

## ANALISA KOROSI RETAK REGANGAN TEGANGAN PADA PIPA BAJA KARBON API 5L-X65 DALAM LARUTAN 7900 ML AIR LAUT DAN 100 ML AMONIAK DENGAN DIISI GAS CO<sub>2</sub> DAN H<sub>2</sub>S DALAM KEADAAN JENUH

Nendi Suhendi Syafei<sup>1)</sup>, Darmawan Hidayat<sup>2)</sup>, Bernard Y Tumbelaka<sup>3)</sup>, Liu Kin Men<sup>4)</sup>.

<sup>1,2,3)</sup> Teknik Elektro, <sup>4)</sup> Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran.  
Jl. Raya Bandung Sumedang Km. 21 Jatinangor 45363.  
Email : [n.suhendi@unpad.ac.id](mailto:n.suhendi@unpad.ac.id)

**Abstrak.** Berdasarkan hasil penelitian pipa baja karbon API 5L-X65 digunakan rumah sampel dengan spesimen tiga titik pembebanan berada lingkungan gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S jenuh dalam larutan 7900 air laut, maka akan terjadi peristiwa fenomena korosi. Peristiwa korosi yang terjadi adalah korosi retak tegangan transgranular dan intergranular, sedangkan laju korosi yang terjadi semakin besar dan dalamnya crack semakin dalam dengan defleksi yang diberikan semakin besar untuk waktu paparan yang sama. Laju korosi dengan variasi defleksi berdasarkan grafik berbentuk fungsi polynomial  $y = 0,2511x^2 - 0,0209x - 0,0209$  untuk waktu paparan 336 jam,  $y = 0,3871x^2 - 0,3819x + 0,3296$  untuk waktu paparan 672 jam dan  $y = 0,1046x^2 - 0,1221x + 0,1674$  untuk waktu paparan 1008 jam. Dan berdasarkan hasil mikrostruktur bahwa dalamnya crack untuk waktu paparan 336 jam adalah 62,36  $\mu\text{m}$  dengan defleksi 0,5 cm, 76,76  $\mu\text{m}$  dengan defleksi 1,0 cm dan 79,89  $\mu\text{m}$  dengan defleksi 1,5 cm. Dalamnya crack untuk waktu paparan 672 jam adalah 66,98  $\mu\text{m}$  dengan defleksi 0,5 cm, 69,93  $\mu\text{m}$  dengan defleksi 1,0 cm dan 89,86  $\mu\text{m}$  dengan defleksi 1,5 cm. Dan Dalamnya crack untuk waktu paparan 1008 jam adalah 65,32  $\mu\text{m}$  dengan defleksi 0,5 cm, 90,79  $\mu\text{m}$  dengan defleksi 1,0 cm dan 116,99  $\mu\text{m}$  dengan defleksi 1,5 cm.

**Kata kunci :** korosi retak tegangan, sweet gas, spesimen tiga titik pembebanan.

### 1. Pendahuluan.

Penelitian laju korosi pada pipa baja karbon API 5L-Grade B pada di lingkungan gas H<sub>2</sub>S kondisi CO<sub>2</sub> jenuh dalam larutan NaCl (Nendi Suhendi Syafei, Universitas Padjadjaran 2014)<sup>[1]</sup>, Laju korosi pada pipa baja karbon API 5L-Grade B di lingkungan gas H<sub>2</sub>S dan kondisi CO<sub>2</sub> jenuh dalam larutan NaCl dan larutan asam asetat (Nendi Suhendi Syafei, jurnal Fisika Indonesia no.55, Vol. XIX, edisi Nopember 2015, ISSN. 1410-2994)<sup>[2]</sup>, Kajian Koorosi Retak Tegangan Akibat Sweet Gas (H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> Pada Pipa Baja Karbon API 5L-X65 Terhadap Laju Korosi Dalam Larutan Asam Asetat dan Dianalisis dengan Metoda Ultrasonik (Nendi Suhendi, 2016 Universitas Padjadjaran)<sup>[3]</sup>. Kajian korosi retak tegangan akibat sweet gas (H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub>) pada pipa baja karbon API 5L-X65 terhadap laju korosi dalam larutan asam asetat (Nendi Suhendi Syafei, Prosiding Semnas Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri, Malang 4 februari 2017)<sup>[4]</sup>. Karakteristik Pipa Baja Karbon API 5L-X65 dengan Metoda Pembebanan Tiga Titik pada Lingkungan Gas H<sub>2</sub>S Kondisi Jenuh CO<sub>2</sub> dalam Larutan Asam Asetat (Nendi Suhendi Syafei, Prosiding Seminar Nasional Energi dan Teknologi atau SINERGI 2017, Bekasi 9 Mei 2017)<sup>[5]</sup>. Analisis Pipa Baja Karbon API 5L-X65 dengan Metoda Pembebanan Tiga Titik pada Lingkungan Gas H<sub>2</sub>S Kondisi Jenuh CO<sub>2</sub> dalam Larutan Asam Asetat (Nendi Suhendi Syafei, Seminar Nasional SENFA 2017, Balai Sawala Universitas Padjadjaran, 22 Juli 2017)<sup>[6]</sup>. Pengujian Kekerasan dan Uji Tarik Untuk Menentukan Koefisien Pengerasan  $n$  Suatu Bahan API 5L-X65. (Nendi Suhendi Syafei, Darmawan Hidayat, Dessy Novita, Bernard Y Tumbelaka, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXXI HFI Jateng & DIY, Yogyakarta 18 Maret 2017 ISSN : 0853-0823)<sup>[7]</sup>. Analisa fenomena korosi pelat pipa baja karbon API 5L-X65 dalam larutan 250 ml asam asetat dan 4750 aquades pada kondisi gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S jenuh pada suhu ruang (Nendi Suhendi Syafei, Darmawan Hidayat, Bernard Y Tumbelaka, Liu Kin Men, Jurnal Eksakta Vol. 18 N0.2, Oktober 2017 halaman 113-120, E-ISSN:2549-7464, P-ISSN:1411-3724)<sup>[8]</sup>. Laju korosi pada pipa baja karbon API 5L-X65 dengan metoda tiga titik pembebanan pada larutan asam asetat dengan diisi gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dalam keadaan jenuh, Nendi Suhendi Syafei - Darmawan Hidayat - Bernard Y Tumbelaka - Liu Kin Men, Simposium Nasional RAPI XVI – 2017 FT UMS ISSN 1412-9612 halaman 202-207<sup>[9]</sup>. Dalam industri migas bila terjadi korosi retak regangan akan mengakibatkan fatal, yaitu pecahnya pipa sehingga akan mengakibatkan produksi migas akan terhenti.

Dari hasil penelitian pada pipa baja karbon API 5L-X60 yaitu 17H<sub>2</sub>S akan rentan terhadap korosi retak tegangan. Dan sifat mekanik pipa baja karbon API 5L-X60 terdegradasi menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap korosi retak tegangan dari pada pipa baja karbon. Berdasarkan hasil pengamatan dengan fraktografik bahwa pipa baja karbon akibat proses embrittlement hidrogen akan terjadi korosi retak tegangan, yaitu akibat disebabkan oleh atom hidrogen yang meresap kedalam pipa baja karbon (O. I. Zvirko , S. F. Savula , V. M. Tsependa , G. Gabetta , H. M. Nykyforchyn, 2016)<sup>[10]</sup>.

Ketahanan korosi yang tinggi pada pipa baja karbon tahan karat (super martensit) pada umumnya digunakan dalam industri minyak dan gas, yaitu terutama di lingkungan asam. Namun ada beberapa yang rentan dengan adanya hidrogen dan mekanisme proses korosi akan terjadi dengan adanya H<sub>2</sub>S serta tergantung pada pH. H<sub>2</sub>S akan berdifusi merembes di sepanjang struktur logam maka akan terbentuk pori logam sulfida karena bereaksi pada permukaan logam, sehingga akan membebaskan hidrogen terikat dengan sulfur yang dapat diserapnya dan hidrogen yang ada dalam larutan H<sub>2</sub>S secara tidak langsung menyebabkan kegagalan (Martin Monnota, Ricardo P. Nogueira, Virginie Roche, Grégory Berthomé, Eric Chauveau, Rafael Estevez, Marc Mantel, 2017)<sup>[11]</sup>.

Hal ini menyebabkan hilangnya sifat mekanik awal terutama ketahanan terhadap patah getas, yaitu berdasarkan perhitungan teknik pada tahap desain pipa. Pada waktu bersamaan korosi retak tegang telah diidentifikasi sebagai salah satu kegagalan dominan pada pipa baja karbon di lingkungan lembab, yaitu akan menyebabkan pecahnya pipa transmisi gas bertekanan tinggi serta kerugian ekonomi yang serius dan bencana. ( O. I. Zvirko , S. F. Savula , V. M. Tsependa , G. Gabetta , H. M. Nykyforchyn, Procedia Structural Integrity 2 (2016) 509–516. 20-24 June 2016)<sup>[12]</sup>.

## 2. Pembahasan

Berdasarkan tabel 1 (kondisi awal larutan 7900 ml air laut dan 100 ml amoniak mempunyai PH 14 yaitu kondisi basa sedangkan setelah diperlakukan dengan waktu paparan 336 jam bahwa PH akhirnya tetap dalam kondisi basa yaitu menjadi 10, dan waktu paparan 672 jam maupun waktu paparan 1008 jam bahwa PH akhir menjadi 9), tabel 2, tabel 3 dan gambar 4 bahwa laju korosi semakin besar bila sampel uji diberi defleksi semakin tinggi, dan berdasarkan hasil mikrostruktur bahwa dalamnya crack akan semakin besar seperti ditunjukkan pada gambar 6 bila sampel uji diberi defleksi semakin tinggi karena semakin besar defleksi maka tegangan yang diberikan pada sampel uji semakin besar untuk waktu paparan yang sama.

Dan berdasarkan mikrostruktur seperti ditunjukkan pada gambar 5 bahwa sampel uji yang berada pada larutan 7900 ml air laut dan 100 ml amoniak dengan kondisi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dalam keadaan jenuh untuk waktu paparan 336 jam, 672 jam dan 1008 jam ternyata terjadi peristiwa korosi yaitu korosi retak tegangan transgranular dan intergranular.

### 2.1. Tabel

Dan berdasarkan dari hasil penelitian diperoleh seperti pada tabel 1 bahwa kondisi awal larutan 7900 ml air laut dan 100 ml amoniak dengan PH 14 dan kondisi akhirnya dengan PH 9 dan tabel 1, tabel 3 data laju korosi terhadap defleksi dengan waktu paparan yang sama pada suhu ruang dan hasil dari perhitungan regangan (stress) seperti pada tabel 2 berdasarkan metoda spesimen tiga titik pembebanan.

Tabel 1. Data penelitian laju korosi pada suhu ruang.

No.	M awal (gr)	M akhir (gr)	PH awal	PH akhir	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Defleksi (y) cm	Dalam Crack awal (cm)	Waktu Paparan (Jam)	Laju Korosi (mmpy)
A-1	52.99	52.96	14	10	13.1	2.42	2.4	0.5	0.02	336	0.031388956
A-2	53.73	53.53	14	10	13.1	2.42	2.4	1	0.02	336	0.209259709
A-3	53.18	52.69	14	10	13.1	2.42	2.4	1.5	0.02	336	0.512686287
B-1	53.21	52.76	14	9	13.1	2.42	2.4	0.5	0.02	672	0.235417172
B-2	53.29	52.65	14	9	13.1	2.42	2.4	1	0.02	672	0.334815534
B-3	53.96	52.76	14	9	13.1	2.42	2.4	1.5	0.02	672	0.627779127
C-1	53.33	52.95	14	9	13.1	2.42	2.4	0.5	0.02	1008	0.132531149
C-2	53.13	52.7	14	9	13.1	2.42	2.4	1	0.02	1008	0.149969458

No.	M awal (gr)	M akhir (gr)	PH awal	PH akhir	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Defleksi (y) cm	Dalam Crack awal (cm)	Waktu Paparan (Jam)	Laju Korosi (mmpy)
C-3	53.26	52.63	14	9	13.1	2.42	2.4	1.5	0.02	1008	0.219722694

Tabel 2. Data Perhitungan Tegangan.

No	E (N/m <sup>2</sup> )	t (m)	y (m)	H (m)	H <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	σ (N/m <sup>2</sup> )
1	2.05E+11	0.0022	0.005	0.0946	0.00894916	1511873740
2	2.05E+11	0.0022	0.01	0.0946	0.00894916	3023747480
3	2.05E+11	0.0022	0.015	0.0946	0.00894916	4535621220

Tabel 3. Data laju korosi terhadap defleksi dengan waktu paparan yang sama pada suhu ruang.

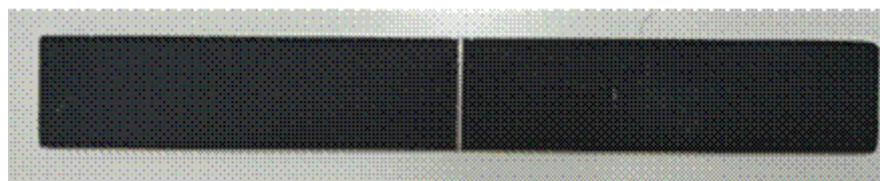
No.	Waktu paparan (jam)	Defleksi (cm)	Laju Korosi (mmpy)
1	336	0.5	0.031388956
	336	1	0.209259709
	336	1.5	0.512686287
2	672	0.5	0.235417172
	672	1	0.334815534
	672	1.5	0.627779127
3	1008	0.5	0.132531149
	1008	1	0.149969458
	1008	1.5	0.219722694

## 2.2. Gambar Dan Keterangan Gambar

Untuk membuat rumah sampel uji koros diperlukan lembaran baja berupa pelat atau flat extruded section yang berpenampang lintang persegi panjang. Selain itu dapat juga digunakan besi cor atau besi dalam bentuk balok seperti terlihat pada Gambar 1.



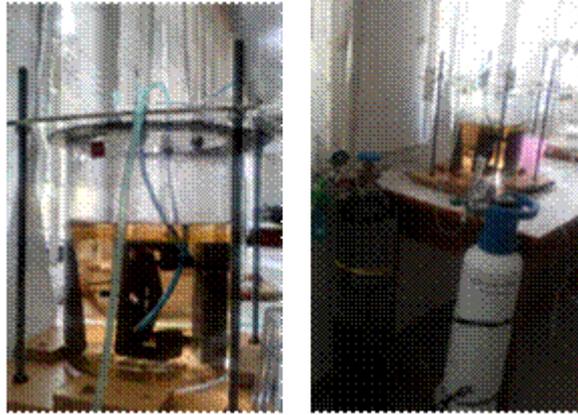
(a) Bentuk holder dan pemasangan sampel uji.



(b) Bentuk sampel uji API 5L-X65<sup>[13]</sup>.

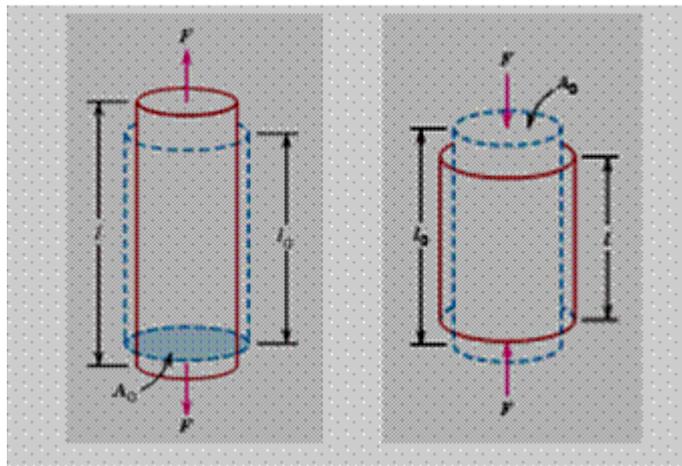
Gambar 1. (a) Bentuk holder dan pemasangan spesimen uji dan (b) Bentuk sampel uji.

Penelitian yang dilakukan bahwa bahan plat baja karbon API 5L-X65 tersimpan dalam holder kemudian dimasukkan kedalam ruang chamber berisi air laut 4900 ml dan 100 ml amoniak seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



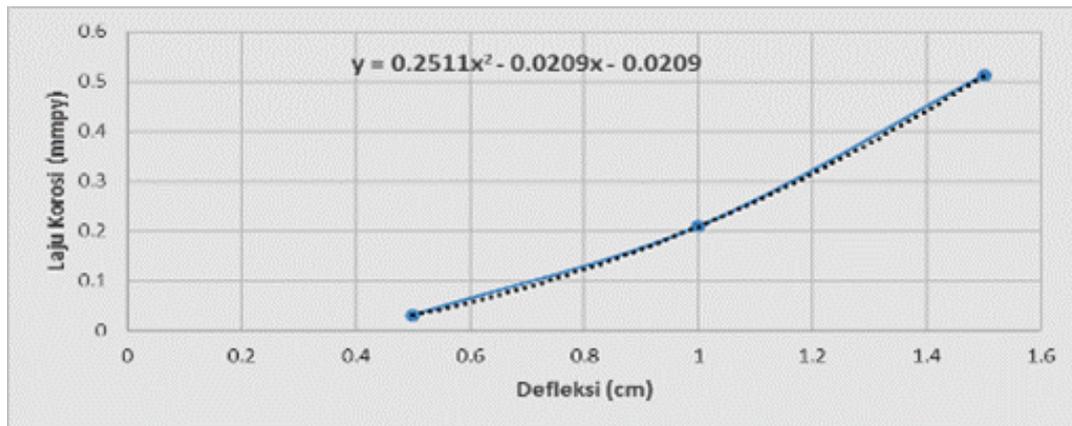
Gambar 2. Chamber uji korosi.

Uji tarik adalah uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

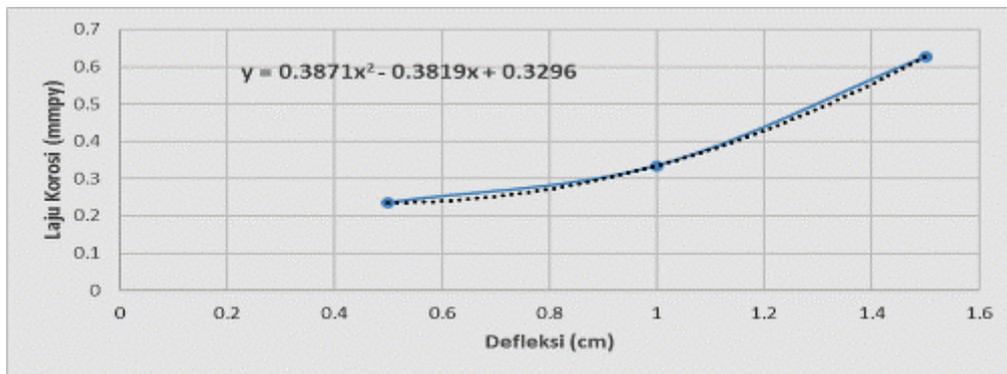


Gambar 3 . Prinsip dasar tegangan/stress.( Callister, D. William 2007)<sup>[14]</sup>.

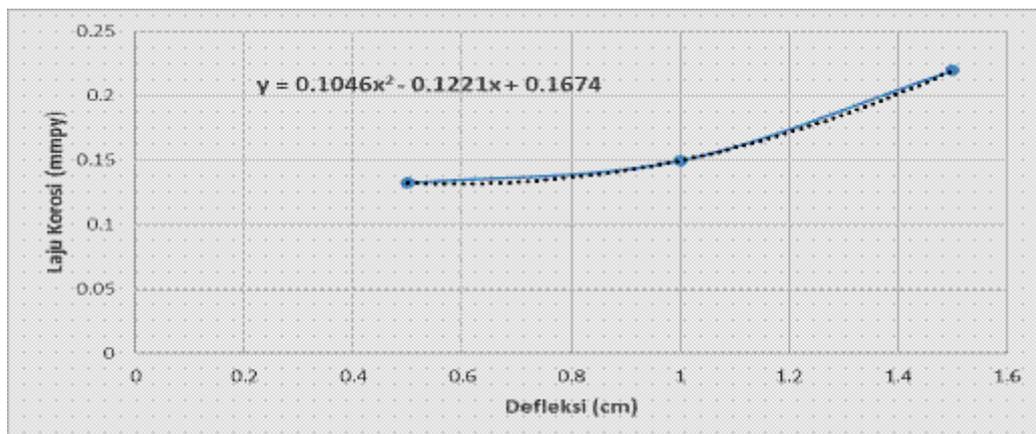
Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 3 maka diplot grafik laju korosi terhadap defleksi untuk waktu paparan yang sama seperti pada Gambar (4) yaitu untuk waktu paparan 336 jam seperti pada Gambar (4.a), untuk waktu paparan 672 jam seperti pada Gambar (4.b) dan untuk waktu paparan 1008 jam seperti pada Gambar (4.c).



(a) untuk waktu paparan 336 jam.



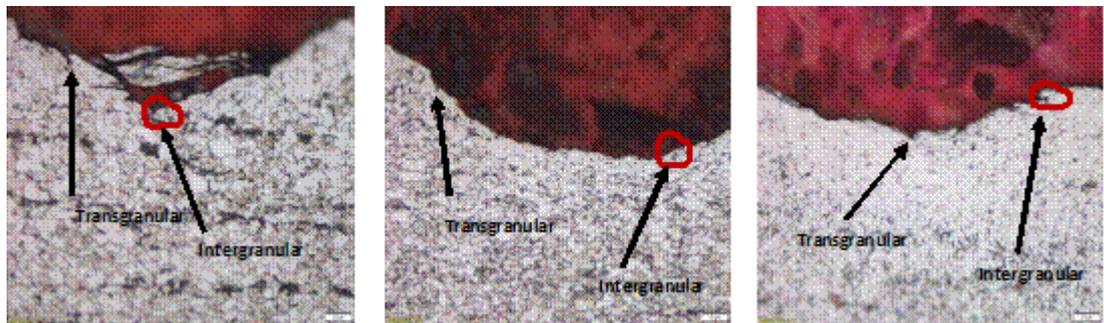
(b) untuk waktu paparan 672 jam



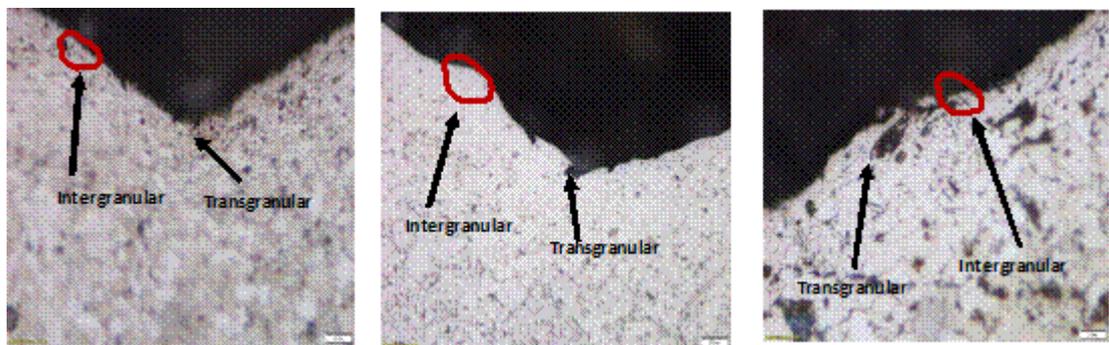
(c) untuk waktu paparan 1008 jam

Gambar 4. (a) Grafik laju korosi terhadap variasi defleksi untuk waktu paparan 336 jam, (b) untuk waktu paparan 672 jam dan (c) untuk waktu paparan 1008 jam .

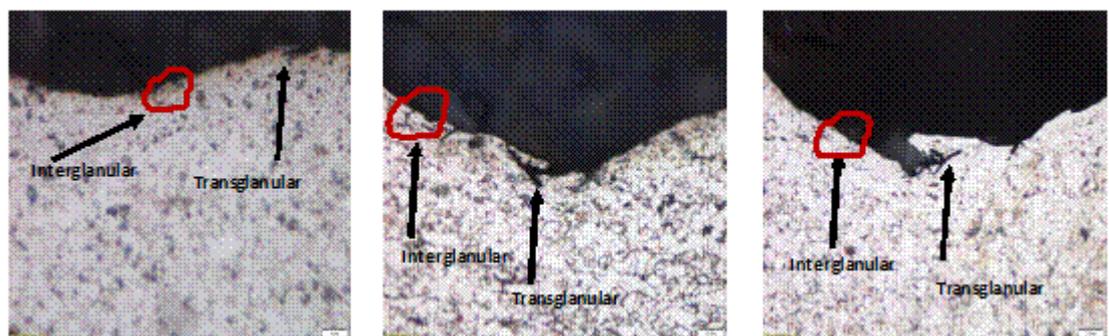
Berdasarkan hasil mikrostruktur untuk tiap waktu paparan terlihat seperti pada Gambar (5) yaitu Gambar (5.a) untuk waktu paparan 336 jam, Gambar (5.b) untuk waktu papara 672 jam dan Gambar(5.c) untuk waktu paparan 1008 jam.



(1) defleksi 0,5 cm. (2) defleksi 1,0 cm. (3) defleksi 1,5 cm.  
(a) Waktu paparan 336 jam.



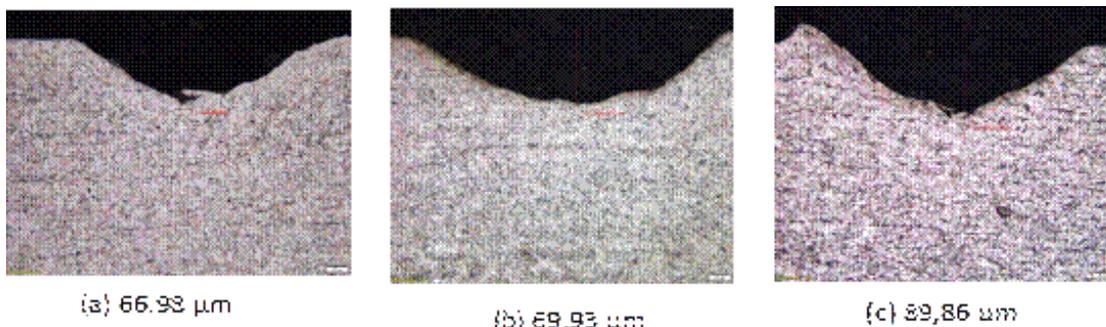
(1) defleksi 0,5 cm. (2) defleksi 1,0 cm. (3) defleksi 1,5 cm  
(b) Waktu paparan 672 jam.



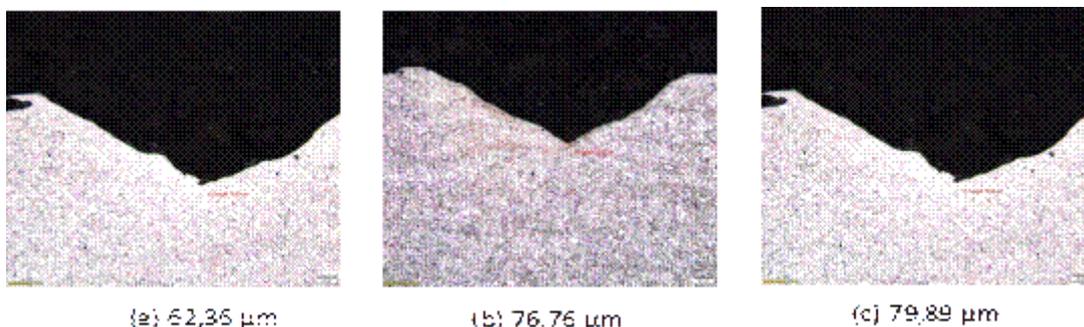
(1) defleksi 0,5 cm. (2) defleksi 1,0 cm. (3) defleksi 1,5 cm  
(c) Waktu paparan 1008 jam.

Gambar 5. Mikrostruktur sampel hasil uji korosi baja karbon API 5L-X65 terjadi korosi retak tegangan (scc = stress corrosion cracking) transgranular dan intergranular, (a) untuk waktu paparan 336 jam, (b) untuk waktu paparan 672 jam dan (c) untuk waktu paparan 1008 jam.

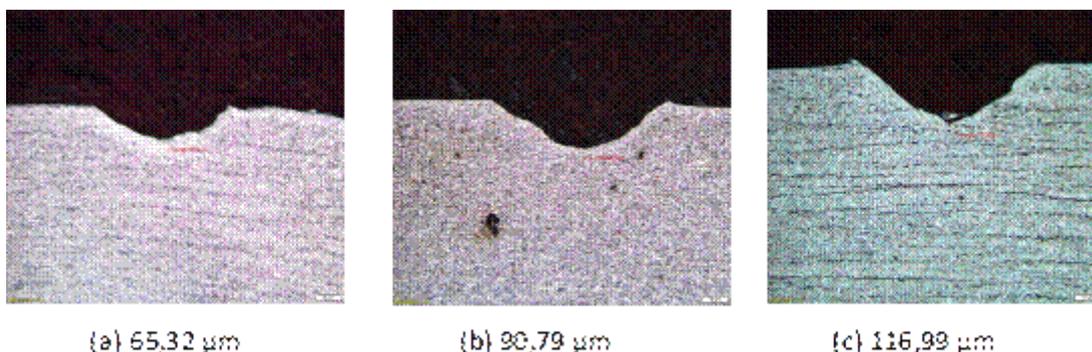
Hasil mikrostruktur bahwa dalamnya crack dengan varaisi defleksi seperti ditunjukkan pada Gambar 6 yaitu untuk waktu paparan 336 jam pada Gambar (6.a), untuk waktu paparan 672 jam pada Gambar (6.b) dan untuk waktu paparan 1008 jam pada Gambar (6.c).



(a) Waktu paparan 336 jam.



(b) Waktu paparan 672 jam.



(c) Waktu paparan 1008 jam.

Gambar 6. Dalamnya crack hasil mikrostruktur dengan variasi defleksi (a) untuk waktu paparan 336 jam, (b) untuk waktu paparan 662 jam dan (b) untuk waktu paparan 1008 jam.

### 2.3. Persamaan

Untuk membuat rumah sampel uji koros diperlukan lembaran baja berupa pelat atau flat extruded section yang berpenampang lintang persegi panjang atau dapat juga digunakan besi cor atau besi dalam bentuk balok seperti terlihat pada gambar (1.b). Material yang akan diuji diiris dalam bentuk tipis kemudian ditekuk pada kedua ujungnya sehingga mendapatkan tegangan, dan besarnya tegangan dapat diatur dengan memberikan lendutan melalui skrup yang digerakkan dengan ulir seperti pada Gambar (1.a). Dan penelitian ini menggunakan plat baja karbon API 5L-X65 dengan panjang 12,5 cm, lebar 2 cm dan tebalnya 2 mm disimpan pada holder spesimen tiga titik pembebanan seperti pada

gambar (1.a) dimasukkan kedalam ruang chamber uji korosi sebanyak 3 sampel uji korosi dengan variasi defleksi seperti pada Gambar (2) (Nendi Suhendi Syafei, 2016).

Penelitian yang dilakukan bahwa bahan plat baja karbon API 5L-X65 tersimpan dalam holder kemudian dimasukkan kedalam ruang chamber berisi air laut 4900 ml dan 100 ml amoniak seperti ditunjukkan pada gambar 2. Populasi sampel uji korosi setiap variasi waktu terdiri tiga buah plat baja karbon API 5L-X65 dengan tiga variasi defleksi, sedangkan berat sebelum dan sesudah diuji korosi ditimbang.

Dalam pengujiannya bahwa bahan uji ditarik sampai putus dan biasanya yang menjadi fokus adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban tarik, dan kemampuan/kekuatan tarik maksimum ini umumnya disebut "*Ultimate Tensile Strength (UTS)*". Perubahan panjang dalam kurva disebut sebagai regangan teknik ( $\epsilon_{eng}$ ), yang didefinisikan sebagai perubahan panjang yang terjadi akibat perubahan statik ( $\Delta L$ ) terhadap panjang batang mula-mula ( $L_0$ ). Tegangan yang dihasilkan pada proses ini disebut dengan tegangan teknik ( $\sigma_{eng}$ ), dimana didefinisikan sebagai nilai pembebanan yang terjadi ( $F$ ) pada suatu luas penampang awal ( $A_0$ ). Tegangan normal tersebut akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\sigma = F/A_0 \quad (1)$$

dengan :

$\sigma$  = Tegangan normal akibat beban tarik statik ( $N/mm^2$ ).

$F$  = Beban tarik (N).

$A_0$  = Luas penampang spesimen mula-mula ( $mm^2$ ) seperti gambar 3.

Regangan akibat beban tarik statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\epsilon = \Delta L/L \quad (2)$$

Dengan:

$\Delta L = L - L_0$ ,  $\epsilon$  = Regangan akibat beban tarik static.

$L$  = Perubahan panjang spesimen akibat beban tarik (mm).

$L_0$  = Panjang spesimen mula-mula (mm).

Spesimen berbentuk keping datar mempunyai dimensi lebar, panjang, dan ketebalan spesimen biasanya ditentukan produk bahan yang dipakai. Penyangga spesimen dikedua ujung dimana spesimen ditebuk/ditekan dengan sekrup (dilengkapi dengan bola), penyangga berada di pertengahan bidang. Dimensi spesimen yang digunakan dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan spesifik (bahan yang digunakan), tetapi diperkirakan dimensinya secara proposional. Perhitungan tegangan elastic seperti pada persamaan berikut :

$$\sigma = 6 E t y/H^2 \quad (3)$$

dengan:

$\sigma$  = tegangan tarik maksimum ( $N/m^2$ ).

$E$  = modulus elastisitas ( $N/m^2$ ).

$t$  = ketebalan spesimen (mm)

$y$  = defleksi maksimum (mm).

$H$ = jarak antara penyangga luar(mm) dan defleksi kecil ( $y / H$  kurang dari 0,1) seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Spesimen keping datar dengan 25-51 mm (1-2 inci), panjang 127-254 mm (5 - 10 inci) dan ketebalan spesimen biasanya ditentukan produk bahan yang dipakai seperti pada Gambar (1.a).

Data yang diperoleh berdasarkan berat sebelum dan sesudah diuji korosi diperoleh untuk menghitung laju korosinya, dan sampel uji tersebut kemudian diuji dengan menggunakan mikrostruktur akan terlihat bahwa gambar plat baja karbon terjadi korosi serta panjang cracknya. Penelitian ini perlu dikembangkan dengan menggunakan metoda ultrasonik untuk mengetahui panjang crack (dalamnya crack) yaitu berdasarkan pantulan gelombang yang mengenai permukaan plat baja karbon. Pelat baja karbon API 5L-X65 yang berada dalam ruang chamber uji korosi diisikan gas  $CO_2$  kondisi jenuh, dan diisikan pula gas  $H_2S$  selama 10 menit dengan selang dua hari sekali, dan diperoleh datanya seperti pada data Tabel 1, Tabel 2 Dan Tabel 3.

### 3. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian sampel uji baja karbon API 5L-X65 dalam larutan 7900 ml air laut dan 100 ml amoniak dengan kondisi gas  $CO_2$  dan  $H_2S$  dalam keadaan jenuh bahwa:

1. Laju korosi akan makin besar bila defleksi yang diberikan semakin besar karena tegangan  $\sigma$  yang terjadi pada sampel uji akan semakin besar.
2. Dalamnya crack semakin dalam bila defleksi yang diberikan semakin besar karena tegangan  $\sigma$  yang terjadi pada akan semakin besar sesuai hasil uji mikrostruktur.
3. Peristiwa korosi yang terjadi adalah korosi retak tegangan transgranular dan intergranular sesuai hasil mikrostruktur.

#### Ucapan Terima Kasih

1. Saya ucapkan terima kasih atas bantuannya serta masukkan kepada rekan-rekan dosen dan tendik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran.
2. Ucapan terima kasih bahwa penelitian ini didanai dari hibah internal Unpad (HIU) dengan no kontrak **872/UN6.3.1/LT/2017**.

#### Daftar Pustaka

- [1]. Nendi Suhendi-Sri Suryaningsih-Otong Nurhilal, Nopember 2014 Kajian Korosi Retak Tegangan akibat sweet gas ( $H_2S$  dan  $CO_2$ ) pada Pipa Baja Karbon, FMIPA Universitas Padjadjaran.
- [2]. Nendi Suhendi Syafei, Sri Suyaningsih, Otong Nurhilal, Febi Luthfiani. Ed. Nov. 2015, Analisa Regangan (Stress) Pada Pipa Baja Karbon API 5L Grade-B Terhadap Laju Korosi Dalam Larutan NaCl dan Asam Asetat, Jurnal Fisika Indonesia No. 56 Vol. XIX ISSN 1410-2994.
- [3]. Nendi Suhendi Syafei-Zaida-Liu Kin Men, Desember 2016 Kajian Korosi Retak Tegangan akibat sweet gas ( $H_2S$  dan  $CO_2$ ) pada pipa baa karbon API 5L-X65 terhadap Laju Korosi dalam Larutan Asam Asetat dan Dianalisis dengan Metoda Ultrasonik, Program Studi Teknik elektro FMIPA Universitas Padjadjaran.
- [4]. Nendi Suhendi Syafei-Darmawan Hidayat- Bernard Y Tumbelaka-Zaida- Liu Kin Men, 4 Februari 2017, Analisa Laju Korosi pada Pipa Baja Karbon API 5L-X65 dengan Metoda Pembebanan Tiga Titik pada Lingkungan Gas  $H_2S$  Kondisi Jenuh  $CO_2$  dalam Larutan Asam Asetat, Prosiding Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri, ITN Malang, hal. D12.1-D12.5, ISSN 2085-4218.
- [5]. Nendi Suhendi Syafei-Darmawan Hidayat-Bernard Y Tumbelaka-Karakteristik-Muhammad Taufik, 9 Mei 2017, Pipa Baja Karbon API 5L-X65 dengan Metoda Pembebanan Tiga Titik pada Lingkungan Gas  $H_2S$  Kondisi Jenuh  $CO_2$  dalam Larutan Asam Asetat (Nendi Suhendi Syafei, Prosiding Seminar Nasional Energi dan Teknologi atau SINERGI 2017, Bekasi.
- [6]. Nendi Suhendi Syafei, 22 Juli 2017, Analisis Pipa Baja Karbon API 5L-X65 dengan Metoda Pembebanan Tiga Titik pada Lingkungan Gas  $H_2S$  Kondisi Jenuh  $CO_2$  dalam Larutan Asam Asetat, Seminar Nasional SENFA 2017, Balai Sawala Universitas Padjadjaran.
- [7]. Nendi Suhendi Syafei-Darmawan Hidayat-Dessy Novita-Bernard Y Tumbelaka, 18 Maret 2017 Pengujian Kekerasan dan Uji Tarik Untuk Menentukan Koefisien Pengerasan  $n$  Suatu Bahan API 5L-X65, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXXI HFI Jateng & DIY, Yogyakarta 18 Maret 2017 ISSN : 0853-0823.
- [8]. Nendi Suhendi Syafei-Darmawan Hidayat-Bernard Y Tumbelaka-Liu Kin Men, Oktober 2017, Analisa fenomena korosi pelat pipa baja karbon API 5L-X65 dalam larutan 250 ml asam asetat dan 4750 aquades pada kondisi gas  $CO_2$  dan  $H_2S$  jenuh pada suhu ruang, Jurnal Eksakta Vol. 18 N0.2, halaman 113-120, E-ISSN:2549-7464, P-ISSN:1411-3724)
- [9]. Nendi Suhendi Syafei-Darmawan Hidayat-Bernard Y Tumbelaka-Liu Kin Men, 13 Desember 2017, Laju korosi pada pipa baja karbon API 5L-X65 dengan metoda tiga titik pembebanan pada larutan asam asetat dengan diisi gas  $CO_2$  dan  $H_2S$  dalam keadaan jenuh, Simposium Nasional RAPI XVI – FT UMS ISSN 1412-9612 halaman 202-207.
- [10]. O. I. Zvirko , S. F. Savula , V. M. Tsependa , G. Gabetta , H. M. Nykyforchyn, 2016, Stress corrosion cracking of gas pipeline steels of different strength, 21st European Conference on Fracture, ECF21, 20-24 June 2016, Catania, Italy. Procedia Structural Integrity 2 509–516.
- [11]. Martin Monnota, Ricardo P. Nogueira, Virginie Roche, Grégory Berthomé, Eric Chauveau, Rafael Estevez, Marc Mantel, 2017, Sulfide stress corrosion study of a super martensitic stainless steel in  $H_2S$  sour environments: Metallic sulfides formation and hydrogen embrittlement, Applied Surface Science 394 132–141.
- [12]. O. I. Zvirko , S. F. Savula , V. M. Tsependa , G. Gabetta , H. M. Nykyforchyn, June 2016, Procedia Structural Integrity 2 (2016) 509–516. 20-24.
- [13]. ASTM G – 39. Standard Practice for Preparation and Use of Bent-Beam Stress-Corrosion Test Specimens.
- [14]. Callister, D. William, 2007, Materials Science an Engineering: an Intruduction 7<sup>th</sup> ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc..