

PENGUJIAN *SULPHIDE STRESS CORROSION CRACKING* PADA SAMBUNGAN LAS API 5L X65 DAN ASTM A694 F65

Aulia Fajrin^{1*}, Nugroho Pratomo Ariyanto¹, Aldyno Heryanda¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

*Corresponding author: auliafajrin@polibatam.ac.id

Article history

Received:

08-06-2021

Accepted:

06-12-2021

Published:

30-12-2021

Copyright © 2021
Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Korosi adalah permasalahan yang selalu terjadi pada logam terhadap pengaplikasiannya dengan lingkungan. Walaupun sudah ada beberapa material pengganti yang lain seperti polimer dan komposit, namun penggunaan logam masih sangat dibutuhkan dan berperan penting terutama pada industri fabrikasi minyak dan gas. Korosi tidak dapat dihindari namun dapat diminimalisir karena sifat logam yang akan kembali ke asalnya. Logam yang digunakan pada industri fabrikasi minyak dan gas dibutuhkan suatu pengujian material terhadap faktor *stress* dan lingkungannya. Pengujian SSCC (*Sulphide Stress Corrosion Cracking*) berdasarkan NACE TM0316 merupakan pengujian ketahanan material terhadap *stress* dan lingkungan asam. Pada pengujian SSCC ini, metode yang digunakan adalah *Four-Point Bending* yang berarti terdapat *four roller jig* untuk menekuk spesimen. Spesimen yang digunakan adalah spesimen sambungan las material API 5L X65 pipa dan ASTM A694 *flange*. Proses pengelasan pada spesimen ini menggunakan proses GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). Spesimen yang diuji memiliki beberapa tahapan mulai dari persiapan material yang sudah *dimachining*, *cleaning*, kemudian *bending* hingga dilakukan perendaman pada cairan yang bersifat asam. Hal ini bertujuan untuk mengetahui indikasi yang muncul pada permukaan spesimen berupa retakan baik pada bagian lasan maupun *base metal*. Pengujian menggunakan tiga spesimen dengan IPRR *welding process* yang berbeda. Spesimen 1 dan 3 termasuk spesimen yang *accepted*, sedangkan spesimen 2 merupakan spesimen yang *rejected* berdasarkan SSCC DNV *Test Procedure*, dimana *acceptance criteria* dari hasil MPI yaitu *acceptable* apabila indikasi memiliki panjang kurang dari 1 mm.

Kata Kunci: Korosi, Sulfida, Retakan, Tegangan, GTAW

Abstract

Corrosion is a problem that always occurs in metals in their application to the environment. Although there are already several other substitute materials such as polymers and composites, the use of metals is still very much needed and plays an important role, especially in the oil and gas fabrication industry. Corrosion cannot be avoided but can be minimized because of the nature of the metal that will return to its origin. Metals used in the oil and gas fabrication industry require a material test against stress factors and the environment. The SSCC (Sulphide Stress Corrosion Cracking) test based on NACE TM0316 is a test of material resistance to stress and acidic environments. In this SSCC test, the method used is Four-Point Bending, which means that there are four roller jigs to bend the specimen. The specimens used are API 5L X65 pipe welded joint specimens and ASTM A694 flange. The welding process on this specimen uses the GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) process. The specimens tested have several stages, starting from the preparation of the machined material, cleaning, then bending to soaking in an acidic liquid. This aims to determine the indications that appear on the surface of the specimen in the form of cracks in both the weld and the base metal. The test used three specimens with different IPRR welding processes. Specimens 1 and 3 are accepted specimens, while specimen 2 is rejected specimens based on the SSCC DNV Test Procedure, where the acceptance criteria from the MPI results are acceptable if the indication is less than 1 mm in length.

Keywords: Corrosion, Sulphide, Crack, Stress, GTAW

1.0 PENDAHULUAN

Korosi merupakan degradasi atau kerusakan pada logam yang bereaksi secara kimia terhadap lingkungannya. Korosi pada logam terjadi karena ion Fe berperan sebagai oksidator yang mengalami oksidasi dan melepaskan elektron. Sedangkan oksigen di udara berperan sebagai reduktor yang mengalami reduksi dan mendapat penambahan elektron. Salah satu metode untuk menguji ketahanan material terhadap korosi adalah *Sulphide Stress Corrosion Cracking* (SSCC). SSCC merupakan pengujian dengan melihat kegagalan retak yang terjadi karena kombinasi tegangan tarik dan korosi di lingkungan yang mengandung *Hydrogen Sulphide* (H_2S). Umumnya, SSCC terjadi pada temperatur kamar. Pengujian SSCC yang digunakan penulis adalah prosedur DNV GL berdasarkan standar NACE TM0316. Pengujian ini menggunakan metode *Four-Point Bending* dimana spesimen uji diberikan *load* dengan konsep *bending* untuk mencapai regangan yang didapatkan dari perbandingan 80% aktual *stress* dan *young's modulus*. *Young's Modulus* didapatkan dari aktual nilai *tensile strength* pada *base metal*. Setelah spesimen diberikan *load*, maka dilakukan perendaman pada cairan asam *Solution A* NACE TM0177. Hasil pengujian dari SSCC ini berupa visual spesimen untuk memastikan adanya *crack* pada spesimen tersebut.

Penggunaan SSCC diaplikasikan pada material yang kritikal terhadap korosi. Salah satu penggunaan SSCC yaitu terdapat pada sambungan las pipa dan *flange* yang merupakan bagian dari MEG *riser support*. MEG *riser support* merupakan suatu pipa yang berfungsi sebagai tempat injeksi *Mono Ethylene Glycol* yang terhubung secara *by pass* dengan *pipeline system* untuk menghambat pembentukan senyawa *hydrate*. Penyebab terbentuknya senyawa *hydrate* adalah efek dari *low temperature* dan *high pressure* pada sistem *pipeline*. Pada *riser support*, terdapat sambungan *pipe* dan *flange*. Material yang digunakan pada sambungan ini adalah *carbon steel*. Pada saat fabrikasi *riser support* ini, material yang dilas adalah dua material yang memiliki standar yang berbeda, yaitu API 5L X65 untuk pipa dan ASTM A694 untuk *flange*.

Karakteristik dari pipa API 5L X65 adalah termasuk jenis HSLA-Steel (*High Strength Low Alloy Steel*), yaitu kelompok baja karbon rendah yang mengandung sedikit unsur-unsur paduan untuk sifat mekanis dan ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dibanding baja konvensional lain serta memiliki kemampuan las baik. Berdasarkan standar API 5L X65, nilai batas *yield strength* yang ditentukan tidak kurang dari 450 MPa. Pipa API 5L X65 yang digunakan untuk pengujian ini memiliki nilai *yield strength* 501 MPa dan *acceptable* untuk digunakan sesuai dengan *material specification*. Pipa API 5L X65 sering digunakan sebagai alat transportasi gas dari suatu tempat ke tempat lain sehingga faktor lingkungan menjadi perhatian utama, terlebih lagi jika digunakan pada lingkungan yang korosif seperti di dalam air laut. Material *flange* ASTM A694 F65 memiliki nilai *yield strength* yang sama dengan API 5L X65 yaitu min 450 MPa. ASTM A694 F65 juga termasuk *Low Alloy Steel* dan memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik.

Tabel 1: Nilai *Chemical Composition*

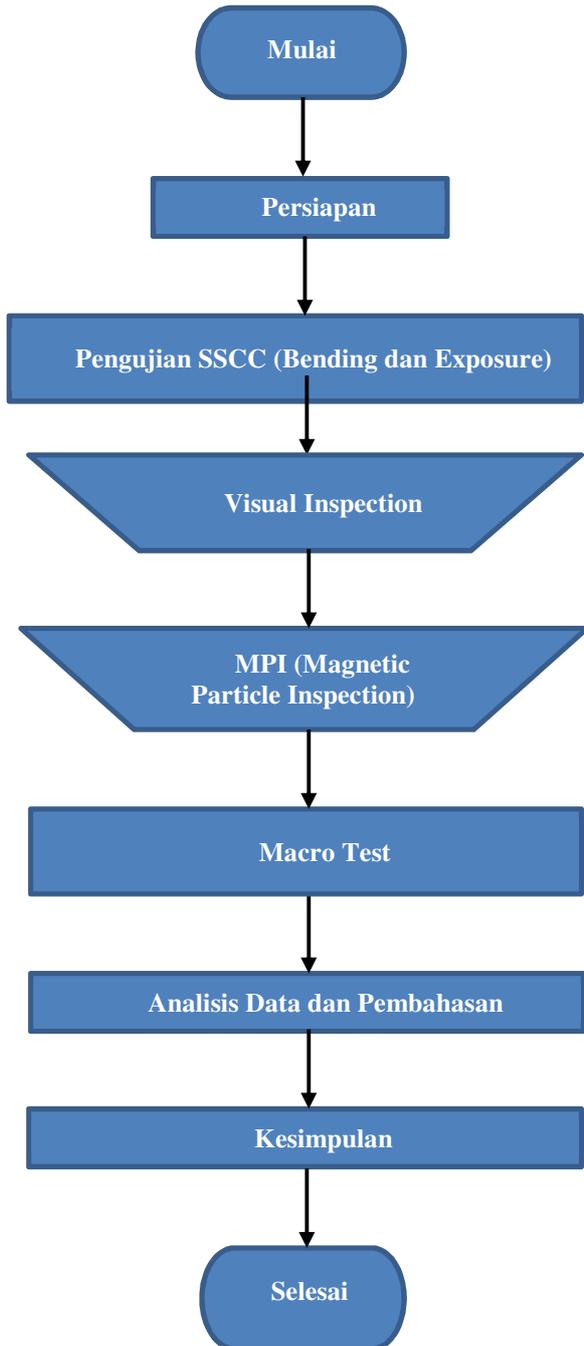
API 5L X65	
<i>Chemical Composition</i>	<i>Mass Fraction</i>
C	0.28
Mn	1.40
P	0.03
S	0.03
ASTM A694 F65	
<i>Chemical Composition</i>	<i>Mass Fraction</i>
C	0.30
Mn	1.60
P	0.025
S	0.025

Berdasarkan data *chemical composition* pada kedua jenis material tersebut, dapat disimpulkan bahwa unsur Mn (mangan) dominan dibandingkan unsur-unsur lainnya. Sifat material dengan komposisi mangan yang tinggi dapat meningkatkan *hardenability* (pengerasan) dan *tensile strength* (kekuatan tarik). *Ductility* (keuletan) material juga baik dan *brittleness* (*getas*) material dapat dikurangi.

Proses pengelasan yang digunakan pada sambungan ini adalah GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). Gas pelindung yang digunakan pada proses GTAW adalah inert gas yang tidak akan bersenyawa dengan gas lain atau berikatan jika dicampur dengan gas lain, yaitu : argon dan helium. Kelebihan dari proses ini adalah kualitas hasil pengelasan baik, *shielding gas* memproduksi cairan las dari kontaminasi H_2 yang berasal dari kandungan H_2O di udara sekitar sehingga pengelasan ini termasuk jenis pengelasan *low hydrogen content*. Selain itu, penetrasi pengelasan GTAW sangat baik pada semua posisi pengelasan dan sesuai untuk material yang tipis. Namun, kekurangan dari pengelasan GTAW adalah *high skill welder* dan *cost* yang mahal [11].

Pengujian ini dilakukan sebagai standar untuk PQR (*Procedure Qualification Record*) yang nantinya akan dibuat WPS (*Welding Procedure Specification*) *repair*. Selain itu, tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui indikasi yang muncul pada permukaan spesimen berupa retakan baik pada bagian hasil las maupun *base metal*.

2.0 METODE

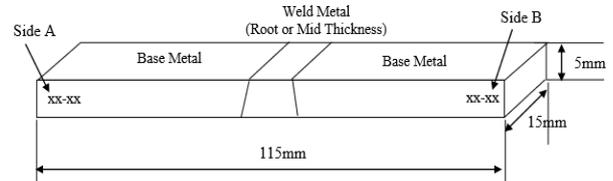


Gambar 1: Diagram Alur Pengujian SSCC

2.1. Spesimen

Berdasarkan DNV-GL *Test Procedure*, spesimen pada gambar 2 merupakan material dari sambungan pengelasan yang sudah dipotong dan dibentuk dengan dimensi panjang 115 mm, lebar 15 mm, dan ketebalan 5 mm. Pada masing-masing ujung spesimen terdapat identitas seperti nomor PQR (*Procedure Qualification Record*), durasi pengujian, dan identitas berupa MTN (*Material Traceability Number*). Setelah itu, spesimen dipoles dengan amplas *grit* 600 pada bagian *sharp edges* dan daerah *weld metal*. Material dari sambungan pengelasan ini kemudian dibagi menjadi tiga spesimen

yang mendapat nilai *strain* yang berbeda dari pengujian *bending* karena perbedaan IPRR *welding process* yang digunakan dengan pelabelan IPRR-1 untuk spesimen 1, IPRR-2 untuk spesimen 2, dan IPRR-3 untuk spesimen 3.



Gambar 2: Dimensi Spesimen [4]

2.2. Pengujian

Pengujian SSCC menggunakan alat *bending* dengan material uji yaitu *stainless steel* 316 yang merupakan material sambungan las pipa pada *riser support*. Metode *bending* yang digunakan adalah *four-point bending*, seperti yang terlihat pada gambar 4. Spesimen uji diletakkan ke dalam *jig* berupa *four roller rod* yang terbuat dari kaca. Hal ini bertujuan untuk memastikan tidak terdapat *galvanic corrosion*. Sebelum memberikan *load* pada spesimen di dalam *jig*, pastikan untuk memasang *strain gauges* dengan jarak 3-5 mm dari *fusion line* hasil lasan seperti pada gambar 3. Pada bagian antara *strain gauges* dengan spesimen harus dilapisi dengan *silicon carbide (grit 180-320)*. Pemasangan lapisan ini bertujuan untuk memastikan tidak terjadi adhesi antara *strain gauges* dengan spesimen. Fungsi dari *strain gauges* adalah mengukur regangan pada spesimen yang terhubung dengan monitor dan dapat memastikan nilai regangan tercapai sesuai dengan spesifikasi [3]. Nilai regangan tersebut didapatkan dari persamaan berikut:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan 1, diketahui bahwa ε adalah regangan, σ adalah tegangan (MPa) dan E adalah *Young's Modulus* (MPa)

$$\varepsilon = \frac{80\% \text{ AYS}}{\text{young's modulus}}$$

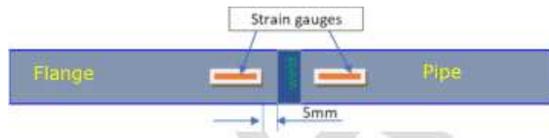
$$\varepsilon = \frac{80\% \text{ 501 MPa}}{216 \text{ GPa}}$$

$$\varepsilon = \frac{400,8 \text{ MPa}}{216000 \text{ MPa}}$$

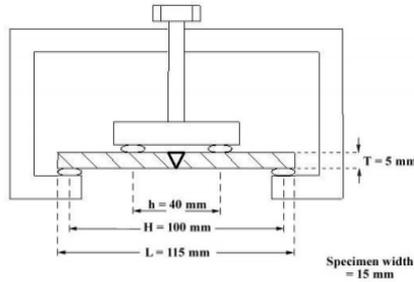
$$\varepsilon = 0,001856 = 1,856 \times 10^{-3}$$

AYS (Actual Yield Strength) merupakan nilai *yield strength* yang secara aktual didapatkan dari pengujian tarik pada material tersebut yaitu 501 MPa dengan minimal nilai *yield strength* 450 MPa [9].

Modulus Young merupakan nilai elastisitas material dengan nilai 216 GPa didapatkan dari nilai aktual pada *base metal* sesuai dengan *material specification* [4].



Gambar 3: Lokasi *Strain Gauges* [5]



Gambar 4: Skema *Four Point Bend Test Rig* [4]

Setelah spesimen dan *strain gauges* terpasang, secara otomatis akan terhubung ke *adaptor* menggunakan kabel sehingga bisa muncul nilai regangan pada *monitor*. Proses *bending* bisa langsung dilakukan setelah spesimen dimasukkan ke dalam *jig* dan mulai dilakukan tekanan hingga mencapai *strain* yang didapatkan dari 80% AYS (*Actual Yield Strength*) dari *base metal*. Skema pengujian *four-point bending* dapat dilihat pada gambar 4. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, maka didapatkan nilai *strain* yaitu $1,856 \times 10^{-3}$.

Dari ketiga spesimen yang diberikan *load*, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2: Hasil Nilai *Strain* Setelah Dilakukan *Load* [5]

Stress Level (MPa)	Welding Process	Specimen ID	Measured Strain ² (μs)	Required Strain ² (μs)
80% of AYS	IPRR	IPRR-1	1857	1742
		IPRR-2	1855	1823
		IPRR-3	1854	1832
				1856 (1837 min 1874 max)

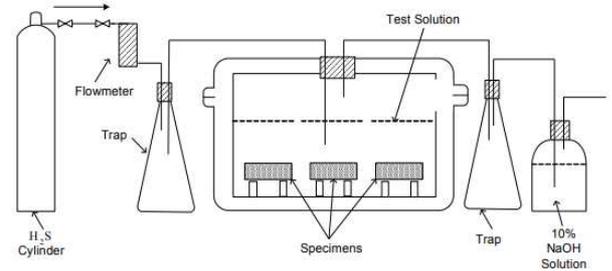
- The required strain is calculated based on Young's Modulus; $\epsilon = \sigma / E$
Where ϵ , 80% AYS = Strain in μs
 σ , 80% AYS = Applied Stress in MPa
E = Young's Modulus (216 GPa from actual base metal tensile)
- Strain is applied to within $\pm 1\%$ of strain requirement (i.e. 1837 μs minimum and 1874 μs maximum)

Proses pengelasan yang dilakukan harus sesuai dengan *Investigation Process Research Resource* (IPRR). Setelah spesimen tersebut diberikan beban, tahap selanjutnya adalah perendaman ke dalam bejana yang diberikan larutan kimia berdasarkan NACE TM017 *Solution A* [2] yang terdiri dari :

- 50 g *Sodium Chloride*
- 5 g *Glacial Acetic Acid*
- 945 g *Distilled Water*

Di dalam wadah yang sudah berisi cairan diatas maka ketentuan minimal kemurnian hidrogen sulfida (H_2S) adalah 99,5 % dengan temperatur yang ditentukan yaitu $24^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ selama 720 jam. pH larutan awal dan akhir harus dicatat dengan ketentuan $\text{pH} = 2,7 \pm 0,1$. Selama pengujian, pH larutan tidak lebih dari 4,0 dan apabila melebihi maka pengujian ini tidak valid. Pada larutan tersebut, pastikan volume larutan di dalam wadah adalah 30 ± 10 ml. Perendaman dimulai dengan meletakkan spesimen ke dalam wadah namun sebelum itu, pastikan wadah sudah dibersihkan menggunakan nitrogen selama minimal 1 jam dengan kecepatan 100 ml/menit per liter larutan. Setelah proses pembersihan menggunakan nitrogen, pastikan pH larutan tidak lebih dari 3,0.

Selama pengujian, spesimen diperiksa secara berkala di dalam bejana uji apabila memungkinkan. Setelah 720 jam, larutan uji harus dibersihkan dengan nitrogen selama minimal 5 jam. Kemudian spesimen dikeluarkan dari wadah dan dibersihkan dengan air, diusap dengan aseton dan dikeringkan dengan udara [4].



Gambar 5: Skema Larutan dan Wadah Pengujian [4]

2.3. Visual Inspection

Spesimen yang sudah diuji *bending* dan direndam dalam larutan H_2S kemudian diuji secara visual. Pengujian ini dilihat pada permukaan yang diuji *bending* menggunakan mikroskop stereo dengan perbesaran minimum 5X [4].

2.4. MPI (*Magnetic Particle Inspection*)

Inspeksi menggunakan MPI dilakukan setelah dilakukan *cleaning* pada spesimen. Metode MPI yang digunakan adalah *wet particle*. Permukaan yang dibending dari masing-masing spesimen diinspeksi menggunakan *yoke* dan disemprot dengan cairan *white contrast* sebagai latar belakangnya, kemudian menyemprotkan *Magnetic Particle Ink* dan membuat medan magnet pada permukaan spesimen menggunakan *yoke*. Apabila tidak ada indikasi atau ada indikasi dengan panjang kurang dari 0,1 mm yang diamati, maka spesimen dapat diberikan keterangan NI (*Non Indicated*). Pengamatan ini bisa dilihat menggunakan mikroskop stereo dengan perbesaran 10X.

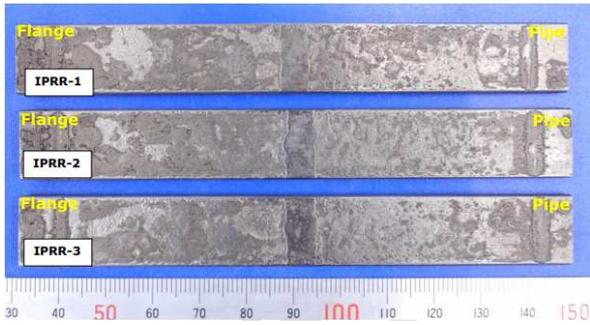
2.5 Macro Test

Setelah dilakukan pengujian MPI (*Magnetic Particle Testing*), apabila terdapat indikasi yang terdeteksi maka spesimen dipotong melintang tegak lurus terhadap indikasi. Setelah itu spesimen dipoles dengan amplas *grit* 800 hingga mengkilat lalu dietsa dengan 2% cairan nital. Spesimen kemudian diuji secara optikal dengan mikroskop perbesaran 100X [4].

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Visual Examination

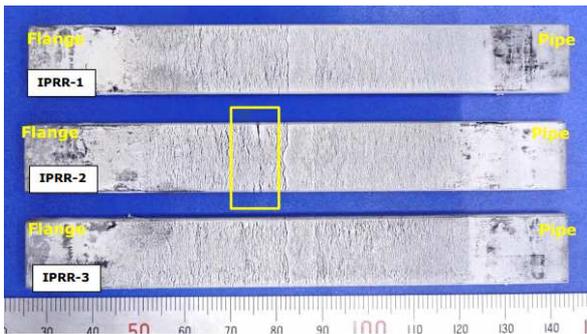
Setelah spesimen direndam selama 30 hari dan diuji *bending*, tahap pertama yang dilakukan adalah pengujian visual. Dari pengujian ini, tidak ada indikasi yang terlihat pada spesimen di bagian *flange* maupun *pipe*. Hal ini dikarenakan *profile* permukaan masih sangat kasar dan sulit untuk diobservasi seperti yang terlihat pada Gambar 6.



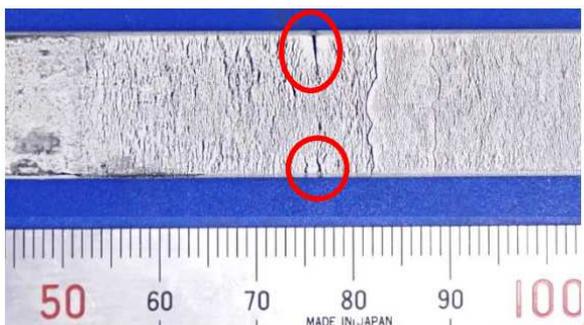
Gambar 6: Spesimen Saat Visual Examination [5]

3.2 MPI (Magnetic Particle Inspection)

Setelah dilakukan *visual examination*, selanjutnya dilakukan pengujian MPI untuk melihat apakah ada indikasi yang terobservasi. Dari hasil observasi pada pengujian ini, menunjukkan adanya indikasi berupa *crack* pada bagian *flange*. Indikasi ini berupa *linier indication* pada bagian tepi spesimen. Berdasarkan SSCC DNV Test Procedure, *acceptance criteria* dari hasil MPI yaitu *acceptable* apabila indikasi memiliki panjang kurang dari 1,0 mm sesuai dengan Gambar 7 dan 8.



Gambar 7: Spesimen Setelah MPI [5]



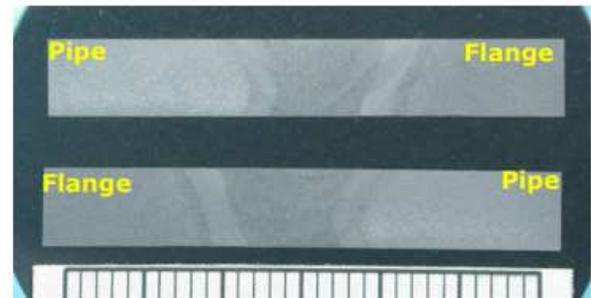
Gambar 8: Spesimen Setelah MPI [5]

3.3 Macro Test

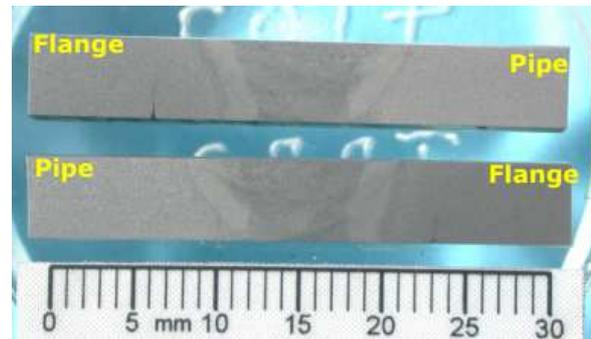
Hasil MPI menunjukkan adanya indikasi berupa *crack*, maka berdasarkan NACE TM0316 spesimen ini harus dilakukan *sectioning* untuk melihat bagian yang diduga ada indikasi *crack* tersebut. Bagian tersebut lalu di-etsa dan diuji menggunakan mikroskop dengan perbesaran 100X. Setelah itu, hasil pengamatan mikroskop menunjukkan adanya dua indikasi *crack propagation* yang berasal dari *pitting corrosion* pada permukaan material (*flange side*) dengan masing-masing ukuran 2 mm dan 2,5 mm [4].

Dari hasil pengujian SSCC (*Sulphide Stress Corrosion Cracking*), hasil yang diobservasi adalah indikasi *crack* jenis *pitting corrosion*. Indikasi ini muncul pada tepi spesimen *flange*. Dari pengujian *macro* diketahui penyebab munculnya indikasi bukan dari *welding* tetapi *material damage* atau kerusakan yang murni terjadi pada spesimen *flange*. Indikasi berupa *pitting corrosion* merupakan jenis indikasi *non acceptable*.

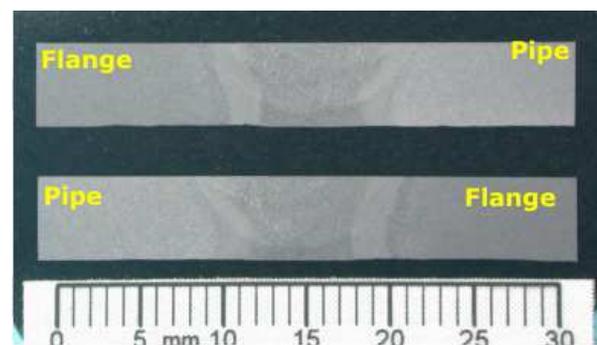
Lokasi terjadinya *pitting* berada di permukaan material yang terkontaminasi cairan asam dimana konsentrasi *stress* lebih tinggi sehingga mempercepat laju perambatan *crack* yang berasal dari daerah *pitting corrosion*. *Pitting corrosion* merupakan jenis korosi paling berbahaya karena ukurannya yang kecil dan sering tertutup dengan butiran korosinya, *pitting corrosion* juga dapat menyebabkan kegagalan pada suatu material dengan kehilangan sedikit persen berat [6]. Oleh karena itu, hasil pengujian *macro test* menunjukkan bahwa spesimen 2 *rejected*, seperti yang terlihat pada gambar 10. Pada spesimen 1 dan 3 tidak terlihat indikasi pada material setelah dilakukan *visual examination* dan MPI seperti yang terlihat pada gambar 9 dan gambar 11.



Gambar 9: Spesimen 1 Setelah Uji Macro I [5]



Gambar 10: Spesimen 2 Setelah Uji Macro [5]



Gambar 11: Spesimen 3 Setelah Uji Macro [5]

Secara keseluruhan, PQR (*Procedure Qualification Record*) ini *acceptable* untuk diajukan menjadi WPS (*Welding Procedure Specification*) *Repair*. Namun untuk pengujian SSCC, berdasarkan SSCC *Test Procedure* DNV GL pengujian ini *rejected* sehingga harus dilakukan pengujian ulang.

4.0 KESIMPULAN

Dari hasil pengujian SSCC, kesimpulan yang didapatkan adalah:

1. Spesimen 1 dengan nilai *strain* antara 1857 – 1742 tidak terlihat indikasi *defect* setelah dilakukan visual, MPI dan *Macro Test*. Maka hasil pengujian untuk spesimen 1 *accepted* [4].
2. Spesimen 2 dengan nilai *strain* antara 1823 – 1855 terlihat indikasi pada *base material flange* ketika dilakukan visual, namun tidak terlihat dengan jelas. Ketika dilakukan MPI, terlihat *linier indication* namun masih *acceptable* karna indikasinya kurang dari 1,0 mm. Setelah dilakukan *macro test* terlihat indikasi berupa *crack* jenis *pitting corrosion*. Maka hasil pengujian untuk spesimen 2 *rejected* [4].
3. Spesimen 3 dengan nilai *strain* antara 1832 – 1854 tidak terlihat indikasi *defect* setelah dilakukan visual, MPI dan *Macro Test*. Maka hasil pengujian untuk spesimen 3 *accepted* [4].
4. Dari hasil pengujian dan pembahasan, PQR (*Procedure Qualification Record*) ini *acceptable* untuk diajukan menjadi WPS (*Welding Procedure Specification*) *Repair*. Namun untuk pengujian SSCC, berdasarkan SSCC *Test Procedure* DNV GL pengujian ini *rejected*, sehingga harus dilakukan pengujian ulang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] NACE TM0316 – Four-Point Bend Testing of Materials for Oil and Gas Applications, 2016.
- [2] NACE TM0177 – Laboratory Testing Materials of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in H₂S Environments Section 6 Test Solution A, 2016.
- [3] DNVGL Test Procedure Rev 01, 2019.
- [4] DNVGL SSC Test of Welded, 2019.
- [5] Brustad, S., Løken, K.-P., and J.G. Waalman. "Hydrate Prevention using MEG instead of MeOH: Impact of experience from major Norwegian developments on technology selection for injection and recovery of MEG." Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, May 2005. doi: <https://doi.org/10.4043/17355-MS>.
- [6] "Fundamentals of Corrosion", Philip A. Schewitzer, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, United States of America, 2010.
- [7] Octal Steel. *API 5L Specification*. <https://www.octalsteel.com/resources/api-5l-x65-pipe>
- [8] Abbey Forged Products. ASTM A694 F65 Specification. <http://www.abbeyforgedproducts.co.uk/images/downloads/PDF/ASTM-A694-F65.pdf>
- [9] API Specification 5L Forty Sixth Edition, April 2018.
- [10] ASTM A694 - Standar Specification for Carbon and Alloy Steel Forgings for Pipe Flanges, Fittings, Vales, and Parts for High-Pressure Transmission Service, 2016.
- [11] TWI CSWIP 3.1 – Certification Welding Inspector, Cambridge CB 21 6AL, United Kingdom.