

## ANALISIS KOROSI DAN KERAK PIPA *NICKEL ALLOY* N06025 PADA WASTE HEAT BOILER

\*Ardhi Sudradjat<sup>1</sup>, A.P Bayuseno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: ardhisudradjat@yahoo.co.id

### ABSTRACT

*Corrosion is destruction process of metal surfaces by chemical reaction from its environment. One of example is corrosive media for ferrule pipe due to high temperature. The rate of corrosion is accelerated by the existence of leaks in the water feed tube. Corrosion testing on corroded ferrule pipe specimens is using SEM, EDX, and XRD examination. High temperature corrosion exist due to chloride penetration of boiler tube leak. In addition, the temperature during the test is also one factor of corrosion. Plumbing materials is damaged by high temperature corrosion. Ferrule pipe seems to increase the thickness of pipe due to the crust and thin oxidation layer. The reason of high temperature corrosion due to an oxide layer. The oxide layer able to resist attack of another corrosion if amount of oxygen in their environment is sufficient. By using the reference, there is a white crust and increased thickness of the pipe. The pipe ferrule having obtained corrosion, crust generated from the boiler tube. SEM of the test results shows that the addition of the pipe thickness due to crustal and XRD test results are minerals that cause the crust.*

**keywords:** High temperature corrosion, scale, SEM, EDX, and XRD..

### 1. PENDAHULUAN

Korosi merupakan reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung spontan, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan sama sekali. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya. Ketika atom logam terekspos ke lingkungan yang mengandung molekul air, mereka akan melepas elektron, mengubah diri menjadi ion positif dan melibatkan aliran listrik. Efek ini akan terkonsentrasi dalam skala kecil yang mula-mula membentuk lubang kecil atau retakan, kemudian meluas sehingga mampu menimbulkan kegagalan [1].

Korosi lokal yang berawal dari keberadaan lubang-lubang kecil seringkali terdapat kegagalan lelah awal yang ditambah dengan media korosif seperti air laut akan semakin memperbesar pertumbuhan retakan akibat lelah. Korosi lubang/sumuran juga terjadi lebih cepat pada area dimana perubahan microstructural akibat proses pengelasan [1]. Pada penelitian ini menguji korosi sambungan las pipa kondensor. jenis korosi yang ditemukan umumnya adalah temperature tinggi. Selain itu, korosi yang terjadi diklasifikasikan dalam korosi kering (*dry corrosion*). Gesekan aliran fluida yang melewati pipa berupa gas. Gas alam metana (CH<sub>4</sub>), etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) dan kebocoran dari *seal side water* yang menimbulkan dampak korosi tidak hanya pada pipa itu sendiri melainkan pada sambungan las pipa. Selain itu temperatur

mempengaruhi kecepatan reaksi redoks pada peristiwa korosi. Secara umum, semakin tinggi temperatur maka semakin cepat terjadinya korosi. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya temperatur maka meningkat pula energi kinetik partikel sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan efektif pada reaksi redoks semakin besar. Didalam penelitian ini, pipa *ferrule* dilakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*), EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*), XRD (*X-ray diffraction/XRD*) Spesimen tersebut mengetahui mikro struktur, yang terjadi pada pipa nikel N06025.

Adapun tujuan yang ingin diperoleh penulis dengan mengajukan judul tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui komposisi kimia pipa *ferrule* boiler pada *Waste Heat Boiler* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX).
- Mengetahui jenis korosi yang terjadi pada material pipa dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX).
- Mengetahui karakterisasi mineral kerak didalam pipa dengan *X-Ray Diffraction* (XRD).

## 2. BAHAN DAN PERALATAN PENGUJIAN

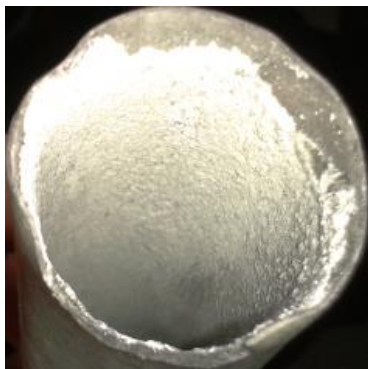
### Bahan Uji

Dalam pengujian korosi ini, digunakan sambungan las pipa *ferrule* dari bahan Stainless Steel ASTM B 163 – 08 seperti pada Gambar 1.



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

Pipa *Ferrule* adalah sebuah pipa *nickel alloy* N06025 dengan mekanisme kerjanya sebagai penahan panas dari *reforming gas* yang bersuhu sekitar 960<sup>o</sup>c 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*. pipa dan plat tersebut dipotong kecil-kecil seperti pada Gambar 2 untuk memudahkan proses pengujian korosi.



**Gambar 2.** Salah satu contoh potongan pipa *ferrule*.

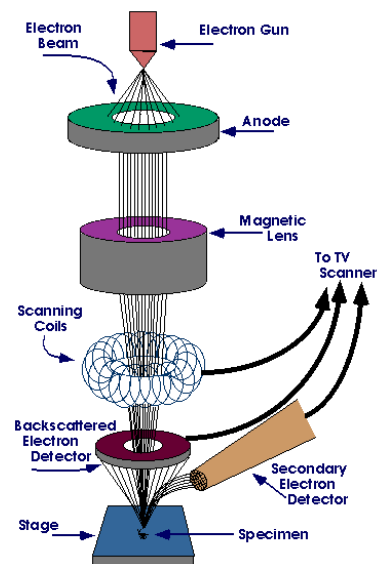
### Peralatan Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

*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 berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik.

Cara kerja SEM, dimulai dengan suatu sinar elektron dipancarkan dari *electron gun* yang dilengkapi dengan katoda filamen tungsten. Tungsten biasanya digunakan pada *electron gun* karena memiliki titik lebur tertinggi dan tekanan uap terendah dari semua logam, sehingga memungkinkan dipanaskan untuk emisi elektron, serta harganya juga murah. Sinar elektron difokuskan oleh satu atau dua lensa kondensor ke titik yang diameternya sekitar 0,4 nm sampai 5 nm. Sinar kemudian melewati sepasang gulungan pemindai

(*scanning coil*) atau sepasang pelat deflektor di kolom elektron, biasanya terdapat di lensa akhir, yang membelokkan sinar di sumbu x dan y sehingga dapat dipindai dalam mode raster di area persegi permukaan spesimen. Ketika sinar elektron primer berinteraksi dengan spesimen, elektron kehilangan energi karena berhamburan acak yang berulang dan penyerapan dari spesimen atau disebut volume interaksi, yang membentang dari kurang dari 100 nm sampai sekitar 5 μm ke permukaan.

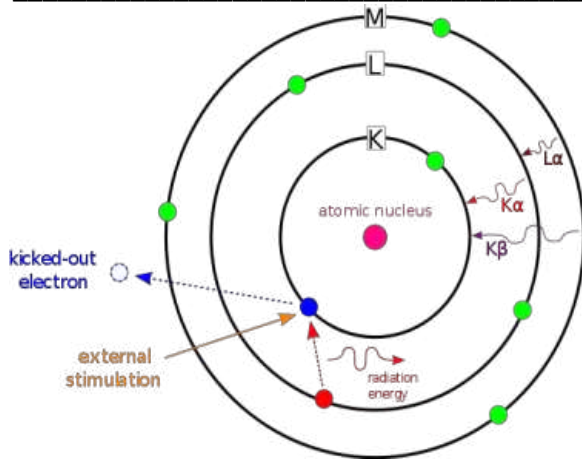
Pengujian SEM memerlukan permukaan spesimen yang tidak rata, sehingga spesimen yang sudah halus dan rata dari pengujian mikroskop optik dan *emission spectrometer* dititik menggunakan palu agar permukaannya tidak menjadi rata. Karena pada percobaan pertama tidak terlihat di layar, maka spesimen kemudian dilapisi oleh emas (*aurum*) yang bertujuan untuk memperbesar kontras antara spesimen yang akan diamati dengan lingkungan sekitar [3].



**Gambar 3.** Skema SEM.

### 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. Pengujian EDX ini dilakukan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada permukaan pipa *ferrule*. Skema pengujian EDX dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah.



Gambar 4. Skema EDX.

### Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)

Spektroskopi difraksi sinar-X (*X-ray diffraction/XRD*) merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg :

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta ; n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

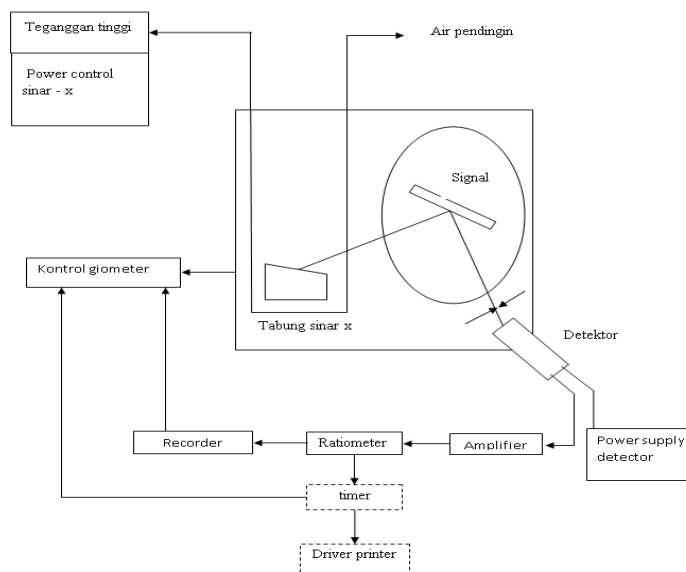
Dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $d$  adalah jarak antara dua bidang kisi,  $\theta$  adalah sudut antara sinar datang dengan bidang

normal, dan  $n$  adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan. Alat yang digunakan untuk mengukur dan mempelajari difraksi sinar X Difraktometer menggunakan prinsip difraksi. Ada 3 jenis difraktometer yang dikenal. Penamaan difraktometer ini ditentukan oleh sumber radiasi yang digunakan yaitu difraktometer neutron, sinar-x dan elektron.



Gambar 5. Difraksi sinar X menggunakan Difraktometer *Cu source*.

Prinsip kerja difraktometer sinar-x adalah sebagai berikut: pembangkit sinar-x menghasilkan radiasi elektromagnetik, yang setelah dikendalikan oleh celah penyimpang S1 selanjutnya jatuh pada cuplikan. Sinar-x yang dihamburkan oleh cuplikan dipusatkan pada celah penerima S2 dan jatuh pada detektor yang sekaligus mengubahnya menjadi bentuk cahaya tampak (*foton*). Dalam penelitian ini pengukuran dilakukan secara angka demi langkah dari 20 hingga 120 dengan perpindahan setiap langkah sudut hamburan sebesar 0.02o. Ada beberapa informasi yang dapat diperoleh dari percobaan ini yaitu pembangkit sinar-x menghasilkan radiasi elektromagnetik, yang setelah dikendalikan oleh celah penyimpang S.



Gambar 6. Bagan difraktometer sinar-x

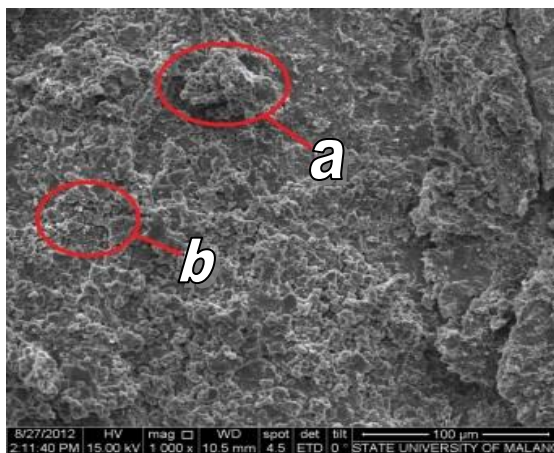
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil

Pembahasan penelitian ini dimulai dengan melakukan pengujian SEM pada spesimen yang telah dipotong kecil dengan menggunakan gergaji besi. Potongan spesimen kemudian di uji sem setelah itu dilanjutkan uji EDX, dari dua pengujian yaitu untuk mengetahui jenis korosi yang terjadi pada spesimen dan komposisi kerak dan logam.

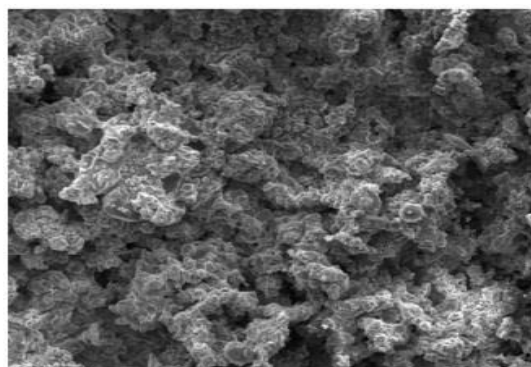
#### Pengujian SEM

Pengujian SEM digunakan untuk melihat bentuk korosi yang terjadi setelah pengujian korosi pada spesimen. Pengujian SEM digunakan karena memiliki ketelitian sampai 1.000.000 kali. Berikut adalah hasil pengujian SEM yang dilakukan di Laboratorium Sentral Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Universitas Negeri Malang:



**Gambar 7.** Hasil uji SEM.

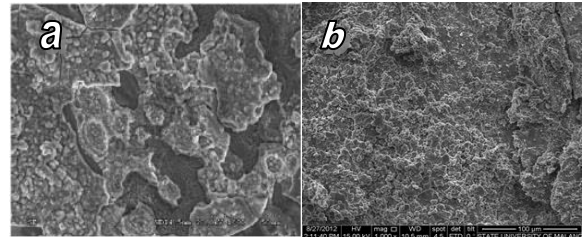
Terdapat kerak yang di tunjukan pada huruf (a) yang cukup tebal yang di sebabkan ada air yang mengalir di dalam pipa ferrule dengan temperature tinggi dan menimbulkan kerak. Huruf (b) yaitu logam yang menunjukkan penurunan ketebalan pipa akibat korosi dan kerak. Gambar 8 menunjukkan kerak yang cukup tebal setelah dilakukan perbesaran 1000 kali.



**Gambar 8.** Hasil uji SEM perbesaran 1000 kali.

Sebuah bagian kecil dipotong dari spesimen untuk pemeriksaan SEM daerah yang terkorosi pada

ujung pipa. Pemeriksaan dibuat saat spesimen itu dalam kondisi sudahtidak terpakai akibat terkorosi. Pemeriksaan mengungkapkan bahwa permukaan bahan pipa rusak akibat korosi suhu tinggi. Pipa ferrule tampaknya mengalami ketebalan pipa karena kerak dan oksidasi lapisan tipis.

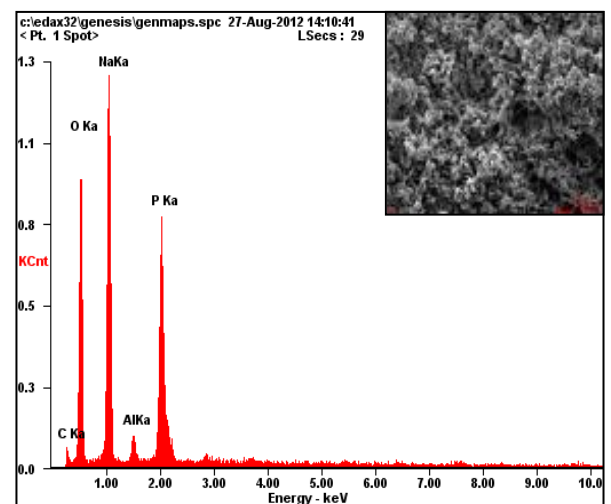


**Gambar 9.** Hasil uji SEM (a) hasil penelitian Edouard Asselin, Akram Alfantazi, dan Steven Rogak (b) nikel pipa ferrule.

Gambar SEM (a) logam nikel dari penelitian Edouard Asselin, Akram Alfantazi, dan Steven Rogak saat melakukan analisa korosi suhu tinggi akibat oksidasi berbentuk tidak teratur dan seperti kerak sama seperti hasil pengujian SEM pada pipa ferrule akibat suhu tinggi.

#### Pengujian EDX

Pengujian EDX dilakukan di permukaan dalam pipa. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui fenomena apa yang terjadi pada permukaan dalam pipa. Mengetahui komposisi apa yang terkandung di dalam permukaan pipa yang berkerak putih sepanjang pipa ferrule pada gambar 10. Hasil dari pengujian EDX pada plat yang dilakukan di Laboratorium Sentral Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Universitas Negeri Malang seperti berikut :



**Gambar 10.** Grafik hasil pengujian EDX pada pipa.

Dari grafik pada Gambar 10 maka didapat komposisi pada permukaan didalam pipa yaitu:

Tabel 1. Komposisi Permukaan Pipa Hasil Pengujian EDX

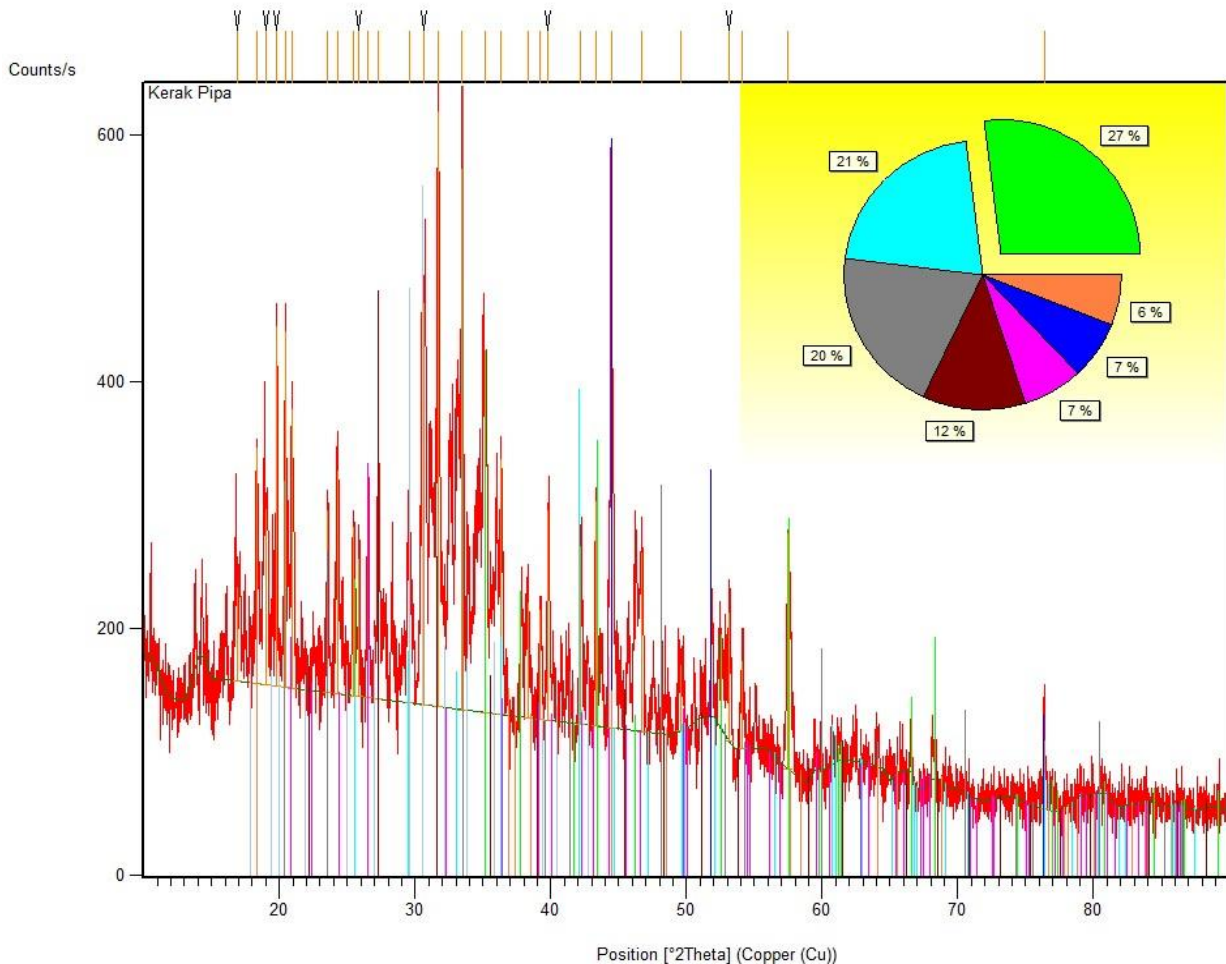
No	Element	Wt%
No	Element	Wt %
1	C	11,37 %
2	O	30,76 %
3	Na	38,16 %
4	Al	02,16 %
5	P	17,55 %

Diketahui bahwa hampir seluruh permukaan pipa atau sebesar 38,16% terdiri dari NaK $\alpha$  (natrium kalium) yang dimana natrium adalah logam reaktif yang lunak, ringan dan putih keperakan yang tak pernah berwujud sebagai unsur murni di alam. Natrium mengapung di air, menguraikannya menjadi gas

hidrogen dan ion hidroksida. Kalium adalah logam lunak berwarna putih keperakan ditemukan sebagai senyawa dengan unsur lain dalam air laut atau mineral lainnya. Kalium teroksidasi dengan sangat cepat dengan udara, sangat reaktif terutama dalam air, dan secara kimiawi memiliki sifat yang mirip dengan natrium. Dapat disimpulkan bahwa pipa ferrule yang berbahan dasar nikel campuran. Terkorosi dan menimbulkan kerak putih karena ada mineral NaK yang terbawa oleh air yang masuk kedalam pipa ferrule.

**Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)**

Pengujian XRD dilakukan pada serbuk kerak pipa. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral apa yang terjadi pada serbuk pipa. Serbuk kerak yang di ambil dari hasil gerusan sepanjang pipa.



Gambar 11 hasil grafik uji XRD

Hasil grafik gambar 10 di dapat dari *peak conts* dan *position (2 Theta) (Copper(CU))* dari analisa XRD. Mengetahui ada tujuh kandungan mineral yang tertinggi karena ada sinar – X yang terpantul dan Detektor akan merekam dan memproses isyarat penyinaran ini dan mengkonversi isyarat itu menjadi suatu arus yang akan dikeluarkan pada printer atau layar komputer. Tabel 2 hasil kandungan mineral menunjukkan kandungan logam Nickel paling tinggi saat dilakukan penggerusan ikut tergerus.

Tabel 2 Hasil kandungan mineral pengujian XRD

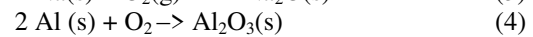
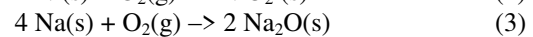
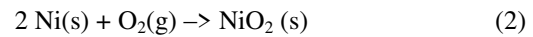
NO	Nama	Mineral %
1	Nickel	Ni 27 %
2	Corundum	Al O3 21 %
3	Trisodium Phosphat0	Na 3PO4 20 %
4	Carbon Oxide	C O 12 %
5	Carbon dioxide	C O2 7 %
6	Aluminium phosphate	Al PO4 7 %
7	Nickel Oxide	Ni O2 6 %

Dari tabel 2 pipa *ferrule* banyak unsur oksigen yang terikat yang seharusnya komposisi gas alam metana (CH<sub>4</sub>), Etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) tidak ada oksigen. Kandungan CO<sub>2</sub> adalah oksida asam juga salah satu gas yang bersifat korosif terurai di dalam pipa dan CO<sub>2</sub> didapat dari hasil pembakaran di *reformer* gas. *Corundum* bentuk kristal aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) adalah mineral pembentuk batuan atau disebut dengan kerak. Trisodium Phosphat sering digunakan untuk pembersih dan sangat larut dalam air, yang nunjukan memang benar terjadi kebocoran dari boiler feed water dengan ada perbedaan tekanan maka air pendingin masuk kedalam pipa *ferrule*. *Trisodium Phosphat* (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) adalah pembersih, pelumas dan berupa padatan putih, butiran atau kristal yang sangat larut dalam air mengasikkan basa yang terbawa oleh air. *Aluminium fosfat* (AlPO<sub>4</sub>) adalah senyawa kimia berbentuk anhidrat dan ditemukan sebagai mineral. Memiliki kerangka struktur yang mirip dengan zeolit dan sebagian digunakan sebagai katalis atau saringan molekul. *Nickel oxide* adalah senyawa baik untuk melapisi dan melindungi logam dasar nikel dari korosi yang lain.

#### Analisa Korosi dan Pembentukan Kerak Pipa Ferrule ASTM N06025

Pada spesimen pipa ferrule setelah diuji SEM pipa mengalami penambahan ketebalan dan ada juga yang mengalami penurunan ketebalan pipa. Ada penumpukan kerak yang terjadi akibat adanya kandungan natrium menguraikannya menjadi gas hidrogen dan ion hidroksida dan kalium yang biasa terlarut dalam air laut setelah dilakukan uji EDX *Nickel Alloys* ASTM Tipe N06025 adalah campuran logam tahan karat dan tahan bertemperatur tinggi yang digunakan untuk WHB (*Waste Heat Boiler*) yang

dimaksudkan untuk tahan korosi dan temperatur tinggi untuk tidak terjadi korosi *High temperature* yang dilalui fluida gas alam yang mengandung metana (CH<sub>4</sub>), Etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>). Pembentukan kerak terjadi karena ada mineral – mineral yang menjadi penyebabnya kerak seperti berikut :



#### 4. KESIMPULAN

Pengujian korosi menggunakan magnetic stirrer hot plate dengan media larutan NaCl selama 60 hari dengan temperatur 180°C selama 2 jam dan 380°C selama 1 jam didapat Laju korosi untuk spesimen stainless steel 316:

- Pada gambar hasil pengujian SEM terlihat bahwa struktur mikro pipa ferrule boiler terdapat korosi temperature tinggi dan penumpukan kerak cukup tebal yang menyebabkan penambahan tebal pipa ferrule.
- Berdasarkan gambar hasil pengujian SEM, terjadi korosi pada bagian dalam pipa tetapi tidak terlalu signifikan. Nikel paduan N06025 mengandung unsure kromium, nikel dan aluminium karena material nikel alloys N06025 didesain untuk tahan terhadap korosi dalam jangka waktu yang cukup lama.
- Setelah pengujian XRD terlihat ada beberapa mineral dan gas dari hasil pembakaran pada reformer gas yang menyebabkan terjadinya kerak berwarna putih yaitu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Carbon, CO<sub>2</sub>, AlPO<sub>4</sub> dan NiO<sub>2</sub>.

#### 5. REFERENSI

- [1] *Testing of Steel Products,*” ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- [2] 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.
- [3] *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.*