

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian pengaruh jarak peletakan *static radial fin mixer* terhadap laju perpindahan kalor dan *pressure drop* pada *counter flow heat exchanger* dapat dilihat pada lampiran 1; 2; 3 dan 4.

4.1.2 Contoh Perhitungan

- Data pengujian alat penukar kalor dengan jarak peletakan 250 mm pada detik pertama

- Debit fluida dingin (Q_C) = 900 ltr /jam
- Debit fluida panas (Q_H) = 400 ltr/jam
- Temperatur masuk fluida dingin (T_{Cin}) = 27,1 °C
- Temperatur keluar fluida dingin (T_{Cout}) = 30,6 °C
- Temperatur masuk fluida panas (T_{Hin}) = 65,5 °C
- Temperatur keluar fluida panas (T_{Hout}) = 59,4 °C
- Perbedaan ketinggian air (Δz) = 1,9 cmH₂O
- Diameter dalam pipa sebelah luar(tube) (Do_t) = 27,4 mm
- Konduktivitas *thermal* bahan (k) = 381,65 W/m°C
- Diameter dalam pipa sebelah dalam(tube) (Di_t) = 25,4 mm
- Diameter luar pipa sebelah dalam(tube) (Di_s) = 76,2 mm

Sehingga dari data-data di atas dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

1. Temperatur Rata-Rata Fluida

$$\begin{aligned} T_{\text{rata-rata hot}} &= (T_{\text{hin}} + T_{\text{hout}}) / 2 \\ &= (65,5 + 59,4) / 2 \\ &= 62,45 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{rata-rata cold}} &= (T_{\text{cin}} + T_{\text{cout}}) / 2 \\ &= (27,1 + 30,6) / 2 \\ &= 28,85 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan interpolasi tabel (Lampiran 7), maka propertis air panas dan air dingin berdasarkan temperatur bulk diatas adalah:

$$\frac{X_1 - X_2}{y_1 - y_2} = \frac{X - X_1}{y - y_1}$$

Dari temperatur rata-rata air panas ($T_{\text{bulk hot}}$) diatas maka dapat dicari densitas atau massa jenis (ρ_{hot}) air panas dengan rumus interpolasi tabel sifat-sifat air sehingga :

$$\frac{60 - 65}{983,3 - 980,3} = \frac{62,45 - 60}{\rho - 983,3}$$

$$\rho_h = 981,83 \text{ kg/m}^3$$

Dengan cara perhitungan interpolasi, maka propertis air panas dan air dingin yang lain bisa didapatkan :

$$\rho_h = 981,83 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_c = 996,15 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{ph} = 4180,96 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_{pc} = 4177,04 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$k_h = 0,66 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$k_c = 0,618 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\mu_h = 0,0004523 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$\mu_c = 0,000823 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$Pr_h = 2,89$$

$$Pr_c = 6,08$$

2. Kecepatan fluida (air panas dalam pipa bagian dalam)

- o Luasan dalam pipa bagian dalam

$$A_{pdd} = 1/4\pi D_{pdd}^2 = 1/4\pi(25,4/1000)^2 = 5,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- o Luasan luar pipa dalam

$$A_{pdl} = 1/4\pi D_{pdl}^2 = 1/4\pi(27,2/1000)^2 = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- o Luasan dalam pipa bagian luar

$$A_{pdl} = 1/4\pi D_{pdl}^2 = 1/4\pi(76,2/1000)^2 = 0,0045 \text{ m}^2$$

- o Keliling

$$\text{Keliling pipa dalam} = \pi \cdot D_{pd} = \pi \cdot (25,4/1000) = 0,078 \text{ m}$$

$$\text{Keliling pipa luar} = \pi \cdot D_{pl} = \pi \cdot (76,2/1000) = 0,23 \text{ m}$$

$$\text{Keliling luar pipa bagian dalam} = \pi \cdot D_{pdl} = \pi \cdot (27,2/1000) = 0,085 \text{ m}$$

- o Diameter hidrolik

$$D_h \text{ pipa bagian luar} :$$

$$D_{hl} = 4 \cdot A_c / P = 4 (0,0045 - 5,8 \cdot 10^{-4}) / (0,078 + 0,085) = 0,0488 \text{ m}$$

Dh pipa bagian dalam :

$$D_{hd} = 4 \cdot A_c / P = 4 (5 \cdot 10^{-4} - 2,8 \cdot 10^{-4}) / (0,078 + 0,05966) = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

- Debit air panas

$$Q_p = 400 \text{ lt/jam} = 0,000111 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Maka kecepatan fluida panas

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q_h}{A} \\ &= \frac{0,000111 \text{ m}^3 / \text{s}}{(0,0005 - 0,00028) \text{ m}^2} \\ &= 0,5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Mencari kecepatan fluida dingin melalui pipa luar (V) :

$$Q_c = 900 \text{ lt/jam} = 0,00025 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q_c}{A} \\ &= \frac{0,00025 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,003968 \text{ m}^2} \\ &= 0,0629 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Laju aliran air panas

$$\begin{aligned} \dot{m} &= v \times \rho \\ &= 0,000111 \text{ m}^3/\text{s} \times 981,83 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,109 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

3. Laju perpindahan kalor (q) *heat exchanger*

$$\begin{aligned} q_{he} &= \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 0,109 \cdot 4180,96 \cdot 6,1 \\ &= 2783,51 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4. Angka Reynold

- Mencari viskositas kinematik fluida dingin (v) :

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,000823}{996,15} \\
 &= 8.262 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}
 \end{aligned}$$

- Mencari viskositas kinematik fluida panas (ν) :

$$\begin{aligned}
 \nu &= \frac{\mu}{\rho} \\
 &= \frac{0.0004523}{981,83} \\
 &= 4,6067 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}
 \end{aligned}$$

- Mencari angka *Reynold* pada fluida dingin (Re) :

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{V \times D_c}{\nu} \\
 &= \frac{0,06298 \cdot 0,0486}{8,02294E-07} \\
 &= 3815,49
 \end{aligned}$$

- Mencari angka *Reynold* pada fluida panas (Re) :

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{V \times D_p}{\nu} \\
 &= \frac{0,5 \cdot 0,025}{4,57 \cdot 10^{-7}} \\
 &= 27376,406
 \end{aligned}$$

5. Angka Nusselt

- Mencari angka Nusselt pada fluida dingin (Nu) :

$$\begin{aligned}
 Nu_c &= 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} \\
 &= 0,023 \cdot 3815,49^{0,8} \cdot 5,59^{1/3} \\
 &= 24,32
 \end{aligned}$$

- Mencari angka Nusselt pada fluida panas (Nu) :

$$\begin{aligned}
 Nu_h &= 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \\
 &= 0,023 \cdot 27376,406^{0,8} \cdot 2,88^{0,4} \\
 &= 93,75
 \end{aligned}$$

6. Koefisien konveksi

- Mencari koefisien perpindahan kalor konveksi pipa luar:

$$\begin{aligned} hl &= \frac{Nu \times k}{Dhl} \\ &= \frac{24,31 \times 0,617}{0,0488} \\ &= 307,54 \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

- Mencari koefisien perpindahan kalor konveksi pipa dalam:

a. Koefisien perpindahan kalor konveksi

$$\begin{aligned} hi &= \frac{Nu \times k}{Dh} \\ &= \frac{93,75 \times 0,656}{0,0063 \text{ m}} \\ &= 2461,81 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- Mencari koefisien perpindahan panas menyeluruh pipa dalam (U) :

a) Koefisien perpindahan kalor menyeluruh

$$\begin{aligned} U_o &= \frac{1}{\frac{A_o}{hi \times A_i} + \frac{A_o \times \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 \times \pi \times k \times L} + \frac{1}{h_o}} \\ &= \frac{1}{\frac{0,00058}{2461,81 \times 0,0005} + \frac{0,00058 \times \ln\left(\frac{27,2}{25,4}\right)}{2 \times \pi \times 381,63 \times 1} + \frac{1}{307,54}} \\ &= 268,82 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

7. Perbedaan temperatur rata-rata logaritmik

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= T_{hin} - T_{cout} \\ &= (65,5 - 30,6) \\ &= 34,9 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_2 &= T_{hout} - T_{cin} \\ &= (59,4 - 27,1) \\ &= 32,3 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{lm} &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \\ &= \frac{38,7 - 37,8}{\ln(38,7 / 37,8)} \\ &= 38,3 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

8. Luasan permukaan total perpindahan kalor

$$\begin{aligned}A &= \pi \cdot 0,0254 \cdot 1 \\ &= 0,078 \text{ m}^2\end{aligned}$$

9. Laju perpindahan kalor (q)

$$\begin{aligned}q_{db} &= U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \\ &= 268,82 \cdot 0,078 \cdot 38,3 \\ &= 803,07 \text{ Watt}\end{aligned}$$

10. Penurunan tekanan (ΔP)

$$\Delta P = \Delta z \cdot \rho \cdot g = 0,019 \cdot 983,25 \cdot 9,81 = 183,267 \text{ N/m}^2$$

- Contoh Perhitungan Statistik

1. Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned}JKT &= 1,55^2 + 1,46^2 + 1,46^2 + \dots + 3,39^2 + 3,29^2 - (224,94^2 / 72) \\ &= 81,33595\end{aligned}$$

2. Jumlah kuadrat faktor A (JKA)

$$\begin{aligned}JKA &= \frac{26^2 + 30,42^2 + 43,47^2 + 47,372^2 + 42,25^2}{12} - \frac{(224,94)^2}{72} \\ &= 28,51511\end{aligned}$$

3. Jumlah kuadrat faktor B (JKB)

$$\begin{aligned}JKB &= \frac{34,65^2 + 72,95^2 + 65,61^2 + 51,73^2}{18} - \frac{(224,94)^2}{72} \\ &= 47,41611\end{aligned}$$

4. Jumlah pengaruh interaksi faktor A dan faktor B (JKAB)

$$JKP = \frac{4,47^2 + 4,89^2 + \dots + 10,07^2}{3} - \frac{(224,94)^2}{72} = 79,09228333$$

$$JKAB = JKP - JKA - JKB = 79,09228333 - 28,51511 - 47,41611 = 3,16106$$

5. Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP = 81,33595 - 3,16106$$

Apabila masing-masing suku dibagi dengan derajat bebasnya, akan diperoleh nilai varian dari masing-masing suku tersebut. Nilai ini sering disebut dengan kuadrat tengah yang disingkat KT. Nilai varian tersebut adalah:

1. Kuadrat tengah faktor A (KTA)

$$KTA = \frac{JKA}{(r-1)} = \frac{28,51511}{(6-1)} = 5,70302$$

2. Kuadrat tengah faktor B (KTB)

$$KTB = \frac{JKB}{(c-1)} = \frac{47141611}{(4-1)} = 15,80537$$

3. Kuadrat tengah interaksi faktor A dan faktor B (KTAB)

$$KTAB = \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} = \frac{3,16106}{(6-1)(4-1)} = 0,21074$$

4. Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{rc(t-1)} = \frac{2,24367}{6.4(3-1)} = 0,04667$$

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas kita mencari harga F_{hitung} masing-masing sumber keragaman (faktor variasi jarak peletakan *static radial fin mixer*, faktor variasi debit dan interaksi faktor jarak peletakan *static radial fin mixer* dan variasi debit) kemudian hasilnya dibandingkan dengan F_{tabel} pada derajat bebas yang sesuai dengan nilai α tertentu. Nilai F_{hitung} dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut:

1. F_{hitung} dari faktor variasi jarak peletakan

$$F_1 = \frac{KTA}{KTG} = \frac{5,70302}{0,04667} = 122,1988$$

2. F_{hitung} dari faktor variasi debit

$$F_2 = \frac{KTB}{KTG} = \frac{15,80537}{0,04667} = 338,6623$$

3. F_{hitung} dari interaksi faktor variasi jarak peletakan dan variasi debit

$$F_3 = \frac{KTAB}{KTG} = \frac{0,21074}{0,04667} = 4,51553$$

4.1.3 Analisis Varian

Hasil pengolahan data pengujian pengaruh jarak peletakan *radial fin mixer* terhadap laju perpindahan kalor pada *heat exchanger* tersebut kemudian dilaksanakan analisis statistik dengan menggunakan analisis varian dua arah. Dengan analisis varian dua arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh jarak peletakan *radial fin mixer*, variasi debit fluida panas dan interaksi keduanya terhadap laju perpindahan kalor dan *pressure drop*.

4.1.3.1 Analisis Varian untuk Laju Perpindahan Kalor

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak peletakan *radial fin mixer*, variasi debit, dan interaksi antara keduanya terhadap laju perpindahan kalor yang dihasilkan pada *heat exchanger*.

1. Hipotesa yang digunakan dalam analisis statistik ini adalah:

a. $H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ (tidak ada pengaruh variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* terhadap laju perpindahan kalor pada *heat exchanger*).

H_1^1 : paling sedikit atau $\alpha_1 \neq 0$ (ada pengaruh variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* terhadap laju perpindahan kalor pada *heat exchanger*).

b. $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh variasi debit terhadap laju perpindahan kalor pada *heat exchanger*).

H_1^2 : paling sedikit atau $\beta_1 \neq 0$ (ada pengaruh variasi debit terhadap laju perpindahan kalor pada *heat exchanger*).

c. $H_0^3 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$ (tidak ada pengaruh variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* dan variasi debit terhadap laju perpindahan kalor pada *heat exchanger*).

H_1^3 : paling sedikit atau $\alpha\beta_1 \neq 0$ (ada pengaruh variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* dan variasi debit terhadap laju perpindahan kalor pada *heat exchanger*).

2. Taraf nyata dan nilai F_{tabel} ($\alpha = 5\%$)

a. Faktor debit air panas

$$F_{0,05}(5,48) = 2,40$$

b. Faktor variasi susunan turbulator

$$F_{0,05}(3,48) = 2.79$$

3. Kriteria pengujian

- a. H_0 diterima apabila $F_{hitung} \leq F_{\alpha}(v_1, v_2)$
- b. H_0 ditolak apabila $F_{hitung} > F_{\alpha}(v_1, v_2)$



4. Uji statistik

Tabel di bawah ini (Tabel 4.1) adalah tabel hasil data perhitungan laju perpindahan kalor.

Tabel 4.1 Pengamatan model dua arah untuk laju perpindahan kalor

FAKTOR A	DEBIT	FAKTOR B				Σ
	L/Jam	VARIASI JARAK PELETAKAN				
		Tanpa	250 mm	500 mm	750 mm	
400	1,55	2,78	2,51	1,96	26	
	1,46	2,78	2,51	1,87		
	1,46	2,74	2,51	1,87		
	4.47	8.3	7.53	5.7		
500	1,65	3,40	2,95	1,82	30.43	
	1,59	3,29	3,01	2,50		
	1,65	3,29	3,01	2,27		
	4.89	9.98	8.97	6.59		
600	1,77	3,82	3,89	2,39	35.42	
	1,64	3,96	3,75	2,39		
	1,50	4,03	3,75	2,53		
	4.91	11.81	11.39	7.31		
700	1,68	4,55	4,23	3,43	43.47	
	2,39	4,70	4,31	3,43		
	2,39	4,94	3,99	3,43		
	6.46	14.19	12.53	10.29		
800	2,37	5,48	4,20	4,11	47.37	
	2,65	4,84	4,47	3,83		
	2,83	4,38	4,38	3,83		
	7.85	14.7	13.05	11.77		
900	2,06	4,93	4,32	3,39	42.25	
	2,16	4,93	3,91	3,39		
	1,85	4,11	3,91	3,29		
	6.07	13.97	12.14	10.07		
Σ	34.65	72.95	65.61	51.73	224.94	

Tabel 4.2 Analisis varian dua arah untuk laju perpindahan kalor

SUMBER VARIAN	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Debit (faktor A)	5	28,51511	5,70302	122,1988	2,40851
Jarak Peletakan(faktor B)	3	47,41611	15,80537	338,6623	2,79806
Interaksi faktor A dan B	15	3,16106	0,21074	4,51553	1,88017
Galat	48	2,24367	0,04667		
Total	71	81,33595			

Dari tabel 4.2, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa jarak peletakan *static radial fin mixer* berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor yang dihasilkan pada *heat exchanger*.
- b. $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa variasi debit berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor yang dihasilkan pada *heat exchanger*.
- c. $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* dan variasi debit berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor yang dihasilkan pada *heat exchanger*.

Dari kesimpulan yang didapat terlihat bahwa jarak peletakan *static radial fin mixer*, variasi debit, dan interaksi antara keduanya mempunyai pengaruh yang nyata terhadap laju perpindahan kalor yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan 95 %.

4.1.3.2 Analisis Varian Untuk *Pressure Drop* Yang Dihasilkan

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak peletakan *static radial fin mixer*, variasi debit dan interaksi antara keduanya terhadap *pressure drop* yang dihasilkan pada *heat exchanger*.

1. Hipotesa yang digunakan dalam analisis statistik ini adalah:

- a. $H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ (tidak ada pengaruh variasi jarak peletakan *radial fin mixer* terhadap *pressure drop* kalor pada *heat exchanger*).
 H_1^1 : paling sedikit atau $\alpha_1 \neq 0$ (ada pengaruh variasi jarak peletakan *radial fin mixer* terhadap *pressure drop* kalor pada *heat exchanger*).
- b. $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh variasi debit terhadap *pressure drop* kalor pada *heat exchanger*).
 H_1^2 : paling sedikit atau $\beta_1 \neq 0$ (ada pengaruh variasi debit terhadap *pressure drop* kalor pada *heat exchanger*).
- c. $H_0^3 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$ (tidak ada pengaruh variasi jarak peletakan *radial fin mixer* dan variasi debit terhadap *pressure drop* kalor pada *heat exchanger*).

H_1^3 : paling sedikit atau $\alpha\beta_1 \neq 0$ (ada pengaruh variasi jarak peletakan *radial fin mixer* dan variasi debit terhadap *pressure drop* kalor pada *heat exchanger*).

2. Taraf nyata dan nilai F_{tabel} ($\alpha = 5\%$)

a. Faktor debit air panas

$$F_{0,05}(5,48) = 2,40$$

b. Faktor variasi susunan turbulator

$$F_{0,05}(3,48) = 2,79$$

3. Kriteria pengujian

a. H_0 diterima apabila $F_{\text{hitung}} \leq F_{\alpha}(v_1, v_2)$

b. H_0 ditolak apabila $F_{\text{hitung}} > F_{\alpha}(v_1, v_2)$



Tabel di bawah ini (Tabel 4.3) adalah tabel hasil data perhitungan *pressure drop*.

Tabel 4.3 Pengamatan model dua arah untuk laju *pressure drop*

FAKTOR A	DEBIT	FAKTOR B				
	L/Jam	VARIASI JARAK PELETAKAN				
		Tanpa	250 mm	500 mm	750 mm	Σ
400	67,52	173,62	192,92	241,14		
	67,52	183,27	192,92	241,14		
	67,52	173,63	192,92	231,50		
	202,56	530,52	578,76	713,78	2025,62	
500	77,16	241,15	250,79	337,59		
	86,81	241,15	250,79	337,60		
	86,81	241,15	250,79	337,60		
	250,78	723,45	752,37	1012,79	2739,39	
600	135,04	356,90	434,06	443,69		
	125,39	337,61	434,06	443,69		
	125,39	366,54	434,06	453,34		
	385,82	1061,05	1302,18	1340,72	4089,77	
700	144,68	530,52	578,75	578,73		
	173,62	530,52	578,75	578,73		
	173,62	530,52	559,46	578,73		
	491,92	1591,56	1716,96	1736,19	5536,63	
800	212,20	626,97	626,96	704,12		
	202,55	626,98	636,60	704,12		
	212,20	626,98	636,61	704,12		
	626,95	1880,93	1900,17	2112,36	6520,41	
900	212,20	704,15	771,64	964,53		
	212,20	704,15	771,64	1012,76		
	212,20	704,13	771,64	1012,76		
	636,6	2112,43	2314,92	2990,05	8054	
Σ	2594,63	7899,94	8565,36	9905,89	28965,82	

Tabel 4.4 Analisis varian dua arah untuk *pressure drop*

SUMBER VARIAN	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel
Debit (faktor A)	5	2211174,36	442234,872	6580,1886	2,40851
Jarak Peletakan(faktor B)	3	1715474,42	571824,806	8508,4088	2,79806
Interaksi faktor A dan B	15	427244,39	28482,959	423,8093	1,88017
Galat	48	3225,937	67,207		
Total	71	4357119,107			

Dari tabel 4.4, dapat diperoleh kesimpulan:

- a. $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima, ini berarti bahwa jarak peletakan *radial fin mixer* berpengaruh terhadap *pressure drop* yang dihasilkan pada *heat exchanger*.
- b. $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima, ini berarti bahwa variasi debit berpengaruh terhadap *pressure drop* yang dihasilkan pada *heat exchanger*.
- c. $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima, ini berarti bahwa interaksi antara jarak peletakan *radial fin mixer* dan variasi debit berpengaruh terhadap *pressure drop* yang dihasilkan pada *heat exchanger*.

Dari kesimpulan yang didapat terlihat bahwa jarak peletakan *radial fin mixer*, variasi debit, dan interaksi antara diameter kawat dan variasi debit mempunyai pengaruh yang nyata terhadap *pressure drop* yang dihasilkan dengan tingkat keyakinan 95 %.



4.2 Pembahasan

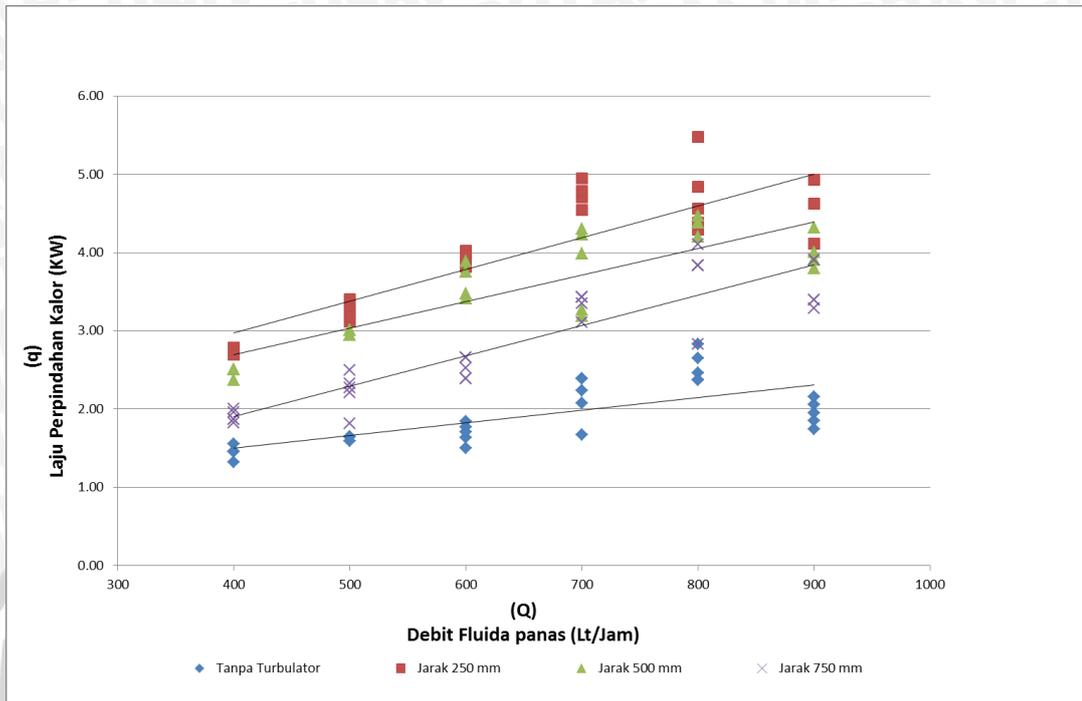
4.2.1 Hubungan Antara Debit Fluida Panas dengan Laju Perpindahan Kalor pada Variasi Jarak Peletakan *Static Radial Fin Mixer*

Hasil perhitungan hubungan debit fluida panas dan laju perpindahan kalor pada variasi jarak peletakan *radial fin mixer* dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data hubungan debit fluida panas dan laju perpindahan kalor pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer*

No.	Debit Air Panas (lt/jam)	Laju Perpindahan Kalor Q (KW)			
		Tanpa Turbulator	Jarak 250 mm	Jarak 500 mm	Jarak 750 mm
1	400	1,55	2,78	2,51	1,96
	400	1,46	2,78	2,51	1,87
	400	1,46	2,74	2,51	1,87
	400	1,32	2,69	2,51	2,01
	400	1,46	2,69	2,37	1,83
2	500	1,65	3,40	2,95	1,82
	500	1,59	3,29	3,01	2,50
	500	1,65	3,29	3,01	2,27
	500	1,65	3,12	2,95	2,33
	500	1,65	3,18	2,95	2,21
3	600	1,77	3,82	3,89	2,39
	600	1,64	3,96	3,75	2,39
	600	1,50	4,03	3,75	2,53
	600	1,71	3,96	3,48	2,66
	600	1,84	3,96	3,41	2,66
4	700	1,68	4,55	4,23	3,43
	700	2,39	4,70	4,31	3,43
	700	2,39	4,94	3,99	3,43
	700	2,23	4,78	3,27	3,35
	700	2,07	4,78	3,19	3,11
5	800	2,37	5,48	4,20	4,11
	800	2,65	4,84	4,47	3,83
	800	2,83	4,38	4,38	3,83
	800	2,46	4,56	4,38	3,83
	800	2,37	4,29	4,38	2,83
6	900	2,06	4,93	4,32	3,39
	900	2,16	4,93	3,91	3,39
	900	1,85	4,11	3,91	3,29
	900	1,95	4,11	3,80	3,91
	900	1,75	4,63	4,01	3,91

Grafik hubungan antara debit fluida panas dengan laju perpindahan kalor pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* dijelaskan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Hubungan Antara Debit Fluida Panas dengan Laju Perpindahan Kalor pada Variasi Peletakan *Static Radial Fin Mixer*

Hubungan debit fluida panas terhadap laju perpindahan kalor pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* ditunjukkan pada gambar 4.1. Laju perpindahan kalor yang terjadi yaitu pada *inner tube* yang dialiri fluida panas menuju ke pipa luar yang dialiri fluida dingin. Proses perpindahan kalor yang terjadi berupa proses perpindahan kalor konveksi antara fluida dengan permukaan dinding bagian dalam pipa; perpindahan kalor konduksi dari permukaan dinding dalam hingga permukaan dinding luar dari pipa dalam; serta proses perpindahan kalor konveksi antara fluida yang terdapat pada permukaan dinding luar dari pipa dalam dengan permukaan luar pipa.

Grafik hubungan debit fluida panas terhadap laju perpindahan kalor pada jarak peletakan *static radial fin mixer* ditunjukkan pada gambar 4.1 Pada jarak peletakan *static radial fin mixer* yang konstan dengan bertambahnya debit fluida panas akan menghasilkan peningkatan laju perpindahan kalor hingga titik maksimum. Pada jarak peletakan 250 mm terlihat laju perpindahan kalor pada debit 400 liter/jam sebesar 2,69 kW dan terus meningkat hingga dihasilkan laju perpindahan kalor maksimum pada debit fluida panas 800 liter/jam yaitu sebesar 5,48 kW. Pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* yang lainpun terjadi demikian seiring dengan semakin

bertambahnya debit. Hal ini dikarenakan peningkatan debit fluida panas yang mengalir pada *inner tube* akan menyebabkan bertambah besarnya kecepatan alir fluida sehingga meningkatkan angka Reynold dan angka Nusselt yang mengakibatkan koefisien perpindahan kalor menyeluruh akan meningkat pula. Laju perpindahan kalor terkecil terjadi pada alat penukar kalor tanpa menggunakan *static radial fin mixer* dengan laju perpindahan kalor maksimum sebesar 2,83 kW. Pada jarak peletakan *static radial fin mixer* 250 mm menghasilkan nilai laju perpindahan kalor yang paling tinggi yaitu sebesar 5,48 kW. Dengan demikian pada jarak peletakan *static radial fin mixer* yang konstan dengan semakin bertambahnya debit akan meningkatkan laju perpindahan kalor.

Pada grafik 4.1 terlihat bahwa pada debit aliran fluida panas yang konstan terdapat kecenderungan peningkatan laju perpindahan kalor pada tiap-tiap variasi peletakan *static radial fin mixer*, hal ini disebabkan pemasangan peletakan *static radial fin mixer* yang bervariasi pada aliran fluida panas akan menyebabkan perubahan garis aliran. Arah aliran fluida dari sisi masuk melewati *static radial fin mixer* yang diletakan pada 250 mm dari sisi masuk akan mengalami laju perpindahan kalor yang paling tinggi dikarenakan arah aliran dari sisi masuk sudah memiliki pusaran (*vortex*) atau olakan sehingga ketika fluida melewati *static radial fin mixer*, olakan tersebut akan semakin membesar, pusaran atau olakan (*vortex*) partikel-partikel fluida inilah yang bergerak acak saling bercampur dan berinteraksi, selanjutnya akan terjadi pertukaran energi kalor antar partikel yang bergerak secara acak sehingga meningkatkan perpindahan kalor konveksi serta laju perpindahan kalor akan bertambah. Hal ini sesuai dengan persamaan $L_{h, \text{turbulen}} \approx 10 D$, dimana D merupakan diameter hidrolis pipa yang dialiri air panas yaitu sebesar 2,54 mm, sehingga untuk mencapai *fully developed flow* dari sisi masuk fluida yaitu terjadi pada jarak 254 mm. Ketika fluida melewati *static radial fin mixer* yang di letakkan pada jarak 250 mm, maka olakan (*vortex*) akan terjadi kembali sehingga fluida bergerak acak secara fluktuatif. Adanya gerakan fluida yang acak ini akan meningkatkan perpindahan kalor secara konveksi di pipa dalam (*tube*) sehingga fluida panas akan semakin cepat menggantikan fluida panas yang telah dingin di sekitar permukaan dinding pipa dalam (*tube*) dengan fluida panas yang lain sehingga dihasilkan beda temperatur fluida yang lebih besar pada lapisan-lapisan fluida yang saling berinteraksi melakukan perpindahan kalor tersebut, sesuai dengan persamaan $q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$.

Laju perpindahan kalor akan sebanding dengan beda temperatur antar fluida masuk dan fluida keluar yang saling berinteraksi melakukan perpindahan kalor, hal tersebut menyebabkan laju perpindahan kalor semakin tinggi. Berbeda halnya dengan *static radial fin mixer* yang diletakan pada jarak 500 mm dan 750 mm, fluida yang keluar dari sisi masuk yang semula berbentuk olakan, akan semakin berkurang olakan tersebut seiring dengan bertambahnya jarak yang ditempuh fluida mengingat L_h , turbulen $\approx 10 D$, sehingga laju perpindahan kalorpun semakin berkurang. Dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak peletakan *static radial fin mixer* dari sisi masuk fluida panas akan menyebabkan penurunan intensitas turbulensi pada aliran, hal ini mengakibatkan transfer energi kalor akan semakin berkurang. Maka terlihat bahwa peletakan *static radial fin mixer* 250 mm pada debit yang sama memiliki nilai laju perpindahan kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan peletakan pada jarak 500 mm dan 750 mm.

Pada grafik 4.1 terlihat bahwa laju perpindahan kalor terkecil terjadi pada debit 400 liter/jam pada variasi tanpa menggunakan *static radial fin mixer*, yaitu sebesar 1,32 kW. Namun pada debit yang sama dengan pemasangan *static radial fin mixer* dengan jarak peletakan 250 mm terjadi peningkatan laju perpindahan kalor yang cukup signifikan, yaitu sebesar 2,78 kW, begitu juga yang terjadi pada jarak peletakan 500 mm dan 750 mm. Pada grafik juga terlihat bahwa laju perpindahan kalor tertinggi terjadi pada debit 800 liter/jam dengan menggunakan *static radial fin mixer* yang diletakkan pada jarak 250 mm yaitu sebesar 5,48 kW. Jika dibandingkan dengan laju perpindahan kalor pada debit yang sama namun tanpa menggunakan *static radial fin mixer* dan pada peletakan 250 mm, 500 mm serta peletakan 750 mm, terjadi peningkatan laju perpindahan kalor pada tiap-tiap variasi jarak peletakan. Peningkatan laju perpindahan kalor ini menunjukkan bahwa penggunaan *static radial fin mixer* berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor, peningkatan laju perpindahan kalor juga sebanding dengan kenaikan variasi debit aliran fluida panas.

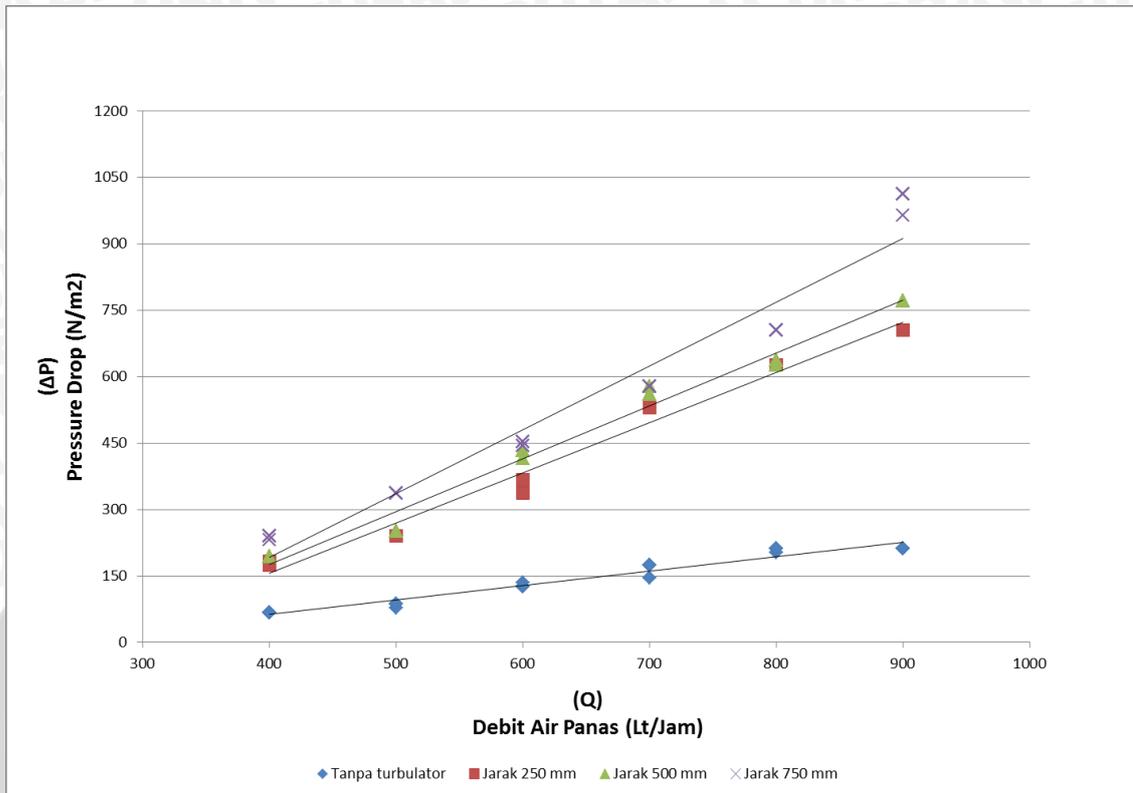
4.2.2 Hubungan Antara Debit Fluida Panas dengan *Pressure Drop* pada Variasi Jarak Peletakan *Static Radial Fin Mixer*

Hasil perhitungan hubungan debit fluida panas dan *pressure drop* pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.6 Data hubungan antara debit fluida panas dan *pressure drop* pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer*

No.	Debit Air Panas (lt/jam)	Pressure Drop (N/m ²)			
		Tanpa Turbulator	Jarak 250 mm	Jarak 500 mm	Jarak 750 mm
1	400	67,52	173,62	192,92	241,14
	400	67,52	183,27	192,92	241,14
	400	67,52	173,63	192,92	231,50
	400	67,52	183,27	192,92	241,14
	400	67,52	173,63	192,92	241,14
2	500	77,16	241,15	250,79	337,59
	500	86,81	241,15	250,79	337,60
	500	86,81	241,15	250,79	337,60
	500	86,81	241,15	250,79	337,60
	500	86,81	241,15	250,79	337,60
3	600	135,04	356,90	434,06	443,69
	600	125,39	337,61	434,06	443,69
	600	125,39	366,54	434,06	453,34
	600	125,39	366,54	434,06	453,34
	600	125,39	366,54	414,76	453,34
4	700	144,68	530,52	578,75	578,73
	700	173,62	530,52	578,75	578,73
	700	173,62	530,52	559,46	578,73
	700	173,62	530,52	559,45	578,73
	700	173,62	530,52	559,45	578,73
5	800	212,20	626,97	626,96	704,12
	800	202,55	626,98	636,60	704,12
	800	212,20	626,98	636,61	704,12
	800	212,20	626,98	626,96	704,12
	800	212,20	626,98	636,61	704,13
6	900	212,20	704,15	771,64	964,53
	900	212,20	704,15	771,64	1012,76
	900	212,20	704,13	771,64	1012,76
	900	212,20	704,13	771,64	1012,77
	900	212,20	704,13	771,64	1012,77

Grafik hubungan antara debit fluida panas dengan *pressure drop* pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* dijelaskan pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Hubungan Antara Debit Fluida Panas dengan *Pressure Drop* pada Variasi Jarak Peletakan *Static Radial Fin Mixer*

Hubungan debit fluida panas terhadap *pressure drop* pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* ditunjukkan pada grafik (gambar 4.2). *Pressure drop* yang terjadi disini adalah pada *inner tube* yang dialiri fluida panas, yaitu perbedaan tekanan antara fluida panas yang masuk pada *inner tube* dan fluida panas yang keluar dari *inner tube*. Pada *heat exchanger*, semakin tinggi *pressure drop* akan menyebabkan semakin tinggi daya yang dibutuhkan oleh pompa atau kompresor yang digunakan untuk mengalirkan fluida untuk mengalirkan fluida. Sehingga pada *heat exchanger* diupayakan menghasilkan *pressure drop* yang kecil agar kerja pompa atau kompresor yang dibutuhkan tidak terlalu besar.

Hubungan debit fluida panas terhadap *pressure drop* pada variasi jarak peletakan *static radial fin mixer* ditunjukkan pada gambar 4.2. Terlihat bahwa pada jarak peletakan *static radial fin mixer* yang konstan dengan semakin bertambahnya debit fluida panas akan mengakibatkan terjadinya peningkatan *pressure drop* pada *inner tube*. Pada grafik terlihat *pressure drop* memiliki kecenderungan yang terus meningkat

seiring dengan bertambahnya debit. Kecendrungan *pressure drop* yang terus meningkat ini diakibatkan oleh debit fluida yang semakin besar akan meningkatkan kecepatan alir fluida sehingga mengakibatkan *head losses* akan semakin tinggi yang terdiri dari *major losses* dan *minor losses*. Hal ini sesuai dengan persamaan $h_{ma} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$ dan $h_{mi} = K_L \frac{v^2}{2g}$, *major losses* dan *minor losses* berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan fluida. Berdasarkan persamaan $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h_{total}$, *pressure drop* berbanding lurus dengan *head losses* dan kecepatan berbanding lurus dengan debit, sehingga *pressure drop* juga berbanding lurus dengan debit. Pada variasi debit, *pressure drop* terkecil selalu terjadi pada *heat exchanger* tanpa *turbulator*, *Pressure drop* terkecil dapat terjadi karena pada *heat exchanger* tanpa *turbulator* hanya disebabkan oleh *major losses* saja. Sehingga *pressure drop* pada *heat exchanger* tanpa *turbulator* akan selalu lebih kecil dibanding dengan menggunakan *turbulator* yang disebabkan oleh *major losses* dan *minor losses*.

Sedangkan pengaruh jarak peletakan *static radial fin mixer* terhadap *pressure drop* pada grafik (gambar 4.2) di atas dapat dilihat bahwa *pressure drop* berbanding lurus dengan semakin jauhnya jarak peletakan *static radial fin mixer* dan meningkatnya debit air panas. Berdasarkan rumusan $h_{mi} = K_L \frac{v^2}{2g}$, dimana *minor losses* berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan fluida. Baik *minor* maupun *major losses* berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan fluida sehingga pada jarak L dari sisi masuk pipa fluida panas dimana L pada jarak 750 mm memiliki nilai *major losses* yang lebih besar dibandingkan dengan jarak 250 mm dan 500 mm, hal ini sesuai dengan rumusan $h_{ma} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$. Ketika fluida panas mengalir pada jarak L=750 mm dan pada jarak tersebut terdapat *radial fin mixer* maka akan terjadi akumulasi *pressure drop* akibat adanya *major losses* dan *minor losses*. Sehingga semakin jauh jarak peletakan *radial fin mixer*, maka *pressure drop* pun akan semakin meningkat.

Pressure drop terkecil terjadi pada debit 400 liter/jam pada variasi tanpa menggunakan *turbulator* yaitu sebesar 67,52 N/m². Pada debit fluida yang sama dengan menggunakan jarak peletakan *static radial fin mixer* 250 mm, *pressure drop* meningkat menjadi 183,27 N/m². *Pressure drop* tertinggi terjadi pada debit 900 liter/jam dengan menggunakan jarak peletakan *static radial fin mixer* 750 mm yaitu sebesar 1012,72 N/m². Peningkatan nilai *pressure drop* ini menunjukkan bahwa penggunaan *turbulator* akan meningkatkan *pressure drop*, dimana kecenderungan meningkatkannya *pressure drop* terletak pada jarak peletakan yang paling jauh dari sisi masuk dan semakin besar

debit aliran fluida panas yang mengalir maka *pressure drop* juga akan semakin besar. *pressure drop* yang semakin besar ini disebabkan oleh meningkatnya *head losses*, yang mana terdiri dari *major losses* dan *minor losses*.

