

PREDICT TUBE OVERAL FOULINGIN HEAT EXCHANGER 53 EA-1001

Yasir Amani

Teknik Mesin FakultasTeknik UniversitasMalikussaleh Lhokseumawe
Jl. Cot TgkNie-Reulet, Aceh Utara, 141 Indonesia
email : amaniyasir@yahoo.com

Abstrak

Alat penukar kalor tipe 53 EA-1001 yang ada pada perusahaan PT. Pupuk Iskandar Muda beroperasi waktu beberapa lama maka terbentuklah lapisan kotoran atau fouling, adanya fouling akan mengurangi koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) sampai batas akhir perencanaan alat mencapai harga minimum, informasi ini diperoleh untuk dapat membuat jadwal rutin berkala pembersihan dan juga pergantian pipa alat penukar kalor yang tidak layak digunakan lagi dengan memprediksi penumpukkan fouling maksimum pada alat penukar kalor. Adanya fouling akan mengurangi koefisien perpindahan panas sampai batas akhir perencanaan, sehingga dapat dibuat jadwal perawatan rutin. Pengaruh koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) terhadap kecepatan aliran fluida, mengakibatkan tingginya kecepatan aliran. 8640 jam operasi pada fouling faktor 0,0082 (Rd) menghasilkan volume fouling 0,0066 m³ perlu perawatan pada usia APK 27 tahun penyumbatan fouling pada volume 63,585 m³. Aliran yang mengalir adalah laminar dengan nilai 950 Btu.ft³/J.lb.s dan tenaga yang hilang 1,46 kali dari tenaga yang hilang pada keadaan tanpa ada fouling.

Kata kunci : Fouling, alat penukar kalor, koefisien perpindahan panas, aliran, fluida

PENDAHULUAN

Heat Exchanger (Alat Penukar Kalor) yang berfungsi sebagai pemindah energi dari satu fluida ke fluida lain banyak digunakan pada kegiatan domestik dan industri. Berbagai jenis *heat exchanger* yang dibuat dan digunakan dalam industri digunakan dalam industri petrokimia yang mengubah bahan baku gas alam menjadi pupuk urea.

Dalam banyak kasus terjadi alat penukar kalor yang digunakan pada PT. Pupuk Iskandar Muda banyak hal, termasuk *reformer waste heat exchanger fouling* (pengotoran akibat karat) pada alat penukar kalor akibat perubahan kondisi operasi. Pada operasionalnya *heat exchanger* ini sering mendapat masalah yaitu terjadi *boiling corrotion* pada material tube yang

berdekatan dengan tube sheet sisi gas inlet. Menurut Ali dan Susanto (2012), Permasalahan ini di duga akibat distribusi aliran di sisi shell yang tidak merata, sehingga terjadi stagnasi aliran di daerah yang berdekatan dengan tube sheet. Besar kecepatan aliran menentukan jenis aliran, yaitu aliran laminer atau turbulen. Turbulensi yang terjadi dalam aliran akibat tingginya kecepatan aliran dapat memperbesar bilangan Reynold dan bilangan Nusselt yang kemudian meningkatkan perpindahan panas secara konveksi. Namun semakin tinggi kecepatan aliran berarti waktu kontak kedua fluida semakin singkat. Kemungkinan yang paling dominan adalah menipisnya ketebalan pipa karena tererosi aliran secara terus menerus dari dalam maupun luar pipa, kemungkinan yang lain diameter pipa mengalami deformasi karena perbedaan suhu yang berkepanjangan juga pembentukan kerak pada permukaan pipa dan untuk itulah perlu dilakukan pemeriksaan yang lebih detail.

Sejak tahun 2000, alat penukar kalor secondary reformer waste heat exchanger 53 EA-1001 yang ada pada perusahaan PT. Pupuk Iskandar Muda Lhokseumawe mengalami kebocoran yang mengakibatkan diberhentikan pengoperasiannya untuk perbaikan sampai tahun 2004. Hasil analisis lapangan bahwa terjadinya kebocoran akibat terjadi pengotoran pada bagian dalam pipa air. Sejak tahun 2005 hingga tahun 2011, alat penukar kalor secondary reformer waste heat exchanger 53 EA-1001 yang ada pada perusahaan PT. Pupuk Iskandar Muda Lhokseumawe mengalami kebocoran dan sudah tiga kali melakukan perbaikan ulang. Dari kejadian kronologis yang terjadi di lapangan belum diperoleh informasi yang detail yang dapat memprediksi proses terjadinya fouling dalam pipa air pada alat penukar kalor secondary reformer waste heat exchanger 53 EA-1001 yang ada pada perusahaan PT. Pupuk Iskandar Muda informasi ini diperoleh untuk membuat jadwal rutin berkala pembersihan dan juga pergantian pipa alat penukar kalor yang tidak layak digunakan lagi. Adapun jenis alat penukar kalor tersebut yaitu item 53 EA-1001 (Natural Gas Super Heater); Tube steam (in P = 42 kg/cm², T = 385 °C); Shell Natural Gas (in P = 17 kg/cm², G = T = 20-30 °C, T_{out} = 65-70 °C); dengan surface area (A) = 11,7 m².

Menurut Y. A. Cengel (2005), hampir pada semua *Heat Exchanger*, didominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida panas ke fluida dingin, dimana keduanya dipisahkan oleh dinding. Perpindahan panas secara konveksi sangat di pengaruhi oleh bentuk geometri *heat exchanger* dan tiga

bilangan tak berdimensi, yaitu bilangan *Reynold*, bilangan *Nusselt* dan bilangan *Prandtl*. Besar konveksi yang terjadi dalam suatu *shell and tube heat exchanger* akan berbeda dengan *double pipe heat exchanger*, *cross-flow heat exchanger* atau *compact heat exchanger* atau *plate heat exchanger* untuk temperatur yang sama. Sedang besar ketiga bilangan tak berdimensi tersebut tergantung pada kecepatan aliran serta properti fluida yang meliputi massa jenis, viskositas absolut, panas jenis dan konduktivitas panas.

Proses fouling diakibatkan fluida yang dipanaskan dalam prosesnya atau pengalirannya menimbulkan deposit endapan. Beberapa penelitian mengenai fouling di alat penukar kalor dilakukan (Gonzales-Garcia, 2009), akan tetapi model deteksi fouling yang diprediksikan kurang akurat. Oddgeir (2008), deteksi fouling dengan menggunakan standar Kalman filter yang masih sedikit sekali dalam penggunaannya. Ali dan Susanto (2012), bahwa fouling paling dominan terjadi adalah menipisnya ketebalan pipa karena tererosi aliran secara terus menerus dari dalam maupun luar pipa, kemungkinan yang lain diameter pipa mengalami deformasi karena perbedaan suhu yang berkepanjangan juga pembentukan kerak pada permukaan pipa. Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk memprediksikan penumpukkan fouling pada pipa sehingga dapat dibuat jadwal rutin untuk pembersihan dan pergantian pipa yang tidak layak untuk dioperasikan kembali.

Tujuan penelitian ini adalah Menentukan harga koefisien perpindahan panas Overall (U) sistem dua fluida di dalam alat penukar panas *Plate and Frame*, sehingga dapat dibuat jadwal rutin berkala pembersihan dan juga pergantian pipa alat penukar kalor yang tidak layak digunakan lagi. Mengetahui pengaruh temperatur fluida terhadap koefisien perpindahan panas overall (U), sehingga dapat mengetahui sebab terjadinya fouling dan memprediksi penumpukkan fouling maksimum pada alat penukar kalor secondary reformer waste heat exchanger 53 EA-1001. Melakukan analisa dan memprediksi perpindahan panas pada sisi shell 53 EA-1001, sehingga diperoleh metode untuk eksperimen fouling detection

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemakaian Rumus Empirik

Neraca enthalphi dalam penukar panas

Cengel dan Turner (2005), bahwa panas yang dipindahkan untuk salah satu arus fluida dalam penukar panas, yaitu :

$$q = m \cdot (H_b - H_a) \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana

q = laju perpindahan kalor ke dalam arus fluida

m = Laju alir massa

H_a, H_b = Enthalphi persatuan massa arus fluida masuk dan keluar alat penukar panas.

Perpindahan kalor dari atau ke udara sekitar tidak dikehendaki. Salah satu dari kedua arus fluida yang berada disebelah luar dapat mengambil kalor atau melepaskan kalor ke udara sekitar jika fluida itu lebih dingin atau lebih panas. Pencegahan hal itu dilakukan dengan mengisolasi penukar panas. Dengan menggunakan persamaan (2.1) dapat digunakan untuk menghitung besarnya kalor yang dipindahkan masing - masing fluida :

- Fluida panas, $q = m_h \cdot (H_{hb} - H_{ha})$

- Fluida dingin, $q = m_c \cdot (H_{cb} - H_{ca})$

dimana,

m_c, m_h = Laju alir massa fluida dingin, fluida panas

H_{ca}, H_{ha} = Enthalphi persatuan massa fluida dingin, fluida

panas saat

masuk penukar panas.

H_{cb}, H_{hb} = Enthalphi persatuan massa fluida dingin, fluida

panas saat keluar

penukar panas.

q_c, q_h = laju perpindahan panas fluida dingin, panas.

Tanda q_c adalah positif (+), tetapi tanda q_h negatif (-). Hal itu dibuat karena

fluida panas melepas kalor, dan panas yang dilepaskan diambil fluida dingin,

sehingga persamaan menjadi :

$$q_c = - q_h$$

$$m_h \cdot (H_{ha} - H_{hb}) = m_c \cdot (H_{cb} - H_{ca})$$

dan jika kalor spesifik (c_p) dianggap konstan, neraca enthalphi dapat dituliskan :

$$m_h \cdot c_{ph} \cdot (T_{ha} - T_{hb}) = m_c \cdot c_{pc} \cdot (T_{cb} - T_{ca}) \dots\dots\dots (2.2)$$

2.2 Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

Warren (1998), Profil gradient temperatur perpindahan panas yang terjadi pada suatu dinding (logam) antara fluida panas pada satu sisi dan fluida dingin pada sisi lain dengan pengaliran konveksi paksa. Dengan persamaan Fourier tentang konduksi dan persamaan Newton tentang pendinginan (konveksi), maka panas yang dipindahkan dapat dibedakan, antara lain :

1. Konveksi pada fluida panas, $dq = -h A dT$

$$dq = -h A (T_{wh} - T_h)$$

$$dq = h A (T_h - T_{wh})$$

$$dq = h_1 A_1 (T_h - T_{wh})$$

$$(T_h - T_{wh}) = dq \cdot (1 / (h_1 dA_1))$$

2. Konduksi pada dinding logam, $dq = -k A_{Lmtd} dT / \Delta x$

$$dq = -k A (T_{wc} - T_{wh}) / \Delta x$$

$$dq = k A_{Lmtd} (T_{wh} - T_{wc}) / \Delta x$$

$$(T_{wh} - T_{wc}) = dq (\Delta x / (k dA_{Lmtd}))$$

3. Konveksi pada fluida dingin, $dq = h_2 A_2 (T_{wc} - T_c)$

$$(T_{wc} - T_c) = dq (1 / (h_2 dA_2))$$

2.3 Fouling Factor (Faktor Pengotoran)

Oddgeir G. (2009), Faktor pengotoran ini sangat mempengaruhi perpindahan panas pada *heat exchanger*. Pengotoran ini dapat terjadi endapan dari fluida yang mengalir, juga disebabkan oleh korosi pada komponen dari *heat exchanger* akibat pengaruh dari jenis fluida yang dialirinya. Selama *heat exchanger* ini dioperasikan pengaruh pengotoran pasti akan terjadi.

Aquino B (2007), Faktor pengotoran (*fouling factor*) dapat dicari persamaan :

$$R_d = U_c - U_d / U_c U_d \dots \dots \dots (2.3)$$

U_c = Koefisien perpindahan panas menyeluruh bersih

$$= h_{io} \times h_o / h_{io} + h_o \dots \dots \dots (2.4)$$

h_{io} = Koefisien perpindahan panas pada permukaan luar tube

h_o = Koefisien perpindahan panas fluida diluar tube

U_d = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (*design*)

$$= Q / \Delta T \dots \dots \dots (2.5)$$

4. Penurunan Tekanan pada Shell Side

CP. Kothandaraman (1977), besarnya penurunan tekanan pada isothermal untuk fluida yang dipanaskan atau didinginkan, serta kerugian saat masuk dan keluar adalah :

$$\Delta P_s = \frac{f_s \cdot G^2 s \cdot D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot S_s \cdot \psi_s} \dots\dots\dots(2.6)$$

5 Penurunan Tekanan pada Tube Side

Besarnya penurunan tekanan pada tube side alat penukar kalor telah diformulasikan, persamaan terhadap faktor gesekan dari fluida yang dipanaskan atau yang didinginkan didalam tube.

$$\Delta P_t = \frac{f_s \cdot G^2 s \cdot D_s \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_t \cdot S_s \cdot \psi_t} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- n = Jumlah pass aliran tube
- L = Panjang tube
- L.n = Panjang total.lintasan dalam ft

Mengingat bahwa fluida itu mengalami belokan pada saat passnya, maka akan terdapat kerugian tambahan penurunan tekanan.

$$\Delta p_r = \frac{4n \cdot V^2}{St \cdot 2g} \text{psi} \dots\dots\dots(2.8)$$

3.METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian pada Perusahaan PT. Pupuk Iskandar Muda Lhokseumawe yang berlokasi di Gampong Batuphat Kecamatan Muara Satu Kota Lhokseumawe. Sebelah utara berbatasan dengan laut, sebelah barat berbatasan dengan Gampong Tambon Baroh Kecamatan Kruenggeukueh Kabupaten Aceh Utara. Sedangkan sebelah selatan berbatasan Gampong Binjee Kecamatan Nisam Kabupaten Aceh Utara, dan sebelah timur berbatasan dengan Gampong Blang Pulo Kecamatan Muara Dua Kota Lhokseumawe.

3.2 Peralatan Penelitian

Kajian yang menjadi penelitian adalah alat penukar kalor secondary reformer waste heat exchanger 53 EA-1001 yang ada pada perusahaan PT.

Pupuk Iskandar Muda Lhokseumawe mengalami kebocoran dan sudah tiga kali melakukan perbaikan ulang.

Penelitian ini guna memprediksi berkembang terjadinya fouling dalam pipa air pada alat penukar kalor secondary reformer waste heat exchanger 53 EA-1001 yang ada pada perusahaan PT. Pupuk Iskandar Muda sehingga dapat dibuat jadwal rutin berkala pembersihan dan juga pergantian pipa alat penukar kalor yang tidak layak digunakan lagi. Adapun jenis alat penukar kalor tersebut yaitu item 53 EA-1001 (*Natural Gas Super Heater*); *Tube steam* (in P = 42 kg/cm², T = 385 °C); *Shell Natural Gas* (in P = 17 kg/cm², G = T = 20-30 °C, T_{out} = 65-70 °C); dengan *surface area* (A) = 11,7 m².

Alat penukar kalor ini dipasangkan secara vertikal dengan tinggi keseluruhan 16,6 m dan diameter luar shell 2,156 m. Pipa air yang disusun secara selang seling berjumlah 362 dengan diameter pipa 38,1 mm. Adapun alat ukur yang dipergunakan adalah alat pengukur temperatur dan alat ukur laju aliran gas panas untuk dapat mengukur keluar dan masuk aliran gas panas.

3.3 Bahan dan Prosedur Kerja

Bahan

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan utama, yaitu :

Thermometer, Gelas beaker berisi air 500 ml, Rangkaian *shell dan tube heat Exchanger*, *Stop Watch*, Sedikit zat warna di atas pemanas listrik 600 W, Air, sebagai fluida panas dan dingin (fluida dingin dialirkan sekali lewat)

Prosedur Kerja

Studi Literatur, Studi literatur adalah rangkaian proses mengumpulkan referensi yang berkaitan dengan topik penelitian yang berasal dari buku, internet, dan jurnal.

Pengumpulan data lapangan, Pengumpulan data lapangan adalah proses mendapatkan informasi, riwayat peralatan, data sheet peralatan, lokasi korosi, parameter input simulasi, kondisi operasional dan lingkungan yang diperoleh dari PT. Pupuk Iskandar Muda, misalnya: pengumpulan data dilakukan dengan cara tanya-jawab langsung dengan beberapa karyawan, menelaah dari manual *handbook* dan mencatat data-data pada saat alat penukar kalor beroperasi.

Langkah kerja, Untuk mendapatkan data-data sebagai penunjang diperlukan adanya langkah langkah kerja, yaitu :

- a. Memastikan semua alat-alat percobaan dalam kondisi baik
- b. Memastikan semua sistem perpipaan serta kerangan (jalur) telah siap untuk dioperasikan
- c. *Start* pompa air dingin dan pompa air panas untuk sirkulasi ke masing-masing tangki penampungan
- d. Melakukan kalibrasi laju air untuk masing-masing sistem aliran (air dingin dan air panas)
- e. Melakukan pengambilan data untuk aliran searah (*co-current*) dan berlawanan arah (*counter-current*) dengan cara mencatat temperatur masuk dan keluar *Heat Exchanger* (alat penukar kalor) pada masing-masing sistem aliran (air dingin dan air panas)

3.4 Pengolahan data dan Analisis

- a. Menganalisa data-data tersebut untuk mendapatkan perhitungan efisiensi alat penukar kalor tipe *shell and tube*
- b. Data hasil pengamatan pada alat penukar kalor secondary reformer waste heat boiler 53 EA-1001 yang diamati secara langsung dianalisis dengan menggunakan statistik komputer dengan software SPSS version 16.0
- c. Pengolahan data hasil pengujian sifat mekanik dilakukan secara persamaan empiris dengan menggunakan metode slope. Nilai-nilai hasil pengujian digambarkan dalam bentuk grafik sehingga memudahkan analisa data.

3.5 Target/ Indikator Penelitian

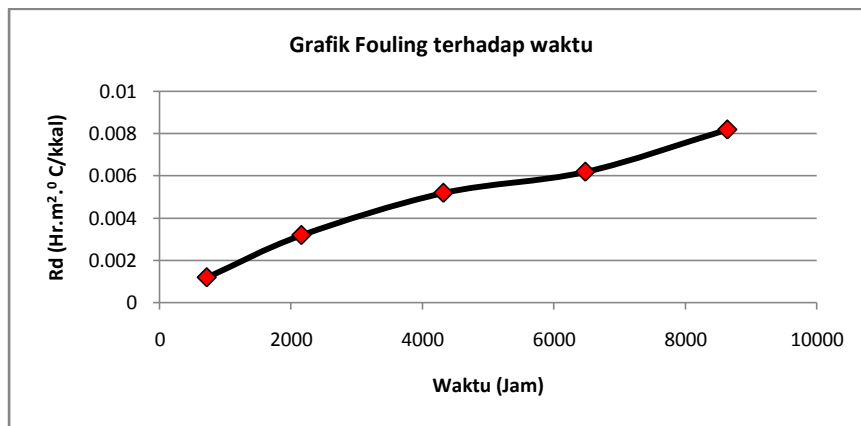
Target dari hasil penelitian ini didapatkan suatu prosentase mengetahui penyebab terjadinya fouling pada 53 EA-1001, metode memprediksi fouling dengan melihat pengaruh data T terhadap U, mengetahui harga koefisien perpindahan panas mencapai harga minimum alat yang direncanakan. Tingginya kecepatan aliran berarti waktu kontak kedua fluida semakin singkat sehingga meningkatnya bilangan Reynold dan Nusselt, serta parameter model fouling yang sesuai dan ideal. Sehingga dapat memprediksikan penumpukkan fouling pada pipa sehingga dapat dibuat jadwal rutin untuk pembersihan dan

pergantian pipa yang tidak layak untuk dioperasikan kembali. Disamping itu juga dapat menjadi acuan pada penyempurnaan *design* mendatang.

4.HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Transfer Panas dan Fouling pada Alat Penukar Kalor

Pada alat penukar kalor tipe EA 53 1001 panas yang ditimbulkan adalah panas sensible bukan panas laten. Panas sensible panas jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan atau menurunkan suhu benda, jika kalor ditambahkan pada suatu benda dipanasi, suhu benda akan naik. Karena molekul-molekul menerima panas dengan lebih cepat, jika panas sensible diambil dari suatu benda, suhunya akan turun, karena gerak molekul-molekul menjadi lambat, perubahan ini dapat dilihat dan diukur dari perubahan suhu pada thermometer. Berdasarkan persamaan 2.20 (bab dua) maka nilai R_d dapat dihitung, dengan ketentuan $R_{di} = 0,04$ diperoleh dari Tabel 2.7 (lampiran II). Untuk uap panas lanjut yang mengalir pada tube EA 53 1001 yaitu $R_{di} = 0,04$ dan uap panas gas lanjut (steam) yang mengalir pada shell $R_{do} = 0$. Jadi dengan menggunakan persamaan 2.20 (pada bab dua) diperoleh nilai R_d , yaitu $R_d = 0,008187$. Gambar 3.1. merupakan Grafik hubungan waktu operasi evaporasi terhadap nilai fouling faktor.



Gambar 4.1. Grafik hubungan waktu evaporasi terhadap fouling faktor. Sumber : Hasil Perhitungan (2016)

4.2 Analisis Distribusi Temperatur Alat Penukar Kalor 53 EA -1001

Fouling adalah peristiwa terakumulasinya padatan yang tidak dikehendaki di permukaan Heat Exchanger yang berkontak dengan fluida kerja, termasuk permukaan heat transfer. Peristiwa tersebut adalah

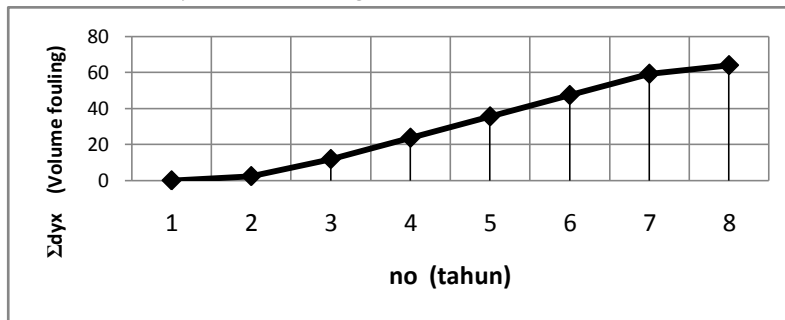
pengendapan, pergerakan, korosi, polimerisasi dan proses biologi. Dengan mengasumsikan bahwa volume itu sama dengan panjang (X_d) x lebar (X_d) x tinggi (X_d) disimbolkan dengan dengan (X_d)³ sehingga (X_d)³= 0,0066 (dalam tabel 3.5), maka diperoleh tebal kerak deposit : $668,36 \text{ Btu} / \text{Hr.ft}^2 F$. Alat penukar panas setelah dioperasikan dalam waktu yang cukup lama maka akan timbul deposit endapan pada permukaan transfer panas. Deposit endapan tersebut yang antara lain berupa kerak dari kesadahan tetap, merupakan penghambat transfer panas dari uap ke cairan, biasa disebut tahanan transfer panas pengotor.

Tabel 4.1. Hubungan laju penumpukkan fouling terhadap waktu

No	years (y)	day (d)	$\Sigma d.y$	x (tebal)	$\Sigma d.y.x$
1	0	360	0	0	0
2	1	360	360	0,0066	0,0066
3	2	360	720	0,0066	2,376
4	5	360	1800	0,0066	11,88
5	10	360	3600	0,0066	23,76
6	15	360	5400	0,0066	35,64
7	20	360	7200	0,0066	47,52
8	25	360	9000	0,0066	59,4
9	27	360	9720	0,0066	63,585

Sumber : Hasil perhitungan (2016)

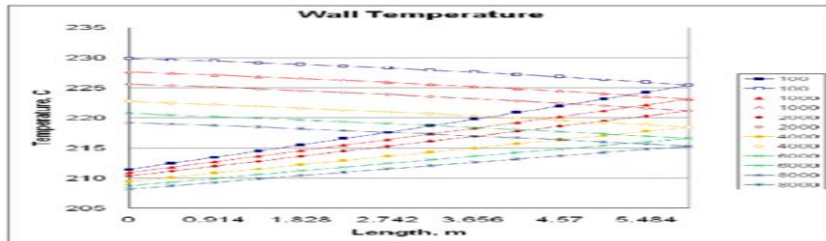
Cukup banyak kerugian yang dapat ditimbulkan oleh kerak tersebut. Sehingga apabila terjadi perpindahan panas yang besar maka penting untuk dapat mendeteksi kerak atau boleh juga dibuat analisis fouling untuk memprediksi fouling yang terbentuk pada alat penukar panas. Hal ini seperti ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut ini:



Gambar 4.2. Grafik hubungan laju penumpukkan fouling terhadap waktu. Sumber : HasilPerhitungan (2016)

4.3 Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Alat Penukar Kalor 53 EA -1001

Semakin banyak *fouling* oleh korosi menyebabkan luas penampang aliran menjadi semakin kecil (menyempit) yang menimbulkan tenaga hilang karena friksi semakin besar atau beda tekanan yang melintasi penukar panas jadi naik. Namun semakin tinggi kecepatan aliran berarti waktu kontak kedua fluida semakin singkat.



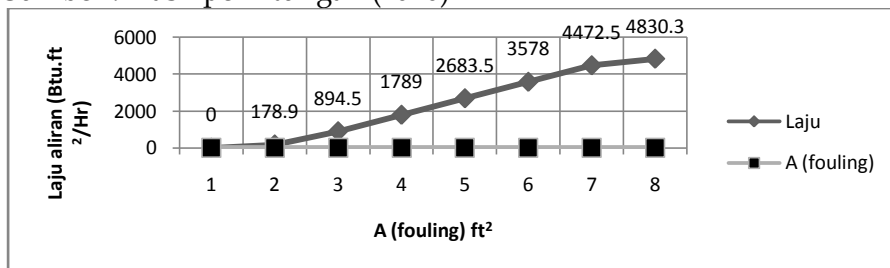
Gambar. 4.3. Simulation Exchanger : Wall Temperature Variation

Sumber : Hasil Analisis (2016)

Tabel 4.2. Hubungan penumpukkan fouling dengan laju aliran fluida

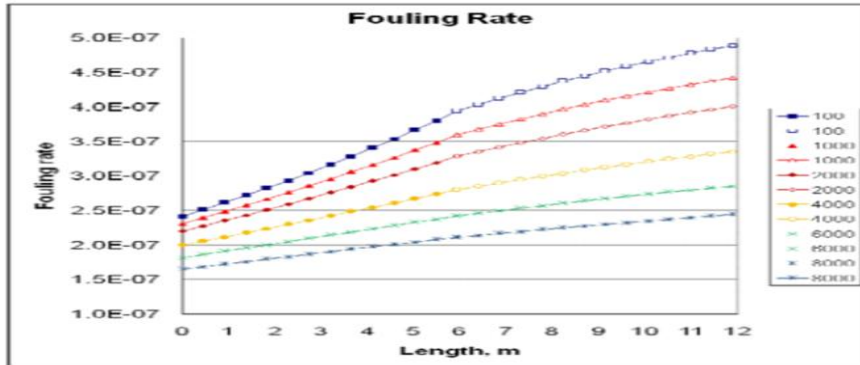
No	A (fouling) ft ²	Laju (Btu.ft ² /Hr)	Tahun
1	0	0	0
2	0,00022	178,9	1
3	0,0011	894,5	5
4	0,0022	1789	10
5	0,0033	2683,5	15
6	0,0044	3578	20
7	0,0055	4472,5	25
8	0,00594	4830,3	27

Sumber : Hasil perhitungan (2016)



Gambar 4.4. Grafik hubungan penumpukkan fouling dengan laju aliran fluida.

Sumber : Hasil perhitungan (2016)



Gambar. 4.5. Exchanger Simulation : Fouling Rates. Sumber: Hasil Analisis (2016)

untuk aliran laminar $Re \leq 2100$ maka nilai friksi adalah $f = 64 / Re$, sebab Re yang diperoleh adalah 950, maka dapat diasumsikan bahwa aliran yang mengalir pada tube alat penukar kalor 53 EA-1001 adalah aliran laminar.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, sebagai berikut :

1. Hasil analisis penulis sesuai dengan data desain pabrik alat temperatur 399 °C, yaitu temperatur 61°C. Hal ini menandakan bahwa semakin hari beroperasi alat penukar kalor semakin menurun kapasitas temperturnya. Alat penukar kalor beroperasi secara terus menerus selama 8640 jam, ($Rd; \text{jam} = 0.0012; 720$, terendah pada tahun awal dan mencapai maksimum pada $Rd; \text{jam} = 0.0082; 8640$) faktor foulingnya pun meningkat dengan diikuti meningkatnya tahanan panas yang terdapat pada alat penukar kalor
2. Alat penukar kalor beroperasi maka akan terjadi penumpukkan fouling semakin besar, penumpukkan fouling akan mengikuti samavolume alat penukar kalor 63,585 m³ selama dalam kurun waktu 27 tahun bila tidak dibersihkan. Awaltahun pertama minimum yaitu ($v; V = 0; 0, 1$ dan mencapai maximum 59.4, 27; 64.152)

3. Penumpukkan volume fouling awaltahun 0,0066 m³ hingga maximal mencapai 63,59 m³, sehinggapadat samadengan volume tube bilatidakdilakukanperawatan. Dan laju aliran fluida yang semula 178,910 Btu.ft²/Hr, hingga mencapai 4830,3 Btu.ft²/Hr, makasemakin lama semakinkencanglajunya akan terjadi penyempitan volume tube selama 27 tahun.

Saran

Akibat alat penukar kalor beroperasi terus menerus, maka laju penumpukkan fouling 0,0066 m³ hingga mencapai 63,59 m³ semakin padat dan menyamai volume alat penukar kalor akibatnya laju aliran fluida yang semula 178,910 Btu.ft²/Hr, hingga mencapai 4830,3 Btu.ft²/Hr maka akan terjadi penyempitan volume, diupayakan agar perawatan pada alat penukar kalor 53 EA-1001 jangan sampai dilakukan diatas usia alat penukar kalor 25 tahun atau hitungan setelah hari dilakukan perawatan pembersihan alat penukar kalor ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Artono Koestoer, Raldi, 2002 .*"Perpindahan Kalor"*. Salemba Teknika. Jakarta
- Ali, M, 2012, *"Analisis Aliran pada Sisi Shell Reboiler 61-105 C dengan Menggunakan CFD"*, MTM Unsyiah
- Aquino B., zderouin C. & Polley G. T., 2007, *Towards an understanding of how tube inserts mitigate fouling in heat exchangers*, Engineering Foundation Conference, Tomar.
- Bryers, R.W., 2009, (Editor) *Proceedings of the International Conference on the Fouling of Heat Exchanger Surfaces*, Engineering Foundation, New York, (In Press).
- B. Bansal & X. D. Chen, *Fouling on heat exchanger by dairy fluids- a review*, June 2005. [http:// services. Bepress. Com/eci/heatexchanger, 2005/](http://services.bepress.com/eci/heatexchanger,2005/).
- CP. Kothandaraman, 1977, *Heat and Mass Transfer Data Book*, Wiley Eastern Limited, NewDelhi.
- DeAnda, E., *"Heat Exchanger Fouling and Corrosion Evaluation,"* Report No. 81-

- 18003, AiResearch Manufacturing Company of California, Torrance, California, June 1981.
- Ekadewi A. Handoyo, 2000, *Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger*, Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra, Jakarta.
- Gonzales Garcia G, 2009, *Ph. D. Thesis*, FIMEE, Universidad de Guanajuato.
- Gudmundur R. Jonsson, Sylvain Lalot, Olafur P. Palsson, & Bernard Desmet, 2006, *Use of extended kalman filtering in detecting fouling in heat exchanger*. International Journal of Heat and Mass Transfer.
- Holman, JP. Alih bahasa E.Jasifi, 1995. *"Perpindahan Kalor"*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Ian Wright, *"Assessment of Factor Affecting Boiler Tube Lifetime in Waste Fired Steam Generator"*, Final Report, 1996, National Renewable Energy Laboratory, Colorado
- MC. Cabe, W.L, Smith, JC, Harriot, P, 1985, *" Unit Operation of Chemical Engineering"*, 4th ed, Mc.Graw-Hill, New York, Chapter 11, 12, 15
- Kern, DQ, 1965, *"Process Heat Transfer"*, Mc.Graw-Hill, New York
- Kays, W.M. and London, A.L, 1964, *"Compact Heat Exchanger"*, 2 nd Edition McGraw-Hill, New York
- Oddgeir G, 2009, *"Detection of Fouling in Heat Exchangers"*, University of Iceland
- P. K. Nema and A. K. Datta, 2005, *A computer based solution to check the drop in milk outlet temperature due to fouling in a tabular heat exchanger*. Journal of Food Engineering.
- Polley G.T., Wilson D.I., Pugh S.J. & Petitjean E., 2007, *"Extraction of crude oil fouling data parameters from plant monitoring"*, Heat Transfer Engineering, 28 (3), 1-8
- Richard C. Byrne, 1999, *Standards of The Turbular Exchanger Manufactures Association*, Standards of The Turbular Exchanger Manufactures Association, Inc., New York.

- Rudi Hartono, 2008, *Penukar Kalor modul-1.07*, Lab. OTK, Unsultengirta, Banten
- R. B. Dooley, "Boiler Tube Failures-A Perspective and a Vision," presented at the EPRI International Boiler Tube Failure Conference, La Jolla, CA (1991).
- Roetzel W. & Spang B. 1989, "Thermal calculations in multi-pass shell and tube heat exchangers", *Chem. Eng. Res. Des.*, 67, 115-120
- Susanto, "Pengembangan Metode Deteksi Fouling pada Scondary Reformer Waste Heat Boiler 101-C", MTM Unsyiah, 2012
- S. Lalot, O.P. Palsson, G.R. Jonsson, & B. Desmet, *Comparison of neural networks and kalman filters performances for fouling detection in a heat exchanger*. *International Journal of Heat Exchangers*, VII, 2005.
- Turaikha, M, "Fouling of Heat Exchanger Surface" *Heat Transfer Engineering*, Washington D.C, Vol 5, No. 1-2, 1984
- Yunus A.Cengel and Robert H. Turner, 2005, *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*. McGraw Hill, 2 edition.
- Wahyu S. Nugroho, 2001, *Analisa Fouling Factor Pada Heat Exchanger Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Sektor Muara Karang Dengan Menggunakan Program Visual Basic 5.0*, Tugas Akhir Universitas Trisakti, Jakarta.
- Warren M. Rohsenow, 1998, *Handbook Heat Transfer*, Mc Graw-Hill Handbook, New York.