

PEMELIHARAAN TUBE-SIDE PENUKAR KALOR RSG-GAS JANGKA PENDEK DAN JANGKA PANJANG

DJUNAIDI

*Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN
Kawasan Puspitek Serpong Tangerang 15310
Banten Telp. (021) 7560908*

Abstrak

PEMELIHARAAN TUBE-SIDE PENUKAR KALOR JANGKA PENDEK DAN JANGKA PANJANG. Tube-side pada penukar kalor merupakan bidang kontak antara pendingin primer dan sekunder sehingga perpindahan kalor berlangsung disini. Pemeliharaan tube-side bertujuan untuk membersihkan kotoran, kerak yang menempel pada dinding tube, kemudian jangka panjangnya mengontrol tube-side yang telah lama digunakan untuk mengetahui bagian yang telah mengalami penuaan/penipisan untuk ditutup atau diganti dengan pipa yang baru dan setelah tube-side itu bersih akan berakibat naiknya koefisien perpindahan panas global. Pembersihan tube-side dapat saja dilakukan secara fisis ataupun dengan menggunakan bahan kimia sedangkan pemeliharaan jangka panjang terhadap tube side penukar kalor dengan pemeriksaan masing-masing tube dengan menggunakan peralatan Eddy current. Di dalam penukar kalor tube side ditempati oleh aliran pendingin sekunder dimana bagian luar dan dalam pipa-pipa selalu mengalami gesekan aliran air dengan arah yang berlawanan sehingga perlu dilakukan pemeriksaan pada usia lanjut. Perawatan jangka panjang termasuk uji material yang tidak merusak (NDT) agar benda uji masih bisa digunakan lagi. Pengujian tube side penukar kalor dilakukan dengan internal probe pada frekuensi 8 sampai dengan 16 kHz karena pipa-pipa penukar kalor menggunakan material stainless steel. Hasil uji biasanya menunjukkan adanya beberapa pipa yang mengalami penipisan dan ada kemungkinan yang rawan terhadap kebocoran sehingga pipa tersebut ditutup tidak difungsikan lagi. Dengan demikian luas bidang transfer kalor akan berkurang sedikit namun apabila pengurangan kemampuan tersebut sangat berarti maka pipa tersebut harus diganti dengan yang baru agar berfungsi kembali.

Kata kunci : tube penukar kalor

Abstract

SHORT AND LONG TERM MAINTENENCE OF TUBE-SIDE HEAT EXCHANGER OF RSG-GAS Tube side at heat exchanger is contact plane between secondaries and primary coolants so that heat transfers take place here. Keeping of tube side aim to clean impurity, cake patching at the wall tube, then expect length control tube side which have been applied is old to know division which have experiencing ijing for changed or closed with new pipe and after tube side of cleanness will cause the rising coefficient global heat transfer. Scavenging of tube side earn done is just in fisis and or by using chemicals while keeping of long range to tube heat exchanger eunuch with inspection eahh tube by using equipments of eddy current. In heat exchanger tube eunuch occupied by secondary coolant flow here exterior and in pipes always experience currents friction with directions which at the oposite causing require to be done by inspection at the age of continue. Keeping of long range cum material test which don't destroy (Non Destructive Test, NDT) so that specimen still can be applied again. Assaying of tube heat exchanger eunuch done by internal probe at requency of 8 to 16 kHz because the heat exchangers pipes apply material stainlees steel. Test result usually show existence of some pipes experiencing rarefraction and there is possibilities which gristles to leakages so that the pipes closed be not funtioned again. Thereby wide heat transfer plane will decrease a few but if the decrement of performences hardly meant hence the pipes have to be changed with new than fuction returning.

Keywords : tube, Heat Exchanger

PENDAHULUAN

Penggunaan alat penukar panas sebagai suatu alat dalam sistem pendingin adalah sangat penting karena menyangkut keselamatan operasi reaktor. Reaktor RSG-GAS menggunakan pendingin primer dan pendingin sekunder untuk mengambil panasnya. Diantara pendingin primer dan pendingin sekunder terdapat alat penukar panas yang bekerja untuk memindahkan panas yang telah diambil dari pendingin primer untuk dipindahkan ke pendingin sekunder dengan media air^[1]. Sehubungan dengan telah lamanya alat tersebut digunakan dan kinerjanya juga sudah mulai menurun maka pada saat itu perlu dilakukan pembersihan pada bagian *tube side* supaya kinerjanya menjadi lebih baik.

Pemeliharaan jangka panjang penukar kalor yang berkaitan dengan kinerjanya biasanya pada bagian *tube-tube*nya karena *tube* adalah bidang *transfer* panas/ kalor dari system pendingin primer ke system pendingin sekunder, juga *tube-tube* dari penukar kalor ini dialiri fluida baik dalam maupun luar dengan suhu yang berbeda sehingga setelah beroperasi sekitar 20 tahunan terdapat beberapa kemungkinan yang timbul yang menyangkut kinerjanya. 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. Dalam rangka pemeriksaan penukar kalor ini dipakai sebagai contoh adalah pemeriksaan *tube side* dari penukar kalor yang digunakan oleh RSG-GAS karena penukar kalor yang dimiliki PRSG besar sehingga pelaksanaan pemeriksaan akan lebih mudah.

Sehubungan dengan telah lamanya alat tersebut digunakan, maka sudah sangat mungkin mulai terjadi proses pengikisan/penipisan pada pipa-pipa yang dapat mengganggu laju alir berupa perembesan atau kebocoran dan mengganggu perpindahan kalor dari primer ke sekunder. Dengan dilakukan pemeliharaan secara rutin maka kelangsungan perpindahan kalor tetap baik dan kerusakan total dapat dihindarkan.

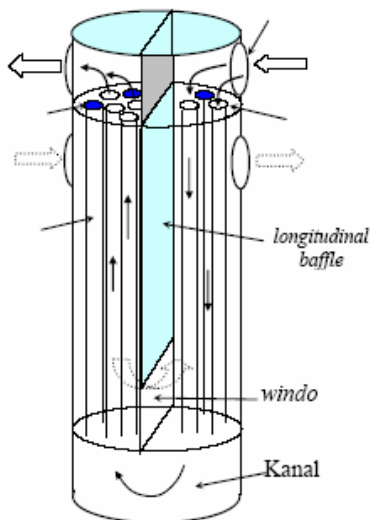
TEORI

Secara teoritis evaluasi yang dilakukan untuk mengetahui kinerja penukar kalor yang ditunjukkan oleh nilai koefisien transfer panas U-global (U_g), dengan cara membandingkan hasil pengamatan kinerjanya antara sebelum perawatan jangka pendek dan setelah perawatan, kemudian dihitung nilai koefisien transfer panasnya (U_g). Hasil pengamatan tersebut diharapkan dapat memberikan informasi terhadap perubahan kinerja penukar panas sebelum dan sesudah perawatan. Bagi operator pencatat data operasi memburuknya kinerja penukar kalor ditunjukkan oleh naiknya suhu pendingin primer pada saat keluar dari penukar kalor dalam tempo lama atau Δt primer < 50 dalam tempo lama. Untuk menghadapi masalah ini biasanya operator membersihkan *tube side* dengan mengoperasikan sistem PAH yakni pembersihan secara fisis dengan menggunakan bola-bola karet pada sistem pendingin sekunder selama beberapa hari, tetapi masalahnya tidak segampang itu. Air pendingin sekunder yang digunakan (melewati *tube side*) berasal dari air baku instalasi PAM Puspipstek sehingga ada kemungkinan munculnya kotoran atau endapan material yang menempel sehingga perlu dilakukan pembongkaran dan pembersihan *tube side*. Beberapa bola karet dapat saja tersangkut di beberapa tempat di dalam alat penukar kalor dan pipa-pipa dari penukar kalor dari dalam digesek terus dengan bola bola karet searah dengan aliran pendingin sekunder atukah tererosi oleh aliran sistem pendingin dan akibatnya semakin lama semakin tipis. Dengan demikian pasca pembersihan U_g akan membaik kembali. Cara lain dapat saja dilakukan pembersihan *tube side* alat penukar kalor di RSG dengan cara yang lebih praktis yaitu dengan menggunakan chemical cleaning sebagai bahan pembersih. Dilihat dari kondisi dan posisi tata ruang pada ruangan alat penukar panas sangatlah optimis untuk dapat dilakukan, dan yang perlu diperhatikan adalah biaya untuk pelaksanaan pembersihan dengan menggunakan chemical cleaning karena harga cairan kimia pembersih ini sangat mahal.

Diskripsi Sistem

Sistem pendingin terdiri atas 2 untai sistem pendingin primer dan sekunder yang berfungsi memindahkan kalor ke lingkungan.

Perpindahan kalor dari sistem pendingin primer ke sekunder dilakukan oleh alat penukar panas. Ambil contoh penukar kalor dari Reaktor riset diserpong, setiap penukar kalor didesain memindahkan panas sebesar 16,5 MW. Dua buah alat penukar panas yang ada mampu memindahkan panas yang dibangkitkan oleh teras reaktor sebesar 30 MW. Alat penukar panas pada sistem pendingin reaktor RSG-GAS adalah jenis *Shell and Tube* berbentuk tabung tegak, aliran berlawanan 2 *pass shell* dan 2 *pass tube*. Jumlah 2 buah alat yang terpasang secara paralel, masing-masing memiliki data geometri dan kapasitas yang sama dengan beban nominal 15 MW. Alat ini memiliki penyekat (*baffle*) longitudinal pada bagian garis tengah *shell*, sisi *shell* dilalui oleh fluida panas sedangkan *tube* dilalui oleh fluida dingin seperti pada Gambar 1. Alat pembersih *tube* berupa bola-bola elastis dilewatkan *tube* secara reguler bersama aliran yang digerakkan oleh pompa sirkulasi. Tabel 1 menyajikan data spesifikasinya.



Gambar 1. Skema Aliran

Tabel 1. Data Spesifikasi Alat Penukar Kalor Shell-Tube 2-2.[-1]

Type /Kode (KKS)	<i>Shell and tube</i> /JE-01 BC01/BC02/BC03
Diameter <i>shell</i>	1300 mm, 51,181'
Diameter <i>tube</i>	22 mm ID, 23 mm OD, 0,917 ID, 0,906 OD
Jumlah <i>tube</i> per pass	816 buah
Panjang <i>tube</i>	7410 mm, 291,732 "
<i>Tube Lay out</i>	<i>Square</i>
Luas bidang kontak	780 m ² , 120900,242 in ²
Laju alir sisi <i>shell</i>	430 kg / det
Laju alir sisi <i>tube</i>	485 kg / det= (1950-2000) m ³ /jam, 1067 lb/det
Suhu air pendingin	38°C

Dasar Perhitungan

Di dalam alat penukar kalor RSG-GAS, terjadi transfer kalor dari sisi *shell* menuju sisi *tube*, hal ini menunjukkan adanya kesetimbangan panas antara panas masuk dan keluar diantara *shell* dan *tube*. Energi panas yang dipindahkan dari pendingin primer adalah sama dengan energi panas yang diterima pendingin sekunder^[3], dengan demikian dapat ditulis sebagai

$$Q_p = Q_s = m_p \times C_{pp} \times \Delta T_p \quad (1)$$

dengan m_p dan ΔT_p merupakan parameter yang terukur sedangkan C_{pp} adalah kapasitas panas sebagai fungsi suhu fluida. Kemudian hubungan antara luas bidang transfer panas, koefisien transfer panas global dan perubahan panas dengan beban panas yang ditransfer dapat dirumuskan oleh persamaan dasar penukar^[3]

$$Q_p = Q_s = U_g \cdot A \cdot \Delta T_{lmt} \quad (2)$$

Di mana U_g adalah koefisien transfer panas global dan A merupakan luas bidang transfer panas. Koefisien transfer panas global (U_g) merupakan koefisien transfer panas kedua sisi antara *tube* dan *shell* di mana nilai U_g cenderung akan menurun harganya jika dioperasikan terus, dan ini menunjukkan pengurangan kinerja alat penukar panas setelah sekian lama dioperasikan. Selain itu penurunan kinerja alat penukar panas juga dapat dilihat dari grafik distribusi suhu fluida. Distribusi

suhu alat penukar panas adalah perubahan suhu antara masuk dan keluar baik fluida panas dan fluida dingin sepanjang *tube* (antara *inlet* dan *outlet*). Hasilnya dibandingkan dengan grafik distribusi pada saat awal operasi pada operasi dengan daya yang sama.

Beda Suhu Rerata Logaritmik (ΔT_{lmtD}) : [4]

Pada umumnya suhu fluida di dalam penukar panas tidak merupakan garis lurus apabila di plot terhadap panjang lintasan fluida (L) sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 2. Pada setiap titik T-t antara dua aliran dapat diperoleh beda suhu rerata logaritmik dengan menurunkan hubungan antara T-t terhadap L dan dengan melakukan identifikasi beda suhu di sepanjang lintasan fluida. Untuk menurunkan persamaan beda suhu antar dua fluida perlu dibuat beberapa asumsi

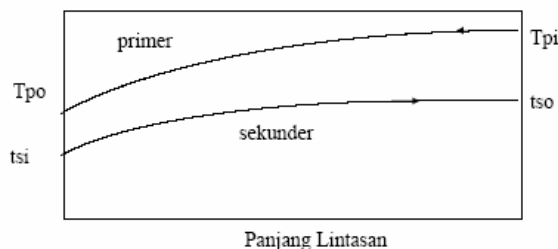
- Koefisien transfer panas global (U_g) konstan sepanjang lintasan.
- Laju massa aliran fluida konstan dan tunak
- Panas spesifik konstan
- Tidak ada perubahan fasa di dalam sistem
- Kehilangan panas ke sekelilingnya diabaikan.

Dengan menggunakan bentuk persamaan diferensial maka, akan diperoleh persamaan

$$Q = U_g A \frac{[(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)]}{\ln(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)}$$

$$Q = U_g ALMTD \text{ atau}$$

$$LMTD = \frac{(T_{pi} - t_{so}) - (T_{po} - t_{si})}{\ln(T_{pi} - t_{so})/(T_{po} - t_{si})}$$



Gambar 2. Grafik LMTD

Pemeriksaan jangka panjang

Pemeriksaan *tube-side* dengan peralatan *Eddy current* pada prinsipnya mengukur ketebalan pipa-pipa yang digunakan sebagai bidang kontak langsung antara pendingin primer dan sekunder. *Eddy current* adalah

metode pengukuran yang efektif dengan menguji pipa melalui diameter dalam (ID) dan metoda mengevaluasi secara luas kondisi pipa-pipa penukar kalor^[2]. Suatu cara pemeriksaan dengan memasukkan/menyisipkan suatu alat ke dalam tabung dan berjalan terus sepanjang pipa akan dapat memberikan informasi tentang ukuran, penempatan dan jenis manapun cacat tabung dan memberikan suatu penilaian / assessment pantas tidaknya untuk dilanjutkan atau dipakai lagi. Yang didasarkan pada informasi dari operator agar dapat memaksimalkan pemakaiannya, penukar kalor dapat beroperasi lebih efisien dan meminimkan kebocoran dan kegagalan yang tak diduga. Peralatan yang digunakan adalah : tipe instrumen MIZ 40 *Eddy current Instrument*, keluaran pabrik ZETEC, USA, tipe probe *Bobbin differential*, diameter luar probe 18,0 mm dan standart referensi pipa 213 TP 321 IH-ASME Section 5 article 8.

TATA KERJA

Berdasarkan deskripsi penukar kalor di atas tahapan evaluasi meliputi pengamatan/ pengukuran atau pengambilan data kemudian perhitungan untuk menghitung besarnya nilai U_g dengan persamaan (1), (2) dan (3). Besarnya U_g pada saat awal dioperasikan juga dihitung sebagai bahan perbandingan. Adapun suhu-suhu yang digunakan dalam evaluasi adalah besaran suhu pada sisi *shell* dan sisi *tube* alat penukar panas saat beroperasi sebagai berikut :

1. T_{pi} : Suhu pendingin primer menuju sisi shell penukar panas
2. T_{po} : Suhu pendingin primer keluar sisi shell penukar panas
3. T_{si} : Suhu pendingin sekunder menuju sisi tube penukar panas
4. T_{so} : Suhu pendingin sekunder keluar sisi tube penukar panas
5. Suhu-suhu tersebut di atas diamati pada saat sebelum dan sesudah perawatan.
6. Yang kedua sebelum melakukan pengujian *eddy current* terlebih dulu dilakukan pembersihan terhadap *tube* untuk meyakinkan bahwa *tube* benar-benar dalam keadaan bersih dari berbagai macam kotoran yang dapat mengganggu operasional gerak *probe* karena kotoran dapat merusak *probe bobbin*. Setelah pembersihan *tube* harus langsung dikeringkan agar pengujian dapat dilakukan.

Hal ini dimaksudkan untuk menghindari agar larutan pembersih tidak merusak *probe*. Selanjutnya peralatan yang digunakan adalah alat *eddy current, recorder, probe* dan pendorong *probe (probe pusher)*. Sebelum pengujian dilakukan peralatan harus dikalibrasi sesuai dengan standart, standart tube harus sesuai dengan dimensi dan jenis material serta kemungkinan heat treatmentnya dengan tube yang diuji, kemudian hasil peneraan sinyal kalibrasi yang terecord pada grafik x,y,t harus mampu membedakan dengan jelas dan proporsional antara cacat ID atau OD pada range 100% sampai dengan 20 %. Selama pengujian data harus *direcord* selagi *probe* sedang bergerak dari dalam *tube heat exchanger*. Pengujian *tube heat exchanger* dilakukan dengan *internal probe*. Penggunaan frekuensi 8 KHz harus dilakukan bila pemeriksaan pada tube *alluminium brass* dan untuk *copper stainless steel* frekuensinya antara 8 sampai 16 KHz. Untuk jenis *Heavy wall* harus digunakan frekuensi rendah begitu juga untuk logam konduktor yang bagus. Dinding yang tipis, tube yang halus dan kecil daya hantarnya harus digunakan frekuensi tinggi. *Probe* harus dapat menembus sepanjang pipa dengan menggunakan peralatan penekan udara maupun manual. Setelah *probe* menembus ujung pipa maka *probe* ditarik secara manual dengan hati-hati serta dicatat pada *chart recorder* sampai tarikan habis. Kecepatan rata-rata penarikan *probe* tidak melebihi 14 in/detik secara konstant atau disesuaikan dengan karakteristik dari material. Kecepatan dari grafik pencatat dari *recorder* harus sekitar 10 mm/detik pada rentang (range) skala penuh.

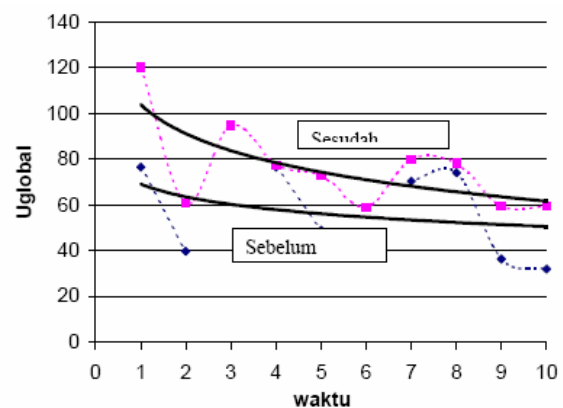
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data operasi reaktor pada daya 15 MW selama beberapa tahun operasi menunjukkan bahwa beda suhu masuk dan keluar (Δt) untuk pendingin primer (sisi-*shell*) pada alat penukar panas harganya di bawah 10°C . Ini berarti kerja alat penukar kalor tidak terlalu berat dan nilai h_o menjadi kecil. Namun demikian nilai U_g pada daya 15 MW tersebut dari waktu ke waktu sangat bervariasi karena pengaruh *additive* pada fluida dingin dan kecenderungan dari tahun ke tahun semakin turun. Setelah dilakukan pemeliharaan /overhaul nilai U_g rerata lebih besar dari

sebelum dilakukan pemeliharaan. Pemeliharaan/ overhaul terakhir dilakukan pada tahun 2000 dengan hasil evaluasi seperti pada Gambar 3.

Berdasarkan deskripsi penukar panas di atas tahapan evaluasi meliputi pengamatan/ pengukuran atau pengambilan data kemudian perhitungan untuk menghitung besarnya nilai U_g dengan persamaan (1), (2) dan (3). Besarnya U_g pada saat awal dioperasikan juga dihitung sebagai bahan pembandingan. Adapun suhu-suhu yang digunakan dalam evaluasi adalah besaran suhu pada sisi *shell* dan sisi *tube* alat penukar panas saat beroperasi sebagai berikut :

1. T_{pi} : Suhu pendingin primer menuju sisi *shell* penukar panas
2. T_{po} : Suhu pendingin primer keluar sisi *shell* penukar panas
3. T_{si} : Suhu pendingin sekunder menuju sisi *tube* penukar panas
4. T_{so} : Suhu pendingin sekunder keluar sisi *tube* penukar panas



Gambar 3 Grafik U_g Sebelum dan Sesudah Pembersihan / Pembongkaran

Suhu-suhu tersebut di atas diamati pada saat sebelum dan sesudah perawatan *overhaul*

Pemberian *additive* ke pendingin sekunder adalah untuk memperbaiki kinerja air pendingin sekunder. Fungsi *additive* untuk memperbaiki transfer panas, mencegah tumbuhnya lumut atau ganggang biru (*sianopisae*), mengurangi timbulnya kerak dan mengurangi kotoran akibat pengaruh udara luar. Pendingin sekunder yang digunakan di RSG-GAS menggunakan *additive* secara teratur hingga sekarang bahkan beberapa tahun yang lalu penggunaannya lebih dari cukup akibat U_g -nya menjadi besar dan sulit memperoleh U_g sebenarnya yang teliti.

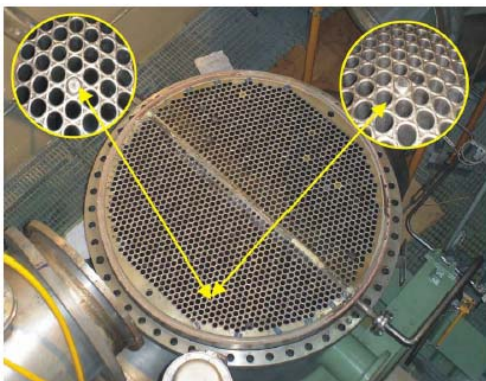
Bagian *Tube-side* merupakan bidang kontak langsung antara pendingin primer pada posisi luar dan pendingin sekunder berada pada bagian dalam, dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4. Diantara pendingin primer dan pendingin sekunder terdapat perbedaan suhu dalam operasinya, dan *transfer* panas terjadi dari luar pipa pendingin primer dengan suhu lebih tinggi menuju dalam pipa pendingin sekunder dengan suhu yang lebih rendah dimana aliran kedua pendingin berlawanan arah. Maksud dibuat berlawanan arah adalah untuk mempercepat proses perpindahan kalor. Kecepatan alir kedua sistem pendingin sedang untuk ukuran penukar kalor

dan setelah dilakukan inspeksi 20 tahunan ada beberapa pipa yang mengalami penipisan dan hanya ada sebuah pipa yang mengawatirkan karena penipisan tersebut telah mencapai 40 % yang akhirnya direkomendasikan ditutup (*plug*) untuk tidak difungsikan lagi, dengan demikian luas bidang tranfer/kontak kalor akan berkurang tetapi pengaruhnya **sangat kecil**. Penipisan tersebut akibat erosi dari aliran yang berlawanan arah kecepatan medium pada suhu antara 50 sampai dengan 60 °C selama 20 tahunan, pengaruh kualitas air sekunder tidak terlihat karena tidak terlihat adanya korosi didalam *tube* tersebut.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan dengan *Eddy Current*

HE R tubes JE01 BC02	Klasifikasi hasil/penipisan					Accessible tube	Total tube
	1 (0-20) %	2 (21-40) %	3 (41-60) %	4 (61-80) %	5 (81-100) %		
Outlet side	809	-	1	-	-	6	816
Inlet side	792	-	-	-	-	24	816
Total tube	1601	-	1	-	-	30	1632

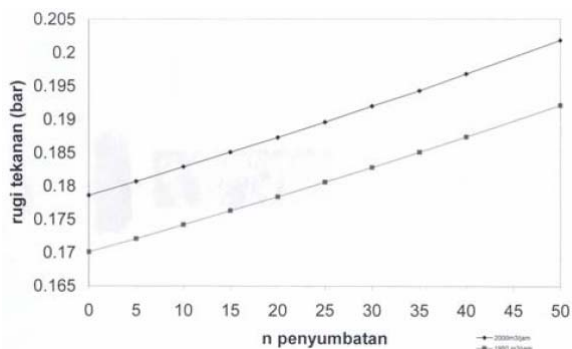
*Catatan : 1601 pipa tak ada masalah, 30 pipa masalah ringan dan 1 pipa masalah berat



Gambar 4. Tube-tube Penukar Kalor RSG Yang Ditutup Karena Mengalami Penipisan

Perhitungan tanpa penyumbatan diperoleh harga $\Delta P_{total} = 0,3546$ bar yang berarti lebih rendah dari persyaratan yang diijinkan yaitu 0,4 bar. Sementara ini dengan tersumbatnya sebuah pipa kenaikan tekanan sebesar 0,8 mbar saja berarti masih dibawah persyaratan yang diijinkan ($\Delta P_{total} = 0,3554$ bar < 0,4 bar) dan pengaruhnya terhadap laju alir dan perpindahan kalor belum berarti (-5). Perhitungan ini wajar diterima karena data desain biasanya selalu konservatif dan untuk

penukar kalor jenis tube-shell seperti yang digunakan di RSG-GAS dianjurkan ΔP_{total} tidak lebih dari 0,68 bar karena akan banyak masalah yang berkepanjangan^[3]. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Penyumbatan Tube Penukar Kalor RSG-GAS

Untuk perhitungan penyumbatan kenaikan tekanan dihitung berdasarkan jumlah pipa yang tersumbat sampai dengan jumlah yang mendekati batas keselamatan (angka pesimistis). Sebagai asumsi katakanlah 50 pipa dari 816 pipa tersumbat dan tidak dapat dialiri air sehingga luas bidang kontak berkurang dan

perpindahan kalor tidak dapat sempurna. Sementara ini dengan tersumbatnya sebuah pipa kenaikan tekanan *tube* sebesar 0,0008 bar, tidak terasa besar tetapi kalau 50 pipa tersumbat sekaligus akan terasa, besarnya tekanan menjadi 0,3986 bar mendekati batas yang diijinkan dan berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor. Selanjutnya mengenai Ug akan kembali membaik seperti setelah dibersihkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pembahasan di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa pemeliharaan/overhaul terbukti dapat meningkatkan/menaikkan kinerja sistem penukar panas di RSG-GAS. Uji dengan peralatan *eddy current* sangat banyak jumlahnya dan terdapat 30 pipa yang mengalami penipisan, dari hasil pembahasan dapat direkomendasikan satu pipa yang mengalami penipisan 40 % untuk ditutup (*plug*) tidak digunakan lagi khawatir munculnya kebocoran pada pipa tersebut dan karena tidak berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonmous, "Safety Analysis Report Rev-8" Bab 5, PRSG-BATAN.1998
2. BELL, K.J., *Heat Exchanger Design Hand-Book (HEDH)* Chapter 3, Hemisphere publishing Corp, Wasington DC (1983).
3. PERRY, H.R., *Chemical Engineering Hand-Book 6th ed.*, Section 10, Mc. Graw Hill Book Co. New York (1984)
4. KERN D.Q. *Process Heat Transfer*, Chapter 4, Mc Grow Hill Co, International Student Edition, 1965.
5. BIRTH, R.B., et.al, *Transport Phenomena, Interphase Transport In Isothermal Systems*, Dep.of Chem.Eng. Univ. Of Wiscobsin, J.Wiley&Sons, New York.
6. P2TRR, "Buku catatan harian Ruang Kendali Utama"

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

1. Menurut SAR berapa persenkah batas penipisan pipa ? (Sutrisno)
2. Sekiranya kerusakan pipa adalah sedemikian sehingga perlu penutupan (*plugged*) berapa buah pipa yang bisa ditutup sehingga HE masih memenuhi criteria dalam hal kehilangan tekanan dan perpindahan panasnya ? (Budi Rahman)

Jawaban :

1. Untuk HE yang berumur lebih dari 20 tahun, penipisan pipa/*tube* yang aman sebaiknya kurang dari 20 %.
2. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan kaket program yang sederhana Penyumbatan sebuah pipa seperti pada gambar 5 terjadi kenaikan beda tekanan sebesar 0,8 mbar. Perhitungan tanpa penyumbatan $\Delta P_{total} = 0,3546$ bar dan persyaratan yang diijinkan oleh SAR yaitu 0,4 bar. Kemudian dianjurkan pula oleh SAR bahwa ΔP_{total} tidak lebih dari 0,68 bar karena akan banyak masalah yang berkepanjangan. Batas bahaya operasi *tube* yang ditutup diestimasikan 50 buah karena laju alir pendinginan akan berkurang sekitar 5% dan kenaikan beda tekanan sebesar 0,04 bar. Jadi setelah ditutup 50 buah maka $\Delta P_{total} = 0,3546 + 0,04 = 0,3946$ bar mendekati 0,4 bar.

Tabel 3. Data Operasi dan Perhitungan Ug sebelum pemeliharaan overhaul

Waktu tgl	Pendingin Primer		Pendingin Sekunder		Fp (m ³ /jam)	Ug kcal/men. m ² °K
	Tpi (°C)	Tpo(°C)	Tsi(°C)	Tso(°C)		
05-06-'90	36	31	32	35	2750	41,84
30-03-'91	41	33	33	38	2850	41,27
04-08-'92	43	34	32	38	3200	90,92
08-02-'93	43	35	31	34	3200	42,92
22-10-'94	41	33	33	38	3200	157,47
03-11-'94	40	33	34	38	3150	120,53
08-06-'95	42	34	34	38	3200	91,71
05-04-'96	41	34	35	38	3200	63,59
01-11-'97	39	32	30	36	3150	93,88
08-11-'97	42	35	35	40	3150	120,49
10-04-'98	40	34	34	38	3200	127,49
01-06-'98	44	37	38	41,5	3200	60,62
25-03-'99	41	35	35	38	3100	54,51
31-03-'99	42	39	38	41	3000	31,85
21-1-2000	30	27	27	28	3200	34,66

Tabel 4. Data operasi dan perhitungan U global setelah dilakukan inspeksi pembongkaran

Waktu tgl	Pendingin Primer		Pendingin Sekunder		Fp (m ³ /jam)	Ug Kcal/men. m ² °K
	Tpi(°C)	Tpo(°C)	Tsi(°C)	Tso(°C)		
07-6-2000	35,5	30	29,5	32	3150	120,06
11-6-2000	44	37	36	39	3150	60,62
11-6-2000	44	37	36	39	3150	94,80
23-6-2000	44	38	37	39	3000	77,38
25-6-2000	44	38	36,5	39,5	3100	72,68
27-6-2000	44,5	39	37	40	3100	59,01
08-7-2000	43	37	36	38	3100	79,85
10-7-2000	42	36	36,5	38	2050	78,07
12-7-2000	43	38	36	39	2000	59,38
14-7-2000	44	38	37	40	2000	59,24

Dalam 1 siklus operasi harga Ug berbeda dan harga rerata Ug = 76,81 Kcal /men. m² °K