

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

Heikal Tamarendra, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma dan I N. Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini berupaya untuk membuat ukuran boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap yang semula ukurannya sangat besar menjadi ringkas akan tetapi performansi dalam hal ini adalah efektivitas dari boiler itu sendiri tetap atau dapat ditingkatkan. 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 iterasi agar mendapatkan dimensi yang ringkas namun memiliki kinerja yang tinggi. Berdasarkan data yang diperoleh, penelitian ini mendapatkan desain penukar panas yang paling ringkas. Dimensi dari penukar panas ini ialah 2ft x 2ft x 9ft. dimensi ini sangatlah ringkas dimana volume total yang didapatkan kurang dari 50ft³. Sedangkan nilai luasan perpindahan panas per volume (β) ialah 252,56 ft²/ft³ yang dimana sudah memenuhi persyaratan ($\beta > 213,35$ ft²/ft³).

Kata kunci: Penukar panas ringkas, ketel uap, pemrograman

Abstract

This study seeks to make the size of the boiler in a Gas and Steam Power Plant which was originally very large in size to be compact but the performance in this case is the effectiveness of the boiler itself remains or can be improved. This study uses the NTU effectiveness theory and to get the dimensions of the heat exchanger, in this study using computer programming with the Python programming language to iterate to get a compact dimension but has high performance. Based on the obtained data, this study obtained the most compact heat exchanger design. The dimensions of this heat exchanger are 2ft x 2ft x 9ft. This dimension is very compact where the total volume obtained is less than 50ft³. While the value of the heat transfer area per volume (β) is 252.56 ft²/ft³ which meets the requirements ($\beta > 213.35$ ft²/ft³).

Keywords: Compact heat exchanger, boiler, programming

1. Pendahuluan

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas alat penukar kalor adalah dengan mengubah menjadi bentuk yang ringkas. Boiler merupakan salah satu komponen utama pada sistem pembangkit listrik dan merupakan komponen penukar kalor yang sangat penting. Namun boiler yang di gunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap memiliki dimensi yang sangat besar dan tentu saja hal tersebut akan berpengaruh terhadap efektivitas yang di hasilkan. Prinsip kerja pada boiler sendiri ialah dengan cara memanaskan air sehingga berubah fase menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*). Selanjutnya uap panas lanjut tersebut dialirkan ke sistem turbin uap sehingga memutar turbin uap dan selanjutnya menghasilkan listrik. Dengan menggunakan parameter fluida dalam boiler seperti temperatur, tekanan dan laju aliran massa, penelitian *redesign compact boiler* dapat dilakukan. Dikarenakan dimensi boiler menjadi lebih kecil atau lebih ringkas namun memiliki kinerja yang sama, efisiensi *compact boiler* akan lebih tinggi.

Dalam hal ini maka ada permasalahan yang akan dikaji, yaitu bagaimana cara mendesain ulang sistem boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap dengan pemrograman komputer agar memiliki desain yang lebih ringkas (*compact boiler*) namun memiliki kinerja yang sama atau dapat ditingkatkan dengan yang ada saat ini.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perhitungan komputasi dan analisa dilakukan berdasarkan pada perpindahan panas dan termodinamika yang terjadi pada boiler.
2. Kinerja yang dibahas ialah efektivitas boiler dan penurunan tekanan yang terjadi.
3. Tidak membahas bahan dan kekuatan material.
4. Tidak memperhitungkan *fouling factor*.

2. Dasar Teori

Compact heat exchangers (CHEs) atau yang bisa disebut penukar panas ringkas ialah teknologi yang sudah lama diterapkan seperti dalam industri otomotif, *aerospace* dan lain sebagainya. CHEs juga bisa didefinisikan sebagai penukar panas yang memiliki luasan penukaran panas tinggi. *Fin* (sirip) merupakan ciri khas dari sebuah CHEs. Sirip disini bertujuan untuk meningkatkan luas perpindahan panas pada CHEs, sehingga walaupun memiliki desain yang ringkas CHEs memiliki kinerja penukaran panas yang sama dengan *heat exchangers* yang sejenis yang memiliki dimensi yang lebih besar.

Keefisienan sirip total dapat dihitung dengan persamaan [1]:

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

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

$$\eta_f = \text{Efisiensi 1 sirip}$$

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]:

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

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:

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

G = Mass Flux (lbm/hr.ft²)

gc = Percepatan Gravitasi (ft/hr²)

v = Volume Spesifik (ft³/lbm)

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode keefktivitasan-NTU untuk mendapatkan nilai performansi *boiler* yang dimana dalam hal ini adalah keefktivitasan dan penurunan tekanan yang terjadi. Adapun alasan menggunakan metode efektivitas-NTU ialah karena penelitian ini mendesain suatu penukar panas. Apabila penukar panas sudah terealisasikan, maka analisa harus menggunakan metode *log mean temperature difference* (LMTD) [4].

Sedangkan untuk mendapatkan ukuran penukar panas ringkas dan melakukan perhitungan secara matematis, penelitian ini menggunakan aplikasi *PyCharm IDE* dengan bahasa pemrograman *Python*.

Analisa ini lebih banyak menggunakan analisa piranti yang digunakan. Adapun prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memasukan parameter penelitian
Thi, Tho, m_{methane}, Ph, Tci, Tco, m_{water}, 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 persamaan-persamaan yang diperlukan ke program komputer (*PyCharm IDE*)
6. Menjalankan 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 *boiler* di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap, adapun data tersebut ialah:

1. Fluida Panas

Thi = 355 °F
Tho = 185 °F
m_h = 15.873 lbm/hr
Ph = 35 Psig

2. Fluida Dingin

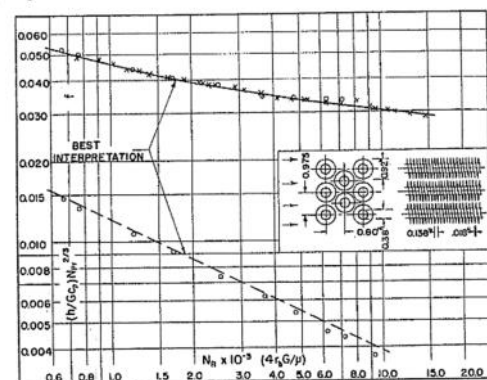
Tci = 95 °F
Tco = 145 °F
m_c = 95.238 lbm/hr
Pc = 1,8 Psig

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan properti laju kapasitas pada kedua fluida, didapatkan keefktivitas *boiler* yang ada saat ini ialah 0,65 atau 65%.

4.1. Spesifikasi Pipa dan Sirip

Spesifikasi pipa dan sirip yang digunakan dalam mendesain penukar panas ringkas dalam penelitian ini menggunakan *surface CF-7.34* [1]. Adapun spesifikasi yang digunakan ialah:

Fig. 10-75. Finned circular tubes, surface CF-7.34.



Tube outside diameter = 0.38 in.
Fin pitch = 7.34 per in.
Flow passage hydraulic diameter, $4r_h = 0.0154$ ft
Fin thickness (average)* = 0.018 in., aluminum
Free-flow area/frontal area, $\sigma = 0.538$
Heat transfer area/total volume, $\alpha = 140$ ft²/ft³
Fin area/total area = 0.892

Gambar 1. Spesifikasi Pipa dan Sirip

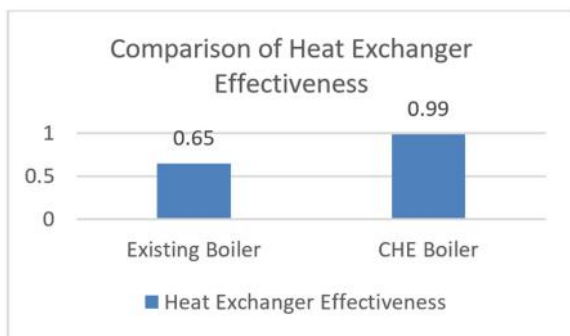
4.2. Keefesiensian Sirip

Berdasarkan persamaan (1) keefesiensian pada 1 sirip ialah 0,823 atau 82,3% sehingga keefesiensian sirip total ialah 0,842 atau 84,2%. 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 [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 6,76. Dengan didapakkannya harga dari NTU, maka keefektivitasan dari penukar panas ringkas ini dapat ditentukan. Dengan menggunakan persamaan (3), nilai keefktivitasan penukar panas ringkas sendiri adalah sebesar 0,99 atau 99%. Dimana nilai keefktivitasan ini lebih besar dibandingkan dengan keefktivitas pada *boiler* sebelumnya. Perbandingan dari keefktivitas boiler dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan Keefktivitasan Boiler

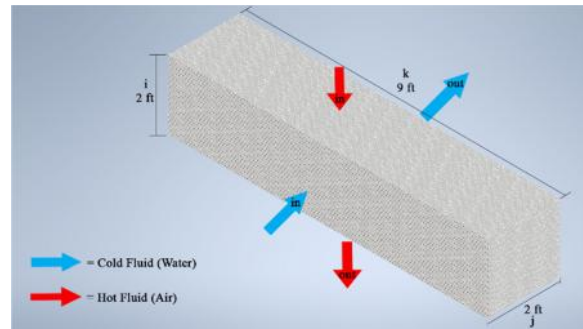
4.4. Boiler Pressure Drop

Pada penelitian ini, penukaran panas terjadi dengan sifat *cross flow both fluid unmixed*. Oleh karena itu digunakan persamaan (4) untuk menentukan penurunan tekanan yang terjadi. Penurunan tekanan terjadi pada sisi fluida panas sebesar 0,0121 Psig, dimana penurunan tekanan yang terjadi ini sangatlah kecil sehingga tidak berpengaruh besar terhadap kinerja dari penukar panas.

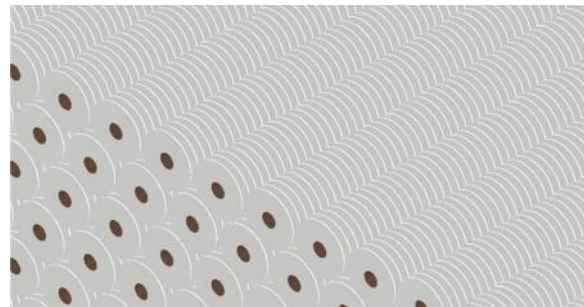
4.4. Desain Penukar Panas Ringkas

Penelitian ini menggunakan perhitungan secara iterasi untuk mendapatkan desain penukar panas ringkas yang paling ringkas. Perhitungan iterasi ini sendiri 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 2ft x 2ft x 9ft dengan

volume total ialah 36ft³. Desain dari penukar panas dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 6.



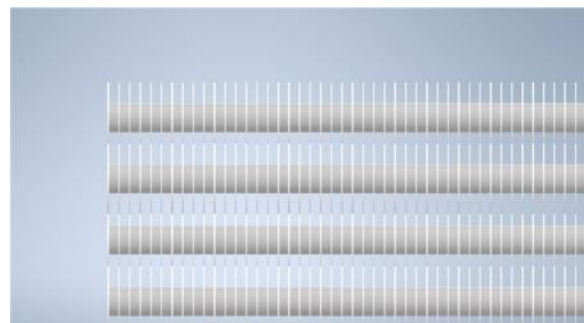
Gambar 3. Desain Penukar Panas Ringkas



Gambar 4. Desain Sirip dan Pipa



Gambar 5. Pipa disusun secara Staggered



Gambar 6. Sisi Samping Pipa dan Sirip

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisa penukar panas ringkas pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Keefektivitasan pada penukar panas ringkas meningkat, hal ini dikarenakan adanya sirip sebagai *extended surfaces of heat exchanger*.
2. Penelitian ini mendapatkan ukuran penukar panas ringkas sebesar 2ft x 2ft x 9ft dengan volume perpindahan panas total sebesar 36ft³.
3. Terjadi penurunan tekanan yang terjadi pada penukar panas ringkas sebesar 0,0121 Psig yang dimana penurunan tekanan yang terjadi sangatlah kecil.
4. Terdapat total jumlah pipa sebanyak 3410 pipa dan total jumlah sirip sebanyak 593.240 buah pada penukar panas ringkas ini.

Daftar Pustaka

- [1] W. M. Kays, A. L. London, 1964, *Compact Heat Exchanger*, McGraw Hill, New York.
- [2] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman, A. S. Lavine, 2007, *Fudamentals of Heat and Mass Transfer (Sixth Edition)*, John Wiley & Sons, Hoboken.
- [3] D. O. Kern, 1983, *Proscess Heat Transfer*, Mc.Graw Hill International Company, Japan.
- [4] W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho, 1998, *Handbook of Heat Transfer (Third Edition)*, McGraw-Hill, New York.



Heikal Tamarendra 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.