

EFEKTIVITAS FUEL OIL HEATER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

Rustan Hatib

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako
Jl. Sukarno – Hatta Km. 9 Tondo, Palu 94117
Email: rustanhatib98@gmail.com

Abstract

Fuel Oil Heater in Steam Power Plant (PLTU) at Tello Makassar, a heat exchanger type of heater that serves to heat the oil residue by using steam heat generated in the boiler. This study aimed to determine the effectiveness of water vapor to reduce the viscosity of oil residue that can be used as fuel by using fuel oil heater. Measurements were performed immediately when the temperature and pressure of water vapor and residual oil at the input and output unchanged (constant) for 1 hour. The results showed that the effectiveness is influenced by the amount of heat absorbed by the residual oil by 1726.083 W and the amount of heat released by the steam that is 1764.988 W with a value of 68.7% effectiveness.

Keyword : Fuel Oil Heater, residual oil, moisture, effectiveness

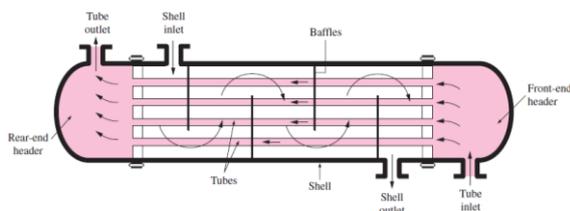
PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang sudah menjadi kebutuhan pokok masyarakat dewasa ini. Keberadaan energi listrik tidak lagi dapat dipisahkan dari aktivitas keseharian manusia khususnya masyarakat perkotaan. Untuk itu kehadiran pembangkit listrik sebagai sarana yang menghasilkan energi listrik sangat dibutuhkan oleh para pengguna listrik. Berbagai jenis pembangkit listrik telah dibangun untuk memenuhi kebutuhan listrik, dan salah satu jenis pembangkit listrik yang umum digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang memanfaatkan uap air untuk menghasilkan listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tello Makassar merupakan pembangkit listrik yang menggunakan minyak residu sebagai bahan bakar utama dalam pengoperasiannya. Dari segi ekonomi, penggunaan minyak residu

sebagai bahan bakar akan lebih menguntungkan sebab harganya terolong murah bila dibandingkan dengan jenis bahan bakar lainnya. Namun penggunaan minyak residu memunculkan masalah baru yakni kekentalannya yang tinggi pada temperatur kamar tidak memungkinkan minyak ini digunakan sebagai bahan bakar yang efektif. Untuk menurunkan kekentalannya, maka minyak ini terlebih dahulu dipanaskan pada heater. Dengan pemanasan, maka minyak residu akan mengalami penurunan kekentalan sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar.

Shell and Tube adalah salah satu jenis alat penukar kalor yang menurut konstruksinya dicirikan oleh adanya sekumpulan tube (*tube bundles*) yang dipasangkan didalam shell berbentuk silinder dimana dua jenis fluida yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, masing masing melalui sisi tube dan sisi shell seperti terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1. Fuel Oil Heater

Umumnya, aliran fluida dalam shell and tube dari suatu alat penukar kalor adalah parallel atau berlawanan. Untuk membuat aliran fluida dalam shell and tube menjadi aliran menyilang (cross flow) biasanya dibuat baffle (sekat).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas yang telah diteliti. Usman, dkk. (2010) menyatakan efektivitas penukar panas juga mengalami peningkatan dengan adanya pemasangan inner-helical fin pada pipa dalam penukar panas jika dibandingkan dengan plain tube. Widodo (2002) menyimpulkan bahwa NTU peralatan tinggi akibat dimensi spiral plate heat exchanger lebih besar dari luas permukaan perpindahan panas secara teoritis, sedangkan q_{aktual} yang didapatkan tidak mampu menaikkan efektivitas peralatan lebih tinggi lagi. Anggraini, HE dalam Zainuddin (2005) melakukan penelitian penggunaan baffle dapat meningkatkan efektivitas alat penukar kalor, hal ini sejalan dengan peningkatan koefisien perpindahan kalor. Zainuddin (2005) mengungkapkan dengan mempergunakan alat penukar kalor tabung konsentris, efektivitas berkurang, jika kecepatan masuk udara dingin meningkat dan efektivitas meningkat, jika laju aliran massa udara panas meningkat.

Perpindahan Panas

Proses perpindahan panas dapat terjadi bilamana adanya hubungan dari dua daerah yang memiliki perbedaan temperatur. Kalor akan mengalir dari

daerah yang temperaturnya relatif tinggi ke temperatur yang relatif rendah. Keseimbangan pada masing masing daerah tercapai jika temperaturnya sama. Proses perpindahan kalor dapat berlangsung melalui tiga cara yaitu :

- Perpindahan kalor konduksi yaitu secara molekuler.
- Perpindahan kalor konveksi yaitu melalui suatu aliran
- Perpindahan kalor radiasi yaitu secara gelombang electromagnet

Analisa perpindahan kalor maka dapat diketahui bagaimana kalor itu dapat berpindah dari suatu benda ke benda yang lain dan juga dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi kondisi tertentu. Perpindahan panas pada fuel Oil Heater terjadi secara konduksi dan konveksi. Adapun perpindahan panas secara radiasi diabaikan.

Perpindahan Panas konduksi

Pada Fuel Oil Heater, perpindahan panas secara konduksi yang terjadi yaitu pada dinding pipa uap, pada shell/dinding heater dan pada isolasi.

Adapun perpindahan panas secara konduksi melalui dinding pipa dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{Q}{A} = \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi dapat dibagi dua karena gerakan fluidanya yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa.

Konveksi bebas/alamiah yaitu gerakan pencampuran yang diakibatkan oleh perbedaan rapat massa yang oleh perbedaan suhu. Pada Fuel Oil Heater konveksi bebas terjadi pada udara bebas diluar heater.

Konveksi paksa yaitu gerakan pencampuran oleh tenaga dari luar misalnya kipas, pompa, blower dan sebagainya. Pada Heater konveksi paksa terjadi pada aliran fluida dari ketel dalam shell.

Adapun perpindahan panas secara konveksi dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (2)$$

dengan:

A = luas permukaan dalam tube (m²)

ΔT = perbedaan temperature dinding dalam tube dan fluida (°C)

h = koefisien perpindahan panas konveksi yang tergantung dari jenis perpindahan panas konveksinya (paksa atau bebas) (W/m² °C)

Koefisien perpindahan panas konveksi bebas diluar heater

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi bebas diluar heater pada temperatur uniform menurut Ozisick [1987] adalah :

$$10^{-4} < Ra_D < 10^{12} \quad (3)$$

dengan:

$$Ra_D = Gr_D \cdot Pr = \dots \quad (4)$$

Koefisien perpindahan panas konveksi paksa fluida didalam tube

Kecepatan aliran fluida pada tiap tube dianggap sama, kemudian dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Q_t = n \cdot V \quad (5)$$

$$A_t = \dots$$

Jadi : V = \dots

Bilangan reynold aliran dalam tube dapat ditulis :

$$Re = \dots \quad (6)$$

dengan:

Q_t = debit total fluida yang mengalir dalam tube tube (m³/s)

N_t = jumlah tube

V = kecepatan aliran fluida dalam tiap tube (m²/s)

A_t = luas penampang alir tiap tube (m²)

D_i = diameter dalam tiap tube (m)

ν = viskositas kinematis fluida pada temperature film (m²/s)

Bilangan Nusselt untuk aliran turbulen dalam pipa, berdasar korelasi Dittus dan Boelter dapat ditulis:

$$Nu = \dots \quad (7)$$

N = 0,4 untuk pemanasan

Sehingga :

$$\dots \quad (8)$$

dengan :

Re = Bilangan Reynold

Pr = Bilangan Prandtl

Koefisien perpindahan panas konveksi paksa fluida melalui permukaan luar tube

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi paksa luar tube telah digeneralisasikan oleh Grimison untuk fluida selain udara dengan memasukkan pengaruh angka Prandtl menurut Ozisick (1987) dalam bentuk :

$$\dots \quad (9)$$

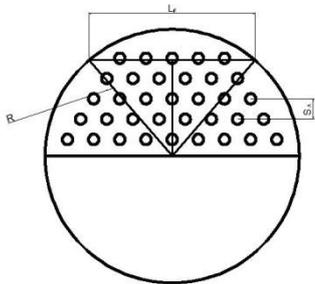
Harga harga konstanta Co dan eksponen n dilihat pada table 8-3 berdasarkan geometri susunan tube. Disini Re didefenisikan sebagai:

$$\dots \quad (10)$$

Dengan G_{max} adalah kecepatan aliran massa maksimum, yakni :

Dengan :

laju aliran massa (kg/s)
= luas penampang aliran minimum rata-rata (m^2)
ke-n = luas penampang aliran baris ke-n (1,2,3,...) (m^2)
Luas penampang aliran minimum tiap baris tube diperoleh dengan cara berikut :



Gambar 2. Susunan berkas pipa didalam fuel oil heater

$$A_{min 1} = (L_1 - 5d) S_B$$

$$A_{min 2} = (L_2 - 6d) S_B$$

$$A_{min 3} = (L_3 - 7d) S_B$$

$$A_{min 4} = (L_4 - 8d) S_B$$

$$A_{min 5} = (L_5 - 9d) S_B$$

$$A_{min 6} = (L_6 - 9d) S_B$$

$$A_{min 7} = (L_7 - 8d) S_B$$

$$A_{min 8} = (L_8 - 7d) S_B$$

$$A_{min 9} = (L_9 - 6d) S_B$$

$$A_{min 10} = (L_{10} - 5d) S_B$$

dengan:

D = diameter luar tube (m)

S_B = jarak antara baffles (m)

R = jari-jari dalam shell

S_A = jarak antara baris dalam arah longitudinal

a. Kestimbangan Massa

Sebelum menghitung perpindahan panas pada Fuel Oil Heater, maka terlebih dahulu harus diketahui kestimbangan massa fluida yang mengalir dalam tube. Kestimbangan massa untuk aliran fluida dalam pipa.

Laju aliran massa fluida dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$(11)$$

Dengan :

P_{fluida} = massa jenis fluida (kg/m^3)

A = luas penampang yang dilalui fluida (m^2)

V = kecepatan fluida (m/s)

Perpindahan panas secara kombinasi

Mekanisme perpindahan panas yang terjadi pada Fuel Oil Heater adalah kombinasi antara konduksi dan konveksi oleh karena itu perlu dilakukan secara kombinasi. Adapun mekanisme perpindahan panas :

Modus perpindahan panas yang terjadi pada pipa uap yaitu panas berpindah dari uap ke dinding pipa secara konveksi paksa dan pada dinding pipa perpindahan panas terjadi secara konduksi kemudian panas berpindah dari dinding pipa ke minyak secara konveksi paksa.

Perhitungan dengan menggunakan prinsip perpindahan panas pada Fuel oil Heater I mengharuskan panas yang

berpindah dari uap ke minyak melalui dinding pipa dengan panas yang digunakan untuk menaikkan temperature minyak.

b. Perhitungan tebal isolasi kritis

Jika jari jari luar kurang dari nilai yang diberikan dari persamaan, maka perpindahan kalor akan meningkat dengan penambahan tebal isolasi. Untuk jari jari luar yang lebih dari nilai itu, penambahan tebal isolasi akan mengurangi perpindahan kalor. Konsep sentralnya ialah bahwa untuk nilai nilai h yang cukup kecil, rugi kalor konveksi mungkin meningkat karena penambahan tebal isolasi.

Untuk menghitung tebal isolasi kritis menurut Kreith (1997) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$r_{oc} = \frac{k}{h_{ud}} \quad (12)$$

dengan:

r_{oc} = jari jari luar isolasi (m)

k = konduktivitas termal isolasi fiber glass (W/m °C)

h_{ud} = koefisien perpindahan panas udara (W/m²C)

Efektivitas Fuel Oil Heater

Untuk menentukan efektivitas Fuel Oil Heater menurut Ozisick (1987) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{—————} \quad (13)$$

METODE ANALISIS

Metode/langkah langkah yang ditempuh dalam melakukan analisis perpindahan panas pada Fuel Oil Heater PLTU Tello.

Pengambilan Data

Data Konstruksi

Pengambilan data konstruksi dilakukan dengan mencatat data data yang diperlukan langsung pada handbook dan literature tentang Fuel Oil Heater PLTU Tello. Data konstruksi yang diambil adalah dimensi shell, material shell, jumlah baffles dalam shell, dimensi tubes, jumlah tubes, type susunan tubes dan jarak antar tubes.

Data Operasi

Pengambilan data operasi dilakukan ketika temperature dan tekanan uap air serta minyak residu sisi inlet maupun outlet tidak berubah (konstan) selama 1 jam. Pada saat itu data data tersebut diatas dicatat secara bersamaan langsung pada alat ukurnya masing masing. Data operasi yang diambil adalah temperature inlet dan outlet uap air maupun minyak residu dalam Fue Oli Heater, temperature dinding luar shell, tekanan inlet dan outlet kedua fluida dalam Fuel Oil Heater, temperature udara sekeliling Fuel Oil Heater serta tekanan dan temperatur pada sisi inlet maupun outlet tiap komponen pada Fuel Oil Heater.

HASIL DAN DISKUSI

Pada Fuel Oil Heater, kalor yang dilepas oleh uap sebagian diserap minyak residu dan sebagian lagi berpindah ke udara sekeliling. Proses perpindahan panas dari uap ke permukaan tube terjadi secara konveksi, selanjutnya kalor mengalir di dalam dinding tube secara konduksi. Bagian permukaan luar Fuel Oil Heater berhubungan langsung dengan udara luar. Pada permukaan Heater terjadi aliran kalor ke udara bebas secara konveksi.

Uap air sebagai fluida pemanas pada Fuel Oil heater mengalami penurunan temperatur sehingga mengalami perubahan fase dari fase gas ke fase cair. Minyak residu (minyak bakar) sebagai fluida yang dipanaskan akan mengalami kenaikan temperatur. Hal ini terjadi disebabkan oleh karena kalor yang berpindah dari uap ke minyak residu.

Laju perpindahan kalor dipengaruhi oleh perbedaan temperatur, luas permukaan perpindahan panas, konduktivitas termal bahan serta jarak/ketebalan titik perpindahan panas.

Pada perhitungan perpindahan panas yaitu dari uap air ke minyak residu, dimana secara teoritis mengharuskan panas yang dilepaskan oleh uap haruslah sama dengan panas yang diserap minyak residu. Dari hasil analisis perhitungan didapat secara perpindahan panas untuk Fuel Oil Heater diperoleh besarnya kalor yang dilepas uap 1764,988 W, sementara kalor yang diserap minyak residu 1726,083 W, jadi terdapat selisih sekitar 2,25 %. Dari perhitungan tebal isolasi kritis pada Fuel Oil Heater diperoleh jari jari isolasi kritis sebesar 0,015 m. Sedangkan jari jari dalam isolasi sebesar 0,006 m, sehingga diperlukan penambahan tebal isolasi sebesar 0,9 cm untuk memperkecil kehilangan panas pada shell/dinding heater.

Pada Fuel Oil Heater, ukuran dimensi konstruksi heater sangat mempengaruhi efektivitas Fuel Oil Heater tersebut. Dari perhitungan efektivitas pemanasan, diperoleh efektivitas untuk Fuel Oil Heater sebesar 0,687 atau 68,7 %. Lapisan isolasi shell pada heater akan mengurangi kehilangan kalor. Jumlah tube juga turut mempengaruhi efektivitas heater. Dengan jumlah tube yang semakin banyak akan memperbesar luas penampang permukaan perpindahan

panas sehingga aliran kalor dapat lebih lancar dan akan memperbesar nilai efektivitas heater tersebut. Pada penelitian Andar dan Sarullah (2002) tentang Salth Bath Heater (Heater pada PT. Energy Equity Epic Sengkang) yang pernah diteliti pada penelitian lainnya, memiliki nilai efektivitas 0,53. Nilai ini memiliki nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan efektivitas pada Heater pada instalasi PLTU Tello. Hal ini disebabkan karena konstruksi salth bath Heater menggunakan konstruksi pipa tunggal yang mengakibatkan permukaan perpindahan panasnya lebih kecil, disamping itu pula fluida yang dipanaskan (oli) pada heater tersebut, memperoleh kalor dari fluida lain yang dipanaskan terlebih dahulu (garam). Hal ini akan memperbesar hambatan aliran kalor dari sumber panas ke oli yang ingin dipanaskan.

KESIMPULAN

1. Pada perhitungan diperoleh bahwa untuk Fuel Oil Heater kalor yang dilepaskan oleh uap sebesar 1764,988 W sementara kalor yang diserap minyak residu dan yang hilang ke lingkungan sebesar 1726,083 W.
2. Efektivitas Fuel Oil Heater I adalah $\varepsilon = 0,687$.

DAFTAR PUSTAKA

Andar, I., dan Sarullah, A., 2002, *Analisis Perpindahan Panas pada Salt Bath Heater HT - 400 di Central Processing Plant PT. Energy Equity Epic Sengkang*, Sengkang.

Kreith, F., dan Arko, P., 1997, *Prinsip – prinsip Perpindahan panas*. Erlangga. Jakarta.

Ozicik, N., 1987, *Heat Transfer A Basic approach*. Mc Graw – Hill Book Company. New York.

Usman, I, Wahyudi, S, dan Argo, B.D, 2010, 'Pengaruh ketebalan inner – helical fin terhadap characteristic of performance pada head exchanger', *Jurnal Rekayasa Mesin* Volume 1 no 3 hal 108 – 114. Universitas Brawijaya, Malang.

Widodo, B.U.K., 2002, 'Studi eksperimental Tentang Pengaruh Aliran Fluida pada Pipa spiral terhadap laju Perpindahan Panas', *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 2 No. 1, Jurusan Teknik Mesin FTI - ITS.

Zainuddin, 2005, 'Studi Eksperimental Efektivitas Alat penukar kalor Shell and Tube dengan memanfaatkan Gas Buang Mesin Diesel sebagai pemanas Air', *Jurnal Teknik Mesin* Volume 22 No 1. Teknik Mesin USU.

