop (Δh)	:	4,0 mm
Temperatur fluida (T)	:	27,5 °C
Density (ρ)	:	996,45 kg/m ³

Untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida dapat diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} U &= \frac{m}{t \cdot p \cdot A} \\ &= \frac{(0,11)}{(10,21)(996,45)\left(\frac{\pi}{4} \times 0,012^2\right)} \\ &= 0,1376 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Besarnya bilangan Reynolds untuk fluida Newton pada kecepatan U adalah:

$$\text{Re} = \frac{DU}{\nu} = \frac{(0,012)(0,1376)}{(8,46 \times 10^{-7})} = 1621,36$$

Besarnya bilangan koefisien gesek pada pipa kasar diselesaikan berdasarkan persamaan *Darcy Weisbach* yaitu sebagai berikut:

$$\Delta h = \lambda \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g} = \lambda = \Delta h \frac{2gD}{LU^2} = 0,6 \frac{2(9,81)(0,012)}{(250 \times 10^{-3})(0,0,1376)^2} = 0,1656$$

4.2.3 Hasil Pengolahan Data

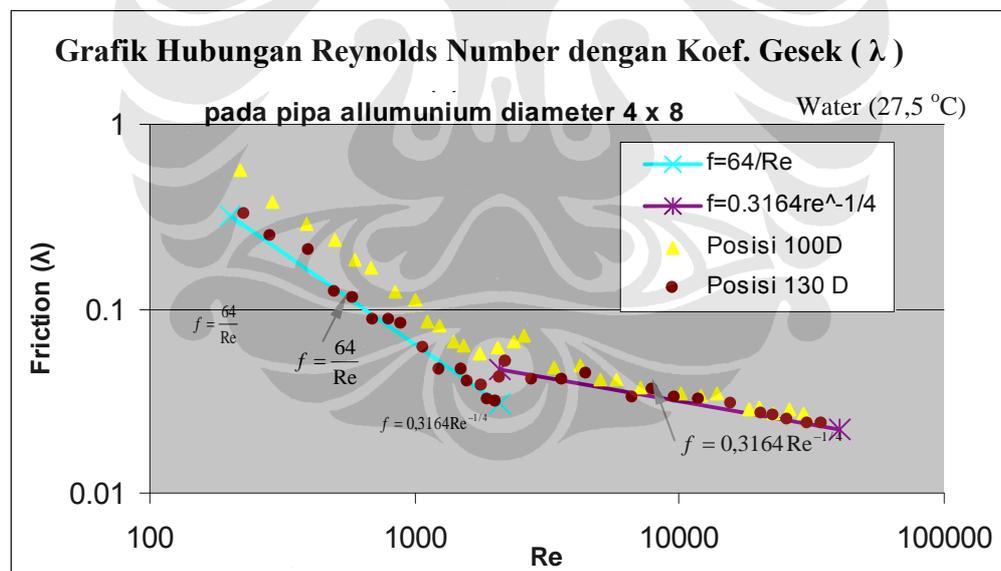
Hasil yang didapat dari pengolahan data-data percobaan diplot ke dalam grafik untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas mengenai pengaruh kecepatan aliran dengan faktor gesek yang timbul.

4.2.3.1 Grafik Pengolahan Data

Penelitian yang dilakukan menggunakan pipa inlet bulat dengan diameter 12 mm, suhu air pada saat pengambilan data yaitu 27,5°C.

Hasil-hasil pengolahan data dari semua percobaan dapat dilihat pada grafik-grafik berikut:

- 1) Perbandingan grafik $Re-\lambda$ antara panjang pipa masuk $L=130D$ dan $L=100D$

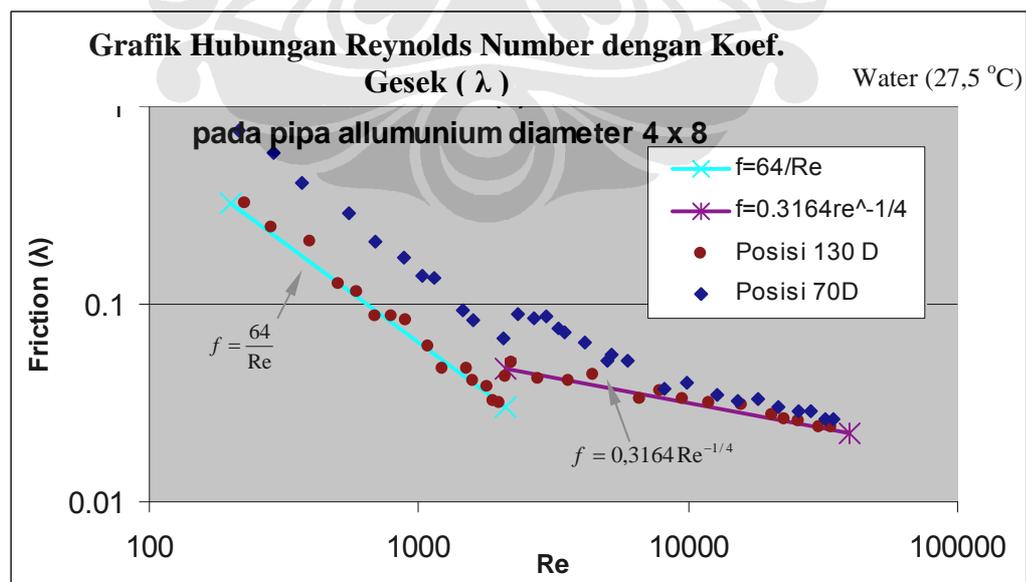


Gambar 4.1 Hubungan $Re-\lambda$ menunjukkan perbandingan antara panjang masuk $L= (130D)$ dengan $L= (100D)$.

Tabel 4.1 Contoh tabel pengolahan data aliran air pada pipa masuk (inlet) Aluminium berdiameter 4 mm pada saat di posisi 100D

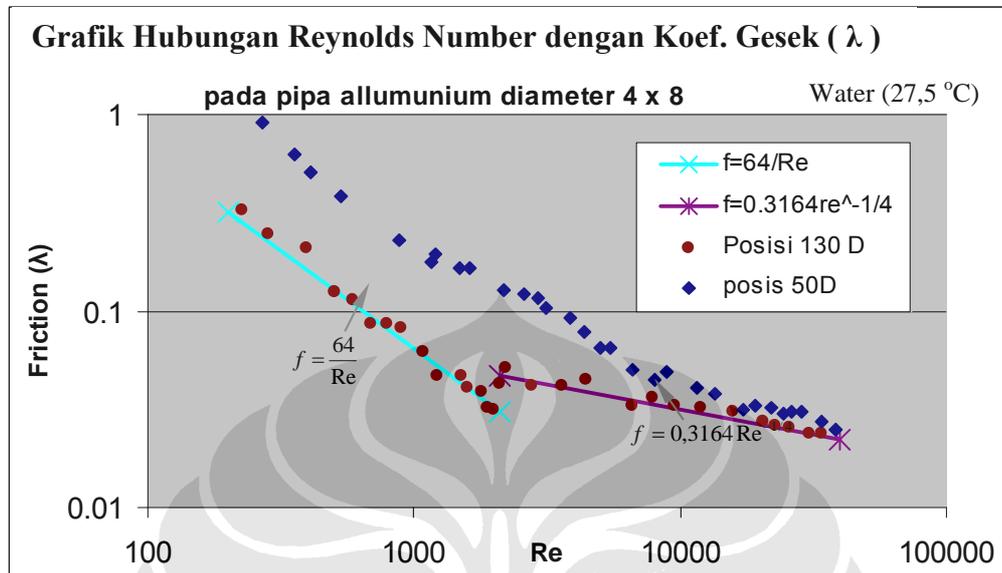
No	T (°C)	W (kg)	t (s)	ΔH (mm)	BJ	Viskos	U	Re	Friction (λ)
1	27.5	0.02	10.90	0.3	996.288	8.49E-07	0.01876	220.91	0.557488
2	27.5	0.02	10.80	0.3	996.288	8.49E-07	0.02485	292.62	0.381252
3	27.5	0.03	10.43	0.4	996.288	8.49E-07	0.03308	389.58	0.286803
4	27.5	0.04	10.45	0.5	996.288	8.49E-07	0.04280	504.04	0.235582
5	27.5	0.04	10.41	0.6	996.288	8.49E-07	0.05034	592.72	0.185852
6	27.5	0.05	10.04	0.7	996.288	8.49E-07	0.05855	689.50	0.167093
7	27.5	0.06	10.67	0.8	996.288	8.49E-07	0.07187	846.25	0.124601
8	27.5	0.07	10.54	1.0	996.288	8.49E-07	0.08488	999.47	0.112203
9	27.5	0.08	10.97	1.0	996.288	8.49E-07	0.09553	1124.92	0.085994
10	27.5	0.09	10.32	1.1	996.288	8.49E-07	0.10526	1239.52	0.080035
11	27.5	0.10	10.98	1.2	996.288	8.49E-07	0.11989	1411.72	0.065523
12	27.5	0.11	10.59	1.3	996.288	8.49E-07	0.12913	1520.55	0.063068
13	27.5	0.12	10.29	1.7	996.288	8.49E-07	0.15028	1769.63	0.057683
14	27.5	0.14	10.03	2.4	996.288	8.49E-07	0.17457	2055.57	0.061809
15	27.5	0.16	10.34	3.4	996.288	8.49E-07	0.20023	2357.80	0.066554

2) Perbandingan grafik Re- λ antara panjang pipa masuk L= 130D dan L= 70D



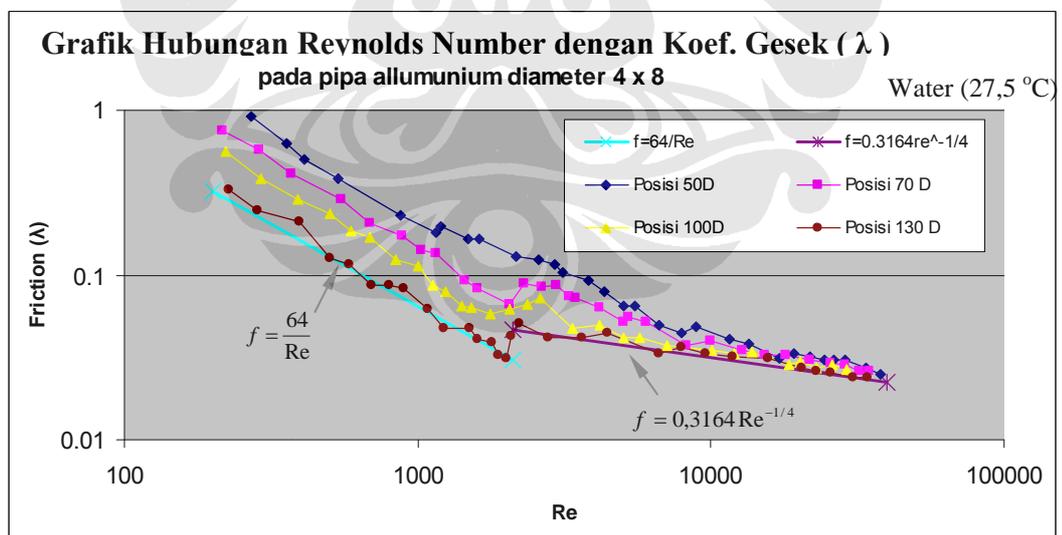
Gambar 4.2 Hubungan Re- λ menunjukkan perbandingan antara panjang masuk L= 130D dengan L= 70D

3) Perbandingan grafik Re- λ antara panjang pipa masuk $L=130D$ dan $L=50D$



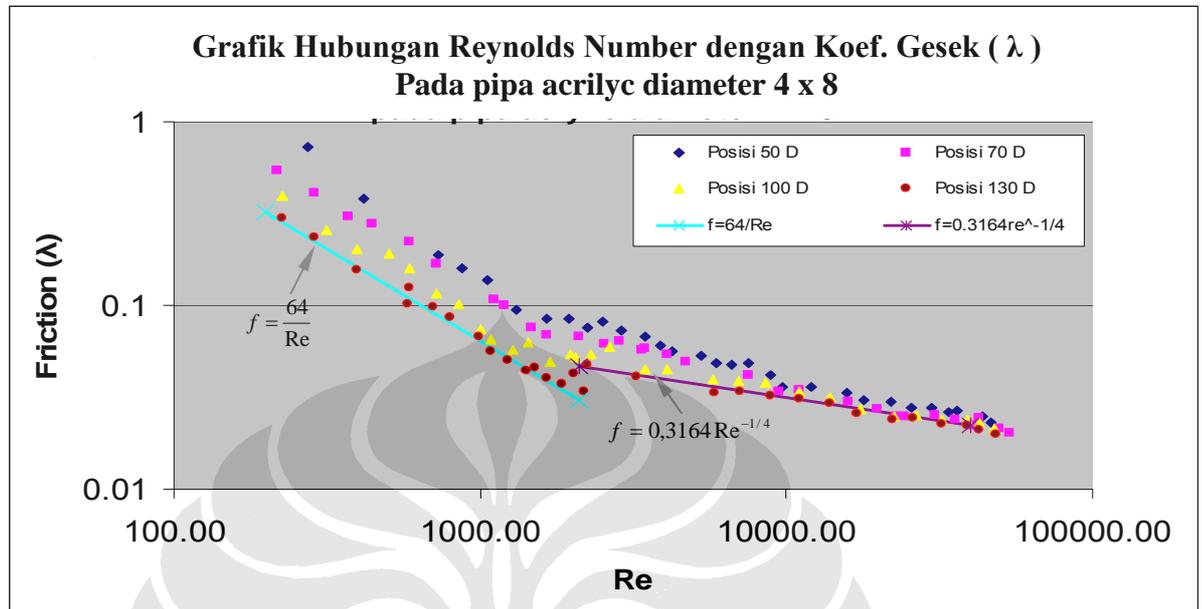
Gambar 4.3 Hubungan Re- λ menunjukkan perbandingan antara panjang masuk $L=130D$ dengan $L=50D$

4) Perbandingan grafik Re- λ secara keseluruhan (Al, diameter 4 mm)



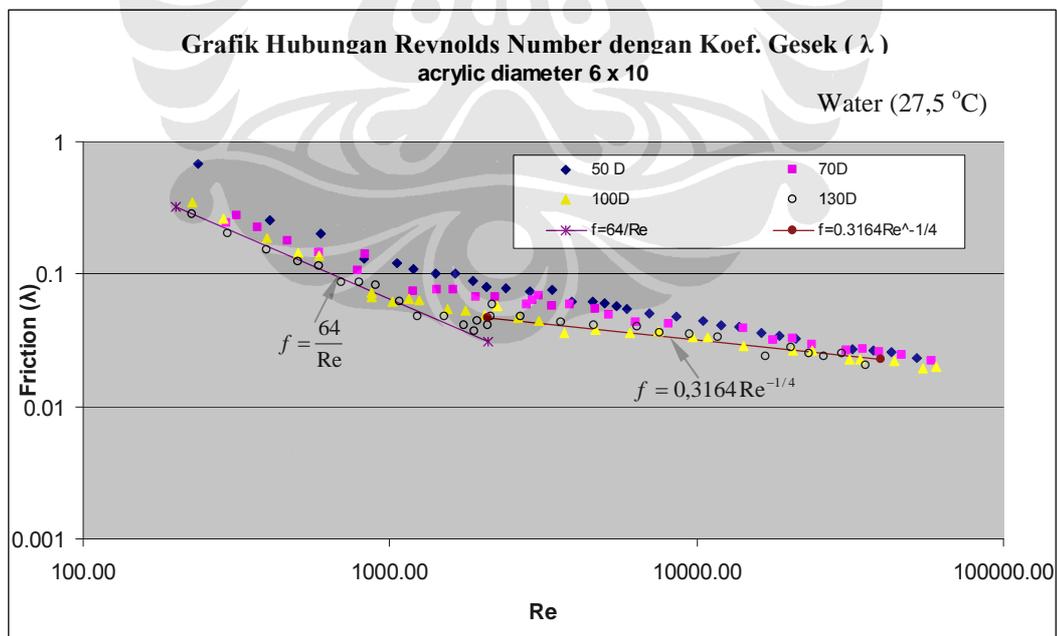
Gambar 4.4 Hubungan Re- λ menunjukkan perbandingan keseluruhan posisi pipa masuk

5) Perbandingan grafik $Re-\lambda$ secara keseluruhan pada jenis pipa acrylic ($d=4\text{mm}$)



Gambar 4.5 Hubungan $Re-\lambda$ menunjukkan perbandingan keseluruhan posisi inlet menggunakan pipa acrylic (dia. 4 mm)

6) Perbandingan grafik $Re-\lambda$ secara keseluruhan pada jenis pipa acrylic ($d=6\text{mm}$)



Gambar 4.6 Hubungan $Re-\lambda$ menunjukkan perbandingan keseluruhan posisi inlet menggunakan pipa Acrylic (dia. 6 mm)

4.2.4 Analisa Hasil (Pengujian I)

1. Perbandingan grafik $Re-\lambda$ antara panjang pipa masuk $L= 130D$ dan $L= 100D$

Apabila kita mengamati grafik (Gambar 4.1) diatas, data air pada pipa masuk (*inlet*) $L= (130D)$ pada aliran laminar terlihat data berimpitan atau berdekatan dengan garis *Hagen-Poiseuille* (garis $\lambda = 64/Re$) demikian juga pada aliran turbulen data berimpitan/berdekatan dengan garis *Blassius* (garis $\lambda = 0,3164Re^{-1/4}$), hal ini merupakan bahwa data yang diperoleh pada panjang jarak inlet sebesar $130D$ sangat cocok dengan persamaan-persamaan aliran fluida. Aliran transisi terjadi pada bilangan Reynolds pada $Re = \pm 2000$ sampai dengan $Re = \pm 2200$, ini menunjukkan bahwa aliran transisi terjadi secara cepat dan drastis. Pada kondisi ini kenaikan koefisien gesek cukup tinggi, dapat dilihat dari perhitungan data pada $Re = 2055.57$, $\lambda = 0.061809$ sedangkan pada $Re = 2357.80$, $\lambda = 0.066554$. Kenaikan koefisien gesek pada aliran transisi ini terjadi sesaat setelah fluida keluar dari pipa masuk, aliran yang ditimbulkannya akan mengalami fluktuasi yang tinggi disekitar pipa masuk sehingga menimbulkan gesekan diantara molekul fluida dan permukaan dari pada pipa. Pada saat aliran mulai berubah ke turbulen (didas Re ± 2200) koefisien gesek mulai turun, pada grafik terlihat sifat aliran mulai mengalami penurunan gesekan seiring bertambahnya bilangan Reynolds.

Bertambahnya jarak atau posisi pipa masuk dengan perpanjangan sebesar $130x$ diameter pipa uji (100%) membuat sifat aliran atau pola aliran berkembang penuh (*fully developed flow*) lebih lama, sehingga sifat aliran dapat kembali pada pendekatan persamaan-persamaan Navier-Stokes. Apabila kita mengamati daerah transisi pada grafik, terjadi kenaikan koefisien gesek secara drastis seiring bertambahnya kecepatan aliran, ini terjadi karena perubahan kecepatan pada pipa (laminar ke turbulen) akan menimbulkan gesekan lebih besar.

Perbandingan antara panjang masuk $L= 1,56\text{ m}(L= 130D)$ dengan $L= 1,20\text{ m}(L= 100D)$ yaitu, pada garis laminar terlihat data-data untuk $L=100D$ berada di atas garis data $L= 130D$, ini dikarenakan naiknya koefisien gesek akibat semakin pendeknya jarak panjang pipa masuk. Aliran transisi pada garis $L=100D$ juga mengalami perubahan, dimana terjadi pada $Re= 1700$ sampai dengan $Re= 4000$.

Sedangkan pada saat kecepatan aliran semakin cepat atau naiknya bilangan Reynolds dan menjadi turbulen, akan terlihat penurunan koefisien gesek pada grafik, hal ini diakibatkan terbentuknya sub lapisan viskos pada daerah turbulen berkembang penuh sehingga kerugian geseknya semakin menurun.

2. Perbandingan grafik $Re-\lambda$ antara panjang pipa masuk $L= 130D$ dan $L= 70D$

Pada Gambar 4.2 terlihat perbandingan antara panjang masuk $L= 1,56$ m ($L= 130D$) dengan $L= 0,84$ m ($L= 70D$), pada garis laminar dan transisi terlihat data panjang masuk untuk data $L=100D$ berada di atas garis data $L= 130D$, ini dikarenakan naiknya koefisien gesek akibat semakin pendeknya jarak panjang pipa masuk terhadap manometer. Aliran transisi pada garis $L=100D$ terjadi pada $Re= 1700$ sampai dengan $Re= 4000$. Setelah kondisi aliran transisi hilang dan menjadi turbulen ($Re>4000$) koefisien gesek akan turun dan mendekati garis $L=130D$ atau mengikuti persamaan dari pada *Blassius*.

3. Perbandingan grafik $Re-\lambda$ antara panjang pipa masuk $L= 130D$ dan $L= 50D$

Pada Gambar 4.3 yaitu kurva perbandingan antara panjang pipa masuk $L= 50D$ dengan $L= 130D$, perbedaan antara kedua kurva semakin tinggi, ini dikarenakan koefisien gesek pada panjang pipa masuk $L= 50D$ semakin besar. Awal terjadinya aliran transisi pada posisi ini tidak kelihatan, sedangkan akhir dari aliran transisi tersebut terjadi pada aliran turbulen pada $Re \pm 10000$.

4.3 PENGUJIAN II

Pada pengujian kedua ini aliran fluida diatur pada kecepatan tertentu, kecepatan aliran pada sistem dijaga konstan saat pengambilan data, bilangan Reynolds dan kecepatan rata-rata aliran dijadikan sebagai parameter tetap (konstan). Pengambilan data dilakukan dengan menggeser pipa masuk (*inlet*) dari jarak terdekat dari step pressure (L/D terkecil), hingga jarak tertentu untuk mendapatkan L/D pada kondisi dimana aliran sudah berkembang penuh (*fully developed flow*). Jadi pada pengujian kedua yang dilakukan adalah menentukan saat dimana aliran sudah berkembang penuh, hal ini terjadi apabila degradasi tekanan (Δp) pada manometer akan tetap, tidak berubah meskipun jarak geser (L/D) diperbesar.

Adapun persamaan yang digunakan pada pengujian ini yaitu:

1. Menentukan kecepatan rata-rata aliran (U):

$$Q = AU \rightarrow U = \frac{4m}{\rho t \pi d^2} \text{ (m/s)}$$

Massa (m) dan waktu (t) diambil saat fluida mengalir keluar dari sistem, keluaran fluida tersebut ditampung dan mencatat waktunya kemudian ditimbang dengan timbangan digital.

2. Menghitung bilangan Reynolds (Re):

$$Re = \frac{dU}{\nu}$$

Viskositas kinematik (ν) didapat sesuai dengan kondisi fluida air pada temperatur konstan (27,5 °C).

4.3.1 Contoh perhitungan data hasil pengujian II

Dari salah satu data hasil pengujian pada pipa inlet aluminium dengan diameter dalam 4 mm diperoleh data-data sebagai berikut:

Massa	: 0,063 kg
Waktu aliran (t)	: 10,56 s
Diameter (d)	: 0.012 m
Viskositas kinematik (ν)	: $8,46 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
Pressure drop (Δh)	: 12,5 mm
Temperatur fluida (T)	: 27,5 °C
Density (ρ)	: 996,45 kg/m ³

Menghitung kecepatan rata-rata dan bilangan Reynolds:

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran fluida, U

$$U = \frac{4m}{\rho t \pi d^2} = \frac{4(0,063)}{(996,45)(10,56)(3,14)(0,012^2)} = 0.05296 \text{ m/s}$$

2. Menghitung bilangan Reynolds, Re

$$Re = \frac{dU}{\nu} = \frac{(0.012)(0,05296)}{(8,46 \times 10^{-7})} = 751.20$$

Pada bilangan Reynolds konstan didapat beberapa data penurunan tekanan (Δh) dan rasio jarak L/D seperti ditunjukkan pada tabel di bawah ini. Aliran fluida adalah laminar dengan empat data bilangan Reynolds ($Re = 821$; $Re = 1181$; $Re = 1538$; $Re = 1968$)

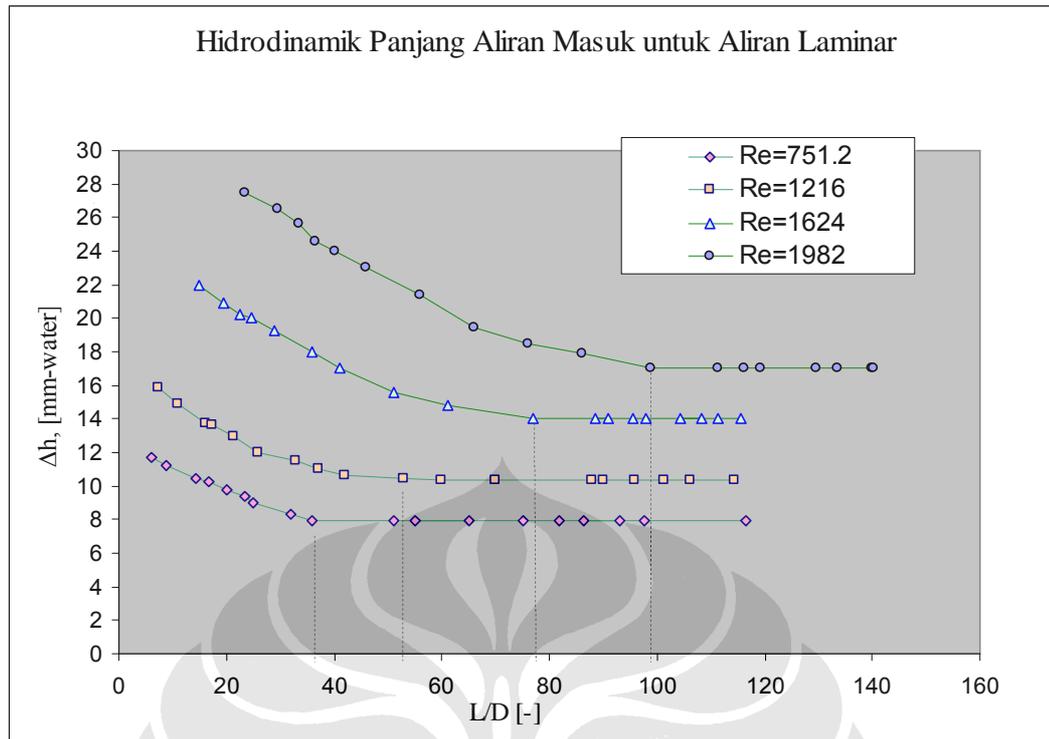
4.3.2 Hasil Pengolahan Data

4.3.2.1 Pengolahan data untuk aliran laminar

Tabel 4.2 Tabel data pengujian untuk mencari kondisi aliran laminar berkembang penuh

No	Re 751.2		Re 1216		Re 1624		Re 1982	
	Δh	L/D						
1	11.69	6.1	15.86	7.4	21.94	14.9	27.45	23.4
2	11.18	8.9	14.87	11	20.86	19.56	26.54	29.6
3	10.46	14.4	13.79	16	20.23	22.54	25.64	33.5
4	10.29	16.7	13.62	17.4	20.02	24.53	24.6	36.5
5	9.78	20.19	13	21.3	19.24	28.76	24	40.3
6	9.4	23.48	12	26	18	36	23	46
7	9	25	11.5	33	17	41	21.4	56
8	8.3	32	11	37	15.6	51	19.5	66
9	7.92	36	10.6	42	14.8	61	18.5	76
10	7.9	38	10.5	53	14	81	17.9	86
11	7.9	45	10.4	60	14	91	17	99
12	7.9	55	10.4	70	14	88.5	17	111.2
13	7.9	75	10.4	88	14	95.6	17	116.2
14	7.9	81.7	10.4	90	14	97.9	17	119.2
15	7.9	93.2	10.4	95.7	14	108.4	17	129.6
16	7.9	86.4	10.4	101.4	14	104.3	17	133.4
17	7.9	97.6	10.4	106.2	14	111.4	17	139.9
18	7.9	116.6	10.4	114.3	14	115.7	17	140.3

Pada tabel diatas, data yang diarsir menunjukkan kondisi aliran sudah berkembang penuh dimana perubahan terhadap panjang hidrodinamik setelah mencapai $L/D = 38$ pada $Re = 751.20$ menunjukkan tekanan pada manometer atau selisih head, $\Delta h = 7,9$ nilai ini tidak akan berubah (konstan) walaupun panjang jarak masuk pipa inlet diperbesar. Data-data diatas dibuat grafik hubungan antara penurunan tekanan (Δh) dengan rasio panjang (L/D) seperti pada grafik dibawah ini (Gambar 4.7), garis putus-putus menunjukkan dimana data pengujian pada saat kondisi aliran sudah berkembang penuh.



Gambar 4.7 Hubungan $L/D-\Delta h$ menunjukkan perbandingan antara beberapa bilangan Reynolds konstan pada aliran laminar.

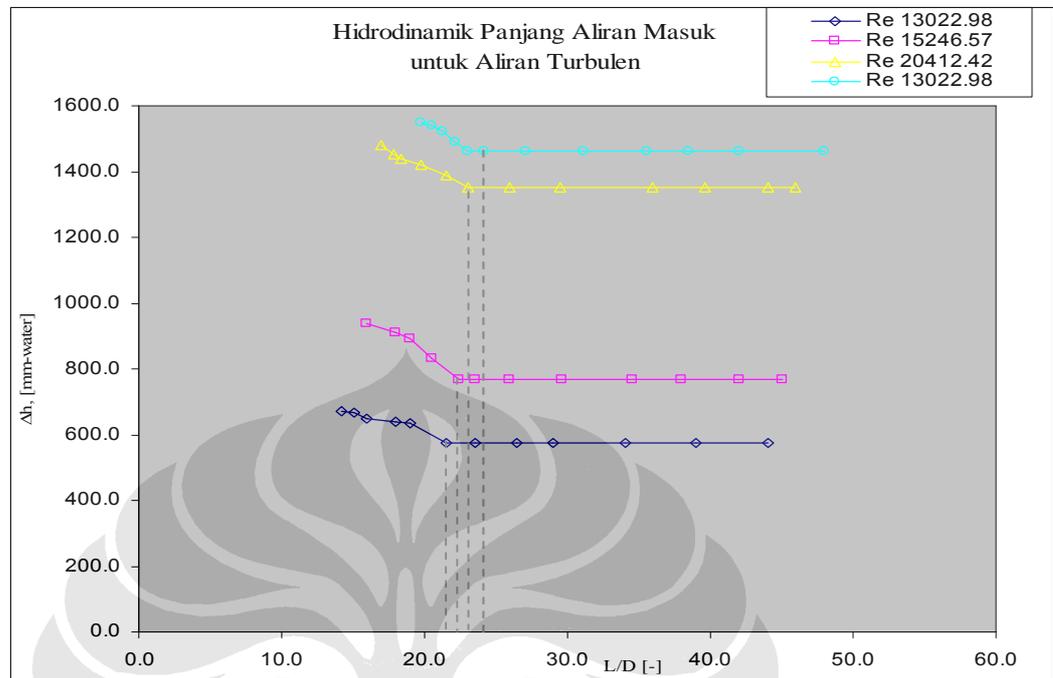
4.3.2.2 Pengolahan data untuk aliran turbulen

Tabel 4.3 Tabel data pengujian untuk mencari kondisi aliran turbulen berkembang penuh

No	Re	20924.56	Re	20412.42	Re	15246.57	Re	13022.98
	ΔH	L/D						
1	1550.0	19.8	1480.0	17.0	940.0	16.0	670.0	14.2
2	1540.0	20.5	1455.0	17.8	910.0	18.0	665.0	15.0
3	1520.0	21.3	1440.0	18.3	890.0	19.0	650.0	16.0
4	1490.0	22.2	1420.0	19.8	830.0	20.5	640.0	18.0
5	1460.0	23.1	1390.0	21.5	770.0	22.4	635.0	19.0
6	1460.0	24.2	1350.0	23.0	770.0	23.6	575.0	21.5
7	1460.0	27.1	1350.0	26.0	770.0	26.0	575.0	23.5
8	1460.0	31.2	1350.0	29.5	770.0	29.6	575.0	26.5
9	1460.0	35.6	1350.0	36.0	770.0	34.5	575.0	29.0
10	1460.0	38.5	1350.0	39.6	770.0	38.0	575.0	34.0
11	1460.0	42.0	1350.0	44.0	770.0	42.0	575.0	39.0
12	1460.0	48.0	1350.0	46.0	770.0	45.0	575.0	44.0

Pada tabel diatas, data yang diarsir menunjukkan kondisi aliran sudah berkembang penuh. Kemudian data-data tersebut diatas dibuat grafik hubungan

antara penurunan tekanan (Δh) dengan rasio panjang (L/D) seperti pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.8 Hubungan L/D - ΔH menunjukkan perbandingan antara beberapa bilangan Reynolds konstan pada aliran turbulen.

4.3.3 Analisa Hasil (Pengujian II)

1. Hidrodinamik panjang aliran masuk untuk aliran laminar

Pada Gambar 4.7 menunjukkan hidrodinamik panjang aliran masuk dengan perubahan tekanan persatuan perubahan panjang. Empat buah data grafik masing-masing pada kondisi bilangan Reynolds konstan dalam range aliran laminar. Pada $Re = 1624$ konstan, jarak aliran masuk atau rasio L/D dari rendah ke tinggi dirubah dengan menarik pipa kecil keluar memperpanjang jarak masuk (L) kemudian penurunan tekanan, Δp dilihat dari perubahan ketinggian air pada pipa manometer. Pada setiap perubahan kenaikan nilai rasio L/D diikuti oleh penurunan nilai kerugian tekanan. Penurunan kerugian tekanan ditunjukkan dengan garis lurus menurun pada kenaikan rasio L/D , dan penurunan garis lurus akan berubah menjadi horizontal atau tidak terlihat lagi pengurangan kerugian tekanan pada pertambahan rasio L/D . Pada saat nilai penurunan tekanan (Δp) sudah tidak berubah (konstan) walaupun panjang pipa masuk terus dinaikkan, kondisi ini dinamakan kondisi sudah berkembang penuh (*fully developed flow*).

Pada saat awal nilai ΔP konstan disebut aliran sudah berkembang penuh pada kondisi setiap bilangan Reynolds yang diukur. Nilai hubungan bilangan Reynolds dengan rasio L/D pada aliran berkembang penuh untuk aliran laminar dapat diperkirakan seperti tabel 4.2.

Tabel 4.4 Hidrodinamik panjang aliran laminar berkembang penuh

Re	751.2	1216	1624	1982
L/D	38	60	81	99

Setiap nilai Re untuk mencapai aliran berkembang penuh harus memenuhi harga minimal dari rasio L/D . Semakin tinggi nilai Re harus disediakan jarak yang cukup dengan kenaikan nilai rasio L/D . Misalnya untuk nilai bilangan Reynolds 1624 jarak panjang aliran masuk minimal $L = 81D$.

2. Hidrodinamik panjang aliran masuk untuk aliran turbulen.

Pada gambar 4.8 menunjukkan hidrodinamik panjang aliran masuk pada variasi bilangan Reynolds konstan pada aliran turbulen. Nilai kerugian tekanan, dp/dL atau Δp akan menurun secara linear bila kenaikan rasio L/D pada setiap kecepatan konstan ($Re = \text{konstan}$). Misalnya, pada $Re = 20924.56$ konstan, jarak panjang aliran masuk L/D dinaikkan, diikuti dengan penurunan nilai kerugian tekanan. Pada saat nilai kerugian tekanan (Δp) sudah tidak berubah (konstan) walaupun panjang aliran masuk terus dinaikkan, kondisi ini dinamakan kondisi sudah turbulen berkembang penuh (*fully developed turbulen flow*). Pada saat awal nilai Δp konstan akibat kenaikan rasio L/D aliran sudah berkembang penuh pada setiap nilai Re. Nilai hubungan bilangan Reynolds dengan rasio L/D pada aliran turbulen berkembang penuh dapat diperkirakan seperti tabel dibawah:

Tabel 4.5 Hidrodinamik panjang aliran turbulen berkembang penuh

Re	20924.56	20412.42	15246.57	13022.98
L/D	23.1	23	22.4	21.5

Setiap nilai Re untuk mencapai aliran berkembang penuh harus memenuhi harga minimal dari rasio L/D . Semakin tinggi nilai Re diperlukan nilai rasio L/D semakin besar. Misal untuk nilai bilangan Reynolds 13022,98 jarak panjang aliran

masuk minimal $L = 21.5 D$, sedangkan pada bilangan Reynolds 20924,56 jarak panjang aliran masuk minimal naik menjadi $23.1 D$.

