

Analisa Penukar Panas Ringkas pada Kondensor di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap

I Made Oka Nugraha, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan A.A.I.A.S. Komaladewi

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengubah ukuran Kondensor pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap yang memiliki ukuran awal sangat besar menjadi ringkas dan tetap memiliki performansi dalam hal ini adalah efektivitas dari kondensor itu sendiri tetap atau lebih baik. Penelitian ini menggunakan teori keefektifitasan NTU dan untuk mendapatkan dimensi dari penukar panas, pada penelitian ini menggunakan pemrograman komputer dengan bahasa program Python untuk melakukan perhitungan iterasi agar mendapatkan dimensi kondensor yang ringkas namun memiliki kinerja yang lebih baik. Berdasarkan data yang didapatkan, penelitian ini memperoleh desain penukar panas yang paling ringkas. Dimensi dari penukar panas ini adalah 1ft x 2ft x 5ft. dimensi ini sangatlah ringkas dimana volume total yang didapatkan kurang dari 50ft³. Sedangkan nilai luasan perpindahan panas per volume (β) ialah 367,62 ft²/ft³ yang dimana sudah memenuhi persyaratan ($\beta > 213,35$ ft²/ft³).

Kata kunci: Penukar panas ringkas, condenser, pemrograman

Abstract

This study aims to change the size of the Condenser in Gas and Steam Power Plants which has a very large initial size to be concise and still have performance in this case is the effectiveness of the condenser itself is fixed or better. This study uses the theory of effectiveness of NTU and to get the dimensions of the heat exchanger, in this study using computer programming with the Python program language to do iteration calculations to get a condenser dimension that is concise but has better performance. Based on the data obtained, this study obtained the most concise heat exchanger design. The dimensions of this heat exchanger are 1ft x 2ft x 5ft. this dimension is very concise where the total volume obtained is less than 50ft³. While the value of the area of heat transfer per volume (β) is 367.62 ft² / ft³ which meets the requirements ($\beta > 213.35$ ft² / ft³).

Keywords: Compact heat exchanger, condenser, programming

1. Pendahuluan

Listrik merupakan sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia, Kebutuhan listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, Untuk memenuhi kebutuhan listrik di Jakarta, daya pembangkitan di PLTGU Tanjung Priok harus ditingkatkan, akan tetapi kebutuhan lahan pengembangan yang menjadi kendala karena PLTGU Tanjung Priok yang berlokasi dipinggir pantai. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas alat penukar kalor adalah dengan mengubah menjadi bentuk yang ringkas. Kondensor merupakan salah satu komponen utama pada sistem pembangkit listrik dan merupakan komponen penukar kalor yang sangat penting. Namun Kondensor yang di gunakan pada PLTGU Tanjung Priok memiliki dimensi yang sangat besar dan tentu saja hal tersebut akan berpengaruh terhadap efektivitas yang di hasilkan. Maka dari itu penulis ingin menganalisa Kondensor yang ada di PLTGU Tanjung Priok tersebut agar bisa menghasilkan efektivitas yang lebih baik namun dengan dimensi yang lebih ringkas.

Dalam hal ini maka ada permasalahan yang akan dikaji bagaimana cara me-redesain compact heat exchanger pada kondensor di PLTGU Tanjung

Priok dengan menggunakan program komputer namun memiliki kinerja yang sama atau lebih baik dari kondensor yang ada sebelumnya.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perhitungan komputasi dan analisa dilakukan berdasarkan pada perpindahan panas dan termodinamika yang terjadi pada kondenser.
2. Kinerja yang dibahas adalah efisiensi sirip, efektivitas kondensor dan penurunan tekanan yang terjadi
3. Tidak membahas kekuatan material dan bahan
4. Tidak memperhitungkan *fouling factor*.

2. Dasar Teori

Penukar panas ringkas atau yang biasa disebut *Compact heat exchangers* (CHEs) adalah teknologi yang sudah biasa digunakan seperti dalam industri otomotif, *aerospace* dan lainnya. CHEs juga dapat di artikan sebagai penukar panas yang memiliki luasan penukaran panas tinggi. sirip (FIN) merupakan hal khusus dari sebuah CHEs. Sirip disini berfungsi untuk menambah luas perpindahan panas pada CHEs, sehingga dengan desain yang ringkas CHEs akan tetap mendapatkan kinerja penukaran panas

yang sama dengan *heat exchangers* awal yang memiliki dimensi yang lebih besar.

Total keefisienan sirip dapat dihitung dengan persamaan [1]:

$$\eta_o = 1 - \frac{A_f}{A_o}(1 - \eta_f) \quad (1)$$

$\frac{A_f}{A_o}$ = Luasan sirip per luasan perpindahan panas total

η_f = Efisiensi 1 sirip

Sedang bila untuk mengetahui unjuk kerja suatu penukar panas akan lebih mudah bila dipakai melalui metode keefktifitasan NTU. NTU sendiri didefinisikan sebagai [1]:

$$NTU = \frac{U \cdot \alpha \cdot V_{total}}{C_{min}} \quad (2)$$

U = Koefisien Perpindahan Panas Total (BTU/hr.ft².°F)

α = Luas Perpindahan Panas Total per Volume Total

Apabila nilai dari NTU didapatkan, mencari efektivitas penukar panas ringkas dapat dilakukan dengan persamaan [2]:

$$\varepsilon_l = 1 - \exp\left(\frac{1}{Cr}\right) \cdot (NTU)^{0.22} \cdot \{\exp[-Cr \cdot (NTU)^{0.78}] - 1\} \quad (3)$$

Cr = Rasio Laju Kapasitas

Dalam metode ini, untuk mendapatkan *pressure drop* dari sebuah alat penukar panas dapat dihitung sesuai dengan persamaan yang dijelaskan [1] yaitu:

$$\Delta P = \frac{G^2 \cdot v_1}{2gc} \cdot [(Kc + 1 - \sigma^2) + 2 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} - 1\right) + f \cdot \frac{A}{Ac} \cdot \frac{vm}{v_1} - (1 - \sigma^2 - Ke) \cdot \frac{v_2^2}{v_1}] \quad (4)$$

G = Mass Flux (lbm/hr.ft²)

gc = Percepatan Gravitasi (ft/hr²)

v = Volume Spesifik (ft³/lbm)

3. Metode Penelitian

Penelitian ini memakai metode keefktivitasan-NTU agar memperoleh nilai performansi *condenser* yang di maksud adalah keefktivitasan dan *pressure drop* yang terjadi. Mengenai alasan memakai metode efektivitas-NTU adalah karena penelitian ini bertujuan untuk mendesain suatu penukar panas. Apabila penukar panas sudah memiliki hasil, maka analisa harus memakai metode *log mean temperature difference* (LMTD) [4].

Sedangkan untuk memperoleh dimensi penukar panas ringkas dan melakukan perhitungan secara matematis, penelitian ini memakai aplikasi *PyCharm IDE* dengan bahasa pemrograman *Python*.

Analisa piranti lah yang sering di gunakan pada Penelitian ini. Adapun Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memasukan data input lapangan
Thi, Tho, \dot{m}_{gas} , Ph, Tci, Tco, \dot{m}_{water} , \dot{m}_{uap} , Pc
2. Mencari sifat air dan gas berdasarkan ΔT fluida
 μ , k, Pr, Cp, ρ
3. Mencari harga pertukaran panas dan harga keefktivitasan boiler awal
4. Mencari parameter lain yang dibutuhkan
5. Memasukan data yang di dapatkan ke program komputer (*PyCharm IDE*)
6. Memulai proses iterasi yang dilakukan secara komputional
7. Mendapatkan dimensi *compact heat exchanger* dan nilai properties dari *compact heat exchanger*

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan data dari fluida kerja pada *kondenser* di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap, adapun data tersebut ialah:

1. Fluida Panas

Thi = 330 °F
Tho = 210 °F
 \dot{m}_h = 13.792 lbm/hr
Ph = 30 Psig

2. Fluida Dingin

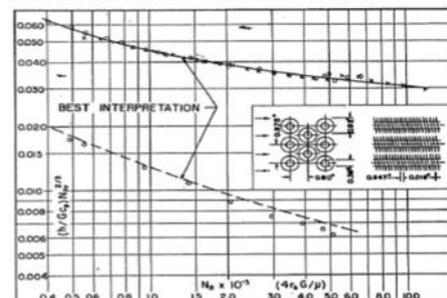
Tci = 85 °F
Tco = 170 °F
 \dot{m}_c = 91.278 lbm/hr
Pc = 2 Psig

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan properti laju kapasitas pada kedua fluida, didapatkan keefktivitas *kondensor* yang ada saat ini ialah 0,48 atau 48%.

4.1. Spesifikasi Pipa dan Sirip

Spesifikasi pipa dan sirip yang digunakan dalam mendesain penukar panas ringkas dalam penelitian ini menggunakan *surface CF-8.72* [1]. Adapun spesifikasi yang digunakan ialah:

Fig. 10-76. Finned circular tubes, surface CF-8.72.



Tube outside diameter = 0.38 in.
Fin pitch = 8.72 per in.
Flow passage hydraulic diameter, $4r_s = 0.01288$ ft
Fin thickness (average)* = 0.018 in., aluminum
Free-flow area/frontal area, $\sigma = 0.524$
Heat transfer area/total volume, $\alpha = 163$ ft²/ft³
Fin area/total area = 0.910

Note: Experimental uncertainty for heat transfer results possibly somewhat greater than the nominal ±5% quoted for the other surfaces because of the necessity of estimating a contact resistance in the bi-metal tubes.

* Fins slightly tapered.

Gambar 1. Spesifikasi Pipa dan Sirip

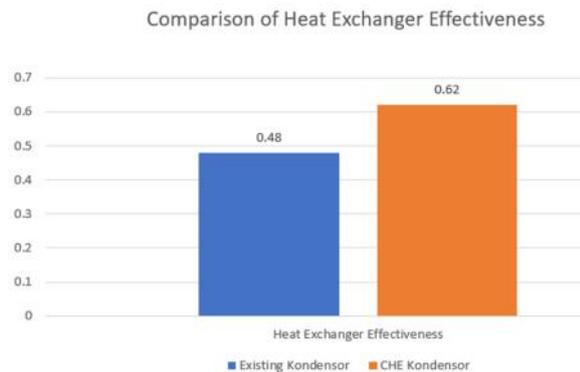
4.2. Keefesiensian Sirip

Berdasarkan persamaan (1) keefesiensian pada 1 sirip ialah 0,852 atau 85,2% sehingga keefesiensian sirip total ialah 0,865 atau 86,5%. Harga dari keefesiensian sirip total ini ialah sangat tinggi dimana hal ini berdampak baik pada perpindahan panas yang akan terjadi pada penukar panas ringkas.

Menurut persamaan [3] mendefinisikan efisiensi sirip sebagai perbandingan antara harga h di permukaan tabung terhadap harga h di $x = L$. sehingga pada tabung polos, efisiensi ini sama dengan 100%, sebab h pada $x = L$ adalah sama dengan h pada permukaan tabung.

4.3. Keefektivan Penukar Panas Ringkas

Dengan menggunakan persamaan (2) didapatkan harga dari *Number of Heat Transfer Unit* sebesar 2,1. Dengan didapatkannya harga dari NTU, maka keefektivitasan dari penukar panas ringkas ini dapat ditentukan. Dengan menggunakan persamaan (3), nilai keefktivitasan penukar panas ringkas sendiri adalah sebesar 0,62 atau 62%. Dimana nilai keefktivitasan ini lebih besar dibandingkan dengan keefktivitas pada *kondenser* sebelumnya. Perbandingan dari keefktivitas kondensor dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan Keefktivitasan Kondensor

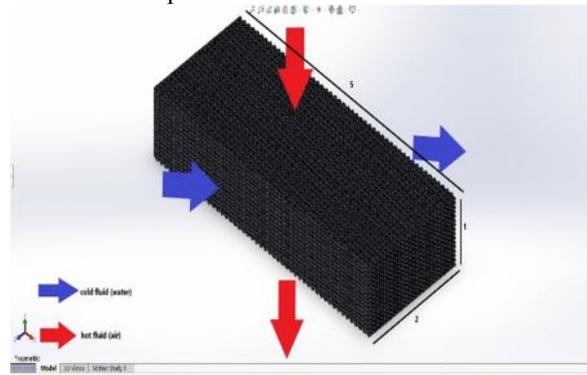
4.4. Kondensor Pressure Drop

Pada penelitian ini, penukar panas terjadi memiliki sifat *cross flow both fluid unmixed*. Oleh karena itu digunakan persamaan (4) untuk menentukan *pressure drop* yang terjadi. *Pressure drop* terjadi sebesar 0,1034 Psig pada sisi fluida panas, dimana *pressure drop* ini sangatlah kecil sehingga daya yang di timbulkan tidak mempengaruhi kinerja dari penukar panas.

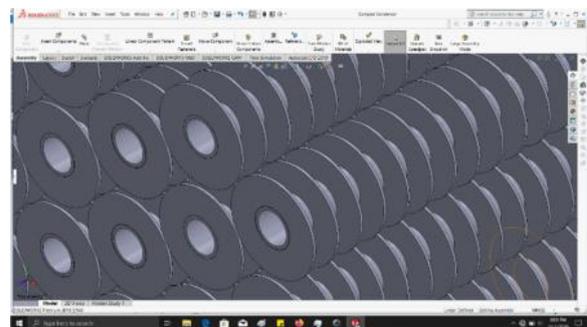
4.4. Desain Penukar Panas Ringkas

Penelitian ini dilangsungkan untuk mendapatkan desain penukar panas ringkas yang paling ringkas dengan cara perhitungan iterasi. Perhitungan iterasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi *PyCharm IDE* yang dilakukan sebanyak 1000 kali perhitungan (dikarenakan ditentukan batas

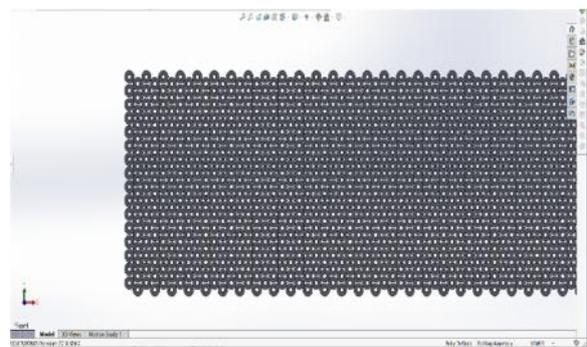
minimal pada satu sisi ialah 1ft sampai 10ft). Adapun ukuran dari penukar panas yang didapat ialah 1ft x 2ft x 5ft dengan volume total ialah 10ft³. Desain dari penukar panas dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 6.



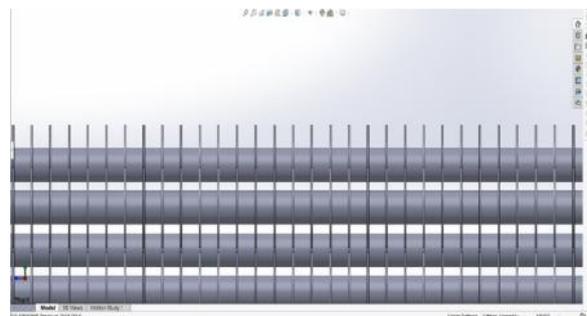
Gambar 3. Desain Penukar Panas Ringkas



Gambar 4. Desain Sirip dan Pipa



Gambar 5. Pipa disusun secara Staggered



Gambar 6. Sisi Samping Pipa dan Sirip

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah bentuk penukar panas telah memenuhi persyaratan Compact Heat Exchanger, karena memiliki persyaratan sebagai berikut:

1. Keefektivitasan pada penukar panas ringkas meningkat, hal ini dikarenakan penambahan sirip yang berfungsi sebagai *extended surfaces of heat exchanger*.
2. Penelitian ini memperoleh ukuran penukar panas ringkas sebesar 1ft x 2ft x 5ft dengan volume perpindahan panas total sebesar 10ft³.
3. Penurunan tekanan yang terjadi pada penukar panas ringkas ini sebesar 0,1034 Psig yang dimana penurunan tekanan yang tidak berpengaruh.
4. Terdapat total jumlah pipa sebanyak 1600 pipa dan total jumlah sirip sebanyak 348.800 buah pada kondesor.

Daftar Pustaka

- [1] W. M. Kays, A. L. London, 1964, *Compact Heat Exchanger*, McGraw Hill, New York.
- [2] Kern, D. O, 1983, *Process Heat Transfer, International Student Edition*, John Wiley & Sons, Hoboken. Japan: Mc.Graw Hill International Company.
- [3] Hammock, G. L., 2011, *Staggered Tube Heat Exchanger Analysis for High Enthalpy Flows*, Knoxville: University of Tennessee.
- [4] W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho, 1998, *Handbook of Heat Transfer (Third Edition)*, McGraw-Hill, New York.



I Made Oka Nugraha menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan perpindahan panas dan termodinamika.