

## Penentuan Umur Sisa Pipa (*Tube*) Pada Pengilangan Minyak

Cukup Mulyana<sup>1)</sup>, Aswad Hi Saad<sup>2)</sup>, Otong Nurhilal<sup>2)</sup>, M. Farhan Yusuf<sup>3)</sup>

1) Staf Dosen Prodi Teknik Elektro Universitas Padjadjaran

2) Staf Dosen Prodi Fisika Universitas Padjadjaran

3) Prodi Fisika Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor 45364

Telp : (022) 7796014 Fax : (022) 7792435

c.mulyana55@yahoo.com

**Abstrak** –Telah terjadi kerusakan pada pipa pemanas di sebuah pengilangan. Pipa terbuat dari baja karbon menengah. Kerusakan ditandai dengan pecahnya pipa baris 2 no 4 yang mengakibatkan terhentinya produksi. Setelah dilakukan kajian analisa kegagalan, penyebab utama kegagalan adalah short term overheate, sementara pipa di sekitarnya masih terlihat baik. Untuk menghindari kerusakan serupa pada pipa disekitarnya, dilakukan kajian umur sisa dengan uji creep yang dipercepat dan uji korosi. Dari hasil uji creep dengan metoda Larson Miller pada temperatur 400°C diperoleh umur sisa pipa di atas 100 tahun, pada temperatur 500°C umur sisanya 24 tahun sedangkan pada temperatur 700°C umurnya tinggal 1,33 jam. Di atas 700°C terjadi short term overheate. Dari hasil uji SEM dan EDAX ditemukan produk korosi FeO, SO<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>. Dengan menghitung ketebalan minimum yang diijinkan dan mengukur ketebalan pipa dengan UT diperoleh laju korosi 0,0067 mm/tahun, dan umur sisa pipa tinggal 21 tahun.

**Kata kunci:** creep, korosi, umur sisa, pipa pecah, metoda Larson Miller.

**Abstract** – There has been a damage of oil heater tube in one of refinery plant. The tube located in row 2 number 4 is found ruptured and caused the plant stop to operate. The tube material is Medium Carbon Steel A 106 B. After the failure analysis is done, the main cause of failure is a short term overheating. Contrary to the rupture, the tubes around the damage one looked still in good condition. To avoid similar damage in surrounding pipe, assessment of remaining life on surrounding tube was conducted. From the accelerated creep test in laboratory, using Larson Miller method at temperature 400°C remaining life of pipe is over 100 years, at temperature 500°C it is 24 years, and at temperature 700°C only 1,33 hour. Short term overheate is occur above 700 °C. From SEM and EDAX test it is found corrosion products as FeO, SO<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>. By calculating minimum allowable thickness and using the thickness data from UT test, the corrosion rate is 0,0067 mm/y and the remaining life of tube is 21 years.

**Key words:** creep, corrosion, remaining life, rupture tube, Larson Miller method.

### I. PENDAHULUAN

*Lube oil complex* adalah fasilitas yang berada di pengilangan minyak yang beroperasi untuk menghasilkan bahan pelumas. Salah satu unitnya adalah *heat exchanger* yang digunakan untuk memanaskan pelumas dari suhu 250°C menjadi 390°C. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa solar ataupun gas[1]. Pada bulan Desember 2012 pipa pemanas ditemukan dalam keadaan pecah, pipa bocor pelumas menyembur keluar, terbakar, terlihat kepulan asap hitam yang berakibat kilang berhenti beroperasi. Peristiwa terjadi saat *shutdown* unit 22F-1[2]. Diperoleh informasi umur pakai pipa telah mencapai 39 tahun. sebelumnya diketahui bahwa penyebab kegagalan adalah karena terjadinya *overheating* lokal[3].

Dari hasil inspeksi visual menunjukkan bahwa salah satu dari pipa pada baris ke dua nomor 4 dengan yang berdiameter luar 6 inci ditemukan dalam keadaan pecah seperti terlihat pada Gambar 1. Segmen yang pecah tersebut kemudian diganti dengan pipa yang baru, dilakukan hidrotest selanjutnya dioperasikan kembali. Enam buah pipa yang berdekatan dipotong, selanjutnya *directubing*. Ke enam pipa tersebut diperiksa. Dari hasil pemeriksaan awal ditemukan karat baik di bagian dalam

maupun di bagian luar pipa. Selain itu tampak adanya penipisan terutama dari bagian dalam pipa.

Hal yang menarik untuk dikaji adalah ternyata di sekeliling pipa yang pecah tersebut kondisi pipa lainnya masih dalam keadaan utuh. Adapun pemotongan ke-enam pipa dilakukan untuk mempelajari kemungkinan dampak negatif yang terjadi akibat pemanasan lokal pada pipa yang rusak.



Gambar 1. Segmen pipa pecah pada baris 2 nomor 4.

Untuk menghindari kegagalan serupa dimasa yang akan datang, diperlukan kajian umur sisa terhadap sejumlah pipa disekitar baris 2 nomor 4.

Dalam penelitian ini telah dilakukan pemeriksaan umur sisa terhadap pipa yang masih utuh yang berada disekitar pipa yang pecah. Pengujian umur sisa dilakukan

dengan uji creep yang dipercepat di laboratorium dan

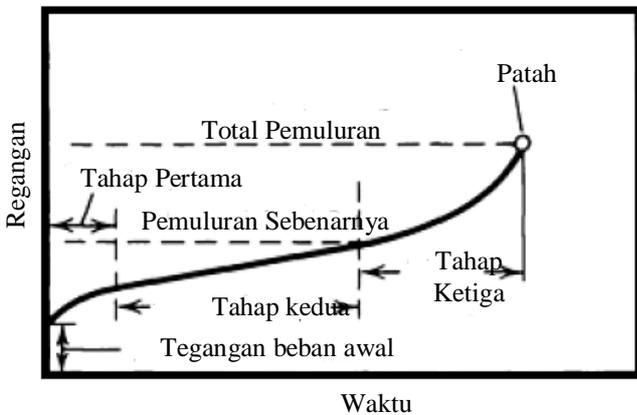
## II. LANDASAN TEORI

### A. Fenomena Creep

Creep merupakan suatu fenomena regangan *inelastik* permanen yang terjadi ketika suatu material mengalami tekanan secara terus-menerus pada temperatur tinggi dalam jangka waktu yang lama[4]. Pipa pada kilang minyak atau pembangkit listrik mengalami pembebanan mekanik berupa *hoop stress* akibat tekanan internal pipa, dan pembebanan termal akibat paparan panas dari tungku, atau *heat exchanger*. Prosesnya berlangsung dalam jangka waktu lama. Pada temperatur tinggi kekuatan suatu material akan menurun secara perlahan seiring bertambahnya waktu operasi. Creep pada temperatur tinggi terjadi saat temperatur pemanasan  $T$  mendekati  $0,5 T_m$  dengan  $T_m$  adalah titik lebur material[5]. Ketika creep terjadi struktur mikro berubah, material mengalami regangan yang bergantung pada tegangan, temperatur dan waktu, seperti pada persamaan (1)[6]:

$$\varepsilon = f(\sigma, T, t) \quad (1)$$

dengan  $\varepsilon$  adalah regangan dalam satuan %,  $t$ : waktu (jam),  $\sigma$ : tegangan ( $N/m^2$ ), dan  $T$ : suhu ( $^{\circ}C$ ). Perilaku *creep* material ditunjukkan oleh Gambar 2[4]. Ada tiga tahapan peregangan yang dialami material yaitu tahap pertama disebut tahap *transient creep*, terjadi saat beban mulai diberikan.



Gambar 2. Kurva *creep*, perubahan regangan  $\varepsilon$  terhadap waktu  $t$

Material mengalami *strain hardening* ditandai dengan laju regangan yang menurun akibat tegangan yang diberikan. Regangan awalnya sebesar  $\varepsilon_0$ . Selanjutnya tahap kedua disebut *steady state creep*. Dengan berjalannya waktu energi termal memulihkan efek pengerasan mengembalikan atom dan cacat pada material ke posisi semula. Terjadi kesetimbangan antara tegangan dan efek temperatur. Tahap ini ditandai oleh laju regangan yang konstan. Terakhir tahap ke tiga adalah tahap menjelang material patah. Pada tahap ini efek termal mendominasi efek regangan, energi termal telah banyak diserap, terbentuk kekosongan (*void*) dalam jumlah besar diakhiri dengan adanya penyempitan lokal

melalui kajian korosi.

(*necking*) yang berujung pada patahnya material. Tahapan iniberlangsung dengan amat cepat.

### B. Parameter Larson Miller

Untuk memprediksi umur sisa material akibat *creep* dilakukan uji *creep* yang dipercepat di laboratorium. Dari eksperimen diperoleh data tegangan, temperatur dan waktu putus benda uji, standar pengujian merujuk pada ASTM E-139[7]. Metoda Larson Miller adalah salah satu metoda terbaik untuk menentukan umur sisa. Sebelumnya dihitung dahulu Parameter Larson-Miller (PLM) seperti terlihat pada persamaan (2)[5]

$$PLM = T(C_1 + \log t_r) 10^{-3} \quad (2)$$

dengan  $T$  menyatakan temperatur uji (K),  $t_r$  waktu putus sampel (jam) dan  $C_1$  adalah konstanta Larson Miller yang nilainya bergantung pada jenis material yang digunakan. Selanjutnya dihitung umur sisanya dengan menggunakan kurva Larson Miller. Untuk mendapatkan kurva yang baik paling sedikit diperlukan 5 titik pengamatan untuk pasangan tegangan  $\sigma$  dan temperatur  $T$  yang berbeda. Selanjutnya menggunakan tekanan internal pipa dihitung tegangan *hoop* nya seperti terlihat pada persamaan (30)[5].

$$\sigma = \frac{PD}{2t} \quad (3)$$

dengan  $P$ : tekanan internal pipa,  $D$ : diameter luar,  $t$ : ketebalan. Dengan menggunakan kurva Larson Miller dapat ditentukan umur sisanya, seperti terlihat pada gambar (4).

### C. Korosi Temperatur Tinggi

Korosi temperatur tinggi adalah proses degradasi mutu material termasuk sifat-sifat mekaniknya yang disebabkan pengaruh atmosfer pada temperatur tinggi. Temperatur tinggi memiliki pengertian lingkungan korosi dalam fasa gas dan atmosfer tidak mengandung air. Temperatur dimana terjadinya difusi atom yang memberikan pengaruh yang besar, temperturnya diperkirakan sekitar  $0,5 T_m$ . Temperatur terjadinya oksidasi besi atau baja di atas  $570^{\circ}C$  [8]. Temperatur tinggi memberikan pengaruh ganda terhadap degradasi logam. Pertama kenaikan temperatur akan mempengaruhi aspek termodinamika yang akan meningkatkan kinetika reaksi, sehingga degradasi akan lebih cepat pada temperatur tinggi. Kedua kenaikan temperatur akan mempengaruhi dan merubah struktur dan perilaku logam. Sehingga pada temperatur tinggi selain terjadi kerusakan fisik pada permukaan dalam bentuk korosi, terjadi juga penurunan ketahanan mekanik secara internal sehingga logam menjadi rapuh.

### D. Ketebalan Minimum Pipa.

Dalam tahap konstruksi batas minimum ketebalan pipa berdasarkan umur desainya harus memenuhi persyaratan API 530 [8]. Dengan berjalannya waktu

operasi, pipa di kilang akan mengalami penipisan. Untuk itu perlu dihitung berapa ketebalan minimum yang masih diijinkan untuk kondisi operasi di lapangan. Untuk menentukan umur sisa akibat korosi perlu dihitung batas ketebalan minimum yang diijinkan dengan acuan tegangan elastik dan dengan acuan batas tegangan putus. Persamaan (4) dan (5) adalah persamaan ketebalan minimum dengan menggunakan tegangan pada batas elastis, sedangkan persamaan (6) dan (7) adalah persamaan ketebalan minimum dengan menggunakan tegangan pada batas putus[8].

$$t_s = \frac{P_e D_0}{2S_e + P_e} \text{ atau } t_s = \frac{P_e D_i}{2S_e - P_e} \quad (4)$$

$$t_m = t_s + CA \quad (5)$$

$$t_s = \frac{P_r D_0}{2S_r + P_r} \text{ atau } t_s = \frac{P_r D_i}{2S_r - P_r} \quad (6)$$

$$t_m = t_s + fCA \quad (7)$$

dengan  $t_e$ : ketebalan elastis (inci) atau (milimeter),  $P_e$ : tekanan desain elastik (*pound per square inchi gauge* atau Mega pascal (*gauge*)),  $D_0$ : diameter luar (inci) atau (millimeter),  $D_i$ : diameter dalam (inci) atau (milimeter),  $S_e$ : tegangan elastik yang diizinkan (*pounds per square inc*) atau (Mega pascal),  $t_m$ : ketebalan minimum (inci) atau (milimeter), CA: toleransi korosi (inci) atau (milimeter),  $P_r$ : tekanan desain pecah (*pound per square inchi gauge*) atau (Mega pascal (*gauge*)),  $S_r$ : tegangan pecah yang diizinkan (*pounds per square inchi*) atau (Mega pascal), f: fraksi korosi.

### III. RANCANGAN PENELITIAN

Penelitian diawali dengan mendapatkan pipa yang rusak disalah satu pengilangan minyak di pulau Jawa. Dilanjutkan dengan pengamatan visual dan pengukuran geometri sampel. Dari hasil kajian analisa kegagalan disimpulkan kegagalan karena *overheating*.

Beberapa buah pipa disekitar pipa yang gagal diambil untuk dijadikan sampel. Dilanjutkan dengan preparasi sampel untuk uji creep tempertur tinggi sebanyak 6 buah, Pengujian *creep* dilakukan dengan menetapkan 6 pasangan tegangan dan temperatur, selanjutnya dilakukan pengujian dan dihitung waktu putusnya. Data-data tersebut dipakai untuk membuat kurva Larson Miller untuk dipergunakan untuk menentukan umur sisa.

Terhadap sampel pipa tersebut dilakukan juga pengukuran ketebalan dengan menggunakan UT. Ketebalan ini diperlukan untuk menghitung laju korosi CA. Untuk menghitung ketebalan minimum yang diijinkan diperlukan data operasional tekanan dan temperatur desain dan operasional di titik masukan dan titik keluaran minyak pelumas. Perhitungan dilakukan dengan merujuk pada API 530. Dilakukan uji EDAX pada karat yang ada dipermukaan dalam dan luar pipa. Tujuannya untuk mengetahui produk korosi yang terjadi. Selanjutnya dihitung umur sisa akibat korosi.

### IV. DATA HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengamatan di lapangan, pipa pecah mengalami penggelembungan (*bulging*) yang ekstrim dibagian yang pecah ketebalan pipa menurun secara ekstrim yang memberikan indikasi awal bahwa pipa yang pecah mengalami *short term overheating* atau *stress rupture*. Sedangkan disekeliling pipa pecah pipa lainnya tidak terlihat *bulging* namun terlihat adanya deformasi dan karat baik dibagian dalam maupun luar pipa seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Enam potongan pipa disekitar pipa yang pecah

Material pipa terbuat dari *medium carbon steel* biasa tanpa paduan Cr dan Mo. Termasuk grade A-106B dengan *yield strength* (YS) dan *ultimate tensile strength* (UTS) masing masing 35,000 psi dan 50,000 psi pada temperatur kamar. *Creep threshold temperature* adalah 370°C.

#### A. Data Desain dan Operasional

Dari hasil observasi langsung lapangan diperoleh data desain dan operasional seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data desain dan operasional

Parameter	Elastic Design	Rupture Design
Diemeter Luar ( $D_o, mm$ )	168,3	168,3
Tekanan Desain ( $P_o, MPa$ )	1,12	1,12
Temperatur Maks ( $T_m, ^\circ C$ )	-	-
Temperatur Yang Diijinkan ( $T_A, ^\circ C$ )	-	-
Temperatur Desain ( $T_d, ^\circ C$ )	390	390
Umur Desain ( $L_d, jam$ )	-	324120
Korosi yang diizinkan ( $CA, mm$ )	3,175	3,175
Tegangan yang Diijinkan ( $S_e, MPa$ )	51,688	60,313

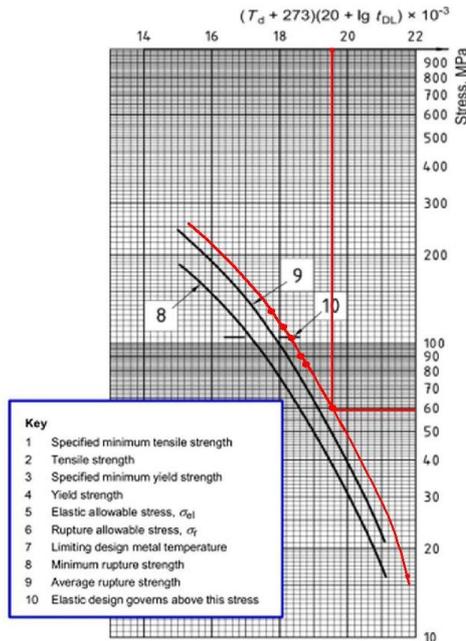
#### B. Data dan Hasil Perhitungan Umur Sisa Akibat Creep

Berikut ini adalah data hasil uji creep yang di percepat yang dilakukan di B2TKS BPPT Serpong. Data hasil pengukuran adalah teganga  $\sigma$ , temperatur T dan waktu putus  $t_f$ , sedangkan PLM dihitung dengan menggunakan persamaan (2). Harga konstanta Larson Miller digunakan sebesar 20.

Tabel 2. Hasil Uji creep

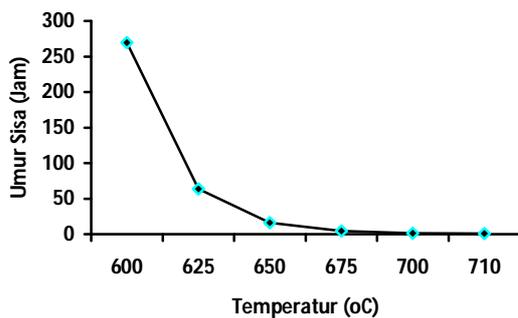
Sampel uji creep	T ( $^\circ C$ )	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$T_r$ (jam)	PLM
1	700	83,53	0,2	18,78
2	650	90,60	1,4	18,59
3	600	103,54	11,9	18,40
4	550	115,65	99,2	18,10
5	600	129,43	164,3	17,59

Selanjutnya dibuat kurva Larson Miller dengan memetakan PLM pada sumbu-x dan tegangan pada sumbu-y seperti pada Gambar 4. Dari data tekanan internal pipa sebesar  $1,12 \text{ kg/cm}^2$  dengan menggunakan persamaan (3) diperoleh tegangan nominal (*hoop stress*) sebesar 59,98 MPa. Selanjutnya dari grafik pada Gambar 4 didapat  $PLM = 19,58$ . Dengan menggunakan persamaan (2), pada temperatur operasi  $310 \text{ }^\circ\text{C}$  umur sisa akibat creep masih di atas 100 tahun.



Gambar 4. Kurva tegangan  $\sigma$  terhadap PLM hasil uji creep

Selanjutnya dilakukan perhitungan umur sisa untuk berbagai kemungkinan temperatur. Hasilnya di petakan pada Gambar 5. Dalam grafik terlihat perkiraan umur sisa pipa menurun secara tajam setelah melewati temperatur  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Gambar 5. Kurva penurunan umur sisa terhadap temperatur

Sedangkan pada temperatur  $710 \text{ }^\circ\text{C}$  umur pipa hanya 0,8 jam, waktu hidup pipa yang sangat pendek. Jika dihubungkan dengan fenomena *short term overheating* sebagai penyebab kegagalan, berdasarkan uji *creep* di

laboratorium dapat diprediksi temperatur kulit luar pipa pemanas pada saat pecah mencapai temperatur  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ .

C. Data dan Perhitungan Umur Sisa Pipa Akibat Korosi

Kondisi operasi normal untuk tekanan masukan dan temperatur keluaran pipa yang pecah adalah  $4,219 \text{ kg/cm}^2$  dan  $390 \text{ }^\circ\text{C}$ . Jika batas ketebalan elastis  $s_e$  :  $51,6875 \text{ MPa}$  berdasarkan persamaan (4) dipakai sebagai acuan untuk menghitung ketebalan, ketebalan dinding diperoleh ketebalan minimal pipa yang diijinkan  $t_s$  :  $1,80 \text{ mm}$ . Sedangkan jika batas tegangan putus  $s_r$  :  $60,3125 \text{ MPa}$  berdasarkan persamaan (6) diperoleh ketebalan minimum pipa yang diijinkan  $t_s$  :  $1,55 \text{ mm}$ .

Setelah diperhitungkan dengan Persamaan (5) dan (7), maka ketebalan minimum yang diizinkan untuk *criteria elastic design* adalah  $5 \text{ mm}$  dan untuk *criteria rupture design* dengan menggunakan faktor korosi  $f = 0,5$  ketebalan minimumnya adalah  $3,14 \text{ mm}$ .

D. Hasil Perhitungan Umur Sisa Akibat Korosi

Tabel 3. Perhitungan umur sisa dalam aspek korosi

Parameter	Nilai
Tube Original Thickness (mm)	7,11
Tube Thickness Minimum Rata-Rata (mm)	4,6 (row 6)
Corrosion Rate (mm/year)	0,064
Required Thickness Based on API 530 (mm)	5 dan 3,14
Umur Pakai (Tahun)	39 (1974)
Umur Sisa (Tahun)	21 tahun untuk kriteria <i>rupture design</i> dan sudah habis untuk kriteria <i>elastik design</i>

Dari Tabel 3 perhitungan umur sisa yang berkaitan dengan korosi terlihat bahwa korosi merupakan mekanisme kerusakan yang lebih dominan dibandingkan dengan *creep* sehingga umur sisa akan dikendalikan oleh laju korosi bukan *creep*.

Jika umur kriteria API 530 untuk *elastik design* digunakan, maka umur *tube* tersebut sudah habis (terhadap serangan korosi). Namun demikian berdasarkan informasi dari Pertamina UP IV, semua *tube* di row 1 - 6 oil heater 25F1 LOC-I sudah diganti dengan yang baru (*total replacement*). Sehingga *tube* dari row 1 - 6 sekarang masih memiliki umur  $> 30$  tahun.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan umur sisa disekitar pipa yang pecah kegagalan pipa akibat *creep* dalam kondisi operasi normal masih dapat bertahan diatas 100 tahun , sedangkan untuk umur sisa pipa berdasarkan kegagalan akibat korosi jika digunakan batas tegangan elastis umur sisa pipa sudah habis, sedangkan jika digunakan batas putus diprediksi umur sisa pipa masih berumur 21 tahun. Berdasarkan uji *creep* dilaboratorium *short term overheating* terjadi pad temperatur  $975 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Direktur PT. Advance Technology solution yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk melakukan penelitian pada obyek kegagalan pipa di salah satu kilang minyak di Pulau Jawa.

**PUSTAKA**

- [1] Design and operation Specification Oil Header 25 F1, LOC-1. Pertamina UP-IV Ci;acap 2012.
- [2] Laporan kronologis Tube Leak 26 F1 dari Man Pro 2012.
- [3] Final Technical Report. *Oil Heater Tube RCA dan RLA Pertamina UP IV Cilacap*.
- [4] Dieter, E. George. 1988. *Mechanical Metallurgy, SI Metric ed.* Singapore: McGraw Hill Book Co. pp 439-441
- [5] R. Viswanathan, *Damage Mechanism and Life Assesment of High Temperature Component*. ASM International 1995 pp 65-68.
- [6] Cukup Mulyana, Ahmad Taufik, Agus Yudi Gunawan, Rustam Efendi Siregar. PIP Symposium 2013. Quantitative Analysis of Microstructure Deformation in Creep Fenomena of Ferritic SA-213 T22 and Austenitic SA-213 TP 304H material. Vol. 1554 pp 126-130.
- [7] ASTM E-139 (2003), Standard Test Method for Conducting Creep, Creep rupture and Stress rupture of Method Material ASTM Internasional.
- [8] API Standard 530. 2003. *Calculation of Heater-Tube Thickness in Petroleum Refineries, 5<sup>th</sup> ed.* Washington D.C: American Petroleum Institute