

# OPTIMASI KONDENSOR SHELL AND TUBE BERPENDINGIN AIR PADA SISTEM REFRIGERASI NH<sub>3</sub>

Sobar Ihsan

Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Kalimantan MAAB Banjarmasin

[sobar.uniska@gmail.com](mailto:sobar.uniska@gmail.com)

## ABSTRAK

Jenis penukar kalor sangatlah beragam dan masing masing dirancang untuk memenuhi kebutuhan yang spesifik. Namun demikian jenis shell & tube sejauh ini merupakan jenis yang paling banyak dipergunakan berkat konstruksinya relatif sederhana dan memiliki keandalan karena dapat dioperasikan dengan beberapa jenis fluida kerja. Efek pendinginan yang dihasilkan dalam sistem refrigerasi tergantung dari efektivitas kinerja kondensor. Sementara, kinerja kondensor semakin lama akan menurun seiring dengan terjadinya fouling factor. Pada penelitian ini dilakukan analisis optimasi sistem termal pada kondensor shell and tube sebagai Alat Penukar Kalor (APK). Dari hasil optimasi kondensor shell and tube dengan menggunakan analisis full factorial yang di validasi dengan software Heat Transfer Research Inc (HTRI) dan disimulasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Didapat hasil optimum adalah diameter shell 720 mm, jumlah tube 192 buah, diameter tube 38.1 mm, panjang tube 3 m, beda temperatur rata-rata LMTD 8.86 K, dan dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh  $U$  1448.21 W/m<sup>2</sup>K. Dalam penentuan parameter temperatur desain kondensor sistem cooling-tower, harus mempertimbangkan kinerja cooling-tower dan perubahan temperatur udara.

Kata kunci: *kondensor, optimal, shell and tube*

## PENDAHULUAN

Kondensor merupakan komponen pendingin yang sangat penting yang berfungsi untuk memaksimalkan efisiensi pada mesin pendingin.

Pada kondensor ini, terjadi pelepasan kalor secara kondensasi dan kalor sensibel. Pada umumnya menggunakan kondensor tipe permukaan (*surface condenser*), tipe kondensor ini merupakan jenis *shell-tube* yang mana air pendingin disirkulasikan melalui *tube*.

Kondensor biasanya menggunakan sirkulasi air pendingin dari menara pendingin (*cooling tower*) untuk melepaskan kalor ke atmosfer, atau *once-through water* dari sungai, danau atau laut.

Kebanyakan aliran fluida kerja yang mengalir secara terus menerus di dalam alat penukar kalor (APK), setelah melampaui waktu operasi tertentu akan mengotori permukaan perpindahan panasnya. Deposit yang terbentuk di permukaan kebanyakan akan mempunyai konduktivitas termal yang cukup rendah sehingga akan mengakibatkan menurunnya besaran koefisien global perpindahan panas di dalam alat penukar kalor, akibatnya laju pertukaran energi panas di dalam APK menjadi lebih rendah.

Untuk memperoleh performan yang sebaik-baiknya maka alat penukar kalor harus dirancang dengan cara yang seksama dan seoptimal mungkin. Oleh karena itu penguasaan metode perancangan sebuah alat penukar kalor menjadi sangat penting karena akan memberikan kontribusi yang sangat besar kepada upaya peningkatan performance instalasi industri, yang berarti juga kepada upaya penghematan energi terutama di sektor industri.

Dari penelitian ini diharapkan mampu melakukan perancangan sebuah alat penukar kalor (APK) sesuai dengan standar yang berlaku dan melakukan optimasi performancinya sehingga dapat dihasilkan alat penukar kalor (APK) yang memiliki efektifitas yang tinggi.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Mempelajari Seberapa besar pengaruh faktor ukuran tube, jarak antar tube, dan bentuk susunan tube terhadap dimensi utama hasil design.
- Mengidentifikasi kondisi design paling ekonomis, yaitu desain yang kecil dengan biaya pembuatan yang murah.

## STUDI LITERATUR

### Alat Penukar Kalor *Shell and Tube*

Alat penukar kalor jenis *shell and tube* adalah alat penukar kalor yang paling banyak digunakan dalam berbagai macam industri dan paling sederhana dibanding dengan alat penukar kalor lainnya, hal ini karena:

- Hanya terdiri dari sebuah *tube* dan *shell*, dimana *tube* terletak secara konsentrik yang berada di dalam *shell*.
- Kemampuannya untuk bekerja dalam tekanan dan temperatur yang tinggi.
- Kemampuannya untuk digunakan pada satu aliran volume yang besar.
- Kemampuannya untuk bekerja dengan fluida kerja yang mempunyai perbedaan satu aliran volume yang besar.
- Tersedia dalam berbagai bahan atau material.
- Konstruksi yang kokoh dan aman.
- Secara mekanis dapat beroperasi dengan baik dan handal (*reliability* tinggi).

Pada jenis alat penukar kalor ini, fluida panas mengalir di dalam *tube* sedangkan fluida dingin mengalir di luar *tube* atau di dalam *shell*. Karena kedua aliran fluida melintasi penukar kalor hanya sekali, maka susunan ini disebut penukar kalor satu lintas (*single-pass*). Jika kedua fluida itu mengalir dalam arah yang sama, maka penukar kalor ini bertipe aliran searah (*parallel flow*) gambar 1. Jika kedua fluida itu mengalir dalam arah yang berlawanan, maka penukar kalor ini bertipe aliran lawan (*counter flow*).

### Prinsip kerja mesin pendingin

Prinsip kerja mesin pendingin adalah mengalirkan suatu bahan pendingin (refrigerant) pada suatu mesin pendingin, kemudian refrigeran menyerap panas di dalam evaporator dari udara atau media yang perlu didinginkan dan seterusnya uap refrigeran tersebut dikompresikan oleh kompresor menuju kondensor, dimana di dalam kondensor uap refrigeran terkondensasikan menjadi titik cairan refrigeran, dengan bantuan media pendingin yaitu air. Refrigeran yang berbeda di dalam sistem umumnya akan mengalami perubahan fase dari fase

gas ke fase cair dan sebaliknya dari fase cair ke fase gas selama siklus. Di dalam kompresor, refrigeran berupa uap dikompresikan sehingga tekanan dan temperaturnya naik, selanjutnya uap refrigeran itu terkondensasi di dalam kondensor menjadi cairan refrigeran yang bertemperatur rendah dan bertekanan rendah. Refrigeran yang bertekanan rendah dan bertemperatur rendah diekspansikan pada katup ekspansi masuk ke evaporator. Cairan dikurangi tekanannya agar menguap, sehingga cairan refrigeran tersebut berubah menjadi uap basah. Selanjutnya perubahan tersebut terjadi berulang-ulang selama siklus. Di dalam mesin pendingin ini jumlah refrigeran adalah tetap meskipun mengalami perubahan fase (bentuk), sehingga di dalam sistem tidak perlu adanya penambahan refrigeran kecuali pada instalasi mengalami kebocoran.

### Perancangan sebuah alat penukar kalor jenis *shell & tube*

- Laju perpindahan energi panas yang diterima oleh aliran fluida dingin :

$$Q_c = m_c \cdot c_{pc} (T_{co} - T_{ci})$$

- Temperatur aliran keluar,  $T_{ho}$  :

$$Q_h = m_h \cdot c_{ph} (T_{hi} - T_{ho})$$

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

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

- Faktor untuk koreksi konfigurasi *shell & tube* :

$$F_c = \frac{\sqrt{(R^2 + 1)} \cdot \{P + 1\}}{(R + 1) \ln \frac{P}{R}}$$

- Perhitungan luas permukaan perpindahan panas total,  $A_{total}$

$$A_o = \pi d_o L N_t$$

- Perhitungan diameter *shell* ( $D_s$ )

$$D_s = 0.637 \left( \frac{Cl}{CT_p} \right)^{0.5} \left( \frac{A (PR)^2 d_o}{L} \right)^{0.5}$$

- Perhitungan diameter jumlah *tube* ( $N_t$ )

$$N_t = 0.785 \left( \frac{CT_p}{Cl} \right) \frac{D_s^2}{(PR)^2 (d_o)^2}$$

- Koefisien global perpindahan panas ( $U$ )

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + \frac{d_o}{k} + \frac{r_o \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{k}$$

### Kondensor

*Kondensor* adalah suatu alat untuk merubah bahan pendingin dari bentuk gas menjadi cair. Bahan pendingin dari *kompresor* dengan suhu dan tekanan tinggi, panasnya keluar melalui permukaan rusuk-rusuk kondensor ke fluida pendingin yaitu air. Sebagai akibat dari kehilangan panas, bahan pendingin gas mula-mula didinginkan menjadi gas jenuh, kemudian mengembun berubah menjadi cair. *Kondensor* ada 3 macam menurut cara pendinginannya, yaitu:

1. *Kondensor* dengan media pendingin udara (*air cooled*)
2. *Kondensor* dengan media pendingin air (*water cooled*)
3. Dengan media pendingin campuran udara dan air (*evaporative kondensor*)

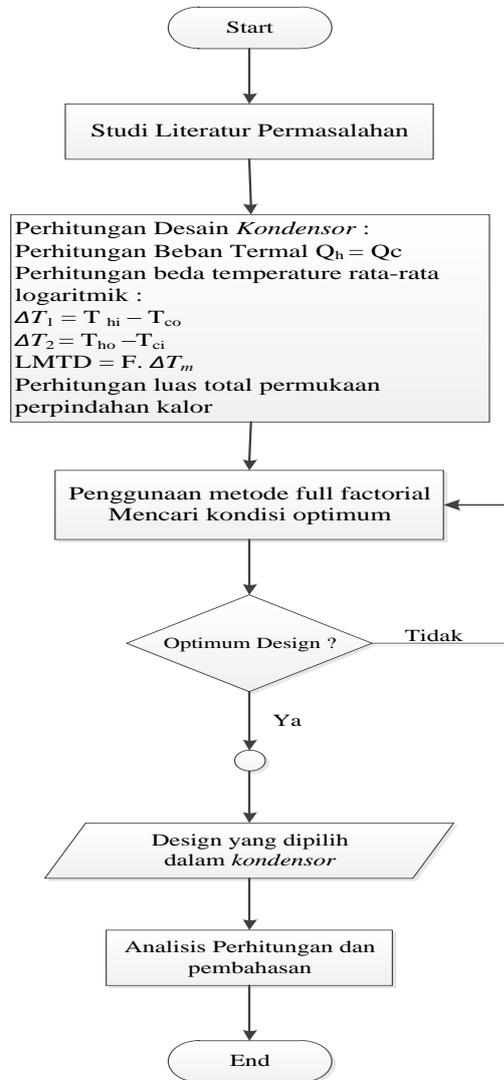
*Kondensor* berpendingin air yang digunakan terdiri dari koil pipa pendingin di dalam tabung yang dipasang pada posisi horizontal.

Ciri-ciri kondensor pendingin air adalah sebagai berikut:

- a) Memerlukan pipa air pendingin, pompa air, dan penampung air.
- b) Dapat mencapai kondisi dingin karena tidak terpengaruh terhadap suhu luar.
- c) Bentuknya sederhana (horizontal) dan mudah pemasangannya.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengikuti langkah-langkah pada bagan alur dibawah :



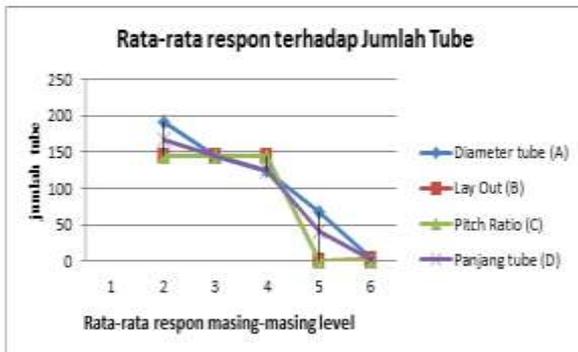
Dengan menggunakan metode eksperimen *Full Factorial* dapat dibuatkan Tabel yang memuat jumlah variabel/faktor dari eksperimen dan level yang berkaitan.

Tabel 1. Variabel bebas dan Level Eksperimen

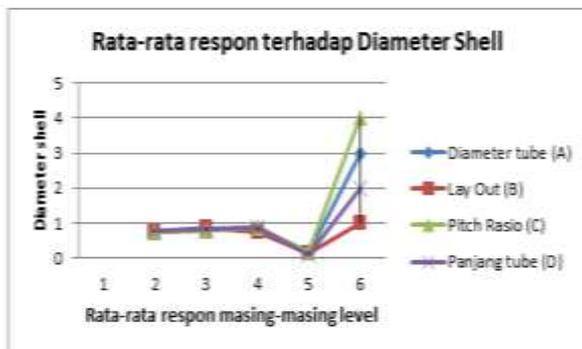
Kode	Variabel Bebas	Level 1	Level 2	Level 3
A	Diameter Tube, (d <sub>t</sub> , mm)	38.1	44.45	50.8
B	Susunan Tube Lay out, (CL, °)	30	45	60
C	Jarak antar Tube Pitch Ratio, (PR)	1.25	1.35	1.50
D	Panjang Shell (L, m)	3	3.5	4

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis data dan pengolahan data dengan menggunakan metode eksperimen *full factorial*, maka dapat diidentifikasi bahwa kondisi desain yang terbaik, yang memberikan hasil desain paling optimum atau paling ekonomis dengan jumlah *tube* yang paling sedikit adalah kondisi desain C3 (*jarak antar tube PR 1.5*), B1 (*susunan antar tube CL, 30°*), D3 (*Panjang tube 5 m*), dan A3 (*diameter tube  $d_o$ , 38.1 mm*).



Grafik 1. Pengaruh rata-rata respon masing-masing level terhadap jumlah *tube*



Grafik 2. Pengaruh rata-rata respon masing-masing level terhadap Diameter *Shell*

Dari hasil perhitungan kondisi optimum dengan program HTRI diperoleh perbandingan antara perhitungan teoritis dengan simulasi yang dilakukan oleh HTRI, perbandingan diantara keduanya dapat dibuatkan tabel.

Tabel 2. Perbandingan data desain kondisi optimum antara teoritis (*Full Factorial Eksperimen*) dan simulasi dengan Program HTRI

No	Parameter /dimensi	Symbol	Desain awal	HTRI	Satuan
1	Diameter Shell	$D_s$	720	720	mm
2	Panjang	$L$	3	3	m
3	Jumlah Tube	$N_t$	192	192	Buah
4	Diameter tube	$d_o$	38.1	38.1	mm
5	Temperatur $NH_3$ masuk	$T_{hi}$	77	°C	°C
6	Temperatur $NH_3$ keluar	$T_{ho}$	35	°C	°C
7	Temperatur Air Masuk	$T_{ci}$	26	°C	°C
8	Temperatur Air Keluar	$T_{co}$	55	°C	°C
9	Laju Aliran Massa Air	$m_w$	14.82	14.82	kg/s
10	Laju Aliran Massa $NH_3$	$m_{NH_3}$	1.68	1.68	kg/s
11	LMTD	$\Delta T_{LMTD}$	13.08	13.05	°C
12	Tekanan masuk shell	$IP_s$	20.2	20.200	kPa
13	Tekanan masuk tube	$IP_t$	202	202.003	kPa
14	Pressure drop shell	$\Delta P_s$	5.72	2.25	kPa
15	Pressure drop tube	$\Delta P_t$	3.02	2.97	kPa
16	Pitch Ratio	PR	1.25	1.25	-
17	Susunan antar tube	CL	60	60	Derajat
18	Jumlah OnePass	CTP	0.93	0.93	-

Berdasarkan hasil perhitungan kondisi optimum dengan menggunakan perhitungan eksperimental *full factorial* dibandingkan dengan simulasi program HTRI memiliki hasil yang mendekati sama seperti menggunakan metode eksperimen *full factorial* atau dengan kata lain secara teoritis. Perbedaan hal ini terjadi dikarenakan masalah inputan dan proses numerik di dalam program persamaan analitik sederhana maupun dengan menggunakan program HTRI.

Dari hasil analisa yang telah dilakukan secara manual dengan mengambil data secara langsung pada PT. Wirontono Baru dapat diketahui spesifikasi suhu yang didapat saat pendinginan pada temperatur air masuk  $T_{ci}$  26 °C, dan temperatur air keluar  $T_{co}$  55 °C serta saat temperatur fluida amoniak masuk  $T_{hi}$  77 °C, dan temperatur amoniak keluar  $T_{ho}$  35 °C. Dengan efisiensi sistem pemindah panas sebesar 50.16 %

Setelah dilakukan analisa dengan menggunakan metode eksperimen *full faktorial* dan dimasukkan dalam program HTRI maka didapatkan pressure drop yang terjadi antara perhitungan 5.72 kpa dengan aktual dalam simulasi 2.25 kpa, tidak terlalu signifikan atau tidak jauh beda, hal ini menandakan kesesuaian antara simulasi dengan perhitungan, sedangkan overdesign terjadi sekitar 17.79%. pressure drop diperlukan sebagai indikasi penurunan tekanan selama terjadi pendinginan atau

perpindahan panas. Berkaitan dengan aliran yang terjadi pada saat memindahkan panas atau mendinginkan fluida aliran yang terjadi pada design yang baik tidak mengalami perbedaan yang signifikan dan juga tidak terlalu lambat, yang dapat menyebabkan pengotoran (*fouling*) dalam jangka waktu tertentu. Setelah terjadi *fouling* maka proses pendinginan menjadi tidak efektif.

Jika pada desain utama yang yang sekarang sedang diaplikasikan pada PT. Wirontono Baru banyak *tube* adalah 124 buah, sedangkan setelah dilakukan redesain dengan menggunakan HTRI didapatkan 192 *tube*, dengan diameter *shell* 720 mm, dan panjang *tube* 3 m.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan mengenai optimasi kondensor tipe shell and tube pada mesin pendingin sebagai berikut :

1. Dari data awal spesifikasi alat penukar kalor kondensor tipe shell and tube dengan ukuran diameter *shell* 929 mm, panjang *tube* 3.5 m, diameter *tube* 50.8 mm, dan jumlah *tube* 124 buah, dirasa masih kurang optimum yang mengakibatkan menurunnya besaran koefisien perpindahan panas menyeluruh di dalam alat penukar kalor, akibatnya laju pertukaran energi panas di dalam Alat Penukar Kalor menjadi lebih rendah.
2. Setelah dilakukan redesain dengan menggunakan metode eksperimen *full faktorial* didapatkan hasil desain yang optimum dan divalidasi dengan program HTRI dimana diameter *shell* 720 mm, panjang *tube* 3 m, diameter *tube* 38.1 mm, dan jumlah *tube* 192 buah yang memberikan perpindahan panas dengan nilai koefisien perpindahan  $U$  sebesar  $1448.21 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
3. Pengaruh rata-rata masing-masing faktor terhadap jumlah *tube*
  - a) *Ukuran tube* diameter 38.1 mm, memberikan pengaruh yang lebih baik dari pada dua *ukuran tube* lainnya di mana

memberikan perpindahan panas yang besar dengan nilai koefisien perpindahan  $U$  sebesar  $1448.21 \text{ W/m}^2\text{K}$  hasil desain dengan jumlah *tube* sebesar 192.6 *tube*.

- b) Faktor susunan antar *tube layout* (CL), memiliki nilai yang sama sehingga didalam desain alat penukar kalor ini *layout* tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap jumlah *tube* yang didesain.
  - c) Faktor *Pitch Ratio* (PR), memiliki nilai yang sama sehingga didalam desain alat penukar kalor ini *Pitch Ratio* tidak memiliki pengaruh yang berarti kepada jumlah *tube* di alat penukar kalor yang didesain.
  - d) Sedangkan pada *Panjang tube* 3 m memberikan pengaruh yang lebih baik dari pada kedua *Panjang tube* yang lainnya
4. Pengaruh rata-rata masing-masing faktor terhadap diameter *shell*
- a) *Ukuran tube* diameter 38.1 mm, memberikan pengaruh yang lebih baik dari pada dua *ukuran tube* lainnya di mana memberikan hasil desain dengan dimensi yang paling ekonomis yaitu diameter *shell* yang terkecil yaitu 720 mm.
  - b) Susunan antar *tube layout*  $30^\circ$  dan  $60^\circ$  (*konstanta* 0.87), memberikan pengaruh yang lebih baik dari pada susunan antar *tube layout*  $45^\circ$ , di mana memberikan hasil desain dengan dimensi yang paling ekonomis yaitu diameter *shell* yang terkecil sebesar 720 mm.
  - c) Jarak antar *tube Pitch rasio* 1.25 memberikan pengaruh yang lebih baik dari pada dua jarak antar *tube Pitch ratio* lainnya di mana memberikan hasil desain dengan dimensi yang paling ekonomis yaitu diameter *shell* yang terkecil yaitu 720 mm.
  - d) Sedangkan *panjang tube* 3 m memberikan pengaruh yang lebih baik dari pada kedua *Panjang tube* yang lainnya dimana memberikan hasil desain dengan dimensi yang paling ekonomis.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Cengel, Y.A., Boles, M.A., *Thermodynamics: an engineering approach*, 3rd ed, McGrawHill. 1999.
2. Frank Kreith, Arko Prijono M.Sc. 1997. *Prinsip-prinsip perpindahan panas*. Jakarta.: Erlangga.
3. Frank M. White. 1996. *Mekanika Fluida Edisi kedua jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
4. Stocker, Supratman Hara.1992. *Refrigerasi dan pengkondisian Udara*. Jakarta: Erlangga.
5. Frank Kreith, William Z. Black. 1980. *Basic Heat Transfer*. America. Harper & Row.
6. Yogesh Jaluria. 2008. *Design and Optimization of Thermal Systems*. Francis. CRC Press.
7. Tuakia, Firman, 2008, *Dasar-Dasar CFD Menggunakan FLUENT*, Bandung: Informatika.
8. Jurnal. Usman ur rehman. 2011. *Heat Transfer Optimization of Shell-and-Tube Heat Exchanger through CFD Studies*. Chalmers university of technology.
9. Jurnal. Wen-Quan Tao 2010. *A Design and Rating Method for Shell-and-Tube Heat Exchangers With Helical Baffles*. Xi'an Jiaotong University.
10. Jurnal. Ratiko 2012. *Optimasi multi objektif sistem pendingin Pada ruang penyimpanan bahan bakar nuklir Bekas tipe vault*. Pusat Teknologi BATAN.