

Analisa Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tipe *Shell And Tube* Untuk Pendinginan Minyak Pelumas Pada Sistem Penggerak *Induced Draft Fan*

¹Yohanes M. V. Lebo, ²Gusnawati, ³Jahirwan Ut Jasron

(1, 2, 3)Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001

Telp.: (0380)881597

E-mail: enzo_lebo@yahoo.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari alat penukar kalor berdasarkan beberapa batasan antara lain, alat penukar kalor yang dianalisa adalah tipe selongsong dan pipa, fluida kerja dan fluida pendingin mengalir dalam arah yang berlawanan. Unjuk kerja yang diperhitungkan dalam menganalisa alat penukar kalor antara lain laju perpindahan kalor, beda suhu rata-rata sebenarnya (TLMTD), koefisien perpindahan kalor menyeluruh, faktor pengotoran dan metode NTU efektivitas dari alat penukar kalor. Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Semen Kupang II – PT. Sarana Agra Gemilang, KSO PT. Semen Kupang (Persero). Metode analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah secara deskriptif, berdasarkan informasi data yang didapat dari lapangan. Dari hasil analisa perhitungan diketahui bahwa terjadi penurunan nilai laju perpindahan kalor sebesar 967.741 Watt – 760.172 Watt, seiring dengan peningkatan faktor pengotoran senilai 0.054 m².oC/W – 0.194 m².oC/W. Efektivitas alat penukar kalor yang dihasilkan berkisar antara 0.28 – 0.29, sedangkan menurut hubungan antara NTU terhadap Cmin/Cmax diperoleh efektivitas pada rentang 0.64 – 0.45. Dengan demikian alat penukar kalor tipe selongsong dan pipa yang dianalisa wajib dibersihkan, karena nilai efektivitas aktual yang dihasilkan lebih rendah dari nilai efektivitas teoritis.

Kata kunci: alat penukar kalor, unjuk kerja, efektivitas.

Abstract

The purpose of this research is to find out the performance of heat exchanger based on the limitations such as follow, type of heat exchanger that is analyzed in this research is shell and tube heat exchanger, process fluid and cold fluid work in counterflow. The calculated performance is the rate of heat transfer, the log mean temperature difference (TLMTD), the overall heat transfer coefficient, the fouling factor and the effectiveness method of NTU. This research was done in Semen Kupang II Industry – PT. Sarana Agra Gemilang, KSO PT. Semen Kupang (Persero). The method used in this research is descriptive analysis, according to the information of the data that were collected in the field of research. Based on the result of the analitical calculation, it is known that the decreasing of the rate of the heat transfer is about 967.741 Watt – 760.172 Watt, with the increasing of fouling factor is about 0.054 m².oC/W – 0.194 m².oC/W. The result of effectiveness of the heat exchanger is about 0.28 – 0.29, otherwise based on the relation of NTU and Cmin/Cmax results effectiveness on value of 0.64 – 0.45. Thereby, the analyzed shell and tube heat exchanger has to be cleaned, because the actual effectiveness value is lower than the theoretic effectiveness value.

Keywords: heat exchanger, performance, effectiveness.

PENDAHULUAN

Induced Draft Fan berfungsi untuk menghisap gas panas dan abu sisa pembakaran pada rotary kiln (tanur putar) untuk proses pengeringan material mentah di unit raw mill (penggiling material mentah). Komponen ID Fan terdiri dari fan (kipas), motor listrik, sistem penggerak, pipa saluran, dumper (peralatan

pengendali aliran) dan sistem pendingin (alat penukar kalor). Alat penukar kalor digunakan untuk mempertahankan karakteristik pelumas pada sistem penggerak ID Fan.

Shah (2003:1), berpendapat bahwa alat penukar kalor merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk memindahkan energi kalor (entalpi) antara dua atau lebih fluida, antara permukaan padat dengan fluida atau antara partikulat padat dengan fluida, pada suhu yang

berbeda serta terjadi kontak termal. Alat penukar kalor diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan beberapa aspek, antara lain:

- Klasifikasi alat penukar kalor berdasarkan proses perpindahan kalor
- Tipe kontak tidak langsung
- Tipe kontak langsung
- Klasifikasi alat penukar kalor berdasarkan jumlah fluida yang mengalir
- Dua jenis fluida
- Tiga jenis fluida
- N - Jenis fluida (N lebih dari tiga)
- Klasifikasi alat penukar kalor berdasarkan kompaknya permukaan
- Tipe kompak (densitas luas permukaan $> 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$)
- Tipe tidak kompak (densitas luas permukaan $< 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$)
- Klasifikasi alat penukar kalor berdasarkan konstruksi
- Konstruksi tabung (*shell and tube*)
- Konstruksi pelat
- Luas permukaan diperluas
- Regenerator
- Klasifikasi alat penukar kalor berdasarkan pengaturan aliran
- Aliran satu lintasan
- Aliran multi lintasan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari alat penukar kalor tipe *shell and tube*.

METODE

Metode Penelitian

- Observasi
Teknik pengumpulan data dengan melakukan pengamatan secara langsung terhadap objek yang diteliti di lapangan.
- *Library Research* (studi kepustakaan)
Sebuah metode pengumpulan data dengan cara mempelajari dan membaca buku-buku, literatur-literatur ataupun laporan-laporan yang mempunyai hubungan dengan objek yang diteliti.
- Wawancara
Metode yang dilakukan untuk menggali informasi dengan menanyakan secara

langsung kepada pembimbing lapangan tentang hal-hal yang berkaitan dengan objek penelitian.

Alat Penelitian

- Rangkaian alat penukar kalor tipe *shell and tube*.
- *Thermometer* inframerah.
- *Stopwatch*.
- Gelas takar 500 ml.
- Pompa air.

Pelaksanaan Penelitian

- Mengamati secara langsung dan mempelajari cara kerja dari alat penukar kalor tipe *shell and tube* yang ada di Pabrik Semen Kupang II.
- Mengumpulkan literatur-literatur tentang alat penukar kalor dan dasar-dasar perpindahan kalor.
- Mengadakan wawancara langsung dengan pihak Pabrik Semen Kupang II untuk memperoleh informasi tentang spesifikasi dari alat penukar kalor tipe *shell and tube*.
- Melakukan pengukuran pada saat alat penukar kalor tipe *shell and tube* sedang beroperasi dengan tujuan untuk memperoleh informasi data operasi alat tersebut.

Adapun urutan pelaksanaan yaitu:

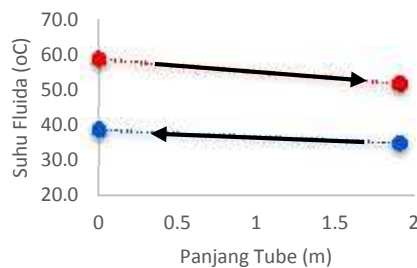
- Menyiapkan peralatan yang akan digunakan selama penelitian berlangsung.
- Mengukur kapasitas fluida pendingin (Q_c).
- Mengukur suhu masuk dan suhu keluar fluida kerja (T_{h1} dan T_{h2}) dengan menggunakan *thermometer* inframerah.
- Mengukur suhu masuk dan suhu keluar fluida pendingin (T_{c1} dan T_{c2}) dengan menggunakan peralatan yang sama seperti pada langkah pengukuran suhu fluida kerja.
- Melakukan perhitungan terhadap data-data yang telah diukur untuk menganalisa unjuk kerja alat penukar kalor tipe *shell and tube*.

PEMBAHASAN

Hubungan Panjang Tube terhadap Aliran

Berdasarkan Gambar 1 terlihat, suhu fluida kerja yang masuk pada sisi *shell* (selongsong) terus mengalami penurunan

sepanjang lintasan alat penukar kalor dari suhu 58.5 °C hingga mencapai suhu 51.6 °C. Sebaliknya suhu fluida pendingin yang masuk pada sisi *tube* (pipa-pipa) 34.6 °C, meningkat mencapai suhu 38.3 °C pada sisi keluarnya. Penurunan suhu yang terjadi pada fluida kerja merupakan peristiwa perpindahan kalor dari fluida kerja yang bersuhu tinggi ke fluida pendingin yang bersuhu lebih rendah sepanjang lintasannya, sehingga pada kondisi yang demikian terjadi perubahan suhu pada fluida pendingin sebagai akibat dari proses penyerapan kalor yang dimaksud.



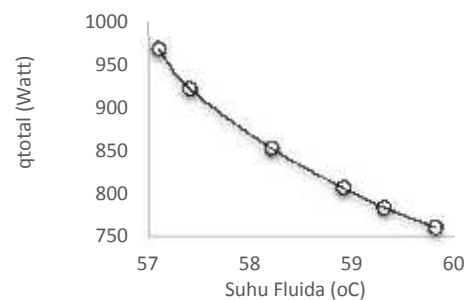
Gambar 1: Grafik hubungan antara panjang *tube* (m) terhadap aliran suhu fluida (°C).

Menilik kondisi aktual di atas maka diharapkan terjadi perpindahan kalor yang lebih baik pada alat penukar kalor jenis ini. Penambahan *pass tube* (lintasan pipa) dan memperbanyak *baffle* (sekat) merupakan metode untuk memecahkan permasalahan yang terjadi. Fungsi dari *baffle* ialah sebagai penyangga *tube* pada *shell*, mengarahkan aliran fluida di dalam *shell* dan untuk mengurangi getaran yang terjadi pada *tube*. Namun di sisi lain, pemanfaatan *baffle* ternyata dapat meningkatkan atau memacu laju perpindahan kalor. Fenomena ini diperkuat oleh Sugiyanto (2006), yang menyatakan bahwa “*baffle* dipasang untuk meningkatkan laju kalor perpindahan panas dan untuk menyangga buluh yang ada di dalam tabung. Alat penukar kalor yang dioperasikan tanpa *baffle* ternyata memiliki efektivitas terendah”.

Hal ini disebabkan karena konstruksi *baffle* dalam *shell* dipasang secara tegak lurus terhadap sumbu *shell*, sehingga membuat pola aliran fluida kerja menjadi turbulen ketika fluida tersebut menubruk dinding-dinding *baffle*.

Pemasangan *baffle* juga dapat menambah *residence time* (waktu tinggal) dari fluida kerja itu sendiri ketika melintasi *shell*. Kalor dari fluida kerja yang terkumpul pada permukaan bagian luar *tube* akan lebih mudah diserap oleh fluida pendingin, sebagai akibat dari pusaran yang dihasilkan oleh pola aliran turbulen pada dinding-dinding *baffle*.

Hubungan Suhu Fluida Kerja terhadap Laju Perpindahan Kalor



Gambar 2: Grafik hubungan antara suhu fluida kerja (°C) terhadap laju perpindahan kalor (q).

Gambar 2 menunjukkan bahwa, suhu fluida kerja mengalami peningkatan setiap kali melewati alat penukar kalor tipe *shell and tube* seiring dengan penurunan nilai laju perpindahan kalor. Suhu fluida kerja ketika pertama kali melewati *shell and tube* adalah 57.1 °C dan terus meningkat pada tahap berikutnya hingga mencapai suhu 59.8 °C. Sedangkan untuk nilai laju perpindahan kalor yang terjadi pada suhu 57.1 °C saat melewati *shell and tube* adalah sebesar 967.741 Watt dan terus menurun hingga mencapai nilai sebesar 760.172 Watt pada kondisi suhu tertinggi yaitu 59.8 °C.

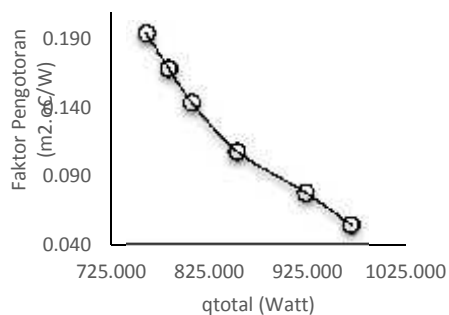
Suhu fluida kerja yang terus meningkat diakibatkan karena terjadinya penambahan beban kerja (putaran) pada *Induced Draft Fan*. Penambahan *pass tube* (lintasan pipa) serta memperbanyak *baffle* (sekat) pada alat penukar kalor jenis ini diyakini belum mampu memacu laju perpindahan kalor konveksi secara maksimal. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa jenis aliran fluida yang terjadi pada sisi *tube* maupun sisi *shell* merupakan aliran laminar. Hal ini dibuktikan dengan nilai Reynold yang didapat pada kedua sisi < 2300. Sifat-sifat pada aliran laminar ialah fluida

bergerak dalam bentuk lapisan-lapisan, masing-masing partikel fluida mengalir mengikuti lintasan dengan lancar dan kontinu. Partikel-partikel fluida berada dalam urutan yang teratur pada setiap lapisan. Aliran ini terjadi apabila kecepatan kecil dan atau kekentalan besar. Sehingga laju perpindahan kalor yang terjadi sangat lemah.

Laju perpindahan kalor dapat dipacu dengan cara meningkatkan laju aliran fluida pada kedua sisi, sehingga mempengaruhi gerakan aliran fluida menjadi turbulen. Pernyataan ini dikaitkan dengan hasil analisa yang diutarakan oleh Sutanto (2009), yang mengemukakan bahwa “kenaikan laju perpindahan kalor dan daya pemompaan meningkat dengan meningkatnya debit aliran dan jumlah sirip. Penambahan sejumlah sirip pada pipa akan membentuk dan mengganggu permukaan aliran fluida sehingga akan mempengaruhi aliran tersebut menjadi pusaran”.

Hal ini dikarenakan bahwa pada aliran turbulen fluida bergerak secara acak serta tidak teratur, menghasilkan pencampuran silang atau pusaran yang membawa gumpalan-gumpalan fluida melintasi garis-garis aliran. Partikel-partikel ini berperan sebagai pembawa dan pemindah energi dengan cara bercampur dengan partikel-partikel lain dari fluida tersebut. Oleh karena itu kenaikan laju pencampuran akan menaikkan laju perpindahan kalor dengan cara konveksi. Proses ini diyakini dapat menurunkan suhu fluida kerja walaupun terjadi penambahan beban kerja (putaran) pada *Induced Draft Fan*.

Hubungan Faktor Pengotoran terhadap Laju Perpindahan Kalor



Gambar 3: Grafik hubungan faktor pengotoran (R_f) terhadap laju perpindahan kalor (q).

Menurut Gambar 3, faktor pengotoran berpengaruh dalam menghambat laju perpindahan kalor. Semakin besar nilai faktor pengotoran pada *tube* maka semakin kecil pula nilai laju perpindahan kalor yang terjadi. Nilai kalor yang mampu dipindahkan ketika *tube* mengandung nilai pengotoran $0.054 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ adalah sebesar 967.741 Watt. Namun ketika *tube* memiliki jumlah pengotoran sebesar $0.194 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, maka kalor yang dapat diserap oleh fluida pendingin hanya bernilai 760.172 Watt.

Fenomena ini terjadi karena pembentukan lapisan deposit pada bidang kontak perpindahan kalor, ketika alat penukar kalor *shell and tube* ini digunakan secara terus menerus. Terhambatnya laju perpindahan kalor tersebut diakibatkan karena menurunnya nilai koefisien perpindahan kalor pada *shell and tube*. Pembentukan lapisan deposit sangat mempengaruhi sifat-sifat konduktivitas termal dari komponen penyusun alat penukar kalor dalam tingkat yang rendah.

Kondisi serupa juga diungkapkan oleh Handoyo dkk (2012). Dalam penelitiannya beliau berpendapat bahwa “deposit yang terbentuk di permukaan kebanyakan akan mempunyai konduktivitas termal yang cukup rendah sehingga akan mengakibatkan menurunkan besarnya koefisien global perpindahan panas di dalam alat penukar kalor, akibatnya laju pertukaran energi panas di dalam APK menjadi lebih rendah”.

Pengotoran terjadi ketika terdapat unsur-unsur yang ikut terbawa oleh fluida pendingin maupun fluida kerja pada alat penukar kalor sehingga membentuk suatu lapisan deposit pada bidang pertukaran kalor. Bekas penempelan pada permukaan *tube* merupakan hasil perubahan fase dari beberapa unsur yang terbawa oleh masing-masing fluida karena adanya pengaruh perbedaan suhu antara permukaan perpindahan kalor dengan material asing.

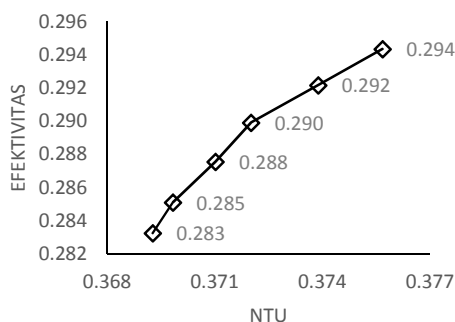
Fenomena pengotoran sebenarnya sangat rumit oleh karenanya tidak mudah untuk dianalisa. Namun pengelompokan jenis-jenis pengotoran dapat dilakukan jika ditinjau dari proses pembentukannya. Proses pengendapan material atau proses sedimentasi dari unsur-unsur yang terbawa oleh fluida pendingin merupakan jenis pengotoran yang paling

dominan. Hal ini mengingat kualitas air yang ada di area pabrik Semen Kupang II dan area sekitarnya memiliki tingkat kesadahan yang cukup tinggi dan tidak mudah dilarutkan. Penggunaan air sebagai fluida pendingin tanpa didahului dengan proses penyaringan menyebabkan pembentukan kerak pada permukaan bagian dalam *tube* sepanjang lintasannya.

Pengaruh korosi antara dinding bagian luar *tube* dengan fluida kerja juga dapat menyebabkan reaksi kimia sehingga membentuk endapan. Material yang terbawa oleh fluida kerja merupakan partikel-partikel logam yang terbentuk akibat proses gesekan pada komponen penggerak *Induced Draft Fan*.

Sedangkan untuk beberapa jenis bakteri atau mikroorganisme yang ikut masuk melalui aliran fluida pendingin yang dapat membentuk suatu lapisan deposit, dikategorikan sebagai jenis *biofouling* (misalnya lumut hijau). Namun, terjadinya pengotoran jenis *biofouling* ini memiliki kemungkinan yang sangat kecil karena suhu pada *shell and tube* sangat tinggi. Kondisi suhu yang demikian memungkinkan untuk menghambat laju pertumbuhan bakteri atau mikroorganisme yang masuk.

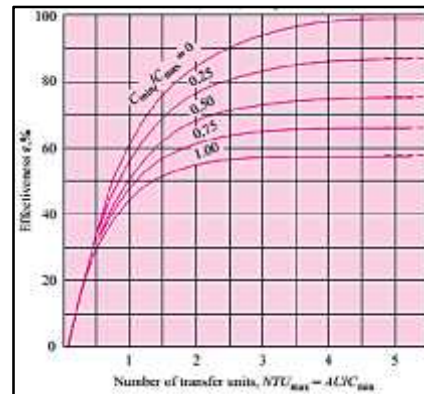
Hubungan Perbandingan NTU terhadap Efektivitas C_{min}/C_{max}



Gambar 4: Grafik hubungan perbandingan NTU terhadap Efektivitas alat penukar kalor.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa efektivitas alat penukar kalor tipe *shell and tube* berkisar antara 0.28 – 0.29. Namun, jika melakukan perbandingan berdasarkan hubungan antara NTU terhadap efektivitas C_{min}/C_{max} seperti yang ditunjukkan pada Gambar

5, maka nilai yang dihasilkan berada pada rentang 0.64 – 0.45. Keadaan ini menunjukkan bahwa alat penukar kalor tipe *shell and tube* yang dianalisa wajib dibersihkan karena memiliki kualitas yang kurang baik, dimana nilai efektivitas aktual yang dihasilkan lebih rendah dari nilai efektivitas teoritis.



Gambar 5: Grafik hubungan antara NTU terhadap efektivitas C_{min}/C_{max}

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa perhitungan dan pembahasan untuk mengetahui unjuk kerja alat penukar kalor tipe *shell and tube*, dapat disimpulkan bahwa efektivitas yang dihasilkan berkisar antara 0.28 – 0.29. Namun, jika dibandingkan dengan hubungan antara NTU terhadap efektivitas C_{min}/C_{max} , maka nilai yang dihasilkan berada pada rentang 0.64 – 0.45. Keadaan ini menunjukkan bahwa alat penukar kalor tipe *shell and tube* yang dianalisa wajib dibersihkan karena memiliki kualitas yang kurang baik, dimana nilai efektivitas aktual yang dihasilkan lebih rendah dari nilai efektivitas teoritis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bizzy, I., Setiadi, R., (2013), Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube dengan Program Heat Transfer Research Inc. (HTRI), Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jurnal Rekayasa Mesin Vol 13 No. I Maret 2013, 67 – 72.

- [2] Handoyo, Y., Ahsan, (2012), Analisis Kinerja Alat Penukar Kalor Jenis Shell and Tube Pendingin Aliran Air pada PLTA Jatiluhur, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam, Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.5, No.1, Oktober 2012: 1-97.
- [3] Harrison, J., et al, (1999), Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association, Eighth Edition, TEMA, Inc, New York.
- [4] Holman, J.P., (1997), Perpindahan Kalor, Alih bahasa Jasjfi, E., Edisi ke-enam, Erlangga, Jakarta.
- [5] Ibrahim, H.A., (2012), Fouling in Heat Exchangers, dalam MATLAB – A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications – Volume 3.
- [6] Incropera, F.P., et al, (2007), Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [7] Kakaç, S., Liu, H., (2002), Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design, Second Edition, CRC Press, New York.
- [8] Kreith, Frank, (1994), Prinsip-prinsip Perpindahan Panas, Edisi ke - tiga, Erlangga, Jakarta.
- [9] Setiawan, Indra, (2011), Mempertahankan Kinerja Alat Penukar Kalor dengan Memodifikasi Sistem Kerja Feeder Pump, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Juni 2011.
- [10] Shah, Ramesh K., Sekuli, Dušan P., (2003), Fundamentals of Heat Exchanger Design, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [11] Sugiyanto, Mahandari, Cokorda P., Satyadarma, D., (2006), Penerapan Perangkat Lunak Komputer Untuk Penentuan Kinerja Penukar Kalor, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Proceeding, Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2006) Auditorium Universitas Gunadarma, Depok, 23-24 Agustus 2006.
- [12] Sutanto, R., (2009), Analisa Perubahan Luas Permukaan Sirip Pada Penukar Kalor Jenis Pipa Ganda Terhadap Peningkatan Perpindahan Panas (Analysis of Change the Surface Area of Fin in a Heat Exchanger Type Double Pipes to Heat Transfer Enhancement), Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jurnal Teknik Rekayasa Vol 10 No. 1 Juni 2009