

## **I107 - 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<sup>1</sup>, Darmawan Hidayat<sup>1</sup>, Bernard Y Tumbleleka<sup>1</sup>, Liu Kin Men<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Elektro,<sup>2</sup>Fisika, Fakultas Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Padjadjaran  
Jl. Raya Bandung Sumedang Km. 21 Jatinangor 45363.  
Email : n.suhendi@unpad.ac.id

### **Abstrak**

*Pada 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 asam asetat, maka akan terjadi peristiwa fenomena korosi. Bila pada pemipaan jalur migas minyak dan gas akan menjadi masalah, karena dapat menghambat proses produksi akibat terjadinya korosi. Bila sweet gas (CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S) pada tekanan yang tinggi akan terjadi korosi retak tegangan, sehingga akan mengakibatkan pipa itu pecah. Dari hasil penelitian bahwa sampel dengan defleksi yang berbeda dalam variasi waktu paparan, maka laju korosinya makin lama makin kecil karena material korosi tidak larut dalam larutan sehingga menghambat proses korosinya baik untuk defleksi 1 cm maupun defleksi 1,5 cm. Dan berdasarkan hasil mikrostruktur bahwa sampel pipa baja karbon API 5L-X65 terjadi korosi retak tegangan baik korosi transgranular ataupun korosi intergranular.*

**Kata Kunci:** korosi retak tegangan; spesimen tiga titik pembebanan; sweet gas

### **Abstrak**

*In the study of carbon steel pipe API 5L-X65 used house samples with specimen three-point loading are environmentally saturated CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S gases in acetic acid solution, it will occur the phenomenon of corrosion. If the oil and gas pipeline and oil pipelines will be a problem, because it can hamper the production process due to corrosion. When sweet gas (CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S) at high pressure will occur stress corrosion cracking, so that will cause the pipe was broken. From the results of the study that the samples with different deflections in the variation of exposure time, the corrosion rate is getting smaller because the corrosion material is not soluble in the solution so it inhibits the corrosion process for deflection 1 cm or deflection 1.5 cm. And based on the microstructure result that the carbon steel pipe sample of API 5L-X65 occurs stress corrosion cracking either transgranular corrosion or intergranular corrosion.*

**Keywords:** stress crack corrosion; sweet gas; three point specimen loading

### **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,2014), 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). 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, 2016; Prosiding Semnas Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri, Malang 4 Februari 2017). 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 Fisika dan Aplikasinya, Prodi Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran, 22 Juli 2017). 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>1</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

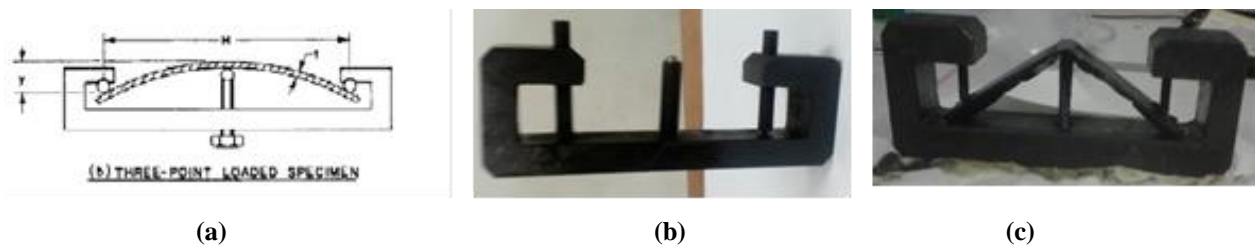
bhawa pipa baja karbon akibat proses embrittlement hidrogen akan terjadi korosi retak tegangan, yaitu akibat disebabkan oleh atom hidrogen yang meresap kedalam pipa baja karbon (O. I. Zvirko , S. F. Savula , V. M. Tsependa , G. Gabetta , H. M. Nykyforchyn, 2016).

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).

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).

### Metoda Penelitian.

Untuk membuat rumah sampel (holder) uji koros diperlukan lembaran baja berupa pelat atau *flat extruded section* yang berpenampang lintang persegi panjang, dan selain itu dapat juga digunakan besi cor atau besi dalam bentuk balok seperti terlihat pada gambar 1. Bahan sampel uji korosi API 5L-X65 yang akan diuji ditipiskan dalam bentuk pelat tipis kemudian ditekuk pada kedua ujungnya sehingga mendapatkan tegangan, dan besarnya regangan dapat diatur dengan memberikan lendutan melalui skrup yang digerakkan dengan ulir seperti pada gambar (1.b) untuk menentukan defleksi  $y$ . Dan penelitian ini menggunakan sampel uji korosi berukuran panjang 12,5 cm, lebar 2 cm dan tebalnya 2 mm (gambar 2) disimpan pada holder spesimen tiga titik pembebanan seperti pada gambar (1.a), gambar (1.b) rancangan bentuk holder dan sampel uji (gambar 2) ditekuk seperti pada gambar (1.c) dimasukkan kedalam ruang *chamber* uji korosi (gambar 3) dengan 2 variasi defleksi seperti pada gambar (1.c) (Nendi Suhendi Syafei, 2016).



Gambar 1. Bentuk holder dan pemasangan spesimen uji

Penelitian sampel uji korosi (seperti pada gambar 2) yang tersimpan dalam holder (gambar 1.c) diisi larutan asam asetat 250 ml dan 4750 ml aquades seperti ditunjukkan pada gambar 3. Populasi sampel uji korosi setiap variasi waktu terdiri dua buah sampel uji dengan 2 variasi defleksi, dan baik berat sampel uji sebelum diuji korosi dan berat sampel sesudah diuji korosi ditimbang beratnya.



Gambar 2. Sampel uji korosi pelat API 5L-X65 diberi *crack* awalnya.



Gambar 3. Chamber uji korosi. (tabung berwarna putih berisi gas H<sub>2</sub>S dan tabung berwarna hitam berisi CO<sub>2</sub>).

Uji tarik adalah uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. 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 ( $\epsilon$ ), 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 ( $\sigma$ ), dimana didefinisikan sebagai nilai pembebanan yang terjadi ( $F$ ) pada suatu luas penampang awal ( $A_0$ ) seperti gambar 4. Tegangan normal tersebut akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

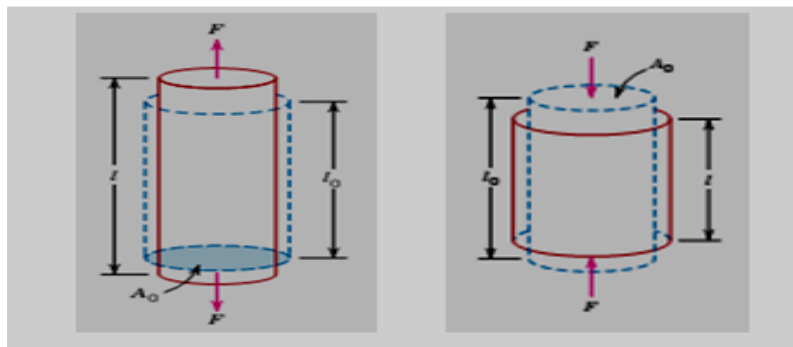
$$\sigma = F/A_0 \quad (1)$$

dengan :

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

F = Beban tarik (N).

A<sub>0</sub> = Luas penampang spesimen mula-mula (mm<sup>2</sup>) seperti gambar 3.



Gambar 4 . Prinsip dasar tegangan/stress  
( Callister, D. William 2007).

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 statik.

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

L<sub>0</sub> = Panjang spesimen mula-mula (mm).

Spesimen berbentuk keping datar mempunyai dimensi lebar, panjang, dan ketebalan spesimen biasanya ditentukan, dan penyangga spesimen sampel uji dikedua ujung ditahan kemudian ditekuk/ditekan dengan sekrup (dilengkapi dengan bola) dimana penyangga pendorong berada ditengah seperti pada gambar (1.a) dan (1.b). Dimensi spesimen sampel yang digunakan dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan, tetapi diperkirakan dimensinya secara proporsional. Perhitungan regangan elastik seperti pada persamaan berikut :

$$\sigma = 6 E t y/H^2 \tag{3}$$

dengan:

$\sigma$  = Tegangan tarik maksimum (N/m<sup>2</sup>).

E = modulus elastisitas (N/m<sup>2</sup>).

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 (1.a). Spesimen keping datar dengan 25-51 mm (1-2 inci), panjang 127-254 mm (5 - 10 inci) dan ketebalan spesimen uji bahan yang digunakan seperti pada gambar 2.

Data yang diperoleh berdasarkan berat sebelum dan sesudah diuji korosi dari sampel uji, yaitu untuk menghitung laju korosinya. Kemudian sampel uji tersebut diuji menggunakan mikrostruktur, yaitu untuk melihat pola struktur pelat baja karbon. Penelitian ini perlu dikembangkan dengan menggunakan metoda ultrasonik untuk mengetahui panjang *crack* yaitu berdasarkan pantulan gelombang yang mengenai permukaan plat baja karbon.

Sampel pelat baja karbon API 5L-X65 pada holder dimasukkan kedalam ruang chamber uji korosi, kemudian diisikan gas CO<sub>2</sub> hingga kondisi jenuh lalu diisikan gas H<sub>2</sub>S selama 10 menit. Dan selang dua hari sekali sampel uji dalam ruang chamber diisi gas H<sub>2</sub>S selama 10 menit dengan variasi waktu paparan 168 jam, 336 jam, 504 jam, 672 jam, 720 jam, 1008 jam dan 1344 jam untuk defleksi 1 cm seperti pada data tabel 1, dan untuk defleksi 1,5 cm seperti pada tabel 2 dan perhitungan regangan menggunakan persamaan (3) diperoleh seperti pada tabel 3.

**Hasil dan Pembahasan.**

Hasil penelitian diperoleh seperti pada tabel 1 dan tabel 2, dan hasil dari perhitungan regangan (stress) seperti pada tabel 3 berdasarkan metoda spesimen tiga titik pembebanan.

Tabel 1. Perhitungan laju korosi dengan defleksi 1 cm pada suhu ruang.

No	Defleksi (cm)	Waktu (jam)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (mgr)	Laju Korosi (mmpy)
1	1	168	12.49	2.3	2.05	28.727	45.66	45.3	360	118.8140535
2	1	336	12.495	2.36	2.5	29.4882	46.19	44.31	1880	57.87351066
3	1	504	12.52	2.3	2.5	28.796	45.94	42.5	3440	39.50978509
4	1	672	12.407	2.275	2.5	28.225925	45.29	43.15	2140	30.23081896
5	1	720	12.465	2.235	2.3	27.859275	46.33	44.33	2000	28.58676832
6	1	1008	12.51	2.3	2.3	28.773	45.63	43.6	2030	19.77068383
7	1	1344	12.49	2.315	2.3	28.91435	45.06	42.4	2660	14.755525

Tabel 2. Perhitungan laju korosi dengan defleksi 1,5 cm pada suhu ruang.

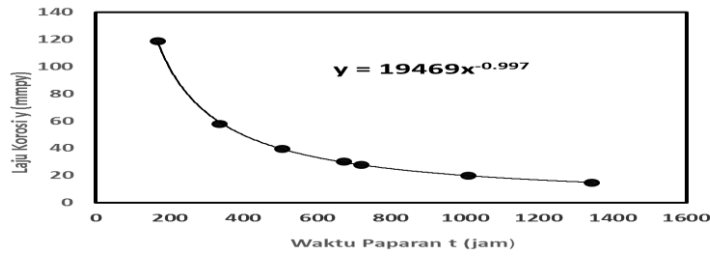
No.	Defleksi (cm)	Waktu (jam)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat (mgr)	Laju Korosi (mmpy)
1	1.5	168	12.52	2.33	2	29.1716	44.51	44	510	117.0032262
2	1.5	336	12.202	2.285	2.5	27.88157	45.43	43.35	2080	61.20837733
3	1.5	504	12.515	2.21	2.5	27.65815	46.03	42.05	3980	41.13520866
4	1.5	672	12.5	2.405	2.1	30.0625	47.71	44.55	3160	28.38396103
5	1.5	720	12.5	2.3	2.25	28.75	44.98	41.6	3380	27.70110052
6	1.5	1008	12.52	2.315	2.25	28.9838	46.01	42.45	3560	19.62689108
7	1.5	1344	12.48	2.305	2.25	28.7664	45.86	41.7	4160	14.83141492

Tabel 3. Data perhitungan regangan.

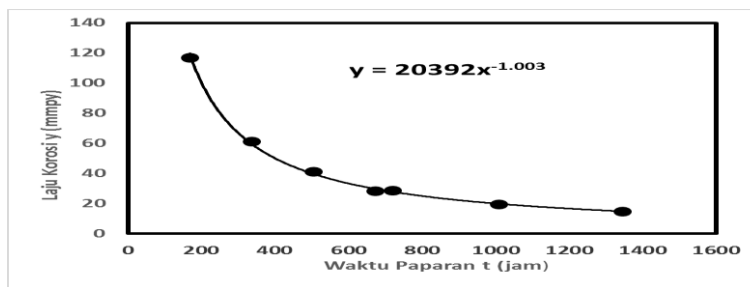
No	Modulus Young E (N/m <sup>2</sup> )	Tebal Spesimen Uji t (m)	Defleksi y (m)	Jarak antar penyangga H (m)	H <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	Tegangan $\sigma$ (N/m <sup>2</sup> )
1	2.05E+11	0.0235	0.01	0.097	0.009409	30720586672
2	2.05E+11	0.022714286	0.015	0.097	0.009409	44540181893

Berdasarkan tabel 1 dan tabel 2 maka diplot grafik laju korosi terhadap waktu paparan untuk defleksi 1 cm seperti pada gambar (4.a) dan untuk defleksi 1,5 cm seperti pada gambar (4.b). Dari hasil data penelitian pelat baja karbon API 5L-X65 yang diuji korosi pada larutan 4750 ml aquades ditambah 250 ml asam asetat glasial semakin

lama waktu paparannya maka laju korosinya semakin menurun pada suhu ruang, dan ini disebabkan bahwa proses oksidasi semakin berkurang serta material karatnya tidak larut dalam larutan sehingga akan menutupi *crack*nya.



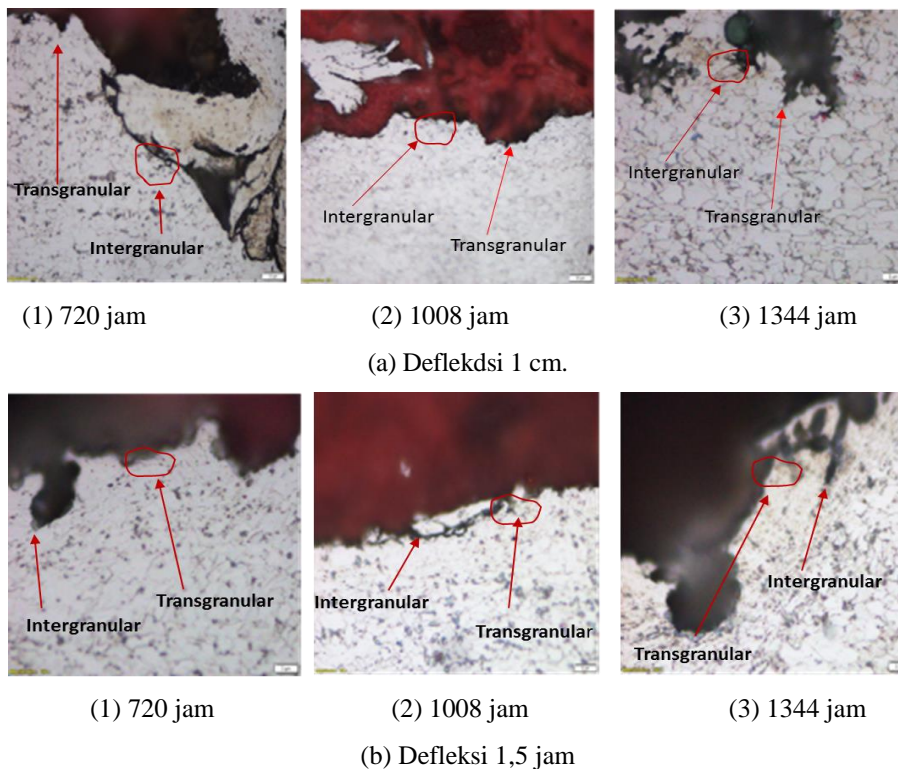
(a) Grafik Laju Korosi untuk Defleksi 0,01 m



(b) Grafik Laju Korosi Untuk Defleksi 0,015 m

Gambar 5. (a) Grafik laju korosi terhadap variasi waktu paparan(jam) dengan defleksi 0,01 m (1cm), (b) Grafik laju korosi terhadap variasi waktu paparan(jam) dengan defleksi 0,015 m (1,5 cm).

Berdasarkan hasil mikrostruktur terlihat seperti pada gambar (5) bahwa korosi retak tegangan terjadi baik pada defleksi 1 cm maupun defleksi 1,5 cm, maka korosi retak tegangan yang terjadi adalah korosi intergranular dan korosi transgranular.



Gambar 6. Mikrostruktur sampel hasil uji korosi baja karbon API 5L-X65 terjadi korosi retak tegangan, yaitu : a) untuk defleksi 1 cm dan (b) untuk defleksi 1,5 cm terjadi korosi retak tegangan transgranular dan intergranular.

**Kesimpulan.**

Berdasarkan hasil penelitian dari perhitungan laju korosi pada tabel 1, tabel 2 dan berdasarkan gambar (4) bahwa makin lama waktu paparan maka laju korosi makin menurun baik untuk defleksi 1 cm maupun defleksi 1,5 cm. Dan berdasarkan hasil mikrostruktur gambar (5.a) untuk defleksi 1 cm dan gambar (5.b) untuk defleksi 1,5 cm bahwa terjadi korosi retak tegangan transgranular dan intergranular.

**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**

ASTM G – 39. “Standard Practice for Preparation and Use of Bent-Beam Stress-Corrosion Test Specimens”

Callister, D. William. (2007), “Materials Science an Engineering: an Intruduction”, 7<sup>th</sup> ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc

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<sub>2</sub>S sour environments: Metallic sulfides formation and hydrogen embrittlement”, Applied Surface Science 394 132–141

Nendi Suhendi-Sri Suryaningsih-Otong Nurhilal. (Nopember 2014), “Kajian Korosi Retak Tegangan akibat sweet gas (H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub>) pada Pipa Baja Karbon”, FMIPA Universitas Padjadjaran

Nendi Suhendi Syafei, Sri Suyaningsih, Otong Nurhilal, Febi Luthfiani. (Ed. Nov 2015), “Analisa Regangan (Stress) Pada Pipa Baja Karbon API 5L GradeB Terhadap Laju Korosi Dalam Larutan NaCl dan Asam Asetat”. Jurnal Fisika Indonesia No. 56 Vol. XIX ISSN 1410-2994

Nendi Suhendi Syafei-Zaida-Liu Kin Men. (Desember 2016). “Kajian Korosi Retak Tegangan akibat sweet gas (H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub>) 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

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<sub>2</sub>S Kondisi Jenuh CO<sub>2</sub> dalam Larutan Asam Asetat”, Prosiding Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri, ITN Malang, hal. D12.1-D12.5, ISSN 2085-4218

Nendi Suhendi Syafei-Darmawan Hidayat-Bernard Y Tumbelaka-Muhammad taufik. (9 mei 2017), “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”, Prosiding Seminar Nasional Energi dan Teknologi (Seinergi) Unisma Bekasi, hal.33-39, ISSN:2527-3108

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