

Analisis Pengaruh Variasi Sudut Pelat Penukar Kalor Terhadap Besarnya Koefisien Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Margianto^{1✉}, Unung Lesmanah², Cepi Yazirin³

^{1,2,3} Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 28-04-2023

Direvisi : 06-05-2023

Diterima : 12-05-2023

Kata Kunci:

Sudut, Kontruksi,
Koefisien, Konveksi

Keywords :

Angle, Contruction,
coefficient, Convection

ABSTRAK

Salah satu nilai lebih dari kendaraan bermotor adalah bentuknya yang menarik atau mengikuti *trend mode*, untuk mencapai bentuk yang menarik tersebut harus dirancang pula konstruksi dari komponen mesin tersebut agar sesuai dengan bentuk rancangan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi sudut pelat pemanas dengan laju aliran udara terhadap besarnya koefisien perpindahan kalor konveksi. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental yang digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru terhadap suatu proses. Hasilnya semakin besar sudut yang terbentuk antara pelat pemanas dengan arah aliran maka perpindahan panas yang terjadi dari pelat menuju udara semakin kecil hal ini ditandai dengan menurunnya koefisien perpindahan panas konveksi, penurunan ini disebabkan semakin besar sudut yang terbentuk antara pemanas dengan arah aliran maka luasan pemanas yang mengalami perpindahan panas secara konveksi akan semakin kecil.

ABSTRACT

One of the added values of motorized vehicles is that because of their attractive shape or following fashion trends, to achieve this attractive shape, the construction of the engine components must also be designed to suit the design form. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the angle of the heating plate with the air flow rate on the magnitude of the convection heat transfer coefficient. The research method used is experimental which is used to test the effect of a treatment or a new design on a process. The result is that the greater the angle formed between the heating plate and the direction of flow, the smaller the heat transfer that occurs from the plate to the air, this is indicated by a decrease in the convection heat transfer coefficient, this decrease is caused by the greater the angle formed between the heater and the direction of flow, the greater the heating area experience heat transfer by convection will be smaller.

Corresponding Author :

Margianto

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang

Jalan Mayjen Haryono No.193, Dinoyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65144

Email: margianto@unisma.ac.id

PENDAHULUAN

Salah satu nilai lebih dari kendaraan bermotor adalah karena bentuknya yang menarik atau mengikuti *trend mode*, untuk mencapai bentuk yang menarik tersebut harus dirancang pula konstruksi dari komponen mesin tersebut agar sesuai dengan bentuk rancangan. Apabila kita memberikan komponen tambahan atau memodifikasi bentuk sebuah kendaraan bermotor maka tidak menutup kemungkinan kita harus pula merubah konstruksi komponen mesin tersebut.



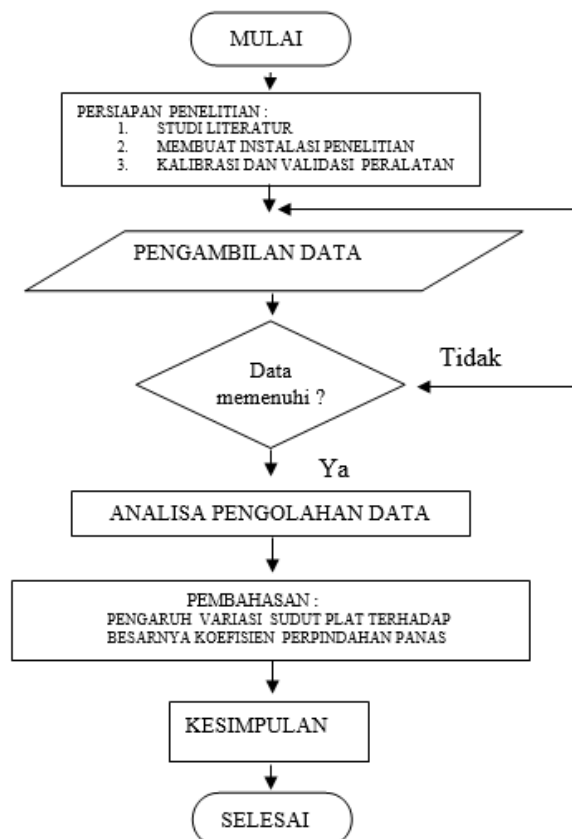
Apabila konstruksi komponen yang kita rubah adalah radiator maka kita juga harus memperhitungkan pula akibat dari perubahan tersebut terhadap besarnya kalor yang dipindahkan kepada udara luar (Umurani et al., 2021) (Giurgiu et al., 2014).

Bentuk rancangan dari radiator suatu kendaraan bermotor bermacam-macam, umumnya adalah terbentuk dari pelat-pelat yang disusun secara paralel. Dari perubahan rancangan konstruksi alat penukar kalor yang terbentuk oleh plat-plat tersebut, perlu adanya penelitian tentang pengaruh sudut pelat pada alat penukar kalor terhadap besarnya koefisien perpindahan panas konveksi (Ramadhan et al., 2017) (Khan et al., 2010).

Konveksi merupakan perpindahan kalor yang disertai dengan perpindahan partikel yang telah dipanaskan, bila perpindahannya dikarenakan kerapatan disebut konveksi alami (*natural convection*) dan bila perpindahannya dikarenakan gaya eksternal disebut konveksi paksa (*forced convection*) (Sarraf et al., 2015). Konveksi yang berhubungan dengan perpindahan kalor dalam *research experimental* ini adalah konveksi paksa terjadi pada pelat alat penukar kalor yang memerlukan neraca energi di samping analisa dinamika-fluida tersebut dan hubungan sederhana dinamika-fluida dan analisa lapisan-batas (*boundary-layers analysis*) untuk memahami perpindahan kalor konveksi dan pengaruh aliran itu terhadap gradien atau landaian suhu (*temperature gradient*) dalam fluida. Dan juga mengetahui distribusi suhu, sehingga dapatlah kita menentukan laju perpindahan kalor dari permukaan yang dipanaskan ke fluida di atasnya (Kumar et al., 2016) (Forooghi & Hooman, 2014).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental (*experimental research*) yang digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru terhadap suatu proses. Pengaruh dari beberapa perlakuan atau desain yang berbeda terhadap suatu peristiwa dibandingkan sehingga diperoleh suatu pola kejadian yang saling berhubungan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian ini dimulai dengan menjalankan *software*, menjalankan *fan*, memulai variasi sudut yang pertama, membaca dan menulis data perbedaan ketinggian manometer pada *software*, akumulasi data dari sensor temperatur dan perbedaan tekanan melalui *software*, ulangi langkah ke 3 sampai variasi sudut terakhir, terakhir simpan data dalam bentuk file. Pengambilan data penelitian ini untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru terhadap suatu proses dengan mengambil hasil terbaik setiap sudut 90, 75, 60, 45, 30, 15, dan 0 untuk dianalisis secara kuantitatif menggunakan (*software*) dengan cara mengintegrasikan secara numerik pada alat penukar kalor untuk mendapatkan informasi mengenai suhu atau temperatur dari termokopel yang terpasang didalam penampang yang berbentuk persegi empat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan data *bulk temperatur* (rata-rata temperatur dalam luasan penampang setelah melewati pemanas) yang selanjutnya dapat digunakan untuk mencari besarnya koefisien perpindahan panas. Untuk mempermudah maka data-data temperatur tersebut ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 1. Data Pengelompokan Bulk Temperatur

Sudut ($^{\circ}$)	90	75	60	45	30	15	0
Temp ($^{\circ}$ C)							
Temp Percobaan 1	31.03	32.05	32.15	32.61	33.01	33.85	34.14
Temp Percobaan 2	31.15	31.96	32.18	32.66	32.96	33.57	34.63
Temp Percobaan 3	31.25	32.25	32.10	32.66	32.73	33.65	34.66
Temp Percobaan 4	31.28	31.94	32.05	32.59	32.86	33.63	34.74
Temp Percobaan 5	31.11	32.22	32.37	32.59	32.87	33.02	34.16

Data Temperatur Udara Masuk Hasil Penelitian

Data temperatur udara masuk hasil penelitian ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 2. Data Pengelompokan Temperatur Udara Masuk

Sudut ($^{\circ}$)	90	75	60	45	30	15	0
T_{in} ($^{\circ}$ C)							
Temp Percobaan 1	29.261	29.262	29.254	29.263	29.255	29.257	29.261
Temp Percobaan 2	29.254	29.256	29.257	29.261	29.262	29.258	29.254
Temp Percobaan 3	29.254	29.253	29.262	29.254	29.254	29.256	29.254
Temp Percobaan 4	29.263	29.262	29.262	29.254	29.259	29.255	29.263
Temp Percobaan 5	29.254	29.260	29.257	29.259	29.253	29.262	29.254

Data Temperatur Pemanas Hasil Penelitian

Data temperatur pemanas hasil penelitian ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 3. Data Pengelompokan Temperatur Pemanas

T _{in} (°C)	Sudut (°)						
	90	75	60	45	30	15	0
Temp Percobaan 1	253.59	253.62	253.65	253.65	253.66	253.74	253.78
Temp Percobaan 2	253.65	253.72	253.80	253.82	253.86	253.94	254.04
Temp Percobaan 3	253.59	253.65	253.71	253.77	253.83	253.85	253.91
Temp Percobaan 4	253.58	253.68	253.72	253.77	253.79	253.83	253.92
Temp Percobaan 5	253.61	253.68	253.71	253.76	253.83	253.90	253.95

Perhitungan**1. Perhitungan Daya Heater**

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \frac{V^2}{R} \\ &= \frac{220^2}{135,5} \\ &= 357.195 \text{ W} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Massa Alir Dan Laju Aliran Udara (v_∞)

Data yang diketahui:

- Luas penampang saluran (A) = $1,44 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
- Debit (Q) = 80 cfm

Perhitungan:

a. Massa Alir (\dot{m})

$$\dot{m} = Q \cdot \rho$$

$$\begin{aligned} \text{Debit (Q)} &= 80 \text{ cfm (cubic feet per minute)} \\ &= 80 \text{ feet}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

konversi 1 feet = 0,3048 m

$$\begin{aligned} 80 \text{ feet}^3/\text{menit} &= 80 \cdot 0,3048^3 \text{ m}^3 / 60 \text{ s} \\ &= 3,775 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\dot{m} = 3,775 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,174 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\dot{m} = 4,432 \cdot 10^{-2} \text{ kg}/\text{s}$$

b. Laju Aliran

$$\text{Laju aliran } (v_{\infty}) = \frac{\text{Debit (Q)}}{\text{Luas penampang (A)}}$$

$$v_{\infty} = \frac{3,775 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}}{1,44 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2}$$

$$v_{\infty} = 2,621 \text{ m/s}$$

3. Perhitungan Bilangan Reynold Aliran (Re)

Data yang diketahui:

a. Luas penampang (A) = $1,44 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

b. Laju aliran (v_{∞}) = 2,621 m/s

c. Kekentalan kinematis udara (ν) = $15,11 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Perhitungan:

$$\text{Re}_{D_H} = \frac{v_{\infty} \cdot D_H}{\nu}$$

$$D_H = \frac{4A}{P} \quad \gg \gg \gg p = \text{keliling saluran}$$

$$D_H = \frac{4 \cdot 1,44 \cdot 10^{-2}}{4,8 \cdot 10^{-1}} = 1,2 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$\text{Re}_{D_H} = \frac{2,621 \cdot 1,2 \cdot 10^{-1}}{15,11 \cdot 10^{-6}} = 2,082 \cdot 10^4$$

Berdasarkan hasil perhitungan bilangan *reynold* dapat disimpulkan aliran yang terjadi adalah aliran turbulen karena $\text{Re} > 4 \cdot 10^3$. Dalam perhitungan lapis batas, sering diasumsikan transisi mulai terjadi pada lokasi tertentu. Lokasi ini ditentukan oleh sekelompok variabel non-dimensional yang disebut sebagai angka *reynold*. Dimana panjang karakteristik adalah jarak dari *leading edge*. Angka *Reynold* adalah harga *Re* dimana transisi terjadi, dan untuk aliran melewati plat datar nilainya bervariasi antara 10^3 sampai dengan 3×10^6 tergantung kekasaran permukaan dan tingkat turbulensi aliran bebasnya (Teddy, 2017).

4. Perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi

Data yang diketahui adalah luas dinding pemanas (A) = $0,98 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Contoh perhitungan koefisien konveksi diambil dari data pengujian pertama variasi sudut 90° (Goodarzi et al., 2018).

a. Temperatur borongan rata-rata ($T_{\text{bulk rate}}$)

$$T_{\text{bulk rate}} = \frac{(T_{\text{bulk}} + T_{\text{in}})}{2}$$

$$T_{\text{bulk rate}} = \frac{(31,03 + 29,261)}{2}$$

$$= 30,146^\circ\text{C}$$

Hasil dari perhitungan Temperatur borongan rata-rata ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4. Data Perhitungan Temperatur Borongan Rata-rata

Sudut (°) T _{bulk rate} (°C)	90	75	60	45	30	15	0
	Temp Percobaan 1	30.146	30.656	30.701	30.936	31.132	31.552
Temp Percobaan 2	30.206	30.608	30.718	30.960	31.110	31.413	31.940
Temp Percobaan 3	30.253	30.751	30.681	30.956	30.991	31.452	31.955
Temp Percobaan 4	30.267	30.601	30.655	30.921	31.059	31.441	32.000
Temp Percobaan 5	30.186	30.740	30.813	30.924	31.061	31.140	31.706

b. *Heat flux (H)*

Data yang diketahui:

a. Kalor jenis udara (c_p) = 1,0057 kJ/kg°C

b. Massa alir (\dot{m}) = 4,432 10⁻² kg/s

Contoh perhitungan koefisien konveksi diambil dari data pengujian pertama variasi sudut 90°

$$H = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{\text{bulk}} - T_{\text{in}})$$

$$H = 4,432 \cdot 10^{-2} \text{ kg/s} \cdot 1,0057 \text{ kJ/kg°C} (31,03^\circ\text{C} - 29,261^\circ\text{C})$$

$$H = 78.859 \text{ W}$$

Hasil dari perhitungan *heat flux* ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 5. Data Perhitungan *Heat Flux*

Sudut (°) H (W)	90	75	60	45	30	15	0
	Temp Percobaan 1	78.859	124.230	129.062	149.141	167.286	204.585
Temp Percobaan 2	84.156	120.477	130.249	151.440	164.745	192.094	239.467
Temp Percobaan 3	88.863	133.533	126.451	151.735	154.864	195.742	240.803
Temp Percobaan 4	90.342	119.331	124.243	148.638	160.446	194.877	243.964
Temp Percobaan 5	82.374	131.872	138.685	148.412	161.137	167.411	218.540

c. *Koefisien perpindahan panas (h)*

Data yang diketahui adalah Luas bidang pemanas (A) = 9,8 10⁻² m²

Contoh perhitungan koefisien konveksi diambil dari data pengujian pertama variasi sudut 90°

$$H = h \times A \times (T_{\text{Surface}} - T_{\text{bulkrate}})$$

$$h = \frac{H}{A.(T_{Surface} - T_{bulkrate})}$$

$$h = \frac{78,859 .W}{9,810^{-3} \text{ m}^2 .(253,59^{\circ} \text{ C} - 30,17^{\circ} \text{ C})}$$

$$h = 36,014 \text{ kW/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Data perhitungan koefisien konveksi dari keseluruhan data di tabelkan sebagai berikut :

Tabel 6. Tabel Hasil Perhitungan Koefisien Konveksi.

Sudut (°)							
	90	75	60	45	30	15	0
h (W/m ² K)							
Temp Percobaan 1	36.014	56.854	59.071	68.333	76.711	93.955	99.859
Temp Percobaan 2	38.433	55.100	59.578	69.339	75.468	88.086	110.023
Temp Percobaan 3	40.602	61.130	57.853	69.491	70.914	89.811	110.707
Temp Percobaan 4	41.282	54.586	56.836	68.060	73.504	89.416	112.179
Temp Percobaan 5	37.621	60.359	63.488	67.961	73.809	76.686	100.342
Jumlah	193.950	288.028	296.826	343.183	370.406	437.954	533.109
Rata-rata	38.790	57.606	59.365	68.637	74.081	87.591	106.622

Pengolahan Data

1. Analisis Varian Satu Arah

Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh sudut pemanas terhadap koefisien perpindahan panas maka dari data-data diatas dilakukan analisa varian satu arah.

Berikut analisa varian menggunakan bantuan Ms Excell:

Tabel 7. Analisis varian satu arah

Anova: Singel Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Column 1	5	193.952	38.7904	4.673398		
Column 2	5	288.029	57.6058	8.990881		
Column 3	5	296.862	59.3652	6.45323		
Column 4	5	343.148	68.6366	0.52611		
Column 5	5	370.406	74.0812	4.819368		
Column 6	5	437.954	87.5908	41.98089		
Column 7	5	533.11	106.622	36.07771		
ANOVA						
Source of variation	SS	df	MS	F	P-Value	F-Crit
Between Groups	14544.2	6	2424.034	163.9101	1.77E20	2.445262
Within Groups	414.0864	28	14.7888			
Total	14958.29	34				

Berikut analisa varian menggunakan perhitungan manual

N = banyaknya percobaan = 5

k= banyaknya variasi = 7

- Faktor koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij} \right]^2}{n.k} = 173.389,717$$

- Jumlah kwadrat perlakuan (JK_P)

$$JK_P = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n y_{ij} \right]^2}{n} - FK = 14.544,202$$

- Jumlah kwadrat total (JK_T)

$$JK_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}^2 - FK = 14.958,288$$

- Jumlah kwadrat galat (JK_G)

$$JK_G = JK_T - JK_P = 414,086$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KT_P)

$$KT_P = \frac{JK_P}{k-1} = 2424,033761$$

- Kuadrat Tengah Galat (KT_G)

$$KT_G = \frac{JK_G}{n-k} = 14.788$$

Ada tidaknya pengaruh variasi pengaruh sudut pemanas terhadap variabel terikat dapat diuji melalui metode uji F dengan jalan mencari besar F_{hitung} dari rumusan:

$$F_{hitung} = \frac{KT_P}{KT_G} = 163,91011$$

Tabel 8. Tabel Anova

Sumber varian	Db	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	F hitung	F tabel
Perlakuan	6	14.544,202	2424,033761	163,91011	2.45
Galat	28	414,086	14.788		
Total	34	14.958,288			

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ sehingga dapat disimpulkan terdapat perbedaan koefisien perpindahan panas konveksi akibat variasi sudut pelat pemanas.

2. Analisis Regresi

Berdasarkan data variabel bebas dan variabel terikatnya dapat dilakukan perhitungan secara matematik yaitu dengan persamaan regresi *polynomial* dengan persamaan umum sebagai berikut:

$$y = b_0 + b_1X + b_2X^2$$

Untuk memudahkan dalam mencari persamaan regresi *polynomial* data temperatur dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 9. Data Analisa Regresi

No	x	y	x ²	x ³	x ⁴	xy	x ² y
1	90	36.01	8100	729000	65610000	3241	291713.40
2	90	38.43	8100	729000	65610000	3459	311307.30
3	90	40.60	8100	729000	65610000	3654	328876.20
4	90	41.28	8100	729000	65610000	3715	334384.20
5	90	37.62	8100	729000	65610000	3386	304730.10
6	75	56.85	5625	421875	31640625	4264	319803.75
7	75	55.10	5625	421875	31640625	4133	309937.50
8	75	61.13	5625	421875	31640625	4585	343856.25
9	75	54.59	5625	421875	31640625	4094	307046.25
10	75	60.36	5625	421875	31640625	4527	339519.38
11	60	59.07	3600	216000	12960000	3544	212655.60
12	60	59.58	3600	216000	12960000	3575	214480.80
13	60	57.85	3600	216000	12960000	3471	208270.80
14	60	56.84	3600	216000	12960000	3410	204609.60
15	60	63.49	3600	216000	12960000	3809	228556.80
16	45	68.33	2025	91125	4100625	3075	138374.33
17	45	69.34	2025	91125	4100625	3120	140411.48
18	45	69.49	2025	91125	4100625	3127	140719.28
19	45	68.06	2025	91125	4100625	3063	137821.50
20	45	67.96	2025	91125	4100625	3058	137621.03
21	30	76.71	900	27000	810000	2301	69039.90
22	30	75.47	900	27000	810000	2264	67921.20
23	30	70.91	900	27000	810000	2127	63822.60
24	30	73.50	900	27000	810000	2205	66153.60
25	30	73.81	900	27000	810000	2214	66428.10
26	15	93.96	225	3375	50625	1409	21139.88
27	15	88.09	225	3375	50625	1321	19819.35
28	15	89.81	225	3375	50625	1347	20207.48
29	15	89.42	225	3375	50625	1341	20118.60
30	15	76.69	225	3375	50625	1150	17254.35
31	0	99.86	0	0	0	0	0
32	0	110.02	0	0	0	0	0
33	0	110.71	0	0	0	0	0
34	0	112.18	0	0	0	0	0
35	0	100.34	0	0	0	0	0
Jumlah	1575	2463.46	102375	7441875	575859375	89992.19	5386600.58

Untuk memperoleh koefisien regresi dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\Sigma Y = n \cdot b_0 + b_1 \Sigma X + b_2 \Sigma X^2.$$

$$\Sigma XY = b_0 \Sigma X + b_1 \Sigma X^2 + b_2 \Sigma X^3$$

$$\Sigma X^2 Y = b_0 \Sigma X^2 + b_1 \Sigma X^3 + b_2 \Sigma X^4$$

$$2463.46 = 35 b_0 + 1.575 b_1 + 102.375 b_2$$

$$89992.19 = 1.575 b_0 + 102.375 b_1 + 7.441.875 b_2$$

$$5386600.58 = 102.375 b_0 + 7.441.875 b_1 + 575.859.375 b_2$$

Dengan menyelesaikan persamaan-persamaan diatas, maka bisa diperoleh harga koefisien regresi yaitu; $b_0 = 103,3$; $b_1 = -0,9108$; $b_2 = 0,0028$. Sehingga diperoleh persamaan regresi untuk Temperatur sebagai berikut:

$$y = 0.0028x^2 - 0.9108x + 103.3$$

Keterangan:

y = koefisien perpindahan panas

x = Sudut pemanas

Untuk perhitungan koefisien korelasi dapat ditabelkan sebagai berikut:

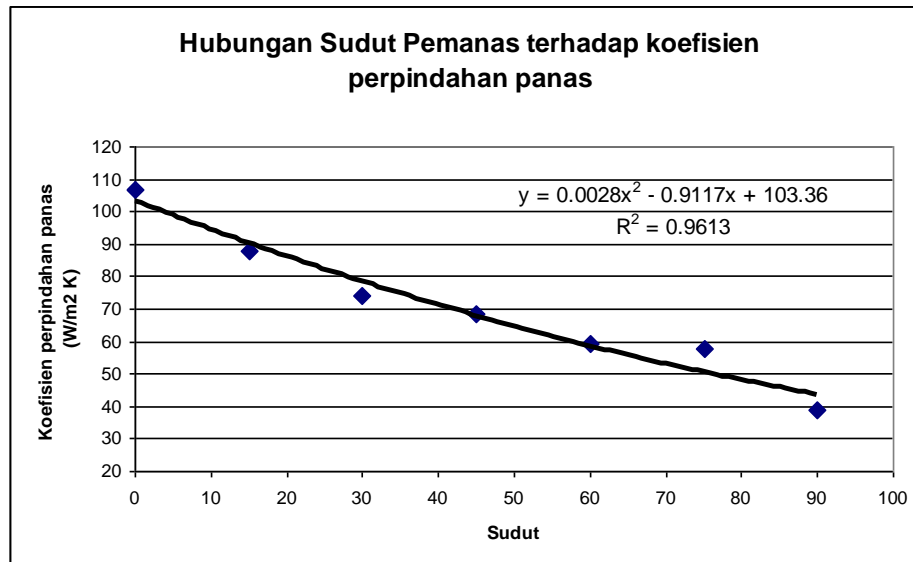
Tabel 10. Data Analisa Koefisien Korelasi

No	x	y	(y-yr)2	y	(y-yr)2
1	90	36.01	1181.37	44.01	695.75
2	90	38.43	1020.93	44.01	695.75
3	90	40.60	887.03	44.01	695.75
4	90	41.28	846.98	44.01	695.75
5	90	37.62	1073.48	44.01	695.75
6	75	56.85	183.09	50.74	385.93
7	75	55.10	233.63	50.74	385.93
8	75	61.13	85.66	50.74	385.93
9	75	54.59	249.61	50.74	385.93
10	75	60.36	100.52	50.74	385.93
11	60	59.07	128.01	58.73	135.79
12	60	59.58	116.79	58.73	135.79
13	60	57.85	157.05	58.73	135.79
14	60	56.84	183.58	58.73	135.79
15	60	63.49	47.57	58.73	135.79
16	45	68.33	4.21	67.98	5.76
17	45	69.34	1.09	67.98	5.76
18	45	69.49	0.80	67.98	5.76
19	45	68.06	5.41	67.98	5.76
20	45	67.96	5.88	67.98	5.76
21	30	76.71	40.02	78.50	65.79
22	30	75.47	25.84	78.50	65.79
23	30	70.91	0.28	78.50	65.79
24	30	73.50	9.73	78.50	65.79
25	30	73.81	11.72	78.50	65.79
26	15	93.96	555.54	90.27	395.33
27	15	88.09	313.33	90.27	395.33
28	15	89.81	377.37	90.27	395.33
29	15	89.42	362.18	90.27	395.33
30	15	76.69	39.70	90.27	395.33
31	0	99.86	868.72	103.30	1083.40
32	0	110.02	1571.17	103.30	1083.40
33	0	110.71	1625.86	103.30	1083.40
34	0	112.18	1746.74	103.30	1083.40
35	0	100.34	897.42	103.30	1083.40
Jumlah	1575.00	2463.46	14958.3	2467.64	13838.743

Dari data diatas diperoleh koefisien korelasi sebagai berikut:

$$R^2 = \frac{(y - \bar{Y})^2}{(Y - \bar{Y})^2} = \frac{13838.743}{14958.3} = 0.9251$$

Analisis Grafik Variasi Sudut Pelat Pemanas Terhadap Koefisien Konveksi



Gambar 2. Grafik variasi sudut pelat pemanas terhadap koefisien konveksi

Grafik pada gambar 2 di atas menunjukkan perubahan koefisien konveksi akibat variasi sudut pelat pemanas. Sumbu datar adalah besar sudut pelat pemanas sedangkan sumbu tegak adalah koefisien perpindahan panas. Koefisien perpindahan panas konveksi cenderung mengalami perubahan dengan adanya perubahan sudut pelat pemanas, semakin besar sudut pelat pemanas maka koefisien perpindahan panas cenderung mengalami penurunan. Koefisien konveksi terkecil diperoleh pada saat pelat pemanas tegak lurus terhadap arah aliran atau membentuk sudut 90°. Penurunan ini disebabkan karena perpindahan panas secara konveksi cenderung hanya terjadi pada salah satu permukaan pelat, hanya permukaan pelat pemanas bagian depan saja yang cenderung mengalami perpindahan panas konveksi sedangkan permukaan pemanas bagian belakang cenderung mengalami perpindahan panas secara konduksi. Panas yang dipindahkan akibat konveksi akan jauh lebih besar daripada panas yang dipindahkan secara konduksi karena konduktivitas termal dari udara relatif kecil. Hal ini menyebabkan pada sudut 90°C total panas yang dipindahkan dari pelat menuju udara merupakan yang paling kecil.

Semakin kecil sudut pelat pemanas maka perpindahan panas konveksi akan mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena semakin kecil sudut pelat pemanas maka perpindahan panas secara konveksi cenderung terjadi pada kedua permukaan pelat. Pada sudut 0°C (Permukaan Pelat Pemanas Searah Laju Aliran), laju udara diatas permukaan kedua pelat pemanas sangat besar sehingga perpindahan panas secara konveksi akan cenderung terjadi. hal ini menyebabkan pada sudut 0°C total panas yang dipindahkan dari pelat pemanas menuju udara merupakan yang paling besar. Semakin kecil laju aliran, semakin besar pula nilai energi dan koefisien perpindahan panas konveksi (Ramadhan et al., 2017).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian ini adalah semakin besar sudut yang terbentuk antara pelat pemanas dengan arah aliran maka perpindahan panas yang terjadi

dari pelat menuju udara semakin kecil hal ini ditandai dengan menurunnya koefisien perpindahan panas konveksi, penurunan ini disebabkan semakin besar sudut yang terbentuk antara pemanas dengan arah aliran maka luasan pemanas yang mengalami perpindahan panas secara konveksi akan semakin kecil.

Saran

Untuk mendapatkan perpindahan panas yang lebih besar maka hal yang perlu dilakukan diantaranya adalah:

1. Luas bidang kontak pemanas harus lebih besar, hal ini dapat dilakukan dengan cara membentuk sirip-sirip pada pelat pemanas
2. Laju aliran diatas luasan pemanas harus lebih besar, hal ini dapat dilakukan dengan cara mengatur sudut pelat pemanas agar searah dengan arah aliran
3. Memperluas bidang pemanas yang cenderung mengalami perpindahan panas konveksi, hal ini dapat dilakukan dengan cara memasang pelat pemanas agar sejajar dengan arah aliran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Islam Malang selaku tempat penulis mengabdikan sehingga terselesaikan artikel ini.

REFERENSI

- Forooghi, P., & Hooman, K. (2014). Experimental analysis of heat transfer of supercritical fluids in plate heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 74, 448–459. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.03.052>
- Giurgiu, O., Pleşa, A., & Opruţa, D. (2014). The effect of plate heat exchanger's geometry on heat transfer. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 13(25), 254–263.
- Goodarzi, M., D'Orazio, A., Keshavarzi, A., Mousavi, S., & Karimipour, A. (2018). Develop the nano scale method of lattice Boltzmann to predict the fluid flow and heat transfer of air in the inclined lid driven cavity with a large heat source inside, Two case studies: Pure natural convection & mixed convection. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 509, 210–233. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.06.013>
- Khan, T. S., Khan, M. S., Chyu, M. C., & Ayub, Z. H. (2010). Experimental investigation of single phase convective heat transfer coefficient in a corrugated plate heat exchanger for multiple plate configurations. *Applied Thermal Engineering*, 30(8–9), 1058–1065. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.01.021>
- Kumar, V., Tiwari, A. K., & Ghosh, S. K. (2016). Effect of chevron angle on heat transfer performance in plate heat exchanger using ZnO/water nanofluid. *Energy Conversion and Management*, 118, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.086>
- Ramadhan, N., Soeparman, S., Widodo, A., Teknik, J., Fakultas, M., Universitas, T., & Jl, B. (2017). Analisis Perpindahan Panas Pada Kolektor Pemanas Air Tenaga Surya Dengan Turbulence Enhancer. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(1), 15–22.
- Sarraf, K., Launay, S., & Tadriss, L. (2015). Complex 3D-flow analysis and corrugation angle effect in plate heat exchangers. *International Journal of Thermal Sciences*, 94, 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.03.002>
- Teddy Nurcahyadi. (2017). *Perpindahan kalor konveksi dan alat penukar kalor*.
- Umurani, K., Nasution, A. R., & Irwansyah, D. (2021). Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Pada Saluran Segiempat Dengan Rusuk V 90 Derajat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 4(1), 37–46. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>