

PEMBUATAN DAN EVALUASI KINERJA PENUKAR KALOR TIPE *CROSS FLOW* UNTUK PENDINGIN *CENTRAL PROCESSING UNIT (CPU)* KOMPUTER

MAKING AND PERFORMANCE EVALUATION CROSS FLOW HEAT EXCHANGER FOR CENTRAL PROCESSING UNIT (CPU) REFRIGERATION SYSTEM

Ardisurya¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si²

^{1,2}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ardisurya@students.telkomuniversity.ac.id , ²jakasantang@gmail.com

Abstrak

Penukar kalor adalah suatu alat yang digunakan sebagai pertukaran kalor antar fluida dengan temperatur yang berbeda. Penukar kalor memiliki beberapa tipe yang berbeda dan memiliki jenis aliran yang berbeda. Penelitian ini memiliki rumusan masalah mengenai cara menganalisis nilai koefisien perpindahan kalor dan menganalisis nilai efektivitas. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan kalor dan efektivitas penukar kalor tersebut. Jenis aliran yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *cross flow* dengan variasi jarak antar pelat pada penukar kalor. Data yang diperoleh yaitu *hot inlet temperature*, *hot outlet temperature*, *cold inlet temperature*, dan *cold outlet temperature*. Setelah dilakukan analisis data, diperoleh nilai koefisien perpindahan kalor terbesar ada pada variasi jarak antar pelat 1,5 cm yakni sebesar 1,5962 kW/m².°C dan yang terkecil ada pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm yakni sebesar 0,7242 kW/m².°C. Sementara nilai efektivitas terbesar ada pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm yakni sebesar 65,5851% sedangkan nilai efektivitas terkecil ada pada variasi jarak antar pelat 1,5 cm yakni sebesar 61,9787%.

Kata kunci : temperatur, *cross flow*, jarak antar plat, koefisien perpindahan kalor, efektivitas

Abstract

Heat exchangers are devices that facilitate the exchange of heat between two fluids that are at different temperatures. Heat exchanger have many different types and have different type of flow. This research explain how to analyze heat transfer coefficient and effectiveness of heat exchanger. Purpose of this research are to acquire heat transfer coefficient and effectiveness. In this research, cross flow is used with variation of distance between plates. Acquired data are hot inlet temperature, hot outlet temperature, cold inlet temperature, and cold outlet temperature. After analyze the data, the highest of heat transfer coefficient at 1,5 cm distance of plates is 1,5962 kW/m².°C and the lowest of heat transfer coefficient at 0,5 cm distance of plates is 0,7242 kW/m².°C. Meanwhile, the highest of effectiveness at 0,5 cm distance of plates is 65,5851% and the lowest of effectiveness at 1,5 cm is 61,9787%.

Keywords: temperature, cross flow, distance of plates, heat transfer coefficient, effectiveness

1. Pendahuluan

Heat Exchanger (Penukar Kalor) adalah suatu alat yang digunakan sebagai pertukaran kalor antar dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur dengan tetap menjaga agar kedua fluida tidak tercampur [1]. Pertukaran kalor pada penukar kalor menggunakan prinsip konveksi untuk kedua fluida dan prinsip konduksi untuk dinding penghalang diantara kedua fluida. Penukar kalor dapat dibagi menjadi beberapa macam, salah satunya *cross flow*. *Cross flow* yaitu ketika arah aliran fluida yang mengalir secara tegak lurus. Nilai efektivitas dari *cross flow* besarnya di antara *parallel flow* dan *counter flow* [3]. Penukar kalor tipe *cross flow* memungkinkan untuk mencapai nilai *heat transfer* yang tinggi diantara dua fluida yang dalam volume kecil dan umumnya digunakan pada aplikasi dengan batasan berat dan volume penukar kalor [1].

Penukar kalor pada umumnya digunakan dalam beberapa aplikasi contohnya pada pembangkit listrik, industry kimia dan makanan, pada alat elektronika, pendingin dan pemanas ruangan, dalam otomotif, pada suatu sistem pendinginan, dan lain-lain. Pada otomotif, aplikasi penukar kalor digunakan pada radiator kendaraan bermotor [2]

Kinerja penukar kalor didapat dari analisis koefisien perpindahan kalor (U) dan efektivitas (ϵ) dari penukar kalor tersebut. Untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan kalor tersebut digunakan metode *Logarithmic Mean Temperature Difference* (LMTD) sedangkan untuk mendapatkan nilai efektivitas menggunakan metode *Number Transfer Unit* (NTU). Dr. M K Chopra dan Ramjee Singh Prajapati telah melakukan penelitian penukar kalor *cross flow* jenis *both fluid unmixed*. Analisis pada penelitiannya dilakukan dengan memvariasi besar laju aliran fluida yang masuk ke penukar kalor. Hasil penelitian ini menyatakan perpindahan kalor pada penukar kalor menurun jika persentase fluida dingin yang masuk ke penukar kalor lebih besar 50% dari fluida panasnya. Besar kalor yang berpindah akan berbanding lurus dengan luas area kontak.

Pada penelitian ini, akan dibuat penukar kalor tipe *cross flow* dengan dimensi yang sudah ditetapkan. Bahan dari pipa pada penukar kalor ini yaitu tembaga dan bahan pelat yang digunakan yaitu alumunium. Pemilihan bahan pipa terbuat dari tembaga dan pelat terbuat dari alumunium didasari oleh nilai dari konduktivitas termal kedua bahan tersebut cukup tinggi. Setelah dibuat akan dilakukan evaluasi koefisien perpindahan kalor (U). Selain itu juga akan mencari nilai efektivitas pada penukar kalor ini. Evaluasi yang dilakukan yaitu dengan variasi jarak antar pelat pada penukar kalor yang sudah dibuat. Diharapkan setelah melakukan penelitian ini dapat melihat perbandingan kinerja penukar kalor ini dan membandingkan pengaruh dari variasi jarak antar pelat terhadap koefisien perpindahan panas dan nilai efektivitas.

2. Dasar Teori

2.1 Konduksi

Suatu material bahan yang mempunyai gradien, maka kalor akan mengalir tanpa disertai oleh suatu gerakan zat. Konduksi termal pada logam padat terjadi akibat gerakan elektron yang terikat dan konduksi termal mempunyai hubungan dengan konduktivitas listrik. Pemanasan pada logam berarti pengaktifan gerakan molekul, sedangkan pendinginan berarti pengurangan gerakan molekul. Laju perpindahan kalor secara konduksi sebanding dengan gradient suhu. [5]

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi hukum II termodinamika yaitu "kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur".[5]

2.2 Konveksi

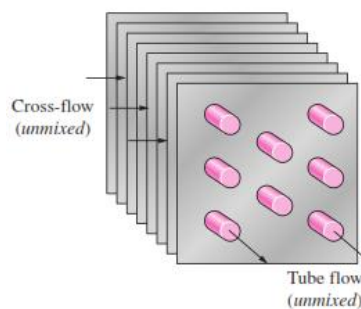
Konveksi merupakan proses perlindungan kalor dengan media atau benda yang menghantarkan kalor juga turut berpindah, seolah-olah kalor dibawa oleh media tersebut. Proses perpindahan kalor ini umumnya terjadi dari benda padat ke fluida baik cair maupun gas. Kalor yang dipindahkan secara konveksi dinyatakan dengan persamaan Newton.[5]

$$q = -h \cdot A \cdot dT \quad (2.2)$$

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi hukum II termodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda (+).[5]

2.3 Aliran Tegak Lurus

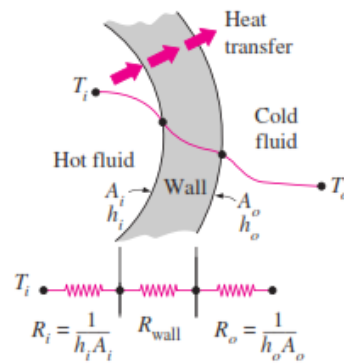
Aliran tegak lurus yaitu ketika dua fluida yang berbeda bergerak secara tegak lurus satu sama lainnya. Terdapat dua klasifikasi pada aliran tegak lurus yaitu saling tidak tercampur dan saling tercampur. Dikatakan saling tidak tercampur karena plat memaksa fluida mengalir melalui jarak tertentu dan mencegah bergerak ke arah yang melintang. Lalu dikatakan saling tercampur karena fluida bebas bergerak ke arah yang melintang.[1]



Gambar 1 Aliran tegak lurus [1]

2.4 Koefisien Perpindahan Kalor

Alat penukar kalor biasanya melibatkan dua aliran yang mengalir secara terpisah oleh suatu dinding. Kalor pertama ditransfer dari fluida yang memiliki temperatur panas ke dinding melalui konveksi, melewati dinding melalui konduksi, dan dari dinding menuju fluida yang bertemperatur dingin melalui konveksi lagi. Resistansi termal pada proses perpindahan kalor ini melibatkan dua konveksi dan satu konduksi.[1]



Gambar 2.2 Jaringan resistansi termal [1]

Nilai resistansi termal dari dinding didapat dari rumus berikut ini:

$$R_{th\,dinding} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi kL} \quad (2.3)$$

Dimana k adalah konduktivitas termal dari bahan dinding, dan L adalah panjang dari pipa tersebut. Lalu untuk mendapatkan nilai resistansi termal total melalui rumus berikut:

$$\begin{aligned} R_{th\,total} &= R_{th\,konveksi\,1} + R_{th\,dinding} + R_{th\,konveksi\,2} \\ R_{th\,total} &= \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_2 A_2} \end{aligned} \quad (2.4)$$

A_1 adalah luas permukaan di dalam pipa sedangkan A_2 adalah luas permukaan di luar pipa. A_1 didapat dari persamaan:

$$A_1 = \pi \cdot D_1 \cdot L \quad (2.5)$$

Sedangkan A_2 didapat dari persamaan:

$$A_2 = \pi \cdot D_2 \cdot L \quad (2.6)$$

Setelah mendapatkan resistansi termal total, untuk mendapatkan nilai dari perpindahan kalor pada penukar kalor berlaku persamaan:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{th\,total}} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.7)$$

Dimana U adalah nilai koefisien perpindahan kalor. [1]

2.5 Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)

Untuk mendapatkan nilai ΔT_m dengan cara aritmatika kurang dapat diaplikasikan di penukar kalor. Fluida yang panas akan menurun dan fluida yang dingin akan naik namun temperatur fluida yang dingin tidak akan pernah melebihi dari temperatur fluida yang panas. Itulah sebabnya kenaikan temperatur fluida penukar kalor tidak linier melainkan eksponensial. Dengan metode ini ΔT_m dapat dituliskan sebagai berikut[1]:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (2.9)$$

2.6 Faktor Koreksi

Pada metode LMTD sebelumnya hanya terbatas untuk *parallel flow* dan *counter flow* saja.. Pada aliran tegak lurus, akan lebih mudah untuk menghubungkan persamaan perbedaan temperatur ke hubungan LMTD sebagai [1]:

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \Delta T_{lm\,CF} \quad (2.11)$$

Dimana F adalah faktor koreksi yang bergantung pada geometri dari penukarn kalor dan temperatur masuk dan keluar dari fluida panas dan dingin. $\Delta T_{lm\,CF}$ yaitu LMTD dari kasus suatu penukar kalor *counter flow* dengan nilai temperatur masuk dan keluar sama dari persamaan 2.9 dengan:

$$\Delta T_1 = T_{h\,in} - T_{c\,out} \quad (2.12)$$

Dan

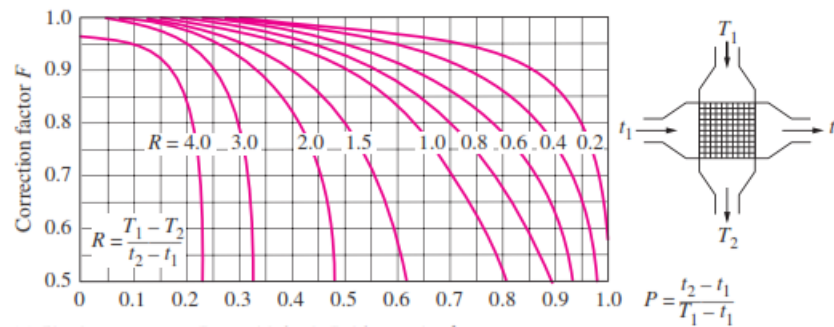
$$\Delta T_2 = T_{h\,out} - T_{c\,in} \quad (2.13)$$

Konfigurasi koefisien koreksi F ditunjukkan pada gambar 2.3 dan dua rasio temperatur P dan R didefinisikan sebagai berikut:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (2.14)$$

Dan

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \tag{2.15}$$



Gambar 2 Faktor koreksi [1]

2.7 Efektivitas Metode NTU

Metode NTU yaitu metode yang digunakan untuk mencari nilai efektivitas dari suatu penukar kalor yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \tag{2.16}$$

Nilai perpindahan kalor aktual pada penukar kalor dapat dicari dari keseimbangan energy dari fluida panas atau dingin yang dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$\dot{Q} = C_c(T_{c out} - T_{c in}) = C_h(T_{h in} - T_{h out}) \tag{2.17}$$

Dimana

$$C_c = \dot{m}_c C_{pc} \tag{2.18}$$

Dan

$$C_h = \dot{m}_c C_{ph} \tag{2.19}$$

Adalah kapasitas kalor dari fluida dingin dan panas.

Untuk menentukan perpindahan kalor maksimum pada penukar kalor, pertama memahami bahwa perbedaan temperatur maksimum pada suatu penukar kalor yaitu perbedaan di antara temperatur masukan fluida panas dan dingin yaitu dengan cara:

$$\Delta T_{max} = T_{h in} - T_{c in} \tag{2.20}$$

Perpindahan kalor pada penukar kalor akan mencapai titik maksimum jika fluida dingin akan dipanaskan ke temperatur inlet fluida panas atau fluida panas akan didinginkan ke temperatur inlet fluida dingin. Keduanya membatasi agar kondisi tidak tercapai secara bersamaan kecuali tingkat kapasitas kalor dari fluida dingin dan panas identic (yaitu $C_c = C_h$). ketika $C_c \neq C_h$, fluida dengan kapasitas kalor yang lebih kecil akan mengalami perubahan temperatur yang besar. Oleh karena itu tingkat perpindahan kalor maksimum yang mungkin adalah sebagai berikut:

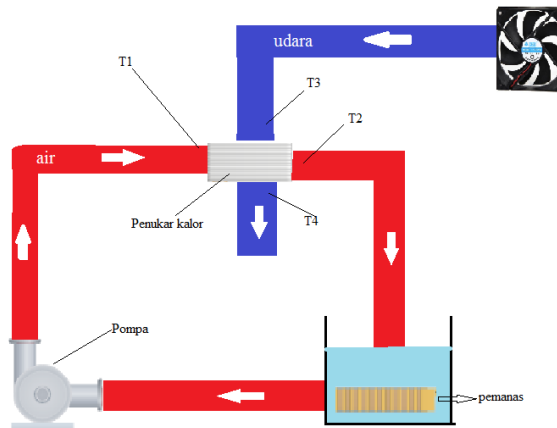
$$\dot{Q}_{max} = C_{min}(T_{h in} - T_{c in}) \tag{2.21}$$

Hubungan efektivitas penukar kalor biasanya melibatkan $U A_s / C_{min}$. Jumlah tersebut disebut jumlah transfer unit NTU yang dinyatakan sebagai berikut:

$$NTU = \frac{U A_s}{C_{min}} = \frac{U A_s}{(\dot{m} C_p)_{min}} \tag{2.22}$$

3. Pembahasan

3.1. Metode Penelitian



Gambar 3 Skema pengukuran alat

Sebelum melakukan pengujian alat, terdapat beberapa alat dan bahan yang harus dipersiapkan. Bahan pertama yang dipersiapkan yaitu air yang disimpan di dalam wadah dengan air yang dipanaskan oleh pemanas. Lalu alat-alat yang dipersiapkan yaitu termokopel, *power supply*, kipas DC 12 Volt. Terdapat dua termokopel pada pengujian ini. Termokopel pertama diletakkan di wadah berisi air dengan temperatur tinggi. Termokopel kedua diletakkan di wadah berisi air hasil pengujian. Untuk mengalirkan air dari wadah pertama digunakan pompa.

Saat pompa dinyalakan dari wadah pertama, air akan melewati penukar kalor yang telah dibuat. Pada saat air melewati penukar kalor, kipas DC 12 Volt dinyalakan untuk memberikan aliran yang tegak lurus dengan aliran air dalam pipa. Setelah melewati Penukar Kalor, air disimpan di dalam wadah kedua yang akan mengukur temperatur menggunakan termokopel. Nilai temperatur dari termokopel akan ditampilkan pada laptop yang digunakan.

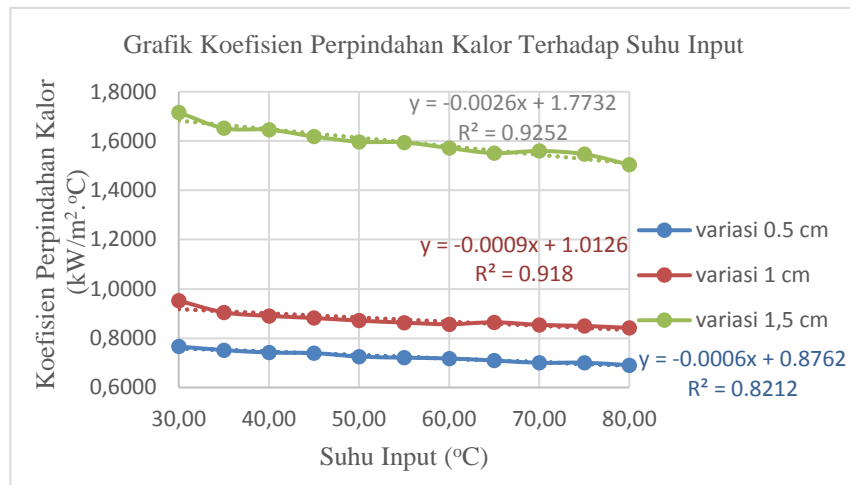
Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian. Pengujian pertama yaitu menggunakan Penukar Kalor dengan jarak antar plat 0,500 cm. Pada pengujian ini, air yang digunakan bertemperatur maksimal 80°C dengan kondisi air pada volume 0,00707 m³. Pengujian kedua yaitu menggunakan Penukar Kalor dengan jarak antar plat 1,00 cm. Lalu pada pengujian ketiga yaitu menggunakan Penukar Kalor dengan jarak antar plat 1,50 cm.

3.2. Pengolahan Data

Untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan kalor, pertama menggunakan metode LMTD. Metode LMTD dilakukan dengan mencari nilai temperatur masuk air, temperatur masuk udara dari kipas, temperatur keluar air, dan temperatur keluar udara dari kipas. Setelah mendapatkan temperatur tersebut, maka diperoleh nilai ΔT_m dari persamaan (2.9). Nilai ΔT_m yang didapat sebelumnya hanya bisa digunakan ketika alirannya *counter flow*. Maka untuk kasus aliran tegak lurus terdapat faktor koreksi. Untuk mendapatkan nilai faktor koreksi diperlukan nilai P dari persamaan (2.14) dan nilai R dari persamaan (2.15). Setelah mengetahui nilai P dan R dapat mencari nilai faktor koreksi yang didapat dari membaca gambar (2.3). Setelah mengetahui nilai faktor koreksi, selanjutnya dapat mencari nilai ΔT yang diperoleh dari persamaan (2.11). Kemudian setelah mengetahui nilai ΔT dapat mencari nilai resistansi thermal yang didapat dari persamaan (2.4). Selanjutnya dapat mencari nilai \dot{Q} dari persamaan (2.7). Lalu setelah mencari nilai \dot{Q} dapat memperoleh nilai koefisien perpindahan kalor dari persamaan (2.10).

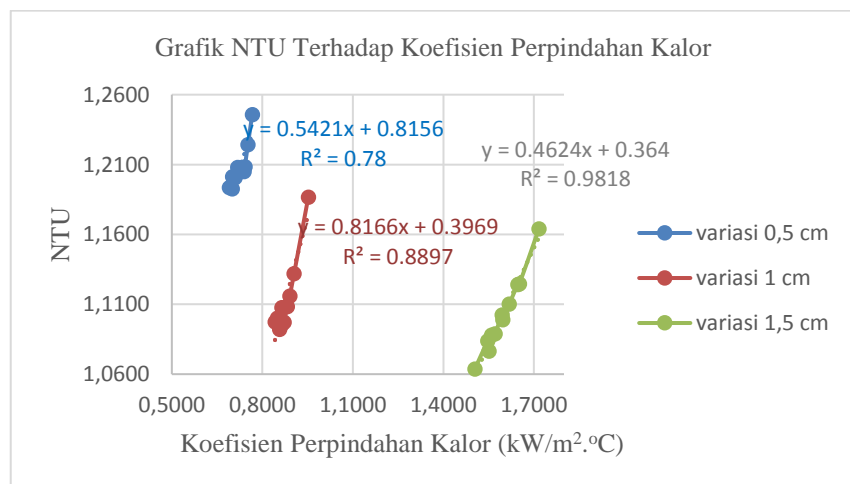
Untuk mendapatkan nilai efektivitas diperlukan nilai \dot{Q} dan \dot{Q}_{max} . Untuk mencari nilai \dot{Q} dapat menggunakan persamaan (2.17). Lalu untuk mencari nilai \dot{Q}_{max} dapat menggunakan persamaan (2.21). Selanjutnya setelah mendapat nilai \dot{Q} dan \dot{Q}_{max} dapat mencari nilai efektivitas dari persamaan (2.16).

3.3. Perbandingan Setiap Variasi



Gambar 4 Perbandingan Grafik Koefisien Perpindahan Kalor Terhadap Suhu Input Pada Setiap Variasi

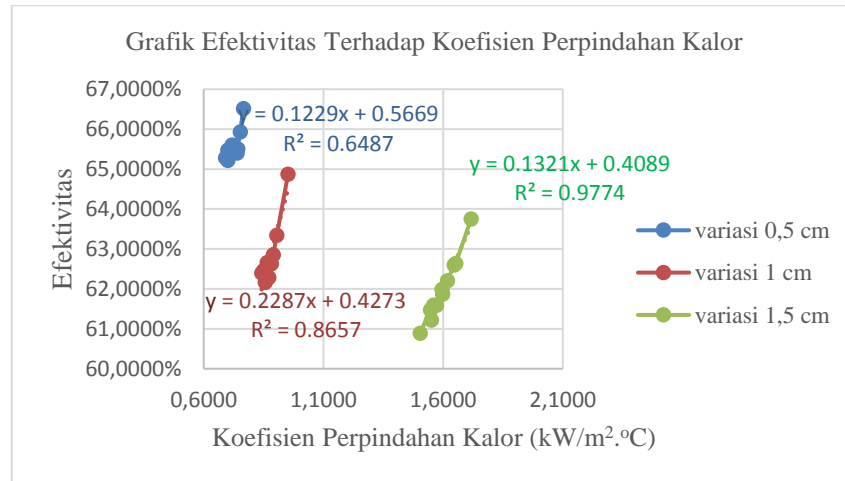
Gambar 4.13 merupakan grafik perbandingan grafik koefisien perpindahan kalor terhadap suhu input *hot fluid* pada setiap variasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien perpindahan kalor tertinggi berada pada variasi jarak antar pelat 1,5 cm sementara nilai koefisien perpindahan kalor terendah berada pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm. Hal ini dikarenakan nilai koefisien perpindahan kalor dipengaruhi oleh nilai luas area kontak pertukaran kalor. Semakin besar luas area kontak pertukaran kalor, maka nilai koefisien perpindahan kalor akan semakin kecil. Pelat yang diberikan pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm sebanyak 160 buah membuat luas area kontak pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm memiliki nilai yang paling besar sehingga memiliki nilai koefisien perpindahan kalor yang paling kecil. Pada gambar 4.13 perbedaan grafik yang cukup signifikan pada variasi jarak antar pelat 1,5 cm dikarenakan jumlah pelat yang diberikan pada variasi jarak antar pelat 1,5 cm sebanyak 40 buah dibandingkan dengan variasi jarak antar pelat 1 cm sebanyak 108 buah dan variasi jarak antar pelat 0,5 cm sebanyak 160 buah. Hal ini menyebabkan luas area kontak pada variasi jarak antar pelat 1,5 cm memiliki perbedaan yang cukup signifikan disbanding dengan variasi jarak antar pelat 1 cm dan variasi jarak antar pelat 0,5 cm. Nilai rata-rata dari koefisien perpindahan kalor dari variasi jarak antar pelat 0,5 cm yaitu sebesar 0,7242 kW/m².°C. Nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor dari variasi jarak antar pelat 1 cm yaitu sebesar 0,8757 kW/m².°C. Lalu nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor dari variasi jarak antar pelat 1,5 yaitu sebesar 1,5962 kW/m².°C.



Gambar 5 Perbandingan Grafik NTU Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor

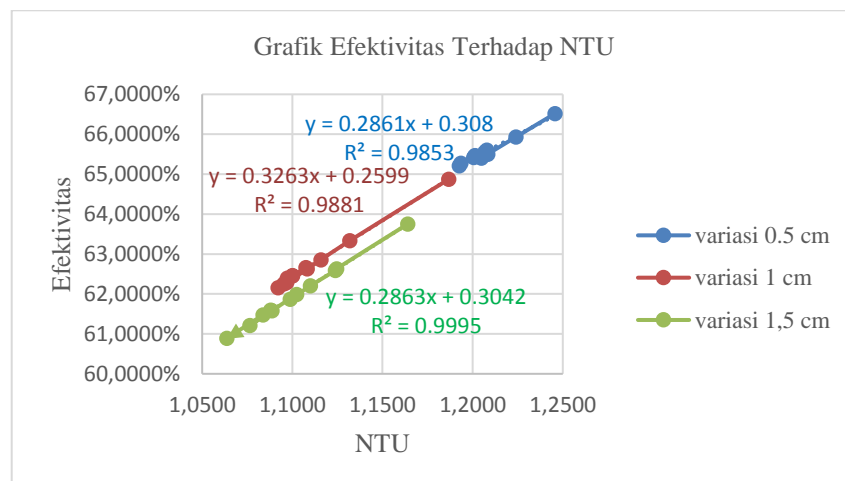
Gambar 4.14 merupakan grafik NTU terhadap koefisien perpindahan kalor. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai NTU tertinggi berada pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm sementara nilai NTU terendah berada pada variasi jarak antar pelat 1,5 cm. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh dari nilai koefisien perpindahan kalor. Semakin besar nilai dari koefisien perpindahan kalor, maka nilai dari NTU akan semakin besar. Selain itu, hal lain yang memengaruhi nilai dari NTU yaitu luas area kontak pertukaran kalor. Semakin besar luas area kontak pertukaran kalor, maka nilai dari NTU akan semakin besar juga. Besar luas area kontak pertukaran kalor salah satunya dipengaruhi oleh banyaknya jumlah pelat yang

dipakai. Semakin jauh jarak dari antar pelat maka jumlah pelat yang dipakai semakin sedikit. Pelat yang diberikan pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm sebanyak 160 buah membuat luas area kontak pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm memiliki nilai yang paling besar sehingga memiliki nilai NTU yang paling besar. Nilai rata-rata NTU pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm yaitu sebesar 1,2084. Besar nilai rata-rata NTU pada variasi jarak antar pelat 1 cm yaitu sebesar 1,1120. Sedangkan besar nilai rata-rata NTU pada variasi jarak antar pelat 1,5 cm yaitu sebesar 1,1022.



Gambar 6 Perbandingan Grafik Efektivitas Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor

Gambar 4.15 merupakan perbandingan grafik efektivitas terhadap koefisien perpindahan kalor setiap variasi jarak antar pelat. Nilai dari efektivitas dipengaruhi nilai NTU dan nilai NTU dipengaruhi oleh nilai koefisien perpindahan kalor. Semakin besar nilai koefisien perpindahan kalor, maka akan memengaruhi nilai dari efektivitas. Nilai dari koefisien perpindahan kalor dipengaruhi oleh besar luas area kontak. Besar luas area kontak pertukaran kalor salah satunya dipengaruhi oleh banyaknya jumlah pelat yang dipakai. Semakin jauh jarak dari antar pelat maka jumlah pelat yang dipakai semakin sedikit. Pelat yang diberikan pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm sebanyak 160 buah membuat luas area kontak pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm memiliki nilai yang paling besar sehingga memiliki nilai efektivitas yang paling besar. Nilai rata-rata efektivitas dari variasi jarak antar pelat 0,5 cm yaitu sebesar 65,5851%. Nilai rata-rata efektivitas dari variasi jarak antar pelat 1 cm yaitu sebesar 62,7574%. Sedangkan nilai rata-rata efektivitas dari variasi jarak antar pelat 1,5 cm yaitu sebesar 61,9787%.



Gambar 7 Perbandingan Grafik Efektivitas Terhadap NTU Pada Setiap Variasi

Pada gambar 4.16 merupakan perbandingan grafik efektivitas terhadap NTU pada setiap variasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai efektivitas dipengaruhi oleh nilai NTU yang dimana nilai NTU dipengaruhi oleh besar luas area kontak. Besar luas area kontak dipengaruhi oleh jarak antar pelat yang akan memengaruhi banyaknya pelat yang digunakan. Pada variasi jarak antar pelat 0,5 cm nilai rata-rata dari efektivitas penukar kalor tersebut sebesar 67,961 %. Pada variasi jarak antar pelat 1 cm nilai rata-rata efektivitas dari penukar kalor tersebut sebesar 66,527 %. Pada variasi jarak antar pelat 1,5 cm nilai rata-rata efektivitas dari efektivitas penukar kalor tersebut sebesar 61,9787 %. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antar pelat maka nilai dari efektivitas penukar kalor tersebut semakin menurun. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya luas dari pertukaran kalor. Besar luas pertukaran

kalor salah satunya dipengaruhi oleh banyaknya jumlah pelat yang dipakai. Semakin jauh jarak dari antar pelat maka jumlah pelat yang dipakai semakin sedikit.

Tabel 1 Nilai Koefisien Perpindahan Kalor Rata-rata, Efektivitas Rata-rata, dan NTU Rata-rata Pada Setiap Variasi

Suhu Input Air (°C)	Koefisien Perpindahan Kalor rata-rata (kW/m ² .°C)			Efektivitas rata-rata			NTU rata-rata		
	0,5 cm	1 cm	1,5 cm	0,5 cm	1 cm	1,5 cm	0,5 cm	1 cm	1,5 cm
30.00	0.7663	0.9523	1.7165	66.5157%	64.8692%	63.7480%	1.2456	1.1866	1.1639
35.00	0.7519	0.9051	1.6521	65.9315%	63.3347%	62.6302%	1.2240	1.1319	1.1245
40.00	0.7420	0.8906	1.6463	65.5016%	62.8518%	62.5892%	1.2083	1.1159	1.1239
45.00	0.7396	0.8821	1.6184	65.4004%	62.6245%	62.2033%	1.2049	1.1082	1.1099
50.00	0.7256	0.8715	1.5973	65.5592%	62.2819%	61.8668%	1.2075	1.0969	1.0988
55.00	0.7212	0.8633	1.5946	65.5524%	62.2516%	61.9848%	1.2068	1.0952	1.1023
60.00	0.7179	0.8566	1.5717	65.6008%	62.1592%	61.5805%	1.2079	1.0921	1.0887
65.00	0.7095	0.8649	1.5509	65.4169%	62.6592%	61.2110%	1.2006	1.1075	1.0765
70.00	0.7003	0.8542	1.5599	65.2128%	62.4502%	61.5913%	1.1926	1.1001	1.0879
75.00	0.7008	0.8499	1.5469	65.4684%	62.4576%	61.4721%	1.2012	1.1000	1.0837
80.00	0.6906	0.8419	1.5042	65.2768%	62.3920%	60.8881%	1.1934	1.0972	1.0636
Rata-rata	0.7242	0.8757	1.5962	65.5851%	62.7574%	61.9787%	1.2084	1.1120	1.1022

4. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan analisis data yang telah dilakukan, maka kesimpulan pada percobaan ini yaitu:

1. Telah dibuat penukar kalor tipe plat berdasarkan variasi jarak antar plat yang telah ditentukan yaitu dengan dimensi plat 0,015 m x 0,015 m, diameter pipa 0,00635 m dengan dimensi 0,012 m x 0,012 m, dan kipas dc dengan dimensi 0,012 m x 0,012 m,
2. Variasi jarak antar plat memengaruhi nilai dari koefisien perpindahan kalor. Besar koefisien perpindahan kalor dari variasi jarak antar plat 1 cm 17,3024% lebih besar dibanding dengan koefisien perpindahan kalor dari variasi jarak antar plat 0,5 cm. Besar koefisien perpindahan kalor dari variasi jarak antar plat 1,5 cm 45,1420% lebih besar dibanding dengan koefisien perpindahan kalor dari variasi jarak antar plat 1 cm. Lalu besar koefisien perpindahan kalor dari variasi jarak antar plat 1,5 cm 54,6337% lebih besar dibanding dengan koefisien perpindahan kalor dari variasi jarak antar plat 0,5 cm,
3. Variasi jarak antar plat memengaruhi nilai dari NTU. Besar NTU dari variasi jarak antar plat 0,5 cm 7,9830% lebih besar dibanding dengan NTU variasi jarak antar plat 1 cm. Besar NTU dari variasi jarak antar plat 1 cm 0,8819% lebih besar dibanding dengan NTU dari variasi jarak antar plat 1,5 cm. Lalu besar NTU dari variasi jarak antar plat 0,5 cm 8,7945% lebih besar dibanding dengan NTU dari variasi jarak antar plat 1,5 cm
4. Variasi jarak antar plat memengaruhi nilai dari efektivitas. Besar efektivitas dari variasi jarak antar plat 0,5 cm 4,3115% lebih besar dibanding dengan efektivitas variasi jarak antar plat 1 cm. Besar efektivitas dari variasi jarak antar plat 1 cm 1,2409% lebih besar dibanding dengan efektivitas dari variasi jarak antar plat 1,5 cm. Lalu besar efektivitas dari variasi jarak antar plat 0,5 cm 5,4989% lebih besar dibanding dengan efektivitas dari variasi jarak antar plat 1,5 cm,

Daftar Pustaka:

- [1] Y. Cengel, Heat Transfer, New York: McGraw-hill, 2004.
- [2] S. Kakac, H. Liu and A. Pramuanjaroenkij, Heat Exchanger, Boca Raton: CRC Press, 2012.
- [3] S. A. Lathuef, V. R. Mamilla and M. Srinivasulu, "Design and thermal analysis of a plate heat exchanger," *International Journal of Academic Studies*, p. 305, 2016.
- [4] I. Syaichurrozi, A. M. Karina and A. Imanuddin, "Kajian Performa Alat Penukar Panas Plate and Frame : Pengaruh Laju Alir Massa, Temperatur Umpan dan Arah Aliran Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh," vol. 11, p. 2, 2014.
- [5] Chopra, Dr. M K and R. s. Prajapati, "Thermal performance analysis of cross-flow unmixed-unmixed heat exchanger by the variation of inlet condition of hot fluid," *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)*, vol. 3, no. 1, pp. 29-31, 2014.