



TUGAS AKHIR –TL 141584

**STUDI MEKANISME KERUSAKAN *TUBE*
REFORMER PADA INDUSTRI PETROKIMIA**

Novielly
NRP. 2712 100 133

Dosen Pembimbing
Dr. Lukman Noerochim, ST., M.Sc.Eng
Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Final Project –TL 141584

*DAMAGE MECHANISM STUDY TUBE REFORMER ON
PETROCHEMICAL*

Novielly
NRP. 2712 100 133

Advisor
Dr. Lukman Noerochim, ST., M.Sc.Eng
Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc

DEPARTMENT OF MATERIAL AND METALLURGICAL
ENGINEERING

Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology

SURABAYA

2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI MEKANISME KERUSAKAN TUBE REFORMER PADA
INDUSTRI PETROKIMIA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Korosi Dan Analisa Kegagalan

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NOVIELLY

NRP. 2712100133

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Lukman Noerochim. ST.M.Sc.Eng
(Pembimbing 1)
2. Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.
(Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI MEKANISME KERUSAKAN TUBE REFORMER PADA INDUSTRI KIMIA

Nama :Novielly
NRP :2712100133
Jurusan :Teknik Material dan Metalurgi, ITS
Dosen Pembimbing :Dr. Lukman Noerochim. ST.M.Sc.
Eng
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc

Abstrak

Reformer biasanya dipakai pada industri Petrokimia untuk menghasilkan hidrogen. Salah satu permasalahan kerusakan/kegagalan yang terjadi adalah pada bagian Tube reformer yang disebabkan oleh pengoperasian pada pengaruh temperatur tinggi. Kegagalan yang terjadi pada tube reformer yang secara visual yaitu adanya crack pada bagian permukaan OD. Analisis yang dilakukan yaitu ada 5 pengujian antara lain SEM, Uji tarik, Uji Kekerasan, Uji Komposisi, dan Metalografi. Didapatkan bahwa kegagalan disebabkan oleh overheating yang menyebabkan terjadinya crack yang terdapat pada batas butir. Dari hasil pengujian metalografi ditemukan adanya *void – void* dan *microcrack*. Timbulnya *void* ini disebabkan oleh *overheating* dan menyebabkan nilai *hardness* yang tinggi, nilai *hardness* yang tinggi juga didukung oleh hasil dari EDX, hasil EDX menunjukkan adanya unsur kromium yang tinggi sehingga material menjadi getas. *Void* yang terdapat pada material HP modified mempengaruhi hasil dari tensile dikarenakan *void* membuat nilai *tensile* menjadi rendah. Dari hasil Uji komposisi didapatkan bahwa terdapat unsur yang tidak sesuai seperti Sulfur dan Pospor yang dapat menurunkan sifat dari ketahanan pada temperature tinggi.

Kata kunci: *reformer tube, Hp Modified, crack, creep*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**DAMAGE MECHANISM STUDY TUBE REFORMER
ON PETROCHEMICAL**

Name :Novielly
SRN :2712100133
Major :Teknik Material dan Metalurgi, ITS
Advisor :Dr. Lukman Noerochim. ST.M.Sc.
Eng
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc

Abstract

Reformer is usually used in petrochemical industry to produce hydrogen. One of the problem of damage / failure is on the reformer tube caused by operation at high temperature influence. Failure in the reformer tube were visually that the crack on the surface of the OD. There are 5 tests include SEM, tensile test, Hardness Test, Test Composition and Metallography. The cause of failure due to overheating that can be crack crack contained in the grain boundary. From the test result of metallographic that found a voids and microcrack. The emergence of this void caused by overheating and causing a high hardness value, high hardness value can also be shown by the results of EDX, EDX results indicate the presence of high chromium element so that the material becomes brittle. Void contained on HP modified can makes tensile value becomes low. From the test results showed that there are elements of the composition are not suitable as sulfur and phosphorus that can degrade the properties of durability at high temperature.

Keyword: reformer tube, Hp Modified, crack, creep

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	I
TITLE	III
LEMBAR PENGESAHAN.....	V
ABSTRAK.....	VII
ABSTRACT	IX
KATA PENGANTAR	XI
DAFTAR ISI	XIII
DAFTAR GAMBAR	XVII
DAFTAR TABEL	XIX
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	4
II.1 Reformer.....	5
II.2 <i>Tube reformer</i>	6
II.3 <i>Heat Resistant Alloy Castings</i>	8
II.3.1 Diagram Fasa Fe-Ni	12
II.3.1 HP Modified Alloys	15
II.4 Kegagalan Umum yang Terjadi Pada <i>Tube reformer</i>	17

II.4.1 Creep	18
II.4.2 Overheating	21
II.4.3 Thermal cycling.....	23
II.4.4 Tube Bending	23
II.4.5 Thermal Shock	24
II.5 Korosi pada Temperatur Tinggi	24
II.6 Penelitian Sebelumnya	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	30
III.1 Diagram Alir	29
III.2 Alat dan Bahan	31
III.3 Prosedur Penelitian.....	31
III.3.1 Pengumpulan Data & Pengamatan Visual.....	31
III.3.2 Metalografi.....	33
III.3.3 Uji Tarik.....	34
III.3.3 Uji Kekerasan.....	36
III.3.3 Uji Komposisi	37
III.3.4 SEM&EDX	39
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	43
IV.1 Data	43
IV.1.1 Data Awal	41
IV.1.2 Pengamatan Visual Tube reformer	44
IV.1.3 Pengamatan Metalografi.....	46
IV.1.4 Uji Kekerasan	51
IV.1.5 Uji SEM & EDAX.....	53
IV.1.6 Pengujian Tarik.....	56
IV.1.7 Uji Komposisi.....	57

IV.2 Pembahasan	58
BAB V KESIMPULAN.....	61
VI.1 Kesimpulan	61
VI.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Operasi	7
Tabel 2.2 Komposisi Heat Resistant Alloy Castings.....	10
Tabel 2.3 Representatif Tensile Properties temperatur ruang dan Hardness menurut ASTM A 297	11
Tabel 2.4 Komposisi Kimia Cas Hp-NbTi2	17
Tabel 2.5 <i>Creep</i> Properties	21
Tabel 2.6 Hubungan antara temperatur dan <i>life time</i> menurut API R530	22
Tabel 2.7 Hasil Uji Komposisi	28
Tabel 2.8 Hasil Pengujian kekerasan.....	28
Tabel 3.1 Kode Eksperimen	41
Tabel 4.1 Data Awal <i>Tube reformer</i>	44
Tabel 4.2 Sifat mekanik dan komposisi kimia	45
Tabel 4.3. Hasil pengujian Hardness	52
Tabel 4.4. Tabel Komposisi EDAX.....	54
Tabel 4.5 Hasil pengujian uji tarik	56
Tabel 4.6 Hasil Uji Komposisi	57

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Reformer.....	6
Gambar 2.2 proses manufaktur Tube reformer	7
Gambar 2.3 <i>Tube reformers</i>	8
Gambar 2.4 Kandungan Chromium dan Nickel menurut ACI standard grades untuk heat and corrosion resistant steel casting.....	11
Gambar 2.5 Diagram Fasa Fe-Ni.....	14
Gambar 2.6 Pengaruh Unsur pada Baja Austenitik.....	14
Gambar 2.7 (a) <i>Primary Carbides</i> (b) <i>Secondary Carbides</i> . HP- Nb-Ti. (Chromium carbide, Nb-Ti(C)).....	16
Gambar 2.8 Tahap <i>aging in-service</i> pada tube HK-40 selama 10 tahun	17
Gambar 2.9 Mekanisme <i>Creep</i>	20
Gambar 2.10 Penyebaran <i>creep crack</i> Isolated <i>Creep Void</i> x250 (a) Micro crack x250(b)..... <i>Creep cracking</i> x100(c)	
Gambar 2.11 Hasil Makro fraktografi	25
Gambar 2.12 Bentuk strukturmikro penjalaran retak.	26
Gambar 2.13 Pemetaan distribusi produk korosi disekitar retakan	26
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	31
Gambar 3.2 Tube Reformer.....	33
Gambar 3.3 Tube A dan Tube B	33
Gambar 3.4 sampel A dan sampel B pada permukaan OD ...	34
Gambar 3.5 Mikroskop optik Olympus BX51M.....	35
Gambar 3.6 Mesin Uji tarik Shimadzu AGS-10kNG.....	36
Gambar 3.7 Ukuran berdasarkan standard ASTM E8.....	36
Gambar 3.8 Mesin Vickers HBRV 187.5A.....	38
Gambar 3.9 Teknik pengujian kekerasan	38
Gambar 3.10 Posisi penjejakan sampe A(a) dan sampel B(b)	38
Gambar 3.11 Mesin Uji Komposisi PMI-Master pro	39
Gambar 3.12 Mesin SEM&EDX 10 JEOL JSM-6390A.....	40
Gambar 4.1 <i>Crack</i> pada permukaan pada tube A.....	45

Gambar 4.2 Bagian potongan sampel a (A), permukaan OD sampel a (A1), Bagian potongan sampel b (B), permukaan OD sampel b (B1) perbesaran 8x.45

Gambar 4.3 Foto Mikrostruktur perbesaran 100x(a), 200x(a) sampel A bagian dekat OD47

Gambar 4.4 Foto Mikrostruktur perbesaran 100x(a), 200x(a) sampel B bagian dekat OD48

Gambar 4.5 Foto Mikrostruktur perbesaran 100x(a), 200x(a) sampel A bagian dekat ID49

Gambar 4.6 Foto Mikrostruktur perbesaran 100x(a), 200x(a) sampel B bagian dekat ID.....50

Gambar 4.7 Hasil pemeriksaan dengan menggunakan SEM bagian dekat OD tube A (a), bagian dekat ID tube B (b)53

Gambar 4.8 SEM-EDAX Hasil pemeriksaan sampel A1, A2.54

Gambar 4.9 SEM-EDAX 1 Hasil pemeriksaan sampel B1 dan B254



BAB V KESIMPULAN

VI.1 Kesimpulan

1. Penyebab crack disebabkan oleh overheating sehingga terjadi pengeroposan yang diinisiasi oleh void –void pada strukturmikro sehingga void – void akan bergabung dan menjadi mikro crack dan temperature yang lebih tinggi dibandingkan dengan temperature yang telah di desain.
2. Mekanisme kegagalan pada tube reformer diinisiasi oleh *overheating* yang menyebabkan munculnya void pada batas butir. Oleh karena temperatur tinggi maka mempengaruhi hardness dengan nilai sebesar 192 VHN sehingga material menjadi getas . Nilai yang tinggi pada hardness ini disebabkan adanya presipitasi karbida pada batas butir didukung oleh hasil dari EDX. Void dan mikro crack yang terlihat pada pengujian metallografi menyebabkan nilai tensile yang rendah yaitu 358 N/mm^2 dikarenakan oleh adanya pengeroposan pada pengoperasian tekanan dan temperature secara terus menerus, selain itu pada pengujian uji komposisi terdapat unsur pospor dan sulfur yang menurunkan kemampuan material terhadap temperature tinggi.

VI.2 Saran

1. Melakukan perawatan dan inspeksi secara berkala sehingga kegagalan yang akan terjadi dapat diantisipasi



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di dunia akan selalu berkembang seiring berjalannya waktu, dan akan selalu adanya inovasi untuk meningkatkan kinerja dari suatu alat termasuk teknologi dalam bidang material dan metalurgi. Dengan adanya perkembangan teknologi ini maka diharapkan akan lebih baik dibandingkan dengan teknologi yang sebelumnya. Namun demikian permasalahan kerusakan material dari komponen yang digunakan tersebut masih saja ditemukan. Dan akibat kerusakan tersebut akan memperpendek umur pakai suatu komponen dan konstruksi. Oleh karena itu kerusakan atau kegagalan tersebut harus dihindari. Untuk menghindari kegagalan berikutnya perlu diketahui penyebab kerusakannya melalui suatu analisa kerusakan

Dalam perkembangan teknologi ini juga dipengaruhi oleh bahan bakar dan gas. Contohnya pada industri Petrokimia. Petrokimia sendiri adalah bahan kimia apapun yang diperoleh dari bahan bakar fosil atau didapat dari gas alam. Bahan bakar fosil yang dimaksud merupakan fosil yang telah dipurifikasi seperti metana, propana, butana, bensin, minyak tanah, bahan bakar diesel, bahan bakar pesawat, dan juga termasuk berbagai bahan kimia untuk pertanian seperti pestisida, herbisida, dan pupuk, serta bahan-bahan seperti plastik, aspal, dan serat buatan. Industri petrokimia adalah industri yang berkembang berdasarkan suatu pola yang mengkaitkan suatu produk-produk industri minyak bumi yang tersedia, dengan kebutuhan masyarakat akan bahan kimia atau bahan konsumsi dalam kehidupan sehari-hari. Contoh produk-produk industri petrokimia hulu antara lain metanol, etilen, propilen, butadiena, benzena, toluena, xilena, *Fuel Coproducts*, *Pyrolysis Gasoline*, *Pyrolysis Fuel Oil*, dan campuran C₄.



Faktor kualitas bahan bakar dan gas juga dapat menjadi faktor penting dalam kerusakan yang dapat mempengaruhi umur dari suatu material. Seperti pada industri Petrokimia bahan bakar seperti Minyak bumi yang biasanya disebut Crude Oil adalah merupakan campuran yang kompleks dari senyawa Hidrokarbon, karena senyawa ini dominan oleh unsur Carbon (C) dan Hydrogen (H) dan sebagian kecil unsur lain seperti Oksigen (O), Nitrogen (N), Sulfur (S) dan beberapa metal antara lain : Fe, Na, Va yang susunannya sebagai senyawa ikutan / impurities. rumus bangun senyawa hidrocarbon akan menentukan sifat fisika maupun sifat kimia dari minyak bumi dan gas bumi serta akan mempengaruhi produk secara kualitatif maupun kuantitatif. Pengaruh adanya Impurities dapat mengakibatkan sifat korosif, dan juga deaktifasi katalis.

Reformer biasanya dipakai pada industri Petrokimia. *Reformer* ini berfungsi untuk memecahkan gas alam seperti metana dengan *steam* yang nantinya akan memproduksi Amonia, Metanol, Karbon Monoksida, dan hidrogen. Contohnya adalah mereaksikan gas alam (metana) dengan uap air pada temperatur dan tekanan tertentu sesuai persamaan kimia :



Terdapat beberapa variabel yang perlu diperhatikan dalam reformer yaitu temperatur, tekanan, dan juga perbandingan antara gas alam yang masuk dengan *steam*. Penggunaan temperatur pada Reformer diantara 700 °C - 900 °C.

Pada suatu industri petrokimia, *Tube reformer* yang sudah beroperasi selama 16 tahun mengalami kegagalan atau kerusakan pada bagian *Tube reformer* yang berfungsi sebagai pengaliran gas alam dan steam. Terjadi kegagalan pada permukaan *tube reformer*, jenis kegagalan yang terjadi adalah adanya retak pada bagian luar permukaan *tube reformer*.



I.2 Rumusan Masalah

Reformer adalah salah satu komponen yang digunakan pada suatu pabrik yang berfungsi untuk memecahkan gas alam dengan uap air. Dari latar belakang maka:

1. Faktor apa yang menyebabkan kegagalan yang terjadi pada *tube reformer*?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan yang terjadi pada *tube reformer*?

I.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas terarah dan tidak menyimpang sehingga dapat mempermudah dalam menganalisis permasalahan, maka dilakukan pembatas permasalahan antara lain:

1. Material yang diambil adalah *tube reformer* di PT.X dengan tipe HP Modified A297 dijalankan sesuai dengan SOP (*Standard Operational Procedure*).
2. Parameter lain yang tidak diamati dianggap sesuai dengan SOP.

I.4 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan dari analisis kegagalan antara lain:

1. Menganalisis penyebab dari kegagalan yang terjadi pada *tube reformer*.
2. Menganalisis mekanisme dari kegagalan yang terjadi pada *tube reformer*.

I.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari analisis kegagalan tersebut, yaitu mahasiswa dapat mengerti dan memahami sehingga dapat mengaplikasikan ilmu yang telah didapa. Dari hasil penelitian ini akan menghasilkan sebuah rekomendasi yang nantinya dapat digunakan oleh pihak perusahaan untuk meminimalisir jenis kegagalan yang sama kemudian hari.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II DASAR TEORI

II.1 Reformer

Reformer adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk merubah gas bumi dan uap air menjadi gas hidrogen dengan bantuan panas katalis. Pada umumnya reformer terdiri dari dua, yaitu *primary reformer* dan *secondary reformer*. *Primary reformer* (reaktor pertama pembentuk hidrogen) adalah unit peralatan paket pada pabrik amoniak atau methanol untuk mengubah feed gas (gas bumi) menjadi gas sintesa/ hidrogen, dan kemudian prosesnya reaksinya dilanjutkan pada Secondary Reformer. Unit peralatan ini adalah merupakan paket terbesar dan termahal dan merupakan salah satu bagian urgen serta kritikal pada pabrik amoniak maupun methanol. Sebagian besar gangguan operasi atau kegagalan primary reformer akan berimplikasi pada shutdown pabrik amoniak/methanol secara total. Pemilihan yang tepat diikuti dengan perawatan yang baik beberapa komponen kritis dari paket primary reformer ini akan sangat menentukan kinerja pabrik amoniak secara umum dan kinerja primary reformer pada khususnya.

Pada unit reforming gas bumi yang sudah bersih dicampur dengan uap air, dipanaskan dan kemudian direaksikan di primary reformer. Proses reaksi utama pada *primary reformer* adalah sebagai berikut:

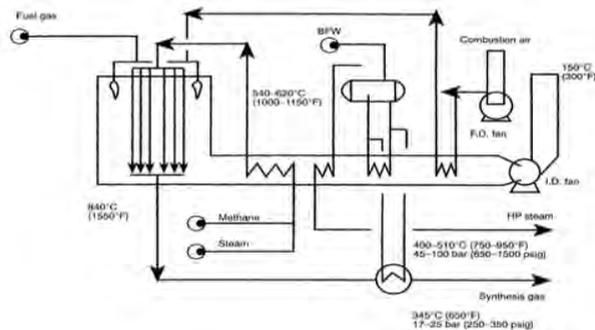
Reaksi :



Secara umum reaksi yang terjadi adalah reaksi endotermik sehingga membutuhkan kalor yang dihasilkan dari pembakaran gas alam sebagai fuel pada *burner*. Gas yang keluar dari *primary reformer* masih mengandung kadar CH_4 yang cukup tinggi, yaitu 12 – 13 %, yang selanjutnya akan diubah menjadi H_2 pada Secondary Reformer dengan perantaraan katalis nikel pada



temperatur 1002,5°C. Kandungan CH₄ yang keluar dari *Secondary reformer* ini diharapkan sebesar 0.34 % mol dry basis.



Gambar 2.1 Reformer

(Sumber: Nickel Development Institute)

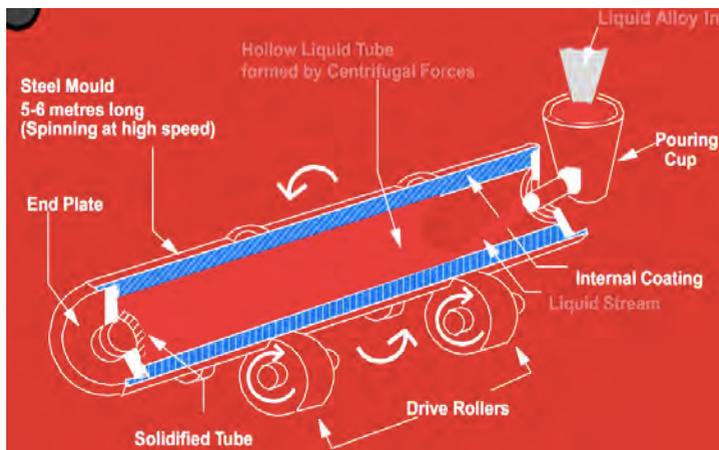
II.2 Tube reformer

Tube reformer merupakan komponen penting yang digunakan untuk menghasilkan hidrogen dari campuran antara gas yang kaya akan hidrokarbon dan steam dengan temperatur yang tinggi. Proses yang terjadi pada *Tube reformer* ini biasanya adalah endotermik. Tube mempunyai diameter dalam sekitar 60-120 mm dan mempunyai panjang 10-14m. Tekanan yang ada pada tube sekitar 15-30 bar(218-435 psi) dan untuk temperatur sekitar 900-1000 °C (1652-1832 °F) dan untuk ketebalan tube sekitar 8 hingga 20mm. *Tube reformer* umumnya menggunakan *Heat Resistant Alloy Castings*.

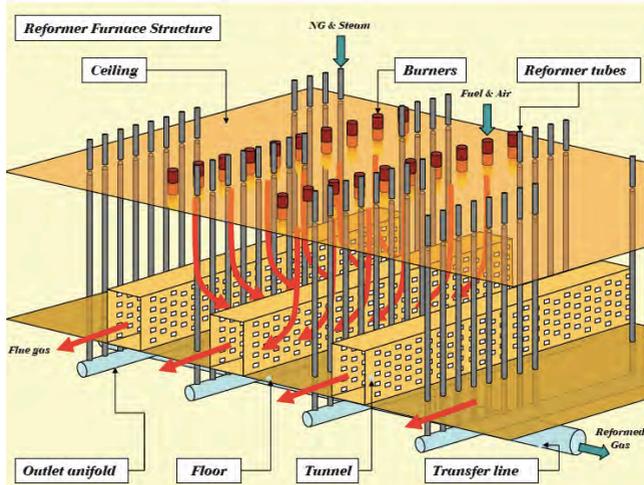
Tube reformer terletak didalam furnace yang tegak lurus (vertikal). Reaksi pada *Primary Reformer* berlangsung secara endotermis (menyerap panas). Sumber panas dihasilkan dari 80 burner dengan tipe pengapian ke bawah untuk memanaskan 128 tubekatalis. Temperatur gas inlet *reformer* 490°C. Temperatur reaksi dijaga 823°C pada tekanan 41 kg/cm² G. Jika temperatur lebih rendah maka reaksi akan bergeser ke arah kiri (reaktan).

**Tabel 2.1** Data Operasi

Objek	<i>Tube reformer</i>
Material	HP Modified 23Cr- 35Ni NbTi
Lama beroperasi	16 Tahun
Inside / Outside	114mm/123mm
Thickness	9mm
Temperatur Operasi	900°C max.
Tekanan Operasi	33 bar

**Gambar 2.2** proses manufaktur Tube reformer

(Sumber: GBH Enterprises Ltd.)



Gambar 2.3 Tube reformers

(Sumber: <http://comtecquest.com/Practice/practice16.html>)

II.3 Heat Resistant Alloy Castings

Heat Resistant Alloy Casting mempunyai komposisi kromium sekitar 12% yang dimana dapat digunakan pada temperatur diatas 1200°C. Komposisi paduan pada heat resistant lebih tinggi dibandingkan komposisi paduan yang ada pada tipe corrosion resistant. Paduan yang ada pada *Heat Resistant alloys* terdapat nikel, kromium, dan baja dan elemen yang lain dengan presentasi yang kecil. Nikel dan Kromium berfungsi untuk meningkatkan sifat dari tahan panas dari suatu material. Coran yang terbuat dari paduan harus mempunyai sifat stabilitas permukaan film yang baik (Oksidasi dan ketahanan korosi) dalam berbagai kondisi dan temperatur yang digunakan, dan mempunyai kekuatan mekanik dan keuletan yang cukup saat kondisi temperatur yang tinggi

Umumnya spesifikasi berdasarkan komposisi dasarnya menggunakan system penamaan dari *Alloy Casting Institute Division, Steel Founders' Society of America*. Berikut adalah



yang digunakan oleh *Alloy Casting Institute Division, Steel Founders' Society of America*

- A 297 *Heat Resistant* Baja-Kromium dan Baja – Kromium – Nikel Alloy Casting untuk aplikasi yang umum
- A 351 baja Feritik dan austenitik untuk temperatur yang tinggi
- A362 Baja-Kromium dan paduan Baja Kromium Nikel Tubular Centrifugal Castings untuk Aplikasi yang umum
- A 447 Kromium Nikel Baja Castings untuk temperatur yang tinggi
- A 488 Nikel Kromium Baja Castings untuk temperatur yang tinggi

Huruf pertama dari penamaan *Cast – Heat Resistant Steels* mengindikasikan bahwa paduan ini diperuntukkan terutama pada penggunaan temperatur tinggi (H) atau pada penggunaan lingkungan dengan kondisi *liquid corrosion*. Huruf kedua mengindikasikan nominal dari komposisi dari nikel semakin naik dari A hingga X maka semakin besar jumlah komposisi dari nikel

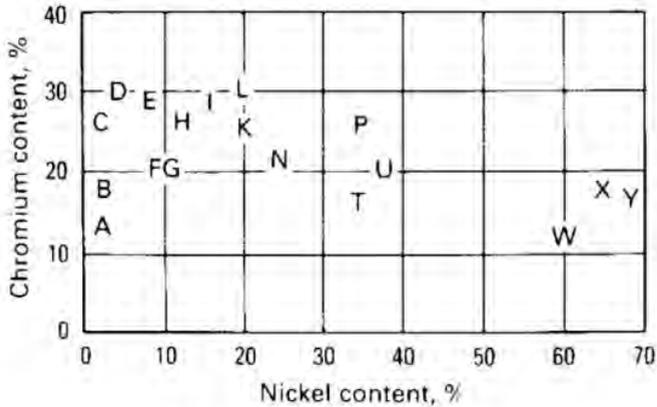
Berikut adalah table komposisi dari *Heat – Resistant Chromium - Iron Alloy castings* dan tensile properties yang diijinkan menurut ASTM A 297



Tabel 2.2 Komposisi Heat Resistant Alloy Castings

Alloy Casting Institute Designation	Alloy Type	ASTM Specification	Nearest AISI Type	UNS No.	CHEMICAL COMPOSITION, %						Other
					Ni	Cr	C	Mn max	Si max	Mo max	
HA	8-10Cr	A217	—	—	—	8-10	0.20 max	0.35-0.65	1.00	0.90-1.20	Fe bal
HC	28Cr	A297	446	J92605	4 max	26-30	0.50 max	1.00	2.00	0.5	Fe bal
HD	28Cr-8Ni	A297	327	J93005	4-7	26-30	0.50 max	1.50	2.00	0.5	Fe bal
HE	28Cr-9Ni	A297	312	J93403	8-11	26-30	0.20-0.50	2.00	2.00	0.5	Fe bal
HF	19Cr-9Ni	A297	302B	J92603	9-12	19-23	0.20-0.40	2.00	2.00	0.5	Fe bal
HH	25Cr-12Ni	A297, A447	309	J93503	11-14	24-28	0.20-0.50	2.00	2.00	0.5	Fe bal
HI	28Cr-15Ni	A297	—	J94003	14-18	26-30	0.20-0.50	2.00	2.00	0.5	Fe bal
HK	25Cr-20Ni	A297, A351 A567	310	J94224	18-22	24-28	0.20-0.60	2.00	2.00	0.5	Fe bal
IN-519'	24Cr-24Ni	—	—	—	23-25	23-25	0.25-0.35	1.00	1.00	—	Cb 1.4-1.8; Fe bal
HL	30Cr-20Ni	A297	—	J94604	18-22	28-32	0.20-0.60	2.00	2.00	0.5	Fe bal
HN	25Ni-20Cr	A297	—	J94213	23-27	19-23	0.20-0.50	2.00	2.00	0.5	Fe bal
HP	35Ni-28Cr	A297	—	J95705	33-37	24-28	0.35-0.75	2.00	2.00	0.5	Fe bal
HP-50WZ	35Ni-28Cr	—	—	—	33-37	24-28	0.45-0.55	2.00	2.50	—	W 4-6; Zr 0.1-1.0; Fe bal
HT	35Ni-17Cr	A297, A351	330	J94605	33-37	15-19	0.35-0.75	2.00	2.50	0.5	Fe bal
HU	39Ni-18Cr	A297	—	J95405	37-41	17-21	0.35-0.75	2.00	2.50	0.5	Fe bal
HW	60Ni-12Cr	A297	—	—	58-62	10-14	0.35-0.75	2.00	2.50	0.5	Fe bal
HX	68Ni-17Cr	A297	—	—	64-68	15-19	0.35-0.75	2.00	2.50	0.5	Fe bal
Chromium	50Cr-50Ni	A560	—	—	bal	48-52	0.10 max	0.30	1.00	—	Fe 1.0 max
Nickel	50Cr-48Ni	—	—	—	bal	48-52	0.10 max	0.30	0.50	—	Cb 1.4-1.7; N 0.16 max; Fe 1.0 max

(Sumber: Nickel Development Institute.)



Gambar 2.4 Kandungan Chromium dan Nickel menurut ACI standard grades untuk heat and corrosion resistant steel casting

(Sumber: ASTM Speciality Handbook-Heat Resistant Material)

Tabel 2.3 Representatif Tensile Properties temperatur ruang dan Hardness menurut ASTM A 297

Alloy	Tensile Strength MPa	Tensile Strength ksi	Yield Strength MPa	Yield Strength ksi	Elongation %	Hardness Brinell HB
HC	760	110	515	75	19	223
HD	585	85	330	48	16	90
HE	655	95	310	45	20	200
HF	835	92	310	45	38	165
HH1	585	85	345	50	25	185
HH2	550	80	275	40	15	180
HI	550	80	310	45	12	180
HK	515	75	345	50	17	170
HL	565	82	360	52	19	192
HN	470	68	260	38	13	160
HP	490	71	275	40	11	170
HT	485	70	275	40	10	180
HJ	485	70	275	40	9	170
HW	470	68	250	36	4	165
HX	460	65	250	36	9	176

(Sumber: Engineered Casting Solutions)

Menurut komposisi dan struktur metalurginya *The Heat Resistant Alloys* dibagi menjadi 3 kelompok yaitu:



- *Chromium Iron Alloys*
Paduan ini mengandung kromium hingga 30 % dan nikel hingga 7%. Pada paduan ini juga mempunyai struktur ferritik dan mempunyai kekuatan yang rendah pada temperatur yang tinggi dan penggunaannya terbatas berkaitan dengan beban yang statik yang rendah dan pemanasan seragam. Kelompok yang masuk pada paduan ini adalah HA, HC, HD
- *Chromium Nickel Iron Alloys*
Paduan ini mempunyai kekuatan tinggi terhadap temperatur yang tinggi dan resistasi terhadap kondisi saat pengoksidasi dan pereduksi. Paduan ini mempunyai kandungan 8 hingga 22 % nikel dan 18 hingga 32% kromium dan kemungkinan mempunyai mikrostruktur austenitik parsial atau sepenuhnya. Kelompok yang masuk pada paduan ini adalah HE hingga HL
- *Nickel Chromium Iron Alloys*
Paduan ini mempunyai struktur austenitik dan kandungan 25 hingga 70 % nikel dan 10 hingga 26% Kromium. Dapat bekerja pada temperatur 2100°F dikarenakan tidak ada fasa getas pada paduannya ini selain itu pada paduan ini mempunyai sifat yang baik pada pengelasan. Kelompok yang masuk pada paduan ini adalah HN, HP, HT, HU, HW, dan HX.

II.3.1 Diagram Fasa Fe-Ni

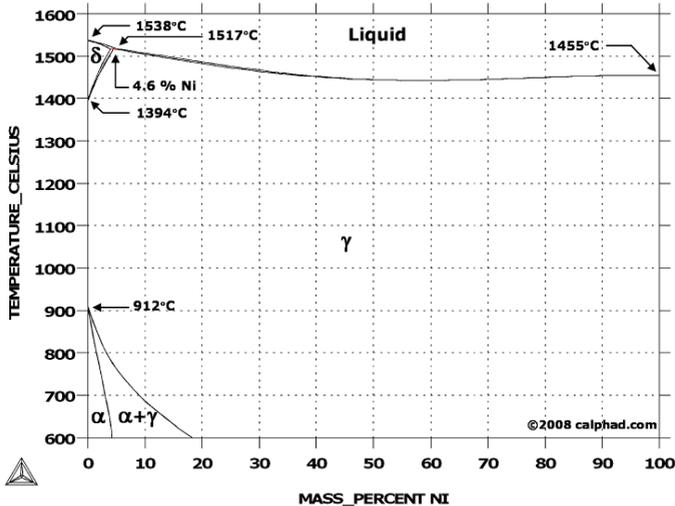
- **Nikel**
Fungsi utama nikel adalah untuk mem-promote fasa austenit. Dengan menambahkan nikel, fasa austenit dapat secara luas terekspansi sehingga austenit dapat stabil pada dan di bawah temperatur ruang.



Nikel meningkatkan aktivitas karbon dalam baja tahan karat austenit. Oleh karena itu, peningkatan konsentrasi nikel dapat meningkatkan sensitisasi untuk kadar karbon yang diberikan dan latar belakang termalnya. Nikel bukanlah merupakan pembentuk karbida yang kuat dan tidak juga mem-promote pembentukan senyawa intermetalik.

- Kromium

Kromium ditambahkan terutama untuk mencegah korosi pada baja. Dengan penambahan kromium, stoikiometri oksida $(Fe,Cr)_2O_3$ terbentuk pada permukaan baja. Kehadiran kromium akan meningkatkan kestabilan oksida karena tingginya afinitas terhadap oksigen dibandingkan dengan iron. Tingginya kadar kromium dibutuhkan untuk kestabilan oksida dalam lingkungan yang lebih agresif. Selain karbon, kromium juga merupakan elemen yang paling penting yang terlibat dalam pengembangan sensitisasi. Kromium merupakan pembentuk karbida yang kuat. Kromium dapat ditemukan dalam bentuk karbida $M_{23}C_6$, Cr_7C_3 , $M_{23}(C,N)_6$. Kromium juga merupakan kunci dalam pembentukan senyawa



Gambar 2.5 Diagram Fasa Fe-Ni
(Suber: <http://www.calphad.com/iron-nickel.html>)

No	UNSUR	PENGARUH
1	Karbon (C)	Menaikkan kekerasan Pembentuk karbida krom menurunkan ketahanan korosi.
2	Krom (Cr)	Pembentuk ferrit Menaikkan ketahanan korosi
3	Nikel (Ni)	Pembentukan austenit Menaikkan kekuatan pada temperatur tinggi. Menaikkan ketahanan korosi
4	Nitrogen (N)	Pembentuk austenit yang sangat kuat, yaitu (26-30) kali dari pengaruh Ni
5	Niobium (Nb)	Unsur pembentuk karbida yang kuat, sehingga menghindari terjadinya karbida Cr. Pembentuk ferrit
6	Mangan (Mn)	Pembentuk ferrit pada temperatur tinggi Menstabilkan austenit pada temperatur tinggi
7	Molybdenum (Mo)	Menaikkan kekuatan pada temperatur tinggi Pembentuk ferrit.
8	Titanium (Ti)	Unsur pembentuk karbida yang kuat, sehingga menghindari terjadinya karbida Cr. Pembentuk ferrit. Menaikkan mampu mesin
9	Phospor (P)	Sedikit menurunkan ketahanan korosi.
10	Sulfur (S)	Menaikkan kegetasan, hanya diperkenankan kadar S antara (0,025-0,030) %

Gambar 2.6 Pengaruh Unsur pada Baja Austenitik

(sumber: Anwar Budiando, 2009)



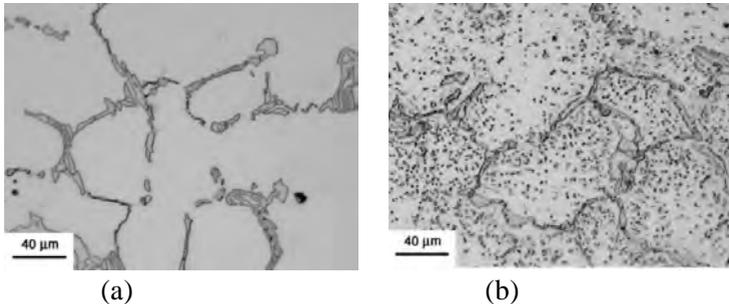
II.3.1 HP Modified Alloys

Karena tabung katalis perakitan dapat berjumlah 25% dari total biaya tungku, ada insentif besar untuk mengoptimalkan desain kimia. Ada banyak pendekatan dalam memenuhi proses dan persyaratan operasional. Dalam desain baru, paduan HP-Mod dapat membuat ukuran dari tube lebih efisien, terutama yang dirancang untuk proses amonia tekanan tinggi. Dengan HK-40 alloy, diameter tabung dibatasi oleh ketebalan dinding tabung. Semakin tebal tabung mempengaruhi untuk mengalami kerusakan *creep* dipercepat akibat perbedaan temperatur yang besar di dinding tabung tebal. Pengaplikasian HP Modified Alloys biasanya digunakan pada *ethylene pyrolysis tubing*, *steam methane reformer tubing*, *heat treating fixtures* dan *radiant tubes*. Hp modified dibuat dengan menggunakan proses centrifugal casting dan dengan menggunakan *electric furnace*. Sifat dari material ini adalah memiliki nilai *creep rupture* yang baik, tahan terhadap proses oksidasi dan thermal fatigue.

Penggunaan HP-40 Mod Nb telah memungkinkan volume internal tabung untuk tumbuh secara dramatis, tanpa peningkatan ketebalan dinding tabung, produksi kapasitas meningkat hingga 30% sampai 40% untuk menghitung tabung yang sama, dengan biaya hanya sedikit lebih tinggi. Pada dasarnya, paduan digunakan untuk temperatur tinggi untuk dapat ketahanan terhadap *creep* dengan pembentukan karbida di mikro. Ada dua bentuk utama dari karbida:

- *Primary Carbides*
Terbentuk sebagai *grain boundary network* saat proses pembekuan
- *Secondary Carbides*
Terbentuk sebagai partikel halus di sekitar butir saat beroperasi

(Sumber: The Journal Of Corrosion Science and Engineering)



Gambar 2.7 (a) *Primary Carbides* (b) *Secondary Carbides*. HP-Nb-Ti. (Chromium carbide, Nb-Ti(C))

(The Arabian journal for science and Engineering, 2006)

Secondary Carbides adalah contributor utama terhadap *creep strength*. Dalam waktu hanya beberapa jam pertama mikrostruktur tube akan berubah sebagai *secondary carbides* precipitate didalam butir asutenitik (proses yang dikenal sebagai "penuaan"). Setiap karbida partikel kecil bertindak sebagai penghalang untuk mencegah gerakan kerusakan akibat *creep* melalui mikro. Oleh karena itu, lebih halus partikel *secondary carbides* ini, maka semakin besar kekuatan *creep*. Seiring lamanya pemakaian dan/atau temperatur layanan meningkat, maka karbida sekunder menyebar dan menjadi kasar. Dengan hilangnya karbida sekunder dari matriks austenite maka kekuatan *creep* berkurang.

Hilangnya *secondary carbides* ini terjadi secara lambat pada normal operating temperatur ($< 950^{\circ}\text{C}$ (1742°C)), namun laju ini akan meningkat apabila terjadi kenaikan temperatur, sehingga *overheating* yang terjadi hanya sesaat saja dapat mengurangi umur dari pemakaian tube. Sebelum terjadinya *creep*, desain tube telah di desain dapat beroperasi selama 100.000 jam. (M.H Sharihat, 2003)



Tabel 2.4 Komposisi Kimia Cas Hp-NbTi₂

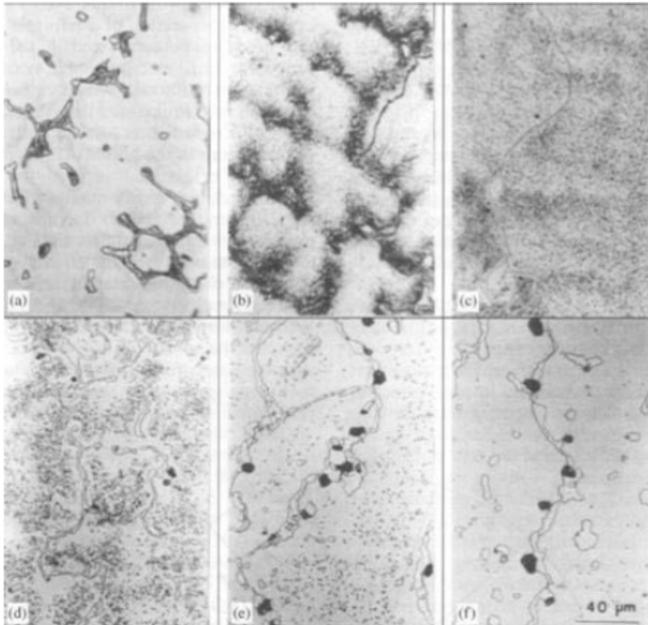
Table 1. Chemical Composition of the As-Cast HP-NbTi₁ and HP-NbTi₂ Alloys as Determined by ICP-AES

Wt pct	C	Ni	Cr	Nb	Ti	Si	Mn	W	V	Co	Mo
HP-NbTi ₁	0.42	33.9	24.8	0.9	0.05	1.18	1.1	0.5	0.03	0.02	0.01
HP-NbTi ₂	0.44	35.6	25.1	0.85	0.08	1.72	0.45	0.49	0.03	0.02	0.02

Balance Fe.

(Sumber : The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2014)

Berikut adalah mikrostruktur yang terjadi pada proses *aging*



Gambar 2.8 Tahap *aging in-service* pada tube HK-40 selama 10 tahun

(sumber: Tito luiz. 2006)

Dibawah 600°C mikrostruktur yang telah mengalami perubahan tidak dapat dilihat oleh mikroskop cahaya dan ini



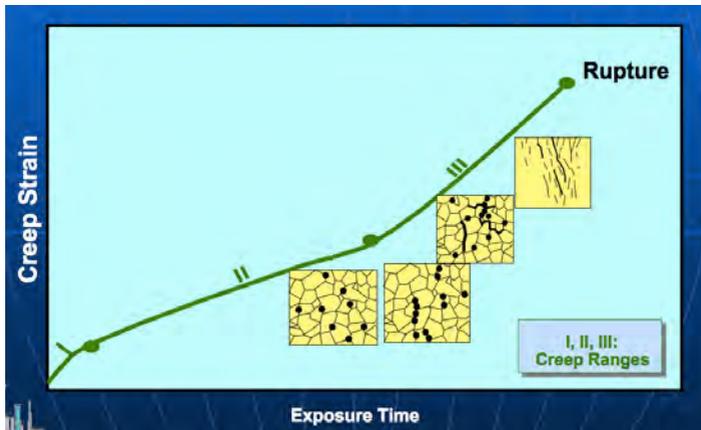
dinyatakan dengan (tahap a). Pada temperatur 600° C hingga 700° C primary karbida mulai menyatu, dan secondary carbide bernukleasi kedalam matriks austenite (tahap b). Diantara temperatur 700° C dan 800° C secondary karbida berubah menjadi sangat halus dan tersebar pada matriks (tahap c), Pada temperatur 800° C hingga 900° C primary karbida menjadi stabil dan secondary karbida mulai bersatu. Dikarenakan karbon yang terdifusi pada primary karbida, dan terjadinya secondary karbida pada sepanjang butir (tahap d). Pada temperatur 900° C hingga 1000° C dapat diamati bahwa ukuran dari penyatuan secondary karbida akan lebih besar dan untuk jumlahnya lebih sedikit pada saat temperatur yang lebih rendah (tahap e). Pada temperatur diatas 1000° C karbida sekunder menghilang dan matriks austenit memiliki penampilan mirip dengan kondisi *as-cast* (tahap f).

(sumber: *Metallurgical Consulting Services Ltd.* 2006)

II.4 Kegagalan Umum yang Terjadi Pada *Tube reformer*

II.4.1 *Creep*

Creep merupakan suatu mekanisme deformasi material dalam bentuk peregangan/ pemuluran yang disebabkan oleh tegangan yang statis (konstan) walaupun masih dibawah yield stress dan terjadi pada temperatur tinggi (minimal 40 % dari temperatur melting / 0,4 Tm). *Creep* terjadi pada beban di temperatur yang tinggi. Boiler, gas turbine engine dan oven adalah beberapa komponen sistem yang sangat rentan terhadap *creep*. Patahan akibat *creep* lebih bersifat ductile, dan dapat berupa transgranular dan intergranular. Pada kurva *creep* ideal, kemiringan (*slope*) pada kurva tersebut dinyatakan sebagai laju *creep* (*creep rate*).



Gambar 2.9 Mekanisme Creep

(sumber: Materials Science and Engineering an Introduction-6th edition. 2004)

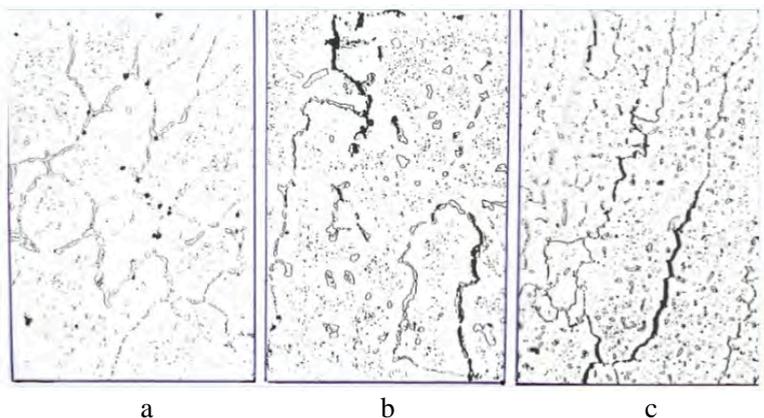
1. *Primary Creep* Merupakan tahap awal proses deformasi akibat mekanisme creep. Pada tahap ini laju *creep* akan terhambat akibat terjadinya pengerasan regang (strain hardening) dari material ketika akan mengalami deformasi.
2. *Secondary Steady-Rate Creep* Pada tahap ini terjadi hubungan linear konstan antara peregangan (I) dengan waktu (t). Tahap ini merupakan berlangsung paling lama dalam tahap perpatahan creep. Terjadi proses kesetimbangan antara strain hardening dengan proses pemulihan dari material (*recovery/ softening*). Pada tahap ini pula void mulai bermunculan pada bagian batas butir dan semakin semakin berorientasi. Munculnya creep void adalah ciri kerusakan creep pada tube. Void muncul akibat dari tube katalis beroperasi pada temperatur tinggi yang menyebabkan atom – atom memiliki energi untuk berdifusi yang akhirnya menimbulkan adanya vacancies. Vacancies



yang telah berkumpul dinamakan dengan void. (Dwika Basitha, 2013)

3. *Tertiary Creep* Merupakan tahap akhir dalam tahap perpatahan akibat *creep*. Pada tahap ini terjadi pengurangan efektif pada luas penampang lintang material yang disebabkan oleh penyempitan setempat (*necking*) atau pembentukan rongga internal.

Penyebab kerusakan pada produk manufaktur dipengaruhi oleh beberapa faktor, mulai dari adanya cacat awal (void), kemudian berkembang ke pertumbuhan retak (microvoid), selanjutnya terjadi penjararan retak (*creep cracking*). (Ilham Hatta, 2002)



Gambar 2.10 Penyebaran *creep* crack Isolated *Creep* Void x250
(a) Micro crack x250(b) *Creep* cracking x100(c)

(Sumber: Gerard B. Hawkins. 2013)



Tabel 2.5 Creep Properties

ASTM Grade	Stress, psi, for Creep Rate of 0.0001%/hr at Temperatures of						
	1200 F	1400 F	1600 F	1800 F	1900 F	2000 F	2150 F
HD	—	3500	1900	900	—	200	—
HE	—	4000	2400	1400	—	400	—
HF	18,000	6800	3900	—	—	—	—
HH, Type I	—	3000	1700	1100	—	300	—
HH, Type II	18,000	6300	3900	2100	—	800	—
HI	—	6600	3600	1900	—	800	150
HK	—	10,200	6000	2500	1400	650	—
HL	—	7000	4300	2200	—	—	—
HN	—	—	6300	2400	1600	1040	—
HP	—	—	5800	2800	—	1000	—
HT	—	8000	4500	2000	—	500	150
HU	—	8500	5000	2200	—	600	—
HW	—	6000	3000	1400	—	—	—
HX	—	6400	3200	1600	—	600	—

(Sumber: The International Nickel Company, INC.)

II.4.2 Overheating

Salah satu indikasi yang paling mencolok yang logam mengalami panas berlebihan adalah permukaan fraktur kasar-butiran yang dihasilkan. Biasanya, pemeriksaan dengan mikroskop stereoscopic menunjukkan permukaan faceted karakteristik dari fraktur intergranular. Mikroskopis, ukuran butir besar yang dihasilkan dari *overheating* cukup jelas dan dapat diukur dan dibandingkan dengan logam yang sama dengan ukuran butir normal. Selain ukuran butir besar, partikel oksida halus sering ditemukan tersebar di seluruh biji-bijian, terutama di dekat permukaan.

Hal ini juga diketahui bahwa mekanisme kerusakan utama, yang mengurangi kehidupan tabung, adalah *creep*. Hal ini terjadi pada logam di bawah tekanan pada temperatur tinggi dan dirancang ke dalam operasi. Jika kondisi direkomendasikan diikuti, *creep* terjadi secara perlahan selama sekitar 11 tahun atau lebih. Namun, jika tabung yang *overheated* maka akan mempengaruhi *life time* dari tube. Ini umumnya tidak menyebabkan kegagalan segera tapi pasti akan menghasilkan pengurangan dalam hidup. Tergantung pada tingkat overheating reduksi dapat dramatis. Ini telah ditampilkan sangat baik oleh data



pada Tabel 2.5, yang menunjukkan efek dramatis dari hubungan logaritmik antara temperatur dan *life time* sesuai dengan API R530.

Overheating mempercepat terjadinya kerusakan akibat creep dan mempercepat penjalaran retak yang telah terjadi sebelumnya, serta menimbulkan dan serangan korosi batas butir akibat temperatur tinggi (In-tergranular high temperatur corrosion).

Tabel 2.6 Hubungan antara temperatur dan *life time* menurut API R530 pada material HP modified

Temperatur	Life
860°C	10 years
880°C	5 years
900 °C	2,5 years
925 °C	11 months
950 °C	4,5 months
975 °C	2 months
1000 °C	4 weeks
1050 °C	5,5 days
1100 °C	1 day
1150 °C	8 hours
1200 °C	2 hours

(Sumber: The Journal Of Corrosion Science and Engineering)



Kondisi – kondisi tertentu yang dapat menyebabkan overheating antara lain:

- Flame impingement – jidlatan api yang bersifat terus menerus pada tube akan mengakibatkan terjadinya panas yang berlebihan pada daerah tube tersebut. Hal ini berdampak terhadap melemahnya struktur metal (*creep*).
- Hambatan Aliran Flue gas – Apabila terjadi hambatan aliran flue gas, maka aliran panas yang dibawa oleh flue gas akan tertahan, sehingga akan terjadi akumulasi panas pada cabin heater yang dapat menyebabkan overheating.
- Aktivitas Katalis – Apabila catalyst activity menurun, maka reaksi reforming pun akan turun sehingga panas yang diberikan tidak dipergunakan seluruhnya. Akibat tersisnya panas yang digunakan maka akan menyebabkan temperatur pada tube akan semakin naik.

II.4.3 Thermal cycling

Thermal cycling ini dapat dikatakan bahwa kegagalan lanjut yang dapat memepercepat *creep*. Ketika tabung dipanaskan dan didinginkan, melalui tekanan dinding untuk sementara meningkat dan akibatnya life time dapat berkurang. Adanya perubahan temperatur yang naik maupun turun maka akan menyebabkan timbulnya stress pada tube tersebut.

II.4.4 Tube Bending

Tube Bending Ini adalah masalah yang relatif umum yang lain. Apabila terjadi hal ini melebihi daya muat material tube, maka material tube tersebut akan mengalami kerusakan *creep* sebelum waktunya. Pada waktu dipanaskan, tube akan memuai dan akan kembali ke kondisi seperti semua setelah didinginkan. Apabila terjadi kondisi operasi yang tidak sesuai, maka saat beroperasi, normal tube akan mengalami pemuaian ke samping dan akibatnya level katalis yang ada di tube akan turun sehingga katalis akan mengisi volume tube sebesar muai tube. Apabila



proses ini terus berulang maka tube tidak mampu untuk menahan pemuaian ke samping tersebut dan akhirnya terjadinya *crack*

II.4.5 Thermal Shock

Thermal shock adalah perubahan temperatur yang sangat cepat di sepanjang permukaan komponen. *Thermal shock* dapat menyebabkan tingginya stress yang dihasilkan pada tube, dimana tube berusaha untuk melawan tegantang yang telah diberikan. Akibat dari kejadian ini maka dapat menyebabkan adanya *creep damage* ataupun dapat mengurangi umur dari pemakaian tube.

II.5 Korosi pada Temperatur Tinggi

Menurut jenis reaksinya korosi dibagi menjadi dua yaitu korosi kimia atau biasa disebut korosi kering (*Dry Corrosion*) dan korosi elektrokimia biasa disebut korosi basah (*Aqueous Corrosion*). Penyebab korosi temperatur tinggi adalah :

- Oksidasi

Reaksi yang paling penting pada korosi temperatur tinggi, membentuk lapisan oksida yang dapat menahan serangan dari peristiwa korosi yang lain bila jumlah oksigen dilingkungannya cukup (jumlah oksigen dalam lingkungan disebut oksigen potensial). Tetapi harus terkontrol dan oksidasinya terbentuk dari senyawa dengan unsur – unsur yang menguntungkan.

- Karburasi dan *metal dusting*

Terjadi dalam lingkungan yang mengandung CO, CH₄ dan gas hidrokarbon lainnya. Penguraian C kepermukaan logam mengakibatkan penggetasan dan degradasi sifat mekanik lainnya. Selain adanya creep, faktanya bahwa terdapat karburisasi pada *inside tube* (Tito Luiz da Silveira, 2006)

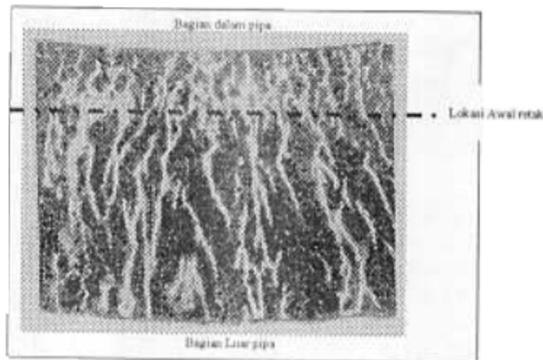
- Nitridasi

Terjadi pada lingkungan yang mengandung ammonia, terutama pada potensial oksigen yang rendah. Penyerapan nitrogen yang berlebihan akan membentuk presipitat nitrida di batas butir dan menyebabkan penggetasan.



II.6 Penelitian Sebelumnya

Penelitian (Ilham Hatta, 2013) yang dilakuka di BPPT berjudul analisis penyebab kerusakan pipa baja HP- Modified yang digunakan pada hydrogen yang bertujuan untuk mengoptimalakn umur operasi pipa pada hydrogen plant. Pipa yang diteliti mengalami kerusakan berupa crack, bursting dan mengalami 11 kali start- stop. Jumlah pipa yang rusak sebanyak 8 batang dari 288 batang pipa yang terpasang. Material pada pipa tersebut ada material cast tube 25Cr-35Ni Nb. Memiliki hardnes 180HV. Metode yang digunakan adalah pemeriksaan makro fraktorgrafi menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran maksimal 50 kali, Electron Probe X-ray Micro Analysis (EPMA). Dan pemeriksaan komposisi kimia menggunakan Optical emisiem spectrometer.



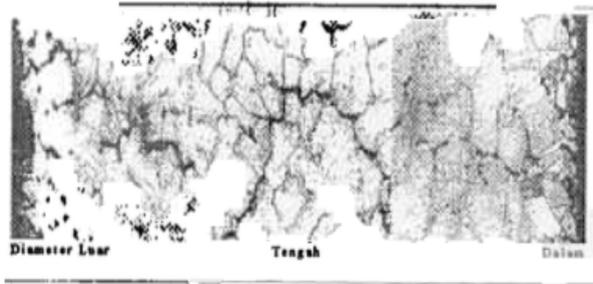
Gambar 2.11 Hasil Makro fraktografi

(Sumber : Ilham Hatta, 2013)

Secara visual patahan pipa 2.11 memperlihatkan bentuk patahan yang rapuh (Brittle Fracture), hal ini nampak pada arah ketebalan pipa yang tidak banyak berubah atau tidak terjadi deformasi. Bentuk retakan yang terjadi pada butiran strukturmikro adalah retakan intergranular, yang menandakan bahwa material pipa rusak setelah mengalami perapuhan yang kemungkinan diakibatkan oleh laju pendinginan yang sangat cepat (>



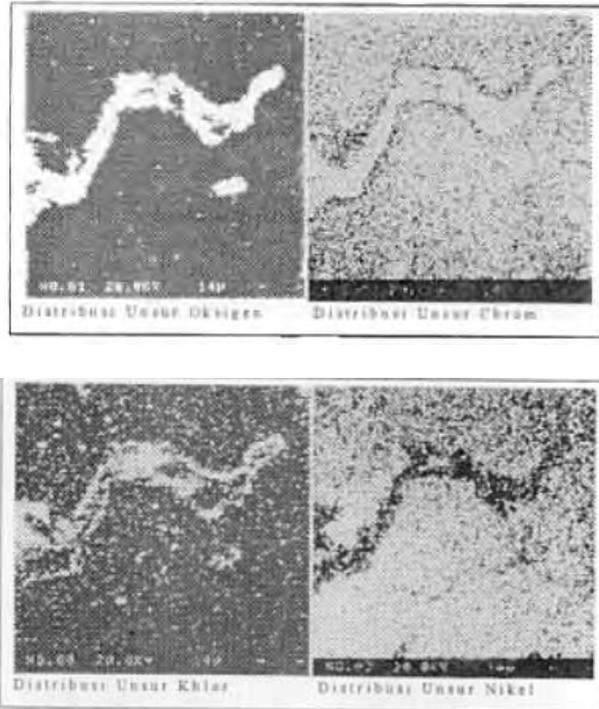
50°C/jam), dan adanya faktor *creep void* akibat temperatur yang tinggi



Gambar 2.12 Bentuk strukturmikro penjalaran retak.

(Sumber : Ilham Hatta, 2013)

Gambar 2.12, sisi diameter dalam pipa bentuk strukturmikronya mengalami perubahan dari bentuk struktur austenit menjadi austenit twin, dan *creepvoid* yang nampak pactabatas butir merupakan retak mikro, sedangkan pada sisi tengah bentuk retakannya nampak dengan jelas dan sisi diameter luar selain nampak dengan jelas adanya retak juga terjadi korosi akibat temperatur tinggi.



Gambar 2.13 Pemetaan distribusi produk korosi disekitar retakan

(Sumber : Ilham Hatta, 2013)



Pada Gambar 2.13, nampak hasil pemetaan adanya unsur oksigen dan unsur chrom disekitar lokasi retakan, sedangkan pada Gambar 2.13, ditemukan adanya unsur chlor pada celah retakan dan disekitar retakan juga ditemukan adanya unsur nikel. Pemetaan unsur nikel dan chrom juga dilakukan, hal ini perlu sebab kemungkinan besar adanya pengurangan unsur tersebut akibat oksidasi atau reduksi, sehingga jelas bahwa pada celah retakan juga ditemukan adanya partikel unsur chrom dan nikel walaupun tidak sepadat unsur chlor dan oksigen pada celah retakan tersebut.

Tabel 2.7 Hasil Uji Komposisi

UNSUR	Komposisi Kimia Berdasarkan Standar DIN G-X40 NiCrNb3525 [% berat]	Hasil Uji Sampel [% Berat]
Mo	-	0,13
Ni	35	30,71
Cr	25	23,21
Nb	1,5	1,07
Fe	Bal.	43,98
C	0,4	0,2363
Mn	1,5	0,13054
Si	1,5	0,41706

Tabel 2.8 Hasil Pengujian kekerasan

(Sumber : Ilham Hatta, 2013)

Nomor Lokasi Pengujian	Nilai Kekerasan, HV	Rata-rata Nilai Kekerasan, HV
1.	205	200,57
2.	202	
3.	202	
4.	201	
5.	200	
6.	198	
7.	196	

(Sumber : Ilham Hatta, 2013)

Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekerasan pipa juga mengalami peningkatan dari 180HV menjadi



200,57HV. Hal ini yang memperkuat pernyataan bahwa pipa hydrogen plant mengalami proses pendinginan yang sangat cepat.

Sehingga dari seluruh pengujian didatkan Pipa hydrogen plant yang pecah, disebabkan oleh faktor lokal *over-heating* dan pengaruh pendinginan yang sangat cepat pada saat hydrogen plant tersebut di stop untuk yang terakhir kalinya (sebelum terjadi kerusakan).

Over heating mempercepat terjadinya kerusakan akibat creep dan mempercepat penjalaran retak yang telah terjadi sebelumnya, serta menimbulkan oksidasi dan serangan korosi batas butir akibat temperatur tinggi (*Intergranular high temperatur corrosion*). Sedangkan laju pendinginan yang sangat cepat menyebabkan terjadinya premature failure dengan bentuk fracture surface yang *brittle* (getas) . Terlarutnya fasa karbida seperti yang terlihat dalam foto metalografi menunjukkan bahwa lokal over heating temperaturnya melebihi 1000°C . Produk korosi yang ditemukan pada celah retakan hasil pemetaan dengan EPMA mengandung unsur yang korosif, yaitu unsur chlor (Cl) dan oksigen (O) kedua unsur ini mempercepat laju kerusakan pada temperatur tinggi.



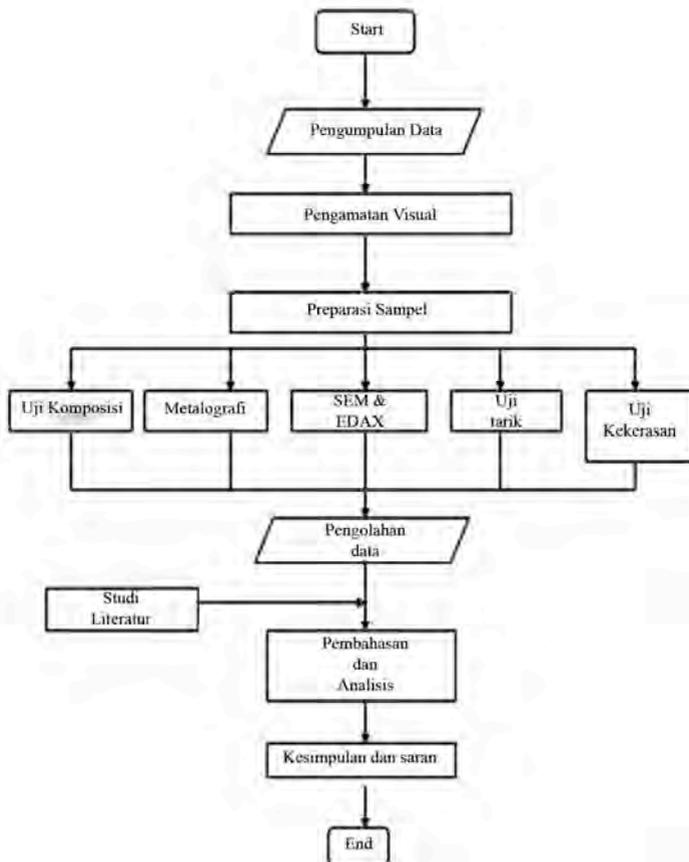
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODE PENELITIAN

III.1 Diagram Alir

Secara garis besar berikut adalah tahapan penelitian:



Gambar 3.1 Diagram Alir



III.2 Alat dan Bahan

Alat – alat dan bahan digunakan pada penelitian ini

adalah:

1. Gergaji dan gerinda
2. Mesin pemoles
3. Alat Uji Vickers tipe HBRV 187.5A
4. Alat Uji Tarik tipe Shimadzu AGS-10kNG
5. Uji Komposisi tipe PMI-Master pro
6. Mikroskop Optik tipe Olympus BX51M
7. Kertas Amplas
8. Etsa Kalling (5 gr CuCl_2 + 100 ml HCL + 100 ml ethanol)
9. Mesin *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX)

III.3 Prosedur Penelitian

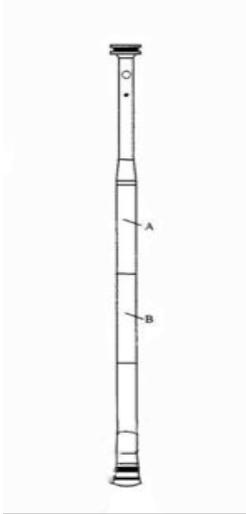
III.3.1 Pengumpulan Data & Pengamatan Visual

Penelitian ini diawali dengan pengambilan sample yang ada di PUSPITEK – Serpong. Sample yang diambil berupa potongan dari tube yang telah mengalami kegagalan yaitu terjadinya kegagalan. Dengan pengumpulan data maka dapat memudahkan untuk mengetahui faktor – faktor penyebab kegagalan yang terjadi pada *Tube reformer*. Selain *sample* juga ,harus mengetahui data teknis saat pengoperasian seperti tekanan, temperatur begitu pula material yang digunakan oleh *Tube reformer*.

Pengamatan visual ini yaitu dengan melihat kondisi pipa pada bagian yang mengalami kegagalan sehingga dapat diketahui kondisi awal dari *Tube reformer* yang nantinya akan mempermudah tahap analisis yang dilakukan selanjutnya. Terdapat 2 pipa yang dianalisis yaitu tube A dan tube B. Tube A adalah tube yang terdapat crack dan terletak dekat dengan *burner*.



Tube B adalah tube yang terletak dibawah jauh dengan *burner*. Setelah itu Pipa dipotong dan dijadikan sampel



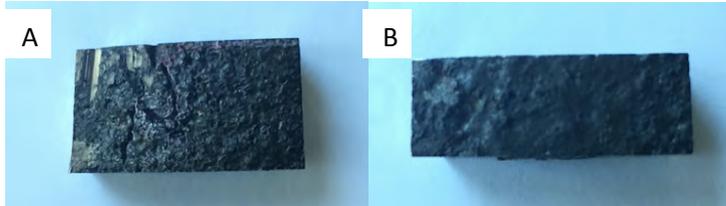
A : Dekat dari burner

B : Jauh dari Burner

Gambar 3.2 Tube Reformer



Gambar 3.3 Tube A dan Tube B



Gambar 3.4 sampel A dan sampel B pada permukaan OD

III.3.2 Metalografi

Dengan pengujian metalografi ini maka dapat mengetahui dan mempelajari ketidaksempurnaan yang terdapat dalam material, seperti fasa, butir, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi. Pengujian metalografi dilakukan pada sampel A dan sampel B bagian penampang melintang.

Berikut adalah beberapa tahap preparasi metalografi:

- i. *Cutting*, yaitu mengetahui prosedur proses pemotongan sampel dan menentukan teknik pemotongan yang tepat dalam pengambilan sampel metalografi sehingga didapat benda uji yang representatif.
- ii. *Grinding*, yaitu meratakan dan menghasulkan permukaan sampel dengan cara menggosokkan sampel pada kain abrasive atau amplas. Kertas amplas yang digunakan memiliki grade 60,80,120,240,400,500,800,100,1200, dan 2000.
- iii. Pemolesan, yaitu mendapatkan permukaan sampel yang halus dan mengkilat seperti kaca tanpa menggores, sehingga diperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin.
- iv. Etsa, yaitu mengamati dan mengidentifikasi detil struktur logam. Etsa yang dilakukan dengan menggunakan etsa kalling. Kemudian sampel dicelupkan selama 5 detik. Setelah proses pencelupan selesai sampel dibilas dengan air dan etanol kemudian dibersihkan dengan tissue.
- v. Terakhir yaitu permukaan yang telah di etsa dilihat struktur mikronya menggunakan mikroskop optik.



Gambar 3.5 Mikroskop Optik Olympus BX51M

III.2.3 Uji Tarik

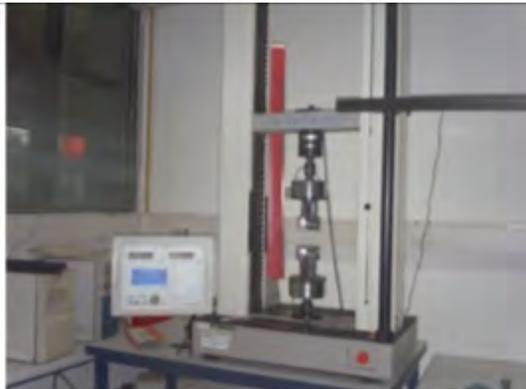
Dengan pengujian tarik maka setelah itu data dibandingkan kekuatan tarik hasil dari pengujian pada *tube reformer* dengan spesifikasi kekuatan tarik yang sudah ada, sehingga dapat dijadikan bahan analisa dan dibuat berdasarkan standard ASTM E8.

Pengujian uji tarik dilakukan pada tube A dan B. Pengujian ini bertujuan mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Berikut adalah prosedur percobaan dari uji tarik :

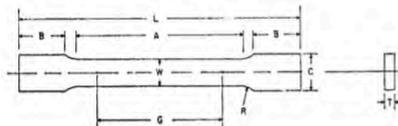
- i. Mengukur panjang awal (l_0) kemudian mengukur diameter awal (d_0) sampel dengan caliper atau mikrometer, lalu buat sketsa dan masukan hasil pengukuran dimensi pada lembar data.
- ii. Memasang batang uji pada mesin uji tarik, kemudian mengatur beban
- iii. Menset jarum pada skala uji tarik ke angka nol.
- iv. Melakukan pencatatan penambahan beban setiap terjadi penambahan regangan sebesar 0,1 mm.
- v. Melakukan pengujian hingga sampel uji tarik putus.
- vi. Mengukur diameter akhir dan panjang akhir.



- vii. Lepaskan benda uji dari grip mesin uji, satukan kembali, ukur panjang akhir (L_f) antara 2 titik goresan dengan spidol atau cutter (gauge marks).
- viii. Membuat grafik tegangan-regangan (stress-strain).
- ix. Berdasarkan grafik beban-perpanjangan setiap logam, hitunglah formulasi yang sesuai dari nilai-nilai sebagai berikut : titik luluh, kekuatan tarik maksimum, persentase elongasi, persentase pengurangan luas/area, modulus elastis.



Gambar 3.6 Mesin Uji tarik Shimadzu AGS-10kN



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 1½-in. Wide	Sheet-Type, ½-in. Wide	¼-in. Wide
	in.	in.	in.
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	8.00 ± 0.01	2.000 ± 0.005	1.000 ± 0.003
W—Width (Note 3 and Note 4)	1½ + ¼, - ¼	0.500 ± 0.010	0.250 ± 0.005
T—Thickness (Note 5)		Thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	1	½	¼
L—Over-all length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	18	8	4
A—Length of reduced section, min	9	2½	1½
B—Length of grip section, (Note 8)	3	2	1½
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	2	¾	¾

Gambar 3.7 Ukuran berdasarkan standard ASTM E8



III.3.3 Uji Kekerasan

Dengan adanya pengujian ini maka didapatkan nilai kekerasan dari *tube reformer* dan hasilnya akan dibandingkan oleh nilai kekerasan berdasarkan data yang sudah ada sehingga dapat dibandingkan apabila ada perbedaan dan dapat dia analisa. Terdapat 3 titik penjejakan yaitu bagian dekat OD, tengah, dekat ID yang dilakukan 3 kali tiap penjejakkan

Metode Vickers mengacu pada Standar ASTM E92 menggunakan indenter diamond pyramid yang, adapun besar beban 30 kg selama 10 detik.

Berikut adalah prosedur percobaan uji kekerasan:

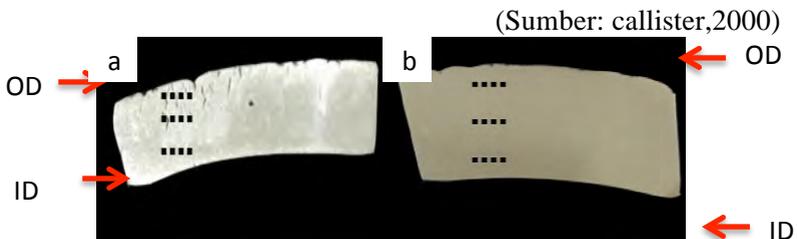
- i. Pastikan permukaan spesimen dalam kondisi rata, apabila tidak, ratakan dahulu spesimen dengan ampelas/kikir , dan pastikan juga tidak terjadi pemanasan setempat.
- ii. Pertama, putar switch ke posisi Vickers
- iii. Letakan spesimen pada tempatnya, atur ketinggian spesimen dengan memutar tuas sampai angka di layar menunjukkan angka 0. Perhatikan agar jangan sampai terlewat dengan cara mengaturscale adjustment
- iv. Atur beban sesuai dengan material yang akan diuji.
- v. Tarik tuas sampai indenter menyentuh spesimen, dan biarkan selama 20 detik.
- vi. Catat hasil pengukuran yang terekam, dan kembalikan tuas pada posisi semula.
- vii. Geser meja spesimen ke arah mikroskop, dan amati bentuk jejak yang terjadi serta ukur diameternya. Kemudian catat hasilnya pada lembar data yang telah disediakan



Gambar 3.8 Mesin Vickers HBRV 187.5A

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load
		Side View	Top View	
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P

Gambar 3.9 Teknik pengujian kekerasan



Gambar 3.10 Posisi penjejakan sampel A(a) dan sampel B (b)

II.3.3 Uji Komposisi

Spektrofotometri merupakan salah satu metode dalam kimia analisis yang digunakan untuk menentukan komposisi suatu sampel baik secara kuantitatif dan kualitatif yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan cahaya. Sedangkan peralatan yang



digunakan dalam spektrofotometri disebut spektrofotometer. Hasil yang telah dilakukan pada sampel a dan b dari pengujian dibandingkan dengan standar yang sudah ada.



Gambar 3.11 Mesin Uji Komposisi PMI-Master pro

III.3.4 SEM&EDX

Pengujian SEM EDX untuk mengetahui struktur material dalam skala mikro pada sampel A dan B. Fasa- fasa yang ada pada material yang akan diuji dan untuk mengetahui unsur yang ada pada material tersebut.

Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS atau EDX atau EDAX) adalah salah satu teknik analisis untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia dari spesimen. Karakterisasi ini bergantung pada penelitian dari interaksi beberapa eksitasi sinar X dengan spesimen. Kemampuan untuk mengkarakterisasi sejalan dengan sebagian



besar prinsip dasar yang menyatakan bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik, dan merupakan ciri khas dari struktur atom suatu unsur, sehingga memungkinkan sinar- X untuk mengidentifikasinya.

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop electron yang menggambar spesimen dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam scan pola raster. Elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik.



Gambar 3.12 Mesin SEM8EDX 10 JEOL JSM-6390A



Tabel 3.1 Kode Eksperimen

A	Sampel dekat dari burner
B	Sampel jauh dari burner
A1	Permukaan bagian OD sampel A
B1	Permukaan bagian OD sampel B



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Data

IV.1.1 Data Awal

Berikut adalah data awal yang didapatkan pada *tube reformer* yang telah mengalami kegagalan, yaitu sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Awal *Tube reformer*

Tipe Tube	<i>Tube reformer</i> , HP Modified 23Cr-35Ni NbTi
Waktu Beroperasi	16 Tahun
Dimensi	114mm(ID) / 123mm (OD)
Ketebalan	99mm
Temperatur Desain	887 °C
Tekanan Desain	38 bar
Temperatur Operasi	900°C
Tekanan Operasi	33 bar

Dan berikut adalah tabel dari sifat mekanik dan komposisi kimia dari *tube reformer* HP Modified 23Cr-35Ni Nb Ti.



Tabel 4.2 Sifat mekanik dan komposisi kimia

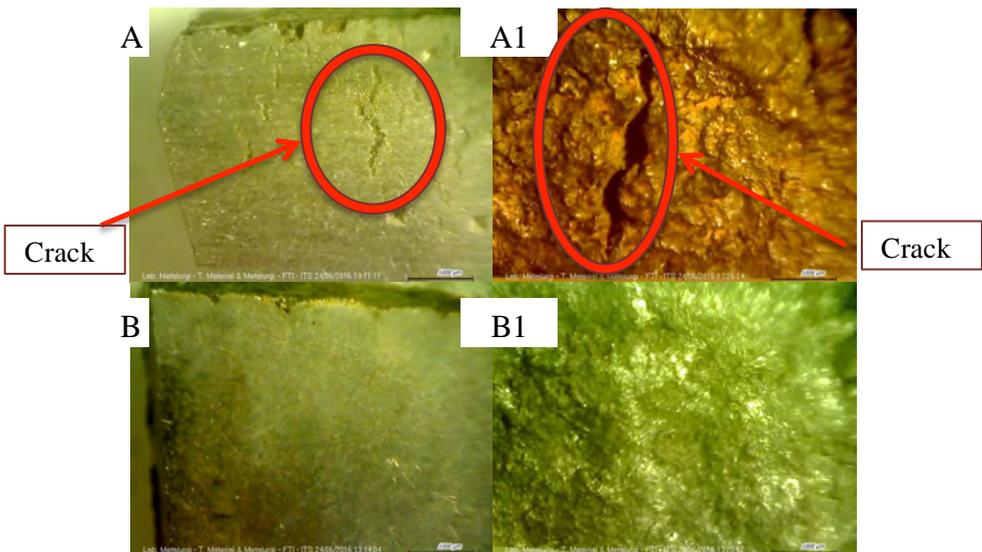
Mechanical Properties A297 – HP Modified (Teknis)	
Yield Point	min. 230 N/mm ²
Tensile Strength	min. 450 N/mm ²
Elongation (l=5.d)	min 8 %
Chemical Composition A297 – HP Modified	
C : 0,45 ; Si : <1,2 ; Mn : < 1,2 ; P : < 0,030 ; S : <0,030 ;	
Cr : 25 ; Ni : 35 ; Nb : 1,0 ; Ti <0,3	
Mechanical Properties A297 – HP Modified (Literatur)	
Yield Point	275 N/mm ²
Tensile Strength	489 N/mm ²
Elongation (l=5.d)	11%
Chemical Composition A297 – HP Modified	
C: 0.35 -0.75 ; Si: <2,00 ; Mn: < 2 ; Ni: 33-37 ; Cr: 24-28	

IV.1.2 Pengamatan Visual *Tube reformer*

Pengamatan dilakukan sebelum preparasi sample dilakukan. Pengamatan dilakukan pada *tube reformer* yang mengalami kegagalan terletak pada bagian atas (dekat dengan *burner*). Tes yang dilakukan untuk melihat kegagalan pada *tube reformer* adalah menggunakan DPT (*Dye Penetrant Test*). Pada gambar terlihat bahwa adanya *crack* pada bagian permukaan OD yang berdekatan dengan *burner*. Terdapat 2 sampel yang diambil yaitu pada bagian atas/dekat dengan *burner* dan bagian bawah/jauh dari *burner*



Gambar 4.1 Crack pada permukaan pada tube A



Gambar 4.2 Bagian potongan sampel a (A), permukaan OD sampel a (A1), Bagian potongan sampel b (B), permukaan OD sampel b (B1) perbesaran 8x.

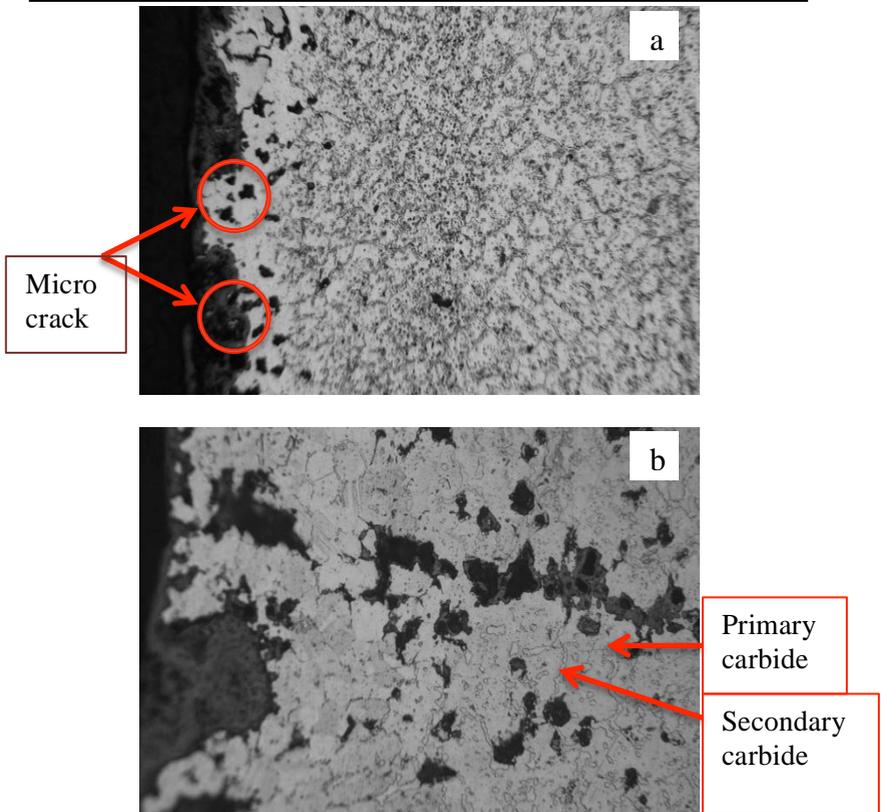


Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa permukaan tube bagian OD memiliki *crack*. Berdasarkan pengamatan visual pada gambar 4.2 (A) permukaan OD pada sampel A yang memiliki *crack* begitu pula saat dilihat pada gambar 4.2 (A1) banyak *crack* yang merambat berawal dari arah OD mengarah ke ID, panjang *crack* sekitar 5mm.

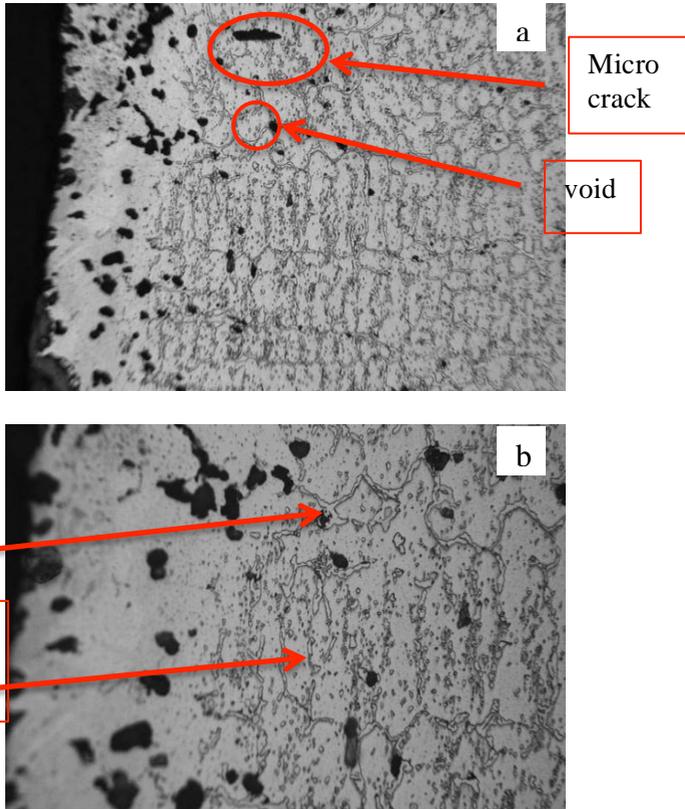
Pada gambar 4.2 (B) menunjukkan bahwa permukaan OD pada sampel B yang tidak mengalami *crack* begitu pula pada gambar 4.2 (B1) tidak terlihat adanya rambatan *crack* pada permukaannya.

IV.1.3 Pengamatan Metalografi

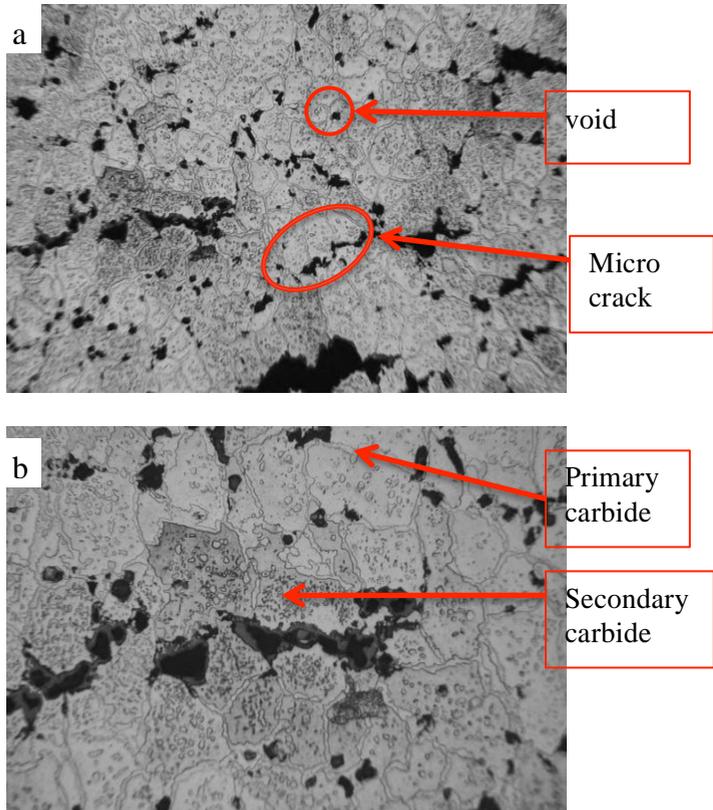
Pengujian metalografi dilakukan dengan perbesaran 100x, 200x setiap spesimen. Dan etsa yang digunakan untuk sampel ini adalah kalling. Bagian yang akan ditembak untuk melihat struktur mikronya adalah pada bagian dekat OD, dan dekat ID. Berikut adalah gambar hasil menggunakan etsa kalling:



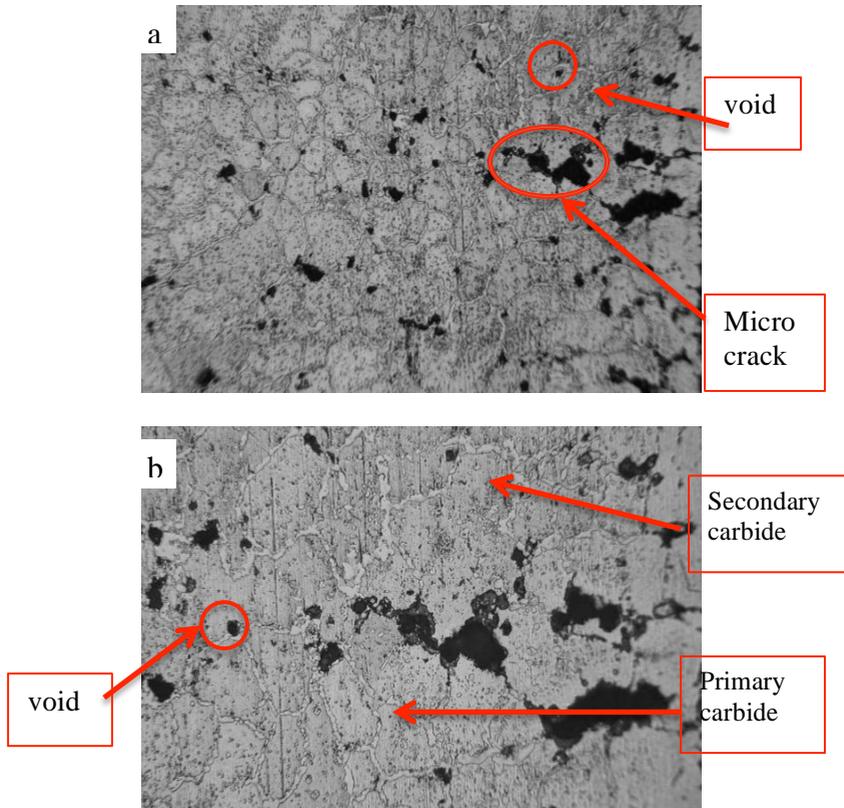
Gambar 4.3 Foto Mikrostruktur perbesaran 100x(a), 200x(a)
sampel A bagian dekat OD



Gambar 4.4 Foto Mikrostruktur perbesaran 100x(a), 200x(a) sampel B bagian dekat OD



Gambar 4.5 Foto Mikrostruktur perbesaran 100x(a), 200x(a)
sampel A bagian dekat ID



Gambar 4.6 Foto Mikrostruktur perbesaran 100x(a), 200x(a) sampel B bagian dekat ID

Pada gambar 4.3(a) perbesaran 100x terlihat bahwa terdapat *creep cracking* yang terjadi pada permukaan, ditunjukkan dengan warna yang lebih gelap dan lebih besar pada permukaan selain itu juga adanya *microcrack* pada bagian lebih ke tengah. *Creep cracking* ini disebabkan oleh adanya *microcrack* dan pada akhirnya terjadi *crack* yang dapat ditunjukkan garis panah merah.. Gambar 4.3(b) pada perbesaran 200x terlihat bahwa banyak terdapat *microcrack* yang menyerang pada bagian batas butir.



Pada 4.5 sampel B dekat OD bahwa terdapat banyak terlihat *microcrack* tetapi tidak terdapat *crack* pada permukaan. Pada gambar 4.5(a) terdapat void dibagian kearah ID sedangkan dipermukaan tidak terlihat adanya *void*. *Void* sudah tidak terlihat dikarenakan *void- void* sudah menyatu dan menjadi *microcrack*. Menurut bentuk struktur mikronya dapat dilihat bahwa gambar 4.4(b) dan 4.4(b) bahwa bagian permukaan tidak lagi terlihat adanya fasa austenite seperti yang dijelaskan pada gambar 2.8 ini disebabkan oleh pengoperasian pada temperatur diatas 1000°C dan dapat dikatakan bahwa temperatur ini adalah diatas temperatur desain yang seharusnya beroperasi maksimal 900°C .

Pada sampel A bagian dekat ID, sampel yang telah mengalami *microcrack*, terlihat bahwa terdapat *void* yang bermunculan pada bagian batas butir dan banyak *void* yang telah bersatu yang menjadi *microcrack*. Pada gambar 4.9 sampel B bagian dekat ID, sampel yang tidak mengalami *crack*, terlihat bahwa *void* terjadi pada bagian batas butir dengan jumlah yang banyak dan mulai mengalami *microcrack* tetapi belum mengalami *creep cracking*. Menurut bentuk struktur mikronya terlihat bahwa penyebaran *secondary carbide* pada sampel A dekat ID lebih tidak merata dibandingkan dengan sampel B dekat ID.

Perbandingan sampel A dan sampel B terlihat jelas pada jumlah *void*, *microcrack*, *creep cracking*. Sampel A memiliki *void* yang lebih sedikit dibanding sampel B, hal ini disebabkan oleh *void- void* yang terdapat pada sampel A telah bersatu menjadi *microcrack* bahkan ada yang telah mengalami *crack*. *Void* yang terjadi pada sampel A dan sampel B disebabkan oleh proses aging (gambar 2.8), terdapat enam tahap mekanisme terjadinya *void*. *Void* ini dipengaruhi oleh *primary carbide* dan *secondary carbide*. Pada bab II.3.1 sudah dijelaskan bahwa lebih halus partikel *secondary carbides* ini, maka semakin besar kekuatan *creep*. Seiring lamanya pemakaian dan/atau temperatur layanan meningkat, maka karbida sekunder menyebar dan menjadi kasar. Dengan hilangnya karbida sekunder dari fasa *austenit* maka kekuatan *creep* berkurang. Jenis patahan yang



terjadi adalah jenis patahan intergranular yang disebabkan patahan terjadi pada bagian batas butir.

IV.1.4 Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan pada 2 sampel yaitu sampel A dan B dengan menggunakan ASTM E92. Tiap sampel dan tiap bagian dilakukan penjejakan 3 kali. Terdapat 3 bagian yang akan dilakukan penjejakan yaitu bagian dekat OD, bagian tengah, bagian dekat ID. Beban yang dilakukan pada Uji Vickers ini 30 Kg dengan lama Indentasi 10 detik. Dan berikut adalah gambar posisi penjejakan dan tabel hasil dari Pengujian.

Tabel 4.3. Hasil pengujian *Hardness*

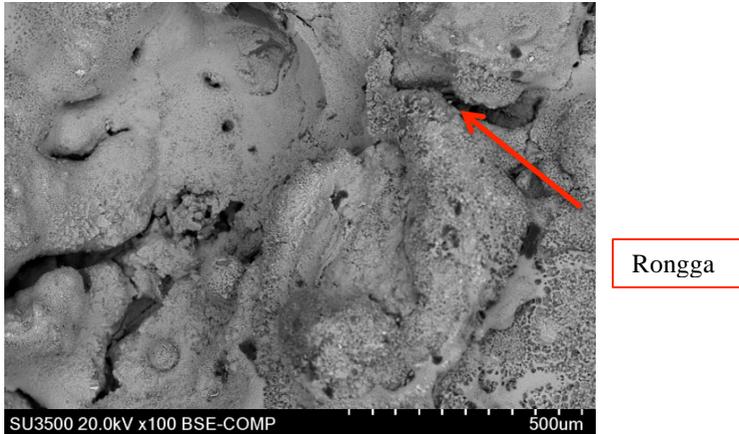
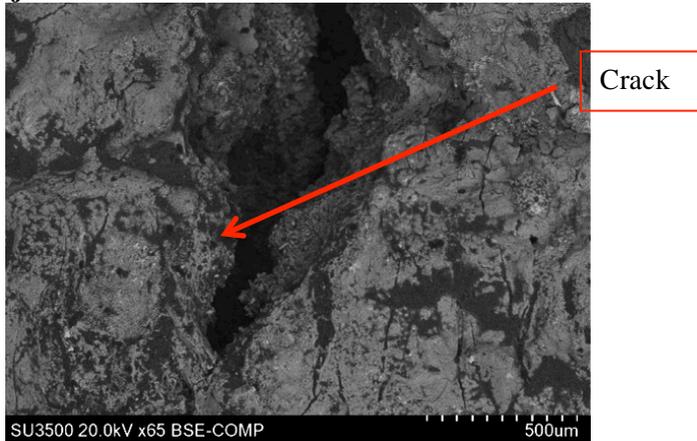
POSISI	Sampel A			Rata - Rata
Luar	191	189	192	190
Tengah	178	173	175	175,3
Dalam	188	187	187	187,3
POSISI	Sampel B			
Luar	189	185	188	187
Tengah	159	160	158	159
Dalam	170	167	165	167,3

Pada pengujian kekerasan dilakukan 3 kali penjejakan tiap daerah yaitu pada bagian luar, tengah, dan dalam. Pada bagian luar sampel A dan sampel B memiliki kekerasan diatas dari literature yaitu 170 BHN sama dengan 179 VHN. Terdapat nilai kekerasan yang tinggi dan juga lebih rendah dibandingkan dengan literatur. Kekerasan ini tube katalis tersebut melampaui nilai kekerasan spesifikasi dari tube HP Modified Nb-Ti akibat dari adanya pertumbuhan dari presipitasi karbida. Kekerasan yang



lebih rendah disebabkan oleh pengeroposan yang terjadi pada permukaan yang mengalami *creep*.

IV.1.5 Uji SEM & EDX

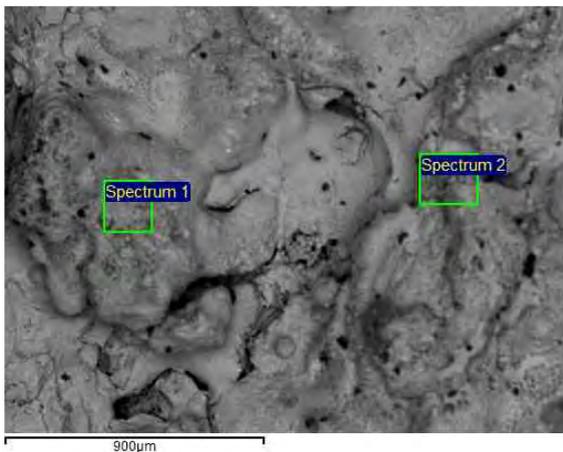


Gambar 4.7 Hasil pemeriksaan dengan menggunakan SEM bagian dekat OD tube A (a), bagian dekat ID tube B (b)

Berikut adalah gambar hasil dari EDX pada spesimen A dan B.



Gambar 4.8 Lokasi pemeriksaan EDX sampel A1, A2



Gambar 4.9 Lokasi pemeriksaan EDX sampel B1 dan B2



Tabel 4.4. Tabel Komposisi EDX

Unsur (%)	Titik			
	A Spektrum 1	A Spektrum 2	B Spektrum 1	B Spektrum 2
Fe	35.5	9.15	18.56	17.97
Cr	33.03	10.31	13.56	13.56
Mn	14.03	12.32	11.45	11.76
O	5.03	11.64	9.31	9.3
C	1.07	13.94	5.65	5.49
Ni	3.88	3.01	6.54	6.87
Ca		23.36	2.68	2.7
Al	1.84	3.54	1.28	2.58
Na	2.98		2.31	1.34
Si	2.5	5.12	4.35	
Mg		3.12		0.54
Ti		5.56	24.31	24.35
S		0.93		

Dari hasil pengujian untuk sampel A spektrum 1 menunjukkan pada permukaan retakan terkandung unsur-unsur Fe, Cr, Mn, O, Ni, Na, C, Si dan Al. Pengujian untuk sampel A spektrum 2 menunjukkan pada permukaan retakan terkandung unsur-unsur Ca, Fe, Cr, Mn, O, Ni, Ti, Na, C, Si dan Al.

Hasil pemeriksaan sampel B pada posisi spektrum 1 menunjukkan pada permukaan retakan terkandung unsure-unsur Ti, Fe, Cr, Mn, O, C, Ni, Ca, Al, Na, Si dan Mg sedangkan sampel B spektrum 2 sama seperti spektrum 1 kecuali Mg

Dari hasil SEM pada sampel A terdapat adanya crack dan juga dapat dilihat terdapat adanya lubang - lubang kecil yang nantinya dapat menyebabkan adanya *crack*. Pada sampel B terdapat adanya rongga- rongga dan lubang – lubang pada permukaan.

Pada sampel A Spektrum 1 yaitu pada bagian retak terdapat unsur pengotor seperti Al, Na dan juga terdapat unsur oksigen yang diduga sebagai oksida – oksida. Unsur – Unsur pengotor yang terdapat pada lingkungan memiliki kemampuan



untuk dapat masuk ke material selain itu terdapat nilai Cr yang tinggi yang diduga sebagai Kromium Karbida sehingga kemungkinan unsur ini yang menyebabkan nilai kekerasan yang tinggi sehingga material menjadi getas. Pada spectrum 2 (bagian dekat retakan) sampe A unsur tertinggi yaitu Ca, Ca ini adalah unsur pengotor dan begitu pula terdapat unsur C yang tinggi sehingga dapat membuat nilai kekerasan suatu material menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan literature. Selain itu terdapat unsur S yang mempunyai nilai yang tinggi sehingga dapat membuat material menjadi lebih getas

Pada Sampel B titik Spektrum 1,2 mempunyai nilai komposisi yang tidak terlalu berbeda. Terdapat nilai tertinggi Ti, pada gambar 2.6 dikatakan bahwa Ti berfungsi untuk mencegahnya terjadi karbida Cr.

IV.1.6 Pengujian Tarik

Berikut adalah tabel hasil dari pengujian uji tarik yang dilakukan pada sampel A dan B.

Tabel 4.5 Hasil pengujian uji tarik

Sampel	Dimensi (mm)		A _o	F	σ (UTS)	ε
	Lebar	Tebal	(mm ²)	(kN)	(N/mm ²)/ (MPa)	(%)
A	18,93	8,85	167,53	60	358	4
B	18,85	9,10	171,54	53	309	4

Dari pengujian tarik yang telah dilakukan pada sampel A dan B didapatkan nilai 358 MPa dan 309 MPa. Nilai yang didapatkan ini berada jauh dibawah dibandingkan dengan data teknis yaitu 450 MPa. Kemampuan menerima beban/ tegangan yang menurun ini disebabkan oleh material yang diakibatkan oleh creep yang terjadi pada material *HP Modified Nb-Ti*. Sehingga



menyebabkan material mengalami penurunan kemampuannya untuk menahan beban dan menyebabkan *crack*. Pada kondisi *creep*, *creep rate* akan meningkat apabila adanya kenaikan pada temperatur, maka umur hidup dari suatu material akan menurun apabila temperatur dinaikkan.

IV.1.7 Uji Komposisi

Berikut adalah tabel hasil dari pengujian komposisi yang dilakukan pada pipa

Tabel 4.6 Hasil Uji Komposisi

Spesimen	HP-Modified
C	0.515
Ni	35.2
Cr	25.3
Nb	0.944
Ti	0.159
Si	1.03
Mn	0.594
W	0.116
V	0.172
Co	0.0958
Mo	0.11
P	0.063
S	0.0594



Dari hasil pengujian Komposisi, hampir semua unsur dalam material HP+NB Ti ini memiliki komposisi yang sesuai dengan data teknis. Unsur yang tidak sesuai apabila dibandingkan dengan data teknis yaitu unsur P, S. Unsur P dan S memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan nilai yang maksimal yang sudah ditetapkan.

Dapat diketahui bahwa adanya unsur Sulfur adalah suatu zat yang biasanya terdapat pada baja tetapi keberadaannya tidak begitu diinginkan karena bersifat rapuh dan juga dapat menyebabkan material menjadi getas sedangkan Fosfor sendiri dapat menyebabkan elastisitas dan tahanan terhadap benturan menurun. Sifat dari Sulfur dan Fosfor yang dapat mempengaruhi tube reformer adalah dapat mengurangi ketahanan terhadap kondisi temperatur yang tinggi. Pengurangan disebabkan oleh creep yang dapat dilihat dari hasil metalografi bahwa adanya void, microcrack sehingga mengalami keroposan yang dapat mengalami penurunan pada hasil kekuatan.

IV.2 Pembahasan

Berdasarkan pengujian- pengujian yang telah dilakukan, material HP modified Nb-Ti yang telah di desain selama 30 tahun telah mengalami kegagalan setelah beroperasi selama 16 tahun. Penyebab terjadinya *crack* diakibatkan oleh *overheating*. *Overheating* mempengaruhi ketahanan material terhadap *creep*. Selain *overheating*, kandungan unsur yang S dan F yang melebihi maksimal pada standar yang telah ditetapkan. Mekanisme terjadinya *crack* pada material tersebut terdapat beberapa tahap – tahap.

- Material HP modified mengalami *crack* lebih cepat dibandingkan *lifetime* yang telah ditentukan awalnya dikarenakan *overheating* pada bagian tube A (dekat dengan burner) seperti yang terlihat perbedaan spesimen A dan spesimen B dikarenakan spesimen A terletak dekat



dengan *burner* sehingga kemungkinan kesalahan pada desain *burner* sehingga menyebabkan flame impingement jilatan api yang tidak sesuai (Gerrard B Hawkins, 2013)

- *Overheating* mempengaruhi proses aging yang lebih cepat pada tube (The Journal Of Corrosion Science and Engineering).

Pada struktur mikro dengan cepat *void – void* pada batas butir, setelah itu *void – void* akan menyatu pada batas butir dan menimbulkan micro crack dan menyebabkan munculnya *crack* pada batas butir atau dapat disebut dengan *microcrack* mekansime crack dapat dilihat pada gambar 2.9. Proses ini dari timbulnya void hingga terjadinya *crack* disebut *creep*.

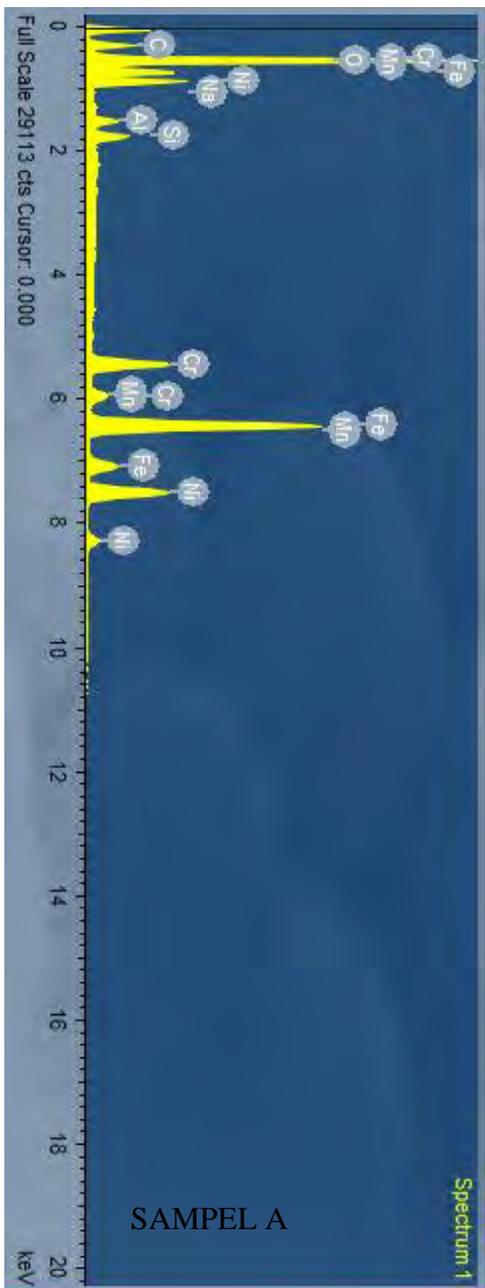
- Produk korosi yang ditemukan pada celah retakan hasil pemetaan dengan EDX mengandung unsur yang korosif, oksigen (O) unsur ini mempercepat laju kerusakan pada temperatur tinggi. Selain itu ditemukan beberapa titik spektrum terdapat unsur S, Cr dan C yang tinggi yang dapat membuat material mempunyai nilai kekerasan yang tinggi dan menjadi getas. Cr dan C ini dapat membentuk presipitasi karbida pada batas butir. sehingga material mempengaruhi hasil dari hardness, hardness yang didapat memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan literature. Dari hasil EDX memiliki perbedaan nilai yang berbeda. (Dwi Ika Basitha, 2013)

Penyebab terjadinya penurunan kekuatan tarik juga disebabkan adanya pengeroposan material yang disebabkan oleh *creep*. *Creep* dapat dilihat dari hasil metallografi, adanya *void –void* yang nantinya akan menyatu menjadi *microcrack* sehingga *microcrack* dapat menyebabkan *crack* pada material.

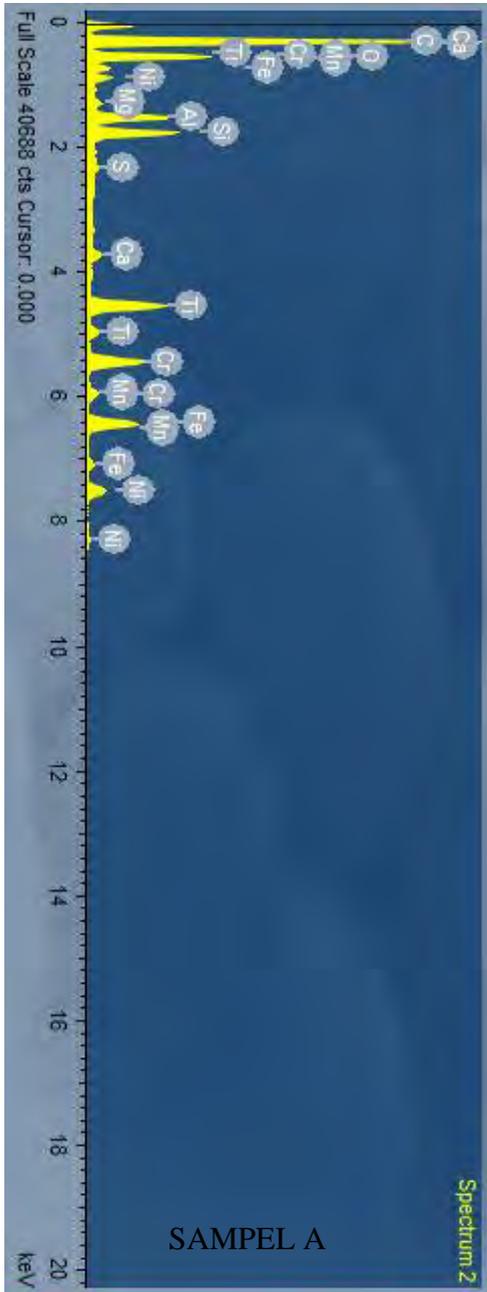


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

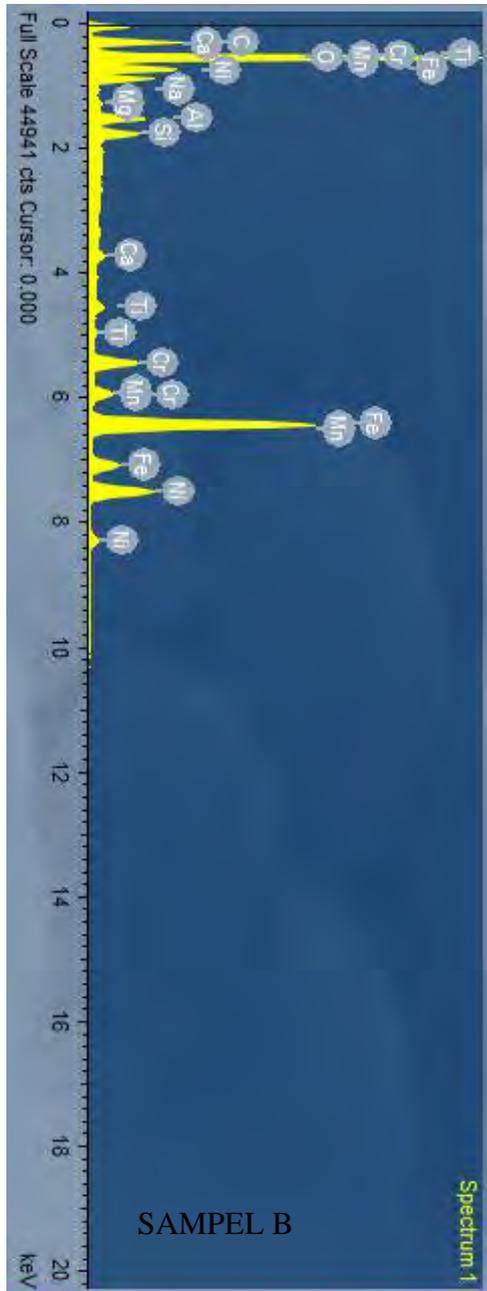
LAMPIRAN 1



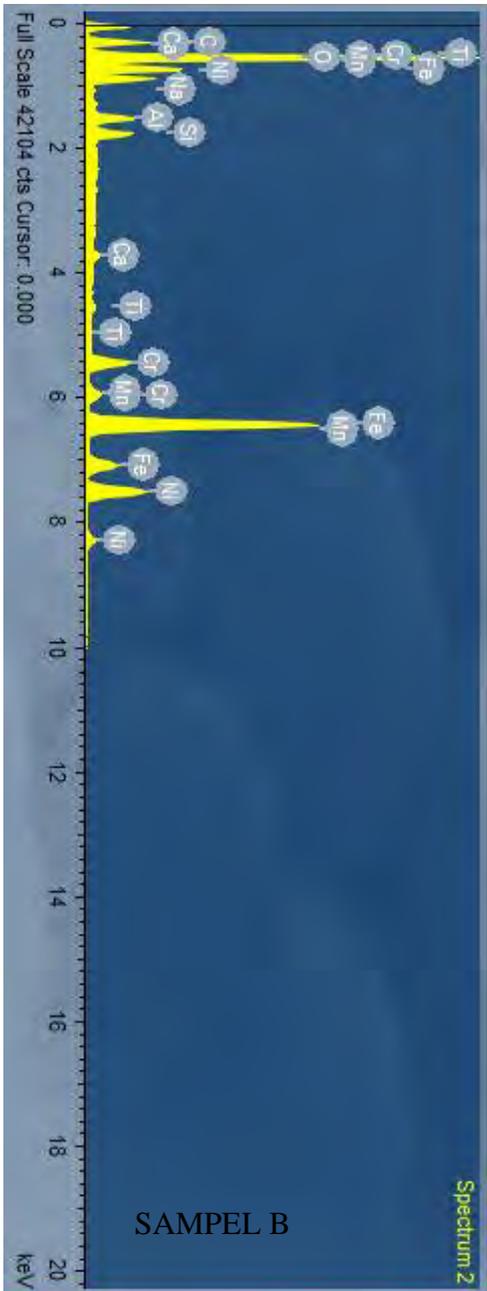
LAMPIRAN 2



LAMPIRAN 3



LAMPIRAN 4



Daftar Pustaka

_____. 1974. **Heat and Corrosion Resistant Casting: Their Engineering Properties and Application** :N 266

_____. 1974. **Cast Heat- Rsistant Alloys**.New York. The International Nickel Company,INC

_____. 1996. **Material and Rquipmernt standard for reformer furnace including tube and outlet manifolds orgianl edition**. Iran: IPS-M-ME

_____. 2000. **Wrought and cast heat-resistant stainless steel and nickel alloys for the refining and petrochemical Industries**: Nickel Development Institute

Callister, William. 2014. **Material Science and Engineering**.hoboker: Wiley

G.Buchanan. 2014. **Crstallography and Morphologu of MC Carbides in Niobium- Titanium Modified As Cas HP Alloys**. France. The Minerals, Metals & Material Society

Hatta, Ilham. 2013. **Analisis Kerusakan Pipa Baja HP- Modified untuk pada Industri Migas**. Jakarta : BPPT

Henrique, Luiz. 2002. **Microstructural characterization of modified 25Cr-35Ni centrifugally cast steel furnace**



tubes. Saskatoon : Metallurgical Consulting Service Limited.

Ika, Dwi. 2013. **Analisa Overheating Terhadap Tube Katalis HP-40 Modifikasi di Primary Reformer Pabrik Ammonia.** Surabaya :ITS

Jahromi,S. 2004. **Failure Analysis of Hp40-Nb modified primary tube reformer of ammonia plant.** Iran :Iranian Journal Of Science & Technology

Luiz, Tito. 2006. **Reformer Furnaces: Materials, Damage Mechanisms, and Assesment.** Saskatoo : Metallurgical Consulting Service Limited

Prasad, Sarju .2000. **Heat Resistant Alloy Solutins for Steam Cracker Steam Reformers.**New Delhi : AcmeCast

Schillmoller. 2005.**Hp-Modified Furnace Tubes For steam reformers and steam cracker** : Nickel Development Institute

Shariat, M.H.. 2003.**In advance Creep Failure of HP Modified Tube reformers in an Ammonia Plant.** Shira : The Journal of Corrosion Science and Engineering

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama Novielly lahir di Jakarta pada tanggal 11 Nopember 1994. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari orang tua Bapak Ferry Lolong dan Rielen Pattiasina. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Regency Jakarta, SD Budhaya II Santo Agustinus Jakarta, SMPN 255 Jakarta, dan SMAN 54 Jakarta. Kemudian penulis melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi yaitu di Intitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, tepatnya di jurusan Teknik Material dan Metalurgi di tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 27 12 100 133.

Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil bidang Korosi dan Analisis Kegagalan sebagai penelitian pada tugas akhir. Selama perkuliahan, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS sebagai Sekretaris Umum, dan menjadi Bendahara pada PM3I (Perhimpunan Teknik Mahasiswa Metalurgi Material se-Indonesia, serta di Persekutuan Mahasiswa Kristen Katolik Teknik Material dan Metalurgi (PKKTM). Penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktik di PT Badak NGL

Selesaiannya tugas akhir ini mengantarkan penulis meraih gelar Sarjana Teknik (S.T.) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.