

ANALISIS KEGAGALAN MATERIAL PIPA *FERRULE NICKEL ALLOY N06025* PADA *WASTE HEAT BOILER* AKIBAT SUHU TINGGI BERDASARKAN PENGUJIAN : MIKROGRAFI DAN KEKERASAN

*Sanjaya Okky Wijayanto¹, A.P Bayuseno²

¹) Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro

²) Dosen Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: sanjayaokkywijayanto@gmail.com

ABSTRACT

Ferrule pipe with nickel alloy N06025 material based on ASTM B 166-04 standart is cromium-nikel alloy. In operation condition ferrule pipe receives heat from reforming gas with the temperature of 960° C continously, It causes structural alteration on ferrule pipe itself. This paper analyze material failure because of high temperature, based on micrograph and thickness hardness examination. Chemical result on EDX examination shows that the existance of white scale with the composition of Na and O² as high as 38.76 wt%. and 30.16 wt%, respectively. The result of micrograph examination shows that the description of micro structure on ferrule pipe is highly different than normal micro structure. On failure ferrule pipe material shows original grain structutre has vanished dan replaced by transformation shape sekunder product. The result of hardness vickers shows that ferule pipe specimen has higher hardness vickers number if compared with hardness vickers number on nickel alloy N06025 standart of ASTM. Material failure that appears because of high temperature corrotion due to tempering process and rapid quenching because leaking of water steam from shell tube boiler.

Keywords: *Ferrule, Nickel Alloy, Tempering, Rapid Quenching*

1. PENDAHULUAN

PT. Kaltim Methanol Industri adalah pabrik yang memproduksi methanol, terletak di kawasan industri PT. Kaltim Industrial Estate (salah satu anak perusahaan PT. Pupuk Kalimantan Timur) kota Bontang, sekitar 110 kilometer sebelah utara kota Samarinda, Ibukota Propinsi Kalimantan Timur [1]. Pabrik methanol pada industri methanol melibatkan banyak peralatan mekanikal dalam proses produksinya. Peralatan ini diantaranya adalah *Waste Heat Boiler*.

Boiler merupakan unit yang penting bagi sebuah pabrik kimia. Karena *boiler* merupakan penghasil uap yang nantinya digunakan untuk menggerakkan *equipment* lain atau sebagai media pertukaran panas. *Waste heat boiler* yang digunakan adalah jenis *fire tube boiler* yaitu dimana gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan *boiler* ada didalam *shell* untuk dirubah menjadi *steam* [2]. Gas panas ini digunakan untuk memanaskan air sehingga menjadi uap. Salah satu bagian dari *fire tube boiler* adalah pipa *ferrule*.

Ferrule adalah sebuah pipa *nickel alloy N06025* dengan mekanisme kerjanya sebagai penahan panas dari *reforming gas* yang bersuhu sekitar 960^oc dengan tekanan 28,90 bar yang akan dialirkan masuk kedalam *tube waste heat boiler* [2]. *Ferrule* berada di bagian ujung *shell side water* yang berbatasan langsung dengan *fire break* atau batu tahan api. Penahanan panas

reforming gas berfungsi untuk mencegah *boiling* pada sisi dinding *waste heat boiler*.

Boiling merupakan proses pemanasan air untuk mendapatkan *steam*. Secara termodinamika, cukup dengan menaikkan suhu air tersebut hingga mencapai titik yang diinginkan, hal ini dibutuhkan energi untuk menaikkan suhu atau mengubah fase dari fase *liquid* menjadi fase gas [3]. Salah satu permasalahannya yaitu terjadi Kegagalan Material *ferrule* pada *waste heat boiler* akibat suhu tinggi, sehingga menyebabkan penurunan *performance* unjuk kerja *waste heat boiler*. Permasalahan ini terjadi pada PT. Kaltim Methanol Industri. Adapun tujuan yang ingin diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Identifikasi material pada pipa *Ferrule Waste Heat Boiler* di PT. Kaltim Methanol Industri.
- Memperoleh data kekerasan *Vickers* pada pipa *Ferrule*.
- Menganalisis penyebab kegagalan material, berdasarkan analisis mikrografi dan pengujian kekerasan.

2. BAHAN DAN PERALATAN PENGUJIAN

2.1 Bahan Uji

Dalam pengujian kegagalan ini, spesimen digunakan disini adalah pipa *ferrule waste heat boiler* yang mengalami proses korosi dengan kerak yang disertai erosi di PT Kaltim Methanol Industri,



Gambar 1. Pipa *Ferulle* PT. Kaltim Methanol Industri.

a. Cobalt, Resin, dan Katalis

Cobalt, resin, dan katalis digunakan sebagai bahan campuran untuk membuat *mounting*.

b. HNO₃, HCl, Acetic Acid

HNO₃, HCl, *Acetic Acid* adalah cairan kimia yang digunakan sebagai campuran pengetsaan untuk keperluan pengambilan gambar struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik. Bahan-bahan ini diperoleh dari Multi Kimia Raya Semarang.

c. Amplas

Amplas digunakan untuk memperhalus dan meratakan permukaan spesimen setelah di *mounting* agar pantulan cahayanya rata ketika dilihat struktur mikronya dengan menggunakan mikroskop optik. Amplas yang digunakan dengan beberapa jenis nomor sesuai dengan tingkat kekasarannya, yaitu 400, 600, 800, 1000, dan 1200.

d. Kain Beludru dan Autosol

Kain beludru dan autosol digunakan pada saat proses *polish* agar permukaan spesimen mengkilap.

2.2 Peralatan Uji

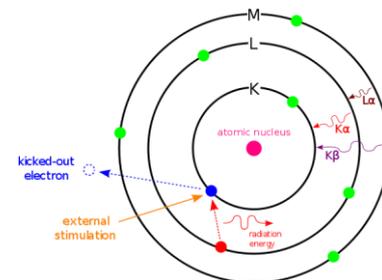
a. Peralatan Uji EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)

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.

Untuk merangsang emisi karakteristik sinar-X dari sebuah spesimen, sinar energi tinggi yang bermuatan partikel seperti elektron atau proton, atau berkas sinar X, difokuskan ke spesimen yang akan diteliti. Selanjutnya sebuah atom dalam spesimen yang mengandung elektron dasar di masing-masing tingkat energi atau kulit elektron terikat pada inti. Sinar yang dihasilkan dapat mengeksitasi elektron di kulit dalam dan mengeluarkannya dari kulit, sehingga terdapat lubang elektron di mana elektron itu berada sebelumnya. Sebuah elektron dari luar kulit yang berenergi lebih tinggi kemudian mengisi lubang, dan

perbedaan energi antara kulit yang berenergi lebih tinggi dengan kulit yang berenergi lebih rendah dapat dirilis dalam bentuk sinar-X. Jumlah dan energi dari sinar-X yang dipancarkan dari spesimen dapat diukur oleh spektrometer energi-dispersif. Energi dari sinar X yang dihasilkan merupakan karakteristik dari perbedaan energi antara dua kulit, dan juga karakteristik struktur atom dari unsur yang terpancar, sehingga memungkinkan komposisi unsur dari spesimen dapat diukur.

Pengujian EDX ini dilakukan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada permukaan pipa ferulle. Skema pengujian EDX dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini [4].



Gambar 2. Skema EDX [4].

b. Peralatan Mikroskop Optik

Jenis paling umum dari mikroskop, dan yang pertama diciptakan, adalah *microscop optis*. Mikroskop ini merupakan alat optik yang terdiri dari satu atau lebih lensa yang memproduksi gambar yang diperbesar dari sebuah benda yang ditaruh di bidang vokal dari lensa tersebut. Perbesaran mikroskop ini mencapai 1000 x. Bagian-bagian mikroskop optik akan dijelaskan dengan Gambar 3 di bawah ini.

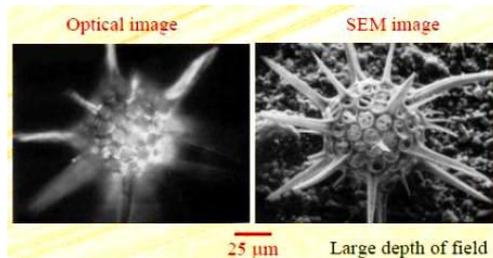


Gambar 3. Bagian-bagian mikroskop optik [5].

c. SEM (Scanning Electron Microscope)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambar spesimen dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam *scan* pola raster. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Elektron berinteraksi dengan atom-atom

sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik. Perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dengan elektron, akan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil mikroskop cahaya dan elektron [6].

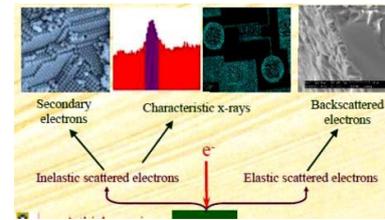
Peralatan utama yang terdapat pada mikroskop electron atau SEM diantaranya adalah:

- 1) Pistol elektron, umumnya berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah untuk melepaskan elektron misal tungsten.
- 2) Lensa untuk elektron, berupa lensa bersifat magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
- 3) Sistem vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan maka jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting.

Prinsip kerja SEM adalah sebagai berikut:

- 1) Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
- 2) Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
- 3) Sinar elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
- 4) Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).

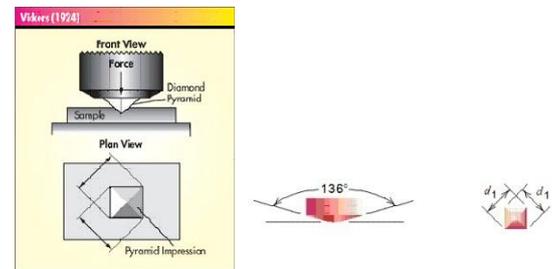
Ada beberapa sinyal yang penting yang dihasilkan oleh SEM. Dari pantulan inelastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered electron*. Sinyal-sinyal tersebut dijelaskan pada Gambar 5.



Gambar 5. Deteksi sinyal yang dihasilkan SEM akibat dari pemantulan elektron [6].

d. Peralatan Uji Kekerasan Mikro Vickers

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). pada penelitian ini uji kekerasan *vickers* yang akan digunakan sebagai data analisa pengujian pipa *ferrule*. Uji kekerasan *vickers* menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar, seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengujian *vickers* dan bentuk indenter *vickers* [7].

Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (Dieter, 1987). Angka kekerasan *vickers* didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. HV dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$HV = \frac{2000P \sin(\alpha/2)}{d^2} = \frac{1854,4P}{d^2}$$

Dimana d adalah rata-rata diagonal dalam satuan μm , P adalah beban yang diberikan dengan satuan gf, dan α adalah sudut permukaan (136°). Kekerasan dapat dihitung dengan rumus di atas atau dengan mengkonversikannya diagonal rata-ratanya pada buku tabel konversi HV [8].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

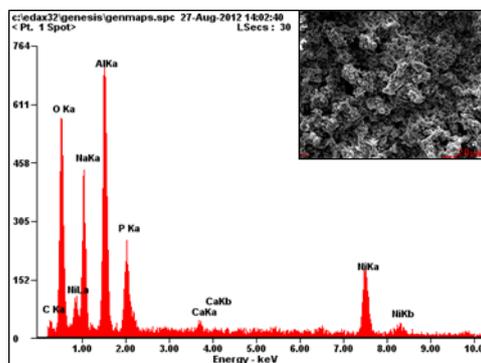
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia penyusun spesimen pipa *ferrule* yang

mengalami kegagalan. Material pipa *ferrule* yang digunakan adalah *nickel alloy* N06025, material merupakan logam paduan dengan komposisi kimia yang unsur utamanya adalah *nickel*. Berikut spesifikasi komposisi kimia unsur paduan yang terkandung dalam *nickel alloy* N06025 menurut standar ASTM B 166-04 [9].

Tabel 1. Komposisi Kimia Material *Nickel Alloy* N06025 Menurut Standar ASTM B 166-04 [9].

Element	Composition, WT %
Nickel	59.15-64.66
Chromium	24.0-26.0
Iron	8.0-11.0
Manganese	0.15 max
Aluminium	1.8-2.4
Carbon	0.15-0.25
Copper	0.1 max
Silicon	0.5 max
Sulfur	0.010 max
Titanium	0.1-0.2
Phosporus	0.020 max
Zirconium	0.01-0.10
Yttrium	0.5-0.12

Pengujian kimia EDX dilakukan dengan pengambilan 2 titik sampel uji pada pipa *ferrule* yang mengalami kegagalan, yaitu pada daerah logam yang memiliki ketebalan deposit kerak yang berbeda. Berikut adalah hasil pengujian komposisi kimia pada spesimen pipa *ferrule* yang telah mengalami kerusakan akan ditunjukkan oleh Gambar 7 dan Tabel 2 berikut :



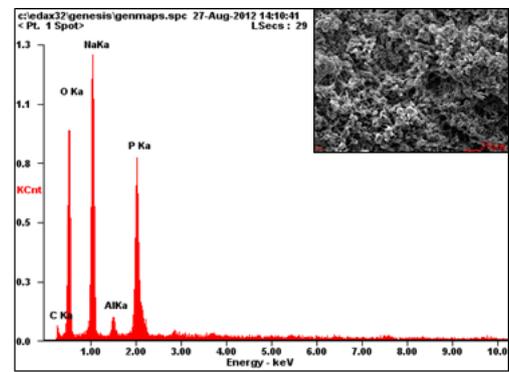
Gambar 7. Hasil uji EDX pada spesimen dengan daerah transisi deposit *scale* atau kerak.

Pada tabel menunjukkan tingginya kadar oksigen hingga mencapai 25,67 wt% pada spesimen yang telah terkena *scale* atau kerak. Kandungan *nickel* dapat terbaca pada pengujian EDX dengan tingkat intensitas kerak yg rendah atau tipis. *Base metal* dari pipa *ferrule* adalah *nickel alloy* N06025, tetapi dari hasil EDX pada daerah transisi deposit *scale* atau kerak hanya terdeteksi unsur C 07.61 wt%, Al 18.97 wt% dan unsur *nickel* hanya 23.27 wt%.

Tabel 2. Komposisi kimia hasil uji EDX pada spesimen dengan daerah transisi deposit *scale* atau kerak

No	Element	Wt%
1.	C	07.61
2.	O	25.67
3.	Na	16.31
4.	Al	18.97
5.	P	07.22
6.	Ca	00.95
7.	Ni	23.27

Pengujian selanjutnya adalah pengambilan data EDX pada titik spesimen pipa *ferrule* yang mengalami deposit *scale* atau kerak secara keseluruhan. Hasil pengujian EDX akan ditunjukkan sesuai dengan Gambar 8 dan Tabel 3 dibawah ini.



Gambar 8. Hasil uji EDX pada spesimen dengan daerah deposit *scale* atau kerak secara keseluruhan.

Tabel 3. Komposisi kimia hasil uji EDX pada spesimen dengan daerah deposit *scale* atau kerak secara keseluruhan.

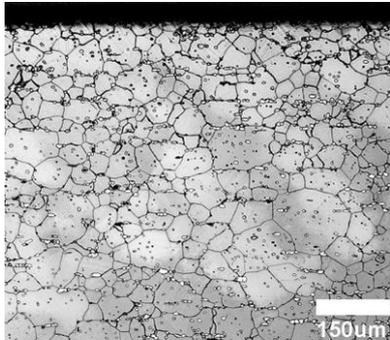
No	Element	Wt%
1.	C	11.37
2.	O	38.76
3.	Na	30.16
4.	Al	02.16
5.	P	17.55

Pada bagian kerak yang menempel di spesimen, mendominasi kandungan Na dan oksigen yg masing - masing mencapai 38.76 wt%. dan 30.16 wt% kandungan *nickel* tidak terdeteksi pada bagian spesimen ini, hal ini disebabkan oleh ketebalan dari kerak yg telah menutupi keseluruhan permukaan spesimen *ferrule*. Unsur lain yang berupa C 11.37 Wt% Al 02.16 Wt% dan P 17.55 wt% merupakan unsur dari *nickel alloy* yang terangkat kepermukaan.

Dapat disimpulkan bahwa pipa *ferrule* yang berbahan dasar *nickel alloy*. Mengalami korosi dan menimbulkan kerak putih karena ada mineral Na yang terbawa oleh air yang masuk kedalam pipa *ferrule*.

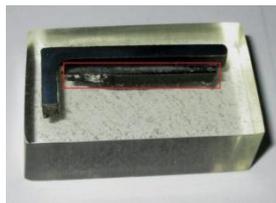
3.2 Hasil Pengujian Mikroskop Optik

Pada Gambar 9 menunjukkan *micrografi optic* pada paduan N06025 yaitu material yang digunakan pada pipa *ferrule*. Data hasil pengujian makro pada spesimen pipa *ferrule* yang telah mengalami kegagalan akan ditunjukkan pada Gambar 9 dibawah ini.

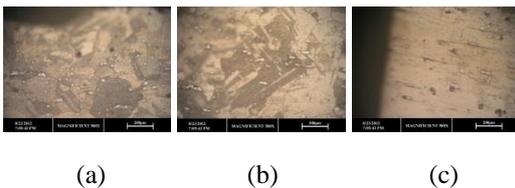


Gambar 9. Mikrografi optik paduan N06025[10].

Struktur mikro awal dari bahan induk memiliki unsur C sebesar 0.25 Wt% dapat dilihat pada tabel 4.1, dan $M_{23}C_6$ atau *presipitat karbida* berkompensasi pada sebagian besar material[10].



Gambar 10. Spesimen potongan pipa *ferrule*.



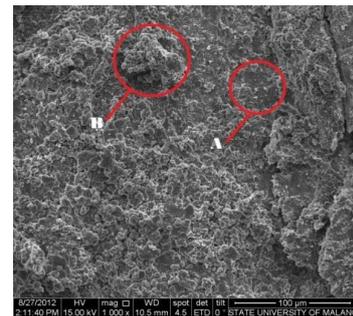
Gambar 11. Hasil pengujian foto mikro dari ujung, tengah dan pangkal belakang pada spesimen uji potongan pipa *ferrule*.

Pengujian foto mikro dilakukan sebanyak 3 kali pada bagian ujung dari pipa *ferrule* kemudian pada bagian tengah spesimen uji dan pada bagian pangkal spesimen uji. Foto mikro diambil dengan menggunakan perbesaran sampai 500x. Hasil foto mikro Gambar 11 menunjukkan penggambaran pipa *ferrule* yang mengalami kegagalan menghasilkan tiga daerah yang berbeda, yaitu daerah deposit, daerah transisi dan daerah base metal. Dari hasil penjelasan foto mikro pada Gambar 11 (a) menunjukkan bahwa penggambaran struktur mikro pada pipa *ferrule* berbeda sekali dengan struktur mikro yang normal.

Pada material pipa *ferrule* yang gagal ini terlihat struktur butir asli telah benar – benar menghilang dan digantikan oleh bentuk transformasi sekunder produk[10]. Penyamaran ini mencerminkan transformasi fasa yang terjadi pada awal proses *tempering* dan *rapid quenching* oleh adanya kebocoran uap air dari *shell tube boiler*.

3.3 Hasil Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

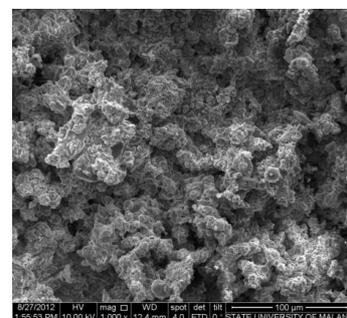
Uji mikroskop optik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) digunakan untuk mengetahui gambar struktur mikro spesimen. Berikut adalah hasil pengujian SEM akan ditampilkan pada Gambar 12



Gambar 12. Hasil uji gambar SEM pada spesimen dengan daerah transisi deposit *scale* atau kerak.

Pada daerah huruf A adalah logam atau base metal yang menunjukkan penurunan ketebalan pipa akibat korosi dan kerak. Pada daerah deposit *scale* atau kerak terdapat kerak yang ditunjukkan pada huruf B hal di sebabkan oleh adanya air yang mengalir di dalam pipa *ferrule*, akibat temperature yang tinggi dari reforming gas yang melewati pipa *ferrule* menyebabkan proses *rapid quenching* oleh uap air dan menimbulkan kerak yang berwarna putih. Hal ini disebabkan oleh adanya mineral NaK dan kadar oksigen yang cukup tinggi didalam kandungan air umpan pada *waste heat boiler*.

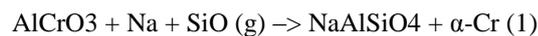
Berikut akan di ditampilkan Gambar 13. Hasil uji SEM pada spesimen dengan daerah deposit *scale* atau kerak secara keseluruhan



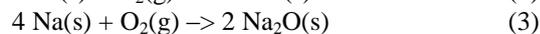
Gambar 13. Hasil uji SEM pada spesimen dengan daerah deposit *scale* atau kerak secara keseluruhan.

Pada daerah deposit terdeteksi mengandung unsur oksigen dan mineral NaK yang cukup tinggi (tabel 3). Analisa dilakukan pada saat spesimen pipa *ferrule* dalam kondisi sudah tidak terpakai akibat terkorosi. Dari hasil pemeriksaan mengungkapkan bahwa permukaan bahan pipa rusak akibat korosi suhu tinggi.

Penyebab korosi suhu tinggi akibat adanya lapisan oksida yang dapat menahan serangan dari peristiwa korosi yang lain, bila jumlah oksigen di lingkungannya cukup (jumlah oksigen dalam lingkungan disebut oksigen potensial). Tetapi harus terkontrol dan oksidasinya terbentuk dari senyawa dengan unsur-unsur yang menguntungkan. Karburasi dan *dusting* terjadi dalam lingkungan yang mengandung CO, CH₄ dan gas hidrokarbon lainnya. Penguraian C ke permukaan logam mengakibatkan penggetasan dan degradasi sifat mekanik lainnya. Karena ada reaksi penambahan atau peningkatan oksigen oleh suatu unsur atau senyawa. Oksigen masuk ke dalam pipa akibat ada kebocoran dari *shell tube boiler* dan gas alam. Hasil reaksi oksidasi *corundum*, *natrium* dan *silicon oxide* yang terbawa pada permukaan logam akibat proses gas alam adalah :



Sedangkan reaksi pembentukan kerak pada pipa *ferrule* adalah :



4.4 Hasil Analisa Sifat Mekanis Pipa *Ferrule*

Untuk mengetahui nilai kekerasan pada spesimen penelitian ini dikhususkan pada uji kekerasan *micro vickers*. Pengujian menggunakan satu spesimen yg diambil pada bagian ujung pipa *ferrule*. Titik penetrasi dihitung jaraknya dari tepi pipa *ferrule*, dimulai dengan titik pertama dari jarak 1 mm, titik kedua berjarak 5 mm, titik ketiga berjarak 15 mm dan titik keempat berjarak 30 mm. nilai kekerasan HV didapat dari persamaan 1 yaitu

$$HV = \frac{2000P \sin(\alpha/2)}{d^2} = \frac{1854,4P}{d^2}$$

Keterangan:

- d = rata-rata diagonal setelah penetrasi (µm)
- α = sudut permukaan, yang sudah ditetapkan sebesar 136⁰
- P = beban yang diberikan pada saat penetrasi

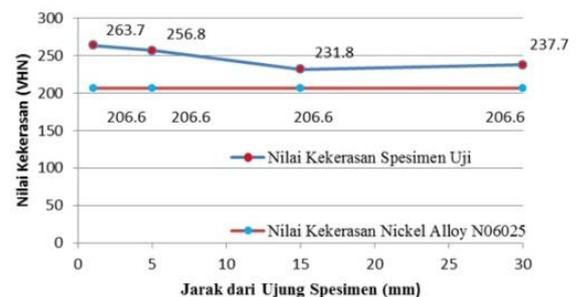
Pengujian *micro vickers* pada penelitian ini menggunakan pembebanan sebesar 200 gf dengan waktu pembebanan selama 5 detik. Berikut adalah nilai kekerasan spesimen dari hasil pengujian *vickers* dan

dibandingkan dengan nilai kekerasan standar ASTM N06025:

Tabel 4. Hasil uji kekerasan *micro vickers*

Jarak dari ujung	Kekerasan (VHN)	Kekerasan rata-rata (VHN)
1 mm	263.7	263.7
	263.7	
	263.7	
5 mm	256.8	256.8
	253.5	
	260.3	
15 mm	237.7	231.8
	226.1	
	231.8	
30 mm	243.8	237.7
	231.8	
	237.7	

Sedangkan nilai Kekerasan *vickers* pada material *nickel alloys* N06025 didapatkan dari hasil interpolasi data tersedia pada Tabel. 3 standar ASTM B 163-08 nilai kekuatan material N06025 adalah 680 Mpa sebanding dengan nilai kekerasan *vickers* yaitu 206.6 VHN.



Gambar 14. Perbandingan nilai kekerasan *vickers* spesimen uji dengan nilai kekerasan *nickel alloy* N06025

Hasil dari data dapat diperoleh bahwa pada spesimen uji pipa *ferrule* memiliki nilai kekerasan *vickers* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai kekerasan *vickers* pada *nickel alloy* N06025 standar ASTM. Kekerasan yang terjadi diindikasikan berdasarkan struktur mikro yang mengalami transformasi fasa, yang diduga terjadi pada awal proses *tempering* dan *rapid quenching* oleh adanya kebocoran uap air dari *shell tube boiler*. Hal ini menyebabkan kekerasan pada pipa *ferrule waste heat boiler* lebih tinggi dari pada material *nickel alloy* N06025 yang digunakan sebagai standar dari pipa *ferrule* tersebut.

3.5 Analisa Kegagalan Pipa Ferrule N06025 Akibat Suhu Tinggi

Material pipa *ferrule* yang digunakan adalah *nickel alloy* N06025, material merupakan logam paduan dengan komposisi kimia yang unsur utamanya adalah *nickel*. Analisis kegagalan dapat diasumsikan bahwa bagian dalam pipa *ferrule* mengalami korosi dan menimbulkan kerak putih karena ada mineral Na yang terbawa oleh air yang masuk ke dalam pipa *ferrule*. Hasil reaksi oksidasi *corundum*, *natrium* dan *silicon oxide* yang terbawa pada permukaan logam akibat proses gas alam, ditunjukkan pada Persamaan reaksi kimia 1. Sedangkan reaksi pembentukan kerak pada pipa *ferrule* ditunjukkan pada Persamaan 2 dan 3.

Dengan adanya deposit tersebut, seiringnya waktu material pipa *ferrule* mengalami erosi, dimana material terdifusi oleh deposit. Hal lain yang dapat ditimbulkan oleh adanya deposit adalah material mengalami perbedaan pemerataan panas. Perbedaan pemerataan panas pada material pipa *ferrule* dapat menyebabkan reforming gas dalam pipa *ferrule* mengalami hambatan konduktifitas *thermal* pada daerah deposit, yang lebih rendah jika dibandingkan dengan material pipa *ferrule* tersebut.

Pada spesimen uji pipa *ferrule* memiliki nilai kekerasan *vickers* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai kekerasan *vickers* pada *nickel alloy* N06025 standar ASTM. Kekerasan yang terjadi diindikasikan berdasarkan struktur mikro yang mengalami transformasi fasa, yang diduga terjadi pada awal proses *tempering* dan *rapid quenching* oleh adanya kebocoran uap air dari *shell tube boiler*. Hal ini menyebabkan kekerasan pada pipa *ferrule waste heat boiler* lebih tinggi dari pada material *nickel alloy* N06025 yang digunakan sebagai standar dari pipa *ferrule* tersebut.

4. KESIMPULAN

- Hasil identifikasi material dengan metode pengujian EDX menghasilkan kesimpulan bahwa kandungan komposisi kimia pada material pipa *ferrule* mengalami perubahan, hal ini disebabkan karena pipa *ferrule* telah mengalami korosi yang ditimbulkan oleh kerak putih karena ada mineral Na yang terbawa oleh air yang masuk kedalam pipa *ferrule*.
- Hasil dari data kekerasan *vickers* diperoleh bahwa pada spesimen uji pipa *ferrule* memiliki nilai kekerasan *vickers* yang lebih tinggi yaitu mencapai 263.7 VHN, sedangkan nilai kekerasan *Vickers* pada *nickel alloy* N06025 standar ASTM hanya 206.6 VHN.
- Perubahan kekerasan yang terjadi pada pipa *ferrule* diindikasikan akibat struktur mikro yang mengalami transformasi fasa karena kondisi operasi pipa *ferrule* dengan suhu hingga 960⁰ C. Perubahan fasa diduga terjadi pada awal proses *tempering* dan *rapid quenching* oleh adanya kebocoran uap air dari *shell tube boiler*.

5. REFERENSI

- Halaman utama, PT. Kaltim Methanol Industri (<http://kaltimethanol.com/indo/index.php>, diakses tanggal 18 Maret 2013).
- Digital Control System PT. Kaltim Methanol Industri (Juli 2012)
- Boiler, Kampong Cip Berawal dari Kampong Kita (<http://kampongpergam.wordpress.com/> diakses tanggal 18 Maret 2013)
- Energy-dispersive X-ray spectroscopy, Wikipedia, the free encyclopedia (http://en.wikipedia.org/wiki/Energy-dispersive_X-ray_spectroscopy diakses pada tanggal 11 Mei 2013)
- Mikroskop cahaya, dari Wikipedia Indonesia, ensiklopedia bebas, (http://id.wikipedia.org/wiki/Mikroskop_cahaya diakses pada tanggal 30 Mei 2013)
- Scanning Electron Microscopy, Material Cerdas Indonesia (<http://materialcerdas.wordpress.com/teori-dasar/scanning-electron-microscopy/> diakses pada tanggal 30 Mei 2013)
- ASTM E 92 – 82, 2004. “Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials” ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM A 370-07a, 2004. “Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products,” ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM B 166-04, 2004. “Standard Specification for Nickel-Chromium-Iron Alloys (UNS N06600, N06601, N06603, N06690, N06693, N06025, and N06045)* and Nickel-Chromium-Cobalt-Molybdenum Alloy (UNS N06617) Rod, Bar, and Wire,” ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Albertsen, Jorun Zahl, 2007. “Experimental and theoretical investigations of metal dusting corrosion in plant exposed nickel-based alloys,” Norwegian University of Science and Technology Faculty of Natural Sciences and Technology Department of Materials Science and Engineering. Trondheim.