

**PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *PERFORMANCE WATER COOLED CHILLER*
TIPE SHELL AND TUBE KAPASITAS 0.14 TR PADA APLIKASI *COLD STORAGE***

Indra Saputra, Agus Holid dan Rizqi Aziz

**PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN
PERFORMANCE WATER COOLED CHILLER TIPE SHELL AND TUBE
KAPASITAS 0.14 TR PADA APLIKASI *COLD STORAGE***

Indra Saputra¹⁾, Agus Holid¹⁾, Rizqi Aziz²⁾

¹⁾Dosen Program Studi Teknik Mesin Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal

²⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal

Jln. Raya Al-kamal No.2 Kedoya Kebon Jeruk Jakarta Barat 11520

Email : rizqiaziz88@gmail.com, isaputra1315@gmail.com

ABSTRAK

Heat Exchanger (alat penukar kalor) merupakan peralatan yang digunakan untuk melakukan pertukaran kalor antara dua *fluida*, baik cair (panas atau dingin) serta gas, dimana *fluida* yang digunakan ini mempunyai temperatur yang berbeda. Salah satu tipe dari alat penukar kalor yang paling banyak digunakan adalah *shell and tube Heat Exchanger*. Perhitungan *Performance* dari *Heat Exchanger Shell and Tube* kapasitas 0.14 TR, dititik beratkan pada nilai laju perpindahan panas (Q), koefisien perpindahan panas total (U), efektifitas thermal (ϵ) dan NTU (*Number Thermal Unit*) serta kerugian tekanan atau *Pressure drop* baik disisi *tube* ataupun sisi *shell*. Data-data yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan dalam 2 kondisi bukaan katup yaitu 100% dan 50%, selama 3 jam berturut-turut. Semakin tinggi nilai U , ϵ , NTU serta semakin kecil nilai dari kerugian tekanan (ΔP) yang terjadi, maka semakin efektif kerja dari *Heat Exchanger Shell and Tube*. Pada sisi *Evaporator*, nilai *performance* terbaik saat menggunakan bukaan katup 100% di jam pertama yang menghasilkan $\epsilon = 70\%$ dan NTU = 1.65 serta penurunan tekanannya disisi cangkang $\Delta P_s = 22.56$ Pa dan sisi pipa $\Delta P_t = 3360.25$ Pa, akan tetapi nilai $Q = 4,35$ kJ/s dan $U = 1439,956$ W/m².°C terjadi saat jam ketiga. Sedangkan disisi Kondensor, nilai *performance* terbaik menghasilkan $\epsilon = 97\%$, NTU = 4.01, $Q = 19,77$ kJ/s, $U = 1388,212$ W/m².°C serta penurunan tekanannya disisi cangkang $\Delta P_s = 400.29$ Pa dan sisi pipa $\Delta P_t = 2087.52$ Pa.

Kata kunci: *Heat exchanger, shell and tube*, katup, efektifitas *thermal*, NTU, koefisien perpindahan panas total, *pressure drop*

PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *PERFORMANCE WATER COOLED CHILLER TIPE SHELL AND TUBE* KAPASITAS 0.14 TR PADA APLIKASI *COLD STORAGE*

Indra Saputra, Agus Holid dan Rizqi Aziz

I. PENDAHULUAN

Unit alat penukar kalor adalah suatu alat untuk memindahkan panas dari suatu fluida ke fluida yang lain. Sebagian besar dari industri-industri yang berkaitan dengan pemrosesan selalu menggunakan alat ini, sehingga alat penukar kalor ini mempunyai peran yang sangat penting dalam suatu proses produksi atau operasional.

Salah satu tipe dari alat penukar kalor yang banyak digunakan adalah tipe *Shell and Tube Heat Exchanger*. Alat ini terdiri dari sebuah cangkang dibagian luar dan sejumlah pipa dibagian dalam, dimana temperatur fluida di dalam pipa berbeda dengan temperatur yang ada di luar pipa (cangkang) sehingga terjadi perpindahan panas antara fluida yang ada di dalam pipa dengan fluida yang ada di luar pipa. Adapun daerah yang berhubungan dengan bagian dalam pipa disebut dengan sisi pipa dan di luar pipa disebut sisi cangkang.

Pemilihan yang tepat suatu alat penukar kalor akan menghemat biaya operasional harian dan perawatan. Bila alat penukar kalor dalam keadaan baru, maka dari pipa-pipa masih dalam keadaan bersih, setelah alat beroperasi beberapa lama akan terbentuklah lapisan kotoran atau kerak pada permukaan pipa tersebut. Tebal tipisnya lapisan kotoran tergantung dari jenis material dan fluida yang digunakan. Adapun lapisan tersebut akan mengurangi koefisien perpindahan panasnya. Harga koefisien perpindahan panas untuk suatu alat penukar kalor selalu mengalami perubahan selama pemakaian. Batas akhir alat dapat berfungsi dengan baik adalah saat harga koefisien perpindahan panasnya mencapai harga minimum.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Melakukan pengujian dan perhitungan pada alat penukar kalor tipe *Shell and Tube Heat Exchanger*.
- Membandingkan hasil uji yang diperoleh dengan melakukan perbedaan kondisi bukaan katup (*valve*) yaitu 100% dan 50%.
- Mengetahui hasil pengujian dengan melakukan uji alat selama 3 jam terus-menerus.

II. STUDI LITERATUR

Water Cooled Chiller Tipe shell and Tube

Water Cooled Chiller tipe *Shell and Tube* adalah alat penukar kalor yang banyak digunakan di berbagai macam industri dan paling sederhana dibandingkan dengan alat penukar kalor yang lainnya :

- a. Hanya terdiri dari sebuah cangkang dan beberapa pipa dengan beberapa sekat yang berada di sisi cangkang.
- b. Kemampuannya untuk bekerja dalam tekanan dan temperatur yang tinggi.
- c. Kemampuannya untuk digunakan pada satu aliran volume yang besar.
- d. Kemampuan untuk bekerja dengan fluida kerja yang mempunyai perbedaan satu aliran yang besar.
- e. Secara mekanis dapat beroperasi dengan baik dan handal (*High Reliability*).
- f. Memiliki konstruksi yang sangat sederhana.

Pengujian dan Perhitungan Water Cooled Chiller Tipe Shell and Tube

Dalam perhitungan *Water Cooled Chiller* kita perlu memperhitungkan parameter-parameter berikut :

- Beda temperatur rata-rata logaritmik konfigurasi aliran counter flow :

LMTD

$$\Delta T_1 = (T_{hi} - T_{co})$$

$$\Delta T_2 = (T_{ho} - T_{ci})$$

- Laju perpindahan panas yang diterima oleh aliran fluida :

$$Q = m \cdot C_p (T_{hi} - T_{ho})$$

- Koefisien global perpindahan panas (U):

$$U = \frac{Q}{A \cdot \Delta T_{lmt d}}$$

- Kerugian tekanan pada sisi pipa (ΔP_t) :

$$\Delta P_t = \left(4f \frac{L \cdot N_p}{d_i} 4N_p \right) \frac{\rho \cdot v_m^2}{2g}$$

- Kerugian tekanan pada sisi cangkang (ΔP_s) :

$$\Delta P_s = \left(\frac{f \cdot G_s^2 (N_b + 2) \cdot D_s}{2 \cdot \rho \cdot D_e \cdot \phi} \right)$$

- Efektifitas :

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{maks}}$$

- Number Thermal Unit :

PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *PERFORMANCE WATER COOLED CHILLER TIPE SHELL AND TUBE* KAPASITAS 0.14 TR PADA APLIKASI *COLD STORAGE*

Indra Saputra, Agus Holid dan Rizqi Aziz

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}}$$

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan langkah-langkah seperti alur diagram berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian di atas, dapat dibuatkan tabel yang memuat data-data dari dimensi *water cooled chiller*.

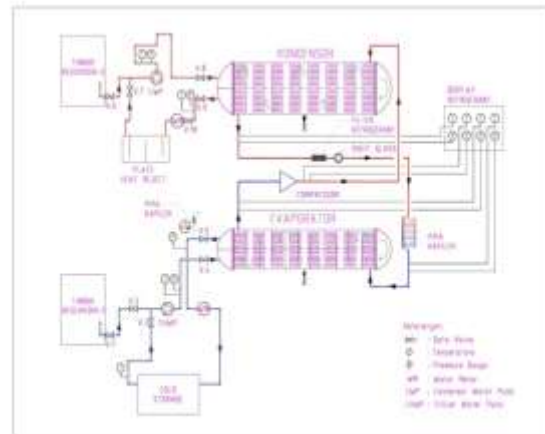
Tabel 1. Tabel dimensi Evaporator

No	simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
1	do	0.008	m	diameter luar pipa
2	di	0.006	m	diameter dalam pipa
3	Do	0.084	m	diameter luar cangkang
4	Di	0.074	m	diameter dalam cangkang
5	L	0.600	m	Panjang cangkang
6	Nt	30		Jumlah pipa

Tabel 2. Tabel dimensi kondensor

No	simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
1	do	0.01	m	diameter luar pipa
2	di	0.008	m	diameter dalam pipa
3	Do	0.114	m	diameter luar pipa
4	Di	0.106	m	diameter dalam cangkang
5	L	0.600	m	panjang cangkang
6	Nt	40		jumlah pipa

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Skematik *water chiller shell and tube*

Berdasarkan pengujian dan perhitungan dari data-data yang diperoleh, maka didapatkan beberapa hasil sebagai berikut :

a. Evaporator

Tabel 3. Pengujian Buka-an Valve 100%

Data	Pengujian pada jam			Satuan
	ke-1	ke-2	ke-3	
Thi	32	30	30	°C
Tho	23.4	21.2	20.2	°C
Tci	11.2	14.5	14.1	°C
Tco	25.8	24	23.2	°C
ΔTlmid	8.86	6.34	6.44	°C
mh	0.111	0.111	0.111	Kg/s
Cph	4.16	4.00	4.00	kJ/kg·K
ΔTh	8.6	8.8	9.8	°K
Cpc	1.43	1.35	1.33	kJ/kg·K
ΔTc	14.6	9.5	9.1	°K
mc	0.19	0.30	0.36	Kg/s
Q	3.97	3.91	4.35	kJ/s
A	0.452	0.452	0.452	m ²
U	991.154	1362.680	1493.956	W/m ² ·°C
Cmin	0.272	0.411	0.444	kJ/kg·K
Qaktual	3.971	3.907	4.040	kW
Qmaks	5.658	6.375	7.060	kW
e	70	61	57	%
NTU	1.65	1.50	1.52	-
ΔPs	22.56	24.02	24.22	Pa
ΔPc	3360.25	3634.375	3634.375	Pa

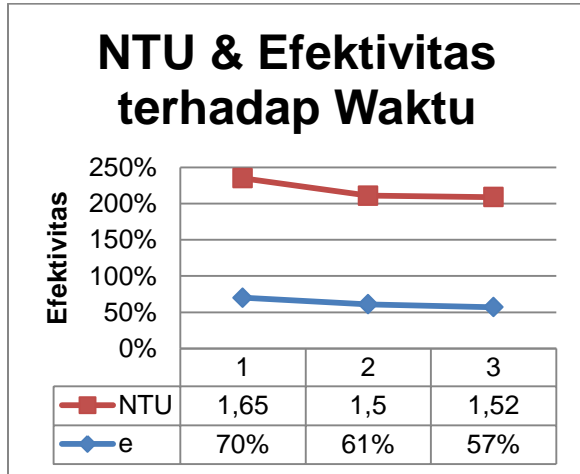
Dari perhitungan data pada bukaan valve 100%, didapat hasil sebagai berikut :

1. Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar saat pengujian jam ke-3 yaitu 1493.956 W/m²·°C.
2. Nilai laju perpindahan kalor terbesar saat pengujian jam ke-3 yaitu 4.35 kJ/s.
3. Nilai efektivitas thermalnya terbesar saat pengujian jam ke-1 yaitu 70%.

PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *PERFORMANCE WATER COOLED CHILLER* TIPE *SHELL AND TUBE* KAPASITAS 0.14 TR PADA APLIKASI *COLD STORAGE*

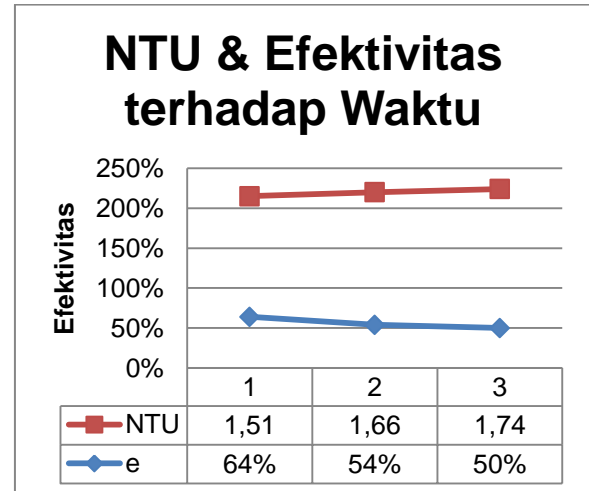
Indra Saputra, Agus Holid dan Rizqi Aziz

4. Nilai NTU (Nilai Thermal Unit) terbesar saat pengujian jam ke-1 yaitu 1.65.
5. Nilai kerugian tekanan terkecil pada cangkang dan pipa terjadi pada saat jam ke-1 yaitu ΔP_s : 22.56 Pa dan ΔP_t : 3360.25 Pa.



Gambar 3. NTU dan Efektivitas terhadap Waktu Saat Jam ke-1

4. Nilai NTU (Nilai Thermal Unit) terbesar saat pengujian jam ke-3 yaitu 1.74.
5. Nilai kerugian tekanan terbesar pada cangkang jam ke-2 dan pada pipa terjadi pada saat jam ke-3 yaitu ΔP_s : 25.098 Pa dan ΔP_t : 2423.34 Pa.



Gambar 4. NTU dan Efektivitas terhadap Waktu Saat Jam ke-3

Tabel 4. Pengujian Buka-an Valve 50%

Data	Pengujian pada jam			Satuan
	ke-1	ke-2	ke-3	
T_{hi}	29	29	30	$^{\circ}\text{C}$
T_{ho}	21.3	19.6	19.1	$^{\circ}\text{C}$
T_{ci}	13.7	14.8	14.2	$^{\circ}\text{C}$
T_{co}	23.5	22.4	22.1	$^{\circ}\text{C}$
ΔT_{lmtd}	6.49	5.65	6.28	$^{\circ}\text{C}$
m_h	0.08	0.08	0.08	Kg/s
C_{ph}	3.91	3.91	4.00	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$
ΔT_h	7.7	9.4	10.9	$^{\circ}\text{K}$
C_{pc}	1.31	1.36	1.34	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$
ΔT_c	9.8	7.6	7.9	$^{\circ}\text{K}$
m_c	0.19	0.28	0.33	Kg/s
Q	2.41	2.94	3.49	kJ/s
A	0.452	0.452	0.452	m^2
U	820.616	1150.880	1228.588	$\text{W/m}^2\text{.}^{\circ}\text{C}$
C_{min}	0.246	0.313	0.320	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$
Q_{aktual}	2.409	2.377	2.528	kW
Q_{max}	3.760	4.442	5.056	kW
e	64	54	50	$\%$
NTU	1.51	1.66	1.74	-
ΔP_s	25.098	24.41	24.9	Pa
ΔP_t	2485.65	2485.65	2423.34	Pa

Dari perhitungan data pada buka-an valve 50%, didapat hasil sebagai berikut :

1. Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar saat pengujian jam ke-3 yaitu $1228.588 \text{ W/m}^2\text{.}^{\circ}\text{C}$.
2. Nilai laju perpindahan kalor terbesar saat pengujian jam ke-3 yaitu 3.49 kJ/s .
3. Nilai efektivitas thermalnya terbesar saat pengujian jam ke-1 yaitu 64%.

b. Kondensator

Tabel 5. Pengujian Buka-an Valve 100%

Data	Pengujian pada jam			Satuan
	ke-1	ke-2	ke-3	
T_{hi}	77.2	87.4	88.5	$^{\circ}\text{C}$
T_{ho}	34.3	37.5	38.8	$^{\circ}\text{C}$
T_{ci}	33	31	32	$^{\circ}\text{C}$
T_{co}	40	45	48	$^{\circ}\text{C}$
ΔT_{lmtd}	10.70	19.14	18.89	$^{\circ}\text{C}$
m_h	0.114	0.133	0.154	Kg/s
C_{ph}	1.80	2.55	2.58	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$
ΔT_h	42.9	49.9	49.7	$^{\circ}\text{K}$
C_{pc}	4.25	4.08	4.16	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$
ΔT_c	7	14	16	$^{\circ}\text{K}$
m_c	0.297	0.297	0.297	Kg/s
Q	8.84	16.96	19.77	kJ/s
A	0.754	0.754	0.754	m^2
U	1094.797	1175.331	1388.212	$\text{W/m}^2\text{.}^{\circ}\text{C}$
C_{min}	0.206	0.340	0.398	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$
Q_{aktual}	8.836	16.965	19.768	kW
Q_{max}	9.104	19.174	22.473	kW
e	97	88	88	$\%$
NTU	4.01	2.61	2.63	-
ΔP_s	568.38	404.59	400.29	Pa
ΔP_t	2161.7	2087.52	2102	Pa

Dari perhitungan data pada buka-an valve 100%, didapat hasil sebagai berikut :

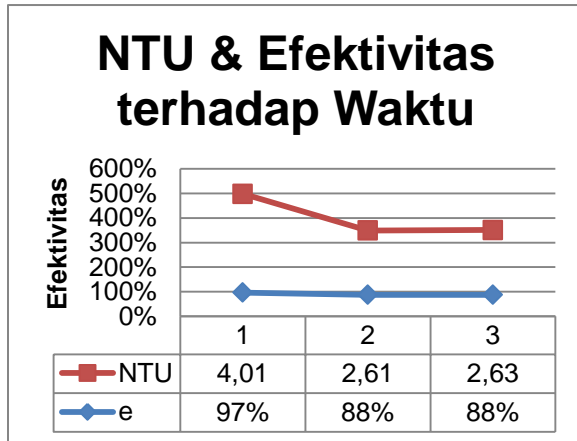
1. Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar saat pengujian jam ke-3 yaitu $1388.212 \text{ W/m}^2\text{.}^{\circ}\text{C}$.
2. Nilai laju perpindahan kalor terbesar saat pengujian jam ke-3 yaitu 19.77 kJ/s .

PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *PERFORMANCE WATER COOLED CHILLER* TIPE *SHELL AND TUBE* KAPASITAS 0.14 TR PADA APLIKASI *COLD STORAGE*

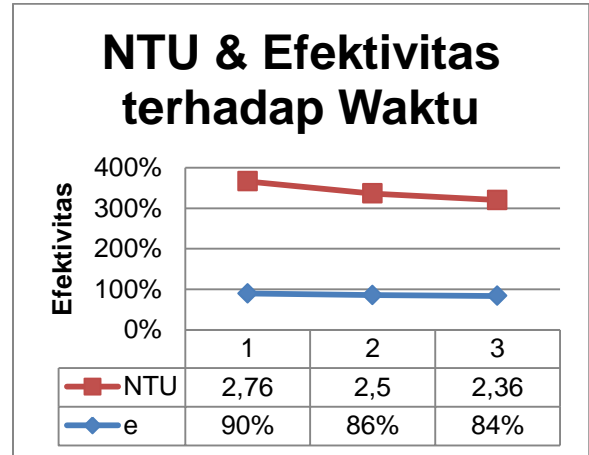
Indra Saputra, Agus Holid dan Rizqi Aziz

3. Nilai efektivitas thermalnya terbesar saat pengujian jam ke-1 yaitu 97%.
4. Nilai NTU (Nilai Thermal Unit) terbesar saat pengujian jam ke-1 yaitu 4.01.
5. Nilai kerugian tekanan terkecil pada cangkang terjadi pada saat jam ke-3 ΔP_s : 400.29 Pa dan pada pipa saat jam ke-2 ΔP_t : 2087.52 Pa.

3. Nilai efektivitas thermalnya terbesar saat pengujian jam ke-1 yaitu 90%.
4. Nilai NTU (Nilai Thermal Unit) terbesar saat pengujian jam ke-1 yaitu 2.76.
5. Nilai kerugian tekanan terkecil pada cangkang terjadi pada saat jam ke-2 ΔP_s : 185.693 Pa dan pada pipa saat jam ke-2 kestabilan penurunan tekanan yaitu ΔP_t : 1100.68 Pa.



Gambar 5. NTU dan Efektivitas terhadap Waktu Saat Jam ke-3



Tabel 6. Pengujian Buka-an Valve 50%

Data	Pengujian pada jam			Satuan
	ke-1	ke-2	ke-3	
T_{hi}	80,5	88	87,5	$^{\circ}C$
T_{ho}	35,8	38,8	39,9	$^{\circ}C$
T_{ci}	31	31	31	$^{\circ}C$
T_{co}	42	48	49	$^{\circ}C$
ΔT_{lmtd}	16,19	19,70	20,21	$^{\circ}C$
m_h	0,075	0,084	0,093	Kg/s
C_{ph}	2,04	2,56	2,55	$kJ/kg^{\circ}K$
ΔT_h	44,7	49,2	47,6	$^{\circ}K$
C_{pc}	4,08	4,08	4,08	$kJ/kg^{\circ}K$
ΔT_c	11	17	18	$^{\circ}K$
m_c	0,153	0,153	0,153	Kg/s
Q	6,87	10,61	11,24	kJ/s
A	0,754	0,754	0,754	m^2
U	562,643	714,539	737,364	$W/m^2^{\circ}C$
C_{min}	0,154	0,216	0,236	$kJ/kg^{\circ}K$
Q_{aktual}	6,867	10,612	11,236	kW
Q_{max}	7,604	12,294	13,337	kW
ϵ	90	86	84	%
NTU	2,76	2,50	2,36	-
ΔP_s	228,125	185,693	186,582	Pa
ΔP_t	1100,68	1100,68	1100,68	Pa

Dari perhitungan data pada buka-an valve 50%, didapat hasil sebagai berikut :

1. Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar saat pengujian jam ke-3 yaitu $737.364 W/m^2.^{\circ}C$.
2. Nilai laju perpindahan kalor terbesar saat pengujian jam ke-3 yaitu $11.24 kJ/s$.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan dari data yang diperoleh, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Evaporator

Pada *evaporator* kondisi buka-an katup 100%, nilai kalor yang dilepaskan (Q) dan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) yang paling baik adalah saat pengujian di jam ketiga yaitu $Q = 4,35 kJ/s$ dan $U = 1439,956 W/m^2.^{\circ}C$. Hal ini dikarenakan nilai Q dan U selalu berbanding lurus antar keduanya. Sedangkan untuk nilai keefektifitas thermal dan NTU yang paling baik adalah saat pengujian jam pertama yaitu $\epsilon = 0.7$ atau 70% & NTU-nya = 1.65. Hal yang sama juga untuk nilai penurunan tekanan pada sisi cangkang maupun pipa, keduanya mengalami penurunan terkecil saat pengujian pertama yaitu $\Delta P_s = 22.56 Pa$ dan $\Delta P_t = 3360.25 Pa$.

Pada *evaporator* kondisi buka-an katup 50%, nilai kalor yang dilepaskan (Q) dan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN *PERFORMANCE WATER COOLED CHILLER TIPE SHELL AND TUBE* KAPASITAS 0.14 TR PADA APLIKASI *COLD STORAGE*

Indra Saputra, Agus Holid dan Rizqi Aziz

yang paling baik adalah saat pengujian di jam ketiga yaitu $Q = 3,49$ kJ/s dan $U = 1228,588$ W/m².°C. Untuk nilai keefektivitas thermal yang paling baik, saat pengujian jam pertama yaitu $\varepsilon = 0,64$ atau 64% tetapi untuk nilai NTU-nya = 1,74 pada saat jam ketiga. Hal yang sama juga pada penurunan tekanan yang mengalami penurunan tekanan terkecil di sisi cangkang saat jam kedua dan disisi pipa saat jam ketiga yaitu $\Delta P_s = 24.41$ Pa dan $\Delta P_t = 2423.34$ Pa.

Berdasarkan dari hasil perhitungan yang diperoleh, maka *performance heat exchanger* untuk *evaporator* yang lebih bagus adalah saat menggunakan bukaan katup 100% (bukaan penuh) karena menghasilkan keefektivitas thermalnya sampai 70% dan nilai NTU nya 1.65 serta penurunan tekanannya juga terjadi saat jam pertama baik disisi cangkang maupun pipa.

2. Kondensor

Pada kondensor kondisi bukaan katup 100%, nilai kalor yang dilepaskan (Q) dan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) yang paling baik adalah saat pengujian di jam ketiga yaitu $Q = 19,77$ kJ/s dan $U = 1388,212$ W/m².°C. Hal ini dikarenakan nilai Q dan U selalu berbanding lurus antar keduanya. Sedangkan untuk nilai keefektivitas thermal dan nilai NTU-nya yang paling baik, saat pengujian jam pertama yaitu $\varepsilon = 0,97$ atau 97% dan untuk nilai NTU-nya = 4,01. Akan tetapi untuk penurunan tekanan yang terkecil disisi cangkang terjadi saat jam ketiga yaitu $\Delta P_s = 400.29$ Pa dan sisi pipa saat jam kedua yaitu $\Delta P_t = 2087.52$ Pa.

Pada kondensor kondisi bukaan katup 50%, nilai kalor yang dilepaskan (Q) dan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) yang paling baik adalah saat pengujian di jam ketiga yaitu $Q = 11,24$ kJ/s dan $U = 737,364$ W/m².°C. Sedangkan untuk nilai keefektivitas thermal dan nilai NTU-nya yang paling baik, saat pengujian jam pertama yaitu $\varepsilon = 0,90$ atau 90% dan NTU-nya = 2,76. Untuk penurunan tekanan terkecil terjadi disisi cangkang saat kedua yaitu $\Delta P_s = 185.93$ Pa dan terjadi kestabilan penurunan tekanan pada sisi pipa yaitu $\Delta P_t = 1100.68$ Pa.

Berdasarkan dari hasil perhitungan yang diperoleh, maka *performance heat*

exchanger untuk kondensor yang lebih bagus adalah saat menggunakan bukaan katup 100% karena menghasilkan keefektivitas thermalnya sampai 97% dan NTU-nya 4.01 yang mengartikan bahwa perpindahan panas yang terjadi pada kondensor begitu maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Jajat. 2009. *Pembuatan dan Pengujian Heat Exchanger Tipe Shell and Tube*. Tugas FTI, Teknik Mesin, Konversi Energi, Institut Sains Dan Teknologi Al-kamal Jakarta.
- Ali Hasimi Pane. 2014. *Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger), Modul Edisi Percobaan*, Medan: Consultant.
- Holman, J.P. 1991. *Perpindahan Kalor*, Ed. 6, Jakarta: Erlangga.
- Koestoer, Raldi Artono, 2002, *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik, Ed.1*, Jakarta: Salemba Teknik.
- Sadik Kakac, Hongtan Liu. 2002. *Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design Second Edition*. Department of Mechanical Engineering, University of Miami Coral Gables, Florida.
- Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA), 1988, *Standart of the Tubular Exchanger Manufacturers Association, 7th ed*, TEMA, Newyork.