

## PERANCANGAN KONDENSOR TIPE U TUBE YANG MEMANFAATKAN UAP SISA (HEAT RECOVERY) PADA SISTEM PEMANAS PINDANG

Muh. Amin Fauzie<sup>5)</sup>, R. Kohar<sup>6)</sup>

**Abstrak:** Kondensor merupakan alat penukar kalor yang memegang peranan untuk merubah wujud uap menjadi cair sehingga air yang tadinya menjadi uap yang bertekanan tinggi menjadi air kembali dan air tersebut sangat bermanfaat bagi ketel atau vesel Heat Recovery dan untuk menjaga agar air yang ada di dalam vesel tidak kering dan bisa di manfaatkan kembali menjadi uap sebagai pemanas kuah pindang. Pada penelitian ini, Saya juga mengamati kondensor tipe U tube ini belum sempurna tetapi sudah cukup baik dan berhasil sebagai alat penukar kalor. Dengan metode ini, uap yang menjadi air cukup banyak lebih kurang 80% dari hasil yang kita harapkan.

**Kata kunci:** Kondensor, Uap Air

**Abstract:** The condenser is a heat exchanger that role to change the form of vapor into liquid so that the water that had become vapor high pressure into the water is very benefical for the kettle or vesel Heat Recovery and to keep the water inside the vessel is not dry and can in advantage back into steam as the heating soap boiled. In this study, I also observed U-tube type condenser but not yet good enough and managed as a heat exchanger. With this metod, the water vapor which is becoming quite a lot more or less 80% of the results we expect.

**Keyword:** The condenser, Water Steam

<sup>5,6)</sup> Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti Palembang.

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Perpindahan panas adalah salah satu bentuk dari perpindahan energi. Perpindahan energi ini terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara suatu daerah yang bertemperatur tinggi dengan daerah lainnya yang bertemperatur rendah dari satu benda atau lebih, misalnya pada benda cair atau gas. Masalah perpindahan panas mempunyai peranan yang sangat penting dalam bidang rekayasa, yaitu dalam besarnya laju perpindahan panas yang terjadi.

Salah satu alat yang menerapkan cara ini yaitu kondensor di mana perpindahan kalor terjadi antara benda yang di kondensasi ke media yang mengkondensasi seperti air, kondensor sering di gunakan pada power plant yang di gunakan untuk mengkondensasikan air buangan turbin menjadi air pengisi ketel. Pada kesempatan ini penulis mencoba untuk merancang dan membuat kondensor sebagai alat pengkondensasi uap sisa atau uap buangan dari vesel (Heat Recovery) yang di gunakan untuk pemanas pindang.

Ada beberapa jenis kondensor bila di tinjau dari susunan tubingnya seperti :

1. Horizontal kondensor adalah air pendingin masuk kondensor melalui bagian bawah, kemudian masuk ke dalam pipa-pipa pendingin dan keluar pada bagian atas sedangkan arus panas masuk lewat bagian tengah kondensor dan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah kondensor.

2. Vertical kondensor adalah air pendingin masuk kondensor melalui bagian bawah, kemudian masuk ke dalam pipa-pipa pendingin dan keluar pada bagian atas sedangkan arus panas masuk lewat bagian atas kondensor dan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah kondensor.

#### Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis merancang Kondensor Tipe U Tube Yang Memanfaatkan Uap Sisa (Heat Recovery).

#### Batasan Masalah

Mengingat banyaknya perhitungan-perhitungan perpindahan panas yang dapat dilakukan terhadap penelitian ini penulis membatasi hanya pada :

1. Perancangan dan penelitian alat uji.
2. Perhitungan laju perpindahan panas pada kondensor dengan mengabaikan faktor koreksi dari tubing tipe U.

#### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari pembuatan alat ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis sisa uap dari sistem pemanas pindang (Heat Recovery) yang dikondensasikan pada kondensor tipe U tube, sehingga hasil kondensasi uap menjadi air dapat digunakan kembali pada vesel heat recovery.

#### Manfaat Penelitian

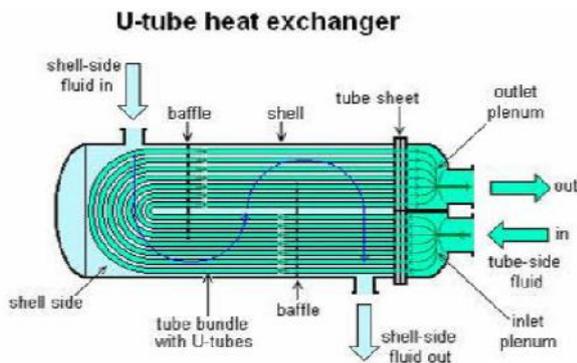
Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk mengetahui dan

membandingkan kinerja dari kondensor tipe U tube yang menggunakan tubing tembaga.

**TINJAUAN PUSTAKA**

**Pengertian Kondensor**

Kondensor merupakan alat penukar kalor yang berfungsi untuk merubah uap menjadi cair (kondensat). Kondensor banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik itu dalam industri rumah tangga, industri otomotif, maupun dalam industri farmasi dan obat-obatan. Di Indonesia sendiri, kondensor bukanlah hal yang asing. Kondensor banyak kita jumpai dalam perangkat pendingin pada mobil, maupun air conditioner yang terpasang pada gedung-gedung, instalasi perkantoran atau fasilitas umum seperti mall dan supermarket.



**Gambar 1.** Kondensor

**Pengertian Kondensasi**

Kondensasi berasal dari bahasa latin yaitu *condensere* yang berarti membuat tertutup. Kondensasi merupakan perubahan wujud zat dari gas atau uap menjadi zat cair.

Kondensasi terjadi pada pemampatan atau pendinginan jika terjadi tekanan maksimum dan suhu di bawah suhu kritis. Kondensasi terjadi ketika uap di dinginkan menjadi cairan, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap di kompresi (yaitu tekanan di tingkatkan) menjadi cairan, atau mengalami kombinasi dari pendinginan dan kompresi.

Salah satu bentuk kondensasi di lingkungan sekitar adalah uap air di udara yang terkondensasi secara alami pada permukaan yang dingin di namakan embun. Uap air hanya akan terkondensasi pada suatu permukaan ketika permukaan tersebut lebih dingin dari titik embunya atau uap air telah mencapai kesetimbangan di udara, seperti kelembapan jenuh.

Besarnya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T \dots\dots\dots(\text{Lit 2, hal. 206})$$

Dimana:

Q = Besar kalor (W)  
m = Massa air vesel (kg/s)

Cp = Spesifik heat (kJ/kg.°C)

ΔT = Beda temperatur (°C)

Sedangkan laju kondensasi dapat di hitung dengan persamaan :

$$\dot{m} = \frac{Q}{hfg} \dots\dots\dots(\text{Lit 2, hal. 686})$$

Dimana:

ḡ = Laju kondensasi (kg/s)

Q = Laju perpindahan panas (Kw)

Hfg = Enthalpi penguapan (Kj/kg)

Sedangkan laju perpindahan panas pada kondensor dapat di hitung dengan persamaan :

$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD} \dots\dots\dots(\text{Lit 2, hal. 687})$$

Dimana:

Q = Laju perpindahan panas pada kondensor (W)

U = Over all heat transfer coefisien (W/m<sup>2</sup>. °C)

A = Luas bidang panas (m<sup>2</sup>)

LMTD = Log Mean Temperature Defference (°C)

**Cara Kerja Kondensor**

Uap panas yang masuk ke kondensor dengan temperatur yang tinggi dan bertekanan. Kemudian uap panas masuk ke dalam *Suction Pipe* kemudian mengalir dalam tube. Dalam tube, uap panas di dinginkan dengan media pendingin air yang di alirkan melewati sisi luar tube, menuju *Discharge Pipe* dengan temperatur yang sudah turun.

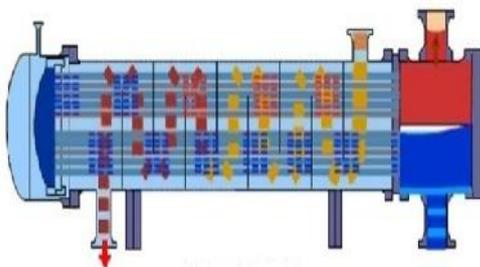
Prinsip kondensasi di kondensor adalah merubah wujud dari uap yang bertekanan menjadi cair dimana temperatur cairan tersebut tidak berubah atau konstan.

**Jenis-jenis Perpindahan Panas**

**1. Perpindahan Panas Konduksi**

Konduksi ini juga dapat didefinisikan sebagai perpindahan panas dari suatu bagian dengan temperatur tinggi menuju bagian dengan temperatur rendah melalui suatu medium tanpa diikuti dengan adanya aliran material medium tersebut. Jika salah satu ujung logam memiliki temperatur rendah, maka akan terjadi transfer

energi dari bagian dengan temperatur tinggi menuju bagian dengan temperatur rendah.



Gambar 2. Aliran panas terjadi pada saat konduksi

Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi transfer energi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Energi berpindah secara konduksi atau hantaran dan laju berpindahan panas itu berbanding dengan gradien suhu normal.

Laju perpindahan kalor dinyatakan dalam persamaan Fourier sebagai berikut:

$$q = -k.A. \frac{\Delta T}{\Delta X} \dots\dots\dots(\text{Lit.3,hal. 4})$$

Dimana:

Q = Laju aliran kalor pada arah sumbu x (w)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

ΔT = Gradien temperature pada arah sumbu x (°C)

k = Konduktivitas termal bahan (W/m.°C)

ΔX= Jarak lintasan (m)

Tanda (-) menunjukkan kenyataan bahwa aliran kalor dengan konduksi terjadi ke arah gradien temperatur yang menurun.

Konduktivitas termal k adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintas satuan jarak dengan gradien suhunya satu. Jadi bahan yang mempunyai konduktivitas termal rendah disebut isolator (*insulator*). Logam tembaga biasanya merupakan konduktor panas yang baik.

## 2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang di sertai pergerakan partikel baik secara acak maupun teratur. Ada dua jenis konveksi, yaitu konveksi alamiah dan konveksi paksa :

### 1. Konveksi alamiah

Konveksi alamiah terjadi dengan sendirinya. Misalnya, konveksi udara pada

sistem ventilasi rumah. Udara panas dalam rumah bergerak ke atas dan keluar melalui ventilasi. Tempat udara panas tadi di gantikan oleh udara dingin melalui ventilasi. Oleh karena arus konveksi ini, maka suhu udara di dalam rumah terasa lebih nyaman.

### 2. Konveksi paksa

Konveksi paksa misalnya dalam teknik aliran fluida di adakan dengan sengaja, yaitu dengan mengalirkan fluida yang sudah panas ke tempat yang di tuju, seperti kondensor yang di aliri fluida uap dan di dinginkan dengan media fluida air yang mengalir.

Perpindahan panas secara konveksi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{\text{conv}} = h.A (T_s - T_{\infty}) \dots(\text{Lit 1 hal 26})$$

Dimana:

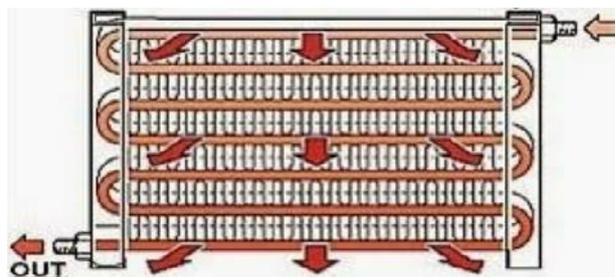
Q<sub>conv</sub> = Perpindahan kalor konveksi (W)

h = koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m<sup>2</sup>. °C)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

T<sub>s</sub> = Temperatur udara sekitar (°C)

T<sub>∞</sub> = Temperatur permukaan yang dingin (°C)



Gambar 3. Perpindahan panas konveksi

## 3. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi berbeda dengan proses perpindahan panas konveksi dan konduksi dimana perpindahan panas radiasi, energi berpindah tanpa memerlukan zat penghantar. Radiasi adalah pancaran energi secara energi gelombang elektromagnetik dengan kecepatan cahaya.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Metode Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini, di lakukan dengan cara:

#### 1. Studi Literatur

Metode ini dilakukan untuk mendapatkan bahan-bahan acuan yang dibutuhkan pada proses penelitian dengan cara mempelajari buku-buku referensi yang berhubungan dengan penelitian.

#### 2. Studi Eksperimental

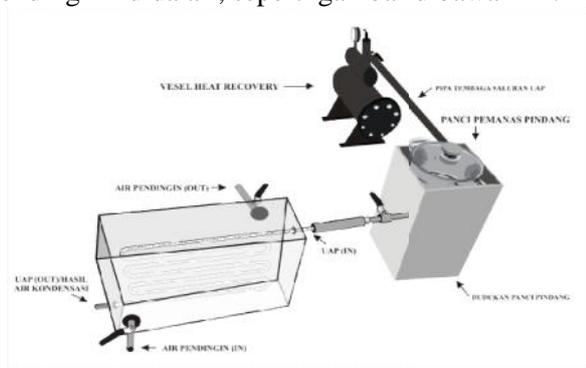
Studi Eksperimental adalah pengamatan langsung terhadap peralatan uji dan dilakukan secara periodik sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.

### Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dilaboratorium Konversi Energi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tridinanti Palembang.

### Model Rancangan

Dalam penulisan perancangan kondensor tipe U tube pada heat recovery dengan menggunakan media pendingin fluida air, seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 4.** Skematik Rancangan kondensor dan vesel Heat Recovery

Perancangan kondensor pada heat recovery diatas meliputi komponen utama yaitu sebagai berikut :

1. Kondensor untuk mengkondensasikan uap.
2. Tubing tembaga untuk menyalurkan uap.
3. Pompa untuk mengalirkan fluida air.

### Alat dan Bahan yang digunakan

#### - Alat yang digunakan

Pembuatan kondensor pada heat recovery dengan media pendingin fluida air ini menggunakan alat-alat yang digunakan sebagai berikut:

1. Tubing cutter : alat ini digunakan untuk memotong tubing tembaga.
2. Cutter flaring : alat pemekar tubing tembaga.
3. Bor : digunakan untuk melubangi bagian tertentu.
4. Jangka sorong : alat ukur yang di gunakan untuk mengukur suatu benda yang tertentu.
5. Meteran : untuk mengukur panjang sebelum dipotong.
6. Meteran siku : digunakan untuk mengetahui sudut 90°

#### - Komponen Kondensor Pada Heat Recovery

Komponen dasar kondensor pada heat recovery menggunakan media pendingin fluida air ini meliputi :

#### 1. Rangka Akrelik

Rangka akrelik merupakan bahan material yang di gunakan agar lebih baik untuk mengkondensasikan uap menjadi air.

#### 2. Tubing Tembaga

Tubing tembaga ini untuk mengalirkan uap yang akan di kondensasikan oleh kondensor.

#### 3. Pompa

Pompa berfungsi untuk mengalirkan fluida pendingin pada kondensor dan untuk mengalirkan fluida hasil kondensasi ke vesel heat recovery.

#### - Alat-Alat Ukur Yang Digunakan

#### 1. Thermometer digital / Thermocouple

Digunakan untuk mengukur temperatur uap dan fluida air pada saat pengujian.



**Gambar 5.** Thermometer

#### 2. Stopwatch

Digunakan untuk mengukur lamanya waktu saat pengujian.



Gambar 6. Stopwatch

### Prosedur Penelitian

#### - Persiapan Pengujian

Pemeriksaan seluruh peralatan uji dan perlengkapan merupakan langkah pertama yang harus dilakukan untuk menjaga keamanan dan keselamatan baik penguji maupun peralatan yang diuji. Hal-hal yang perlu diperhatikan yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan ruang tempat dilaksanakannya pengujian, seaman mungkin untuk mendukung kesempurnaan penelitian.
2. Memeriksa dan memastikan komponen kondensator pada heat recovery terpasang dengan baik sesuai perencanaan.
3. Memastikan bahan yang diuji dalam keadaan baik.
4. Memeriksa perlengkapan alat ukur dan media pendukung lain untuk kelancaran penelitian.
5. Memeriksa dan memastikan seluruh peralatan ukur yang akan digunakan dalam pengambilan data berfungsi dengan baik sesuai standar.

#### - Prosedur Pengujian

Adapun langkah pengujian kondensator pada heat recovery ini dilakukan pengujian setelah uap yang di alirkan oleh heat recovery dan di gunakan untuk memanaskan pindang.

#### - Pengujian Kondensator Pada Heat Recovery

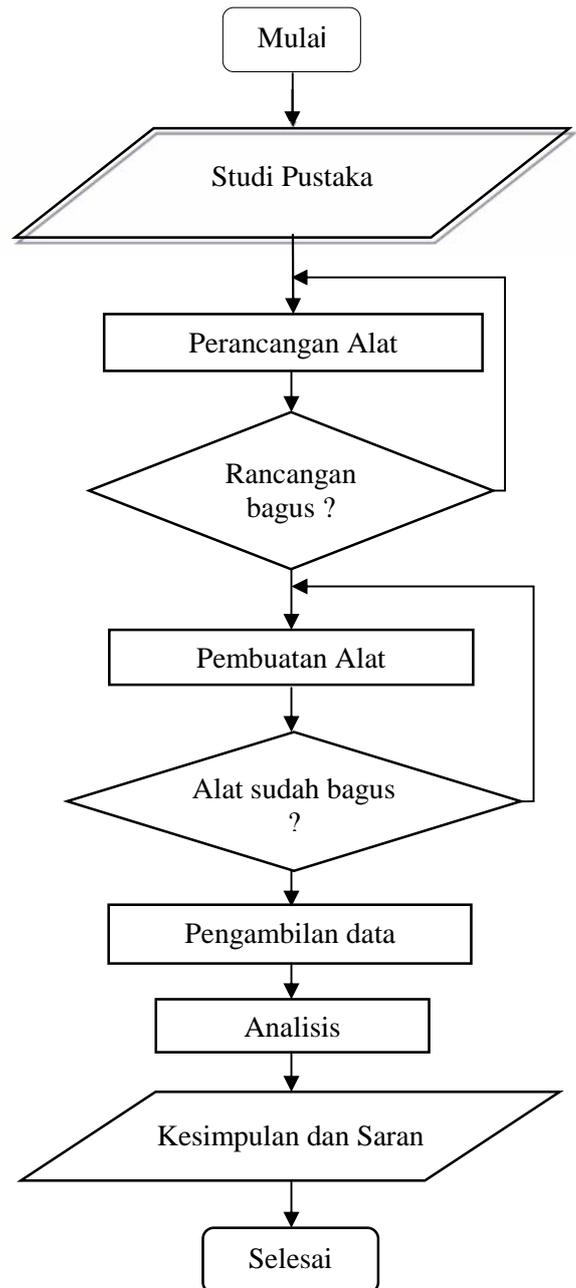
Adapun pengujian kondensator pada heat recovery adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengukuran temperatur awal sebelum uap dan air di alirkan.
2. Hidupkan pompa , kemudian ukur temperatur fluida air.
3. Lalu alirkan uap melalui tubing kondensator.
4. Mengamati laju perpindahan panas pada alat uji dengan cara mengukur temperatur kondensat air yang di hasilkan dan mengukur bnyaknya uap yang berhasil di kondensasikan menjadi air kembali.

#### - Analisa Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian yang sudah ditabelkan, selanjutnya akan dilaksanakan analisis hasil pengujiannya. Dimana dari data yang didapat akan diolah sehingga dapat grafik. Sehingga akan didapat hasil perbandingan pengujian secara eksperimental dengan hasil perhitungan secara teoritis.

#### - Diagram Alir Penelitian



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

**HASIL PENELITIAN DAN ANALISA DATA**

**Data Hasil Penelitian**

Untuk menghitung hasil dari pengujian maka diperlukan pengumpulan data yang disusun dalam bentuk tabel, sehingga data tersebut dapat tersusun dengan rapi dan mempermudah dalam pembacaan, adapun data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 1.** Hasil pengujian pertama vesel (Heat Recovery) pada sistem pemanas pindang.

t (menit)	P <sub>vesel</sub> (Bar)	T <sub>vesel</sub> (°C)	T <sub>pindang</sub> (°C)	m <sub>Awal</sub> vesel (L)	m <sub>Akhir</sub> vesel (L)
0	0	30,2	30,2	3	1,7
10	0,20	30,3	30,5		
20	0,35	31,6	31,7		
30	0,50	38,3	32,7		
40	1	104	33,8		
50	1,5	117,4	46,5		
60	0,80	112	48,1		
70	0,80	114	50,8		
80	0,80	114,5	55,9		
90	0,80	114,2	60,8		
Jumlah rata-rata	0,675	80,25	42,1	3	1,7

**Tabel 2.** Hasil pengujian pertama kondensor tipe U tube.

Jenis aliran fluida : Berlawanan  
 Debit aliran air pendingin : 450 ml/menit  
 = 0,45 L/menit.

T menit	T <sub>1</sub> Uap (IN) °C	T <sub>2</sub> Uap (OUT) °C	T <sub>3</sub> Air pendingin (IN) °C	T <sub>4</sub> Air pendingin (OUT) °C	T Air dalam °C	T Tubing tengah °C	Jumlah air kondensasi (ml)
0	30,4	31,5	28,5	28,6	28,5	28,2	0
10	98,8	33,4	28,5	46,6	48,3	30,1	100
20	93,4	33,2	29,6	51,7	54,2	30,3	110
30	92,6	32,1	29,7	52,3	50,4	30,9	125
40	93,1	33	29,8	54,9	51,9	31,3	120
50	91,6	32,2	29,3	54,3	51,6	30,1	132
60	94,2	33,2	29,2	54,7	52,3	30,3	145
70	93,5	33	29,8	55,1	51,3	30,7	150
80	93,6	32,8	29,7	52	53,3	29,8	120
90	93,8	33,1	29,8	53,9	52,2	30,2	130
Jumlah rata-rata	87,5	32,75	29,39	50,41	49,4	30,29	113,2

Adapun temperatur ruangan pada saat pengukuran adalah 30,2°C

**Tabel 3.** Hasil pengujian kedua vesel (Heat Recovery) pada sistem pemanas pindang.

t (menit)	P <sub>vesel</sub> (Bar)	T <sub>vesel</sub> (°C)	T <sub>pindang</sub> (°C)	m <sub>Awal</sub> vesel (L)	m <sub>Akhir</sub> vesel (L)
0	0	30,8	30,4	3	1,6
10	0,20	31,8	31,9		
20	0,30	32,0	32,8		
30	0,45	42,5	33,2		
40	1	104	33,8		
50	1,5	113,7	44,2		
60	0,90	114,2	48,1		
70	0,90	114,3	49,6		
80	0,90	115,2	55,5		
90	0,90	113,3	61,2		
Jumlah rata-rata	0,795	92,6	42,07	3	1,6

**Tabel 4.** Hasil pengujian kedua kondensor tipe U tube.

Jenis aliran fluida : Berlawanan  
 Debit aliran air pendingin : 600 ml/menit  
 = 0,60 L/menit

t menit	T <sub>1</sub> Uap (IN) °C	T <sub>2</sub> Uap (OUT) °C	T <sub>3</sub> Air pendingin (IN) °C	T <sub>4</sub> Air pendingin (OUT) °C	T Air dalam °C	T Tubing tengah °C	Jumlah air kondensasi (ml)
0	33,0	31,7	29,2	29,2	29,3	29,3	0
10	98,0	33,8	29,3	38,8	42,6	30,1	110
20	97,6	33,9	29,8	39,9	44,7	30,8	125
30	92,7	34,8	29,7	40,3	45,7	30,5	130
40	94,3	33,9	29,7	40,2	45,9	30,4	140
50	93,5	33,9	29,6	40	43,7	32,2	130
60	92,2	33,6	29,4	39,7	45,7	30,5	120
70	94,1	34	29,9	39,9	43,5	30,2	108
80	94,5	34,2	30,1	39,8	43,0	30,1	100
90	94,3	34,1	30	40,2	43,3	30,4	120
Jumlah rata-rata	88,42	33,79	29,67	38,8	42,74	30,45	108,3

Adapun temperatur ruangan pada saat pengukuran adalah 30,2°C.

**Perhitungan Data Hasil Pengujian**

**- Perhitungan pengujian pertama besarnya kalor yang di butuhkan untuk menaikkan temperatur air.**

Dari hasil penelitian pertama yang telah dilakukan terhadap Heat Recovery dan kondensator tipe U tube data di peroleh dari tabel 1 dan 2, maka besarnya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air di dalam vesel dapat dihitung nilai kalor yang dihasilkan dengan rumus:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots(\text{Lit 2, hal. 206})$$

Dimana:

- Q = Besar kalor (W)
- $\dot{m}$  = Massa air dalam vesel (kg/s)
- Cp = Spesifik heat (kJ/kg.°C)
- ΔT = Beda temperatur (°C)
- Q<sub>vesel</sub> =  $\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$
- Q<sub>vesel</sub> = 0,0025 kg/s . 4193 J/kg.°C . 87,4°C
- Q<sub>vesel</sub> = 916,1 J/s
- Q<sub>vesel</sub> = 916,1 W

**- Perhitungan hasil pengujian pertama kondensator tipe U tube.**

Perhitungan hasil pengujian kondensator dengan debit aliran air pendingin : 0,45 L/menit = 0.0075 kg/s. dengan ketentuan data temperature rata-rata air pendingin di dalam kondensator (49,4<sup>0</sup> C- 50<sup>0</sup> C) dari tabel sifat-sifat air (A-9) :

$$\begin{aligned} \rho &= 988,1 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ Pr &= 3,55 \\ K &= 0,644 \text{ w/m.}^\circ\text{C} \\ \nu &= \mu/\rho = 0,553 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

$$V_m = \frac{4 \times m}{\pi \cdot f \cdot D_i^2} \dots\dots\dots(\text{Lit.2, hal.676})$$

Dimana :

- V<sub>m</sub> = Kecepatan rata-rata air pendingin (m/s)
- m = Aliran air pendingin (Kg/s)
- ρ = Densitas (kg/m<sup>3</sup>)
- D<sub>i</sub> = Diameter pipa (m)

Dik : diameter pipa tembaga = 9,5 mm  
= 0,0095 m

$$\begin{aligned} V_m &= \frac{4 \times m}{\pi \cdot f \cdot D_i^2} = \frac{4 \times 0,0075 \text{ kg/s}}{\pi \cdot (9881 \text{ kg/m}^3) \times (3,14) \times (0,0095 \text{ m})^2} \\ &= \frac{0,03 \text{ kg/s}}{0,2800127 \text{ kg/m}} = 0,1071 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Bilangan Reynold dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$Re = \frac{V_m \times D_h}{\nu} \dots\dots(\text{Lit.2, hal.676})$$

Dimana :

- V<sub>m</sub> = Kecepatan rata-rata (m/s)
- D<sub>h</sub> = Diameter pipa tembaga (m)
- ν = Viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

$$Re = \frac{V_m \times D_h}{\nu} = \frac{(0,1071 \text{ m/s}) \times (0,0095 \text{ m})}{0,553 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}}$$

$$= \frac{0,001017}{0,553 \times 10^{-6}} = 1.839$$

Angka Nusselt (Nu) dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$Nu = \frac{h D_h}{K} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \dots\dots(\text{Lit.2, hal.676})$$

$$\begin{aligned} Nu &= \frac{h D_h}{K} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} = \frac{0,023 (1,839)^{0,8} (3,55)^{0,4}}{0,644} \\ &= 152,9 \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan kalor konveksi di dalam pipa (h<sub>i</sub>) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$h_i = \frac{K \times Nu}{D_i} = \frac{0,644 \times 152,9}{0,0095 \text{ m}} = 10365 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Sedangkan perpindahan kalor konveksi di luar pipa (h<sub>o</sub>) dapat dicari dari persamaan berikut :

Diameter hidrolis bagian luar pipa dalam selongsong (D<sub>h</sub>) dapat dicari :

$$D_h = D_o - D_i = 0,015 \text{ m} - 0,0095 \text{ m} = 0,0055 \text{ m}$$

$$h_o = \frac{K \times Nu}{D_h} = \frac{0,644 \times 152,9}{0,0055 \text{ m}} = 17903,2 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat dicari dari persamaan berikut :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} = \frac{1}{\frac{1}{10365 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}} + \frac{1}{17903,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}}}$$

$$= \frac{1}{0,000096478 + 0,000055855}$$

$$= 6564,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Luas Bidang panas dapat di peroleh dari persamaan berikut :

$$A = .D. \ell$$

$$= 3,14 \times 0,0095 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$$

$$= 0,07457 \text{ m}^2$$

**- Perhitungan laju perpindahan panas pada kondensor.**

Laju perpindahan panas pada kondensor tipe U tube dapat di hitung dengan persamaan:

$$Q = U.A.LMTD.....(\text{Lit 2, hal. 687})$$

Beda temperatur pada saluran masuk dan keluar kondensor adalah :

$$\Delta T_1 = Th_{in} - Tc_{out}$$

$$\Delta T_2 = Th_{out} - Tc_{in}$$

$$= 87,5^\circ\text{C} - 50,41^\circ\text{C} = 37,09^\circ\text{C}$$

$$= 32,75^\circ\text{C} - 29,39^\circ\text{C} = 3,36^\circ\text{C}$$

Beda temperatur rata-rata logaritma (LMTD) antara kedua fluida adalah :

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left( \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} = \frac{37,09^\circ\text{C} - 3,36^\circ\text{C}}{\ln (37,09 / 3,36)}$$

$$= \frac{33,73^\circ\text{C}}{2,4014} = 14,04^\circ\text{C}$$

$$Q = U. A. LMTD$$

$$= 6564,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \times 0,07457 \text{ m}^2 \times 14,04^\circ\text{C}$$

$$= 6.872 \text{ W} = 6,872 \text{ KW}$$

Kalor spesifik tekanan konstan (Cp) air pendingin pada temperatur rata-rata 0,5 . (50,41+29,39) °C = 39,9 °C/40 °C di dapat dari tabel air jenuh pada temperatur 40 °C, yaitu: Cp= 4,179 (kJ/kg.°C).

Sehingga laju aliran massa air pendingin adalah:

$$m_{\text{air pendingin}} = \frac{Q}{Cp(T_{c_{out}} - T_{c_{in}})} = \frac{6872 \text{ KJ/s}}{4,179 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}(50,41 - 29,39^\circ\text{C})}$$

$$= \frac{6872 \text{ kJ/s}}{87842,58 \text{ kJ/kg}} = 78,23 \text{ kg/s}$$

Sedangkan laju kondensasi dapat di hitung dengan persamaan :

$$m_{\text{uap}} = \frac{Q}{hfg} \dots\dots\dots(\text{Lit 2, hal. 686})$$

Enthalpy pengumpan air pendingin pada temperatur rata-rata (50°C/49,4°C) didapat dari tabel air jenuh : hfg = 2883 KJ/Kg

$$m_{\text{uap}} = \frac{Q}{hfg} = \frac{6872 \text{ KJ/s}}{2383 \text{ KJ/Kg}} = 2,8 \text{ kg/s}$$

Jadi pada pengujian pertama, laju aliran massa air pendingin sebesar 78,23 kg/s dan laju aliran massa uap sebesar 2,8 kg/s.

Efiseensi Kondensor tipe U tube pada pengujian pertama bisa di hitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Ef. kond} = \frac{Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{ideal}}} \times 100\%$$

$$= \frac{Q_{\text{vesel}}}{Q_{\text{kondensor}}} \times 100\%$$

$$= \frac{6.872}{916,1} \times 100\% = 7,50\%$$

**- Perhitungan pengujian kedua besarnya kalor yang di butuhkan untuk menaikkan temperatur air.**

Pada penelitian kedua yang telah dilakukan terhadap Heat Recovery dan kondensor tipe U tube data di peroleh dari tabel 3 dan 4, maka besarnya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air di dalam vesel dapat di hitung dengan persamaan berikut :

$$Q = .Cp. \Delta T \dots\dots(\text{Lit 2, hal. 206})$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{vesel}} &= \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \\
 &= 0,0025 \text{ kg/s} \times 4190 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times 85,2^\circ\text{C} \\
 &= 892,4 \text{ J/s} \\
 &= 892,4 \text{ W}
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 &= \frac{0,023 \times 413,0320 \times 11,84619}{0,632} = 178,06
 \end{aligned}$$

**- Perhitungan hasil pengujian kedua kondensator tipe U tube.**

Perhitungan hasil pengujian kedua kondensator dengan debit aliran air pendingin : 0,60 L/menit = 0.001 kg/s. dengan ketentuan data temperature rata-rata air pendingin di dalam kondensator (42,74<sup>0</sup>c - 40<sup>0</sup>c) dari tabel sifat-sifat air (A-9) :

$$\begin{aligned}
 \rho &= 992,1 \text{ kg/m}^3 \\
 Pr &= 4,83 \\
 K &= 0,623 \text{ W/m}^\circ\text{C} \\
 \nu &= \mu/\rho = 0,725 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\
 Vm &= \frac{4 \times m}{\dots f \cdot Di^2} \dots\dots (\text{Lit.2, hal.676})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Vm &= \frac{4 \times m}{\dots f \cdot Di^2} = \frac{4 \times 0,01 \text{ kg/s}}{(992,1 \text{ kg/m}^3) \times (3,14) \times (0,0095 \text{ m})^2} \\
 &= \frac{0,04 \text{ kg/s}}{0,2811462 \text{ kg/m}} = 0,1422 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Bilangan Reynold dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$Re = \frac{Vm \times Dh}{\nu} \dots (\text{Lit.2, hal.676})$$

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{Vm \times Dh}{\nu} \\
 &= \frac{0,1422 \text{ m/s} \times 0,0095 \text{ m}}{0,725 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\
 &= \frac{0,001350}{0,725 \times 10^{-6}} = 1,862
 \end{aligned}$$

Angka Nusselt (Nu) dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$Nu = \frac{hDh}{K} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (\text{Lit.2, hal.676})$$

$$Nu = \frac{hDh}{K} = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} = \frac{0,023 \times 1,862^{0,8} \times (4,83)^{0,4}}{0,623}$$

Koefisien perpindahan kalor konveksi di dalam pipa (h<sub>i</sub>) dapat di hitung dengan persamaan berikut :

$$hi = \frac{K \times Nu}{Di} = \frac{0,623 \text{ W/m}^\circ\text{C} \times 17806}{0,0095 \text{ m}} = 11676 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Sedangkan perpindahan kalor konveksi di dalam pipa (h<sub>o</sub>) dapat di cari dari persamaan berikut :

Diameter hidrolis bagian luar pipa dalam selongsong (Dh) dapat dicari :

$$Dh = Do - Di = 0,015 \text{ m} - 0,0095 \text{ m} = 0,0055 \text{ m}$$

$$ho = \frac{K \times Nu}{Dh} = \frac{0,623 \text{ W/m}^\circ\text{C} \times 17806}{0,0055 \text{ m}} = 20169,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

**Koefisien** perpindahan kalor menyeluruh dapat dicari dari persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{\frac{1}{hi} + \frac{1}{ho}} = \frac{1}{\frac{1}{11676 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} + \frac{1}{20169,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}} \\
 &= \frac{1}{0,000085645 + 0,000049581} = 7395 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

**- Perhitungan laju perpindahan panas pada kondensator.**

Laju perpindahan panas pada kondensator tipe U tube dapat di hitung dengan persamaan:

$$Q = U \cdot A \cdot \text{LMTD} \dots\dots (\text{Lit 2, hal. 687})$$

Beda temperatur pada saluran masuk dan keluar kondensator adalah :

$$\Delta T_1 = Th_{in} - Tc_{out}$$

$$\Delta T_2 = Th_{out} - Tc_{in}$$

$$= 88,42^\circ C - 38,8^\circ C = 49,62^\circ C$$

$$= 33,79^\circ C - 29,67^\circ C = 4,12^\circ C$$

Beda temperatur rata-rata logaritma (LMTD) antara kedua fluida adalah :

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{Ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{49,62^\circ C - 4,12^\circ C}{Ln(49,62/4,12)}$$

$$= \frac{45,5^\circ C}{2,4885^\circ C} = 18,28^\circ C$$

$$Q = U \cdot A \cdot LMTD$$

$$= 7395 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} \times 0,07457 \times 18,28^\circ C$$

$$= 10.080 \text{ W} = 10,08 \text{ KW}$$

Kalor spesifik tekanan konstan (Cp) air pendingin pada temperatur rata-rata 0,5 . (38,8+29,37) °C = 34,08 °C/35 °C di dapat dari tabel air jenuh pada temperatur 35 °C, yaitu:

$$Cp = 4,178 \text{ (Kj/Kg} \cdot \text{°C)}.$$

Sehingga laju aliran massa air pendingin adalah:

$$m_{airpend} = \frac{Q}{Cp(Tc_{out} - Tc_{in})}$$

$$m_{airpend} = \frac{10080 \text{ Kj/s}}{4,178 \text{ kj/kg} \cdot \text{°C} (38,8^\circ C - 29,67^\circ C)}$$

$$= \frac{1008 \text{ kj/s}}{38,145 \text{ kj/kg}} = 264,2 \text{ kg/s}$$

Sedangkan laju aliran massa uap dapat di hitung dengan persamaan :

$$m_{uap} = \frac{Q}{hfg} \dots\dots\dots (\text{Lit 2, hal. 686})$$

Enthalpy penguapan air pendingin pada temperatur rata-rata (40<sup>0</sup>c/42.74<sup>0</sup>c) di dapat dari tabel air jenuh : hfg = 2407 kJ/kg.

$$m_{uap} = \frac{Q}{hfg} = \frac{10080 \text{ Kj/s}}{2407 \text{ kj/kg}} = 4,18 \text{ kg/s}$$

Jadi pada pengujian kedua, laju aliran massa air pendingin sebesar 264,2 kg/s dan laju aliran massa uap sebesar 4,18 kg/s.

Efiseensi Kondensor tipe U tube pada pengujian kedua bisa di hitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Ef. kond} = \frac{Q_{aktual}}{Q_{ideal}} \times 100\%$$

$$= \frac{Q_{vesel}}{Q_{kondensor}} \times 100\%$$

$$= \frac{10.080}{892,4} \times 100\% = 11,29\%$$

Berdasarkan perhitungan yang telah di lakukan maka, di dapat hasil sebagai berikut :

**Tabel 5.** Pengaruh LMTD terhadap efisiensi kondensor tipe U tube.

NO	PENGUJIAN	EFF	LMTD
1	Pengujian pertama	7,50%	14,04°C
2	Pengujian kedua	11,29%	18,28°C

Dari hasil tabel di atas, penulis akan melakukan analisa terhadap hasil perhitungan tersebut.

1. Pada perhitungan hasil pengujian pertama kondensor tipe U tube dengan efisiensi kondensor yang di hasilkan kurang baik, di buktikan melalui hasil perhitungan efisiensi yang di hasilkan adalah sebesar 7,50 %. Serta beda temperatur rata-rata logaritma (LMTD) adalah 14,04°C.
2. Sedangkan pada perhitungan hasil pengujian kedua kondensor tipe U tube efisiensi yang di hasilkan meningkat, di buktikan dengan hasil perhitungan efisiensi yang di dapat sebesar 11,29

%. Beda temperatur rata-rata logaritma (LMTD) adalah 18,28°C.



**Gambar 8.** Grafik pengaruh LMTD terhadap efisiensi kondensor

### Analisa Hasil Pengujian

Dari grafik 8. bisa kita lihat perbedaan dan selisih temperatur (LMTD) pada kondensor tipe U tube. Hal ini terbukti pada perhitungan pengujian pertama temperatur (LMTD) menunjukkan angka 14,04 °C. Dimana sebagai perbandingan pada pengujian kedua hasil perhitungan pada grafik menunjukkan angka 18,28 °C. Dalam hal ini bisa kita amati selisih peningkatan temperatur (LMTD) pada pengujian kedua adalah sebesar 4,24 °C terhadap hasil pengujian pertama, dikarenakan pada pengujian kedua debit aliran air pendingin di dalam kondensor lebih cepat di bandingkan dengan pengujian pertama.

Dari grafik 8. terlihat bahwa perbedaan Efisiensi yang sangat signifikan pada kondensor tipe U tube, terbukti pada grafik menunjukkan angka efisiensi  $Q$  vesel dibagi  $Q$  kondensor dari hasil perhitungan pengujian pertama 7,50 %. Dimana sebagai pembanding pada pengujian kedua hasil perhitungan pengujian pada grafik menunjukkan angka efisiensi 11,29 % dari pembagian  $Q$  vesel dibagi  $Q$  kondensor. Jadi efisiensi kondensor pada pengujian kedua terjadi peningkatan sebesar 3,79 %, karena perubahan debit aliran air pendingin sangat mempengaruhi kinerja dari kondensor.

Dari pengujian di atas dapat di simpulkan bahwa pada pengujian kedua efisiensi kinerja kondensor yang di dapatkan lebih baik dari pada pengujian pertama, karena perbedaan  $Q$  atau kalor pada kondensor yang di hasilkan lebih besar dari pengujian pertama.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan menggunakan kondensor tipe U tube, maka dapat di simpulkan dari hasil pengujian hasil kondensasi yang di dapat cukup baik yaitu 33°C - 34°C, tetapi temperatur yang di harapkan untuk di kembalikan ke vesel heat recovery masih terlalu rendah, Hal ini dikarenakan air pendingin pada kondensor tidak sebanding dengan laju perpindahan uap sisa dari heat recovery.
2. Pengujian dengan menggunakan dua perbandingan aliran air, dapat melihat perbandingan efisiensi kondensor dan perubahan temperatur (LMTD) pada kondensor.

### Saran

Dari kesimpulan di atas dapat disarankan sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik bagi peneliti dan perancangan berikutnya jumlah air pendingin di dalam kondensor harus di hitung lebih teliti lagi sebelum merancang kondensor.
2. Diharapkan agar rekan-rekan mahasiswa dapat melanjutkan percobaan ini dengan memperbaiki rancangan dan menghitung ulang, sehingga mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A. & Boles, Michael A., *Thermodynamics: An Engineering Approach*, New York, McGraw-Hill, 2007.
- Dong Fang Manufacture. 2009. *Manual For N - 16000 Condenser* : Dong Fang Manufacture.
- Holman, JP ,1995, “*Perpindahan Kalor*” Edisi keenam, penerbit Erlangga.
- Kern, D.Q. (1985),“*Process Heat Transfer*”,Tokyo: McGraw-Hill International Book Co.
- Standard of the Tubular Exchanger Manufactures Association Edisi ke tujuh.
- TM. Sitompul, 1993. *Heat Exchanger*. Jakarta : Raya grafindo.