

## ANALISIS KERUSAKAN TUBE REFORMER DAN USAHA PENCEGAHANNYA

Amir <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Buana Perjuangan Karawang  
Jl. HS. Ronggowaluyo Telukjambe Timur, Karawang 41361.

email: amir@ubpkarawang.ac.id

### ABSTRAK

*Reformer* merupakan reaktor tempat terjadinya reaksi “steam reforming”. Yaitu reaksi yang melibatkan gas bumi dengan steam atau air. *Reformer* tersebut berfungsi untuk memecahkan gas hidrokarbon menjadi hidrogen. Proses *reforming* adalah proses reaksi  $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$  yang memerlukan temperatur dan tekanan tinggi, *reformer* tersebut dioperasikan pada suhu 800-1000°C dengan tekanan 2.1 kg/cm<sup>2</sup>. Dikarenakan pengoperasinya pada temperature yang tinggi maka ada gejala kerusakan pada sisi elbow tube reformer tersebut. Kerusakan pada tersebut disebabkan oleh beberapa factor seperti oksidasi, karburisasi (metal dusting), Nitridasi, korosi oleh halogen, korosi oleh logam cair dan korosi oleh deposit abu atau garam *Carburization* (metal dusting), *Creep*, *Thermal shock*, *Prolong overheating*, dan *Short term overheating*. Untuk mengetahui penyebab kerusakan pada bagian elbow tube reformer tersebut, maka dilakukan beberapa pengujian seperti pengujian komposisi kimia, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, Berdasarkan analisa pengujian Laboratorium, maka elbow dari tube reformer tersebut mengalami oksidasi yang berarti korosi erosi karena mengalami penipisan pada elbow yang tidak merata dan terbentuknya partikel-partikel kecil yang mengakibatkan pengikisan material pada elbow reformer tube, untuk Melakukan langkah pencegahan, maka pada daerah elbow diberikan pelapisan permukaan dengan coating boron carbida, agar mendapatkan lapisan permukaan yang tahan terhadap aus, dan rendah gesekan dan juga tahan terhadap erosi, pelapisan permukaan pada sisi elbow dapat dilakukan dengan cara coating boron carbide setebal, 05 µm – 1,00 µm untuk mendapatkan kekerasan permukaan yang tinggi dan tahan aus yang tinggi dan korfisien gesekan yang rendah. Melakukan pemeliharaan rutin yang sesuai dengan persyaratan operasional pemeliharaan dan pengaturan kecepatan aliran gas operasional tetap terjaga.

**Kata kunci:** *Reformer, oksidasi, karburasi, nitridasi, korosi*

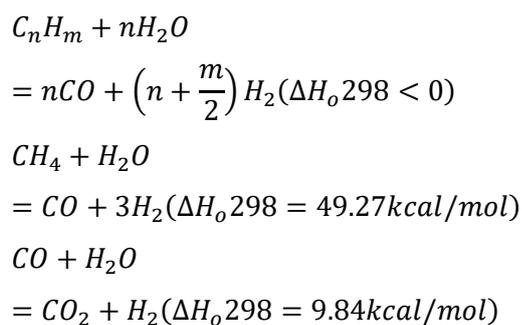
### ABSTRACT

*Reformer is a reactor which reaction of steam reforming take places. The reaction involves natural gas with steam or air. The reformer is used to break hydrocarbon gas into hydrogen. Reforming process is reaction process of  $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$  which requires temperature and high pressure and operated at 800 - 1000°C with a pressure of 2.1 kg/cm<sup>2</sup>. Due to its high temperature process, the damage symptoms exist onto elbow sides of reformer. Those damages was caused by several factors such as oxidation, metal dusting, nitridation, corrosion by molten metal's and corrosions by ash deposits or salt carburization, creep, thermal shock, prolog overheating, and short-term overheating. To determine the cause of damage to the elbow tube reformer, some testing were conducted such as chemical composition testing, testing metallographic, hardness testing, testing then the elbow of the tube reformer that undergo oxidation, which means erosion corrosion due to the depletion of the elbow uneven and the formation of small particles that lead to the erosion of material at the elbow reformer tube, to Perform preventive measures, then in given the elbow area of surface coating with boron coating carbida, in order to get a surface layer which is resistant to wear and low friction and also resistant to erosion, surface coating on the side of the elbow can be done by way of boron carbide coating thickness of 05 µm - 1.00 µm for get a high surface hardness and high wear-resistant and low friction korfisien. Perform routine maintenance in accordance with the operational requirements of managing and maintaining the operational gas flow rate is maintained.*

**Keywords:** *Reformer, oxidation, carburizing, nitriding, corrosion*

**PENDAHULUAN.**

Kerusakan pada tube reformer pada bagian elbow disebabkan oleh beberapa faktor seperti oksidasi, karburisasi (metal dusting), nitridasi, korosi oleh halogen, korosi oleh logam cair dan korosi oleh deposit abu atau garam. Dampak dari kerusakan tube reformer tersebut akan mengakibatkan kerugian pada perusahaan tersebut. Reformer adalah reaktor tempat terjadinya reaksi “steam reforming”. Yakni reaksi yang melibatkan gas bumi dengan steam atau air, dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Reaksi steam reforming membutuhkan panas karena reaksinya endotermis. Kebutuhan panasnya sangat besar sehingga dibutuhkan perpindahan panas yang baik. Untuk mendapatkan perpindahan panas yang baik dibutuhkan luas permukaan yang besar. Oleh karena itu reaktor reformer dibuat dalam bentuk buluh (tubular). Yang dimaksud tubular reformer adalah reaktor (tempat terjadinya reaksi) dimana katalis dimasukkan ke dalam tube kemudian ditempatkan dalam furnace yang dilengkapi dengan burner lalu dibakar dengan menggunakan fuel gas / gas bumi pada umumnya. Dimana hasil tersebut di proses di dalam tube reformer.

Reformer tersebut berfungsi untuk memecahkan gas hidrokarbon menjadi hidrogen. Proses reforming adalah proses reaksi  $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$  yang memerlukan temperatur dan tekanan tinggi. reformer tube biasanya dioperasikan pada suhu 800- 1000°C dan bertekanan 2.1 kg/cm<sup>2</sup> dan dapat menyebabkan kerusakan di daerah sekitar

elbow pada tube reformer. Beberapa kemungkinan terjadinya kerusakan pada elbow tersebut, sehingga dapat menyebabkan kerusakan / kebocoran. Dari uraian diatas komponen yang dioperasikan pada temperatur dan tekanan yang tinggi sangat beresiko untuk mengalami kerusakan seperti Carburization (metal dusting), *Creep*, *Thermal shock*, *Prolong overheating*, dan *Short term overheating*. Salah satu komponen tersebut yaitu disekitar elbow pada reformer tersebut

**LANDASAN TEORI****Termodinamika Reaksi Steam Reforming.**

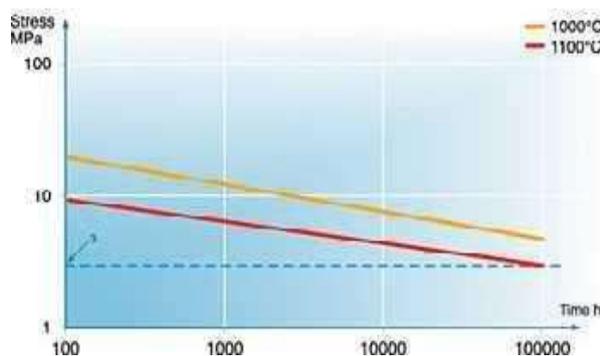
Reaksi *reforming* merupakan reaksi yang sangat endotermik, sehingga reaksi akan lebih baik dilaksanakan pada temperatur tinggi dan tekanan rendah sementara reaksi pergeseran merupakan reaksi eksotermik yang lebih baik dilaksanakan pada temperatur rendah. Selain itu, reaksi *steam reforming* merupakan reaksi kesetimbangan endotermik, sehingga secara termodinamik, konstanta kesetimbangannya akan naik terhadap kenaikan temperatur. Dalam reaksi ini, kesetimbangan reaksi tidak dipengaruhi tekanan parsial komponen yang terlibat dalam reaksi. Maka, untuk memaksimalkan efisiensi keseluruhan dan menjamin proses yang berlangsung berjalan ekonomis, reaksi pembentukan gas sintesis dalam *reformer* tersebut dioperasikan dalam temperatur dan tekanan yang tinggi. Pemakaian kukus pada reaksi ini selain berfungsi untuk menggeser kesetimbangan ke kanan (ke arah pembentukan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>) juga dapat menekan pembentukan deposit karbon pada katalis, terutama pada temperatur tinggi. Deposit karbon yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan nilai *pressure drop*.

**Material Sandvik 353 MA**

Sandvik 353 MA adalah bahan austenitik, kromium-nikel stainless steel yang mampu memberikan kontribusi umur tabung dan mengurangi pemeliharaan (maintenance) aplikasi yang menggunakan suhu tinggi. Dipadukan dengan logam seperti alloy dan nitrogen, Sandvik 353 MA dicirikan dengan

kinerja tinggi dalam suatu proses oksidasi, karburisasi dan nitridasi lingkungan. Sandvik MA adalah baja kromium-nikel austenitik yang merupakan perpaduan antara logam murni dengan nitrogen

- Kekuatan *creep* tinggi
- Ketahanan yang sangat baik untuk proses isothermal dan oksidasi siklik
- Ketahanan yang sangat baik untuk proses pembakaran gas
- Ketahanan yang sangat baik untuk karburisasi
- Resistensi yang baik untuk gas nitridasi
- Stabilitas struktural baik pada suhu tinggi
- Memiliki weldability yang baik
- Suhu operasi maksimum adalah kira-kira. 1175°C (2150°F)
- 



**Gambar 1.** Grafik Sandvik 353 MA "Waktu vs Stres" Diagram di 1000°C - 1100°C

## METODE PENELITIAN

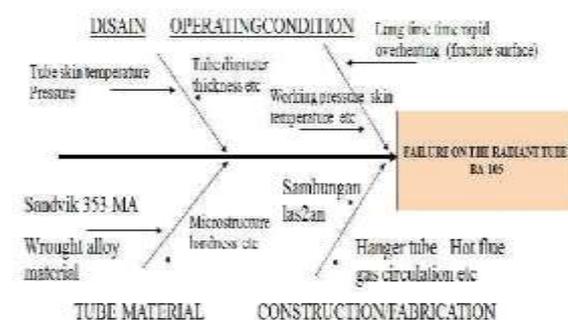
Dalam proses pelaksanaan penelitian untuk mendapatkan penyelesaian dari masalah ini, dimulai persiapan material atau bahan uji yaitu bagian elbow tube reformer yang menjadi objek dalam penelitian sampai proses pengujian material tersebut. Untuk pengujian kerusakan pada bagian elbow tube reformer dilakukan di Laboratorium Uji Konstruksi (LUK) B2TKS Puspitek Serpong.

Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini meliputi:

- Identifikasi masalah
- Studi literatur yang berhubungan dengan penelitian

- Pengumpulan data dan persiapan material yang akan diuji
- Pelaksanaan pengujian di laboratorium
- Pengumpulan data hasil uji laboratorium dan
- Analisa dan evaluasi data hasil uji dan simulasi

Prosedur dalam penelitian ini dapat dilihat pada alir diagram gambar 3-1. Kegiatan penelitian ini dimulai dengan pendekatan kajian pustaka, pengambilan benda uji dan melakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan kesimpulan dari penyebab yang terjadinya kerusakan dan fenomena yang dialami *tube reformer*. Dan dapat melakukan upaya pencegahan terjadinya kerusakan yang sama dimasa yang akan datang.



**Gambar 2.** Diagram Fishbone/Ishikawa's Diagram

*Fishbone diagram (ishikawa's diagram)* adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi akar masalah yang dapat menyebabkan masalah kualitas. Pengertian lainnya, *fishbone diagram* merupakan sebuah alat yang menyediakan langkah yang sistematis untuk mengetahui dampak dan juga penyebab yang menyebabkan atau berkontribusi terhadap dampak yang dihasilkan tersebut. Dari gambar diagram Fishbone/Ishikawa's Diagram, maka dapat menentukan langkah-langkah penyebab kerusakan/kegagalan pada elbow di tube reformer, dan selanjutnya dapat menentukan juga jenis-jenis perawatan yang yang tepat.

## PENGUJIAN

Kegiatan penelitian terhadap kerusakan pada tube reformer dimulai dari pengambilan benda uji dan kemudian dilakukan pengujian Laboratorium Uji Konstruksi (LUK), B2TKS – Puspitek serpong. Adapun jenis pengujian tersebut adalah:

### Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia pada material *tube reformer* dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung pada material tersebut apakah komposisi tersebut sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan untuk desain tube reformer. Pengujian ini sekurang-kurangnya meliputi unsur besi (Fe), karbon (C), nikel (Ni), sulfur (S), Mangan (Mn), molybdenum (Mo), chrom (Cr), dan silicon (Si). Alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi kimia tersebut yaitu *optical emission spectrometer*.

Pengujian komposisi kimia pada bagian *tube reformer* yang dipakai material sandvik 353 MA, dari tiga sampel pengujian maka dapat dibandingkan dengan standar komposisi kimia dari matrial sandvik 353 MA adalah sebagai berikut:

1. Unsur karbon ( C ), hasil pengujian sampel A 0.41811%, sampel B 1.56890% dan sampel C 1,37991% sedangkan pada standar material yang digunakan sandvik 353 MA yaitu 0.07 % sehingga nilai unsur karbonnya lebih tinggi dari nilai standar material hal ini dapat mengakibatkan meningkatkan nilai kekerasan dan tegangan resistansi material tersebut.
2. Unsur silikon (Si), hasil pengujian sampel A 0.77250 %, sampel B 0.21205% dan sampel C 0.32604%, sedangkan pada standar material yang digunakan sandvik 353 MA yaitu 1.6 %, sehingga nilai silicon (Si) material tersebut masih lebih rendah dibandingkan dengan material standarnya. Hal ini dapat mengakibatkan tahanan material terhadap scaling kurang dan rangsangan terbentuknya fase ferit juga kurang.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Komposisi kimia

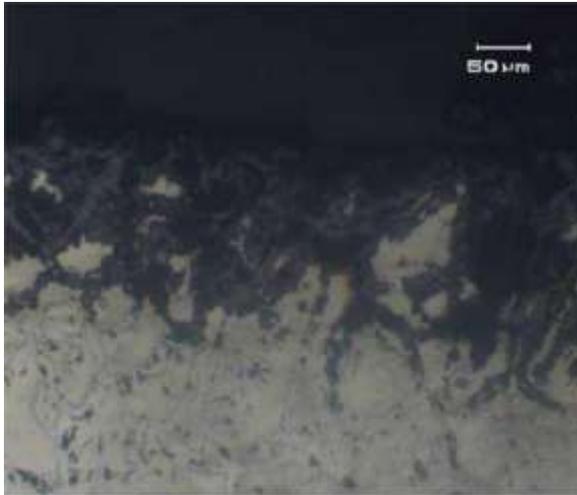
Unsur Kimia	Hasil Pengujian			Standar Material Sandvik 353MA
	Sampel A	Sampel B	Sampel C	
C	0.41811	1.56890	1.37991	0.07
Si	0.7725	0.21205	0.32604	1.6
S	0.0018	0.0465	0	≤0.015
P	0.0127	0.0022	0.0039	≤0.040
Mn	0.75807	0.23312	0.51665	1.5
Ni	43.81441	54.61879	46.95169	35
Cr	3.48557	26.25288	38.10393	25
Mo	0.16925	0.21160	0.1285	-
V	0.02921	0.01792	0.01808	-
Cu	0.17527	0.05907	0.07404	-
W	0.15486	0.20650	0.18327	-
Ti	0.00682	0.00472	0.00425	-
Sn	0.00335	0.00290	0.00234	-
Al	0.02152	0.01508	0.01329	-
Pb	0.05128	0.04796	0.06426	-
Nb	0.00060	0.00560	0.00643	-
Zr	0.00474	0.00402	0.00218	-
Zn	0.00898	0.00625	0.02604	-
Fe	19.5413	17.0210	12.7589	-

3. Unsur manganese (Mn), hasil pengujian sampel A 0.75807 %, sampel B 0.23312 %, dan sampel C 0.51665 %, sedangkan pada standar material yang digunakan sandvik 353 MA yaitu 1.5 %, sehingga dengan rendahnya unsur manganese dari standar material, maka hal ini dapat menyebabkan stabilitas ferit pada temperatur tinggi sangat baik.
4. Unsur pospor (P), hasil pengujian sampel A 0.0127 %, sampel B 0.0029 % dan sampel C 0.0039 %, sedangkan pada standar material yang digunakan sandvik 353 MA yaitu ≤0.040 %.
5. Unsur Nikel (Ni), hasil pengujian sampel A 43.81441% sampel B 54.61879 % dan sampel C 46.95169 %, sedangkan pada standar material yang digunakan sandvik 353 MA yaitu 35 %, sehingga nilai unsur

nikel pada material lebih tinggi dari standar maka hal ini dapat meningkatkan kekuatan, keuletan material pada temperatur tinggi.

### Pengujian Metalografi

#### Sampel A

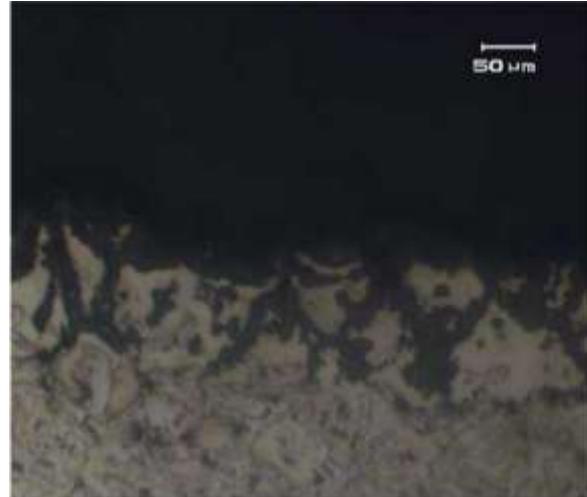


**Gambar 3.** Struktur mikro daerah yang mengalami deformasi benturan partikel/pasir yang berupa ferit- perlit yang diduga terbawa oleh steam dari pipa reformer. Etsa:nital 2%

Pemeriksaan atau pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui sifat sifat logam dan paduannya berdasarkan bentuk struktur mikro dari permukaan yang mengalami kerusakan/kegagalan dan kemudian dibandingkan dengan material yang tidak mengalami kerusakan atau kegagalan. Pengujian Metalografi dilakukan terhadap

material *tube reformer* di daerah yang mengalami kerusakan yaitu pada daerah *elbow* dengan melakukan tiga sampel pengujian untuk mendapatkan struktur mikro.

#### SAMPEL B



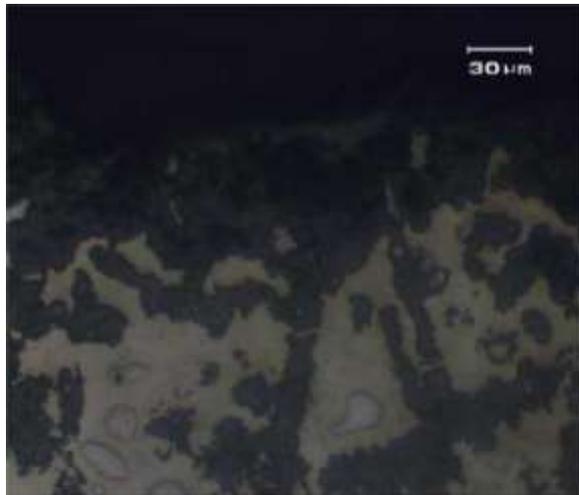
**Gambar 4.** Struktur mikro daerah yang mengalami penipisan ferit-perlit dan terjadi deformasi benturan partikel/pasir. Etsa:nital 2%

### Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada tube Reformer yang mengalami kerusakan/kegagalan dilakukan di Laboratorium Uji Konstruksi (LUK)/B2TKS BPPT Serpong mm dengan menggunakan metode kekerasan brinell (hardness brinell). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan kekerasan pada material tube yang mengalami kerusakan/kegagalan. Pengujian kekerasan

dilakukan setelah pengujian struktur mikro. Pengujian kekerasan material pada masing-masing penampang di setiap sampel dilakukan dengan menggunakan metode Vickers dengan beban 187,5 kgf dan dapat dilihat pada tabel 2.

**SAMPEL C**



**Gambar 5.** Struktur mikro daerah yang mengalami depormasi penurunan ferit-perlit akibat benturan pasir/partikel sehingga dapat menyebabkan menurunnya nilai karbon pada material tersebut. Etsa:nital 2%

Pengujian kekerasan dilakukan lokasi yang berdeda pada bagian ellbow yaitu di sampel A, sampel B dan sampel C. Nilai kekerasan rata-rata pada tiap sampel berdeda yaitu nilai kekerasan di sampel A

334,2 HV, sampel B 259,6 HV dan sampel C 296,4 HV.

**Tabel 2.** Hasil Uji Kekerasan

No Uji	Kekerasan Brinell (HB: 30)			Kete-rangan
	Sampel A	Sampel B	Sampel C	
1	343,2	235,5	270,4	Pogram Kekerasan Brinell (HB : 30) ∅ Indentor 2,5 mm. Beban 187,5 Kgf
2	338,8	265,5	284,8	
3	334,4	266,2	295,6	
4	334,4	258,5	311,2	
5	320	272,5	320,0	
Rata – rata	334,2	259,6	296,4	

**PEMBAHASAN**

Berdasarkan pengujian secara visual, Pengujian komposisi kimia, Pengujian metalografi, pengujian kekerasan, analisa terhadap kerusakan yang terjadi di elbow tube reformer. Kerusakan Tube pada elbow diakibatkan karena Korosi dan Faktor-faktor yang menentukan laju Korosi diantaranya yaitu:

1. Faktor Metallurgi, termasuk pengaruh mekanis yang dialami logam:
  - Chemical stability logam/ alloys
  - Bimetallic contact
  - Impuritas / inklusi dalam logam
  - Paduan single-phase
  - Paduan multiphase atau material
  - Kondisi permukaan
  - Pengaruh mekanis
  - logam menerima tegangan
  - stress corrosion cracking
  - korosi lelah.
2. Faktor Lingkungan
  - Pengaruh kecepatan alir media
  - PH dari media larutan
  - Temperatur dan tekanan
  - Sifat dan konsentrasi zat terlarut
  - Kondisi asmosferik/diff.aeration
  - Kondisi biologis menuju ke
  - *differential aeration.*

**Pengaruh kimia dan pengaruh fisik**

- a. oksidasi
- b. karburasi, dekarburisasi, dan sulfidasi
- c. selective leaching, dan
- d. dew point corrosion.

**Jenis dan Tipe Korosi yang terjadi KOROSI-OKSIDASI**

Ketika logam atau alloy terekspos di lingkungan gas yang mengoksidasi, misalnya oksigen atau halogen, akan bereaksi dibawah *dry conditions*. Fenomena ini *dry corrosion*, untuk membedakan dengan istilah *aqueous corrosion* Oksida logam berupa *film* terbentuk pada permukaan *logam* melalui proses difusi atau *oxidizing environment* atau keduanya; dan ketebalan film terus bertambah selama proses tetap berlangsung. Film *metal oxide* yang semakin tebal ini sering disebut sebagai *scale*.

**KOROSI EROSI****Mekanisme A**

Mekanis - Kimiawi atau Erosi-Korosi :

1. Cairan yang mengalir tidak mengandung partikel abrasif (free of abrasive particles).
2. Akan tetapi aliran dan kecepatan menyimpang dan turbulensi karena adanya ketidakrataan permukaan (surface discontinuities), seperti tonjolan las (weld bead), goresan, *small pit*, cacat metallurgis pada *volute casing*, dll.
3. Akibat butir 2, lapisan film terkelupas, menghasilkan ketidakrataan permukaan bertambah parah, dan menimbulkan fenomena korosi dan erosi (karena turbulensi meningkat) secara local.

**Pemilihan Material untuk Temperatur Tinggi**

1. Material yang dioperasikan pada temperatur tinggi sampai sekitar 750°C, seperti dilingkungan industri pembangkit tenaga listrik (power generation), petrokimia dan industri kimia lainnya, kilang minyak (oil refining), *waste incineration*; berupa peralatan *steam boiler, heater tube, recovery boiler, reactor vessel, process piping*, dan

*flue-gas recovery equipment*; umumnya dimanfaatkan *carbon steel* (< 1% Cr) dan *Cr-Mo, steel* (1-12% Cr dan 0 – 1% Mo).

2. Untuk aplikasi sampai 1.150°C umumnya dimanfaatkan Cr-Ni-Mo steels yang mengandung 12-25% Cr dan 5-25% Ni. Material ini kekuatannya pada temperatur tinggi lebih baik atas dasar strukturnya austenitik dan kandungan nikelnya tinggi. Disamping itu, mengurangi kelemahan baja feritik (misalnya Cr-Mo steel feritis dengan Cr >12%) yang kehilangan ketangguhannya setelah terekspos dalam jangka waktu lama pada kondisi temperatur panas.
3. Material yang tahan dengan kondisi lingkungan gas bertemperatur tinggi dan kondensat gas, adalah AISI 409, 410, 430, dan 436.

**Penanggulangan dan Usaha Pencegahannya**

Karena material yang digunakan bersifat tahan terhadap suhu dan operasional yang tinggi, maka usaha pencegahan supaya tahan terhadap korosi dan erosi dapat dilakukan dengan cara sebagaiberikut:

1. Melakukan pelapisan permukaan dengan coating boron carbida, agar mendapatkan lapisan permukaan yang tahan terhadap aus, dan rendah gesekan dan juga tahan terhadap korosi, pelapisan permukaan pada sisi elbow dapat dilakukan dengan cara coating boron carbide setebal, 05 µm – 1,00 µm untuk mendapatkan kekerasan permukaan yang tinggi dan tahan aus yang tinggi dan korfisien gesekan yang rendah.
2. Melalukan pemeliharaan rutin yang sesuai dengan persyaratan operasional pemeliharaan.
3. Untuk mencegah erosi terhadap bahan refraktori tersebut oleh aliran gas panas, ditambahkan serutan baja tahan karat tipe 304 dan 321 pada refraktori dengan temperatur di bawah 900°C, dan serutan baja tahan karat tipe 310 pada refraktori dengan temperatur 900-1000°.
4. Pengaturan kecepatan aliran operasional tetap terjaga.

5. Baja tahan karat austenitik ini dipilih sebagai pelindung refraktori karena cukup tahan oksidasi, nitridasi, dan karburisasi dan harganya tidak semahal paduan Nikel tinggi terhadap korosi temperature tinggi

### **Pengendalian Korosi dan pemeliharaan untuk tube reformer**

Karena material yang digunakan bersifat tahan terhadap suhu dan operasional yang tinggi, maka usaha pencegahan supaya tahan terhadap korosi dan erosi dapat dilakukan dengan cara sebagaiberikut:

1. Melakukan pelapisan permukaan dengan coating boron carbida, agar mendapatkan lapisan permukaan yang tahan terhadap aus, dan rendah gesekan dan juga tahan terhadap korosi, pelapisan permukaan pada sisi elbow dapat dilakukan dengan cara coating boron carbide setebal, 05  $\mu\text{m}$  – 1,00  $\mu\text{m}$  untuk mendapatkan kekerasan permukaan yang tinggi dan tahan aus yang tinggi dan korfisien gesekan yang rendah.
2. Melalukan pemeliharaan rutin yang sesuai dengan persyaratan operasional pemeliharaan.
3. Pengaturan kecepatan aliran operasional tetap terjaga.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pengujian dan pemeriksaan secara visual tube reformer mengalami kerusakan disekitar *elbow* pada tube tersebut yang diakibatkan oleh partikel-partikel di luar furnace pada sisi *elbow* tersebut dan permukaan yang terkikis bersifat tidak merata. Dari hasil penelitian terhadap material fe hasil pengujian SEM Edax dan metalografi diketahui struktur micro dari sampel fe terdiri dari matriks  $\alpha$ . Identifikasi kerusakan diakibatkan karena adanya korosi erosi pada permukaan sisi elbow.

Penyebab terjadinya kerusakan di area elbow tube reformer yaitu:

1. Dikarenakan keausan erosi (*erosive wear*) pada sisi elbow yang menyebabkan ketebalan tube reformer berkurang yang ditandai dengan terjadinya erosi yang sangat signifikan pada area disekitar elbow tube

reformer tersebut, dan adanya aliran yang turbulens dan hal ini dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan yang cukup besar pada daerah sekitar elbow tersebut.

2. Kondisi mekanis aliran fluida yang turbulen sehingga dapat menyebabkan penurunan nilai karbon pada material tersebut.
3. Variasi korosi yang terjadi pada tube tersebut.
4. Kondisi fluida yang dioperasikan pada temperatur 800-1000 derajat C, sehingga dapat mempercepat terjadinya korosi dan erosi pada material tersebut.

### **REFERENSI**

- [1] Abdullah, Akar. 2011. *Estimating in oil and gas pipe line due to send presence*, Sweden: Thesis. Blekinge Institute of Technology. Master's Degree.
- [2] Adnyana, D.N. 2013. *Spesifikasi dan Aplikasi Material*. Jakarta: ISTN.
- [3] American Society of Material. Handbook Vol 09. *Metallography and Microstructures*, 2004.
- [4] America Society of Material. Handbook Vol 11. *Failure analysis and Prevention*, 2002.
- [5] American Society of Material, handbook Vol 12, *Fractography*, 1987.
- [6] American Society of Material, handbook Vol 13, *Corrosion*, 1990.
- [7] Charlie. R. Brooks and Ashok Choudhury. 1993. *Metallurgical Failure Analysis*, McGraw-Hill. Inc, United Stated of America.
- [8] DAS, AK. 1996. *Metallurgy of Failure Analysis*, New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- [9] Dhillon, B .S. 2002 *Maintenance A Modern Approach*. Washington, D.C
- [10] Hatta Ilham. 1997. *Aplikasi Hasil Pengujian Accelerated Creep untuk Tabung Reformer yang Beroperasi pada Temperatur Tinggi*. Jurnal. ISSN 1410-2897.
- [11] John M. Gross. 2002. *Fundamentals of Preventive Maintenance*. State of America.