

## Atomic-level investigation of Top of Line Corrosion API 5L Grade B

Supriyadi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Soerjo, Ngawi

Jl. Cepu No.km. 3, Ngawi, Jawa Timur 63218

Email : [supriyadi.bapak2017@unsoer.ac.id](mailto:supriyadi.bapak2017@unsoer.ac.id) or [supriyadihse3@gmail.com](mailto:supriyadihse3@gmail.com)

### ABSTRAK

Analisa kimia air terproduksi fluida yang mengalir melalui jalur pipa API 5L Grade B memiliki kadar *chloride* (Cl<sup>-</sup>) yang sangat tinggi. *Chloride* merupakan salah satu senyawa paling agresif terutama dalam keadaan terlokalisasi yang akan mengakibatkan terbentuknya *pitting corrosion*. Oleh karena itu sebagai upaya untuk mengetahui morfologi korosi secara atomic yang terjadi pada pipa yang terpasang telah dilakukan pengujian komposisi fluida, pengujian laju korosi, pengujian SEM-EDX dan pengujian XRD (X Ray Diffraction). Berdasarkan hasil pengujian laboratorium larutan fluida memiliki konsentrasi komposisi kimia *chloride* 10.000 ppm. Laju korosi pada sampel larutan fluida 5.9 mpy. pengujian SEM – EDX menampilkan ciri – ciri produk korosi *hematite* dan *magnetite*. Adapun pengujian XRD di area yang mengalami *pitting corrosion* telah mengidentifikasi senyawa senyawa produk korosi dengan terbentuknya oksida. Mekanisme *corrosion damage* yang terbentuk akibat *chloride* yang terlokalisasi dan tertutup oleh oksida menyebabkan terbentuknya spot kebocoran di dalam pipa bagian atas (*top of line corrosion*).

**Keywords:** *chloride, pitting corrosion, x-ray diffraction, scanning electron microscope, top of line corrosion*

### I. PENDAHULUAN

Tingkat korosi yang terjadi pada internal pipa pada fasilitas produksi minyak dan gas bumi berhubungan dengan korosifitas dari fluida yang mengalir didalamnya, sementara saat ini banyak pipa yang mengalirkan fluida dengan persentasi 10% minyak dan 90% *water cut* (Data Produksi Migas Lapangan Tua, 2019). Umumnya kondisi fluida dengan hanya satu fasa yang mengalir didalam pipa mempunyai tingkat korosi yang lebih rendah dibandingkan fluida dengan lebih dari satu fasa (multifasa) yang mengalir didalam pipa tersebut, khususnya jika terdapat konsentrasi ion – ion agresif seperti ion klorida (Cl<sup>-</sup>) dan dan gas – gas korosif sebagai produk ikutan dari

sumur seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S. Perubahan dari jenis fluida yang mengalir pada pipa tentunya akan berakibat pada perubahan tingkat korosi yang terjadi, apakah semakin baik ataukah semakin buruk.

Pengaruh lingkungan terhadap terjadinya *pitting corrosion* merupakan keunikan karena adanya larutan yang korosif, misalnya seperti *chloride* dan air akan mempercepat kerusakan material terutama untuk material baja karbon dan *low alloy steel*.

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

terdiri dari slit dan film serta monokromator. Difraktometer sinar-X merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi cuplikan berupa kristal dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Hasil yang diperoleh dari percobaan adalah intensitas relatif ( $I/I_1$ ) dan sudut hamburan ( $2\theta$ ). Hamburan sinar-X berasal dari atom-atom yang membentuk bidang kisi kristal dari sampel yang diamati.

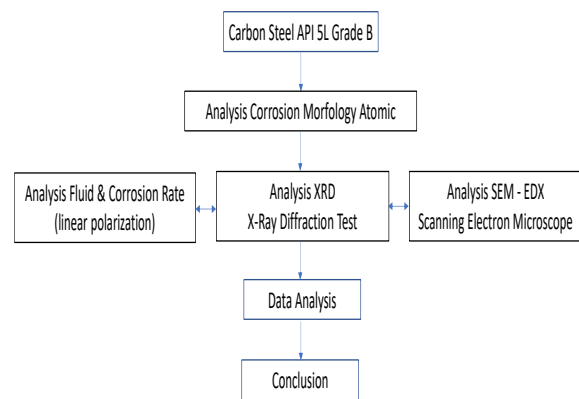
SEM – EDX dilakukan untuk mengetahui unsur – unsur produk korosi. SEM ini merupakan salah satu tipe mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron (*elektron beam*) untuk menghasilkan suatu perbesaran gambar dari sample. Spesifikasi SEM ini mempunyai resolusi sebesar 12,5 Ampere dan besarnya perbesaran adalah antara 15 sampai dengan 240.000 kali serta *Depth of field* sebesar antara 0,5  $\mu\text{m}$  pada 80 kali

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Mengetahui komposisi konsentrasi kimia dan laju korosi larutan air terproduksi yang korosif serta mengetahui atomic morfologi senyawa produk korosi di bagian dalam atas pipa yang terbentuk. Hal tersebut diharapkan dapat bermanfaat bagi peneliti dan professional dalam menambah wawasan ilmu dan dapat dijadikan referensi untuk mengantisipasi laju korosi pada pipa bagian atas (*top of line corrosion*) di bagian dalam pipa baja yang biasa digunakan dalam pipa migas bahwa kegagalan tersebut tidak hanya

terjadi pada pipa gas tapi dapat terjadi juga pada pipa minyak.

## II. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian yang dilakukan dengan pendekatan kuantitatif terdiri dari studi literatur Carbon Steel API 5L Grade B, Analisis Morfologi Korosi (corrosion rate, SEM-EDX) dan Analisis data seperti diagram alir gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Larutan fluida yang mengalir di dalam pipa dilakukan pengujian laboratorium untuk mengetahui komposisi kimia larutan tersebut.

Pipa baja API 5L Grade B dipotong dengan mesin *machining* pada area yang mengalami *pitting corrosion* di bagian dalam atas pipa dengan ukuran specimen lingkaran diameter 150 mm. Kemudian dilakukan uji laju korosi dengan menggunakan tiga sel elektroda dan analisis polarisasi linear dari perangkat lunak AUTOLAB yang sudah terhubung dengan computer.

Setelah itu dilakukan uji XRD (*X-Ray Diffraction*) dengan spesifikasi mesin jenis Philip XRD PW 3710 yang dilengkapi dengan PC dan SEM – EDX model 515 buatan philips (SEM 515) yang dilengkapi fasilitas Energi dispersif sinar-X model PV 9900 (EDAX PV 9900) pada tiga specimen di Laboratorium Metalurgi Universitas Indonesia (CMFA UI) untuk mengetahui bentuk permukaan dan produk korosi di area *pitting corrosion*.

### III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Uji Komposisi Larutan

Hasil pengujian laboratorium terdiri dari unsur – unsur kation dan anion yang terkandung dalam larutan, maka diperoleh hasil seperti tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Hasil Analisa Air Terproduksi

<b>KATION</b>	<b>mg/L</b>	<b>meq/L</b>
Na <sup>+</sup>	6723.8	253.14
Ca <sup>2+</sup>	24.06	2.8
Mg <sup>2+</sup>	9.72	2.4
Fe <sup>3+</sup>	0.15	0.048
<b>ANION</b>	<b>mg/L</b>	<b>meq/L</b>
Cl <sup>-</sup>	10000	192.01
HCO <sup>3-</sup>	3451.4	57.65
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	7.24	2.89
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	841	5.83
OH <sup>-</sup>	0	0

Ion chloride sebesar 10.000 ppm menjadi ion utama dalam air terproduksi dan biasanya hadir sebagai unsur utama dalam *fresh water* begitu pula ion natrium yang memiliki konsentrasi 6723 ppm. Sumber utama ion *chloride* adalah NaCl, sehingga konsentrasi ion *chloride* digunakan untuk menentukan salinitas atau kadar garam. Meskipun deposit garam dapat menimbulkan masalah, hal ini secara normal dianggap sebagai konsekuensi kecil. Masalah utama yang dihubungkan dengan ion klorida adalah korosifitas air akan meningkat apabila air tersebut bertambah asin. Oleh karena itu, konsentrasi *chloride* yang tinggi menyebabkan korosi akan terjadi. Selain itu ion *chloride* merupakan unsur yang stabil dan dengan mengetahui konsentrasinya merupakan salah satu cara termudah dalam mengidentifikasi air.

Kelarutan oksigen dipengaruhi oleh kadar *chloride* pada mana kelarutan optimumnya terjadi pada konsentrasi 3% *chloride*. Dengan demikian laju korosi maksimum terjadi pada konsentrasi ion klorida tersebut. Konsentrasi NaCl dalam larutan akan sangat berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon dalam larutan tersebut. Peningkatan konsentrasi NaCl dalam larutan akan meningkatkan konduktifitas larutan sehingga meningkatkan laju korosi. Namun sebaliknya, peningkatan konsentrasi NaCl akan mengurangi kelarutan agen pereduksi dalam larutan sehingga akan menurunkan laju korosi baja karbon dalam larutan tersebut. Oleh karena itu, konsentrasi NaCl

dapat meningkatkan dan menurunkan laju korosi baja karbon dalam larutan tersebut tergantung pada pengaruh yang dominan yang ditimbulkan oleh konsentrasi NaCl tersebut.

**B. Analisis Laju Korosi**

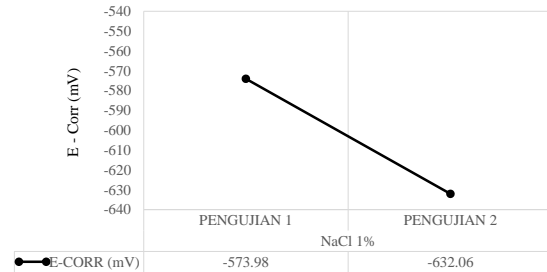
Pada Tabel 2 di bawah ini menunjukkan merupakan hasil pengujian laju korosi pada larutan fluida yang menunjukkan nilai tertinggi 0.15071 mm/year (5.9 mpy). Hal ini menggambarkan bahwa proses korosi terjadi pada bagian dalam material pipa dan ketahanan korosi yang diharapkan tergantung jenis material baja karbon yang terpasang.

Tabel 2 Laju Korosi Baja Karbon dalam larutan

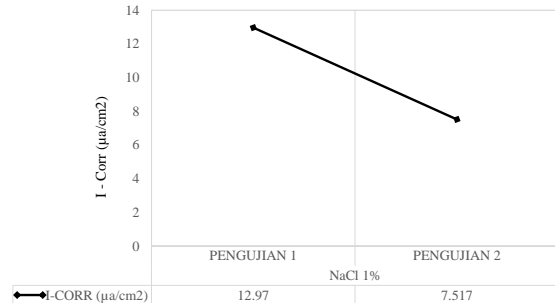
BAJA KARBON	NaCl 1%	
	PENGUJIAN 1	PENGUJIAN 2
E-CORR (mV)	-573.98	-632.06
POL RES. (K.ohm cm <sup>2</sup> )	2.464	2.483
I-CORR (µa/cm <sup>2</sup> )	12.97	7.517
CORR RATE (mm/year)	0.15071	0.087355

Berdasarkan perbandingan hasil pengujian 1 dan pengujian 2 di atas dapat dijelaskan bahwa ketahanan korosi material baja karbon sangat tergantung parameter lain yang mempengaruhi fluida eksisting seperti

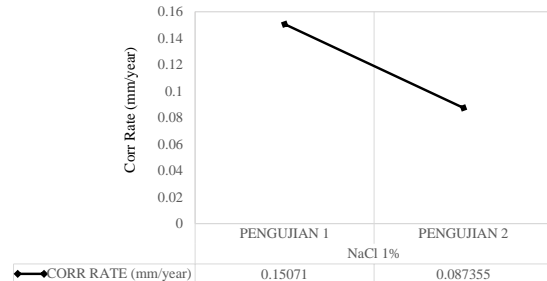
potensial dan arus yang bereaksi di dalam material pipa baja karbon (Jones D.A, 1996).



Gambar 2 E-corr VS Air Terproduksi (10.000 ppm chloride)

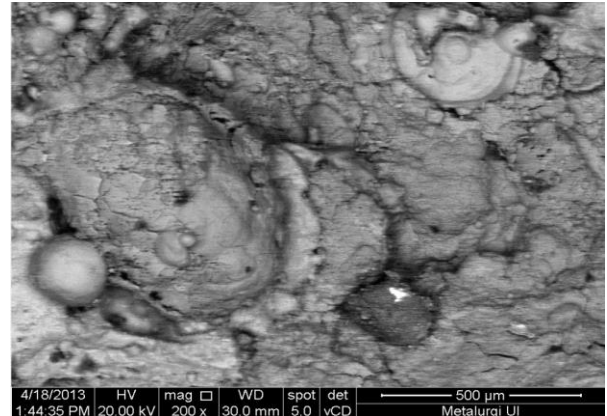


Gambar 3 I-corr VS Air Terproduksi (10.000 ppm chloride)



Gambar 4 Corrosion Rate VS Air Terproduksi (10.000 ppm chloride)

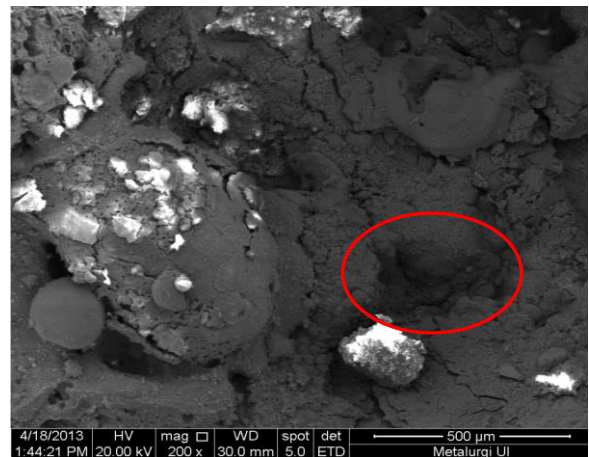
Berdasarkan gambar 2, 3 dan 4 menunjukkan kecenderungan semakin besar potensial korosi dan arus korosi semakin besar pula laju korosi dari material baja karbon. Sebaliknya semakin kecil potensial dan arus korosi semakin kecil laju korosi dari material baja karbon. Adapun untuk laju korosi air terproduksi dengan konsentrasi *chloride* 10.000 ppm berada diantara 3.4 mpy hingga 5.9 mpy termasuk dalam kategori *high risk* yang dapat menyebabkan kerusakan material pipa dalam waktu yang tidak terlampau lama.



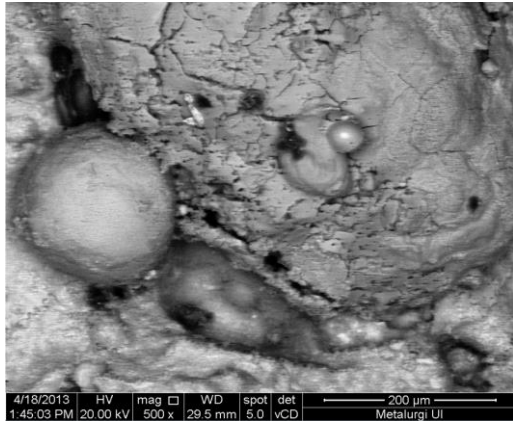
(a)

### C. Analisis Uji SEM - EDX

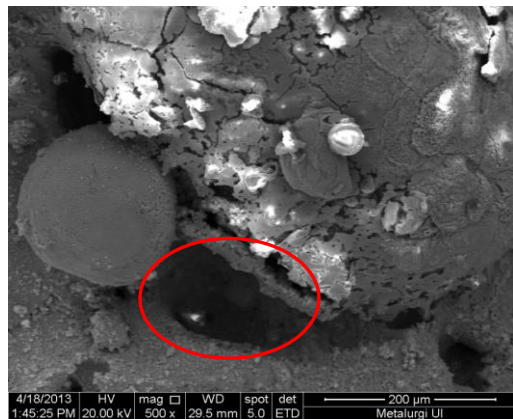
Untuk mengetahui unsur – unsur pembentuk korosi informasi yang lebih detail dari material yang mengalami kegagalan, dilakukan pengujian SEM dan EDX pada daerah yang mengalami serangan korosi seperti ditunjukkan gambar 3.4 di bawah ini. Dari foto – foto pemeriksaan di bawah ini melalui perbesaran 200X – 500X baik dengan black scattered electron (BSE) dan secondary electron (SE) terlihat area yang mengalami *pitting* cukup dalam dan struktur kerak yan memiliki banyak rongga (berporous). Struktur yang demikian merupakan ciri khas dari hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) atau magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).



(b)



(c)



(d)

Gambar 4 (a) – (d) Hasil Analisa SEM dengan Perbesaran 200X – 500X Lapisan Internal Pipa

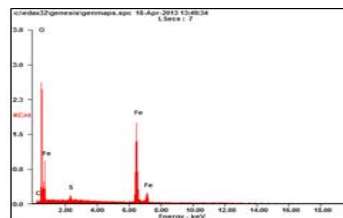
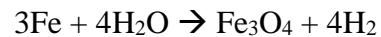
Pada gambar 4 (a) sampai dengan (d) menunjukkan foto – foto analisis SEM perbesaran 200X – 500X dengan area hitam yang dilingkari merah mengidentifikasi adanya area yang mengalami *pitting corrosion* dimana memiliki posisi lebih rendah dan dalam dibanding area yang cerah. Perbedaan warna serta ketinggian menggambarkan kerusakan yang dialami

material akibat korosi di area tersebut.

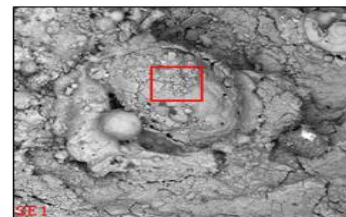
Selanjutnya dilakukan pengujian komposisi (EDX) dengan hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 di bawah. Berdasarkan gambar tersebut pada material bagian 1 ditemukan adanya kandungan/komposisi Fe dan O yang sangat dominan. Adapun adanya titik hitam dalam gambar 5 tersebut merupakan kerak yang mengandung besi oksida yaitu hematite ( $Fe_2O_3$ ) atau magnetite ( $Fe_3O_4$ ) yang terbentuk sesuai dengan reaksi:



Dan

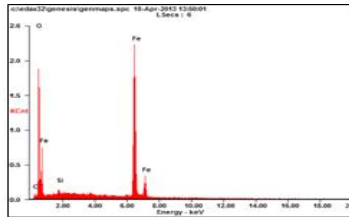


Element	Wt%	At%
CA	03.50	07.21
OK	44.93	69.54
SK	01.20	00.92
FeK	50.37	22.33
Matrix	Correction	ZAF

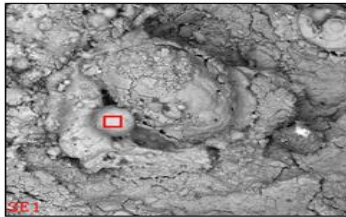


Gambar 5 Hasil Pengujian SEM-EDX Bagian I Pada gambar 6 dari hasil pengujian EDX pada material bagian 2 ditemukan adanya kandungan Si. Kehadiran unsur tersebut mengindikasikan bahwa terjadi deposisi

silicon atau kemungkinan akibat terikutnya pasir dalam air terproduksi ke dalam jalur pipa penyalur minyak (Iler R. K., 1979). Hal ini bisa saja terjadi karena disebabkan untuk memudahkan proses transfer minyak ke Pusat Pengumpul pipa penyalur dipompakan air terproduksi terlebih dahulu sebagai bantalan sebelum minyak ditransfer atau dipompakan.

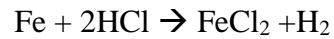


Element	Wt%	At%
CK	03.67	05.77
OK	32.16	57.69
SiK	01.09	01.12
FeK	63.08	32.42
Matrix	Correction	ZAF

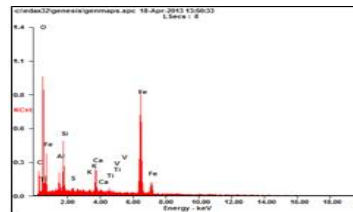
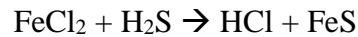


Gambar 6 Hasil Pengujian SEM-EDX Bagian 2  
Pada gambar 7 dari hasil pengujian EDX pada material bagian 3 terkonfirmasi adanya logam dasar meliputi Fe, C, V, Ti, Ca, K, S, Si, Al dan O. Kehadiran unsur Ca dan K menggambarkan kemungkinan besar unsur – unsur tersebut timbul karena terikutnya air terproduksi ke dalam jalur pipa penyalur sebagai bagian proses transfer minyak dari sumur. Sementara deposisi sulfur (S) sebesar 0.48% cukup mengejutkan untuk menyingkap unsur penyebab korosi pada

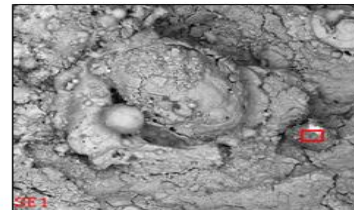
internal pipa. Berdasarkan pengamatan tersebut unsur *Chloride* justru tidak muncul dan hanya unsur S yang hadir pada permukaan berkarat membentuk besi sulfide yang mengganggu oksida pelindung baja karbon. Kemungkinan kerusakan akibat korosi yang terjadi adalah adanya serangan HCl terhadap baja karbon menyebabkan adanya penetrasi ion klorida di permukaan internal bagian atas pipa walaupun tidak ditemukan dalam EDX.



Ketika baja karbon terekspose oleh sulfida menyebabkan reaksi korosi berlanjut:

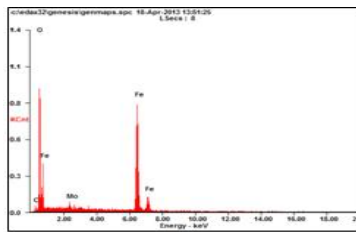


Element	Wt%	At%
CK	16.26	28.45
OK	38.31	50.32
AlK	02.73	02.13
SiK	06.32	04.73
SK	00.48	00.32
KK	00.38	00.20
CaK	03.03	01.59
TiK	00.51	00.22
VK	00.15	00.06
FeK	31.82	11.97
Matrix	Correction	ZAF

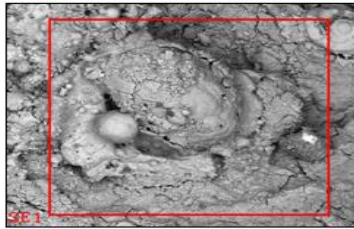


Gambar 7 Hasil Pengujian SEM-EDX Bagian 3  
Pada gambar 8 dari hasil pengujian EDX

pada material bagian 4, ternyata ditemukan adanya kandungan unsur Molybdenum (Mo) yang cukup *significant*, yaitu sebesar 2,13%. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi deposisi Mo pada bagian atas area *pitting corrosion*.



Element	Wt%	At%
CK	04.27	09.30
OK	39.65	64.84
MoL	02.13	00.58
FeK	53.95	25.28
Matrix	Correction	ZAF



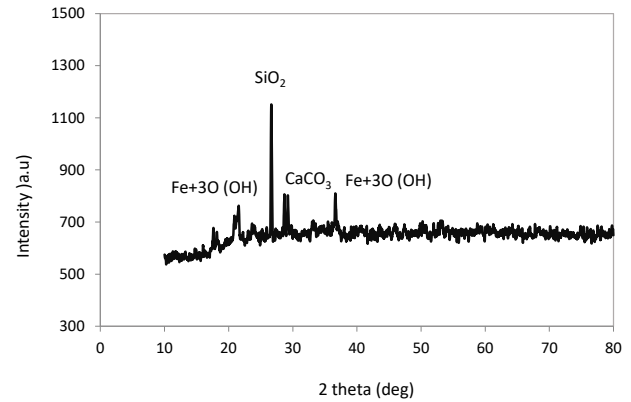
Gambar 8 Hasil Pengujian SEM-EDX Bagian 4

Secara umum berdasarkan hasil SEM – EDX menunjukkan hampir seluruh produk korosi yang dominan terbentuk di sekitar area lubang *pitting corrosion* adalah terbentuknya unsur unsur besi dan oksida.

Selanjutnya setelah mendapatkan informasi unsur unsur produk korosi tersebut dari hasil XRD dapat diketahui kemungkinan senyawa – senyawa yang membentuk produk korosi.

#### D. Analisis Uji X-Ray Diffraction

Gambar 9 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian XRD (*X- Ray Diffraction*).



Gambar 9 Hasil Pengujian XRD

Dari hasil analisa difraktogram XRD yang ditunjukkan pada Gambar 9 diketahui senyawa-senyawa yang membentuk produk korosi, yaitu sebagai berikut:

1.  $\text{SiO}_2$ : Silicon Oxide (Quartz, syn)  
 $2\theta : 26.6$   $I I : 1178$
2.  $\text{Fe+3O(OH)}$ : Iron Oxide Hydroxide (Goethite)  
 $2\theta : 36.6$   $I I : 834$
3.  $\text{CaCO}_3$ : Calcium Carbonate (Calcite)  
 $2\theta : 29.2$   $I I : 826$

Pengujian XRD telah mengkonfigurasi mekanisme *corrosion damage* di area *pitting corrosion*.

**$\text{SiO}_2$  (silicon oxide – Quartz, syn)** merupakan suatu senyawa natural yang mengandung satu anion dengan satu atau lebih atom silikon pusat yang dikelilingi oleh ligan elektronegatif. Jenis silikat yang sering ditemukan umumnya terdiri dari silikon dengan oksigen sebagai ligannya. Anion silikat, dengan muatan listrik negatif, harus mendapatkan pasangan kation lain



untuk membentuk senyawa bermuatan netral. Silika memiliki dua ciri utama yaitu:

1. Setiap atom silicon berada pada pusat suatu tetrahedron yang terdiri dari empat atom oksigen.
2. Setiap atom oksigen berada ditengah tengah antara dua atom silicon.

SiO<sub>2</sub> memiliki sejumlah bentuk kristal yang berbeda (polimorf) selain bentuk – bentuk amorf (Iler R. K., 1979).

**Fe+3O(OH) (Iron Oxide Hydroxide – Goethite)** merupakan senyawa kimia dari besi, oksigen, dan hidrogen dengan formula FeO(OH). Senyawa ini sering dijumpai sebagai salah satu hidratnya, FeO(OH) · nH<sub>2</sub>O. Monohidrat FeO(OH) · H<sub>2</sub>O sering disebut sebagai besi (III) hidroksida Fe(OH)<sub>3</sub>, oksida besi terhidrasi, oksida besi kuning. Oktahedral FeO<sub>3</sub> (OH)<sub>3</sub> (Gambar 1a) terbentuk atas setiap atom Fe yang dikelilingi oleh tiga buah ion O<sup>2-</sup> dan tiga buah ion OH<sup>-</sup> dan oktahedral yang terbentuk mengalami konfigurasi yang terdistorsi. Ikatan ganda pada struktur oktahedra membentuk sudut bersama yang paralel sepanjang arah (100).

**CaCO<sub>3</sub> (Calcium Carbonate – Calcite)** merupakan senyawa yang umum dijumpai pada batu batuan. Kalsium karbonat ialah bahan aktif di dalam kapur, dan tercipta apabila ion Ca di dalam air bereaksi dengan ion karbonat menciptakan *scale*.

Mekanisme *top of line corrosion* yang terjadi menunjukkan terjadinya proses degradasi

atau pengurangan lapisan dalam logam API 5L (Fe<sup>2+</sup>) di lingkungan dengan kandungan fluida yg cenderung asam dan banyak mengandung ion chloride dan sulphate (Cl<sup>-</sup> & SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) dimana terdapat area – area tertentu yang tertutup oleh scale karena adanya keberadaan ion karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) menyebabkan proses korosi pitting (*pitting corrosion*) di area tersebut lebih agresive sehingga lambat laun terjadi kebocoran.

#### IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi larutan yang korosif menunjukkan adanya ion utama yang didominasi oleh ion *chloride* yang menyebabkan kerusakan material (*corrosion damage*).
2. Laju korosi yang dialami pipa dalam larutan fluida yang mengandung *chloride* menunjukkan nilai tertinggi sebesar 5.9 mpy nila ini termasuk dalam kategori cukup berbahaya merusak material baja karbon.
3. *Mechanism corrosion damage* yang menimbulkan kerusakan/kegagalan pada material API 5 L Grade B adalah timbulnya *pitting corrosion* di bagian dalam atas pipa (*top of line*) akibat konsentersasi *chloride* yang tinggi disertai perubahan struktur atom yang menyebabkan degradasi material akibat adanya reaksi dengan Oksida dan sulfida menimbulkan produk korosi.
4. Analisis SEM-EDX menunjukkan

susunan atom dari material yang terkorosi telah berubah, diantaranya selain adanya atom Fe juga terdapat atom O, C, V, Ti, Ca, K, S, Si, Al dan Mo. Hal tersebut menyebabkan adanya variasi ikatan zat - zat kimia yang terjadi sehingga laju korosi lebih cepat sehingga terjadi *metal loss (degradasi material)*.

5. Analisis XRD menunjukkan produk korosi yang nampak pada area yang terkena serangan korosi dominan penyusun unsur - unsur berupa besi dan oksida serta membentuk senyawa – senyawa yang dominan seperti SiO<sub>2</sub>, Fe+3O(OH) dan CaCO<sub>3</sub>.
6. Untuk menghambat laju korosi pipa API 5L grade B yang dilalui fluida air terproduksi salah satu metode penanggulangan adalah perlunya dilakukan pemilihan inhibitor yang tepat untuk mengatasi hal tersebut.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- Apri, M. P., Imam, R., Heri, S. (2012). **Studi Laju Korosi dan Surface Morfologi Pipa Bawah Laut Pipa API 5L Grade X65 dengan Variasi Sudut Bending**. Jurnal Teknik ITS, 1(1),198-202.  
<http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v1i1.1898>
- ASTM G46-94. (2002). **Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion**. ASTM: United State.
- Fontana, M. G. (1986). **Corrosion Engineering**. Houston: McGraw-Hill.
- Iler, R.K. (1979). **The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry**. New York : John Wiley and Sons Ltd.
- Jones, D. A. (1996). **Principles and Prevention of Corrosion**. Singapura: Maxwell Macmillan.
- Klug, H.P., Alexander. (1974). **X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Material**.New York : Wiley & Sons.
- Nadya, L. K., Agung, N. (2015). **Perbandingan Antara Metode Hidrotermal dan Metode Pengadukan untuk Pembuatan Goethite dengan Parameter Kemurnian**. Journal Scientific Publication Instrumentasi, 39(2),1-7.  
<http://dx.doi.org/10.14203/instrumentasi.v39i2.95>
- Nendi, S. S., Sri, S., Otong, N., Febi, L. (2015). **Analisa Tegangan pada Pipa Baja API 5L Grade B terhadap Laju Korosi dalam Larutan NaCl dan Asam Asetat**. Jurnal Fisika Indonesia, 19(56),9-12.  
<https://doi.org/10.22146/jfi.24351>
- Sulistioso, Ihsan, Komarudin. (2004). **Analisa Korosi dari SS 440C pada Media Air Tawar dan Air Laut**. Indonesian Journal of Materials Science, 6(1), 7-12.  
<http://dx.doi.org/10.17146/jsmi.2004.6.1.4914>
- Supriyadi, S. (2019). **Studi Laju Korosi Internal Pipa Baja Api 5L Grade B Berdasarkan Metode Pengukuran**

**Metal Loss Dengan Ultrasonic Dan Polarisasi Resistance Dengan Variasi Konsentrasi Klorida.** Jurnal Pilar Teknologi.4(2),80-88.

<https://doi.org/10.33319/piltek.v4i2.43>.

Supriyadi,S.(2020). **Pengaruh Konsentrasi Klorida Terhadap Laju Korosi Internal Pipa Baja API 5L Grade B Menggunakan Metode Pengukuran Metal Loss Dengan Ultrasonic.** Simetris, 14(1),43-47. retrieved from <https://www.sttcepu.ac.id/jurnal/index.php/simetris/article/view/116>

Wordpress. (2017). **Material Lounge.** retrieved from <http://yudiprasetyo53.wordpress.com/2011/11/07/scanning-electron-microscope-sem-dan-optical-emission-spectroscope-oes/>