

PENENTUAN TEMPERATUR OPERASIONAL "ROD HANGER TUBE HEATER" AGAR MENCAPAI UMUR OPERASI DESAIN

DETERMINATION THE OPERATING TEMPERATURE "HANGER ROD OF HEATER TUBE" IN ORDER TO ACHIEVE THE LIFE OF OPERATION DESIGN

Hadi Sunandrio

Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) - BPP Teknologi
Kawasan PUSPIPTEK - Setu - Tangerang Selatan 15314 - Banten

Telp. : 021-7560562 ext. 6054, Fax. : 021-7560903

Email : hadisunandrio@yahoo.com

Abstrak

Rod Hanger Tube Heater yang sudah beroperasi sekitar ± 7 bulan akan tetapi belum dilengkapi dengan best practice berapa lama MTBF (Mean Time Between Failure) atau Life Time nya. Oleh karena itu dibutuhkan pengujian untuk mengetahui berapa sebenarnya Life Time dari Rod Hanger, yang nantinya akan menjadi acuan MTBF dari Rod Hanger tersebut. Pada tulisan ini akan disajikan suatu hasil pengujian mulur (creep test) dari Rod Hanger, yang kemudian diekstrapolasi sehingga akan menghasilkan grafik LMP vs tegangan, yang merupakan kombinasi tiga parameter yaitu waktu (time to rupture), logaritma tegangan dan suhu operasi menjadi satu kurva yang disebut Kurva Master Larson-Miller Parameter (LMP Master Curve). Selanjutnya parameter ini dapat digunakan untuk menghitung umur pakai Rod Hanger yang dioperasikan pada suhu tinggi, dengan menggunakan persamaan Larson-Miller Parameter (LMP)

Kata kunci : Rod Hanger, Pengujian Mulur, Larson-Miller Parameter, Umur Pakai

Abstract

Rod Hanger of Tube Heater that has been operated for ± 7 months has not been completed with best practice of MTBF (Mean Time Between Failure) time or Life Time. That is why it is needed to find out real life time of the rod hanger, that will be used as the reference data of MTBF for the rod hanger. In this article it is presented the result of creep test of the rod hanger, which then extrapolated to obtain LMP vs Stress diagram as the combination of three parameters, i.e. time (time to rupture), logarithms of stress and operational temperature in a curve which is called Master Curve of Larson - Miller Parameter (LMP Master Curve). Further more, the parameter is used to calculated useful life of rod hanger for high temperature operation, with the equation of Larson - Miller Parameter.

Key words : Rod Hanger, Creep Test, Larson-Miller Parameter, Life Time

Diterima (received) : 12 November 2016, Direvisi (Revised) : 22 November 2016,
Disetujui (Accepted) : 4 Desember 2016

PENDAHULUAN

Rod Hanger Tube Heater yang menggunakan material ASTM A 608 Grade HK 40 sudah beroperasi sekitar ± 7 bulan akan tetapi belum dilengkapi dengan best

practice berapa lama MTBF (Mean Time Between Failure) atau Life Time nya.

Oleh karena itu dibutuhkan pengujian dan pemeriksaan untuk mengetahui berapa sebenarnya umur pakai (life time) dari Rod Hanger tersebut.

Dalam mendisain suatu komponen yang beroperasi pada suhu tinggi umumnya umur operasinya di disain 100.000 jam (11,57 tahun) dan tentunya harus dioperasikan dalam kondisi aman.^{1) 2)}

Akan tetapi pada kenyataannya banyak komponen yang mengalami rusak sebelum umur operasinya tercapai, sehingga mengakibatkan kerugian dan kecelakaan yang cukup besar.

Oleh karena itu untuk mengantisipasi hal tersebut, maka perhatian industriawan yang bergerak dalam bidang perminyakan atau petrokimia, keamanan dan kelayakan operasi terhadap suatu peralatan atau komponen, berkembang kearah tinjauan terhadap umur operasi disain agar mencapai 100.000 jam.^{1) 2)}

Untuk mengoptimalkan agar umur operasi desain mencapai 100.000 jam maka salah satu komponen dari Tube Heater pada Unit Pengolahan Minyak Mentah yaitu Rod Hanger perlu dilakukan pemeriksaan dan pengujian, tentunya harus mengikuti tata cara pengoperasian peralatan tersebut yang telah dicantumkan pada Standard Operational Procedure (SOP). Tata cara ini harus dilaksanakan sebaik - baiknya, dan tentunya dengan dukungan alat kontrol suhu, tekanan dan gaya yang benar dan akurat.^{1) 2)}

Kemudian untuk mengkaji dan mengetahui umur operasi dari Rod Hanger Tube Heater dibutuhkan suatu teknik yang sudah standar dan diakui, agar hasil pengkajiannya lebih akurat dan terpercaya.

Kerusakan akibat suhu tinggi dalam kurun waktu yang cukup lama, tanpa adanya kesalahan pengoperasian (SOP), biasanya terjadi akibat pengaruh creep atau mulur.^{1) 2)}

Rod Hanger Tube Heater akan terdeformasi secara kontinu dan perlahan-lahan dalam kurun waktu yang lama, apabila dibebani secara tetap. Laju regangan creep tergantung pada waktu dan suhu serta pembebanan yang konstan.

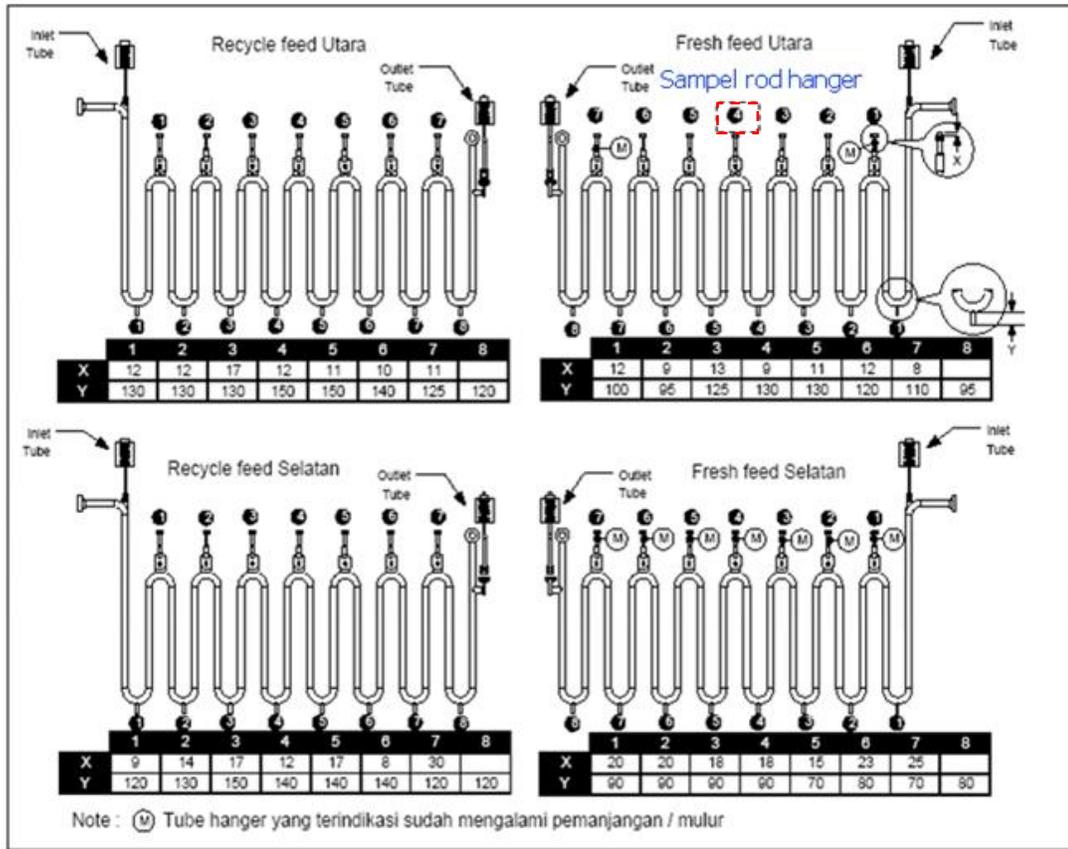
Proses kerusakan akibat creep terjadi pada suhu tinggi atau yang mendekati suhu cair suatu bahan. Proses kerusakan creep pada bahan biasanya terjadi pada suhu yang berada pada 0,4 ÷ 0,5 kali titik cair dalam derajat kelvin atau biasanya dinyatakan

dengan $0,4 \div 0,5 T_m$ dan terjadi akibat adanya peregangan butiran atau struktur pada suhu tinggi dalam waktu yang lama pada kondisi pembebanan konstan.^{1) 2)}

Jadi tujuan dilakukannya pemeriksaan dan pengujian ini adalah untuk mengetahui kehandalan (*reliability*) dan memprediksi umur pakai dari Rod Hanger, yaitu meliputi pemeriksaan metalografi (struktur mikro), komposisi kimia, uji kekerasan dan uji creep. Dari hasil pemeriksaan dan pengujian tersebut maka akan dapat diprediksi umur pakai (*life time*) dari material Rod Hanger, yang nantinya akan menjadi acuan berapa lama *MTBF* (*Mean Time Between Failure*) atau *Life Time* dari Rod Hanger tersebut.

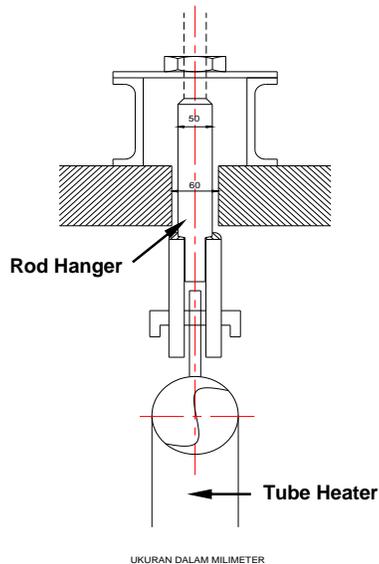


Gambar 1.
Foto Unit Heater di salah satu kilang pengolahan



Gambar 2.

Latak dan susunan tube yang berada di dalam Heater serta lokasi dari Rod Hanger yang akan dilakukan pemeriksaan dan pengujian.



Gambar 3.

Letak dan susunan Rod Hanger terhadap Tube Heater.

BAHAN DAN METODE

BAHAN

Rod Hanger yang akan di prediksi temperatur operasinya agar mencapai umur disain yaitu 100.000 jam menggunakan bahan / material ASTM A 608 Grade HK 40, dengan data pendukung sebagai berikut:

-) Objek : Hanger Rod
-) Material : HK 40
-) Diameter (D) : 50 mm = 5 cm
-) Beban (P) : Ψ 47000 N } 4796 kg
-) Tegangan (Ξ) : 245 kg/cm² } 24 MPa
-) Bridge Wall Temperature Actual Maksimum (Temp. Operasi) : 827 °C
-) Temperature : 93 °C atau 1500 °F
-) Allowable Stress Rod : 5.17 MPa (pada 793°C - ASME II).³⁾
-) Operating Pressure Tube Arrangement : 190 kg/cm²

METODE

Metode penelitian ini datanya akan dipergunakan untuk pengkajian dan memprediksi temperatur operasi Rod Hanger agar mencapai umur disain, meliputi:

Pemeriksaan Metalografi dengan menggunakan mikroskop optik "*Metalloplan*" (mengacu pada ASTM E 407) : Untuk mengamati struktur makro dan mikro serta mengamati kemungkinan adanya cacat mikro yang tidak terdeteksi oleh alat lain.

Pemeriksaan Komposisi Kimia menggunakan alat "OES Metorex Arc-Met 930" (mengacu pada ASTM A 751) : Untuk meneliti kandungan elemen yang ada pada material dasar dari Rod Hanger.

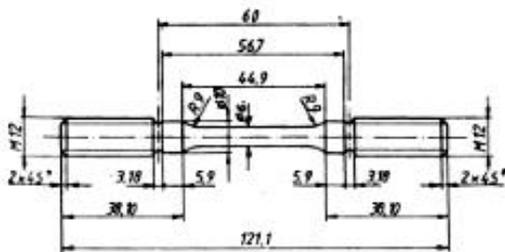
Pengujian Kekerasan menggunakan alat "*Frank Finotest*" (mengacu pada SNI 19-0406) : Untuk mengevaluasi perubahan nilai kekerasan yang terjadi setelah beroperasi.

Pengujian Mulur (*Stress Rupture Test / Creep Test*) menggunakan mesin Creep: Untuk mendapatkan nilai kombinasi tiga parameter yaitu waktu (*time to rupture*), logaritma tegangan dan suhu operasi menjadi satu kurva yang disebut Kurva Master **Larson - Miller Parameter** (LMP Master Curve). Dari parameter tersebut nantinya akan dapat digunakan untuk memprediksi temperatur operasional Rod Hanger Tube Heater agar mencapai umur operasi 100.000 jam.⁴⁾



Gambar 4.

Sampel Rod Hanger yang digunakan untuk pemeriksaan struktur mikro, analisa komposisi kimia, uji kekerasan dan uji creep

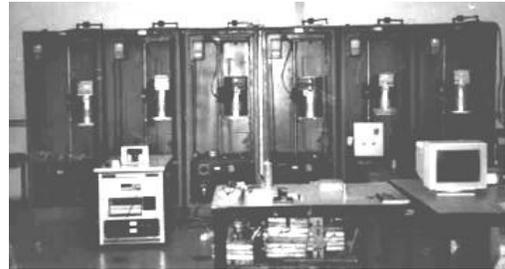


Gambar 5.

Dimensi benda uji berdasarkan standar mesin uji creep⁵⁾

Benda uji yang telah selesai dibuat, kemudian diuji dengan menggunakan mesin uji *creep* (lihat gambar 6), dengan jumlah benda uji minimal 5 sample.

Pada saat pengujian, data yang dibutuhkan adalah suhu, dan beban pengujian. Sebelum pembebanan dilakukan, benda uji harus dipanaskan hingga mencapai suhu konstan selama 24 jam (sesuai standar ASTM E139-70).⁵⁾



Gambar 6.

Bentuk mesin uji *creep* yang ada di B2TKS - BPPT

Untuk memprediksi umur operasi rod hanger tube heater, salah satu cara yang terbaik atau yang sering digunakan adalah dengan menggunakan persamaan "**Larson - Miller**" **Parameter (LMP)**. Dari persamaan ini dapat dengan mudah dihitung umur operasi Rod Hanger tube heater, melalui **kurva master LMP vs log.t** (tegangan).⁴⁾

$$LMP = (T \text{ } ^\circ\text{C} + 273) (C + \log t_r) 10^{-3} \quad (1)$$

Persamaan Larson - Miller Parameter dikembangkan berdasarkan penjabaran lebih lanjut dari persamaan laju tipe *Arrhenius*, yang menyatakan bahwa *creep* merupakan proses aktivasi tunggal yang terjadi pada suhu antara $0,4 \div 0,5 T_m$.^{1) 2)}

Menurut Larson - Miller Konstanta C merupakan hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai C berkisar antara 15 sampai dengan 30, tergantung pada jenis bahan yang digunakan atau yang dipakai, dan berdasarkan standar "*API Recommended Practice 530*", ditetapkan bahwa untuk baja Carbon Steel nilai C = 20.⁴⁾

HASIL DAN PEMBAHASAN

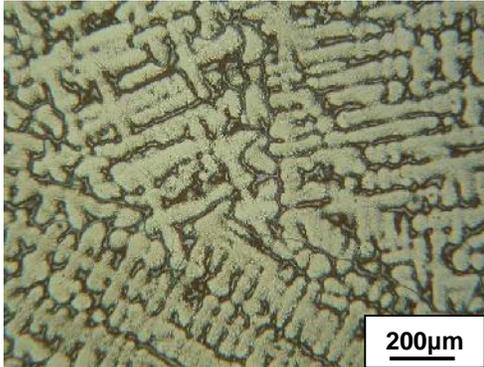
Hasil Pemeriksaan dan Pengujian

Adapun pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan terhadap Rod Hanger meliputi: pemeriksaan metalografi (struktur mikro), pemeriksaan komposisi kimia, uji kekerasan dan uji creep. Data dari hasil pemeriksaan dan pengujian tersebut nantinya akan dapat digunakan untuk mengidentifikasi material rod hanger, apakah telah sesuai dengan material ASTM A 608 Grade HK 40.

Sedangkan data dari hasil uji creep dapat digunakan untuk memprediksi umur operasi Rod Hanger agar mencapai 100.000 jam.

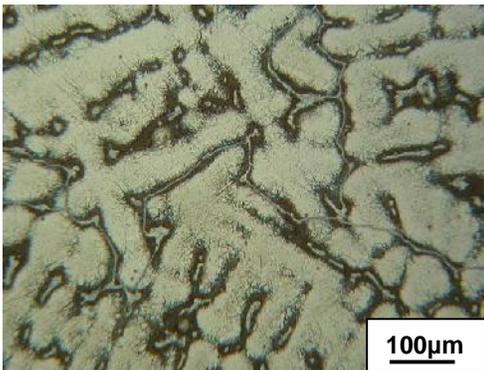
Hasil Pemeriksaan Metalografi

Pemeriksaan metalografi dilakukan bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur mikro material Rod Hanger.



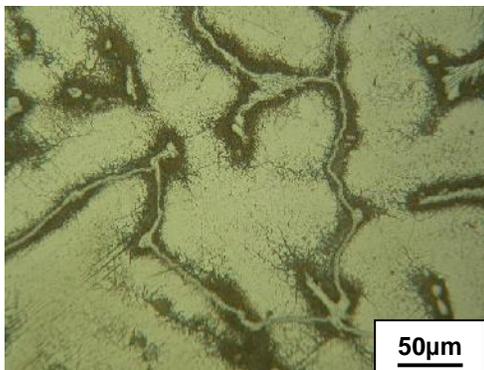
Gambar 7.

Struktur mikro potongan melintang Rod Hanger berupa austenitik sebagai matriks utamanya. Etsa : Kalling's Reagent.



Gambar 8.

Perbesaran dari gambar 7.



Gambar 9.

Perbesaran dari gambar 8.

Dari hasil pemeriksaan metalografi di dapat struktur mikro berupa austenitik sebagai matriks dengan karbida menyerupai pulau-pulau tersebar (*scattered island*) hampir membentuk jaringan (*network*), lihat gambar 7 s/d 9.

Hasil Analisa Komposisi Kimia

Berdasarkan hasil analisa komposisi kimia terhadap material Rod Hanger telah memenuhi standard material ASTM A 608 Grade HK 40. Hasil analisa komposisi kimia dapat di lihat pada table 1 dibawah ini:

Tabel 1.
Hasil Analisa Komposisi Kimia

| Unsur | Result (% wt) | Standard ASTM A 608 Grade HK 40 |
|-------|--------------------|------------------------------------|
| C | 0.367 | 0.35 - 0.45 |
| Si | 1.019 | 0.50 - 2.00 |
| Mn | 1.083 | 1.50 (max.) |
| Ni | 20.683 | 19.00 - 22.00 |
| Cr | 24.716 | 23.00 - 27.00 |
| Mo | 0.295 | 0.50 (max.) |
| S | 0.005 | 0.04 (max.) |
| P | 0.019 | 0.04 (max.) |

Sumber Data : Standard ASTM A 608, "Specification for Centrifugal Cast Iron Chromium Nickel High Alloy Tubing for Pressure Application at High Temperatures".⁶⁾

Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap material Rod Hanger telah memenuhi standard material ASTM A 608 Grade HK 40. Hasil pengujian kekerasan dapat di lihat pada table 2 dibawah ini:

Table 2.
Hasil Pengujian Kekerasan

| No | Nilai Kekerasan dalam HV | Standard ASTM A 608 Grd. HK 40 |
|----|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1. | 206 | 160 HV - 250 HV |
| 2. | 199 | |
| 3. | 210 | |
| 4. | 210 | |
| 5. | 206 | |

Rata-rata = 206.2

Sumber Data : Standard ASTM A 608, "Specification for Centrifugal Cast Iron Chromium Nickel High Alloy Tubing for Pressure Application at High Temperatures".⁶⁾

| | | | | |
|---|------|-----|--------|-------|
| 2 | 3.10 | 500 | 323.70 | 16.26 |
| 3 | 3.13 | 550 | 280.79 | 16.75 |
| 4 | 3.14 | 600 | 192.64 | 17.42 |
| 5 | 3.17 | 650 | 132.28 | 18.18 |

Hasil Pengujian Creep

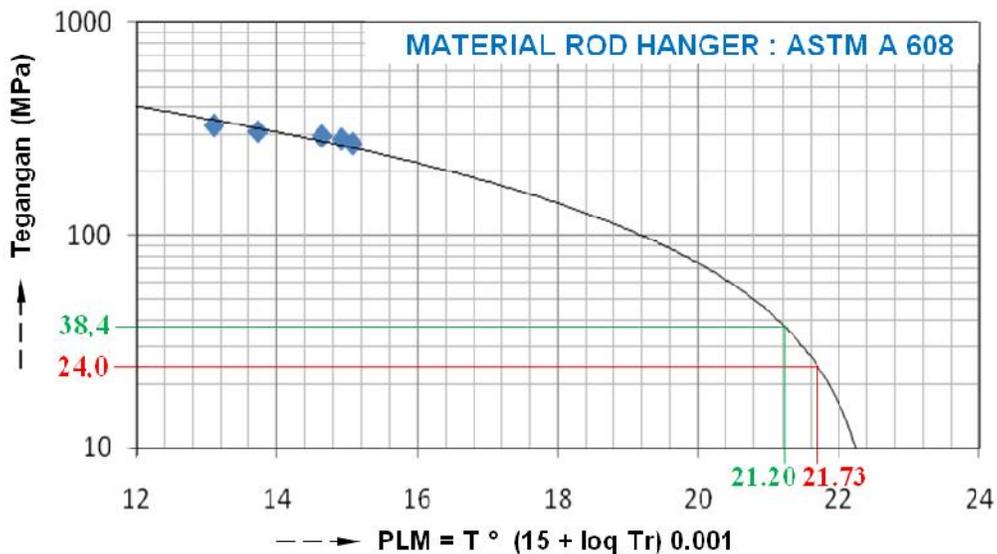
Hasil pengujian creep terhadap material Rod Hanger dapat dilihat pada table 3 dibawah ini:

Tabel 3.
Hasil Uji Creep dan Perhitungan LMP

| No | Do (mm) | Temp (°C) | Tegangan (MPa) | LMP |
|----|---------|-----------|----------------|-------|
| 1 | 2.88 | 450 | 421.78 | 15.32 |

Berdasarkan hasil pengujian creep yang disajikan pada table 3, kemudian diekstrapolasi sehingga menghasilkan grafik LMP vs Tegangan, seperti ditunjukkan pada gambar 10, yang merupakan kombinasi tiga parameter yaitu waktu (*time to rupture*), logaritma tegangan dan suhu operasi menjadi satu kurva yang disebut Kurva Master Larson-Miller Parameter (*LMP Master Curve*).⁴⁾

**GRAFIK UJI CREEP
MATERIAL ROD HANGER HEATER 211-H-1 FF**



Gambar 10.
Grafik LMP vs Tegangan hasil pengujian creep Rod Hanger.

PEMBAHASAN

Larson-Miller Parameter, merupakan suatu persamaan yang menghubungkan antara suhu operasi (T) dengan umur (*time to rupture* = *t_r*) dan secara empiris dikemukakan oleh Larson-Miller. Parameter ini dapat digunakan untuk menghitung sisa umur material yang dioperasikan pada suhu tinggi dengan cara meng-ekstrapolasi data hasil pengujian *accelerated creep* dan memotongkan data hasil perhitungan tegangan nominal dalam *master curve* LMP. Proses ekstrapolasi pada kurva tersebut harus tetap dilakukan bila ingin menghitung

kemungkinan umur pakai suatu rod hanger yang dioperasikan pada suhu tinggi, mengingat bahwa umur disain suatu rod hanger adalah 100.000 jam pada tegangan disain yang telah ditentukan, dan pada saat pengujian dilakukan percepatan kerusakan creep (*accelerated creep test*), yaitu dengan pembebanan atau pemberian tegangan yang jauh lebih besar dari tegangan disain dan diusahakan waktu pengujiannya sependek mungkin, tapi tetap representatif.⁷⁾⁸⁾

Hasil ekstrapolasi ini kemudian dipotongkan dengan nilai tegangan nominal yang tercantum pada data teknik Rod Hanger adalah sebagai berikut :

Diketahui :

- ↳ Load (P) : 47000 N } 4796 kg
- ↳ Diameter Rod (D) : 5 cm

Perhitungan stress yang terjadi adalah:⁹⁾

$$\begin{aligned}
 & \sigma = \frac{P}{A} \quad (2) \\
 & = \frac{4796}{19,625} = 244,4 \text{ kg/cm}^2 \text{ } \} \text{ 24 MPa}
 \end{aligned}$$

Kemudian untuk menjamin keakuratan perhitungan kemungkinan sisa umur, tegangan nominal design 24 MPa dikalikan dengan faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 1,6 dan hasilnya adalah 38,4 MPa.

Faktor ini merupakan akumulasi terjadinya fraksi umur (*life fraction*) akibat pengaruh korosi, oksidasi, dan karburisasi yang akan dialami oleh tube tersebut pada saat beroperasi. Akan tetapi faktor ini tidak mempunyai kontribusi dengan kesalahan operasional, misalnya terjadi pendinginan yang sangat cepat pada saat di stop, adanya *hot spot* pada titik tertentu dalam *heater* akibat kontrol yang kurang memadai, dan laju pemanasan yang sangat cepat pada saat di *start-up*.¹⁰⁾¹¹⁾

Hasil perpotongan antara garis tegangan dan grafik hasil pengujian kemudian ditarik garis ke arah sumbu X (lihat Gambar 10, Grafik PLM vs Tegangan), maka diketahui nilai PLM adalah :

Tabel 4.
Perhitungan estimasi temperatur operasi Rod Hanger agar mencapai umur disain 100.000 jam.(untuk tegangan aktual operasi)

| No | Temp. (°C) | Tegangan (MPa) | PLM | Prediksi Umur | | |
|----------|--------------|------------------|--------------|-------------------|---------------|--------------|
| | | | | (Jam) | (Bulan) | (Tahun) |
| 1 | 700 | 24.00 | 21.73 | 21,527,358.85 | 29,899.11 | 2,491.59 |
| 2 | 725 | 24.00 | 21.73 | 5,936,727.22 | 8,245.45 | 687.12 |
| 3 | 750 | 24.00 | 21.73 | 1,743,599.46 | 2,421.67 | 201.81 |
| 4 | 787 | 24.00 | 21.73 | 316,227.77 | 439.20 | 36.60 |
| 5 | 793 | 24.00 | 21.73 | 242,446.20 | 336.73 | 28.06 |
| 6 | 827 | 24.00 | 21.73 | 56,825.79 | 78.92 | 6.58 |
| 7 | 850 | 24.00 | 21.73 | 22,384.92 | 31.09 | 2.59 |

Tabel 5.
Perhitungan estimasi temperatur operasi Rod Hanger agar mencapai umur disain 100.000 jam (untuk tegangan dengan faktor keamanan 1,6)

| No | Temp. (°C) | Tegangan x 1.6 (MPa) | PLM | Prediksi Umur | | |
|----------|--------------|------------------------|--------------|----------------|---------------|--------------|
| | | | | (Jam) | (Bulan) | (Tahun) |
| 1 | 700 | 38,40 | 21,20 | 6,141,630.14 | 8,530.04 | 710.84 |
| 2 | 725 | 38,40 | 21,20 | 1,387,664.79 | 1,927.31 | 160.61 |
| 3 | 750 | 38,40 | 21,20 | 528,886.72 | 734.56 | 61.21 |
| 4 | 787 | 38,40 | 21,20 | 100.000 | 138,89 | 11,57 |
| 5 | 793 | 38,40 | 21,20 | 77,166.65 | 107.18 | 8.93 |
| 6 | 827 | 38,40 | 21,20 | 18,738.17 | 26.03 | 2.17 |
| 7 | 850 | 38,40 | 21,20 | 7,551.02 | 10.49 | --- |

Dari hasil perhitungan pada tabel 5 dapat diprediksi bahwa umur pakai (*life time*) dari Rod Hanger akan mencapai 100.000 jam dengan faktor keamanan (*safety factor*)

sebesar 1,6, bila dioperasikan pada tegangan operasi sebesar 38,4 MPa (391,57 kg/cm²) dan temperature operasi sebesar 787 [C. Hasil perhitungan tersebut dapat digunakan

sebagai acuan berapa lama *MTBF (Mean Time Between Failure)* atau *Life Time* dari Rod Hanger.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap *rod hanger*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Struktur mikro Rod Hanger berupa austenitik sebagai matriks dengan karbida menyerupai pulau-pulau tersebar (*scattered island*) hampir membentuk jaringan (*network*).

Material Rod Hanger sesuai dengan spesifikasi standard material ASTM A608 Grade HK 40.

Perhitungan estimasi temperatur dan tegangan operasi yang merupakan perkiraan umur pakai dari Rod Hanger dapat dilihat pada table 4 dan 5.

Sehingga dapat diprediksi bahwa umur pakai Rod Hanger akan mencapai 100.000 jam bila dioperasikan pada tegangan 38,4 MPa (391,57 kg/cm²) dan temperatur 787 [C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Agus Suhartono yang telah meluangkan waktunya untuk berdiskusi, memberikan kritik dan saran yang berkenan dengan tulisan ini. Dan penulis juga tak lupa mengucapkan terima kasih kepada bapak Sutarjo, bapak Aswandi dan bapak Daud yang telah banyak membantu memberikan data - data hasil pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

1. R. Viswanathan, 2012, "*Damage Mechanisms and Life Assessment of High-*

- Temperature Components*", ASM International, Metals Park, Ohio.
2. J.M Bear, and A Akermad, 1998, "*Probabilistic Remanent Life Assesment of Platformer Fired Heater Tubes*", Final Report.
3. An Internatiol ASME Code Section II Part A, 2010, "*Ferrous Material Specifications*", ASME Boiler and Pressure Vessel Committee on Materials, Three Park Avenue, New York, 10016 USA.
4. API Recommended Practice 530, 2012, "*Recomended Practice for Calculation of Heater Tube Thickness in Petroleum Refineries*", Washington, D.C.
5. Annual Book of ASTM Standards Volume 03.01 E 139, 2015, "*Standard Test Methods of Conducting Creep, Creep-Rupture and Stress-Rupture Test of Metallic Materials*", American Society for Testing and Materials, 1916 Race St, Philadelphia.
6. ASTM A 608 Grade HK 40 "*Centrifugally Cast Iron Chromium Nickel High Alloy Tubing for Pressure Application at High Temperatures*
7. Garofalo, Frank, 2000, "*Fundamental of Creep and Creep Rupter in Metal*", Macmillan, New York.
8. Japan Mech. Eng, Assc. 1999, "*Technique for Remaining Life Assessment*", Gihodo Publisher, Tokyo
9. George E. Dieter, 2000, "*Mechanical Metallurgy*", Mc. Graw-Hill Book Company, New York.
10. B.J Cane and John W., 1998, "*Remaining Life Assesment Seminar*", ERA Techonology Leatherhead-UK.
11. Haryadi, Mukson, 2010, "*Penerapan Metoda RLA Terhadap Komponen Kritis dari Refinery / Petrochemical Plant*", Bimbingan Keahlian Teknik Inspeksi Lanjutan,.