

# PENGARUH PEMBENTUKAN SIGMA PHASE TERHADAP KETAHANAN KOROSI PITTING BAJA SUPER SUPLEX STAINLESS STEEL UNS S32750

Aldyno Heryanda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi dan Desain, Institut Teknologi Sains Bandung

[aldyheryanda@gmail.com](mailto:aldyheryanda@gmail.com)

## Abstrak

Super Duplex Stainless Steel (SDSS) merupakan salah satu tipe material baja tahan karat dengan kombinasi komposisi kimia Chromium (Cr), Nickel (Ni) dan Molybdenum (Mo) serta fraksi ferrite dan austenite yang seimbang sehingga membuat SDSS memiliki sifat ketahanan korosi dan sifat mekanik yang sangat baik dan banyak digunakan untuk aplikasi pada process piping dan pipeline. Namun, SDSS ini dapat mengalami penurunan ketahanan korosi yang disebabkan oleh fase presipitasi sigma. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan hubungan antara rasio heat input cold pass : rasio heat input root pass terhadap persentase sigma phase dan hubungan persentase sigma phase terhadap nilai weight loss yang disertai pembentukan korosi pitting. Spesimen as welded yang dilakukan proses machining menjadi Test Coupon (TC) didapatkan rasio heat input cold pass : rasio heat input root pass (TC 1 = 74%, TC 2 = 70%, TC 3 = 68%, dan TC 4 = 61%) dilakukan pengujian struktur mikro melalui proses polisihing, etching, observasi dengan menghitung persentase sigma phase didapatkan persentase sigma phase (TC 1 = 13.96%, TC 2 = 8.33%, TC 3 = 8.33%, dan TC 4 = 4.38%). Selanjutnya TC 1, TC 2, TC 3 dan TC 4 dilakukan uji ketahanan korosi berdasarkan ASTM G-48 method A dan menghasilkan nilai weight loss (TC 1 = 14.67 gr/m<sup>2</sup>, TC 2 = 11.71 gr/m<sup>2</sup>, TC 3 = 1.27 gr/m<sup>2</sup>, dan TC 4 = 2.71 gr/m<sup>2</sup>). Dengan hal ini dapat disimpulkan TC dengan nilai rasio heat input root pass : rasio heat input cold pass terhadap persentase sigma phase adalah berbanding lurus, apabila semakin tinggi rasio maka akan semakin tinggi persentase sigma phase. Persentase sigma phase yang tinggi, maka dapat menghasilkan nilai weight loss pada uji korosi juga semakin tinggi yang akan menyebabkan korosi pitting.

Kata kunci: super duplex stainless steel, ketahanan korosi, mikrostruktur, komposisi kimia, ferrite, austenite, sigma phase.

## Abstract

*Super Duplex Stainless Steel (SDSS) is a type of stainless steel material with a combination of chemical compositions of Chromium (Cr), Nickel (Ni) and Molybdenum (Mo) as well as balanced ferrite and austenite fractions that make SDSS have corrosion resistance and mechanical properties which is very good and widely used for applications in process piping and pipelines. However, this SDSS can experience a decrease in corrosion resistance caused by the sigma precipitation phase. This study aims to determine the relationship between the ratio of heat input cold pass: the ratio of heat input root pass to the percentage of sigma phase and the relationship between the percentage of sigma phase to the value of weight loss accompanied by the formation of pitting corrosion. Specimens as welded which were machined to become a Test Coupon (TC) obtained the ratio of heat input cold pass : heat input root pass ratio (TC 1 = 74%, TC 2 = 70%, TC 3 = 68%, and TC 4 = 61%) microstructure testing was carried out through the process of polishing, etching, observation by calculating the percentage of sigma phase to get the percentage of sigma phase (TC 1 = 13.96%, TC 2 = 8.33%, TC 3 = 8.33%, and TC 4 = 4.38%). Then TC 1, TC 2, TC 3 and TC 4 were tested for corrosion resistance based on ASTM G-48 method A and yielded weight loss values (TC 1 = 14.67 gr/m<sup>2</sup>,*

$TC 2 = 11.71 \text{ gr/m}^2$ ,  $TC 3 = 1.27 \text{ gr/m}^2$ , and  $TC 4 = 2.71 \text{ gr/m}^2$ ). With this, it can be concluded that TC with the value of the heat input root pass ratio: the ratio of heat input cold pass to the percentage of sigma phase is directly proportional, the higher the ratio, higher percentage of sigma phase. The higher the percentage of sigma phase, the higher the weight loss value in the corrosion test, which will cause pitting corrosion.

*Keywords: super duplex stainless steel, corrosion resistance, metalography, chemical composition, ferrite, austenite, sigma phase*

## PENDAHULUAN

Pada masa ini, industri produksi minyak dan gas meningkatkan volume ekstraksi hidrokarbon dari sumur lepas pantai (*offshore*) dan *deep-water wells*, seiring dengan meningkatnya volume ekstraksi hidrokarbon di industri *oil and gas* juga meningkatkan fabrikasi beberapa diantaranya adalah *manifold* dan *spool*, bahan yang digunakan untuk membuat peralatan modern ini harus dibedakan dengan peningkatan produktivitas dalam kondisi korosi dan tekanan yang tinggi, untuk memastikan operasi aman dan bebas dari masalah. Baja tahan karat *Duplex Stainless Steel* (DSS) dan *Super Duplex Stainless Steel* (SDSS) merupakan baja tahan karat yang semakin banyak digunakan dan diaplikasikan dalam bidang ini karena memberikan sifat mekanik yang baik untuk aplikasi industri *oil and gas* baik untuk *manifold* ataupun *spool*, ketangguhan dan kekuatan yang tinggi, sifat mampu las (*weldability*) yang lebih baik dibandingkan dengan *ferritic stainless steel* murni, juga memiliki ketahanan yang tinggi terhadap stress corrosion cracking dan biaya paduan yang rendah [1-4].

Duplex stainless steel (22% Cr) dan Super Duplex Stainless Steel (25% Cr) merupakan kategori yang memiliki kombinasi ketahanan korosi dan sifat mekanik yang sangat baik. Duplex Stainless Steel (DSS) dan Super Duplex Stainless Steel (SDSS) ditentukan oleh struktur mikro ferrite-austenite yang seimbang. Diantara keduanya DSS dan SDSS, klasifikasi yang memiliki ketahanan korosi yang jauh lebih baik yaitu Super Duplex Stainless Steel (SDSS) dengan nilai 25% Cr [5]. Kehadiran fraksi volume fasa ferrite-austenite yang seimbang dan adanya unsur paduan seperti Cr, Ni dan Mo dalam kandungan yang lebih besar memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap korosi pitting (pitting corrosion) dan korosi celah (crevice corrosion) dari kebanyakan baja tahan karat

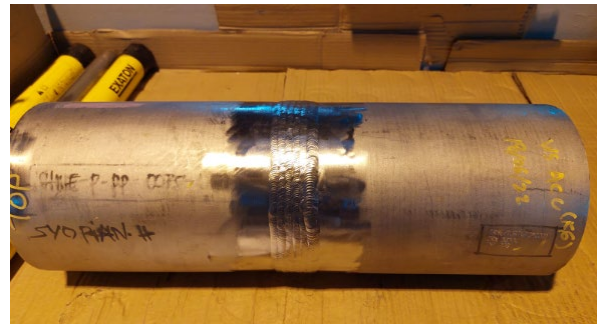
austenitic (conventional austenitic stainless steel) [6].

Studi menunjukkan kemampuan las (*weldability*) dan pekerjaan panas (*hot working*) yang baik pada *Super Duplex Stainless Steel* (SDSS). Namun menunjukkan suatu tantangan selama pengelasan, dua masalah utama mungkin timbul karena evolusi atau perubahan dari struktur mikro pada saat pendinginan pencapaian fasa dari austenite ke ferrite yang tidak seimbang antara rasio dan presipitasi di zona fusi (FZ) dan zona yang terkena panas (HAZ) pada fasa sekunder, umumnya dapat menurunkan ketahanan korosi dan ketangguhan paduan [7]. Upaya untuk menyeimbangkan *microstructure* supaya *weldability* tetap terjaga yaitu dengan mengontrol heat input pengelasan [8].

Temperatur merupakan kunci parameter utama dari proses pengelasan terutama pada area Heat Affected Zone (HAZ) dan weld metal. Salah satu kontrol temperatur adalah menjaga parameter heat input dan cooling rate ketika pengelasan agar transformasi ferrite-austenite phase nya tetap seimbang. Kontrol temperatur yang buruk termasuk *heat input* yang tinggi dapat menyebabkan presipitasi berupa *intermetallic phase*. *Intermetallic phase* merupakan suatu presipitasi pada *microstructure* yang terjadi pada variasi temperatur tertentu. Beberapa jenis *intermetallic phase* yaitu diantaranya adalah Sigma phase yang terjadi pada temperatur  $600^{\circ} - 1000^{\circ}\text{C}$ , Chi terjadi pada temperatur  $700^{\circ} - 900^{\circ}\text{C}$ , Nitrides terjadi pada temperatur  $700^{\circ} - 900^{\circ}\text{C}$ , Carbides terjadi pada temperatur  $550^{\circ} - 650^{\circ}\text{C}$ , dan prime alpha terjadi pada  $475^{\circ}\text{C}$  [9].

Penulis menjadikan penelitian ini sebagai landasan penentuan tugas akhir penulis karena beberapa case yang terjadi di lapangan tempat penulis bekerja, adanya material SDSS yang dilakukan penyambungan dengan metode pengelasan namun mengalami kegagalan ketika dilakukan pengujian tidak merusak atau *Non-Destructive Test* (NDT) dengan metode *Ultrasonic Testing* (UT), dari pengujian ini

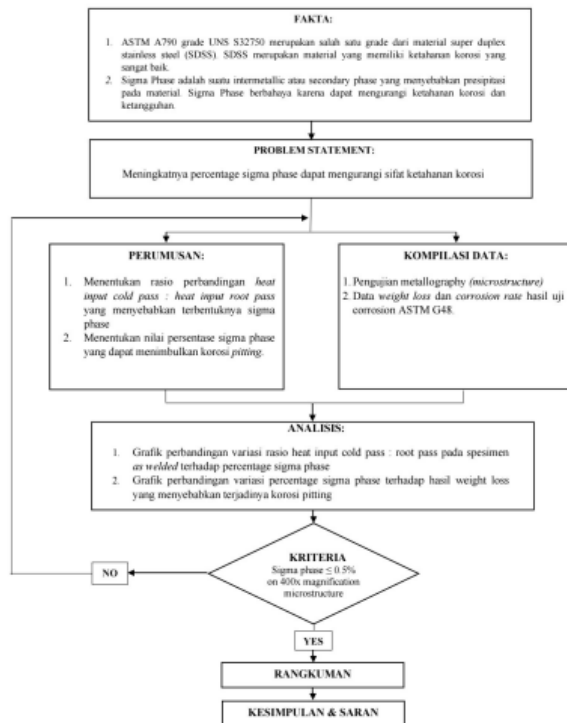
ditemukan beberapa cacat las seperti lack of inter run fusion dan crack pada area weld metal. Oleh karena itu penulis ingin membuktikan keterkaitan parameter temperatur seperti heat input dengan munculnya presipitasi sigma yang menyebabkan terjadinya pitting corrosion yang menjadi akar permasalahan utama terjadi cacat las.



Gambar 3.1 As welded specimen

## METODOLOGI PENELITIAN

### Diagram Alir



### Sample Hasil pengelasan

Sample hasil pengelasan yang akan dijadikan test coupon merupakan spesimen as welded dari paduan material pipe to pipe SDSS (UNS S32750) melalui proses pengelasan GTAW.

Detail sample hasil pengelasan as welded yang dijadikan penelitian ditunjukkan pada tabel 3.1 dan contoh as welded specimen ditunjukkan pada gambar 3.1

Tabel 3.1 Sample Hasil Pengelasan

| No | As Welded Specimen Details |                 |
|----|----------------------------|-----------------|
| 1  | Material Type              | SDSS (pipe)     |
| 2  | Material Grade             | UNS S32750      |
| 3  | Diameter                   | 8"              |
| 4  | Thickness                  | 32.5 mm         |
| 5  | Joint Design               | Singe Vee Goove |
| 6  | Filler Metal               | A5.9 ER2594     |

### Uji Merusak / Destructive Test (DT)

Setelah dilakukan pengujian NDT, selanjutnya spesimen as welded dilakukan pemotongan menjadi test coupon melalui proses machining. Metode DT yang dilakukan untuk penelitian ini ada 2, yaitu microstructure testing dan corrosion test (G-48).

#### a. Uji Korosi / Corrosion Testing (G-48 Method A)

Disiapkan 4 test coupon yang sudah selesai dilakukan machining dengan masing-masing dimensi test coupon adalah 25 mm x 50 mm. Berikut dibawah ini adalah langkah-langkah uji korosi G-48 dengan method A:

1. Pengukuran dimensi test coupon.
2. Pickling, pada proses pickling test coupon dicelupkan ke dalam solution 20% HNO<sub>3</sub> + 5% HF dengan temperatur 60°C selama 5 menit. Setelah itu test coupon dicuci dan dibersihkan dengan sodium hidroksida. Setelah bersih, test coupon dimasukkan ke dalam gelas ukur yang sudah diisi larutan propanol lalu letakkan dalam UT cleaner selama 5 menit. Lalu bersihkan lagi dengan sodium hidroksida.
3. Setelah pickling selesai, test coupon di passivasi di dalam incubator selama 1 x 24 jam
4. Penimbangan sebelum loading. Test coupon yang sudah di pickling dan passivasi kemudian dilakukan penimbangan test coupon dan record nilai beratnya sebanyak 5 kali pengambilan.
5. Immersion / loading. Tuangkan 100 gr FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O (ferric chloride hexahydrate) ke dalam gelas ukur yang sudah diisi dengan 900 ml aquades lalu letakkan test coupon ke dalam gelas ukur tersebut dan masukkan gelas ukur tersebut ke dalam labtech waterbath dengan temperatur standar 40°C ± 2 °C selama 1x 24 jam.

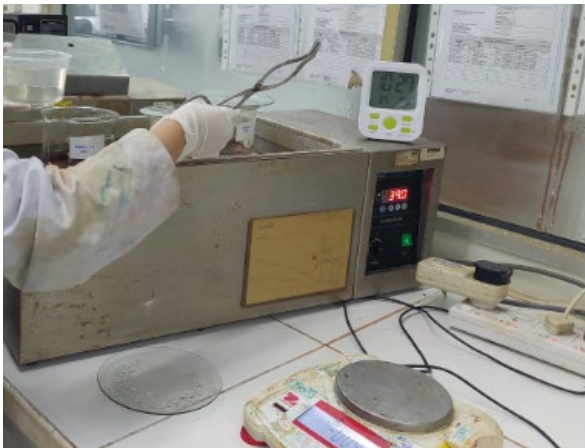


Gambar 3.2 Immersion / Loading



Gambar 3.5 Pengeringan specimen

6. Unloading. Pengangkatan test coupon dari dalam labtech waterbath kemudian keluarkan test coupon dari dalam gelas ukur.



Gambar 3.3 Unloading

9. Penimbangan setelah unloading. Test coupon yang sudah di immersion tersebut kemudian ditimbang kembali dan record nilai beratnya banyak 5 kali pengambilan.



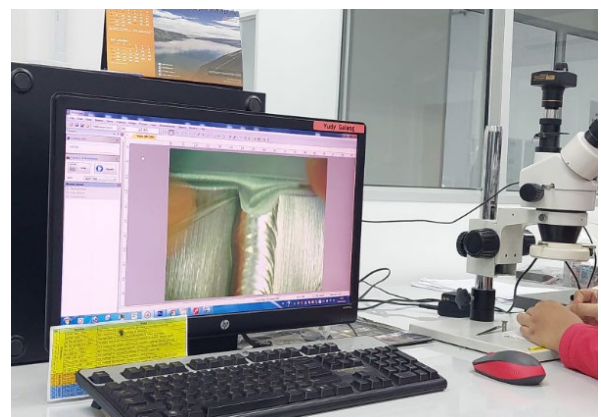
Gambar 3.6 Proses Penimbangan (after testing)

7. Cuci dan bersihkan test coupon dengan sodium oxide.



Gambar 3.4 Pembersihan test coupon

10. Observasi dilakukan dengan melihat visual pada surface dan weld root area test coupon menggunakan mikroskop dengan pembesaran 20X.

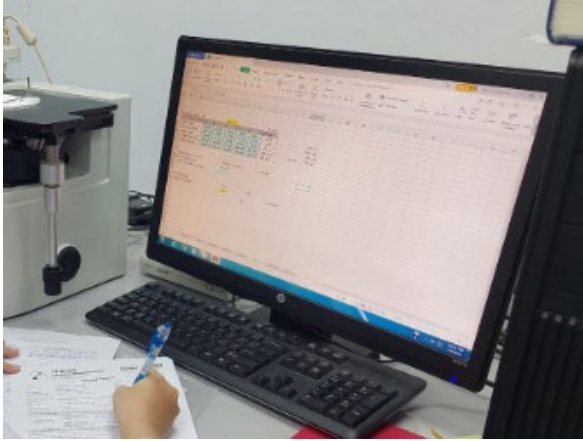


Gambar 3.7 Observasi pada mikroskop pembesaran 20X

8. Keringkan test coupon dengan hair dryer supaya tidak ada lagi cairan yang menempel pada test coupon.



## 11. Perhitungan weight loss.



Gambar 3.8 Calculation corrosion rate process

### b. Uji Struktur mikro / Metallography Testing

Disiapkan 4 test coupon yang sudah selesai dilakukan machining dengan masing-masing dimensi test coupon adalah 25 mm x 50 mm. Berikut dibawah ini adalah langkah-langkah uji microstructure :

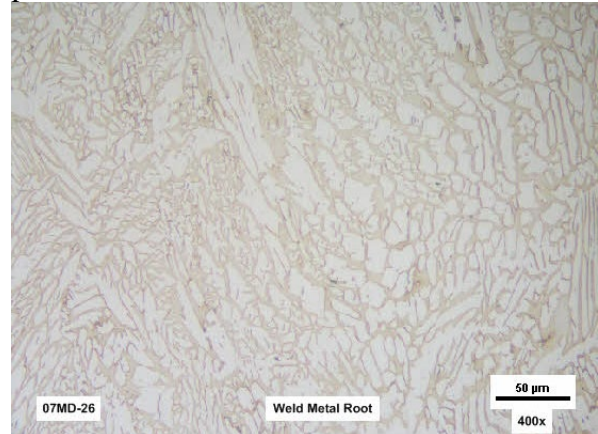
1. Polishing (sandpaper). Menggosok test coupon menggunakan sandpaper dengan urutan sandpaper dari yang paling kasar hingga paling halus, yaitu grid 400, grid 600, grid 800, grid 1200, grid 2000
2. Polishin (kain). Menggosok test coupon menggunakan kain yang sudah disemprotkan diamond paste hingga tidak ada lagi goresan pada permukaan test coupon yang akan di uji.
3. Etching. Etching test coupon dengan 10% NaOH menggunakan proses elektrolisis hingga terlihat profile lasan pada test coupon.
4. Cuci dan bersihkan test coupon menggunakan etanol.
5. Observasi. Melihat struktur mikro pada test coupon menggunakan mikroskop.
6. Perhitungan fase ferrite. Pada proses ini, jika terlihat sigma phase dalam proses perhitungan fase ferrite maka tahap selanjutnya adalah menghitung kembali fase ferrite dengan grid configuration menggunakan metode square grid.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

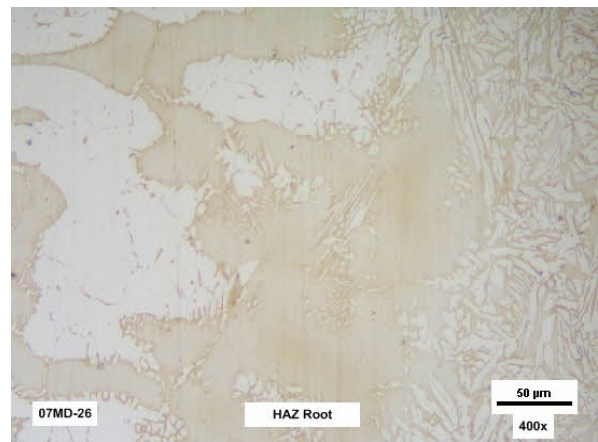
### Metallography Test

#### 1. Test Coupon 1

Pada observasi penampakan struktur mikro dengan pembesaran 400X untuk test coupon 1 yang ditunjukkan pada gambar 3.9 area *weld root* dan pada gambar 3.10 pada *HAZ root* ditemukan sigma phase dengan persentase 13.96%.



Gambar 3.9 Mikrostruktur dan hasil interpretasi pada area *weld root*

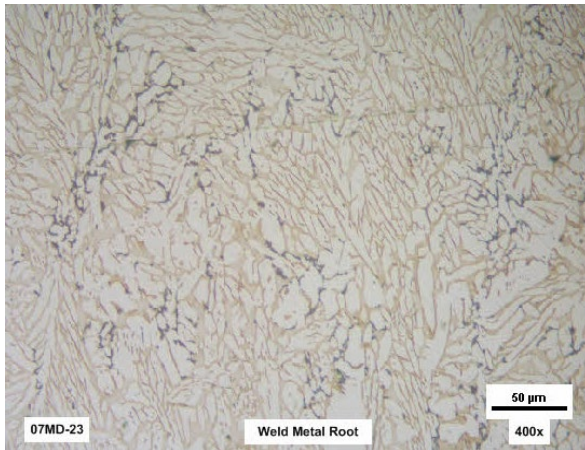


Gambar 3.10 Mikrostruktur dan hasil interpretasi pada area *HAZ root*

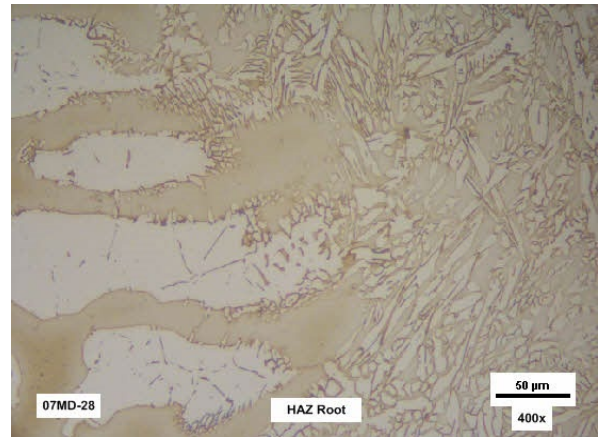
#### 2. Test Coupon 2

Pada observasi penampakan struktur mikro dengan pembesaran 400X untuk test coupon 2 yang ditunjukkan pada gambar 3.11 area *weld root* dan pada gambar 3.12 pada *HAZ root* ditemukan sigma phase dengan persentase 8.33%

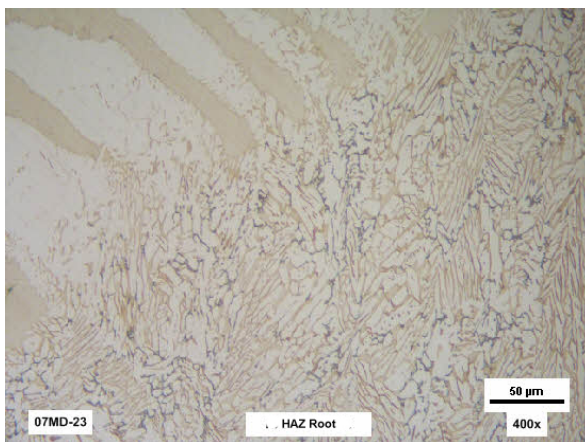




Gambar 3.11 Mikrostruktur dan hasil interpretasi pada area *weld root*



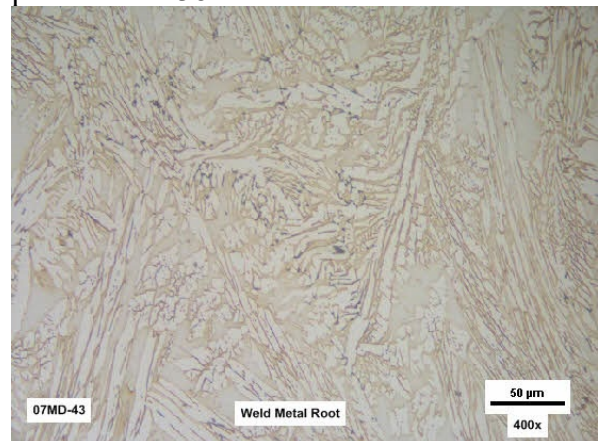
Gambar 3.14 Mikrostruktur dan hasil interpretasi pada area *HAZ root*



Gambar 3.12 Mikrostruktur dan hasil interpretasi pada area *HAZ root*

#### 4. Test Coupon 4

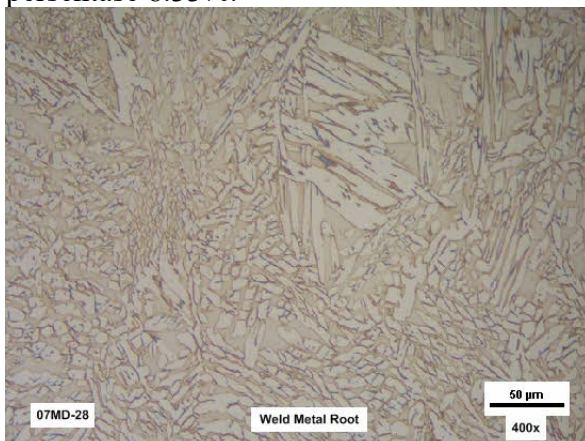
Pada observasi penampakan struktur mikro dengan pembesaran 400X untuk test coupon 4 yang ditunjukkan pada gambar 3.15 area *weld root* dan pada gambar 3.16 pada *HAZ root* ditemukan sigma phase dengan persentase 4.38%



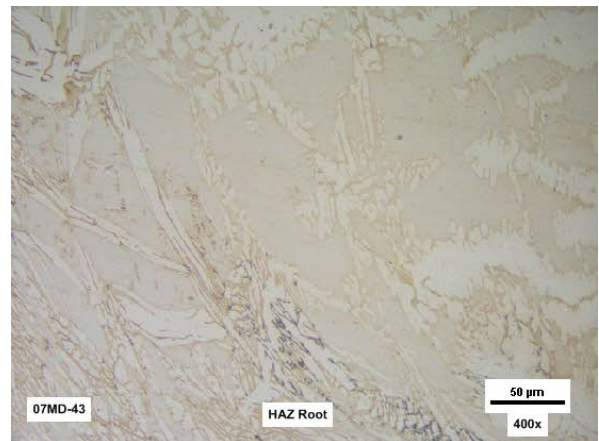
Gambar 3.15 Mikrostruktur dan hasil interpretasi pada area *weld root*

#### 3. Test coupon 3

Pada observasi penampakan struktur mikro dengan pembesaran 400X untuk test coupon 3 yang ditunjukkan pada gambar 3.13 area *weld root* dan pada gambar 3.14 pada *HAZ root* ditemukan sigma phase dengan persentase 8.33%.



Gambar 3.13 Mikrostruktur dan hasil interpretasi pada area *weld root*



Gambar 3.16 Mikrostruktur dan hasil interpretasi pada area *HAZ root*

## Corrosion Test (G-48)

### 1. Test Coupon 1

Pada hasil observasi sebelum dan sesudah *immersion* pada test coupon 1 dihasilkan terdapat *pitting* pada pembesaran 20x. Dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Hasil Observasi Uji Korosi Test Coupon 1

| Data spesimen  | Ukuran spesimen |         |   |         |         | Rata-rata |
|--|-----------------|---------|---|---------|---------|-----------|
|  | 1               | 2       | 3   | 4       | 5       |           |
| Berat sebelum tes (g)  | 408.025         | 408.025 | 408.025   | 408.024 | 408.024 | 408.025   |
| Berat setelah tes (g)  | 407.891         | 407.892 | 407.891   | 407.891 | 407.891 | 407.891   |
| Luas area (mm <sup>2</sup> )   | 9090.346        |         |   |         |         |           |
| Kehilangan berat (g)   | 0.13            |         |   |         |         |           |
| Kehilangan berat (g/m <sup>2</sup> )   | 14.67           |         |   |         |         |           |
| <b>Ringkasan Uji Korosi Pitting</b>  |                 |         | <b>Observasi</b>  |         |         |           |
| Persiapan permukaan menggunakan larutan pickling 20% HNO <sub>3</sub> + 5% HF pada temperatur 60°C dalam waktu 5 menit dan diikuti/dilanjutkan dengan proses pasivasi diudara terbuka selama 24jam.<br>Korosi pitting dilakukan pada area spesimen girth weld, mengacu pada/sesuai dengan specification ASTM G48 Method A.<br>Sampel telah diuji selama 24 jam direndam dalam larutan FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O (ferric chloride hexahydrate) mengacu pada / sesuai dengan ASTM G48 paragraf 6.1 pada temperatur konstan 40°C ± 2°C |                 |         | Korosi pitting terdapat pada area tertentu (concerned area) diamati pada perbesaran 20x |         |         |           |
| <b>Acceptance Criteria</b>   |                 |         | <b>Result</b>   |         |         |           |
| 1. Tidak ada pitting dalam pembesaran 20x<br>2. Kehilangan berat/weight loss tidak boleh lebih dari 4.0 g/m <sup>2</sup>   |                 |         | Failed  |         |         |           |

### 2. Test Coupon 2

Pada hasil observasi sebelum dan sesudah *immersion* pada test coupon 2 dihasilkan terdapat *pitting* pada pembesaran 20x. Dapat dilihat pada tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Hasil Observasi Uji Korosi Test Coupon 2

| Data spesimen  | Ukuran spesimen |         |   |         |         | Rata-rata |
|--|-----------------|---------|---|---------|---------|-----------|
|  | 1               | 2       | 3   | 4       | 5       |           |
| Berat sebelum tes (g)  | 346.342         | 346.342 | 346.342   | 346.342 | 346.342 | 346.342   |
| Berat setelah tes (g)  | 346.247         | 346.248 | 346.248   | 346.248 | 346.248 | 346.248   |
| Luas area (mm <sup>2</sup> )   | 8042.729        |         |   |         |         |           |
| Kehilangan berat (g)   | 0.09            |         |   |         |         |           |
| Kehilangan berat (g/m <sup>2</sup> )   | 11.71           |         |   |         |         |           |
| <b>Ringkasan Uji Korosi Pitting</b>  |                 |         | <b>Observasi</b>  |         |         |           |
| Persiapan permukaan menggunakan larutan pickling 20% HNO <sub>3</sub> + 5% HF pada temperatur 60°C dalam waktu 5 menit dan diikuti/dilanjutkan dengan proses pasivasi diudara terbuka selama 24jam.<br>Korosi pitting dilakukan pada area spesimen girth weld, mengacu pada/sesuai dengan specification ASTM G48 Method A.<br>Sampel telah diuji selama 24 jam direndam dalam larutan FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O (ferric chloride hexahydrate) mengacu pada / sesuai dengan ASTM G48 paragraf 6.1 pada temperatur konstan 40°C ± 2°C |                 |         | Korosi pitting terdapat pada area tertentu (concerned area) diamati pada perbesaran 20x |         |         |           |
| <b>Acceptance Criteria</b>   |                 |         | <b>Result</b>   |         |         |           |
| 1. Tidak ada pitting dalam pembesaran 20x<br>2. Kehilangan berat/weight loss tidak boleh lebih dari 4.0 g/m <sup>2</sup>   |                 |         | Failed  |         |         |           |

### 3. Test Coupon 3

Pada hasil observasi sebelum dan sesudah *immersion* pada test coupon 3 dihasilkan terdapat *pitting* pada pembesaran 20x. Dapat dilihat pada tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Hasil Observasi Uji Korosi Test Coupon 3

| Data spesimen                        | Ukuran spesimen |         |         |         |         | Rata-rata |
|--------------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
|                                      | 1               | 2       | 3       | 4       | 5       |           |
| Berat sebelum tes (g)                | 364.665         | 364.665 | 364.664 | 364.664 | 364.664 | 364.664   |
| Berat setelah tes (g)                | 364.654         | 364.654 | 364.654 | 364.653 | 364.654 | 364.654   |
| Luas area (mm <sup>2</sup> )         | 8308.421        |         |         |         |         |           |
| Kehilangan berat (g)                 | 0.0106          |         |         |         |         |           |
| Kehilangan berat (g/m <sup>2</sup> ) | 1.27            |         |         |         |         |           |

| <b>Ringkasan Uji Korosi Pitting</b>  | <b>Observasi</b>  |
|--|---|
| Persiapan permukaan menggunakan larutan pickling 20% HNO <sub>3</sub> + 5% HF pada temperatur 60°C dalam waktu 5 menit dan diikuti/dilanjutkan dengan proses pasivasi diudara terbuka selama 24jam.<br>Korosi pitting dilakukan pada area spesimen girth weld, mengacu pada/sesuai dengan specification ASTM G48 Method A.<br>Sampel telah diuji selama 24 jam direndam dalam larutan FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O (ferric chloride hexahydrate) mengacu pada / sesuai dengan ASTM G48 paragraf 6.1 pada temperatur konstan 40°C ± 2°C | Korosi pitting terdapat pada area tertentu (concerned area) diamati pada perbesaran 20x |

| <b>Acceptance Criteria</b>   | <b>Result</b> |
|--|---------------|
| 1. Tidak ada pitting dalam pembesaran 20x<br>2. Kehilangan berat/weight loss tidak boleh lebih dari 4.0 g/m <sup>2</sup> | Failed        |

### 4. Test Coupon 4

Pada hasil observasi sebelum dan sesudah *immersion* pada test coupon 4 dihasilkan terdapat *pitting* pada pembesaran 20x. Dapat dilihat pada tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Hasil Observasi Uji Korosi Test Coupon 3

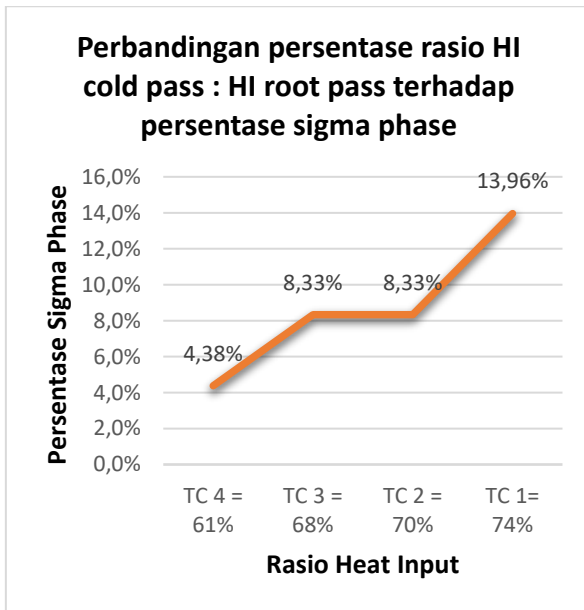
| Data spesimen                        | Ukuran spesimen |         |         |         |         | Rata-rata |
|--------------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
|                                      | 1               | 2       | 3       | 4       | 5       |           |
| Berat sebelum tes (g)                | 297.633         | 297.633 | 297.632 | 297.632 | 297.633 | 297.633   |
| Berat setelah tes (g)                | 297.613         | 297.613 | 297.613 | 297.612 | 297.612 | 297.613   |
| Luas area (mm <sup>2</sup> )         | 7393.102        |         |         |         |         |           |
| Kehilangan berat (g)                 | 0.02            |         |         |         |         |           |
| Kehilangan berat (g/m <sup>2</sup> ) | 2.705           |         |         |         |         |           |

| <b>Ringkasan Uji Korosi Pitting</b>  | <b>Observasi</b>  |
|--|---|
| Persiapan permukaan menggunakan larutan pickling 20% HNO <sub>3</sub> + 5% HF pada temperatur 60°C dalam waktu 5 menit dan diikuti/dilanjutkan dengan proses pasivasi diudara terbuka selama 24jam.<br>Korosi pitting dilakukan pada area spesimen girth weld, mengacu pada/sesuai dengan specification ASTM G48 Method A.<br>Sampel telah diuji selama 24 jam direndam dalam larutan FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O (ferric chloride hexahydrate) mengacu pada / sesuai dengan ASTM G48 paragraf 6.1 pada temperatur konstan 40°C ± 2°C | Korosi pitting terdapat pada area tertentu (concerned area) diamati pada perbesaran 20x |

| <b>Acceptance Criteria</b>   | <b>Result</b> |
|--|---------------|
| 1. Tidak ada pitting dalam pembesaran 20x<br>2. Kehilangan berat/weight loss tidak boleh lebih dari 4.0 g/m <sup>2</sup> | Failed        |

### Pengaruh rasio *heat input cold pass* dibagi *heat input root pass* terhadap persentase *sigma phase*.

Dilakukan uji struktur mikro untuk mengetahui persentase *sigma phase* berdasarkan rasio HI *cold pass* : HI *root pass* yang telah ditampilkan dalam bentuk grafik pada **Gambar 4.1**

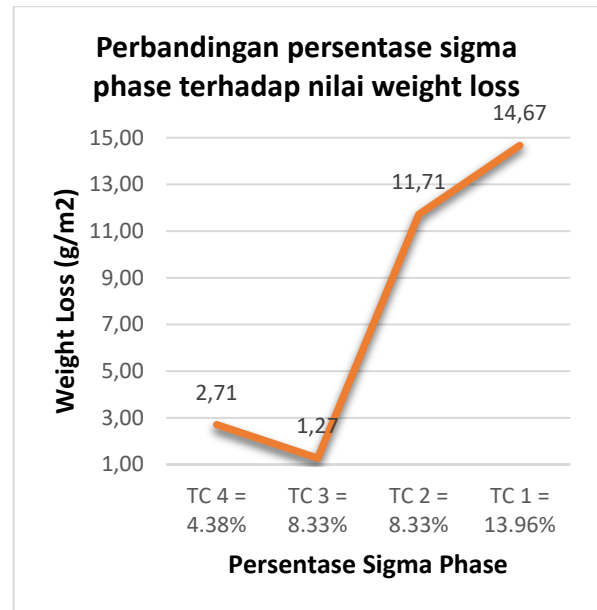


**Gambar 4.1** Perbandingan rasio *heat input cold pass* : *heat input root pass* terhadap persentase *sigma phase*

Didapati pada hasil grafik bahwa *test coupon (TC)* dengan persentase *sigma phase* tertinggi sebesar 13.96% didapat dari perbandingan rasio HI *cold pass* : HI *root pass* dengan nilai persentase rasionya 74%. Kedua tertinggi dengan hasil persentase *sigma phase* 8.33% didapat dari perbandingan rasio HI *cold pass* : HI *root pass* dengan nilai persentase rasionya 70%. Ketiga tertinggi dengan hasil persentase *sigma phase* 8.33% didapat dari perbandingan rasio HI *cold pass* : HI *root pass* dengan nilai persentase rasionya 68%. Untuk nilai persentase *sigma phase* terendah 4.38% didapat dari perbandingan rasio HI *cold pass* : HI *root pass* dengan nilai persentase rasionya 61%.

**Pengaruh persentase *sigma phase* terhadap nilai *weight loss* dari hasil uji ketahanan korosi (ASTM G-48).**

Dilakukan uji ketahanan korosi berdasarkan ASTM G-48 dari *test coupon* yang sama dari uji mikrostuktur yang ditemukan *sigma phase* maka perbandingan persentase *sigma phase* terhadap nilai *weight loss* ditampilkan dalam bentuk grafik pada **Gambar 4.2**



**Gambar 4.2** Perbandingan persentase *sigma phase* terhadap nilai *weight loss*

Didapat pada hasil grafik bahwa TC 1 memiliki nilai *weight loss* tertinggi sebesar 14.67 g/m<sup>2</sup> dengan nilai persentase *sigma phase* 13.96% yang merupakan juga nilai *sigma phase* paling tinggi dibandingkan TC lainnya. Tertinggi kedua pada TC 2 memiliki nilai *weight loss* sebesar 11.71 g/m<sup>2</sup> dengan nilai persentase *sigma phase* 8.33%. Namun pada TC 3 memiliki nilai *weight loss* yang terendah sebesar 1.27 g/m<sup>2</sup> dengan nilai persentase *sigma phase* sama dengan TC 2 yaitu 8.33% dan TC 4 memiliki nilai *weight loss* sebesar 2.71 g/m<sup>2</sup> dengan nilai persentase *sigma phase* terendah sebesar 4.38%. Hal ini disebabkan karena faktor lokasi pada TC yang terdapat *pitting* bersifat *intermittent* sehingga ada lokasi yang mengalami *weight loss* dengan cepat dan ada juga yang lambat sehingga nilai *weight loss* itu sendiri tidak dihitung dengan maksimal.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

1. Nilai rata-rata HI atau rasio perbandingan HI pada *cold pass* harus 75% lebih rendah dibanding dengan *heat input* pada *root pass*. Karena apabila melewati atau mendekati nilai 75% maka akan berpotensi terbentuknya presipitasi berupa *sigma phase*. Hal ini disebabkan karena jika nilai *heat input* pada *cold pass* > dari nilai *heat input* pada *root pass* akan



mengakibatkan *root pass* mengalami pemanasan kembali yang bersifat mendadak dan tingkat kemungkinan terbentuknya *sigma phase* akan semakin cepat.

2. Nilai rasio HI *cold pass* : rasio HI *root pass* berbanding lurus dengan nilai persentase *sigma phase*. Semakin tinggi rasio HI *cold pass* : rasio HI *root pass*, maka akan semakin tinggi nilai persentase *sigma phase*.
3. Nilai persentase *sigma phase* tidak bisa dikatakan berbanding lurus dengan nilai *weight loss*. Ada faktor *intermittent pitting* yang terjadi pada TC sehingga laju *weight loss* menjadi semakin lambat. Akan tetapi, dapat disimpulkan bahwa setiap TC yang memiliki *sigma phase*, maka akan mengalami *weight loss*.
4. Setiap TC yang mengalami *weight loss*, maka TC tersebut pasti terbentuk lubang berupa *pitting* pada lokasi *toe* dari *root pass*.

#### Saran

1. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut dari faktor yang lain untuk membuktikan bahwa nilai persentase *sigma phase* berbanding lurus dengan nilai *weight loss*.
2. Perlu adanya perlakuan kontrol yang ketat terhadap parameter temperatur pengelasan dan HI untuk menghindari terjadinya pemanasan kembali pada *root pass* yang menyebabkan terbentuknya *sigma phase*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Olsson J., Snis M. Duplex - A new generation of stainless steels for desalination plants. *Desalination* 2007, 205, 104–113.
- [2] Chen T., Weng K., Yang J. The effect of high-temperature exposure on the microstructural stability and toughness property in a 2205 duplex stainless steel. *Mater. Sci. Eng. A* 2002, 338, 259–270.
- [3] M M.A., Shrikrishna K.A., Sathiya P., Goel S. The impact of heat input on the strength, toughness, microhardness, microstructure and corrosion aspects of friction welded duplex stainless steel joints. *J. Manuf. Process.* 2015, 18, 92–106.
- [4] Sato Y.S., Nelson T.W., Sterling C.J., Steel R.J., Pettersson C.-O. Microstructure and mechanical properties of friction stir welded SAF 2507 super duplex stainless steel. *Mater. Sci. Eng. A* 2005, 397, 376–384.
- [5] Corrosion Resistant Alloy R&D Department, Duplex Stainless Steel Welding Guidelines, Industrial Arcelor Mittal – 56 rue Clemenceau – 71201 LE CREUSOT. 2019. 12-13.
- [6] D. Arun, K. Devendranath Ramkumar, R. Vimala, Multi-pass Arc Welding Technique of 12mm Thick Super-Duplex Stainless Steel, *Journal of Material Processing Technology*, 2019.
- [7] I. Alvarez-Armas, Iris. II. Degallaix-Moreuil, Suzanne, Duplex Stainless Steel, John Wiley & Sons, Inc. TN757.C5D87 2009, ISBN 978-1-84821-137-7. Chapter 4, 141.
- [8] K. Devendranath Ramkumar, G. Thiruvengatam, et. al, Characterization of weld strength and impact toughness in the multi-pass welding of super-duplex stainless steel UNS 32750, *Journal Material and Design* 60 (2014) 125-135.
- [9] Prabhu Paulraj, Rajnish Garg, Effect of Intermetallic Phases on Corrosion Behavior and Mechanical Properties of Duplex Stainless Steel and Super-Duplex Stainless Steel, *Journal of Advances in Science and Technology*, Volume 9, Bo. 27. 2015. 87-105.
- [10] Vahid A. Hosseini, Leif Karlsson, et. al, Effect of Sigma Phase Morphology on the Degradation of Properties in a Super Duplex Stainless Steel. *Journal of Materials* (MDPI). 2018. 11, 933.
- [11] Gláucio Soares da Fonseca, Phelipe Matias de Oliveira, et. al, *Sigma Phase in Superduplex Stainless Steel: Formation, Kinetics and Microstructural Path. Journal of Materials Research.* 2017. 20 (1). 249-255.

- [12] Ziyang Zhang, Hui Zhao, et. al. Microstructure evolution and pitting corrosion behavior of UNS S32750 super duplex stainless steel welds after short-time heat treatment. *Corrosion Science*. 2017.02.006.
- [13] Technical Marketing Resources Inc. of Pittsburgh. *Practical Guidelines for The Fabrication of Duplex Stainless Steels*. International Molybdenum Association. Pennsylvania, USA. 2001.
- [14] Reis G.S., Jr A.M.J., Balancin O. Influence of the microstructure of duplex stainless steels on their failure characteristics during hot deformation, 2. Materials and experimental procedures. *Mater. Res.* 2000, 3, 31–35.
- [15] Domínguez-Aguilar M., Newman R.C. Detection of deleterious phases in duplex stainless steel by weak galvanostatic polarization in alkaline solution. *Corros. Sci.* 2006, 48, 2560–2576.
- [16] Zucato I., Moreira M.C., Machado I.F., Giampietri S.M. Microstructural characterization and the effect of phase transformations on toughness of the UNS S31803 duplex stainless steel aged treated at 850 °C. *Mater. Res.* 2002, 5, 385–389.
- [17] Toor I.-H., Hyun P.J., Kwon H.S. Development of high Mn–N duplex stainless steel for automobile structural components. *Corros. Sci.* 50, 2008, 404–410.
- [18] García-García D.M., García-Antón J., Igual-Muñoz A., Blasco-Tamarit E. Effect of cavitation on the corrosion behaviour of welded and non-welded duplex stainless steel in aqueous LiBr solutions. *Corros. Sci.* 2006, 48, 2380–2405
- [19] Migiakis K., Papadimitriou G.D. Effect of nitrogen and nickel on the microstructure and mechanical properties of plasma welded UNS S32760 superduplex stainless steels. *J. Mater. Sci.* 44, 2009, 6372–6383.
- [20] Karlsson L. *Intermetallic phase precipitation in duplex stainless steels and weld metals: Metallurgy, influence on properties, welding and testing aspects*. 1999.
- [21] Deng B., Wang Z., Jiang Y., Wang H., Gao J., Li J. Evaluation of localized corrosion in duplex stainless steel aged at 850°C with critical pitting temperature measurement. *Electrochim. Acta* 2009, 54, 2790–2794.
- [22] Merello R., Botana F.J., Botella J., Matres M.V., Marcos M. Influence of chemical composition on the pitting corrosion resistance of non-standard low-Ni high-Mn – N duplex stainless steels. *Corros. Sci.* 2003, 45, 909–921.
- [23] Cervo R., Ferro P., Tiziani A., Zucchi F. Annealing temperature effects on superduplex stainless steel UNS S32750 welded joints. II. Pitting corrosion resistance evaluation. *J. Mater. Sci.* 2010, 45, 4378–4389.
- [24] Park C.J., Rao V.S., Kwon H.S. Effects of sigma phase on the initiation and propagation of pitting corrosion of duplex stainless steel. *Corrosion* 2005, 61, 76–83.