

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Perhitungan *Head Losses* dan Koefisien Kerugian Hasil Pengujian

Pengambilan data dalam penelitian ini dengan cara mengukur beda ketinggian di 2 titik yaitu manometer *in* dan manometer *out* di setiap belokan pipa dengan empat variasi debit yang diukur melalui *flowmeter* pada tiga konsentrasi larutan asam fosfat (H_3PO_4). Data pengujian dapat dilihat pada lampiran 2.

Perhitungan data dilakukan untuk mencari beda tekanan, *head losses* dan koefisien kerugian pada masing-masing belokan pipa dan konsentrasi yang berbeda, parameter densitas dan viskositas H_3PO_4 dilihat pada lampiran 1, maka perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Diameter dalam pipa (d) = 0,036 m
2. Densitas air raksa (ρ_{raksa}) = 13.600 kg/m³
3. Densitas H_3PO_4 85% (ρ_{85}) = 1.710 kg/m³
4. Densitas H_3PO_4 15% (ρ_{15}) = 1.123 kg/m³
5. Densitas H_3PO_4 10% (ρ_{10}) = 1.079 kg/m³
6. Densitas H_3PO_4 5% (ρ_5) = 1.039 kg/m³
7. Viskositas dinamis H_3PO_4 15% (μ_{15}) = 1,349 x 10⁻³ kg/m s
8. Viskositas dinamis H_3PO_4 10% (μ_{10}) = 1,134 x 10⁻³ kg/m s
9. Viskositas dinamis H_3PO_4 5% (μ_5) = 9,36 x 10⁻⁴ kg/m s
10. Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²
11. Jarak manometer (h_m) = 0,16 m
12. p_{atm} = 101.325 Pa

Dengan diketahuinya parameter-parameter tersebut, mula-mula dihitung kemolaran tiap konsentrasi larutan asam fosfat (H_3PO_4) untuk diketahui perbandingan volumenya. Contoh perhitungan volume larutan asam fosfat (H_3PO_4) pada konsentrasi 15% adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan volume larutan

1) Kemolaran H_3PO_4 85%

$$M = \frac{\% \times \rho_{85}}{\text{Berat Molekul}}$$

$$M_{85} = \frac{0,85 \times 1.710 \text{ kg/m}^3}{98 \text{ g/mol}}$$

$$M_{85} = 14,832 \text{ M}$$

2) Volume larutan pada konsentrasi 15%

$$M_{15} = \frac{0,15 \times 1.123 \text{ kg/m}^3}{98 \text{ g/mol}}$$

$$M_{15} = 1,72 \text{ M}$$

Pengenceran larutan dihitung dengan rumus:

$$V_{85} \times M_{85} = V_{15} \times M_{15}$$

$$1500 \text{ mL} \times 14,832 \text{ M} = V_{15} \times 1,72 \text{ M}$$

$$V_{15} = 12.934,88 \text{ mL}$$

Maka volume H_2O yang dibutuhkan untuk pengenceran adalah 11,435 L.

2. Kapasitas aliran fluida

$$Q_1 = 10 \text{ L/min} = 1,67 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 15 \text{ L/min} = 2,50 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = 20 \text{ L/min} = 3,33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_4 = 25 \text{ L/min} = 4,17 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

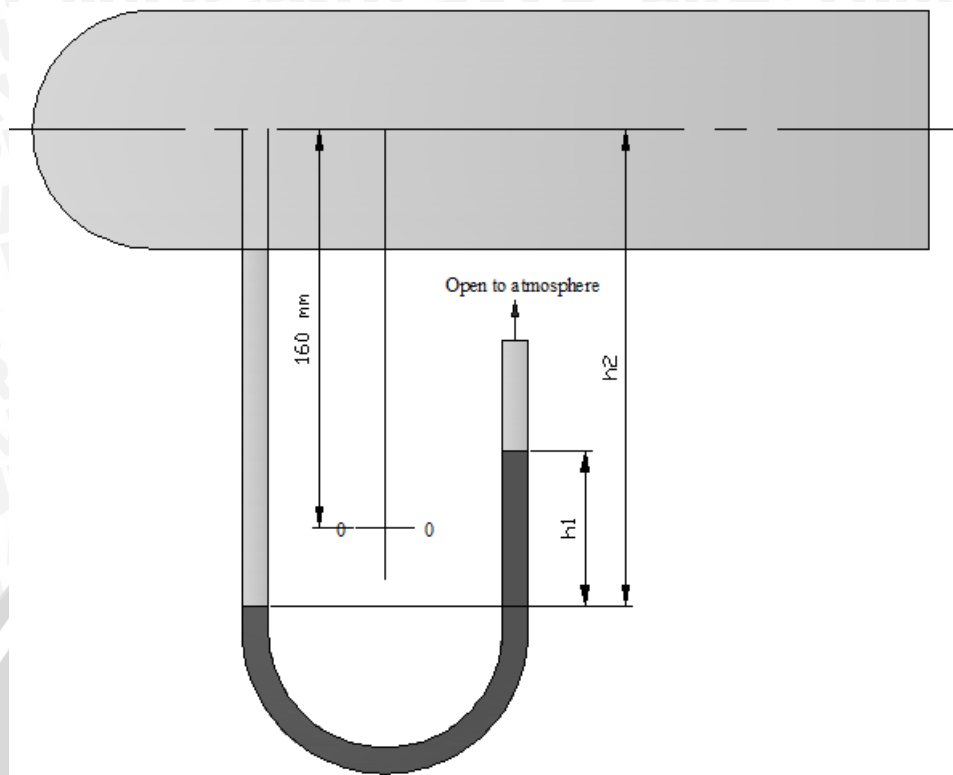
3. Laju aliran fluida

$$V_4 = \frac{Q_4}{A}$$

$$V_4 = \frac{4,17 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} (0,036 \text{ m})^2}$$

$$V_4 = 0,409 \text{ m/s}$$

4. Perhitungan tekanan fluida



Gambar 4.1 Level ketinggian pada manometer.

Contoh perhitungan tekanan mengacu pada pengujian data pertama pada konsentrasi larutan asam fosfat (H_3PO_4) 15% di belokan pipa 45° dengan kecepatan $0,409 \text{ m/s}$ yang terlampir pada lampiran 2.

- 1) Menghitung tekanan pada manometer *in*

$$p_{4in} = (p_{atm} + \gamma_{raksa} \times h_1) - (\gamma_{H_3PO_4} \times h_2)$$

$$p_{4in} = \left[\left(101.325 \text{ Pa} + \left(133.416 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 0,068 \text{ m} \times \frac{\text{Pa}}{\text{N}/\text{m}^2} \right) \right) - \left(11.016,63 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 0,194 \text{ m} \times \frac{\text{Pa}}{\text{N}/\text{m}^2} \right) \right]$$

$$p_{4in} = 108.260,06 \text{ Pa}$$

- 2) Menghitung tekanan pada manometer *out*

$$p_{4out} = (p_{atm} + \gamma_{raksa} \times h_1) - (\gamma_{H_3PO_4} \times h_2)$$

$$p_{4out} = \left[\left(101.325 \text{ Pa} + \left(133.416 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 0,066 \text{ m} \times \frac{\text{Pa}}{\text{N}/\text{m}^2} \right) \right) - \left(11.016,63 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 0,193 \text{ m} \times \frac{\text{Pa}}{\text{N}/\text{m}^2} \right) \right]$$

$$p_{4out} = 108.004,25 \text{ Pa}$$

- 3) Perbedaan tekanan

$$\Delta p_4 = p_{in} - p_{out}$$

$$\Delta p_4 = 108.260,06 \text{ Pa} - 108.004,25 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_4 = 255,82 \text{ Pa}$$

5. Bilangan *Reynolds* pada konsentrasi 15%

$$Re_4 = \frac{\rho_{15} \times v_4 \times d}{\mu_{15}}$$

$$Re_4 = \frac{1.123 \text{ kg/m}^3 \times 0,409 \text{ m/s} \times 0,036 \text{ m}}{1,349 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}}$$

$$Re_4 = 12.267,729$$

6. *Head Losses* pada konsentrasi 15% di belokan pipa 45°

$$hl_4 = \frac{\Delta p_4}{\rho_{15} \times g}$$

$$hl_4 = \frac{255,82 \text{ Pa}}{1.123 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$hl_4 = 2,32 \times 10^{-2} \text{ m}$$

7. Koefisien kerugian pada konsentrasi 15% di belokan pipa 45°

$$K_4 = \frac{hl_4}{\frac{v_4^2}{2 \times g}}$$

$$K_4 = \frac{2,32 \times 10^{-2}}{8,53 \times 10^{-3}}$$

$$K_4 = 2,72$$

4.2. Data Hasil Penelitian

4.2.1. Laju Aliran

Tabel 4.1 Data Perhitungan Laju Aliran.

Luas Penampang (m ²)	Debit (m ³ /s)	Laju Aliran (m/s)
1,018 x 10 ⁻³	1,67 x 10 ⁻⁴	0,164
	2,50 x 10 ⁻⁴	0,246
	3,33 x 10 ⁻⁴	0,327
	4,17 x 10 ⁻⁴	0,409

4.2.2. Perhitungan Tekanan

Tabel 4.2 Data Perhitungan Tekanan di Belokan Pipa 45°.

V (m/s)	Tekanan Belokan Pipa 45° (Pa)								
	Konsentrasi 15%			Konsentrasi 10%			Konsentrasi 5%		
	P _{in}	P _{out}	Δp	P _{in}	P _{out}	Δp	P _{in}	P _{out}	Δp
0,164	103399,57	102887,94	511,63	103731,35	103218,86	512,49	104057,06	103543,78	513,28
	103911,20	103399,57	511,63	103731,35	103218,86	512,49	103800,42	103287,14	513,28
	104167,02	103655,39	511,63	103731,35	103218,86	512,49	104057,06	103543,78	513,28
0,246	105190,28	104678,65	511,63	105012,59	104500,09	512,49	105083,61	104570,33	513,28
	105446,09	105190,28	255,82	105268,84	105012,59	256,25	105083,61	104826,97	256,64
	104934,46	104678,65	255,82	105268,84	105012,59	256,25	105083,61	104570,33	513,28
0,327	106725,17	106469,35	255,82	107062,56	106806,32	256,25	106110,17	105853,53	256,64
	106980,98	106725,17	255,82	106806,32	106550,07	256,25	106110,17	105853,53	256,64
	107236,80	106980,98	255,82	107062,56	106806,32	256,25	106110,17	105853,53	256,64
0,409	108260,06	108004,25	255,82	108343,80	108087,55	256,25	107906,65	107650,01	256,64
	108260,06	108004,25	255,82	108087,55	107831,31	256,25	107906,65	107650,01	256,64
	108515,88	108260,06	255,82	108087,55	107831,31	256,25	108163,29	107906,65	256,64

Tabel 4.3 Data Perhitungan Tekanan di Belokan Pipa 90°.

V (m/s)	Tekanan Belokan Pipa 90° (Pa)								
	Konsentrasi 15%			Konsentrasi 10%			Konsentrasi 5%		
	P _{in}	P _{out}	Δp	P _{in}	P _{out}	Δp	P _{in}	P _{out}	Δp
0,164	103911,20	103143,75	767,45	104243,85	103475,11	768,74	104313,69	103543,78	769,92
	104167,02	103399,57	767,45	104243,85	103475,11	768,74	104313,69	103543,78	769,92
	104167,02	103399,57	767,45	103987,60	103218,86	768,74	104313,69	103800,42	513,28
0,246	104678,65	104039,11	639,54	104756,34	104243,85	512,49	104570,33	104057,06	513,28
	104934,46	104422,83	511,63	104756,34	104243,85	512,49	104570,33	104057,06	513,28
	105190,28	104806,55	383,72	104756,34	104243,85	512,49	104570,33	104057,06	513,28
0,327	106980,98	106469,35	511,63	106293,82	105781,33	512,49	106366,81	105853,53	513,28
	106980,98	106725,17	255,82	106293,82	106037,58	256,25	106366,81	106110,17	256,64
	106980,98	106725,17	255,82	106550,07	106165,70	384,37	106110,17	105853,53	256,64
0,409	108515,88	108004,25	511,63	108343,80	108087,55	256,25	107650,01	107265,05	384,96
	108515,88	108260,06	255,82	108343,80	108087,55	256,25	107650,01	107393,37	256,64
	108260,06	108004,25	255,82	108343,80	108087,55	256,25	107906,65	107650,01	256,64

Tabel 4.4 Data Perhitungan Tekanan di Belokan Pipa 180°.

V (m/s)	Tekanan Belokan Pipa 90° (Pa)								
	Konsentrasi 15%			Konsentrasi 10%			Konsentrasi 5%		
	p _{in}	p _{out}	Δp	p _{in}	p _{out}	Δp	p _{in}	p _{out}	Δp
0,164	104167,02	103399,57	767,45	103987,60	103218,86	768,74	103800,42	103030,50	769,92
	104167,02	103399,57	767,45	103987,60	103218,86	768,74	103800,42	103030,50	769,92
	104422,83	103655,39	767,45	104243,85	103475,11	768,74	103800,42	103030,50	769,92
0,246	104934,46	104422,83	511,63	104756,34	104115,72	640,62	105340,25	104570,33	769,92
	104934,46	104422,83	511,63	104756,34	104243,85	512,49	104826,97	104313,69	513,28
	105190,28	104678,65	511,63	104756,34	104243,85	512,49	104826,97	104313,69	513,28
0,327	106469,35	105957,72	511,63	106550,07	106037,58	512,49	106110,17	105596,89	513,28
	106469,35	105957,72	511,63	106806,32	106293,82	512,49	106110,17	105596,89	513,28
	106469,35	105957,72	511,63	106293,82	105781,33	512,49	106110,17	105596,89	513,28
0,409	108004,25	107492,62	511,63	108343,80	107831,31	512,49	108163,29	107650,01	513,28
	108260,06	108004,25	255,82	108087,55	107831,31	256,25	108163,29	107906,65	256,64
	108004,25	107748,43	255,82	108087,55	107831,31	256,25	108163,29	107906,65	256,64

4.2.3. Head Losses

Tabel 4.5. Nilai *Head Losses* pada Laju Aliran dan Konsentrasi Asam Fosfat (H₃PO₄) di Masing-Masing Belokan Pipa

v (m/s)	<i>Head Losses</i> (m)								
	Belokan 45			Belokan 90			Belokan 180		
	15%	10%	5%	15%	10%	5%	15%	10%	5%
0,164	0,046	0,048	0,050	0,070	0,073	0,076	0,070	0,073	0,076
	0,046	0,048	0,050	0,070	0,073	0,076	0,070	0,073	0,076
	0,046	0,048	0,050	0,070	0,073	0,050	0,070	0,073	0,076
0,246	0,046	0,048	0,050	0,058	0,048	0,050	0,046	0,061	0,076
	0,023	0,024	0,025	0,046	0,048	0,050	0,046	0,048	0,050
	0,023	0,024	0,050	0,035	0,048	0,050	0,046	0,048	0,050
0,327	0,023	0,024	0,025	0,046	0,048	0,050	0,046	0,048	0,050
	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,025	0,046	0,048	0,050
	0,023	0,024	0,025	0,023	0,036	0,025	0,046	0,048	0,050
0,409	0,023	0,024	0,025	0,046	0,024	0,038	0,046	0,048	0,050
	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,025
	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,025

4.2.4. Koefisien Kerugian

Tabel 4.6. Nilai Koefisien Kerugian pada Laju Aliran dan Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) di Masing-Masing Belokan Pipa

v (m/s)	Koefisien Kerugian (K)								
	Belokan 45			Belokan 90			Belokan 180		
	15%	10%	5%	15%	10%	5%	15%	10%	5%
0,164	33,986	35,432	36,852	50,979	53,147	55,278	50,979	53,147	55,278
	33,986	35,432	36,852	50,979	53,147	55,278	50,979	53,147	55,278
	33,986	35,432	36,852	50,979	53,147	36,852	50,979	53,147	55,278
0,246	15,105	15,747	16,379	18,881	15,747	16,379	15,105	19,684	24,568
	7,552	7,874	8,189	15,105	15,747	16,379	15,105	15,747	16,379
	7,552	7,874	16,379	11,329	15,747	16,379	15,105	15,747	16,379
0,327	4,248	4,429	4,606	8,496	8,858	9,213	8,496	8,858	9,213
	4,248	4,429	4,606	4,248	4,429	4,606	8,496	8,858	9,213
	4,248	4,429	4,606	4,248	6,643	4,606	8,496	8,858	9,213
0,409	2,719	2,835	2,948	5,438	2,835	4,422	5,438	5,669	5,896
	2,719	2,835	2,948	2,719	2,835	2,948	2,719	2,835	2,948
	2,719	2,835	2,948	2,719	2,835	2,948	2,719	2,835	2,948

4.3. Analisis Statistik

Data dari pengujian dapat dianalisis untuk mengetahui apakah faktor-faktor dalam pengujian ini yaitu laju aliran dan sudut belokan pada konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) memiliki pengaruh atau tidak terhadap *head losses* dan koefisien kerugian. Pada setiap pengambilan data terhadap *head losses* dan koefisien kerugian ke tiga faktor di atas tercakup di dalamnya. Oleh karena itu, dilakukan analisis varian dua arah (*two way ANOVA*) *in randomized block*.

4.3.1. Analisis Varian Dua arah (*Two Way ANOVA*)

Untuk mengetahui hubungan laju aliran dan belokan pipa pada konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) terhadap *head losses* dan koefisien kerugian *head* dilakukan analisis varians dua arah. Apabila nilai F_{hitung} lebih besar daripada F_{tabel} maka faktor yang diuji berpengaruh secara nyata. Namun, bila nilai F_{hitung} lebih kecil atau sama dengan F_{tabel} maka faktor yang diuji tidak berpengaruh secara nyata.

Hipotesis

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0$$

Tidak ada pengaruh laju aliran terhadap *head losses* dan koefisien kerugian

H_1 : sekurang-kurangnya satu laju aliran berpengaruh terhadap *head losses* dan koefisien kerugian.

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

Tidak ada pengaruh konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) terhadap *head losses* dan koefisien kerugian.

H_1 : sekurang-kurangnya satu konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) berpengaruh terhadap *head losses* dan koefisien kerugian.

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0$$

Tidak ada pengaruh besar sudut belokan pipa terhadap *head losses* dan koefisien kerugian.

H_1 : sekurang-kurangnya satu ukuran besar sudut belokan pipa berpengaruh terhadap *head losses* dan koefisien kerugian.

$$H_0: \alpha\gamma_{11} = \alpha\gamma_{22} = \dots = \alpha\gamma_{ij} = 0$$

Tidak ada pengaruh laju aliran dan sudut belokan pada konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) terhadap *head losses* dan koefisien kerugian.

H_1 : sekurang-kurangnya ada satu laju aliran dan sudut belokan pada konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) berpengaruh terhadap *head losses* dan koefisien kerugian.

4.3.2. Perhitungan Analisis Varian Dua Arah (*Two Way Anova*) Hubungan Laju Aliran dan Belokan Pipa pada Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) terhadap *Head Losses*

Tabel 4.7 Perhitungan Hubungan Laju Aliran dan Belokan Pipa pada Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) terhadap *Head Losses*

v (m/s)	<i>Head Losses</i> (m)									Jumlah Total
	Belokan 45			Belokan 90			Belokan 180			
	15%	10%	5%	15%	10%	5%	15%	10%	5%	
0,164	0,046	0,048	0,050	0,070	0,073	0,076	0,070	0,073	0,076	
	0,046	0,048	0,050	0,070	0,073	0,076	0,070	0,073	0,076	
	0,046	0,048	0,050	0,070	0,073	0,050	0,070	0,073	0,076	
Jumlah	0,139	0,145	0,151	0,209	0,218	0,201	0,209	0,218	0,227	1,717
0,246	0,046	0,048	0,050	0,058	0,048	0,050	0,046	0,061	0,076	
	0,023	0,024	0,025	0,046	0,048	0,050	0,046	0,048	0,050	
	0,023	0,024	0,050	0,035	0,048	0,050	0,046	0,048	0,050	
Jumlah	0,093	0,097	0,126	0,139	0,145	0,151	0,139	0,157	0,176	1,224
0,327	0,023	0,024	0,025	0,046	0,048	0,050	0,046	0,048	0,050	
	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,025	0,046	0,048	0,050	
	0,023	0,024	0,025	0,023	0,036	0,025	0,046	0,048	0,050	
Jumlah	0,070	0,073	0,076	0,093	0,109	0,101	0,139	0,145	0,151	0,956
0,409	0,023	0,024	0,025	0,046	0,024	0,038	0,046	0,048	0,050	
	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,025	
	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,025	0,023	0,024	0,025	
Jumlah	0,070	0,073	0,076	0,093	0,073	0,088	0,093	0,097	0,101	0,762
Jumlah Total	0,372	0,387	0,428	0,534	0,545	0,541	0,581	0,617	0,655	4,660

$$FK = 3,780^2 / 108 = 0,2010$$

$$JK_{\text{total}} = (0,046^2 + \dots + 0,025^2) - FK = 0,0523$$

$$JK_{\text{belokan}} = (1,187^2 + 1,620^2 + 1,852^2) / 36 - FK = 0,0209$$

$$JK_{\text{kecepatan}} = (1,717^2 + \dots + 0,762^2) / 27 - FK = 0,0252$$

$$JK_{\text{konsentrasi}} = (1,486^2 + \dots + 1,624^2) / 36 - FK = 0,0004$$

$$JK_{\text{kec x belokan}} = (0,435^2 + \dots + 0,229^2) - FK - JK_{\text{kec}} - JK_{\text{belokan}} = 0,0019$$

$$JK_{\text{error}} = JK_{\text{tot}} - JK_{\text{belok}} - JK_{\text{kec}} - JK_{\text{kons}} - JK_{\text{kec x belokan}} = 0,0039$$

Tabel 4.8 Tabel ANOVA Hubungan Laju Aliran dan Belokan Pipa pada Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) terhadap *Head Losses*

Sumber Ragam	Derajat Bebas	Jumlah Kudrat	Kuadrat Tengah	F hitung	F 0,05
Laju Aliran	3	0,0252	0,0105	203,84	2,71
Konsentrasi	2	0,0004	0,0084	4,72	3,10
Belokan	2	0,0209	0,0105	253,94	3,10
Laju x Belokan	6	0,0019	0,0003	8,04	2,20
Error	94	0,0039	0,00004		
Total	107	0,0523			

Taraf Nyata dan Nilai F_{Tabel}

$\alpha = 0,05$ (5%)

Untuk laju aliran $F_{tabel} = 2,71$

Untuk konsentrasi $F_{tabel} = 3,10$

Untuk belokan $F_{tabel} = 3,10$

Untuk interaksi $F_{tabel} = 2,20$

Menentukan Kriteria Pengujian

Untuk laju aliran

H_0 = ditolak jika $F_{tabel} > 2,71$

H_0 = diterima jika $F_{tabel} \leq 2,71$

Untuk konsentrasi

H_0 = ditolak jika $F_{tabel} > 3,10$

H_0 = diterima jika $F_{tabel} \leq 3,10$

Untuk belokan

H_0 = ditolak jika $F_{tabel} > 3,10$

H_0 = diterima jika $F_{tabel} \leq 3,10$

Untuk interaksi

H_0 = ditolak jika $F_{tabel} > 2,20$

H_0 = diterima jika $F_{tabel} \leq 2,20$

Kesimpulan

Untuk laju aliran

Karena $F_{hitung} > F_{tabel} = 203,84 > 3,10$, berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima jadi sekurang-kurangnya satu laju aliran berpengaruh terhadap *head losses*.

Untuk konsentrasi

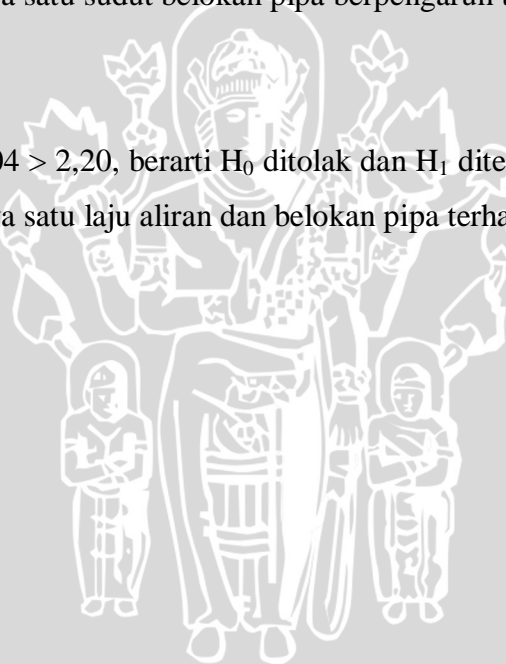
Karena $F_{hitung} > F_{tabel} = 4,72 > 3,10$, berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima jadi sekurang-kurangnya satu konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) berpengaruh terhadap *head losses*.

Untuk belokan

Karena $F_{hitung} > F_{tabel} = 253,94 > 3,10$, berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima jadi sudut sekurang-kurangnya satu sudut belokan pipa berpengaruh terhadap *head losses*.

Untuk Interaksi

Karena $F_{hitung} > F_{tabel} = 8,04 > 2,20$, berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima jadi ada interaksi sekurang-kurangnya satu laju aliran dan belokan pipa terhadap *head losses*.



4.3.3. Perhitungan Analisis Varian Dua Arah (*Two Way Anova*) Hubungan Laju Aliran dan Belokan Pipa pada Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) terhadap Koefisien Kerugian

Tabel 4.9 Perhitungan Hubungan Laju Aliran dan Belokan Pipa pada Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) terhadap Koefisien Kerugian

v (m/s)	Koefisien Kerugian (K)									Jumlah Total
	Belokan 45			Belokan 90			Belokan 180			
	15%	10%	5%	15%	10%	5%	15%	10%	5%	
0,164	33,99	35,43	36,85	50,98	53,15	55,28	50,98	53,15	55,28	
	33,99	35,43	36,85	50,98	53,15	55,28	50,98	53,15	55,28	
	33,99	35,43	36,85	50,98	53,15	36,85	50,98	53,15	55,28	
Jumlah	101,96	106,29	110,56	152,94	159,44	147,41	152,94	159,44	165,83	1256,81
0,246	15,10	15,75	16,38	18,88	15,75	16,38	15,10	19,68	24,57	
	7,55	7,87	8,19	15,10	15,75	16,38	15,10	15,75	16,38	
	7,55	7,87	16,38	11,33	15,75	16,38	15,10	15,75	16,38	
Jumlah	30,21	31,49	40,95	45,31	47,24	49,14	45,31	51,18	57,33	398,16
0,327	4,25	4,43	4,61	8,50	8,86	9,21	8,50	8,86	9,21	
	4,25	4,43	4,61	4,25	4,43	4,61	8,50	8,86	9,21	
	4,25	4,43	4,61	4,25	6,64	4,61	8,50	8,86	9,21	
Jumlah	12,74	13,29	13,82	16,99	19,93	18,43	25,49	26,57	27,64	174,90
0,409	2,72	2,83	2,95	5,44	2,83	4,42	5,44	5,67	5,90	
	2,72	2,83	2,95	2,72	2,83	2,95	2,72	2,83	2,95	
	2,72	2,83	2,95	2,72	2,83	2,95	2,72	2,83	2,95	
Jumlah	8,16	8,50	8,84	10,88	8,50	10,32	10,88	11,34	11,79	89,21
Jumlah Total	153,07	159,58	174,17	226,12	235,12	225,29	234,62	248,53	262,59	1919,08

$$FK = 1919,08^2 / 108 = 34100,59$$

$$JK_{\text{total}} = (33,99^2 + \dots + 2,95^2) - FK = 48384,17$$

$$JK_{\text{belokan}} = (486,82^2 + 686,53^2 + 745,74^2) / 36 - FK = 3383,78$$

$$JK_{\text{kecepatan}} = (1256,81^2 + \dots + 89,21^2) / 27 - FK = 41617,16$$

$$JK_{\text{konsentrasi}} = (613,82^2 + \dots + 745,74^2) / 36 - FK = 64,78$$

$$JK_{\text{kec x belokan}} = (318,81^2 + \dots + 34,01^2) - FK - JK_{\text{kec}} - JK_{\text{belokan}} = 3040,61$$

$$JK_{\text{error}} = JK_{\text{tot}} - JK_{\text{belok}} - JK_{\text{kec}} - JK_{\text{kons}} - JK_{\text{kec x belokan}} = 277,84$$

Tabel 4.10 Tabel ANOVA Hubungan Laju Aliran dan Belokan Pipa pada Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) terhadap Koefisien kerugian

Sumber Ragam	Derajat Bebas	Jumlah Kudrat	Kuadrat Tengah	F hitung	F 0,05
Laju Aliran	3	41617,16	13872,39	4693,35	2,71
Konsentrasi	2	64,78	32,39	10,96	3,10
Belokan	2	3383,78	1691,89	572,41	3,10
Laju x Belokan	6	3040,61	506,77	171,45	2,20
Error	94	277,84	2,96		
Total	107	48384,17			

Taraf Nyata dan Nilai F_{Tabel}

$\alpha = 0,05$ (5%)

Untuk laju aliran $F_{tabel} = 2,71$

Untuk konsentrasi $F_{tabel} = 3,10$

Untuk belokan $F_{tabel} = 3,10$

Untuk interaksi $F_{tabel} = 2,20$

Menentukan Kriteria Pengujian

Untuk laju aliran

H_0 = ditolak jika $F_{tabel} > 2,71$

H_0 = diterima jika $F_{tabel} \leq 2,71$

Untuk konsentrasi

H_0 = ditolak jika $F_{tabel} > 3,10$

H_0 = diterima jika $F_{tabel} \leq 3,10$

Untuk belokan

H_0 = ditolak jika $F_{tabel} > 3,10$

H_0 = diterima jika $F_{tabel} \leq 3,10$

Untuk interaksi

$H_0 =$ ditolak jika $F_{\text{tabel}} > 2,20$

$H_0 =$ diterima jika $F_{\text{tabel}} \leq 2,20$

Kesimpulan

Untuk laju aliran

Karena $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 4693,35 > 3,10$, berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima jadi sekurang-kurangnya satu laju aliran berpengaruh terhadap koefisien kerugian.

Untuk konsentrasi

Karena $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 10,96 > 3,10$, berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima jadi sekurang-kurangnya satu konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) berpengaruh terhadap koefisien kerugian.

Untuk belokan

Karena $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 572,41 > 3,10$, berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima jadi sudut sekurang-kurangnya satu belokan pipa berpengaruh terhadap koefisien kerugian.

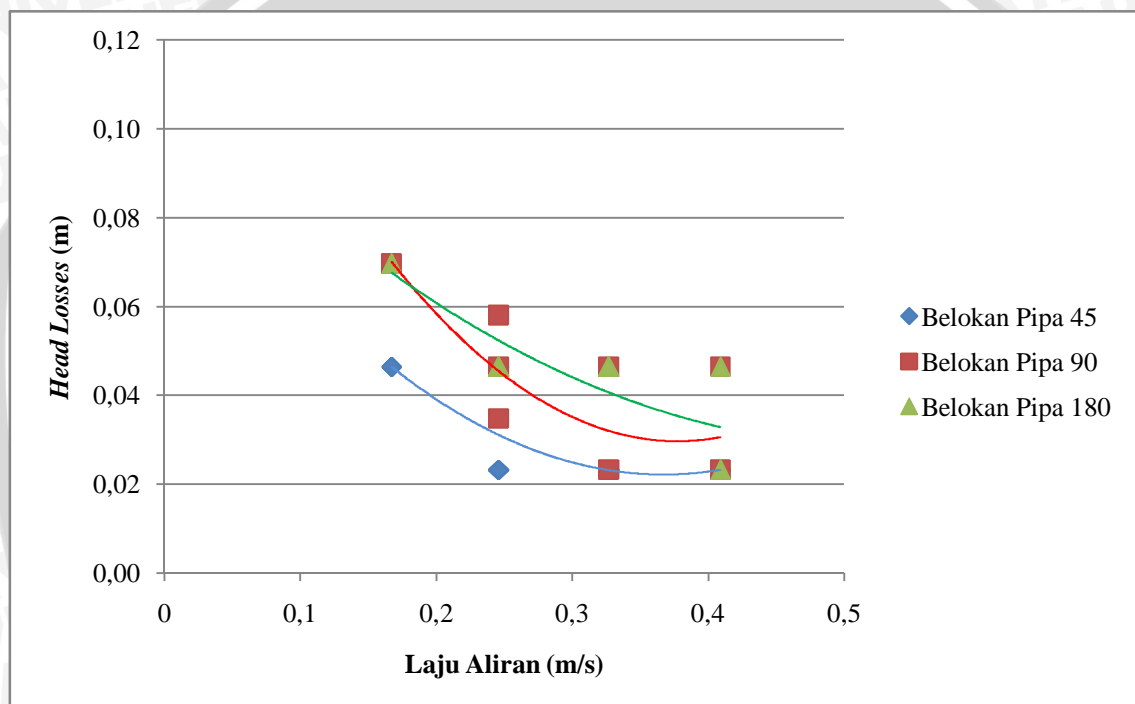
Untuk Interaksi

Karena $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 171,45 > 2,20$, berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima jadi ada interaksi sekurang-kurangnya satu laju aliran dan belokan pipa terhadap koefisien kerugian.

4.4. Pembahasan

Hasil analisis varians (*ANOVA*) menunjukkan bahwa laju aliran memberikan pengaruh terhadap *head losses* dan koefisien kerugian. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi laju aliran maka semakin kecil *head losses* dan koefisien kerugian. Perbedaan ini disebabkan karena ketika kecepatan meningkat maka *pressure drop* (Δp) akan menurun, *pressure drop* (Δp) disebabkan oleh gaya gesek pada fluida yang mengalir pada pipa. Hasil pengujian selama penelitian digambarkan seperti grafik dibawah ini.

4.4.1. Grafik Hubungan Laju aliran terhadap *Head Losses*



Gambar 4.2 Grafik hubungan laju aliran terhadap *head losses* pada konsentrasi 15%

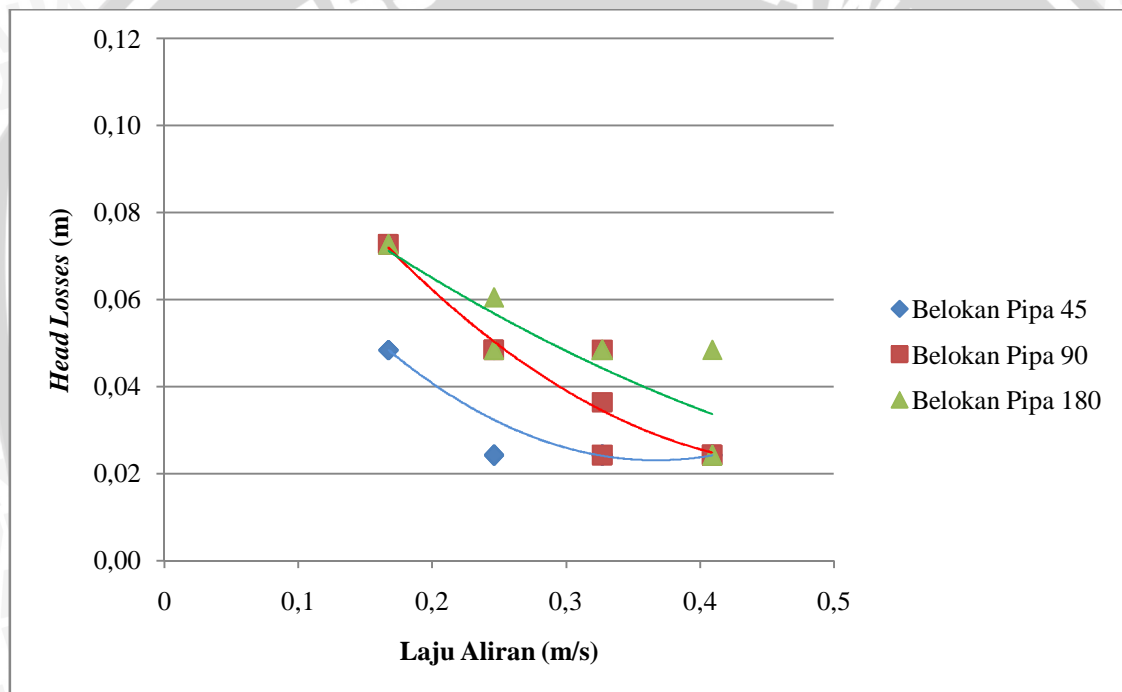
Grafik pada Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 menggambarkan hubungan laju aliran terhadap *head losses* dengan konsentrasi 15%, 10% dan 5%. Dari hasil perhitungan menunjukkan nilai *head losses* yang cenderung naik di setiap belokan pipa. *Head losses* di belokan pipa 45° lebih rendah dibandingkan nilai *head losses* di belokan pipa 90° dan nilai *head losses* 90° lebih rendah daripada nilai *head losses* 180°. Semakin tinggi laju aliran maka nilai *head losses* semakin menurun, hal ini dikarenakan nilai *pressure drop* (Δp) yang berbanding lurus dengan nilai *head losses* dan sesuai dengan persamaan:

$$h_t = \frac{\Delta p}{\rho \times g}$$

Sehingga kecenderungan nilai *head losses* yang menurun dikarenakan ketika laju aliran meningkat maka *pressure drop* (Δp) akan turun dan sesuai dengan persamaan *Bernoulli* yang berkaitan dengan *minor losses*:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2.g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2.g} + z_2 + h_l$$

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar sudut belokan pipa maka nilai *head losses* nya semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin besar sudut belokan maka nilai *pressure drop* (Δp) juga semakin tinggi yang dipengaruhi oleh perbedaan tinggi tekan pada sebelum dan setelah belokan pipa yang semakin meningkat.



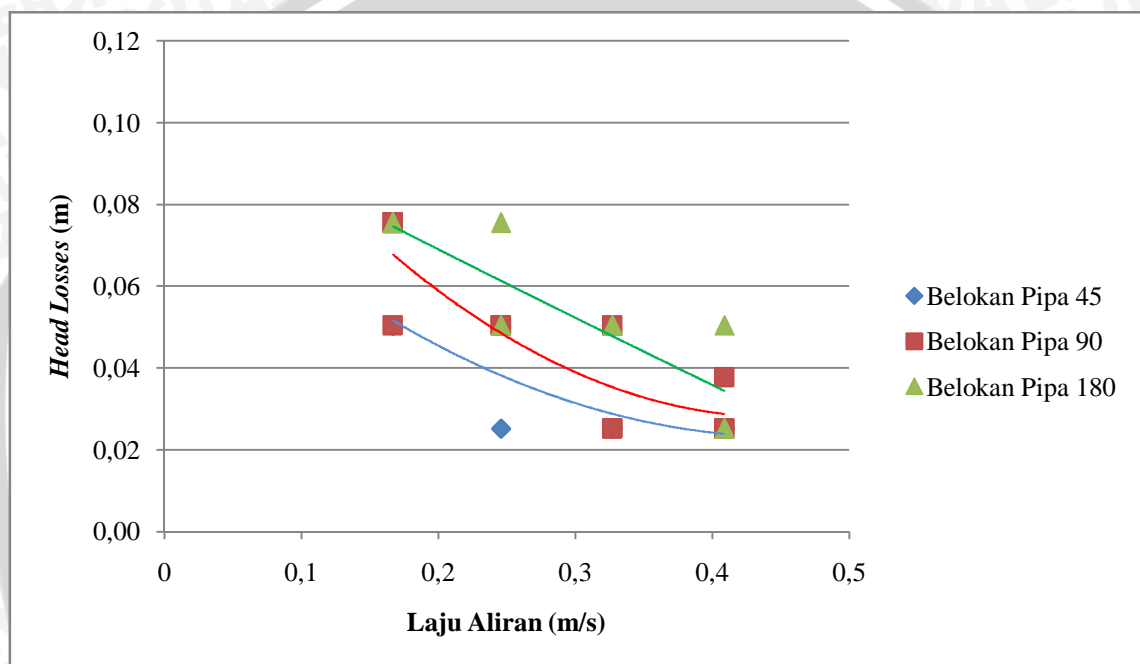
Gambar 4.3 Grafik hubungan laju aliran terhadap *head losses* pada konsentrasi 10%

Besar kecilnya bilangan *Reynolds* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu dari diameter pipa, kecepatan, densitas dan kekentalan. Berdasarkan parameter tersebut terdapat keterkaitan antara bilangan *Reynolds* terhadap *head losses* dan koefisien kerugiannya.

Adanya perubahan debit menyebabkan kecepatan alirannya berubah sehingga berimbas pada bilangan *Reynolds* dimana kecepatan aliran selalu berbanding lurus terhadap bilangan *Reynolds*. Jadi makin besar kecepatan alirannya maka makin besar pula bilangan *Reynolds* nya sehingga akan mempengaruhi nilai *head losses*. Bilangan

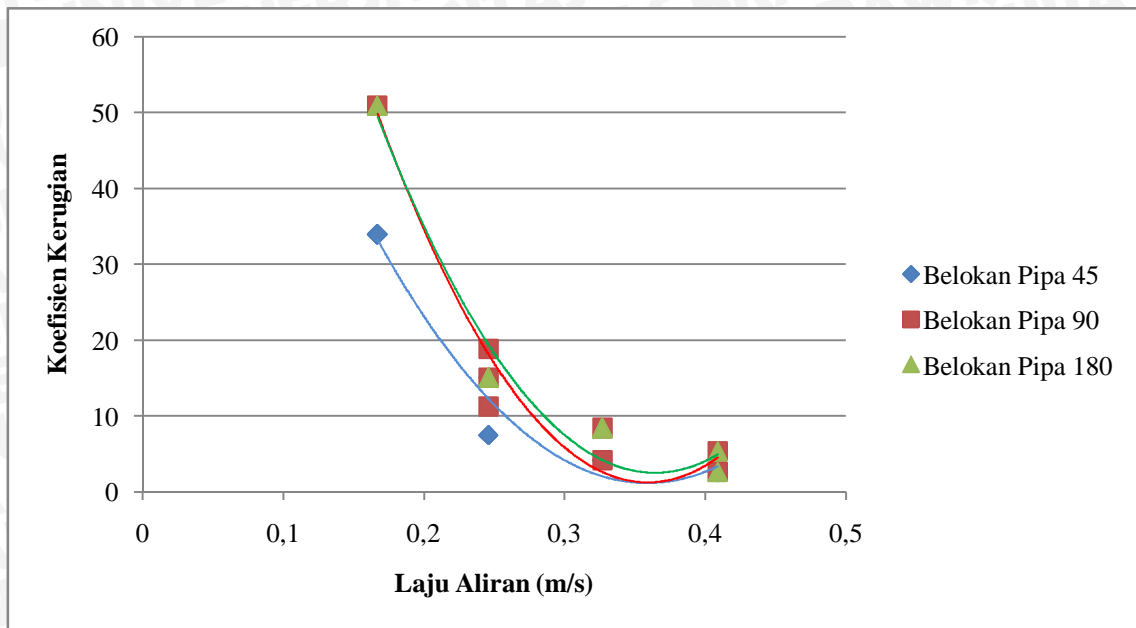
Reynold berkorelasi dengan kecepatan, dan makin besar kecepatan yang menunjukkan makin tinggi bilangan *Reynolds*, maka makin kecil nilai *head losses* nya.

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar sudut belokan pipa maka nilai *head losses* nya semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin besar sudut belokan maka nilai *pressure drop* (Δp) juga semakin tinggi yang dipengaruhi oleh perbedaan tinggi tekan pada sebelum dan setelah belokan pipa yang semakin meningkat.



Gambar 4.4 Grafik hubungan laju aliran terhadap *head losses* pada konsentrasi 5%

4.4.2. Grafik Hubungan Laju aliran terhadap Koefisien Kerugian

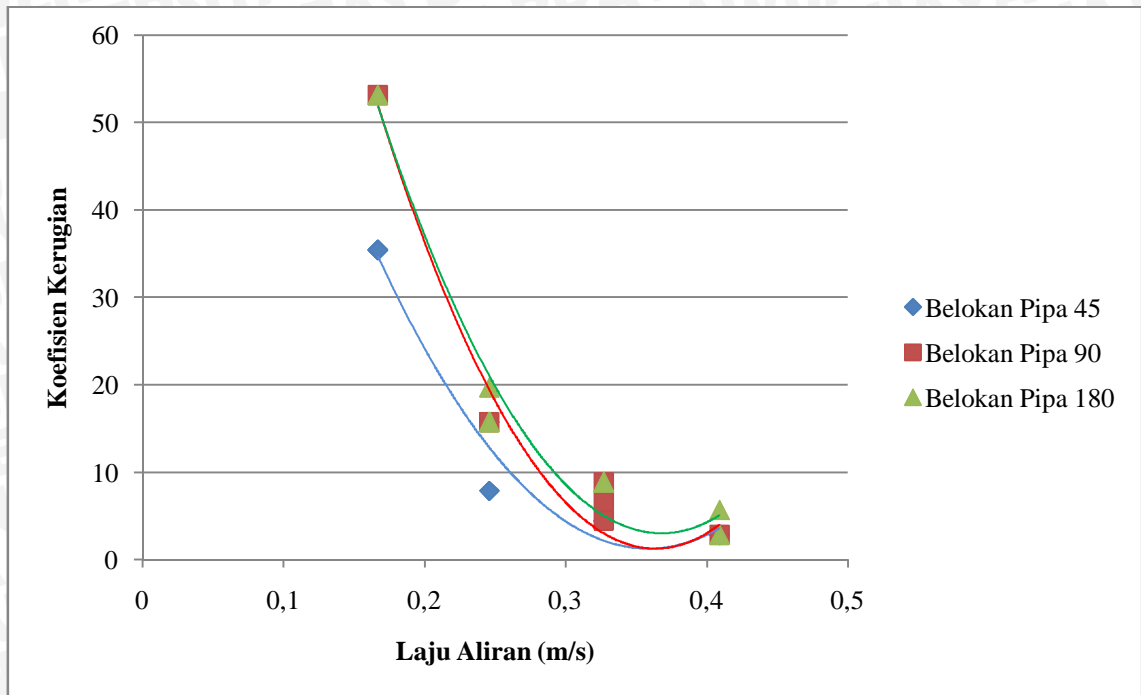


Gambar 4.5 Grafik hubungan laju aliran terhadap koefisien kerugian pada konsentrasi 15%

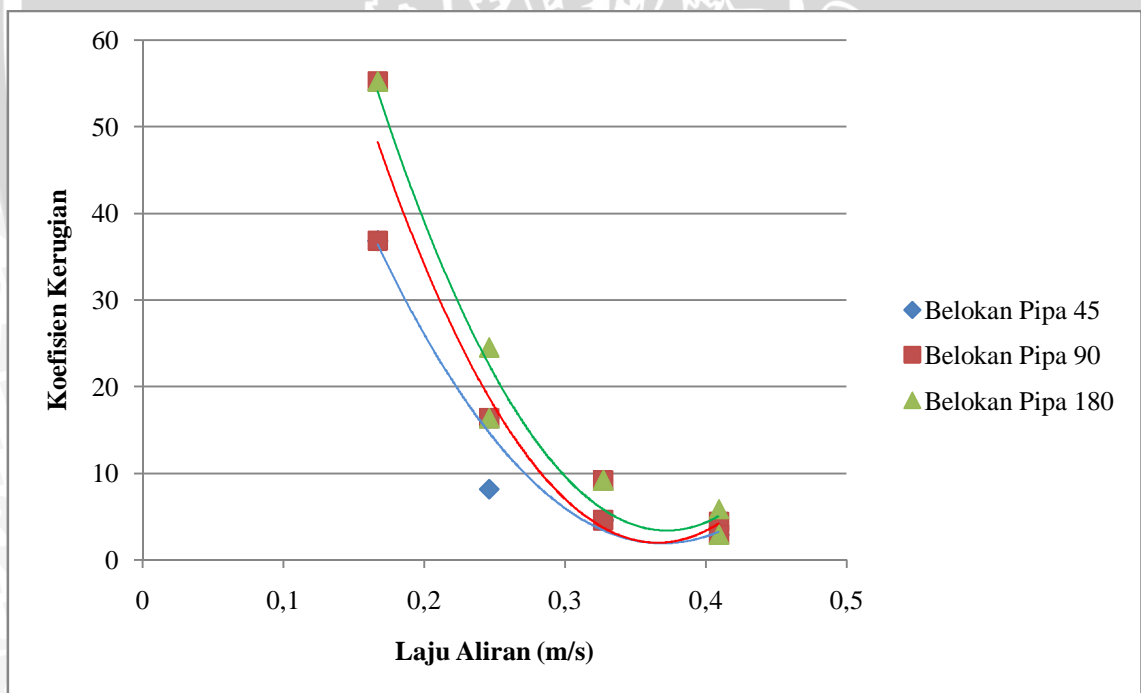
Gambar 4.5, 4.6 dan 4.7 menunjukkan hubungan laju aliran terhadap koefisien kerugian dengan konsentrasi 15%, 10% dan 5% dimana besar nilai koefisien cenderung menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan di masing-masing belokan pipa. Grafik menunjukkan bahwa koefisien kerugian di belokan pipa 45° lebih rendah dibandingkan nilai koefisien kerugian di belokan pipa 90° dan nilai koefisien kerugian belokan pipa 90° lebih rendah daripada nilai koefisien kerugian di belokan pipa 180°.

Nilai koefisien kerugian pada grafik diatas memiliki kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya laju aliran. Nilai koefisien kerugian berkaitan dengan *head losses* dimana *head losses* berbanding lurus dengan nilai koefisien kerugian yang sesuai dengan persamaan:

$$K = \frac{h_l}{v^2/2 \times g}$$



Gambar 4.6 Grafik hubungan laju aliran terhadap koefisien kerugian pada konsentrasi 10%



Gambar 4.7 Grafik hubungan laju aliran terhadap koefisien kerugian pada konsentrasi 5%

4.4.3. Hubungan Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) terhadap *Head Losses* dan Koefisien Kerugian

Hasil analisis varian (*ANOVA*) menunjukkan bahwa konsentrasi larutan memberikan pengaruh terhadap *head losses* dan koefisien kerugian. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai konsentrasi larutan maka semakin besar nilai *head losses* dan koefisien kerugian. Nilai ini dipengaruhi oleh densitas dari larutan asam fosfat (H_3PO_4), dimana semakin kecil konsentrasi larutan maka densitas akan menurun.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin rendah konsentrasi maka nilai koefisien kerugian cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena densitas yang meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan. Selain itu koefisien kerugian nilainya berbanding lurus dengan *head losses*.

4.4.4. Hubungan Belokan Pipa terhadap *Head Losses* dan Koefisien Kerugian

Hasil analisis varians (*two way ANOVA*) menunjukkan bahwa perbedaan sudut belokan pipa memberikan pengaruh terhadap *head losses* dan koefisien kerugian. Berdasarkan Gambar 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 dan 4.7 menunjukkan bahwa semakin besar sudut belokan pipa maka *head losses* dan koefisien kerugian semakin meningkat, karena semakin besar sudut belokan maka nilai *pressure drop* (Δp) juga semakin tinggi yang dipengaruhi oleh perbedaan tinggi tekan pada sebelum dan setelah belokan pipa yang semakin meningkat.

Hasil pengujian menunjukkan sudut belokan berbanding lurus dengan *head losses* dan koefisien kerugian. Dari hasil penelitian menunjukkan hasil yang sedikit berbeda, tetapi tren grafik sudah menyerupai. Nilai *head losses* dan koefisien kerugian paling besar diperoleh pada sudut 180° , kemudian 90° dan 45° . Hal ini disebabkan besarnya sudut maka akan mengakibatkan semakin besar *pressure drop* (Δp). Semakin besar sudut mengakibatkan semakin besar *head losses* yang mengakibatkan nilai koefisien akan bertambah besar. Dari hasil penelitian sebelumnya juga menunjukkan pernyataan yang sama.

4.4.5. Hubungan Interaksi Laju Aliran dan Belokan Pipa pada Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) terhadap *Head Losses* dan Koefisien Kerugian

Perhitungan analisis varians (*ANOVA*) menunjukkan bahwa laju aliran dan belokan pipa pada konsentrasi larutan asam fosfat (H_3PO_4) memberikan pengaruh terhadap *head losses* dan koefisien kerugian. Berdasarkan Gambar 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 dan 4.7 menunjukkan bahwa semakin tinggi laju aliran di masing-masing belokan pipa nilai *head losses* dan koefisien kerugian cenderung menurun. Hal ini dikarenakan oleh *pressure drop* (Δp) yang berbanding lurus dengan *head losses* dan besar nilai koefisien kerugian yang berhubungan dengan besar nilai *head losses*, namun berbanding terbalik seiring dengan bertambahnya laju aliran yang menyebabkan nilai *head losses* dan nilai koefisien kerugian yang ditunjukkan pada grafik cenderung menurun. Hasil pengujian *head losses* pada laju aliran asam fosfat pada belokan yang berbeda menunjukkan bahwa *head losses* yang terjadi di belokan pipa menunjukkan hasil perbedaan yang signifikan. Hal ini disebabkan karena *pressure drop* (Δp) yang terjadi di belokan pipa menghasilkan kecenderungan nilai yang semakin meningkat, walaupun dipengaruhi oleh densitas larutan. Namun semakin tinggi laju aliran di masing-masing belokan pipa, nilai *head losses* semakin kecil, hal ini disebabkan karena semakin tinggi laju aliran maka *pressure drop* (Δp) nya menurun akibat dari gaya gesek atau resistansi dari fluida yang mengalir di dalam pipa tersebut.

Perhitungan koefisien kerugian pada laju aliran di belokan pipa yang berbeda menunjukkan nilai yang cenderung menurun di setiap sudut belokan pipa seiring dengan meningkatnya laju aliran yang disebabkan karena *pressure drop* (Δp) yang terjadi di belokan pipa menghasilkan nilai berbeda antar belokan pipa, walaupun dipengaruhi oleh densitas larutan. Semakin tinggi laju aliran di masing-masing belokan pipa, nilai koefisien kerugian semakin kecil, hal ini disebabkan karena semakin tinggi laju aliran maka *pressure drop* (Δp) akan menurun yang disebabkan oleh gaya gesek atau resistansi di dinding pipa.