

ANALISIS TEGANGAN TARIK BAJA API 5L X65 DENGAN VARIASI PEMBEBANAN PADA MEDIA KOROSI ASAM ASETAT DAN AIR LAUT

SRI SURYANINGSIH^{*1}, SITI SHOLIAH CAHAYA RIZKI¹, NENDI SUHENDI²

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363

²Departemen Teknik Elektro, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363

Abstrak. Korosi merupakan jenis kerusakan yang rentan terjadi pada logam. Korosi sangat merugikan dalam dunia baja dan perpipaan, sehingga untuk meminimalisir kerugian akibat korosi perlu dikaji untuk mengetahui ketahanan pipa baja pada suatu lingkungan yang korosif (*sweet gas*). *Sweet gas* pada tekanan tinggi dapat menyebabkan korosi retak tegangan pada pipa. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan tarik yang diberikan pada baja karbon tipe API 5L X65 terhadap laju korosi di dalam larutan uji asam asetat glasial dan air laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel baja yang diberi tegangan tarik dengan defleksi 2,9 cm menghasilkan laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan sampel baja dengan defleksi 2,7 cm. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar tegangan tarik yang diberikan semakin tinggi laju korosi, terlebih pada lingkungan asam asetat baja lebih korosif dibandingkan lingkungan air laut.

Kata kunci : baja karbon, korosi retak tegangan, tegangan tarik, *sweet gas*.

Abstract. Corrosion is a type of damage that is susceptible to metals. Corrosion is very detrimental in the world of steel and piping, so to minimize losses due to corrosion needs to be studied to determine the resistance of steel pipes in a corrosive environment (*sweet gas*). *Sweet gas* at high pressure can cause stress corrosion cracking in the pipe. The purpose of this study was to determine the effect of variations in tensile stress applied to API 5L X65 carbon steel on the corrosion rate in glacial acetic acid test solutions and seawater. The results showed that steel samples which were given tensile stress with 2.9 cm deflection produced higher corrosion rates than steel samples with 2.7 cm deflection. This proves that the greater the tensile stress is given the higher the corrosion rate, especially in the environment of steel acetic acid is more corrosive than the seawater environment.

Keywords : *carbon steel, stress corrosion cracking, tensile stress, sweet gas.*

1. Pendahuluan

Korosi merupakan kerusakan yang sangat merugikan dalam dunia baja dan perpipaan, karena apabila pipa sudah rusak akibat korosi, pipa perlu diganti dengan pipa yang baru, dan biaya yang diperlukan untuk mengganti pipa cukup mahal, selain itu korosi juga akan mempengaruhi daya tahan dan dapat menurunkan kualitas kerja baja contohnya seperti terjadi kebocoran pipa. Hal membahayakan lainnya adalah apabila pipa baja yang terkena korosi ikut larut dalam fluida seperti air dan uap, maka akan meningkatkan kadar racun dalam fluida tersebut [1]¹.

Korosi yang sangat rentan terjadi pada sistem distribusi minyak dan gas adalah korosi retak tegang atau *Stress Corrosion Cracking* (SCC) karena pipa-pipa baja mengalirkan fluida hidrokarbon yang bertekanan tinggi dari sumur produksi menuju sistem pembangkit [2]². Korosi retak tegang sering terjadi karena adanya keberadaan senyawa Hidrogen Sulfida (H₂S) dalam kandungan fluida yang dialirkan dalam pipa baja distribusi. Selain itu, pemicu korosi retak tegang adalah tegangan dan goresan (*crack*) yang terjadi pada baja itu sendiri yang dalam industri biasanya diakibatkan oleh

* email : sri@phys.unpad.ac.id

panas, zat kimia, serta tumbukan material padat seperti pasir sehingga menciptakan goresan pada permukaan baja³. Gejala retakan yang diakibatkan oleh korosi retak tegangan ini dapat terlihat apabila dilakukan pengamatan menggunakan alat mikroskopik. Hasilnya, retakan ini dapat berbentuk pencabangan dan menjalar pada arah intergranular atau transgranular².

Baja memiliki berbagai macam jenis antara lain baja karbon, baja paduan, dan *high speed steel*. Baja karbon banyak digunakan sebagai pipa di industri besar seperti perusahaan minyak dan gas karena baja tipe ini cenderung lebih ekonomis dengan sifatnya yang kuat dan tidak mudah rusak atau meleleh ketika mengalirkan fluida dengan suhu ekstrem. Tipe baja karbon yang banyak digunakan pada sistem pembangkit antara lain; ASTM SA 106, ASTM A53, API 5L, dan A333 GR 3/6⁴.

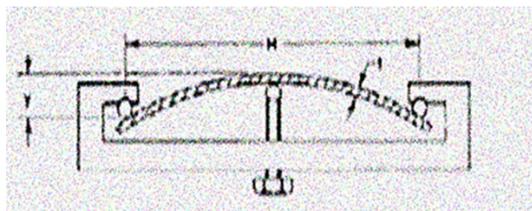
Baja yang diuji pada penelitian ini adalah pipa baja karbon tipe API 5L X65. Baja ini biasa digunakan sebagai pipa distribusi pada perusahaan minyak dan gas karena kadar karbonnya yang cukup tinggi menyebabkan titik leburnya cukup kecil sehingga sangat cocok berada dilingkungan dengan suhu tinggi⁴.

Pengujian laju korosi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode yang mengacu kepada NACE *Standard Bent Beam Test* sebagai perlakuan yang diterapkan pada baja yaitu dengan menekan baja dengan defleksi tertentu. Gas uji yang digunakan merujuk pada beberapa senyawa yang telah terkontaminasi pada air dan gas di daerah pembangkit *geothermal*, uap, dan minyak bumi yang secara teori memiliki kerentanan yang cukup tinggi terhadap serangan korosi pada baja antara lain Hidrogen Sulfida (H_2S) dan Karbon Dioksida (CO_2).

Asam Asetat (CH_3COOH) digunakan sebagai reaktan atau larutan uji representasi daerah asam, serta larutan uji air laut sebagai representasi daerah *offshore* mengingat banyaknya peralatan industri di daerah *offshore* atau lepas pantai yang rentan terkena korosi untuk dilihat pengaruhnya terhadap laju korosi SCC pada pipa baja karbon dengan variasi tegangan tarik yang diberikan, sehingga diharapkan kedepannya penelitian ini akan terus dikembangkan agar dihasilkan prediksi yang tepat terhadap umur baja dalam skala industri agar perawatan atau *maintenance* yang dilakukan dapat lebih optimal sehingga dapat meminimalisir kerugian pada baja akibat korosi.

2. Metode Penelitian

Beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu persiapan alat dan bahan, preparasi sampel uji, preparasi holder bent beam three point loading, preparasi larutan uji, uji kekerasan, uji laju korosi, dan uji morfologi serta uji komposisi dengan SEM-EDS. Bahan utama yang digunakan sebagai objek percobaan adalah sampel baja karbon tipe API X65 dan alat utama yang digunakan adalah holder tiga titik yang mengacu pada metode *bent beam three point loading* berdasarkan standar ANSI/NACE TM0177-96 Metode B dengan bentuk seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bent Beam Three Point Loading Specimen

Larutan yang digunakan pada penelitian ini adalah asam asetat dan air laut, dengan gas yang diinjeksikan kedalam chamber antara lain H₂S dan CO₂. Kemudian dilakukan uji kekerasan dengan metode Vickers untuk menentukan nilai tegangan tarik agar tidak mencapai batas luluhnya, kemudian perhitungan laju korosi dengan metode *weight loss*, setelah perhitungan, dilakukan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) untuk melihat permukaan sampel dan mengetahui komposisi penyusun baja karbon.

Untuk menunjukkan indikasi tegangan dalam yang terjadi pada baja karbon, dilakukan uji kekerasan (*hardness*). Parameter fisis yang diukur adalah kekerasan Vickers (HV). Pengujian sampel uji diberi pembebanan oleh besi sebesar 10 kg. Nilai hasil uji kekerasan Vickers ini kemudian dikonversi berdasarkan tabel konversi ASTM E 140-02 menjadi nilai kekerasan Brinell kemudian dikonversi ke tegangan tarik.

Uji kekerasan pada baja karbon untuk melihat ketahanan baja dengan metode *Vickers*, Perhitungan uji kekerasan dengan metode Vickers menggunakan persamaan 1,

$$\text{Hardness Vickers (HV)} = 1,854 \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

dimana HV = angka kekerasan Vickers, F = beban (kgf) dan d = diagonal (mm).

Nilai hasil uji kekerasan *Vickers* ini kemudian dikonversi menjadi nilai kekerasan *Brinell* berdasarkan tabel konversi ASTM E 140-02 dengan menggunakan persamaan 2 untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dengan menggunakan persamaan 3.

Dengan σ_x adalah kekuatan tarik (*tensile strength*) dan HB adalah kekerasan *Brinell*.

$$\text{HB (kekerasan Brinell)} \approx \text{HV} \quad (2)$$

$$\sigma_x \text{ (MPa)} = 3,54 \times \text{HB} \quad (3)$$

Berdasarkan tabel konversi, hubungan proporsionalitas kekerasan setiap bahan logam tidak sama, maka sebagai aturan praktis sebagian besar baja untuk kekuatan tarik sebagai fungsi dari HB (kekerasan Brinell). Setelah diketahui nilai kekerasan, maka diberikan tegangan tarik atau defleksi berdasarkan persamaan 4.

$$\sigma_v = \frac{U \cdot L \cdot t \cdot y}{H^2} \quad (4)$$

Dengan: σ_y = tegangan tarik maksimum (N/m²), E = modulus elastisitas (N/m²), t = ketebalan specimen (m), y = defleksi maksimum (m), H = jarak antara penyangga luar (m).

Tahap pembebanan sampel baja terlebih dahulu dibersihkan dengan menggunakan ethanol dan dikeringkan dengan aseton kemudian diberi perlakuan dengan cara memberikan titik tegangan dengan metode *bent beam three point loading* atau penekanan (defleksi) pada tiga titik pada sampel. Defleksi yang akan diberikan pada baja sebesar (Y1) 2,7 cm dan (Y2) 2,9 cm dengan masing-masing baja diberi kode A,B,C,D untuk bahan yang diperlakukan dalam proses perendaman pada larutan asam asetat (CH₃COOH) 10% dan 20%, serta air laut. Kemudian baja karbon direndam dalam larutan tersebut selama 2 bulan, 3 bulan, dan 4 bulan. Sedangkan larutan uji air laut dibuat dalam satu waktu penyimpanan, yaitu 2 bulan (gambar 2).



Gambar 2 Proses uji korosi baja karbon API 5L X65 di dalam larutan (a) asam asetat, dan (b) air laut.

Setelah waktu perendaman sampel baja karbon selesai, tahap selanjutnya yaitu menghitung laju korosi. Selisih massa sampel baja sebelum dan sesudah perendaman menandakan bahwa baja telah terkorosi. Selisih ini kemudian akan dihitung dan dimasukkan kedalam perumusan laju korosi weight loss berdasarkan pada ASTM G1-93. Perhitungan laju korosi menggunakan persamaan 5.

$$CR \text{ (mmpy)} = \frac{K \cdot (W_{awal} - W_{akhir})}{D \cdot A \cdot T} \quad (5)$$

Dengan: K = Konstanta, W = berat sebelum dan sesudah terkorosi (gr), D = massa jenis paduan (g/cm^3), A = luas permukaan (cm^2), T = waktu (jam).

Sebagai pendukung hasil penelitian dilakukanlah uji SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) yang bertujuan untuk melihat morfologi permukaan baja yang mengalami korosi serta mengetahui komposisi unsur penyusun sampel uji.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Uji Laju Korosi

Hasil laju korosi sampel baja API X65 yang telah direndam pada larutan asam asetat (CH_3COOH) dan air laut dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2. Berdasarkan hasil uji laju korosi, didapat hasil bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada sampel baja dengan kode D3 yang disimpan didalam larutan asam asetat 20% yaitu sebesar 2,74 mmpy. Pada larutan asam asetat 10% laju korosi terbesar terjadi pada sampel baja dengan kode B3 yaitu 2,18 mmpy. Sehingga, dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa resistansi atau ketahanan material baja karbon dikategorikan ke dalam golongan 'kurang baik' apabila berada di suatu lingkungan dengan pH sangat rendah (<2). Sedangkan pada air laut laju korosi terbesar terjadi pada sampel baja dengan kode B4 yaitu 0,27 mmpy. Hasil dari pengujian laju korosi pada air laut cukup kecil sehingga ketahanan material baja karbon dikategorikan kedalam golongan 'baik' di lingkungan air laut

Penyebab pengurangan massa baja karbon di dalam larutan korosif antara lain dikarenakan terkelupasnya lapisan coating atau cat epoksi akibat proses oksidasi dengan larutan uji, yang dalam hal ini ketebalan coating diabaikan, kemudian terkikisnya permukaan sampel baja karbon, dan terbentuknya karat. Karat merupakan hasil oksidasi baja karbon dengan lingkungan yang menyebabkan degradasi atau penurunan kualitas baja karbon sehingga kekuatan baja berkurang.

Tabel 1. Laju korosi sampel pada larutan asam asetat (CH_3COOH) konsentrasi 10% dan 20%.

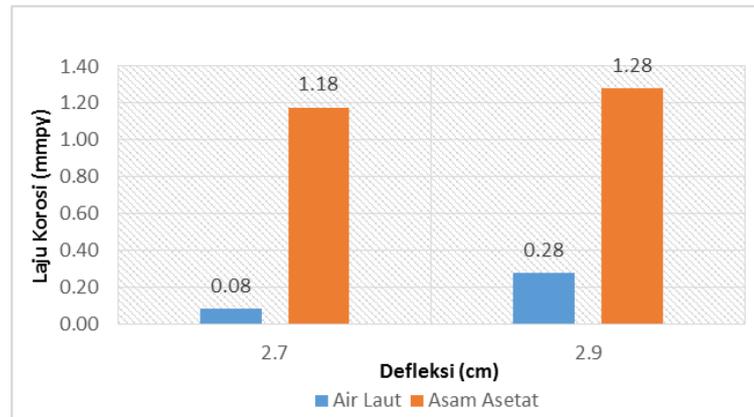
Waktu (jam)	Larutan CH_3COOH	Kode Sampel	Defleksi (cm)	Massa sampel (gr)		Selisih Massa (gr)	Laju Korosi (mmpy)
				Sebelum	Sesudah		
1440	10%	A1	2,7	49,73	44,92	4,81	1,18
		B1	2,9	48,66	43,37	5,29	1,28
	20%	C1	2,7	49,5	41,4	8,1	1,99
		D1	2,9	49,42	41,01	8,41	2,07
2160	10%	A2	2,7	48,0	36,32	11,68	1,92
		B2	2,9	48,65	36,26	12,39	2,04
	20%	C2	2,7	48,28	34,15	14,13	2,32
		D2	2,9	49,46	33,07	16,39	2,69
2880	10%	A3	2,7	50,01	33,09	16,92	2,06
		B3	2,9	48,41	30,48	17,93	2,19
	20%	C3	2,7	49,34	30,0	19,34	2,36
		D3	2,9	48,53	26,06	22,47	2,75

Tabel 2. Laju korosi sampel baja pada larutan air laut

Waktu (jam)	Kode Sampel	Defleksi (cm)	Massa sampel (gr)		Selisih Massa (gr)	Laju Korosi (mmpy)
			Sebelum	Sesudah		
1440	A4	2,7	48,42	48,08	0,34	0,08
	B4	2,9	48,88	47,73	1,15	0,28

Selain diakibatkan oleh larutan uji, laju korosi juga sangat dipengaruhi oleh gas uji CO_2 dan H_2S . Gas CO_2 berperan sebagai pemercepat proses karat, dan gas H_2S berperan penting dalam proses terbentuknya korosi retak tegangan dan membantu proses penipisan baja, terbukti dalam penelitian ini pada sampel baja dengan kode A2, dan B2 yaitu uji korosi dengan lama waktu 2160 jam memiliki laju korosi lebih kecil dibandingkan sampel baja dengan kode A1, dan A2 yaitu uji korosi dengan lama waktu 1440 jam. Setelah ditelusuri penyebabnya, dapat diasumsikan bahwa terjadi kebocoran gas H_2S sehingga konsentrasi gas H_2S yang masuk ke dalam chamber sangat kecil. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa gas H_2S memiliki peranan penting dalam memercepat penipisan baja dan memicu retaknya material.

Gambar 3 merupakan grafik pengaruh tegangan tarik terhadap laju korosi dengan variasi larutan uji asam asetat dan air laut dalam waktu perendaman 1440 jam. Tegangan yang diberikan yaitu sebesar 2,7 cm dan 2,9 cm, terlihat bahwa sampel dengan defleksi 2,9 cm memiliki laju korosi lebih tinggi daripada sampel dengan defleksi 2,7 cm. Hal ini membuktikan bahwa besar tegangan yang diberikan pada baja sangat berpengaruh terhadap laju korosi.



Gambar 3. Grafik pengaruh tegangan tarik (defleksi) baja karbon API 5L X65 terhadap laju korosi

Baja karbon yang diuji pada larutan asam asetat yang diinjeksikan gas CO_2 dan H_2S memiliki laju korosi yang lebih besar dibandingkan pada baja karbon yang diuji pada air laut yang diinjeksikan gas CO_2 dan H_2S , ini dikarenakan baja karbon yang diuji pada larutan asam asetat mengalami pengikisan dan penipisan secara besar-besaran (korosi). Lain halnya dengan lingkungan air laut, air laut yang diinjeksikan dengan CO_2 dan H_2S akan membentuk ikatan asam lemah yang hanya akan membentuk karat. Karat yang terbentuk pada sampel baja karbon yang diuji dalam air laut lebih banyak daripada sampel baja karbon yang diuji dalam larutan asam asetat, penyebabnya karena salah satu unsur kandungan air laut yaitu klorida.

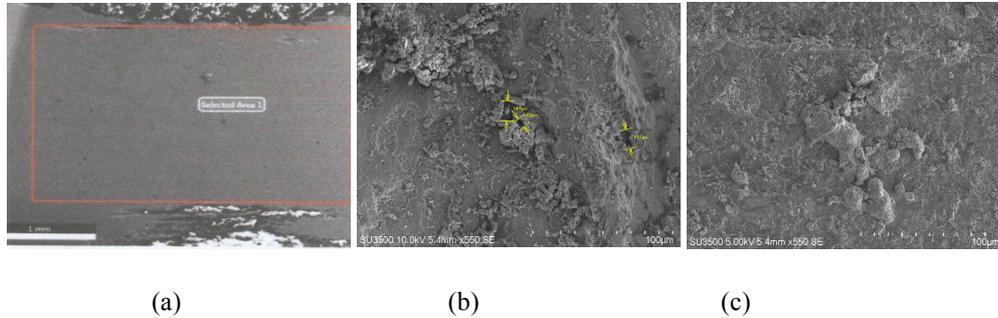
Selain diakibatkan oleh lingkungan yang korosif, korosi retak tegang juga diakibatkan oleh tegangan tarik, Nilai kekerasan sampel baja karbon adalah 681,1 MPa dan tingkat kekerasannya termasuk tinggi. Nilai tegangan tarik maksimum pada defleksi 2,9 cm adalah 264,89 MPa dan tegangan tarik maksimum pada defleksi 2,7 cm yaitu 284,51 MPa.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui bahwa semakin besar defleksi yang diberikan maka akan semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Hasil yang didapat pada sampel baja yang diberi tegangan luar dengan tinggi defleksi 2,9 cm selalu menghasilkan laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan sampel baja dengan defleksi 2,7 cm. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan semakin cepat laju korosi, terlebih pada lingkungan asam asetat lebih korosif dibandingkan lingkungan air laut.

3.2 Hasil Morfologi dan Komposisi Kimia Bahan Uji

Hasil morfologi permukaan sampel baja karbon dan komposisi kimia penyusunnya dilakukan dengan pengamatan menggunakan SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*). Pengujian SEM-EDS dalam penelitian ini hanya dilakukan pada sampel A1 (asam asetat) dan A4 (air laut) di daerah goresan dan dibandingkan hasilnya dengan masing-masing sampel yang diuji dan sampel yang belum diperlakukan (sampel A).

Gambar 4 (a) merupakan morfologi sampel baja karbon sebelum diperlakukan, tekstur permukaan sampel terlihat halus akibat hasil dari preparasi baja karbon seperti proses pengamplasan.



Gambar 4. Hasil uji SEM-EDS baja (a) sebelum perendaman, (b) dalam larutan asam asetat 1440 jam, dan (c) dalam larutan air laut 1440 jam.

Gambar 4 (b) menjelaskan morfologi dan tekstur permukaan baja karbon di daerah goresan yang telah diperlakukan uji korosi selama 1440 jam dengan defleksi 2,7 cm didalam larutan asam asetat 10%, gas CO₂, dan H₂S dengan perbesaran 550x, hasilnya terdapat beberapa korosi sumuran (*pitting*) yang terlihat pada permukaan, peristiwa ini disebut juga sebagai *fatigue cracks nucleate pits* atau yang biasa dikenal sebagai *Stress Corrosion Cracking*, SCC (korosi retak tegangan) yaitu kerusakan logam akibat lingkungan yang korosif, pemberian tegangan, dan pemicu korosi lainnya. Lubang dari hasil dari *pitting* atau korosi sumuran ini memiliki kisaran lebar sebesar 6,82µm-14,4µm. Sedangkan Gambar 4(c) merupakan hasil dari uji morfologi permukaan baja karbon di daerah goresan yang telah diperlakukan uji korosi selama 1440 jam didalam air laut, gas CO₂, dan H₂S dengan perbesaran 550x. Baja yang direndam didalam air laut memiliki karat lebih banyak dibandingkan baja yang direndam di dalam larutan asam asetat. Hal ini dikarenakan air laut mengandung unsur natrium dan klorida dimana kedua unsur ini memiliki peranan yang sangat besar dalam pembentukan karat. Baja yang teroksidasi melepas oksigen di udara dan membentuk oksida logam atau karat. Hasil pengukuran komposisi kimia sampel dengan menggunakan SEM-EDS (*energy dispersive x-ray spectroscopy*) dapat dilihat pada tabel 3.

Terlihat bahwa pada sampel A1 dan A3 yang direndam dalam larutan asam asetat 10% 1440 jam dan 2880 jam terlihat sedikit bulir-bulir karat dan terdapat korosi sumuran atau *pitting*, yang menunjukkan bahwa telah terjadi pengikisan yang menyebabkan material kehilangan massa, selain itu beberapa bagian permukaan pun teroksidasi oleh oksigen. Dari hasil uji SEM-EDS terlihat bahwa unsur besi (Fe) pada baja yang direndam larutan asam asetat 2880 jam tereduksi, artinya telah terjadi penipisan baja dipermukaan. Pada sampel A4 yang direndam dalam air laut terlihat bahwa nilai besi (Fe) yang terpindai lebih sedikit daripada sampel A1 dan A3, dan nilai oksigen (O) pada sampel A4 jauh lebih banyak dibandingkan sampel A1 dan A3, sedangkan sampel baja A1 dan A3 memiliki laju korosi yang jauh lebih besar. Hal ini dikarenakan hampir seluruh permukaan sampel A4 ditutupi oleh karat.

Tabel 3. Perbandingan komposisi unsur kimia baja karbon API 5L X65 sebelum dan setelah perlakuan.

Unsur Kimia	Nilai (%)			
	Baja API X65	Sampel A1 (Asam asetat 10% 2 bulan)	Sampel A3 (Asam asetat 10% 4 bulan)	Sampel A4 (Air laut 2 bulan)
Ferro (Fe)	88.22	82.65	73.79	66.68
Karbon (C)	5.15	8.98	15.46	12.63
Oksigen (O)	2.37	4.11	6.23	14.77
Mangan (Mn)	0.76	0.98	0.72	0.68
Fluor (F)	2.88	2.36	2.77	2.42
Natrium (Na)				2.77
Klorida (Cl)				0.05

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa sampel baja yang diberi tegangan tarik dengan defleksi lebih besar menghasilkan laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan sampel baja dengan defleksi lebih kecil jika direndam dalam larutan asam asetat dan air laut. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan, maka semakin cepat pula laju korosinya. Morfologi permukaan baja karbon tipe API 5L X65 sebelum dan sesudah pengujian mengalami perubahan, yaitu terdapat korosi sumuran dan bulir-bulir karat pada permukaan dan memiliki tekstur yang tidak teratur jika dibandingkan dengan sampel baja sebelum perlakuan.

Daftar Pustaka

1. Nugroho, et. al. Analisa Laju Korosi Hasil Pengelasan Pada Baja ST 37 dengan Variasi Jenis Elektroda akibat Pengkorosian Air Laut. 2019.
2. Luthfiani F., Analisis Pengaruh Gas CO₂ dan H₂S terhadap Laju Korosi Retak Tegangan pada Pipa Baja Karbon dalam Larutan Asam Asetat Glasial. 2015.
3. Nendi, et. al. Korosi Retak Tegangan (SCC) pada Pipa Baja Karbon API 5L Grade-B akibat Pengaruh Sweet Gas (H₂S dan CO₂). (1):35-40..
4. Arifin, Jaenal., et. al. Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan SMAW Baja ASTM A36. Momentum. 2017;13(1):27-31.
5. ASTM International. ASTM G1-93. Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. 2012:20.