DESAIN DAN FABRIKASI ALAT PENUKAR KALOR *(HEAT EXCHANGER)* TIPE *SHELL AND TUBE*

Gun Aprianto [1)], Bary Septian [1)], Paul David Rey [1)], Amiral Aziz [2)]
[1,2,3)] Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam As-Syafi'iyah
[2)] Balai Besar Teknologi Konversi Energi BPPT
Corresponding Author: gunaprianto44@gmail.com

Diterima :Februari 2021	*Revisi Maret 2021*	*Disetujui: Maret 2021*	*Terbit online: April, 2021*

ABSTRAK

Heat Exchanger adalah alat untuk proses berpindahnya suatu energi (kalor), menggunakan media fluida baik gas,panas, maupun dingin, dari suatu daerah ke daerah lain karna adanya perbedaan temperatur dan suhu. Tujuan Penelitian adalah merancang *thermal* dan mekanikal suatu alat penukar kalor *(heat exchanger)* dengan media kerja oli dan air, memfabrikasi dan merakit komponen – komponen menjadi suatu alat penukar kalor, serta pengujian alat penukar kalor *(heat exchanger)* tipe *shell and tube* meliputi kecepatan aliran fluida, efektivitas alat penukar kalor, serta laju perpindahan panas. Adapun kegiatan yang dilakukan antara lain melakukan perhitungan untuk komponen utama, membuat gambar kerja, pemilihan bahan untuk membuat alat uji, percobaan fungsi kerja alat dan pengambilan data untuk membandingkan hasil perhitungan terhadap hasil kerja alat. Kemudian alat ini dapat digunakan untuk praktikum mahasiswa di laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam As-syafi'iyah. Alat penukar kalor ini menggunakan fluida oli pada sisi *tube* dan fluida air pada sisi *shell*, selain itu memiliki jumlah tube sebanyak 166 pcs dengan diameter 15,875 mm x 1 meter. Dengan diameter dalam *shell* sebesar 300 mm dengan menggunakan *one pass shell*. Suhu yang digunakan untuk merancang alat penukar kalor sebesar 60°C pada suhu panas masuk dan 35°C pada suhu keluar. Pada pengujian alat penukar kalor ini menggunakan 5 variasi kecepatan pada sisi shell dan kecepatan pada sisi *tube* konstan.

Kata kunci: *heat exchanger,* desain, proses fabrikasi, tipe *shell and tube*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada program studi teknik mesin universitas islam as-syafi'iyah memiliki laboratorium praktikum yang dibagi menjadi beberapa laboratorium kecil yaitu laboratorium metalurgi, laboratorium prestasi mesin, serta laboratorium fenomena dasar. Alat penukar kalor *(heat exchanger)* salah satunya yang dibutuhkan dalam laboratorium fenomena dasar, alat ini bertujuan agar mahasiswa dapat mengetahui fenomena yang terjadi pada alat penukar kalor dimana fluida panas akan menyalurkan/memindahkan suhu kepada fluida dingin melalui proses perpindahan panas secara konveksi.

1.2.Tujuan Penelitian

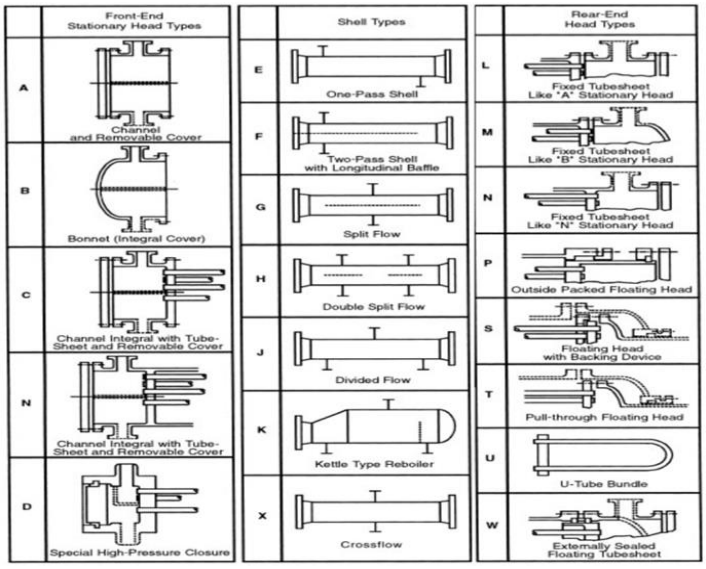
1. Merancang Thermal dan mekanikal suatu alat penukar kalor (Heat Exchanger) dengan media kerja oli dan air.
2. Memfabrikasi dan merakit komponen – komponen menjadi suatu alat penukar kalor.
3. Pengujian alat penukar kalor *(heat exchanger)* tipe *shell and tube* meliputi kecepatan aliran fluida, efektivitas alat penukar kalor, serta laju perpindahan panas.

II. STUDI PUSTAKA

2.1Pengertian Alat Penukar Kalor(*Heat Exchanger)*

Heat exchanger merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida yang memiliki temperatur berbeda tanpa terjadinya pencampuran antara fluida yang satu dengan yang lain[1]. Proses tersebut dimanfaatkan untuk memindahkan kalor dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah pada suatu sistem, yang biasanya berfungsi sebagai pendingin ataupun pemanas.

2.2 Desain Alat Penukar Kalor



Gambar 1. Desain Alat Penukar Kalor dengan standar TEMA

2.3. Komponen Utama Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor tipe ini adalah salah satu jenis alat penukar kalor yang menurut konstruksinya dicirikan adanya sekumpulan "*tube*" yang dipasangkan di dalam "*shell*" berbentuk silinder di mana dua jenis fluida yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, masing–masing melalui sisi "*tube*" dan sisi "*shell*".Alat penukar kalor tipe ini sering digunakan di industri. Satu fluida mengalir di dalam pipa, sementara fluida lain dialirkan dalam *shell*. Agar aliran dalam shell turbulen dan untuk memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi, maka pada *shell* dipasang penghalang *(baffle)*.



Gambar 2. Komponen Utama Alat Penukar Kalor

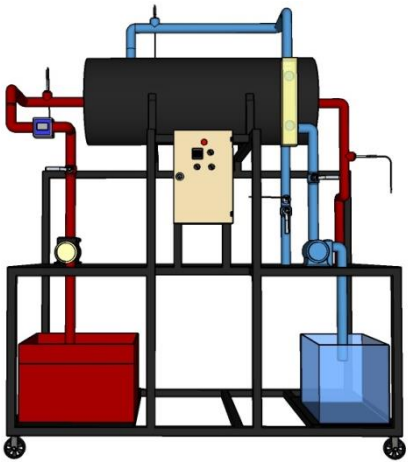
III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1Alur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur dan lapangan langsung untuk kemudian dijadikan referensi untuk melakukan metode penelitian sebagai berikut:

1. Perhitungan komponen utama alat penukar kalor.
2. Pembuatan gambar teknik 2D & 3D alat penukar kalor.
3. Melakukan proses fabrikasi alat penukar kalor.
4. Melakukan Uji fungsional dan percobaan alat penukar kalor.
5. Pengumpulan dan pengolahan data.
6. Menyimpulkan dari hasil pengolahan data.

3.2 Alat Dan Bahan



Gambar 3. Desain 3D Alat Penukar Kalor

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat penukar kalor yang sudah di fabrikasi berdasarkan rancangan yang telah dibuat. Fluida yang digunakan pada sisi tube yaitu oli SAE 40, sedangkan pada sisi shell adalah air.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1Penentuan data mekanikal

a. Material yang digunakan dalam pembuatan tube yaitu *stainless* AISI 304

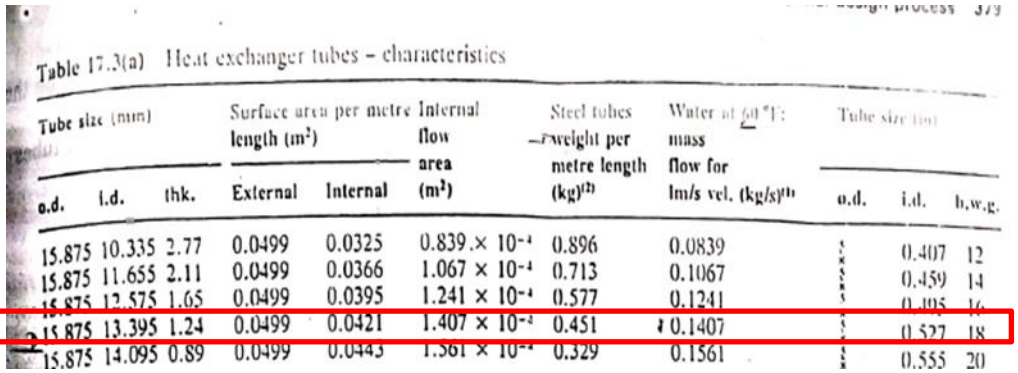


Table 17.3(a) Heat exchanger tubes – characteristics

Tube size (mm) o.d.	i.d.	thk.	Surface area per metre length (m^2) External	Internal	Internal flow area (m^2)	Steel tubes weight per metre length (kg)[2]	Water at 60 °F: mass flow for 1m/s vel. (kg/s)[1]	Tube size (in) o.d.	i.d.	b.w.g.
15.875	10.335	2.77	0.0499	0.0325	0.839 × 10^{-4}	0.896	0.0839	¾	0.407	12
15.875	11.655	2.11	0.0499	0.0366	1.067 × 10^{-4}	0.713	0.1067	¾	0.459	14
15.875	12.575	1.65	0.0499	0.0395	1.241 × 10^{-4}	0.577	0.1241	¾	0.495	16
15.875	13.395	1.24	0.0499	0.0421	1.407 × 10^{-4}	0.451	0.1407	¾	0.527	18
15.875	14.095	0.89	0.0499	0.0443	1.561 × 10^{-4}	0.329	0.1561	¾	0.555	20

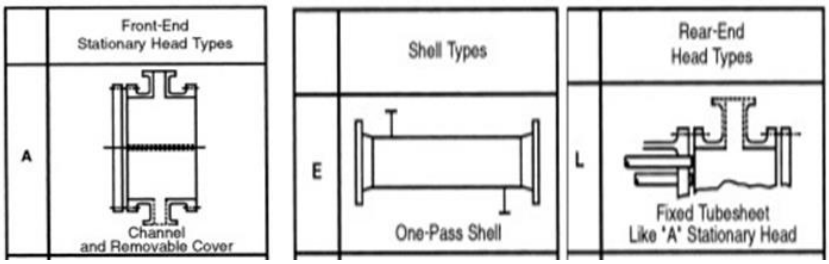
Gambar 4. Penentuan Ukuran *Tube*.

b. Penentuan jumlah tube berdasarkan diameter dalam *shell*.

Tabel 1. Penentuan Jumlah Tube dan Diameter *Shell*.

Shell i.d (mm)	15.88 mm o.d. X 19.84 mm pitch Δ								19.05 mm o.d. X 23.81 mm pitch Δ							
	1 pass		2 pass		4 pass		6 pass		1 pass		2 pass		4 pass		6 pass	
	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,33
203	77	73	66	62	49	45	39	35	52	50	45	43	32	30	26	24
254	125	119	112	106	90	84	78	72	85	81	76	72	60	56	52	48
300	166	155	150	139	118	107	104	93	127	120	116	109	98	91	88	81
305	186	175	170	159	143	132	129	118	127	120	116	109	98	91	88	81
337	230	216	212	198	193	169	167	153	158	148	146	136	125	115	115	105

c. Desain alat penukar kalor yang digunakan yaitu AEL



Gambar 5. Jenis Alat Penukar Kalor Yang Digunakan.

d. Menentukan q desain

qh = ṁh x Cp.h x ΔToli = 0,1 kg/s x 2847 J/kg K x 25 oK = 7117,5 W

e. Menghitung *surface area* berdasarkan desain

A = Nt x π x Do x L

A = 166 x 3,14 x 0,015875 m x 1 m

A = 8,275 m^2

f. Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh (U)

U = (F_f x F_P) x (F_m x F_c) x (F_E x F_A) Ø NL

= **0,78 x 10,535 x 16,15 x 0,549 x 1**

= **74,44 W/m^2 K**

4.2 Hasil Pengujian

Tabel 2. Data Hasil Pengujian

Debit (LPM)		Thi (°C)	Tho (°C)	Tci (°C)	Tco (°C)
Oli	Air				
15	20	58,5	47,5	30,1	31,2
15	17,5	59,7	38,5	30,3	32,2
15	15	58,7	42,3	30,5	31,6
15	12,5	59,3	37,8	30,5	33,0
15	10	58,8	36,7	30,6	34,1

a. Perhitungan Pada Pengujian 1

Debit Air = 20 x 0,0000166 m^3/s = 0,000332 m^3/s

Meghitung kecepatan fluida

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{A}}$$

$$v = \frac{0{,}000332\ m^3/s}{8{,}275\ m^2} = 0{,}0000401\ \text{m/s}$$

Menghitung laju aliran air

$$\dot{m} = \mathbf{Q} \,.\, \boldsymbol{\rho}$$

$\dot{m}$ = 0,000332 m^3/s x 1000 kg/m^3

$\dot{m}$ = 0,332 kg/s

Menghitung ΔLMTD

ΔT_1 = Thi – Tco = 331,5°K – 304,2°K = 27,3°K

ΔT_2 = Tho – Tci = 320,5°K – 303,1°K = 17,4°K

$$\mathbf{\Delta T_{LMTD}} = \frac{\mathbf{\Delta T_1} - \mathbf{\Delta T_2}}{\mathbf{In}\frac{\mathbf{\Delta T_1}}{\mathbf{\Delta T_2}}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{27{,}3 - 17{,}4}{ln\frac{27{,}3}{17{,}4}}$$

$\mathbf{\Delta T_{LMTD}}$ **= 22°K**

Menghitung perpindahan kalor

$\mathbf{q = U\ x\ A\ x\ T_{LMTD}}$

q = 74,44 $W/m^2.K$ x 8,275 m^2 x 22°K

q = 13551,802 W

Menghitung efektivitas

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\mathbf{q}}{\mathbf{q_{maks}}}$$

$C_h = \dot{m}$ x Cp.h

C_h = 0,2375 kg/s x 2847 J/kg.K

C_h = 676,16 J/s.K

Sedangkan

$C_c = \dot{m}$ x Cp.c

C_c = 0,332 x 4186,8 J/kg.K

C_c = 1390 J/s.K
Jadi $C_h < C_c$ sehingga
q_{maks} = $(\dot{m}Cp)_h$ (Thi – Tci)
q_{maks} = 676,16 J/s.K (331,5°K – 303,1°K)
q_{maks} = 19202,944 J/s

Maka Nilai efektifitas pada percobaan 1 sebesar

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{q}{q_{maks}} = \frac{13551,802\ w}{19202,944\ w} = 0,70\ x\ 100\% = 70\ \%}$$

b. Perhitungan Pada Pengujian 2
Debit Air = 17,5 x 0,0000166 m^3/s = 0,0002905 m^3/s
Meghitung kecepatan fluida

$$\mathbf{v = \frac{Q}{A}}$$

$$v = \frac{0,0002905\ m^3/s}{8,275\ m^2} = 0,0000351\ m/s$$

Menghitung laju aliran air

$$\dot{m} = \mathbf{Q}\ .\ \boldsymbol{\rho}$$

$\dot{m}$ = 0,0002905 m^3/s x 1000 kg/m^3
$\dot{m}$ = 0,2905 kg/s
Menghitung ΔLMTD
ΔT_1 = Thi – Tco = 332,7°K – 305,2°K = 27,5°K
ΔT_2 = Tho – Tci = 311,5°K – 303,3°K = 8,2°K

$$\mathbf{\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{In \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{27,5 - 8,2}{ln \frac{27,5}{8,2}}$$

$\mathbf{\Delta T_{LMTD}}$ **= 15,95°K**
Menghitung perpindahan kalor
q = U x A x T_{LMTD}
q = 74,44 $W/m^2.K$ x 8,275 m^2 x 15,95°K
q = 9825 W
Menghitung efektivitas

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{q}{q_{maks}}}$$

C_h = $\dot{m}$ x Cp.h
C_h = 0,2375 kg/s x 2847 J/kg.K
C_h = 676,16 J/s.K
Sedangkan
C_c = $\dot{m}$ x Cp.c
C_c = 0,2905 x 4186,8 J/kg.K
C_c = 1216,26 J/s.K
Jadi $C_h < C_c$ sehingga
q_{maks} = $(\dot{m}Cp)_h$ (Thi – Tci)
q_{maks} = 676,16 J/s.K (332,7°K – 303,3°K)

q_{maks} = 18053,472 J/s
Maka Nilai efektifitas pada percobaan 2 sebesar

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{q}{q_{maks}} = \frac{9825\,w}{18053,472\,w} = 0,54\,x\,100\% = 54\ \%}$$

c. Perhitungan Pada Pengujian 3
Debit Air = 15 x 0,0000166 m^3/s = 0,000249 m^3/s
Meghitung kecepatan fluida

$$\mathbf{v = \frac{Q}{A}}$$

$$v = \frac{0,000249\ m^3/s}{8,275\ m^2} = 0,0000301\ \text{m/s}$$

Menghitung laju aliran air

$$\dot{m} = \mathbf{Q}\ .\ \boldsymbol{\rho}$$

$\dot{m}$ = 0,000249 m^3/s x 1000 kg/m^3
$\dot{m}$ = 0,249 kg/s
ΔT_1 = Thi – Tco = 331,7°K – 304,6°K = 27,1°K
ΔT_2 = Tho – Tci = 315,3°K – 303,5°K = 11,8°K

$$\boldsymbol{\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{In \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{27,1 - 11,8}{ln \frac{27,1}{11,8}}$$

$\mathbf{\Delta T_{LMTD}}$ **= 18,4°K**
Menghitung perpindahan kalor
q = U x A x T_{LMTD}
q = 74,44 $W/m^2.K$ x 8,275 m^2 x 18,4°K
q = 11334,23 W
Menghitung efektivitas

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{q}{q_{maks}}}$$

$C_h = \dot{m}$ x Cp.h
C_h = 0,2375 kg/s x 2847 J/kg.K
C_h = 676,16 J/s.K
Sedangkan
$C_c = \dot{m}$ x Cp.c
C_c = 0,249 x 4186,8 J/kg.K
C_c = 1042,51 J/s.K
Jadi $C_h < C_c$ sehingga
$q_{maks} = (\dot{m}Cp)_h$ (Thi – Tci)
q_{maks} = 676,16 J/s.K (331,7°K – 303,5°K)
q_{maks} = 19067,7 J/s
Maka Nilai efektifitas pada percobaan 3 sebesar

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{q}{q_{maks}} = \frac{11334,23\,w}{19067,7\,w} = 0,59\,x\,100\% = 59\ \%}$$

d. Perhitungan Pada Pengujian 4
Debit Air = 12,5 x 0,0000166 m^3/s = 0,000208 m^3/s

Meghitung kecepatan fluida $\mathbf{v} = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{A}}$

$v = \frac{0{,}000208\ m^3/s}{8{,}275\ m^2} = 0{,}0000251$ m/s

Menghitung laju aliran air

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

$\dot{m}$ = 0,000208 m^3/s x 1000 kg/m^3

$\dot{m}$ = 0,208 kg/s

Menghitung ΔLMTD

ΔT_1 = Thi – Tco = 332,3°K – 306°K = 26,7°K

ΔT_2 = Tho – Tci = 310°K – 303,5°K = 6,5°K

$$\Delta \mathbf{T_{LMTD}} = \frac{\Delta \mathbf{T_1} - \Delta \mathbf{T_2}}{\mathbf{In}\frac{\Delta \mathbf{T_1}}{\Delta \mathbf{T_2}}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{26{,}7 - 6{,}5}{ln\frac{26{,}7}{6{,}5}}$$

$\mathbf{\Delta T_{LMTD}}$ **= 13,56°K**

Menghitung perpindahan kalor

$\mathbf{q = U\ x\ A\ x\ T_{LMTD}}$

q = 74,44 $W/m^2.K$ x 8,275 m^2 x 13,56°K

q = 8352,84 W

Menghitung efektivitas

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\mathbf{q}}{\mathbf{q_{maks}}}$$

$C_h = \dot{m}$ x Cp.h

C_h = 0,2375 kg/s x 2847 J/kg.K

C_h = 676,16 J/s.K

Sedangkan

$C_c = \dot{m}$ x Cp.c

C_c = 0,208 x 4186,8 J/kg.K

C_c = 870,854 J/s.K

Jadi $C_h < C_c$ sehingga

$q_{maks} = (\dot{m}Cp)_h$ (Thi – Tci)

q_{maks} = 676,16 J/s.K (332,3°K – 303,5°K)

q_{maks} = 19473,408 J/s

Maka Nilai efektifitas pada percobaan 4 sebesar

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\mathbf{q}}{\mathbf{q_{maks}}} = \frac{\mathbf{8352{,}84\ w}}{\mathbf{19473{,}408\ w}} = \mathbf{0{,}428\ x\ 100\%} = \mathbf{42{,}8\ \%}$$

e. Perhitungan Pada Pengujian 5

Debit Air = 10 x 0,0000166 m^3/s = 0,00016 m^3/s

Meghitung kecepatan fluida

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{A}}$$

$v = \frac{0{,}00016\ m^3/s}{8{,}275\ m^2} = 0{,}0000193$ m/s

Menghitung laju aliran air

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

ṁ = 0,00016 m^3/s x 1000 kg/m^3
ṁ = 0,16 kg/s
Menghitung ΔLMTD
ΔT_1 = Thi – Tco = 331,8°K – 307,1°K = 24,7°K
ΔT_2 = Tho – Tci = 309,7°K – 303,6°K = 6,1°K

$$\Delta \mathbf{T_{LMTD}} = \frac{\Delta \mathbf{T_1} - \Delta \mathbf{T_2}}{\mathbf{In}\frac{\Delta \mathbf{T_1}}{\Delta \mathbf{T_2}}}$$

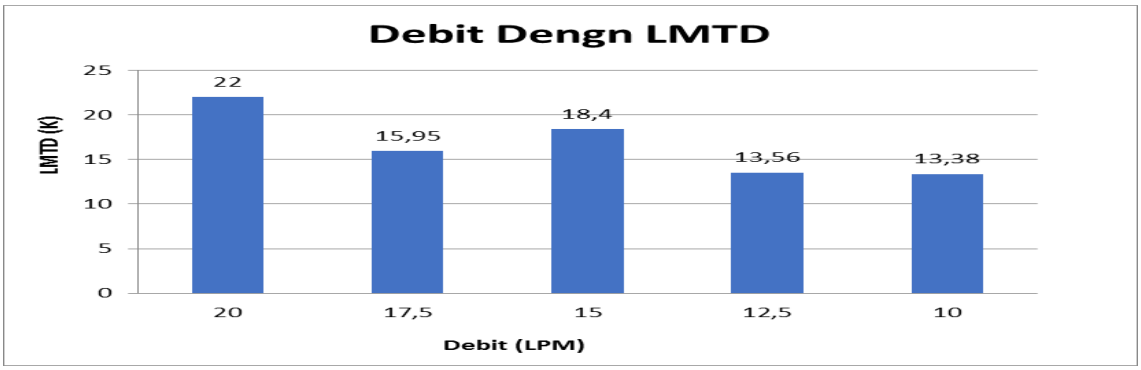
$$\Delta T_{LMTD} = \frac{24,7 - 6,1}{ln\frac{24,7}{6,1}}$$

$\mathbf{\Delta T_{LMTD}}$ **= 13,38°K**
Menghitung perpindahan kalor
q = U x A x $\mathbf{T_{LMTD}}$
q = 74,44 $W/m^2.K$ x 8,275 m^2 x 13,38°K
q = 8241,96 W
Menghitung efektivitas

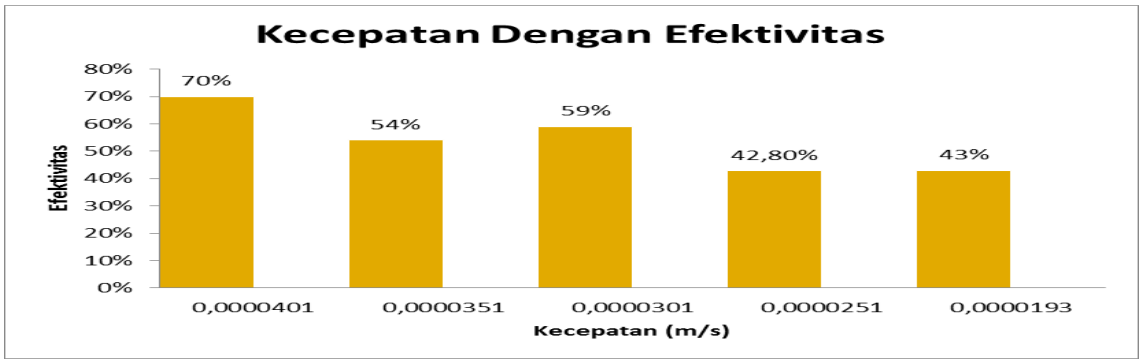
$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\mathbf{q}}{\mathbf{q_{maks}}}$$

C_h = ṁ x Cp.h
C_h = 0,2375 kg/s x 2847 J/kg.K
C_h = 676,16 J/s.K
Sedangkan
C_c = ṁ x Cp.c
C_c = 0,16 x 4186,8 J/kg.K
C_c = 669,88 J/s.K
Jadi $C_c < C_h$ sehingga
$q_{maks} = (\dot{m}Cp)_c$ (Thi – Tci)
q_{maks} = 669,88 J/s.K (331,8°K – 303,6°K)
q_{maks} = 18890,6 J/s
Maka Nilai efektifitas pada percobaan 5 sebesar

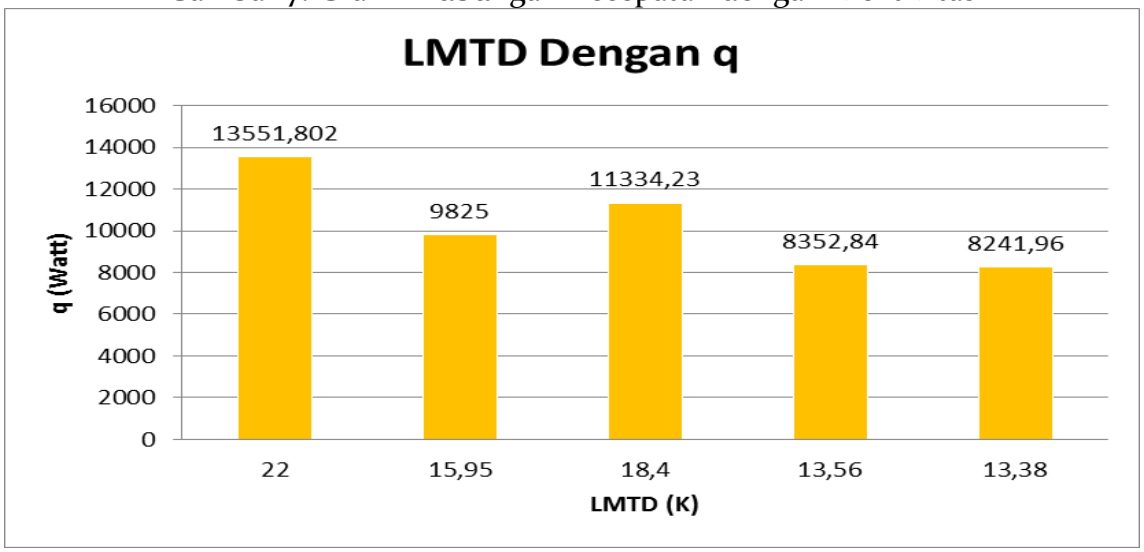
$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\mathbf{q}}{\mathbf{q_{maks}}} = \frac{\mathbf{8241,96\ w}}{\mathbf{18890,6\ w}} = \mathbf{0,43\ x\ 100\%} = \mathbf{43\ \%}$$



Gambar 6. Grafik Hubungan Debit dengan LMTD



Gambar 7. Grafik Hubungan Kecepatan dengan Efektivitas



Gambar 8. Grafik Hubungan LMTD dengan q

V. KESIMPULAN

1. q (laju perpindahan panas) pada desain sebesar 7117,5 Watt.
2. Berdasarkan hasil pengujian nilai q yang paling mendekati pada nilai q desain yaitu pada percobaan 5 sebesar 8241,96 watt.
3. Nilai efektivitas tertinggi pada alat penukar kalor sebesar 70% pada percobaan 1.
4. Berdasarkan hubungan antara debit dengan LMTD yaitu semakin besar debit maka semakin besar pula LMTD yang dihasilkan.
5. Berdasarkan hubungan antara q dengan LMTD yaitu semakin besar LMTD maka semakin besar pula q yang di hasilkan.
6. Berdasarkan hubungan antara kecepatan dengan efektivitas yaitu semakin besar kecepatan maka semakin besar pula efektivitas yang di dapat.

DAFTAR PUSTAKA

Chengel, Yunus A. 2007. Heat Transfer. McGraw-Hill, New York.

Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA). Standard of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 7th Ed., New York:TEMA, Inc. 1988

Kern, Donald Q. Process Heat Transfer. McGraw-hill Company. Edition 1965

Incroperara, F. P. and D. P. Dewitt , Fundamental of Heat and Mass Transfer,Third Edition, John Wiley & Sons, Singapore, 1982

K, Sadik. " Boilers Evaporators & condensers". United States Of America . 1991

Tunggul M. Sitompul, Ir., M.Sc, 1991. "Alat Penukar Kalor". Jakarta : PT Raja Grafindo Persada.