

PREDIKSI SISA UMUR PAKAI TUBE REFORMER JENIS HP MODIFIED

Nurobiyanto¹, Tri Wibowo², Bambang Teguh Prasetyo³

^{1,2,3}Program Studi Magister Teknik Mesin

Institut Sains dan Teknologi Nasional

JL. Moch Kahfi II, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12640

Email: rdnurrobiyanto@gmail.com, triwibowo@gmail.com, prasetyo@doctor.com

ABSTRAK

Tube reformer jenis HP modified (23Cr35Ni ,Nb) adalah komponen penting dalam dunia industri pupuk yang terdapat didalam primary reformer. Tube reformer diproduksi dengan metode sentrifugal casting sehingga memiliki sifat keras, tahan terhadap temperatur dan tekanan tinggi serta tahan korosi, hal ini dikarenakan memiliki unsur nikel (Ni) dan krom (Cr) cukup besar, sehingga dapat menghambat laju korosi. Tube reformer telah beroperasi selama 15 tahun. Tube reformer HP modified memiliki umur desainnya 11 tahun 4 bulan dan salah satu tube reformer mengalami pecah (bursting) pada bagian bawah. Ini perlu menentukan berapa sisa umur tube reformer HP modified tersebut. Tujuan penelitian untuk mengetahui berapa sisa umur pakai tube reformer jenis HP modified sehingga dapat merencanakan perbaikan/penggantian tube yang baru. Untuk menunjang penelitian, diperlukan pengujian tube reformer diantaranya uji metallografi, uji kekerasan, uji tarik, uji komposisi kimia dan uji creep. Menurut API 530, untuk mengetahui sisa umur pakai tube reformer berdasarkan uji creep yang dipercepat menggunakan metode Larson Miller Parameter (LMP) diperoleh sisa umur 52488,35 jam atau 5,99 tahun, sisa umur berdasarkan kerusakan mikrostruktur yang dikaitkan pada diagram klasifikasi kerusakan dinding tube berdasarkan Le May pada tingkat C (50 %) maka sisa umur pakai 50,000 jam atau 5,77 tahun.

Kata kunci: Sentrifugal Casting, Tubereformer, HPmodified, Uji Creep, Larson Miller Parameter, prediksi sisa umur tube

ABSTRACT

Tube reformer modified HP type (23Cr-35Ni Nb) is an important component in the fertilizer industry in the primary reformer. Tube reformer is produced in centrifugal casting method that has the hard characteristic, put up with high temperature, pressure and resistance corrosion. It is because it has a large amount of nickel (Ni) and chrome (Cr) elements so that it can hamper the corrosion. The tube reformer has been operated on for 15 years. Based on technical data modified HP tube reformer has 11,4 years of design life and one of the tubes had been burst in beneath, so it needs to decide how long the remaining life assessment of the modified HP reformer tube is. The aim of the research is in order to know how to last long the remaining life assessment of the tube reformer HP modified used, so it can plan to fix/change with a new tube. In order to support the research, it needs some tests such as metallography, hardness test, tensile test, chemical composition, and creep test. According to API 530, to measure how last the remaining life assessment of tube reformer based on creep test which is accelerated by using LMP method can get 52488,35 hours or 5,99 years. The remaining life based on microstructure damage related to the classification diagram of tube wall damage according to L May in C level (or 50 %) is 50,000 hours or 5,77 years.

Keywords: Centrifugal casting, tube reformer HP modified, creep test, Larson Miller parameter, remaining life assessment.

1. Pendahuluan

Ammonia merupakan bahan baku pembuatan pupuk, ammonia terbentuk dari reaksi gas hidrogen dan gas nitrogen. Gas hidrogen diperoleh dari reaksi steam dan hidrokarbon (metana) pada tube reformer. Secara umum dapat dijabarkan dalam bentuk reaksi kimia berikut : $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$
 $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$. Dengan kondisi operasi pada suhu dan tekanan tinggi, dibutuhkan jenis tube reformer yang memiliki kekuatan terhadap suhu dan tekanan tinggi. Jenis tube reformer terbuat dari jenis material "Heat Resisting" grade HF, HK 40, HP modified atau HP micro alloy dengan proses produksi melalui sentrifugal casting. Paduan logam tube reformer HP Nb modified merupakan jenis tube reformer terbaru setelah jenis tube reformer HK 40 dengan menggunakan tube reformer HP Nb modified kapasitas produksi menjadi naik 30% sampai 40 % pada jenis tube yang sebelumnya. Tube reformer HP Nb modified dirancang memiliki kekuatan terhadap suhu tinggi dan tekanan tinggi pada industri gas, diantaranya industri ammonia. Diameter dalam tube 60 – 120 mm (2,5 in) dan panjang tube 10 – 14 m (33 – 46 ft), kondisi operasi tube dengan tekanan 15 – 30 bar (218 – 435 psi) dan temperatur antara 800 - 900°C serta ketebalan tube 8 - 20 mm (0,31 – 0,79 in) tergantung pada diameter tube, temperatur dan tekanan. Tube reformer yang akan dijadikan penelitian adalah tube reformer jenis HP modified yang telah beroperasi selama 15 tahun dan mengalami pecah (bursting) 1,5 meter dari bawah tube yang diakibatkan tube reformer mengalami panas berlebih (overheating) yang diakibatkan tersentuhnya tube oleh api dari salah satu burner. Pengujian dilakukan pada daerah yang rusak dengan yang masih kondisi baik

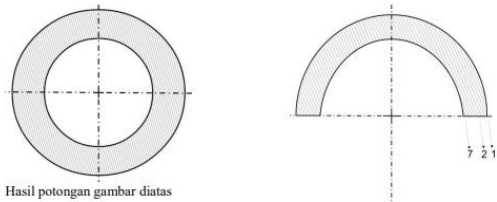
untuk diuji sisa umur tube secara keseluruhan, sehingga menjadi acuan penggunaan tube berikutnya.. Hal ini perlu melakukan beberapa pengujian diantaranya pengujian metallograpi, uji kekerasan, uji tarik, uji komposisi kimia dan uji creep. Untuk mengetahui sisa umur pakai tube reformer dengan menggunakan metoda Larson Miller Parameter, persamaan ini cocok digunakan pada operasi suhu tinggi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan sisa umur tube reformer HP Nb 40 modified yang setelah dipakai selama 15 tahun beroperasi pada industri pupuk, sehingga dapat memberikan petunjuk berapa tahun lagi massa pakai tube reformer.

2. Metode Penelitian

Proses pengumpulan data dalam penelitian ini adalah melakukan pengamatan secara visual terhadap material tube reformer HP Nb modified, pemeriksaan ini penting dilakukan sebelum melakukan pengujian Laboratorium Uji Kontruksi B2TKS – Puspiptek Serpong. Jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian metalografi, pengujian kekerasan, pengujian uji tarik, dan pengujian komposisi kimia. Pengujian uji creep dan perhitungan umur sisa.

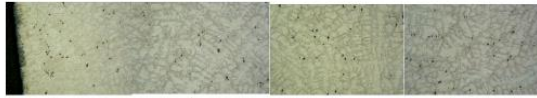
3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian Metallograpi Pengujian metallograpi dilakukan untuk menentukan mikrostruktur tube reformer setelah beroperasi selama 15 tahun. Hasil pengujian metallograpi dilakukan pada bagian luar, tengah. Pengujian dilakukan pada tube reformer daerah baik dan pada daerah bursting Pengambilan sample pada daerah baik dan daerah bursting.

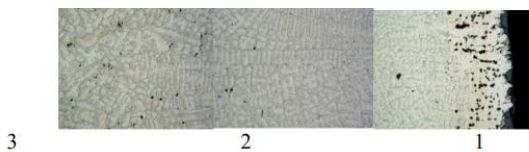


Hasil potongan gambar diatas

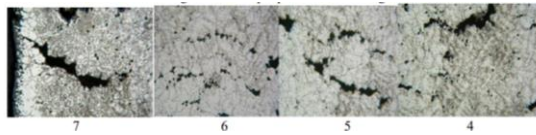
Gambar 1 Pengambilan titik sampel pengujian pada tube



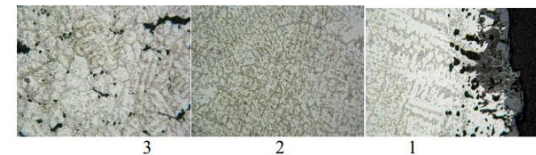
Gambar 2 Mikrostruktur bagian dalam tube



Gambar 3 Mikrostruktur bagian luar tube
 Pengambilan sampel pada daerah busrting



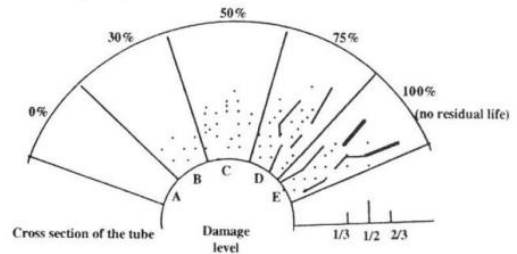
Gambar 4 Pengujian pada bagian tube dalam daerah busrting



Gambar 5 Pengujian pada bagian tube luar daerah busrting

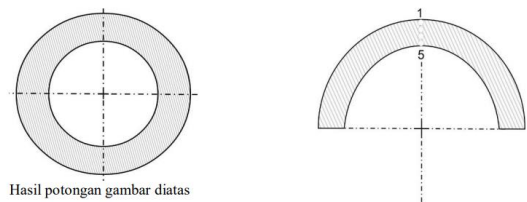
Dari hasil pengujian metallografi memperlihatkan bentuk mikro struktur autenit, dengan terbentuk senyawa karbida yang tersebar membentuk pulau dan mengandung butiran karbida yang tersebar. Pengujian metallografi dilakukan pada daerah baik dan daerah rusak (pecah). Pada daerah pecah (bursting) mengalami overheating, ini diakibatkan penyerapan panas oleh reaksi steam dan hidrokarbon tidak berjalan sempurna, diakibatkan adanya rusaknya katalis nikel pada daerah tersebut, disamping dari hasil pemeriksaan pada

daerah bawah cenderung lebih besar. Dari hasil pengujian metallografi pada daerah tube yang baik, menunjukkan mikrostruktur yang jika dihubungkan dengan klasifikasi yang telah diberikan oleh Le May seperti Gambar 6. Jenis tube yang diuji termasuk pada kelas C (50%), yang menunjukkan sisa umur pakai 50.000 jam (5,7 tahun).



Gambar. 6. Klasifikasi kerusakan pada dinding tube reformer ditunjukkan setelah pengujian metallografi. (Le May, 2006).

Pengujian kekerasan Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut:



Gambar 7 Beberapa titik pengujian pada tube reformer

Dengan hasil pengujian kekerasan dengan metode vikers, diperoleh data berikut:

Tabel 1 Hasil uji kekerasan menggunakan metode vikers

AREA (HV)	NOMOR PENGUJIAN					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
1.	218	161	166	156	175	175,2
2.	183	183	176,5	162,5	178	176,6
3.	206	192	159,5	161	161	175,9
4.	188	178	176,5	164	161	173,5

Dari hasil uji kekerasan diatas menunjukkan adanya penurunan nilai kekerasan, hal ini dipengaruhi oleh penggunaan tube pada suhu tinggi yang lama. Terdapat nilai kekerasan yang tinggi dan juga yang lebih rendah dibandingkan dengan literatur (170 BHN

atau 179 VHN). Kekerasan tube tersebut melampaui nilai kekerasan spesifikasi dari tube HP Nb modified akibat dari adanya pertumbuhan presipitasi karbida. Kekerasan yang lebih rendah disebabkan oleh pengeroposan yang terjadi pada permukaan yang mengalami creep. Pengujian uji Tarik (Tensile Test) Hasil uji tarik statik pada suhu kamar dan suhu 600°C, diperlihatkan pada Tabel 2 dan 3 di bawah ini.

Tabel. 2. Hasil uji tarik pada suhu kamar

N0	diameter		A ₀ mm ²	F _m kN	σ _u		ε	keterangan
	Lebar, (mm)	Tebal (mm)			N/ mm ²	Kgf/ mm ²		
1.	12.53	12.20	152,87	52,0	340,2	34,7	4,0	Suhu kamar
2.	12.56	12.20	153,23	53,0	345,9	35,3	4,0	Suhu kamar



Gambar. 8 Material sebelum uji tarik pada suhu kamar



Gambar. 9 Hasil uji tarik pada contoh tube reformer pada suhu kamar

Untuk hasil uji tarik pada suhu tinggi, dapat dilihat pada Tabel. 3 dibawah ini.

N0	Diameter		A ₀ mm ²	F _m kN	σ _u		ε	keterangan
	Lebar, (mm)	Tebal (mm)			N/ mm ²	Kgf/ mm ²		
1.	12.57	12.23	153,73	31,0	201,7	20,6	5,0	Suhu 600°C
2.	12.54	12,22	153,24	30,0	195,8	20,0	4,0	Suhu 600 °C

Keterangan :

A₀ : Luas penampang

F_m : Beban tarik

ε : Elongasi

σ_u : Kuat tarik

Referensi standar HP Nb Modified sebagai berikut: Pada suhu kamar:

Kuat tarik, σ_{u(min)} : 430 N/mm² (suhu kamar)

Kuat luluh, σ_{y(min)}: 235 N/mm² (suhu kamar)

Regangan, ε (min): 4,5 %

Dari hasil pengujian tensile test (uji tarik) suhu kamar menunjukkan dan suhu tinggi

(600°C), kekuatan tube reformer mengalami penurunan sampai 20%, suhu kamar.



Gambar. 10 Material sebelum uji tarik pada suhu 600°C



Gambar. 11 Material hasil uji tarik pada suhu 600°C

Pengujian komposisi kimia Analisa pengujian komposisi kimia pada material tube reformer HP Nb modified dilakukan dengan menggunakan spectrometer.

Tabel. 4. Hasil pengujian komposisi kimia tube reformer HP modified

No	Unsur	Komposisi kimia (wt %) Pyrotherm G 25/35 NbTi	No	Unsur	Komposisi kimia (wt %) Pyrotherm G 25/35 NbTi
1.	C	0.23	11.	W	-
2.	Si	0.56	12.	Ti	0.04
3.	S	0.014	13.	Sn	0.005
4.	P	0.017	14.	Al	0.012
5.	Mn	0.447	15.	Pb	-
6.	Ni	38.31	16.	Nb	0.34
7.	Cr	35.45	17.	Zr	0.037
8.	Mo	0.07	18.	Zn	0.046
9.	V	0.04	19.	Fe	Rem.
10.	Cu	0.13			

Dari hasil pengujian komposisi kimia pada tabel diatas menunjukkan: unsur karbon (C) hasil pengujian diperoleh adanya penurunan menjadi 0,23%, ini akibat dari pengaruh panas yang tinggi. Unsur nikel (Ni) dari hasil uji laboratorium diperoleh data 38,31%, dari data standar material tube reformer ASTM A.297 diperoleh data unsur nikel yang diijinkan berkisar antara 33% - 37%, sehingga jenis tube reformer tersebut masih bisa digunakan dalam kurun waktu tertentu. Unsur krom (Cr) dari hasil percobaan laboratorium menunjukkan komposisi kimia

unsur krom (Cr) diperoleh 35,45%, sedangkan dari data standar komposisi kimia berdasarkan ASTM A.297 menunjukkan nilai 24%-28%, dengan melihat hasil uji laboratorium, unsur krom (Cr) melebihi batas standar akan tetapi masih bisa dalam batas toleransi. Pengujian uji creep dan perhitungan umur sisa Hasil uji creep pada temperature 800°C dan 850°C, diperoleh

Table 5 Hasil uji creep dan hitungan LMP pada tube reformer

No.	Td (°C)	σd (MPa)	Time to rupture (hours)	LMP	Plastic strain (%)
1	800	150.63	0.3	24.01	20.93
2	800	134.59	6.1	25.41	22.24
3	850	116.87	1.3	25.84	22.57
4	850	96.96	5.7	26.57	>22

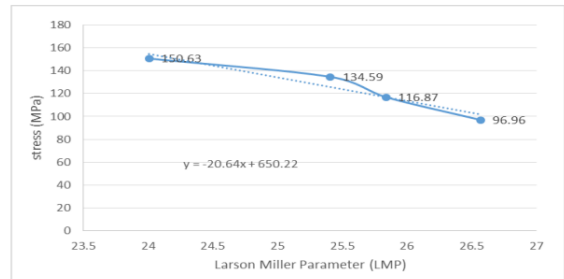


Gambar 11 Sampel tube reformer HP Nb Modified kondisi baik

Untuk memprediksi sisa umur tube, dari beberapa sumber referensi bias menggunakan data laju korosi, metallograpi, dan data uji creep. Untuk penelitian ini memprediksi sisa umur tube digunakan data uji creep yang dipercepat dengan persamaan Larson Miller, sebagai pembanding dapat dipakai data uji metallografi. Dengan melihat tingkat kerusakan untuk melihat klasifikasi kerusakan menurut Le Meyer et al, kategori C, artinya 50% dari life design 50,000 jam atau 5,7 tahun. Tegangan nominal (nominal stress) dihitung dengan menggunakan rumus tetap berdasarkan standar API 530 (hitungan berdasarkan ketebalan tube reformer) dipakai untuk kurva LMP, data standar berikut:

Tekanan design (P): 38 bar = 3,8 MPa
 Temperature design (T): 919°C
 Temperature operasi: 840°C
 Diameter dalam (D_i): 90,2 mm
 Ketebalan (t): 10,7 mm

Dari hasil uji creep pada Tabel 5, selanjutnya dibuatkan kurva Larson Miller Parameter (LMP) dengan memetakan LMP pada sumbu x dan tegangan kerja (working stress). pada sumbu y seperti pada Gambar 12 berikut.



Gambar. 12 Kurva tegangan, (σ) terhadap LMP hasil uji creep

Selanjutnya menentukan tegangan operasi (working stress, σ) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = P * D_i / 2t$$

Dimana:

P : tekanan desain, 3,8 MPa

t : ketebalan, 10,7 mm

D_i : diameter dalam, 90,2 mm

Sehingga diperoleh

$$\sigma = (3.8)(90,2)/(2*10,7) \\ = 342,76/21,4 = 16,02 \text{ MPa}$$

Dari hasil tegangan tersebut $\sigma = 16,02$ MPa diperoleh nilai LMP dari kurva Gambar 12 sebesar 30,73. Harga LMP 30,73 masukkan ke persamaan (1) dan diperoleh sisa umur (t_r) pada berbagai suhu.

Tabel 6 Prediksi hitungan sisa umur tube reformer terhadap temperatur

T (celcius)	T (kelvin)	LMP	tr (jam)	tr (tahun)
820	1093	30.73	167988.3	19.17
830	1103	30.73	93407.29	10.66
840	1113	30.73	52488.35	5.99
850	1123	30.73	29799.09	3.40
880	1153	30.73	5783.778	0.66
900	1173	30.73	2031.344	0.23
950	1223	30.73	172.4795	0.019
1000	1273	30.73	17.77572	0.002

Berdasarkan pada hasil perhitungan diatas sisa umur pakai tube reformer masih bisa digunakan dengan kondisi operasi 840°C diperoleh sisa umur 52488,35 jam atau 5,99

tahun., sedangkan dilihat dari mikrostruktur hasil uji metalografi dan dihubungkan dengan klasifikasi kerusakan dinding tube oleh Le May katagori type C (50%) 50,000 jama jika menggunakan metode metallograpi 5,7 tahun. dengan hasil prediksi umur sisa tube yang diinginkan tercapai, agar kondisi temperatur operasi dijaga tidak melebihi batas temperatur yang ditentukan, dan dibutuhkan pemeriksaan secara berkala nikel katalis agar tidak terjadinya hotspot pada tube yang akan mengakibatkan penurunan umur tube lebih cepat, dan melakukan pemeriksaan temperatur burner secara berkala. ISBN 978-602-99040-7-9 Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018 158 Perawatan dan pemeliharaan Untuk menjaga keadaan tube reformer berjalan dengan baik dibutuhkan pemeliharaan yang perlu dilakukan, diantaranya perlu pergantian nikel katalis secara berkala, pengukuran temperatur di setiap titik yang memungkinkan terjadinya daerah kritis terhadap panas berlebih, lakukan pengecekan katalis pada tube yang mengalami hotspot dan lakukan pemeriksaan temperatur burner sehingga pemanasan pada daerah tube pada kondisi suhu yang homogen.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji tarik penurunan kekuatan hingga 20 % pada suhu kamar. Dari hasil uji kekerasan, adanya perubahan nilai kekerasan dari nilai standar (179 VHN), hal ini dipengaruhi oleh penggunaan tube pada suhu tinggi yang lama. Nilai kekerasan yang tinggi menunjukkan adanya pertumbuhan presipitasi karbida dan nilai kekerasan lebih rendah disebabkan oleh pengeroposan yang terjadi pada permukaan yang mengalami creep. Dari hasil pengujian metallograpi dan

uji creep prediksi sisa umur pakai tube reformer, berdasarkan mikrostruktur dari uji metalografi yang dihubungkan dengan kalasifikasi kerusakan dinding tube oleh Le May katagori level C (50%), sisa umur pakai tube pada daerah 4 (kondisi baik) 50,000 jam atau 5,77 tahun dan hasil uji creep yang dipercepat menggunakan metode Larsson Miller 52488,35 jam atau 5,99 tahun.

Daftar Pustaka

- [1]. Alimah, S. Priambodo, D. Dewita, E. Aspek Termodinamika Produksi Hidrogen Dengan Proses Steam Reforming Gas Alam. Jakarta : Pusat Pengembangan energi nulis (PPEN) BATAN
- [2]. ASTM E-139. (2003). Standard Test Method for Conducting Creep. Creep Rupture and Stress Rupture of Method Material ASTM International
- [3]. Basitha, D, I. Suwarna, P. Sutikno. . Soeharto. Sidharta, I. (2013). Analisa Overheating terhadap Tube Katalis Hp40 Modifikasi di Primary Reformer Pabrik Ammonia. Jurnal Teknik Pomits vol. 2 NO. 1. Surabaya : ITS
- [4]. Dhillon, B., Ph.D. (2002). Engineerin Maintenance A Modern Approach. Washington. D.C.
- [5]. Dieter, E. George. (1988). Mechanical Metallurgy. SI Metric ed. Singapore: Mc .Graw Hill Book. Co.
- [6]. Gross, J, M. (2002). Fundamentals of Preventive Maintenance. State of America.
- [7]. Hatta, I. (1966). Aplikasi Persamaan: Larson Miller untuk Memprediksi Umur atau Sisa Umur Komponen yang Beroperasi Pada Suhu Temperatur Tinggi. Tangerang: Proseding pertemuan Ilmiah Sains

- [8]. Hatta, I. (2013). Analisis Kerusakan Pipa Baja HP Modified Pada Industri Migas. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* vol. 15 NO. 2. Hal 85 – 93. Tangerang: Puspiptek.
- [9]. HILL, C.G.JR.. (1977). *An Introduction to Chemical Engineering , Kinetics & Reactor Design*. Canada:. John Wiley & Sons, Inc. The University of Wisconsin.
- [10] May, T. L. (2006). *Reformer Furnace : Materials Damage Mechanism and Assessment*. P 99 - 119
- [11] Mulyana, C. Saad, A,H. Nurhilal, O. Yusuf, M, F. (2015). Penentuan Umur Sisa Pipa. (tube) Pada Pengilangan Minyak. *Jurnal Fisika* NO. 55. Vol XIX. Sumedang : Unpad.
- [12] Pool, D. Jones, J, J. (2000). *Metallurgy and Material Selection for Steam Reforming Furnace in Ammonia & Urea Plants*. France: Doncasters Industriesce
- [13] Schillmoler, C, M. (2000). *HP – Modified Furnace Tube for Steam Reformers and Steam Crackers*. Canada : NiDi Technical Series NO. 10 058.
- [14] Shariat, M.H. Fahraji, A. H. Riahy, A. Alipour, M. (2003). *Department of Material Engineering. JOurnal of corrosion science an Engineering*. Vol. 6 Paper H 012. Iran : Shiraz University.
- [15] Verdier, G. (2000). *Catalyst Tube Failure*. Refort NO. 1376. France : Manoir Industries
- [16] Visnathan, R (1977). *The effect of Stress and Temperature on the Creep and Rupture Behavior of a 1.25 pct, Chromium-0.5 pct. Molybdenum Steel*. *Met. Trans. A*, Vol 8A
- [17] Visnathan, R. (1993). *Damage Mechanism and Life Assessment of High-Temperature Components*. ASM International.