



TUGAS AKHIR - TL141584

PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN PROSES  
AGING TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KETAHANAN  
KOROSI PADA BAJA TAHAN KARAT SAF 2507 SUPER  
DUPLEX

Kukuh Ardiansani Kurniawan  
NRP 2712 100 013

Dosen Pembimbing  
Sutarsis, S.T., M.Sc  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

EFFECT OF TEMPERATURE AND HOLDING TIME OF AGING  
PROCESS ON MICROSTRUCTURE AND CORROSION  
RESISTANCE OF SUPER DUPLEX STAINLESS STEEL SAF  
2507

Kukuh Ardiansani Kurniawan  
NRP 2712 100 013

Advisor  
Sutarsis, S.T., M.Sc  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Materials and Metallurgical Engineering Department  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN  
PROSES AGING TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN  
KETAHANAN KOROSI PADA BAJA TAHAN KARAT SAF  
2507 SUPER DUPLEX**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**KUKUH ARDIANSANI KURNIAWAN**  
NRP 2711100013

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Sutarsis, S.T., M.Sc. ....  
2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. ....



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN  
PROSES AGING TERHADAP STRUKTUR MIKRO  
DAN KETAHANAN KOROSI PADA BAJA TAHAN  
KARAT SAF 2507 SUPER DUPLEX**

**Nama Mahasiswa** : Kukuh Ardiansani Kurniawan  
**NRP** : 2712100013  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing I** : Sutarsis, ST., M.Sc.  
**Dosen Pembimbing II** : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.  
**Abstrak**

*Baja tahan karat super duplex SAF 2507 adalah material yang memiliki kombinasi antara sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi. Namun, kedua properti tersebut dapat berubah akibat munculnya fasa intermetalik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu tahan proses aging terhadap perubahan struktur mikro dan ketahanan korosi pada baja tahan karat SAF 2507 Super Duplex. Proses aging yang telah diberikan berpengaruh pada struktur mikro dari baja tahan karat SAF 2507 Super Duplex. Munculnya fasa-fasa intermetalik utamanya fasa sigma ( $\sigma$ ) sangat memengaruhi ketahanan korosi dari baja tahan karat SAF 2507 Super Duplex. Pada baja yang tidak diberi perlakuan ketahanan korosinya sangat baik ini terlihat dari pengurangan massa dari hasil uji weight loss, sebesar 0.2mg, sedangkan pada baja SAF 2507 yang diberikan perlakuan aging dengan temperatur 900°C dan waktu tahan 2 jam fasa sigma ( $\sigma$ ) yang muncul sebanyak 47.44% dan seluruh feritnya bertransformasi menjadi fasa austenit sekunder ( $\gamma'$ ) dan fasa sigma ( $\sigma$ ) melalui reaksi eutektoid, akibatnya baja SAF 2507 tersebut mengalami pengurangan massa sebesar 433.10mg dengan Corrosion Rate sebesar 974.10 mpy.*

**Kata kunci: temperatur aging, waktu tahan aging, struktur mikro, ketahanan korosi, SAF 2507**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



**EFFECT OF TEMPERATURE AND HOLDING TIME OF  
AGING PROCESS ON MICROSTRUCTURE AND  
CORROSION RESISTANCE OF SUPER DUPLEX  
STAINLESS STEEL SAF 2507**

**Name** : Kukuh Ardiansani Kurniawan  
**NRP** : 2712100013  
**Department** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Lecturer** : Sutarsis, ST., M.Sc.  
**Co-Lecturer** : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

**Abstract**

*Super Duplex Stainless Steel SAF 2507 has a unique combination between mechanical properties and corrosion resistance. However, the mechanical properties and corrosion resistance change as appearance of some intermetallic phase. The purposes of this research are to determine effect of various temperature and holding time of aging process to SAF2507's microstructure and corrosion resistance. The aging process affects the microstructure of Super Duplex Stainless Steel SAF 2507. The appearance of intermetallic phases especially sigma phase greatly affected the corrosion resistance of Super Duplex Stainless Steel SAF 2507. On untreated SAF 2507, the corrosion resistant was very good seen from mass reduction of 0.2mg, whereas in treated SAF 2507 with temperature of 900°C and 2 hours of holding time which brought out the sigma phase with amount of 47.44% and all the ferrite phase completely transformed into secondary austenite and sigma phase through eutectoid reaction. As the result, the mass reduction of that SAF 2507 was about 433.10mg with value of corrosion rate about 974.10mpy.*

**Keywords:** Temperature, Holding Time, Microstructure, Corrosion Resistant, SAF 2507

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan anugerah serta petunjuk-Nya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

**“Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Proses *Aging* Terhadap Struktur Mikro dan Ketahanan Korosi Pada Baja Tahan Karat SAF 2507 Super Duplex”**

Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) dari Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua saya yang senantiasa mendo'akan dan memberi dukungan kepada saya selama ini.
2. Bapak Sutarsis, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir dan dosen wali.
3. Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku co-pembimbing Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
6. Kepada seluruh karyawan Laboratorium Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
7. Kepada Mas Fondra Operator SEM PPNS
8. Kepada Tim Dupleks yang telah menjadi “*partner*” selama pengerjaan Tugas Akhir.
9. Kepada teman-teman penghuni Sukolilo Bahagia 2 No.47
10. Kepada seluruh teman-teman angkatan “MT 14” yang telah membuat saya bahagia selalu.

11. Keluarga, Relasi, dan seluruh orang yang berada disekitar saya.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dikemudian hari bagi siapapun yang membaca. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak.

Surabaya, 13 Juni 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Baja Tahan Karat.....	3
2.2 Baja Tahan Karat Duplex.....	4
2.3 Baja Tahan Karat Super Duplex.....	5
2.4 Fasa Intermetalik.....	8
2.4.1 Alpha Prime.....	9
2.4.2 Austenit Sekunder.....	10
2.4.3 Fasa Sigma.....	11
2.4.4 Fasa Chi.....	13
2.4.5 Fasa $M_{23}C_6$ .....	14
2.5 Korosi Pitting.....	15
2.6 Penelitian Sebelumnya.....	16
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	<b>29</b>
3.1 Diagram Alir.....	29
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	30
3.2.1 Bahan-Bahan Penelitian.....	30
3.2.2 Alat-Alat Penelitian.....	30
3.3 Prosedur Percobaan.....	32
3.3.1 Preparasi Sampel.....	32
3.3.2 Preparasi Larutan.....	32
3.3.3 Pengujian Sampel Kontrol.....	33

3.3.4 Proses Aging.....	33
3.3.5 Pengujian Sampel.....	34
3.3.6 Analisa .....	35
3.4 Rancangan Pengujian.....	36
3.5 Jadwal Penelitian.....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Hasil Uji XRD.....	39
4.2 Hasil Uji Metalografi .....	46
4.3 Hasil Uji SEM.....	51
4.4 Hasil Uji Weightloss .....	56
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram Schaeffler.....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Struktur Mikro SAF 2507 pada Perbesaran 1000x.....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Data Laju Korosi dari Berbagai Macam Paduan pada Asam Asetat 80% dengan Kadar Ion Chloride 2000ppm pada Temperatur 90°C.....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Tangki Proses <i>Leaching</i> yang Terbuat dari Super Duplex Grade 2507 (UNS) S32750.....	8
<b>Gambar 2.5</b>	Diagram TTT SDSS.....	9
<b>Gambar 2.6</b>	Gambar Mikroskop Optik dari Fasa Austenit Sekunder pada Baja Super Duplex.....	10
<b>Gambar 2.7</b>	Gambar Mikroskop Optik Fasa $\gamma_2 + \sigma$ Baja UNS 32750.....	12
<b>Gambar 2.8</b>	Skema Pembentukan Fasa Sigma.....	12
<b>Gambar 2.9</b>	Gambar Backscattered SEM dari fasa $\chi$ yang berwarna putih.....	13
<b>Gambar 2.10</b>	Presipitat Fasa $M_{23}C_6$ .....	14
<b>Gambar 2.11</b>	Contoh Bentuk Korosi <i>Pitting</i> .....	15
<b>Gambar 2.12</b>	Grafik Hubungan antara Temperatur Aging dengan Nilai Kekerasan.....	16
<b>Gambar 2.13</b>	Struktur Mikro SAF 2507 yang Telah di-aging pada Temperatur 920°C.....	17
<b>Gambar 2.14</b>	Jumlah Fasa Sigma dan Ferit pada SAF 2507 yang Di-aging pada Temperatur 920°C dengan Waktu Tahan yang Berbeda.....	18
<b>Gambar 2.15</b>	Grafik Hubungan Holding Time Proses Aging dengan Kekuatan Impact.....	18
<b>Gambar 2.16</b>	Hubungan Laju Korosi dengan Waktu Aging pada Temperatur 920°C.....	19
<b>Gambar 2.17</b>	Struktur Mikro AR SDSS Tanpa Perlakuan .	20
<b>Gambar 2.18</b>	Struktur Mikro AR SDSS Setelah di-aging ...	21

<b>Gambar 2.19</b>	Struktur Mikro AR SDSS .....	21
<b>Gambar 2.20</b>	Wear Volume untuk AR SDSS.....	23
<b>Gambar 2.21</b>	Hasil Uji XRD (a) Solution Treated 1050°C (b) Heat Treated 850°C 1 jam.....	24
<b>Gambar 2.22</b>	Struktur Mikro AISI 2507 yang telah diberi perlakuan panas 850°C selama 1 jam .....	26
<b>Gambar 2.23</b>	Sliding Distance vs Wear.....	27
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir .....	29
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Uji XRD SAF 2507 Tanpa Perlakuan ..	39
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Uji XRD SAF 2507 yang telah di-aging Temperatur 600°C .....	40
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil Uji XRD SAF 2507 yang di-aging pada Temperatur 700°C .....	42
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil Uji XRD SAF 2507 yang di-aging pada Temperatur 800°C.....	43
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil Uji XRD SAF 2507 yang di-aging pada Temperatur 900°C.....	44
<b>Gambar 4.6</b>	Struktur Mikro SAF 2507 Tanpa Perlakuan (100x) .....	46
<b>Gambar 4.7</b>	Struktur Mikro SAF 2507 Diaging pada Temperatur 600°C dengan Waktu Tahan (a) 1 jam; (b) 2 jam (100x) .....	47
<b>Gambar 4.8</b>	Struktur Mikro SAF 2507 Diaging pada Temperatur 700°C dengan Waktu Tahan (a) 1 jam; (b) 2 jam (100x) .....	48
<b>Gambar 4.9</b>	Struktur Mikro SAF 2507 Diaging pada Temperatur 800°C dengan Waktu Tahan (a) 1 jam; (b) 2 jam (100x) .....	49
<b>Gambar 4.10</b>	Struktur Mikro SAF 2507 Diaging pada Temperatur 900°C dengan Waktu Tahan (a) 1 jam; (b) 2 jam (100x) .....	50
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil SEM SAF 2507 Tanpa Perlakuan.....	51
<b>Gambar 4.12</b>	Hasil SEM SAF 2507 di-Aging Temperatur 600°C Waktu Tahan (a) 1 Jam (b) 2 Jam .....	52



<b>Gambar 4.13</b>	Hasil SEM SAF 2507 di-Aging Temperatur 700°C Waktu Tahan (a) 1 Jam (b) 2 Jam.....	53
<b>Gambar 4.14</b>	Hasil SEM SAF 2507 di-Aging Temperatur 800°C Waktu Tahan (a) 1 Jam (b) 2 Jam.....	54
<b>Gambar 4.15</b>	Hasil SEM SAF 2507 di-Aging Temperatur 900°C Waktu Tahan (a) 1 Jam (b) 2 Jam.....	55
<b>Gambar 4.16</b>	Hasil Uji Weightloss.....	57
<b>Gambar 4.17</b>	Corrosion Rate SAF 2507.....	57

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Penamaan Stainless Steel .....	3
<b>Tabel 2.2</b>	Properti Mekanis UNS S32750 .....	6
<b>Tabel 3.1</b>	Tabel komposisi kimia Super Duplex SAF 2507.....	30
<b>Tabel 3.2</b>	Rancangan Penelitia.....	34
<b>Tabel 3.3</b>	Rancangan Pengujian.....	36
<b>Tabel 3.4</b>	Jadwal Penelitian.....	37
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Uji Weightloss SAF 2507 dan Perhitungan CR.....	57

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Baja tahan karat SAF 2507 (UNS 32750) adalah material yang banyak digunakan pada industri minyak dan gas. SAF 2507 memiliki kombinasi antara sifat mekanik dan resistansi terhadap korosi yang baik. (Oswaldo, 2014) Baja tahan karat super duplex SAF 2507 diaplikasikan pada *pressure vessels* dan *heat exchangers* dimana kedua aplikasi tersebut memiliki lingkungan yang sangat korosif. Baja tahan karat super duplex pada umumnya memiliki dua fasa yaitu austenitik ( $\gamma$ ) dan ferritik ( $\delta$ ) dan tidak ada presipitasi yang lain. Namun, sifat-sifat mekanik dan resistansi terhadap korosi dapat berubah seiring dengan perubahan struktur mikro akibat dari *hot working* atau *welding*. Beberapa presipitat yang tidak diinginkan muncul dan memiliki sifat yang merugikan. Fasa  $\sigma$  dianggap menjadi fasa yang paling berbahaya karena fasa  $\sigma$  sangat cepat terbentuk dan sangat memengaruhi ketahanan korosi. (Zou, 2010) Senyawa intermetalik tersebut rentan terbentuk ketika duplex (austenitik-ferritik) stainless steel terpapar panas pada temperatur sekitar 600 – 1750°F (320 – 955°C). Keberadaan fasa tersebut merusak ketangguhan dan ketahanan korosi (ASTM A923). Spesifikasi untuk semua jenis baja tahan karat super duplex memiliki nilai *Pitting Resistance Equivalent Number* ( $PRE_N$ ) adalah lebih dari 40, yang artinya baja ini dapat bertahan pada lingkungan yang sangat agresif. (Gunn, 1997).

Pada penelitian ini akan dilakukan proses *aging* yang diikuti dengan pendinginan cepat menggunakan *water quench* pada baja tahan karat super duplex SAF 2507 (UNS S32750) untuk memunculkan fasa intermetalik seperti sigma, guna mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan struktur mikro dan ketahanan korosi pada baja tahan karat superduplex SAF 2507. Pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan proses *aging* akan dianalisa lebih lanjut dengan berbagai pengujian yang akan dilakukan.



## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh temperatur dan waktu tahan *aging* terhadap struktur mikro SAF 2507?
2. Bagaimana pengaruh temperatur dan waktu tahan *aging* terhadap ketahanan korosi SAF 2507?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil sesuai dengan yang diinginkan dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka dibuat batasan masalah sebagai berikut

1. Pengaruh lingkungan sekitar proses *aging* diabaikan
2. Temperatur ketika memasukkan dan mengeluarkan spesimen dari *furnace* pada proses pemanasan dianggap konstan
3. Penyebaran unsur krom dan molibdenum pada super duplex SAF 2507 dianggap homogen
4. Penyebaran fasa sigma pada super duplex SAF 2507 dianggap homogen

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah

1. Menganalisis pengaruh temperatur dan waktu tahan *aging* terhadap struktur mikro SAF 2507.
2. Menganalisis pengaruh temperatur dan waktu tahan *aging* terhadap ketahanan korosi SAF 2507.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi tentang pengaruh dari temperatur dan waktu tahan *aging* terhadap perubahan struktur mikro, dan ketahanan korosi pada SAF 2507 dalam proses *aging*.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Baja Tahan Karat

Baja tahan karat atau yang biasa disebut dengan *stainless steel* adalah sebuah baja paduan dengan kadar paduan tinggi atau *high alloy steel*, karena memiliki sifat yang istimewa yaitu memiliki ketahanan korosi dan temperatur tinggi. Sifat tahan korosinya diperoleh dari lapisan oksida krom (Cr) yang sangat stabil dan melekat pada permukaan dan melindungi permukaan baja dari lingkungan yang korosif. Untuk mendapatkan sifat ketahanan korosinya kadar krom (Cr) yang diperlukan pada paduan sebesar 11%. Sifat ketahanan korosi tersebut dapat ditingkatkan dengan menambahkan nikel (Ni) dan molibdenum (Mo). (Callister, 2010)

**Tabel 2.1** Klasifikasi *Stainless Steel* (Avner, 1997)

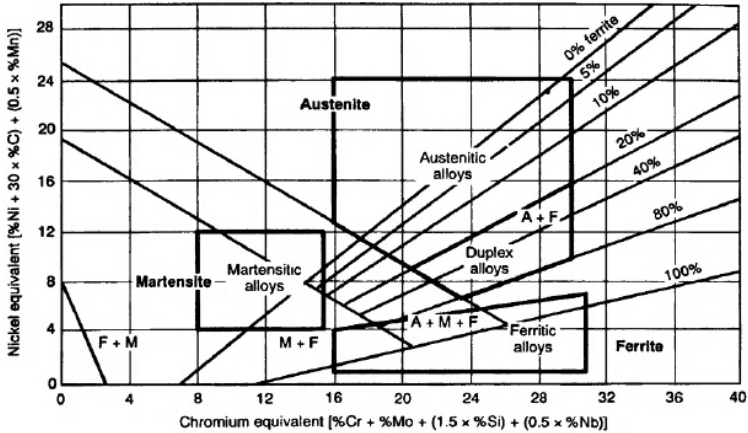
Seri	Kelompok
2xx	Chromium-Nickel-Manganese; non-hardenable, austenitic, non-magnetic
3xx	Chromium-Nickel; non-hardenable. Austenitic, non-magnetic
4xx	Chromium; Hardenable, martensitic, magnetic
5xx	Chromium; Low Chromium, heat resisting

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 di atas, sistem penamaan baja tahan karat atau *stainless steel* menggunakan tiga nomor untuk identifikasi, dua angka dibelakang tidak mengandung arti apapun. Namun angka pertama menunjukkan kelompok *stainless steel* tersebut. (Avner, 1997)





Klasifikasi baja tahan karat dibagi menjadi tiga berdasarkan struktur mikro pembentuknya, yaitu baja tahan karat martensitik, baja tahan karat feritik, dan baja tahan karat austenitik. (Avner, 1997)



**Gambar 2.1** Diagram Schaeffler untuk *Stainless Steel*  
(Armas dan Moreuil, editor, 2009)

Diagram yang ada di atas ini adalah diagram schaeffler. Fungsi dari diagram ini sendiri adalah untuk mengetahui pengaruh dari paduan terhadap struktur mikro, analisa pada diagram ini dapat dilakukan dengan menghitung komposisi paduan dengan menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 (Outokompu, 2013)

$$\text{Ni Equivalen} = \%Ni + 0.5\% Mn + 30 (\%C + \%N) \quad (2.1)$$

$$\text{Cr Equivalen} = \%Cr + \%Mo + 1.5\% Si + 0.5\% Nb \quad (2.2)$$

## 2.2 Baja Tahan Karat Duplex

Pada tahun 1927 Bain dan Griffith menemukan sebuah paduan Fe-Cr-Ni yang memiliki dua fasa yaitu austenit dan ferit. Selang beberpa tahun setelah penemuan Bain dan Griffith ini ditemukan beberapa pabrik peleburan baja di Prancis, Jerman, Swedia dan Amerika Serikat telah berhasil membuat baja yang



serupa dengan metode *casting*. Diperkirakan pada tahun 1929 produk komersial pertama dibuat saat Avesta Jenverk memproduksi sebuah baja yang dinamakan 453E dengan perkiraan komposisi 25%Cr-5%Ni. Kemudian jenis baja ini terus dikembangkan. (Gunn, 1997)

Sebuah baja paduan duplex diartikan sebagai sebuah baja tahan karat yang mengandung dua fasa dan lebih sering dikatakan sebagai deskripsi dari sebuah paduan yang kedua fasanya dalam jumlah yang signifikan. Baja tahan karat duplex merupakan paduan austenitik/feritik Fe-Cr-Ni dengan kadar 30-70% ferit. (Gunn, 1997)

Baja tahan karat *duplex* memiliki properti mekanik dan korosi yang baik. Hal ini dikarenakan baja tahan karat *duplex* memiliki dua fasa austenitik ( $\gamma$ ) feritik ( $\delta$ ), sifat mekanik dan korosi yang terbaik akan didapatkan apabila komposisi kedua fasa ( $\gamma$  dan  $\delta$ ) seimbang. (Zou, 2011) Keseimbangan komposisi tersebut didapatkan dari komposisi kimianya dan diberi *heat treatment*. (Davanageri dkk. 2015)

Karena memiliki properti mekanik dan korosi yang baik, baja tahan karat *duplex* ini dapat diaplikasikan ke berbagai bidang, seperti industri minyak dan gas, transportasi, desalinasi, tangki penyimpanan, hidrometalurgi, dan industri kertas. (Armas dan Moreuil, editor, 2009)

### 2.3 Baja Tahan Karat SAF 2507 Super Duplex (S32750)

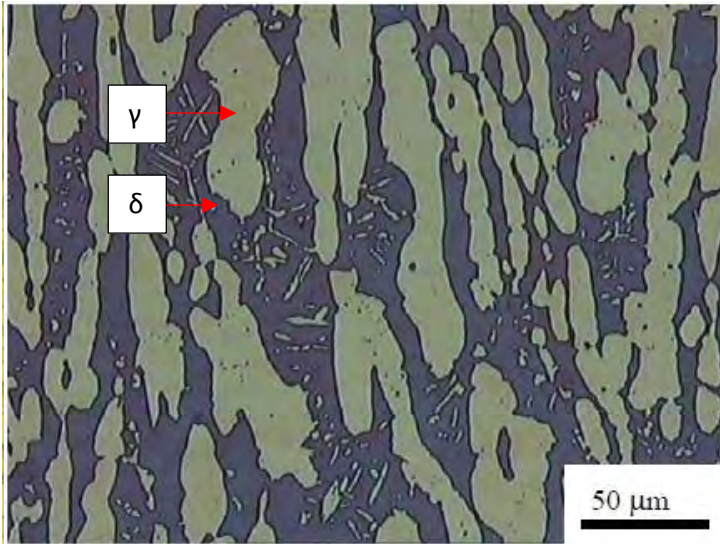
Pada tahun 1980an, sebuah paduan yang memiliki *grade* yang lebih tinggi dikembangkan untuk bertahan pada lingkungan yang sangat agresif. Paduan ini dinamakan paduan super duplex yang mengandung 25% Cr, 6-7% Ni, 3-4% Mo, 0,3% N, 0,2% Cu dan 0,2% W. Pada *Grade* super duplex biasanya memiliki *Pitting Resistance Equivalent Number* ( $PRE_N$ ) lebih dari 40. (Gunn, 1997)

Untuk mengetahui *Pitting Resistance Equivalent Number* ( $PRE_N$ ) digunakan persamaan 2.3 seperti berikut :

$$PRE_N = \%Cr + 3.3 \times (\%Mo) + 16 \times (\%N) \quad (2.3)$$



Berikut ini adalah struktur mikro dari baja tahan karat super duplex SAF 2507 (S32750)



**Gambar 2.2** Struktur Mikro SAF 2507 (Armas dan Moreuil, editor, 2009)

Dilihat dari gambar 2.2 baja tahan karat SAF 2507 Super Duplex atau yang umumnya disebut sebagai S32750 ini memiliki dua fasa, yaitu Austenit ( $\gamma$ ) yang berbentuk seperti pulau dan memiliki warna cerah dan Ferrit ( $\delta$ ) yang berwarna lebih gelap seperti yang telah ditunjukkan oleh panah pada gambar diatas.

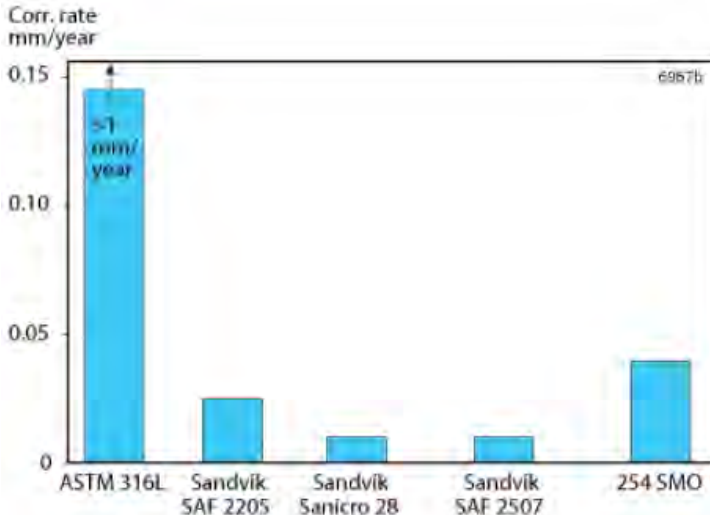
Berikut ini adalah properti mekanis dari baja tahan karat super duplex UNS S32750 yang diambil dari ASTM A790

**Tabel 2.2** Properti Mekanis UNS S32750 (ASTM A790)

UNS	Tensile Strength, ksi [MPa]	Yield Strength, ksi [MPa]	Elongation in 2 in / 50mm. %	Hardness	
				Brinell	Rockwell C
S32750	116 [800]	80 [550]	15	310	32



Berikut ini adalah data yang diambil dari Sandvik *data sheet* mengenai perbandingan laju korosi pada ASTM 316L, SAF 2205, Sanicro 2B, SAF 2507 dan 254 SMO



**Gambar 2.3** Data Laju Korosi dari Berbagai Macam Paduan pada Asam Asetat 80% dengan Kadar Ion Chloride 2000ppm pada Temperatur 90°C (Sandvik *Data Sheet*, 2015)

Jika dilihat dari data yang tertera pada Gambar 2.3 maka dapat dilihat baja tahan karat super duplex SAF 2507 (UNS S32750) memiliki laju korosi yang sangat rendah kurang dari 0.5mm/year lebih rendah dari SAF 2205 (UNS S31803), 254 SMO dan ASTM 316L.

Untuk aplikasi dari baja tahan karat super duplex SAF 2507 atau UNS S32750 ini sendiri sangat beragam, terutama untuk kondisi lingkungan yang sangat agresif. Contoh aplikasi dari baja tahan karat super duplex SAF 2507 ini adalah pada bidang industri minyak dan gas, dalam industri minyak dan gas SAF 2507 digunakan sebagai *tube* pada *umbilicals* untuk memompa minyak keluar dari sumurnya. Kemudian aplikasi lainnya adalah sebagai tangki pada proses *leaching* untuk *hot acid leaching* untuk



pembuatan Zinc dengan menggunakan proses Jarosite, karena lingkungan pada proses ini sangat agresif sehingga baja tahan karat biasa tidak dapat digunakan, dan baja tahan karat super duplex *grade 2507* adalah pilihan yang tepat. Seperti yang terlihat pada gambar 2.4 yang merupakan suatu contoh penerapan baja tahan karat super duplex S32750, yaitu sebagai tangki untuk proses *leaching*.



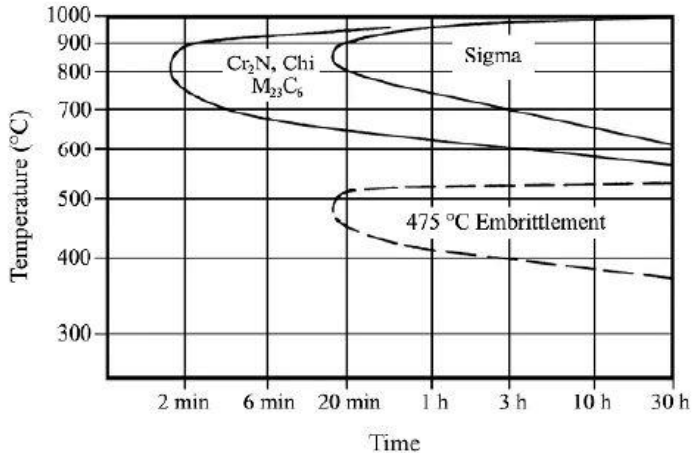
**Gambar 2.4** Tangki Proses *Leaching* yang Terbuat dari Super Duplex *grade 2507* (UNS S32750) (Armas dan Moreuil, editor, 2009)

## 2.4 Fasa Intermetalik

Fasa intermetalik disini adalah fasa lain yang dapat terbentuk pada *duplex stainless steel* jika baja tahan karat *duplex* tersebut terpapar panas dengan temperatur tertentu. Pada saat baja tahan karat *duplex* terpapar panas dengan temperatur dibawah  $1000^{\circ}\text{C}$ , baja tahan karat *duplex* dapat mengalami berbagai macam transformasi fasa. Pada *range* temperatur  $650$  hingga  $970^{\circ}\text{C}$  fasa intermetalik yang dapat muncul adalah sigma ( $\sigma$ ) dan chi ( $\chi$ ), terlepas dari karbida dan nitrida. Pada temperatur  $300$  hingga  $500^{\circ}\text{C}$  fasa *alpha-prime* ( $\alpha'$ ) dapat terbentuk, fasa ini dapat menyebabkan terjadinya  $475^{\circ}\text{C}$  *embrittlement*.



Diagram TTT pada Gambar 2.5 dapat menggambarkan presipitat dari fasa-fasa yang berbeda yang dapat muncul pada baja tahan karat SAF 2507 pada *range* temperatur 600 hingga 1100°C.



**Gambar 2.5** Diagram TTT SDSS (Armas dan Moreuil, editor, 2009)

Diagram TTT pada gambar 2.5 diatas menunjukkan bahwa fasa intermetalik utamanya sigma ( $\sigma$ ) dapat muncul pada baja tahan karat super duplex 2507 (S32750) pada range temperatur 600°C hingga 1000°C sedangkan untuk fasa-fasa intermetalik yang lain seperti *alpha prime* ( $\alpha'$ ) dapat muncul pada baja tahan karat duplex 2205 pada range 350°C - 550°C.

#### 2.4.1 *Alpha Prime* ( $\alpha'$ )

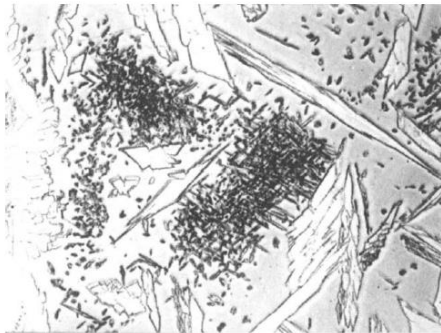
Dekomposisi pada temperatur terendah adalah terbentuknya *alpha prime* ( $\alpha'$ ) pada temperatur antara 300 hingga 525°C (Gambar 2.10). Fasa *alpha prime* menjadi penyebab utama terjadinya pengerasan dan '475°C embrittlement' pada baja tahan karat ferritik.



Pada temperatur di bawah  $400^{\circ}\text{C}$ , persamaan Arrhenius seringkali digunakan untuk mendeskripsikan kinetika penggetasan. Karakteristik energi aktivasi dari  $475^{\circ}\text{C}$  *embrittlement* serupa dengan difusi Cr pada ferrit, meskipun ada faktor-faktor lain memengaruhi pembentukan *alpha prime* ( $\alpha'$ ), seperti Cr, Mo dan Cu serta tingkat ferrit yang tinggi. (Gunn, 1997).

#### 2.4.2 Austenit Sekunder ( $\gamma_2$ )

Austenit sekunder atau  $\gamma_2$  dapat terbentuk dengan relatif cepat dan dengan mekanisme yang berbeda, bergantung pada temperturnya. Pada temperatur di bawah  $650^{\circ}\text{C}$ , Austenit sekunder ( $\gamma_2$ ) memiliki komposisi yang serupa dengan austenit yang berada disekitar ferrit. Karakteristik pembentukan austenit sekunder ini serupa dengan pembentukan martensit.



**Gambar 2.6** Gambar Mikroskop Optik dari Fasa Austenit sekunder ( $\gamma_2$ ) (Gunn,1997)

Pada temperatur  $700-900^{\circ}\text{C}$  sebuah reaksi eutektoid dari  $\gamma_2 + \sigma$  dapat terjadi karena  $\gamma_2$  menyerap Ni dan sampai pada batas tertentu, menyingkirkan Cr dan Mo, mendorong pembentukan presipitat kaya akan Cr-Mo, seperti fasa sigma. Demikian pula, fasa austenit sekunder ( $\gamma_2$ ) yang terbentuk pada batas  $\delta/\gamma$  ditemukan larut dalam Cr, terlebih lagi apabila terpresipitat bersama dengan  $\text{Cr}_2\text{N}$ . Salah satu dari reaksi difusi yang terkontrol ini dapat



membuat daerah rentan terhadap korosi sumuran (*pitting*). (Gunn, 1997)

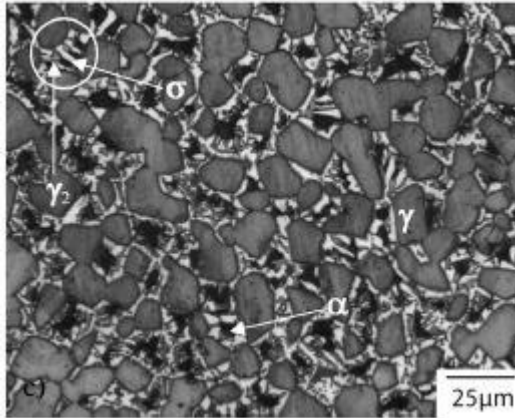
### 2.4.3 Sigma ( $\sigma$ )

Fasa sigma ( $\sigma$ ) adalah fasa yang dianggap paling berbahaya karena fasa sigma ini dapat terbentuk dengan cepat dan sangat memengaruhi ketangguhan dan ketahanan korosi. Fasa sigma adalah fasa getas yang diperkaya Cr dan Mo, muncul disekitar area Cr yang terlarut adalah alasan menurunnya ketahanan korosi. Pembentukan fasa sigma ini adalah dengan reaksi eutektoid dari  $\delta$  menjadi  $\gamma_2$  (Austenit Sekunder) +  $\sigma$ . (Zou, 2011)

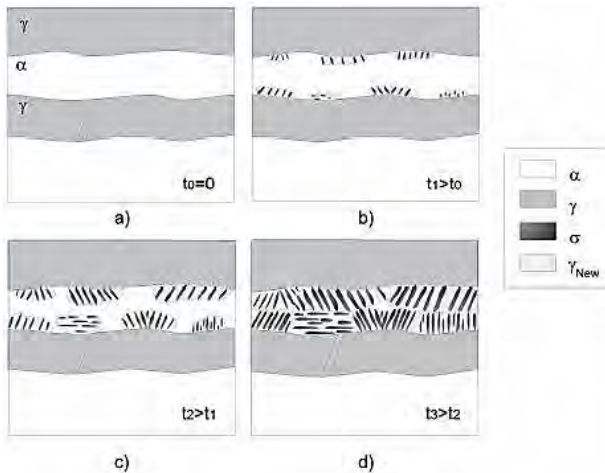
Fasa ini terbentuk pada temperatur 650 hingga 1000°C, terbentuknya fasa ini seringkali dikaitkan dengan menurunnya sifat mekanik dan ketahanan korosinya. Pada temperatur sekitar 900°C, dekomposisi ferrit ke fasa sigma terjadi sekurang-kurangnya selama 2 menit pada paduan superduplex. Fasa sigma ditemukan berkembang pada temperatur di atas 750°C bersamaan dengan partikel-partikel lain yang ada pada baja duplex. (Gunn, 1997) Unsur Cr, Mo, Si dan Mn dapat mendorong terjadinya pembentukan dari fasa sigma. Selain itu nikel (Ni) juga dapat meningkatkan pembentukan fasa  $\sigma$ , namun keseimbangan volume fraksi akan berkurang. Hal ini disebabkan karena nikel dapat menimbulkan fasa austenit dan fasa sigma pada ferrit sisa. (Gunn, 1997)

Berikut ini adalah gambar hasil SEM yang menunjukkan fasa austenit sekunder dan fasa sigma pada baja tahan karat super duplex UNS S32750 yang ditemukan oleh Fargas (2013) baja tersebut telah diberi perlakuan *aging* dan pada baja tersebut terdapat fasa sigma yang muncul akibat perlakuan *aging* yang diberikan pada baja tersebut. Pada gambar ini fasa sigma adalah yang berwarna putih seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7, dan ferrit adalah fasa yang berwarna hitam dan fasa austenit adalah yang berwarna abu-abu.





**Gambar 2.7** Gambar Mikroskop Optik Fasa  $\gamma_2 + \sigma$  pada Baja UNS 32750 (Fargas, 2013)



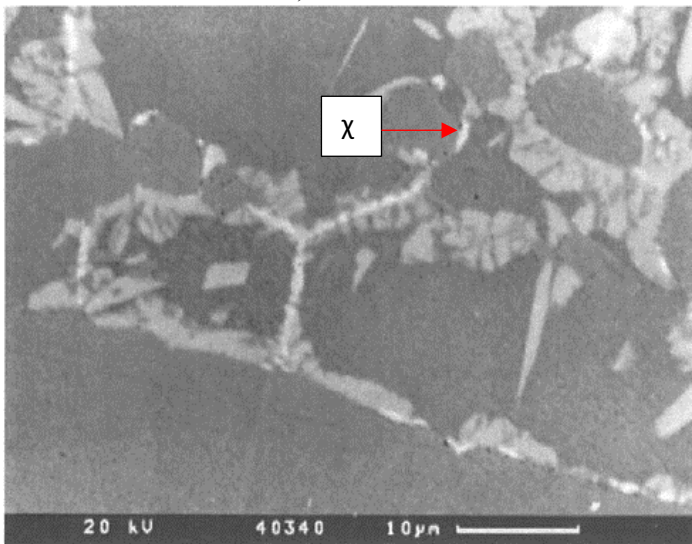
**Gambar 2.8** Skema Pembentukan Fasa Sigma. (Armas dan Moreuil, editor, 2009)



Berdasarkan yang ditunjukkan oleh gambar 2.8 pembentukan fasa sigma terjadi pada batas antara fasa ferit dan austenit dan berbentuk lamelar. Kemudian fasa tersebut terbentuk didalam butir fasa ferit hingga pada akhirnya fasa ferit tertutupi oleh fasa sigma atau bahkan habis bertransformasi menjadi fasa austenit sekunder dan fasa sigma.

#### 2.4.4 Chi ( $\chi$ )

Fasa chi ( $\chi$ ) terbentuk pada temperatur 600-900°C, meskipun dalam jumlah yang lebih sedikit. Fasa chi terbentuk pada batas butir ferit/ferit fasa chi terbentuk saat terpapar temperatur yang relatif rendah membantu pembentukan fasa chi ( $\chi$ ). (Armas dan Moreuil, editor, 2009)



**Gambar 2.9** Gambar *Backscattered* SEM dari Fasa  $\chi$  yang Berwarna Putih (Gunn, 1997)

Seperti halnya dengan fasa sigma, fasa chi terbentuk pada batas  $\delta/\gamma$  dan tumbuh di dalam ferit. Fasa chi memiliki pengaruh yang sama dengan fasa sigma, keduanya dapat mempengaruhi

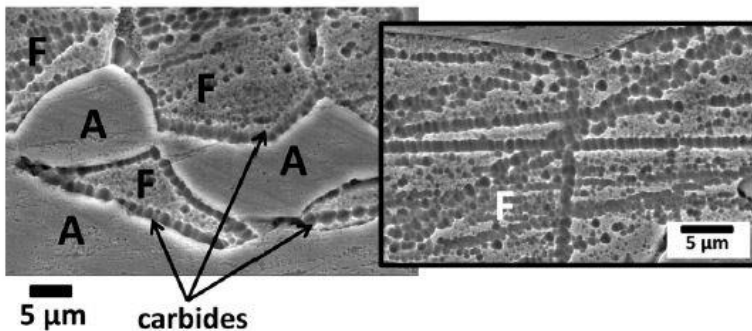


ketahanan korosi dan ketangguhan, namun sebagai dua fasa yang muncul bersamaan, sangat susah untuk mengetahui pengaruh masing-masing fasa ( $\chi$  dan  $\sigma$ ). (Gunn, 1997)

Gambar 2.15 adalah gambar SEM yang menggunakan *backscattered electron* (BSE) yang menggambarkan penampakan fasa chi ( $\chi$ ) yang berwarna putih dan fasa sigma ( $\sigma$ ) yang berwarna abu-abu, tampak jelas bahwa jumlah fasa chi yang muncul tidak sebanyak fasa sigma yang muncul.

## 2.5 $M_{23}C_6$

Kebanyakan baja tahan karat *duplex* memiliki kadar karbon kurang dari 0,03 wt% dan jumlah maksimal karbida yang terbentuk sekitar 0,5 vol%. Bagaimanapun juga, karena karbon memiliki mobilitas yang tinggi, presipitat karbida dapat terbentuk dengan cepat pada temperatur 700°C-900°C yaitu dibawah 30 menit, tetapi juga dapat terbentuk pada *range* temperatur 550°C-700°C dalam waktu yang lebih lama. (Armas dan Moreuil, editor, 2009)



**Gambar 2.10** Presipitat Fasa  $M_{23}C_6$  (Kashiwar, 2012)

Karbon terdapat pada fasa austenit ( $\gamma$ ), namun presipitasi karbida  $M_{23}C_6$  muncul pada *interface* austenit/ferit ( $\delta/\gamma$ ) dan dapat bermigrasi dari batas butir ( $\gamma/\delta$ ) ke dalam area fasa ferit ( $\delta$ ) mengacu pada reaksi eutektoid pembentukan karbida  $M_{23}C_6$ ,  $\delta \rightarrow$

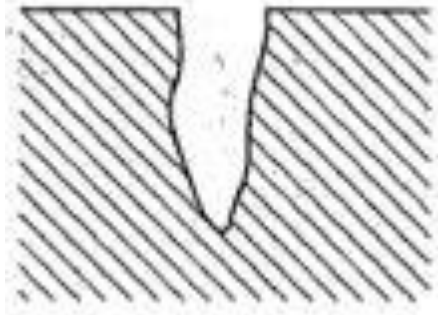


$M_{23}C_6 + \gamma_2$ . Karena karbida bertumbuh ke dalam fasa ferit, daerah yang kekurangan Cr pada fasa ferit yang terletak di batas butir ferit/austenit berubah menjadi austenit yang memiliki kadar Cr yang rendah (Willis, 1991). Austenit baru yang terbentuk disebut austenit sekunder ( $\gamma_2$ ). Sebagai konsekuensinya, ketahanan terhadap sensitisasi dari baja dapat menurun. (Armas dan Moreuil, editor, 2009)

## 2.6 Korosi *Pitting*

Korosi *pitting* atau korosi sumuran adalah bentuk korosi lokal yang ekstrim yang menyebabkan terbentuknya lubang pada baja. Meskipun, massa yang hilang kecil, suatu baja yang mengalami korosi *pitting* akan menjadi cacat karena terdapat lubang. Korosi *pitting* biasanya membutuhkan waktu inisiasi yang lama sebelum serangan korosi tersebut dapat terlihat. Sekalinya korosi *pitting* ini terjadi, serangan korosi *pitting* akan terus terjadi dengan laju korosi tertentu. Korosi *pitting* cenderung tumbuh dengan cara merusak atau melubangi. Biasanya lubang yang sangat kecil akan terbentuk pada permukaan benda. Menusuk lubang ini dengan alat yang tajam dapat membuka lubang yang sangat dalam di bawah permukaan. Akibatnya, lubang tersebut dianggap sebagai celah yang terbentuk dengan sendirinya. Senyawa *chloride* adalah penyebab yang paling umum terjadinya serangan korosi *pitting* pada baja tahan karat dan paduan nikel. Penambahan paduan molibdenum, nitrogen dan tambahan yang lainnya dapat mempengaruhi ketahanan korosi. (Kutz, 2002)

Korosi *pitting* adalah hasil dari sebuah kegagalan lapisan pasif. Sehingga senyawa yang digunakan untuk mengujinya harus cukup mengoksidasi untuk membantu *passivity*, dan *chloride* adalah bahan yang penting untuk merusak lapisan pasif dan menginisiasi terjadinya korosi lokal. Sebagai contoh, larutan 6%  $FeCl_3$  (10%  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) adalah sebuah media yang umum digunakan untuk menguji korosi *pitting* dan korosi celah (Jones, 1996).



**Gambar 2.11** Contoh Bentuk Korosi *Pitting* (Jones, 1996)

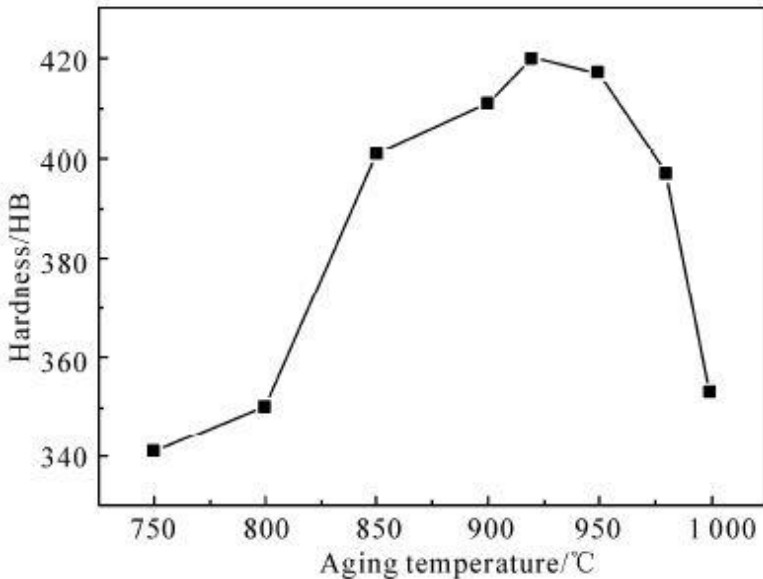
*Pitting* tidak dapat diprediksi, terutama dalam kondisi membentuk lubang yang dalam. Kecepatannya bervariasi, bergantung pada migrasi *corrodents* yang tidak menentu. *Pitting* juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya diskontinuitas permukaan, tidak cukupnya pelapisan dengan menggunakan inhibitor dan *scratches* pada lapisan. (Jones, 1996.)

## 2.7 Penelitian Sebelumnya

### 1. *Sigma Phase Precipitation and Properties of Superduplex Stainless Steel UNS S32750 Aged at the Nose Temperature*

Dalam penelitian ini penulis menggunakan material Superduplex UNS S32750 yang diberi perlakuan *Solution Treatment* pada temperatur 1080°C selama 50 menit, kemudian material tersebut diberi perlakuan *Aging* dengan variasi temperatur 750-1000°C dengan variasi interval waktu mulai 2-120 menit. Penulis mengevaluasi pengaruh pembentukan presipitat sigma terhadap perubahan sifat mekanik yang ditunjukkan dengan pengujian *hardness* dan *impact*, serta perubahan sifat ketahanan korosi yang terjadi.

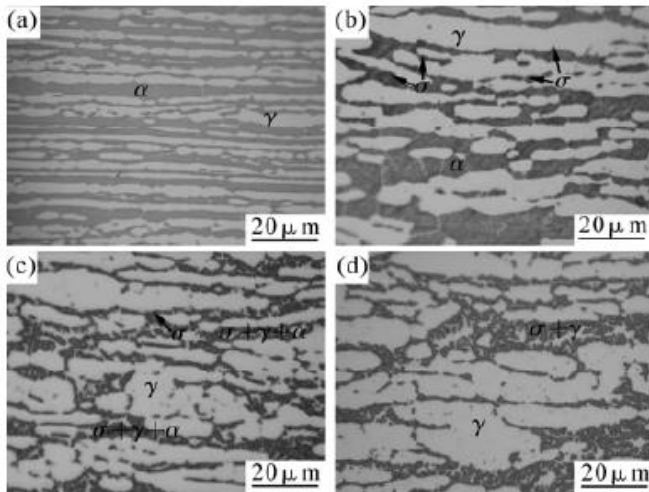
Berikut ini adalah hasil dari pengujian kekerasan yang dilakukan untuk menentukan *nose temperature* dari material yang diberi perlakuan panas.



**Gambar 2.12** Grafik Hubungan antara Temperatur *Aging* dengan Nilai Kekerasan (Zou, 2011)

Dari gambar 2.12 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan yang tertinggi didapat pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 920°C yang artinya jumlah fasa sigma yang muncul adalah yang paling banyak, dan dianggap sebagai *nose temperature*.

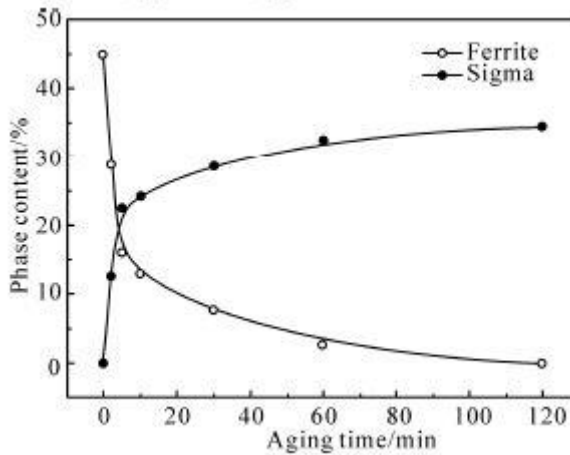
Berikut ini adalah gambar struktur mikro dari SAF 2507 yang telah di-*aging* pada temperatur 920°C dengan berbagai variasi waktu tahan, 0 menit, 2 menit, 30 menit dan 120 menit. Pemanasan dilakukan untuk menumbuhkan fasa sigma dan pengamatan fasa sigma yang terbentuk dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik.



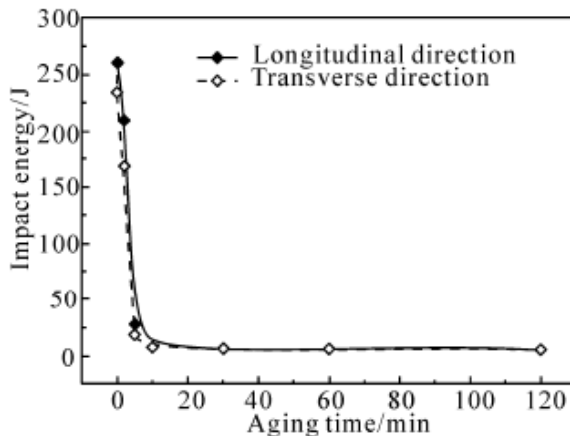
**Gambar 2.13** Struktur Mikro SAF 2507 yang Telah di-*aging* pada Temperatur 920°C (Zou, 2011)

Pada gambar 2.13 (a) spesimen yang tidak diberikan perlakuan sama sekali tidak terlihat adanya fasa sigma, yang terlihat hanya fasa austenit dan fasa ferit. Fasa sigma mulai terlihat pada gambar 2.13 (b) dimana fasa sigma terbentuk pada batas butir austenit dan ferit ( $\delta/\gamma$ ) dan jumlahnya terus meningkat hingga seperti yang terlihat pada gambar 2.13 (d). Pada gambar 2.13 (d) fasa ferit tidak ditemukan, yang terlihat hanya fasa sigma dan fasa austenit sekunder.

Ini sangat jelas bahwa baja tahan karat super duplex lebih sensitif untuk terbentuknya presipitat fasa sigma. Hal ini dapat dilihat dari gambar 2.14 yang menggambarkan pada menit 0-5 laju presipitasinya mencapai level tertinggi, sedangkan 5-120 menit terlihat mulai melambat. Dalam waktu 120 menit seluruh fasa ferit bertransformasi menjadi fasa sigma dan fasa austenit sekunder, seperti yang terlihat pada gambar 2.13 (d).



**Gambar 2.14** Jumlah Fasa Sigma dan Ferit pada SAF 2507 yang di-aging pada Temperatur 920°C dengan Waktu Tahan yang Berbeda (Zou, 2011)



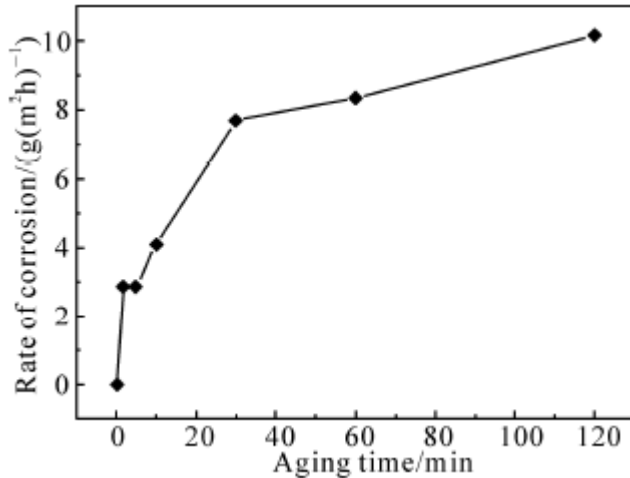
**Gambar 2.15** Grafik Hubungan  *Holding Time*  Proses Aging dengan Kekuatan  *Impact*  (Zou, 2011)

Dari gambar 2.15 dapat dilihat bahwa pada holding time 0 menit kekuatan  *impact*  SAF 2507 sebesar 260J semakin lama





waktu tahan menurunkan kekuatan *impact*, yang artinya fasa sigma dapat menurunkan kekuatan *impact* dengan sangat drastis meskipun jumlah fasa sigma yang terbentuk dalam jumlah sedikit, penurunan terjadi dari 260J turun hingga 28J, artinya baja SAF 2507 tersebut berubah menjadi sangat getas.



**Gambar 2.16** Hubungan Laju Korosi dengan Waktu *Aging* pada Temperatur 920°C (Zou, 2011)

Gambar 2.16 menunjukkan bahwa pembentukan fasa sigma pada SAF 2507 ini juga dapat memengaruhi ketahanan korosinya. Laju korosi tampak naik drastis pada waktu *aging* 10 menit dan 30 menit dan laju korosi tersebut terus naik bersamaan dengan lamanya waktu tahan proses *aging*.

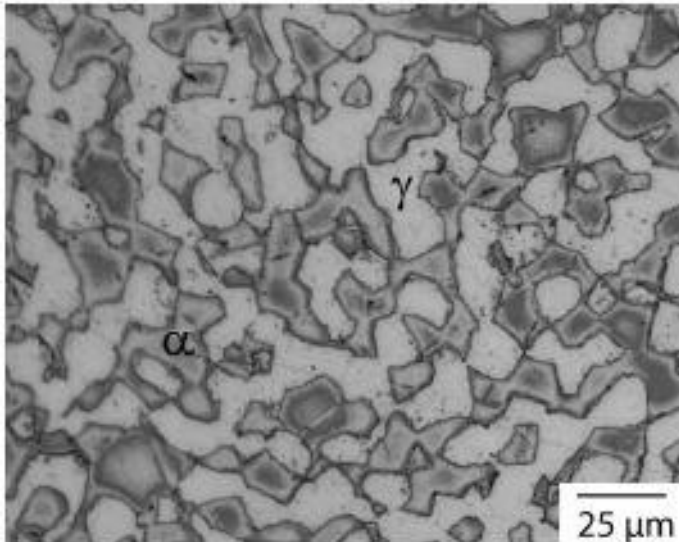
## 2. *Effect of Sigma Phase On The Wear Behavior of a Super Duplex Stainless Steel*

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah EN 1.4410 Super Duplex Stainless Steel atau sama dengan SAF 2507 dengan komposisi kimia 25.2 % Cr, 7.1% Ni, 5.1% Mo, 2.1% Mn, 1.1% Si, 0.28% N dan 0.03% C. Material berbentuk *bar* dengan



diameter 20mm dan dipotong membentuk piringan dengan ketebalan 10mm. Kemudian material tersebut diberi perlakuan panas dengan temperatur 1050°C dengan *water quench*. Untuk mendapatkan persentase fasa sigma yang berbeda maka dilakukan *heat treatment* dengan beberapa temperatur dan waktu tahan yang telah ditentukan.

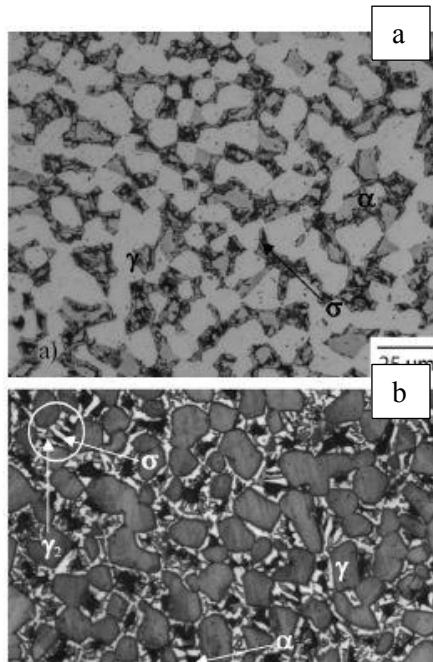
Presipitasi yang terbentuk diidentifikasi dengan menggunakan XRD. Kemudian struktur mikro dianalisa dengan menggunakan mikroskop optik dan pengukuran kuantitatif menggunakan *software* analisa gambar.



**Gambar 2.17** Struktur Mikro AR SDSS Tanpa Perlakuan (Fargas, 2013)



Gambar 2.17 menunjukkan struktur mikro dari material yang tidak diberi perlakuan apapun, dari gambar tersebut terlihat bahwa tidak ada fasa sigma, dan yang ada hanya fasa austenit dan fasa ferit. Setelah material tersebut diberi perlakuan *aging* sesuai dengan temperatur dan waktu tahan yang telah ditentukan maka terjadi perubahan struktur mikro yaitu terbentuknya fasa sigma ( $\sigma$ ) seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut ini:

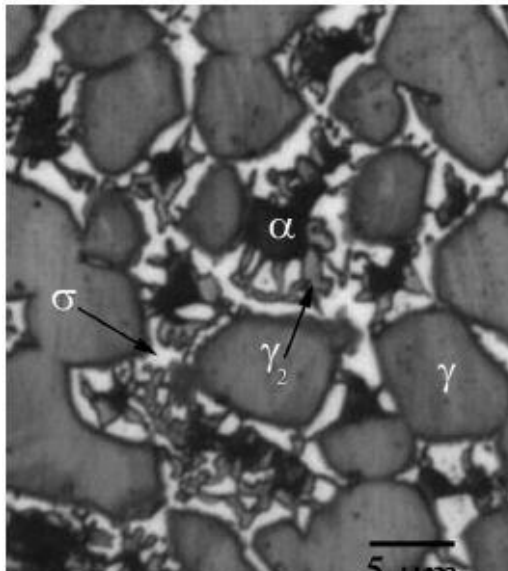


**Gambar 2.18** Struktur Mikro AR-SDSS setelah di-  
*aging* (Fargas, 2013)

Dari gambar 2.18 dapat dilihat perubahan yang terjadi pada gambar 2.18 (a) perlakuan panas diberikan dengan temperatur 875 selama 20 menit sedangkan 2.18 (b) temperatur 875 selama 180

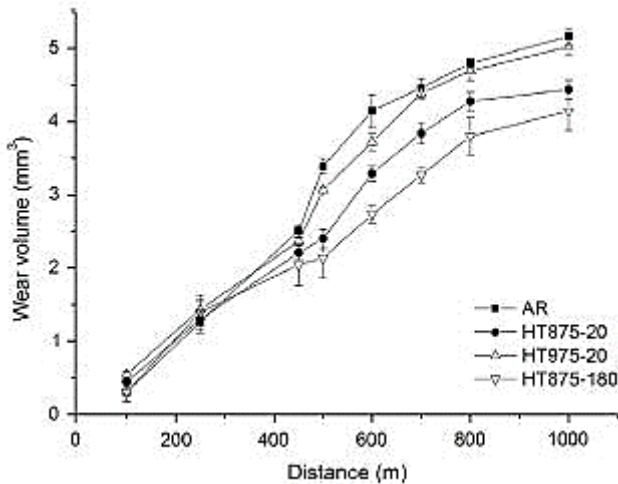


menit. Pada gambar 2.18 (b) akan terlihat sangat jelas fasa sigma yang muncul, fasa tersebut telah bertumbuh hingga masuk ke dalam fasa ferit. Bandingkan dengan gambar 2.18 (a) fasa sigma yang bermunculan dalam jumlah kecil dan berada pada batas butir austenit dan ferit.



**Gambar 2.19** Struktur Mikro ARSDSS (Fargas, 2013)

Gambar 2.19 adalah perbesaran dari gambar 2.18 (b), pada gambar ini terlihat sangat jelas ferit terdekomposisi dan bertransformasi menjadi fasa sigma dan fasa austenit sekunder.



**Gambar 2.20** *Wear Volume* untuk AR SDSS (Fargas, 2013)

Dari hasil uji *wear resistance* (Gambar 2.19) yang dilakukan dapat diketahui bahwa material yang diberi perlakuan panas dengan temperatur 875°C selama 180 menit memiliki *wear resistance* yang paling tinggi ini ditunjukkan volume aus yang paling rendah jika dibandingkan dengan material yang tidak diberi perlakuan dan material yang diberi perlakuan panas dengan parameter temperatur dan waktu tahan yang lain. Pada material yang diberi perlakuan panas dengan temperatur 875°C selama 180 menit memiliki persentase fasa sigma yang paling tinggi dibanding ketiga material yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa fasa sigma dapat meningkatkan *wear resistance*.

### 3. *Influence of Heat Treatment on Microstructure, Hardness and Wear Behavior of Super Duplex Stainless Steel AISI 2507*



Spesimen yang digunakan adalah baja tahan karat SAF 2507 yang berbentuk *bar* dengan diameter 10mm. Spesimen diberi perlakuan panas pada temperatur 1050°C selama 2 jam dengan pendinginan cepat (*water quench*) untuk mendapatkan keseimbangan fasa ferit dan austenit, kemudian diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 850°C dengan pendinginan menggunakan air dan oli.

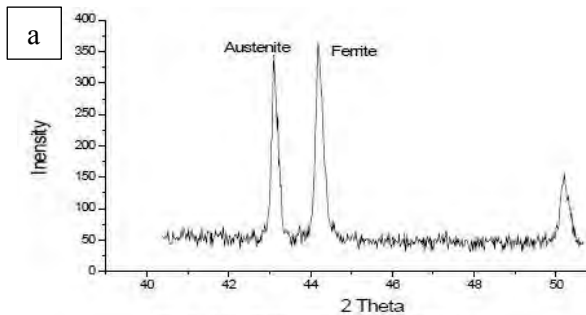
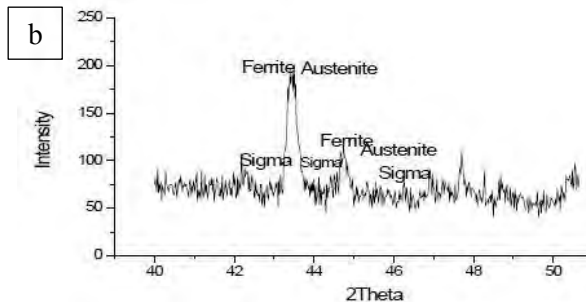


Figure 3. X-ray diffraction pattern of solution treated specimen

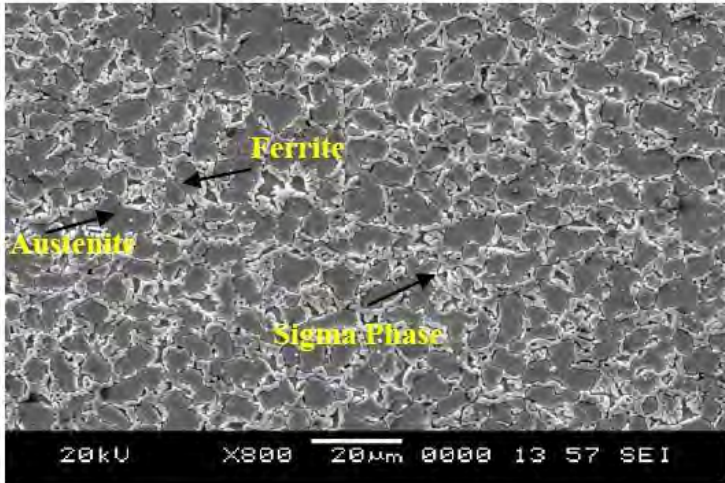


**Gambar 2.21** Hasil Uji XRD (a) *Solution Treated* 1050°C  
(b) *Heat Treated* 850°C 1 jam (Davanageri, 2015)

Hasil dari uji XRD menunjukkan bahwa fasa sigma muncul pada spesimen yang telah diberi perlakuan panas dengan temperatur 850C selama 1 jam, *peak* fasa sigma muncul disekitar



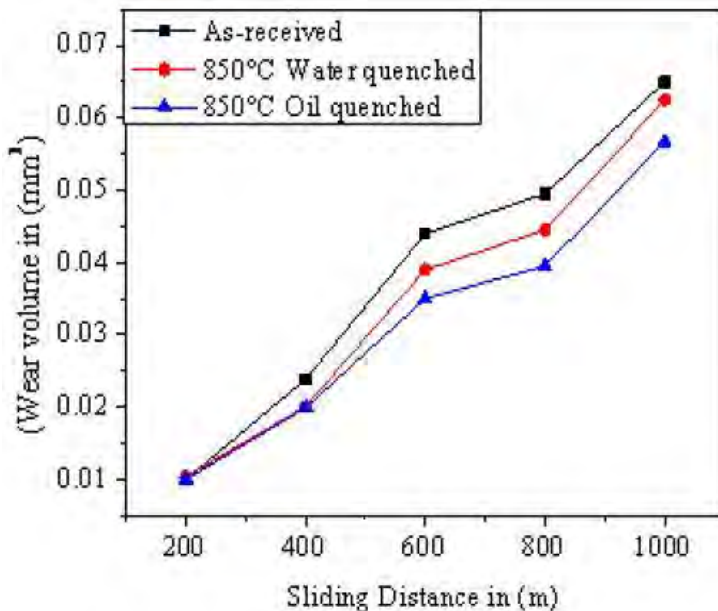
fasa austenit dan fasa ferit. Fasa sigma muncul akibat perlakuan panas yang diberikan pada baja tersebut.



**Gambar 2.22** Struktur Mikro AISI 2507 yang Telah Diberi Perlakuan Panas 850°C selama 1 jam (Davanageri, 2015)

Dari gambar 2.22 dapat terlihat bahwa baja AISI 2507 yang telah diberi perlakuan panas pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 1 jam terbentuk fasa sigma seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 2.22. Fasa sigma tumbuh pada daerah yang mengandung kadar Cr yang tinggi di daerah ferit sejumlah 30% fraksi volume.

Hasil pengujian *hardness* yang dilakukan pada AISI 2507, terjadi peningkatan nilai kekerasan pada baja AISI 2507 dari baja yang diberi *solution treatment* dan baja yang telah diberi perlakuan *aging*. Penyebab utamanya adalah terbentuknya fasa sigma pada baja AISI 2507 yang telah diberi perlakuan *aging*.



**Gambar 2.23** *Sliding Distance vs Wear* (Davanageri, 2015)

Gambar 2.23 adalah gambar hasil pengujian ketahanan aus (*wear resistance*), *sliding distance* meningkatkan hilangnya *wear volume* pada spesimen. Ketahanan aus spesimen yang didinginkan dengan oli (*oil quench*) lebih rendah dibanding spesimen yang didinginkan air (*water quench*).

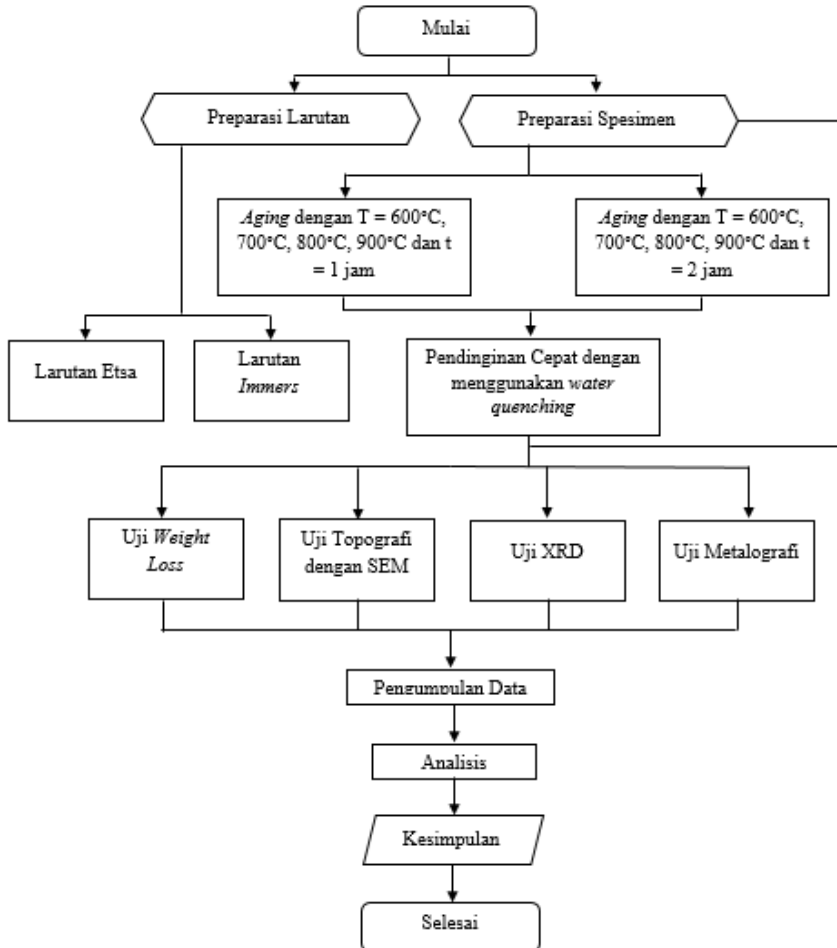




(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Bahan-bahan Penelitian

##### 1. Spesimen Uji

Spesimen uji terdiri dari *Tube Super Duplex SAF 2507* yang masih baru dengan komposisi kimia sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Tabel Komposisi Kimia Super Duplex SAF 2507

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Dll.
≤0.030	≤0.8	≤1.2	≤0.025	≤0.015	25	7	4	N=0,3

Sumber: SANDVIK SAF 2507 *Datasheet*, 2015

##### 2. Larutan etsa

Larutan etsa yang digunakan adalah Glisergia

##### 3. Larutan elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan untuk proses perendaman adalah  $\text{FeCl}_3$

##### 4. Resin

Digunakan untuk *mounting* spesimen metalografi

##### 5. Katalis

Digunakan untuk mengeraskan resin *mounting* spesimen metalografi

##### 6. Autosol

Digunakan untuk proses *polishing* spesimen metalografi

##### 7. Aquades

Digunakan untuk membersihkan spesimen setelah proses perendaman

#### 3.2.2 Alat-alat Penelitian

##### 1. *Bending tool*

Digunakan untuk merubah bentuk *seamless tube* SAF 2507 menjadi plat.

##### 2. *Cutting tool*

Digunakan untuk memotong sampel berupa plat SAF 2507.

##### 3. *Drilling Tool*

Digunakan untuk melubangi bagian tengah sisi atas kupon yang akan berfungsi untuk menggantung spesimen ketika proses perendaman



4. *Muffle furnace*  
Digunakan untuk memanaskan SAF 2507.
5. Ember  
Digunakan sebagai wadah air untuk *water quench*.
6. Pipa Sok  
Digunakan sebagai cetakan sampel uji metalografi saat *mounting*.
7. Kertas Amplas  
Digunakan untuk *grinding* sampel saat preparasi sampel untuk uji metalografi.
8. Gelas Ukur 100ml  
Digunakan untuk membuat larutan
9. Gelas Ukur 10ml  
Digunakan untuk membuat larutan
10. Gelas Beker 1000ml  
Digunakan untuk proses perendaman
11. Penjepit Logam  
Digunakan untuk mengambil sampel yang telah di *solution treatment* dan *aging*.
12. Timbangan Digital  
Digunakan untuk menimbang spesimen sebelum dan sesudah proses perendaman
13. Benang  
Digunakan untuk menggantung spesimen pada kayu ketika proses *immersion*
14. Batang Kayu  
Digunakan untuk menggantung spesimen agar tidak menyentuh permukaan *chamber* ketika proses *immersion*
15. Alat Uji Mikroskop Optik  
Digunakan untuk mengamati struktur mikro dari spesimen SAF 2507 yang masih baru, yang telah terkorosi dan yang telah diberi perlakuan



16. Alat Uji SEM/EDX

Digunakan untuk mengetahui topografi permukaan *sample* SAF 2507 yang masih baru, yang telah terkorosi dan yang telah diberi perlakuan

17. Alat Uji XRD

Digunakan untuk mengetahui fasa yang terdapat pada *sample* SAF 2507 yang masih baru, yang telah terkorosi dan yang telah diberi perlakuan

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Preparasi Sampel

Preparasi sampel meliputi *bending* dan pemotongan SAF 2507 sebagai spesimen kontrol dan spesimen yang diberi perlakuan *aging*. Untuk spesimen yang akan diberi perlakuan *aging* dipotong menjadi 20mm x 20mm x 2,4mm. Spesimen dipotong untuk pengujian metalografi, uji korosi, SEM dan XRD. Untuk spesimen yang tidak diberikan perlakuan sama sekali maka spesimen tersebut menjadi Spesimen Kontrol. Untuk uji metalografi spesimen akan di-*mounting* menggunakan resin agar memudahkan proses *grinding*. Kemudian untuk kebutuhan uji *weight loss* maka sisi tengah bagian atas spesimen dilubangi dengan menggunakan bor agar dapat digantung saat proses perendaman, kemudian dilakukan penimbangan massa awal spesimen dengan menggunakan timbangan digital

#### 3.3.2 Preparasi Larutan

Larutan yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas larutan etsa dan larutan perendam. Preparasinya ialah sebagai berikut :

1. Larutan Etsa

Berdasarkan ASTM E407, larutan etsa yang digunakan adalah Glisergia dengan komposisi 6ml Gliserol, 6ml HCl dan 4ml HNO<sub>3</sub>.



## 2. Larutan Perendam

Berdasarkan ASTM G48, larutan yang akan digunakan adalah  $\text{FeCl}_3$ . Untuk volume larutan yang digunakan menyesuaikan dengan luas permukaan sampel. Sesuai ASTM G31-72, perhitungan minimum larutan yang digunakan adalah dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Volume larutan} = (0.2 \text{ s/d } 0.4) \times \text{luas permukaan} \quad (3.1)$$

Karena hasil perhitungan luas permukaan adalah sebesar  $8.194\text{cm}^2$  maka minimal volume yang digunakan adalah sebesar 327.76ml

### 3.3.3 Pengujian Sampel Kontrol

Untuk mengetahui keadaan awal spesimen maka akan dilakukan pengujian kekerasan, metalografi, SEM dan XRD.

- a. Uji Korosi dengan metoda *weight loss*, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi super duplex SAF 2507. *Sample* yang digunakan adalah spesimen yang masih baru, ditimbang massa awalnya. Kemudian *sample* tersebut direndam di dalam larutan  $\text{FeCl}_3$ . Waktu perendaman dilakukan selama 24 jam diatas sebuah *magnetic stirrer* dengan *settingan* temperature  $34^\circ\text{C}$ . Kemudian setelah direndam selama waktu yang ditentukan, *sample* ditimbang kembali dan dilihat selisih massanya.
- b. Uji metalografi dilakukan dengan mikroskop optik di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Tujuannya untuk mengetahui struktur mikro dari sampel sebelum diberi *solution* treatment dan *aging*. Etsa yang dipakai yaitu Glisergia
- c. Uji XRD (*X-Ray Diffraction*) di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan



- Metalurgi ITS untuk mengetahui keberadaan fasa sigma pada sampel yang tidak diberikan perlakuan sama sekali.
- d. Pengujian SEM dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* tipe FEI INSPECT S50 di Laboratorium Karakterisasi Material Teknik Material dan Metalurgi ITS. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui struktur mikro sebelum diberi perlakuan aging dan morfologi permukaan sampel dan setelah diuji *weight loss*.

### 3.3.4 Proses Aging

Sampel yang telah didinginkan dengan *water quench* kemudian dipanaskan kembali dengan variasi temperatur dan waktu tahan yang telah ditentukan dan didinginkan dengan media air (*water quench*) dan diagitasi. Rancangan pembagian jumlah spesimen untuk variasi temperatur dan waktu tahan dapat dilihat pada tabel 3.2

**Tabel 3.2** Rancangan Pembagian Jumlah Spesimen

Waktu Tahan	Temperatur 600°C	Temperatur 700°C	Temperatur 800°C	Temperatur 900°C
1 Jam	1 Sampel	1 Sampel	1 Sampel	1 Sampel
2 Jam	1 Sampel	1 Sampel	1 Sampel	1 Sampel

### 3.3.5 Pengujian Sampel

Untuk mengetahui keadaan sampel setelah diberi perlakuan *aging* maka dilakukan pengujian *weight loss*, metalografi, SEM dan XRD.

- a. Uji metalografi dilakukan dengan mikroskop optik di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Tujuannya untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada struktur mikro dari sampel setelah diberi perlakuan *aging*. Etsa yang dipakai yaitu Glisergia.



- b. Uji Korosi dengan metoda *weight loss*, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi super duplex SAF 2507. *Sample* yang digunakan adalah spesimen yang telah diberi perlakuan *aging*, ditimbang massa awalnya. Kemudian *sample* tersebut direndam di dalam larutan  $Fe_3Cl$ . Waktu perendaman dilakukan selama 24 jam diatas sebuah *magnetic stirrer* dengan *settingan* temperature  $34^{\circ}C$ . Kemudian setelah direndam selama waktu yang ditentukan, *sample* ditimbang kembali dan dilihat selisih massanya.
- c. Uji XRD (*X-Ray Diffraction*) di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS untuk mengetahui keberadaan fasa sigma pada sampel yang telah diberi perlakuan *aging*..
- d. Pengujian SEM dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* tipe FEI INSPECT S50 di Laboratorium Karakterisasi Material Teknik Material dan Metalurgi ITS. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada struktur mikro setelah diberi perlakuan *aging* dan morfologi permukaan sampel dan seteleah diuji *weight loss*.

### 3.3.6 Analisa

- a. Analisis Mikro Struktur  
Hasil uji metalografi dengan mikroskop optik dan SEM yang berupa struktur mikro dari spesimen kontrol 1 dan sampel hasil *aging* dibandingkan untuk melihat pengaruh dari temperatur dan waktu tahan *aging* terhadap struktur mikro pada baja tahan karat SAF 2507.
- b. Analisis Laju Korosi dengan metode *weight loss*  
Dari hasil uji korosi spesimen kontrol 1 dan sampel hasil *aging* dianalisis pengaruh temperatur dan waktu tahan *aging* terhadap nilai ketahanan korosi *pitting* pada baja tahan karat SAF 2507. Mengacu pada ASTM G1 untuk mencari laju





korosi dari data *weight loss* dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \quad (3.2)$$

Keterangan :

K = konstanta laju korosi ( $3.45 \times 10^6$ )

W = massa yang hilang (g)

A = luas permukaan ( $\text{cm}^2$ )

D = densitas spesimen ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

T = waktu perendaman (jam)

c. Analisis Fasa

Pengaruh dari penambahan temperatur dan waktu tahan *aging* terhadap fasa sigma yang terbentuk pada SAF 2507 dapat dianalisis melalui hasil uji XRD spesimen kontrol 1 dan sampel hasil *aging*.

### 3.4 Rancangan Pengujian

Tabel 3.3 Rancangan Pengujian

Waktu Tahan	Temperatur	Struktur Mikro	SEM	XRD	Weight Loss	Corrosion Rate
1 Jam	600°C					
	700°C					
	800°C					
	900°C					
2 jam	600°C					
	700°C					
	800°C					
	900°C					



### 3.5 Jadwal Penelitian

**Tabel 3.4** Jadwal Penelitian

Kegiatan	Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Preparasi alat dan bahan			■	■												
Pengujian spesimen kontrol			■	■	■	■										
Proses <i>aging</i>					■	■	■	■								
Pengujian sampel					■	■	■	■	■	■	■	■				
Analisis data					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Penyusunan laporan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Asistensi laporan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

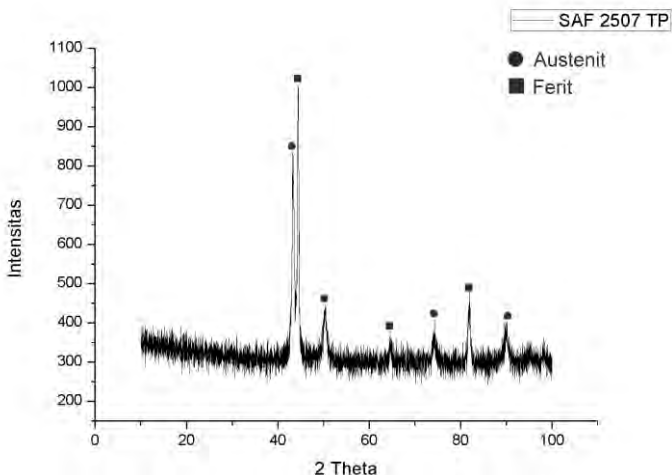


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 HASIL UJI XRD

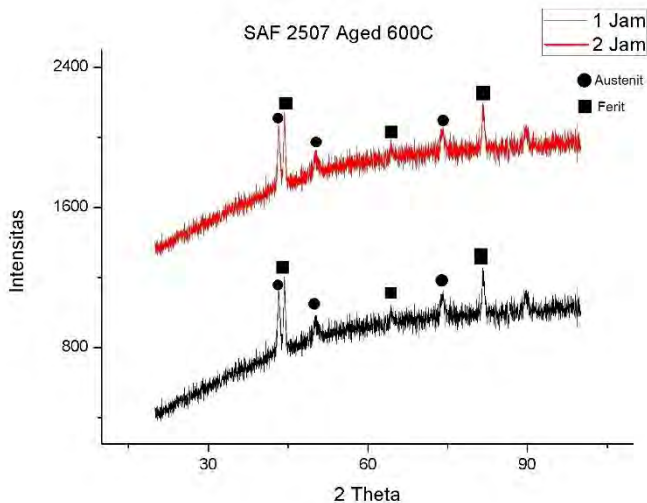


**Gambar 4.1** Grafik Hasil Uji XRD Spesimen Tanpa Perlakuan

Mengacu pada gambar 4.1 bahwa pada spesimen yang tidak diberi perlakuan tidak ditemukan adanya fasa sigma ( $\sigma$ ), dan fasa yang muncul adalah fasa austenit ( $\gamma$ ) yang diwakili oleh *peak* pertama pada posisi 2 theta 43.3581, ketiga pada posisi 2 theta 50.3925, kelima dengan posisi 2 theta 74.2035 dengan dan ketujuh pada posisi 2 theta 89.9577, fasa lain yang ditemukan adalah ferit ( $\delta$ ) yang diwakili oleh *peak* kedua dengan posisi 2 theta 44.4513, keempat pada posisi 2 theta 64.6320, keenam pada posisi 2 theta 81.9238, dan kedelapan pada posisi 2 theta 98.1234. Adanya dua fasa ini menunjukkan ciri khas baja tahan karat super duplex.



Perlakuan *aging* diberikan dengan temperatur yang dapat memunculkan fasa intermetalik utamanya fasa sigma ( $\sigma$ ), pemanasan dilakukan pada temperatur 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C dengan waktu tahan selama 1 jam dan 2 jam.



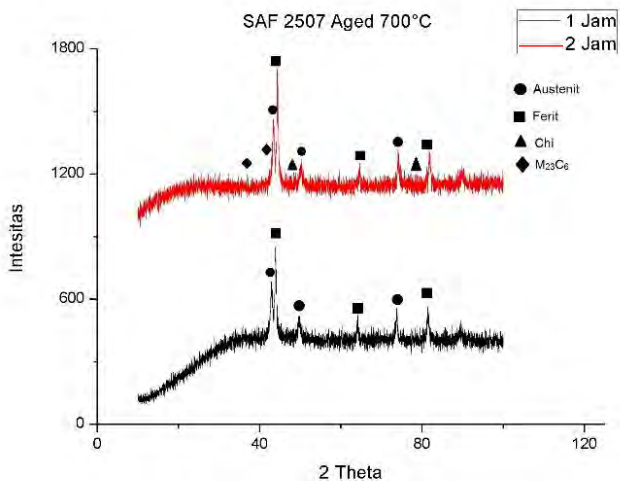
**Gambar 4.2** Hasil XRD SAF 2507 yang telah di-*Aging* Temperatur 600°C

Dari gambar 4.2 pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 1 jam ditemukan *peak* yang diidentifikasi fasa austenit ( $\gamma$ ) pada posisi 2 theta 43.2675, ketiga pada posisi 2 theta 50.1482, kelima dengan posisi 2 theta 74.0571 dan ketujuh pada posisi 2 theta 89.5972, fasa lain yang ditemukan adalah ferit ( $\delta$ ) yang diwakili oleh *peak* kedua dengan posisi 2 theta 44.4014, keempat pada posisi 2 theta 64.4801, keenam pada posisi 2 theta 81.6331, fasa intermetalik tidak ditemukan sesuai dengan diagram TTT pada gambar 2.5, sementara itu untuk spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan



temperatur 600°C dengan waktu tahan 2 jam ditemukan fasa austenit ( $\gamma$ ) pada posisi 2 theta 43.2675 dengan bidang kristal, ketiga pada posisi 2 theta 50.0870, keenam dengan posisi 2 theta 73.9589 dan ketujuh pada posisi 2 theta 89.7941, fasa lain yang ditemukan adalah ferit ( $\delta$ ) yang diwakili oleh *peak* kedua dengan posisi 2 theta 44.4014, keempat pada posisi 2 theta 64.4081, dan kedelapan dengan posisi 2 theta 81.6331. Pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 600°C dan waktu tahan 1 jam dan 2 jam, tidak ditemukan fasa intermetalik apapun. Hal ini sesuai dengan diagram TTT (Gambar 2.5).

Selanjutnya, dari Gambar 4.3 spesimen yang telah diberi perlakuan *aging* pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 1 jam ditemukan *peak* fasa austenit ( $\gamma$ ) pada posisi 2 theta 42.8293, ketiga pada posisi 2 theta 49.8647, kelima dengan posisi 2 theta 73.1937, fasa lain yang ditemukan adalah ferit ( $\delta$ ) yang diwakili oleh *peak* kedua dengan posisi 2 theta 44.3500, kelima pada posisi 2 theta 64.5205, dan ketujuh dengan posisi 2 theta 81.6496, sementara itu pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 2 jam ditemukan fasa austenit ( $\gamma$ ) pada *peak* ketiga pada posisi 2 theta 43.32, keenam pada posisi 2 theta 50.18, kedelapan posisi 2 theta 74.09, fasa lain yang ditemukan adalah ferit ( $\delta$ ) yang diwakili oleh *peak* keempat dengan posisi 2 theta 44.36, ketujuh pada posisi 2 theta 64.43, dan kesepuluh dengan posisi 2 theta 81.76, lalu fasa  $M_{23}C_6$  pada *peak* pertama dan kedua pada posisi 2 theta 37.7658 dan 41.5927 dan fasa chi pada posisi 2 theta 48.11 dan 79.07 sebagai fasa intermetalik yang terbentuk akibat perlakuan *aging* yang telah diberikan sesuai dengan diagram TTT pada gambar 2.5 dan penelitian yang dilakukan oleh Kashiwar (2012) yang juga menemukan fasa  $M_{23}C_6$  dan fasa chi pada baja tahan karat S31803 atau AISI 2205 pada baja yang telah di beri perlakuan *aging* pada temperatur 700°C. Fasa  $M_{23}C_6$  memang dapat terbentuk dengan sangat cepat (dibawah 30 menit) pada temperatur 700°C hingga 900°C dan pembentukan yang lebih lama pada temperatur 550°C-700°C seperti yang dikatakan oleh Armas dan Moreulis (2009).

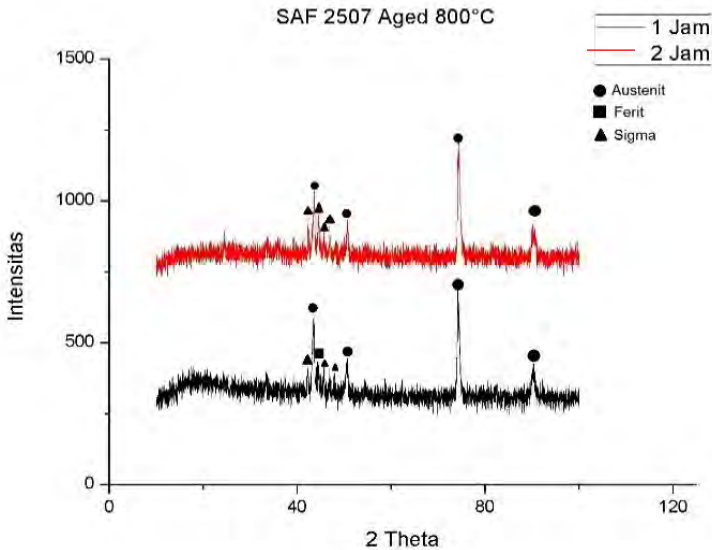


**Gambar 4.3** Hasil Uji XRD SAF 2507 yang di-Aging pada Temperatur 700°C

Pada Gambar 4.4 spesimen yang telah diberi perlakuan *aging* pada temperatur 800°C dengan waktu tahan 1 jam ditemukan *peak* fasa austenit ( $\gamma$ ) yang diwakili oleh *peak* kedua pada posisi 2 theta 43.422, keenam pada posisi 2 theta 50.52, ketujuh dengan posisi 2 theta 74.217 dan kesembilan pada posisi 2 theta 90.14, fasa lain yang ditemukan adalah ferit ( $\delta$ ) yang diwakili oleh *peak* kedua dengan posisi 2 theta 44.42, serta fasa sigma ( $\sigma$ ) diwakili *peak* pertama pada posisi 2 theta 42.21, kelima pada posisi 2 theta 46.84, kedelapan pada posisi 2 theta 82.04 sebagai fasa intermetalik yang terbentuk akibat perlakuan *aging* yang diberikan dan pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 800°C dengan waktu tahan 2 jam ditemukan *peak* yang diindikasikan sebagai fasa austenit ( $\gamma$ ) yang diwakili oleh *peak* kedua pada posisi 2 theta 43.53, ketujuh pada posisi 2 theta 50.63, kedelapan dengan posisi 2 theta 74.34 dan kesembilan pada posisi



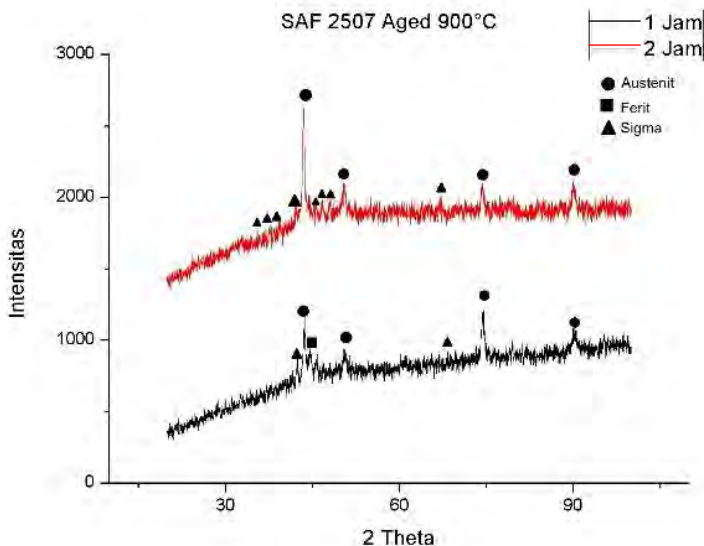
2 theta 90.20, fasa lain yang ditemukan fasa sigma ( $\sigma$ ) yang diwakili oleh *peak* pertama pada posisi 42.331, keempat pada posisi 2 theta 45.84 keenam pada posisi 48.03 sebagai fasa intermetalik yang terbentuk akibat perlakuan *aging* yang diberikan.



**Gambar 4.4** Hasil XRD SAF 2507 yang di-*Aging* Temperatur 800°C

*Aging* dengan temperatur 800°C dan waktu tahan 2 jam menghasilkan fasa sigma yang lebih banyak dari pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan temperatur yang sama namun waktu tahannya 1 jam hal ini terlihat dari jumlah *peak* fasa sigma yang muncul. Pada spesimen yang dengan waktu tahan 2 jam fasa ferit tidak ditemukan karena seluruh fasa ferit bertransformasi menjadi fasa sigma dan fasa austenit sekunder.





**Gambar 4.5** Hasil XRD SAF 2507 yang Telah di-*Aging* Temperatur 900°C

Pada gambar 4.5 spesimen yang telah diberikan perlakuan *aging* pada temperatur 900°C dengan waktu tahan 1 jam ditemukan *peak* yang diindikasikan sebagai austenit ( $\gamma$ ) yang diwakili oleh *peak* keempat pada posisi 2 theta 43.6558, keenam pada posisi 2 theta 50.7212, kedelapan dengan posisi 2 theta 74.5176, kesebelas pada posisi 2 theta 90.3062 dan kedua belas pada posisi 2 theta 95.3669, fasa lain yang ditemukan adalah ferit ( $\delta$ ) yang diwakili oleh *peak* kelima dengan posisi 2 theta 44.6680, keenam pada posisi 2 theta 81.9594, serta fasa sigma ( $\sigma$ ) yang diwakili oleh *peak* ketiga pada posisi 2 theta 42.4396, ketujuh pada posisi 2 theta 65.0118, kesembilan pada posisi 2 theta 78.9772, sebagai fasa intermetalik yang terbentuk akibat perlakuan *aging* yang diberikan. Untuk yang diberi perlakuan *aging* temperatur 900°C dengan waktu tahan 2 jam ditemukan fasa austenit ( $\gamma$ ) yang diwakili oleh

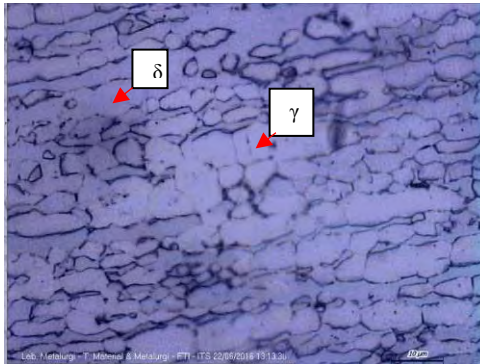


*peak* keempat pada posisi 2 theta 43.491, kedelapan pada posisi 2 theta 50.45, kesembilan dengan posisi 2 theta 74.29 dan kedua belas pada posisi 2 theta 90.01 dan ketiga belas pada posisi 2 theta 95.08, fasa lain yang ditemukan adalah fasa sigma ( $\sigma$ ) yang diwakili oleh *peak* pertama pada posisi 36.61, keempat pada posisi 2 theta 37.70 keenam pada posisi 39.29, kelima pada posisi 2 theta 45.63, keenam pada posisi 2 theta 46.77, kedelapan pada posisi 2 theta 67.10, kesepuluh pada posisi 2 theta 79.05. Pada spesimen ini juga tidak ditemukan fasa ferit ( $\delta$ ) seperti halnya dengan spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 800°C dengan waktu tahan 2 jam, dimana seluruh fasa ferit bertransformasi menjadi fasa sigma dan fasa austenit sekunder melalui reaksi eutektoid.

Dari seluruh hasil uji XRD yang telah dilakukan terlihat bahwa *peak* fasa intermetalik utamanya fasa sigma yang mulai ditemukan pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 800°C dengan waktu tahan 1 Jam dan jumlah puncak dari fasa sigma yang muncul terlihat semakin banyak seiring dengan naiknya temperatur dan waktu tahan yang diberikan. Bahkan, pada spesimen yang diberikan perlakuan *aging* dengan temperatur 800°C dan 900°C dengan waktu tahan 2 Jam. Selain fasa sigma, fasa  $M_{23}C_6$  juga ditemukan pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 1 jam dan 2 jam serta fasa chi yang ditemukan pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 2. fasa ferit tidak lagi ditemukan karena seluruh ferit bertransformasi menjadi fasa sigma dan fasa austenit sekunder. Hal ini sesuai dengan yang diungkapkan oleh Gunn (1997), bahwa temperatur yang dapat menumbuhkan fasa sigma secara maksimal adalah disekitar 900°C. Selain itu, hal ini juga senada dengan yang ditemukan oleh Zou (2011) seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.14. Untuk membuktikan perubahan yang terjadi pada struktur mikro baja tahan karat SAF 2507 Super Duplex yang telah diberi perlakuan *aging* pada temperatur 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C dengan waktu tahan 1 jam dan 2 jam, dilakukan pengamatan visual.



## 4.2 HASIL UJI METALOGRAFI



**Gambar 4.6** Struktur Mikro SAF 2507 Tanpa Perlakuan pada Perbesaran 100x

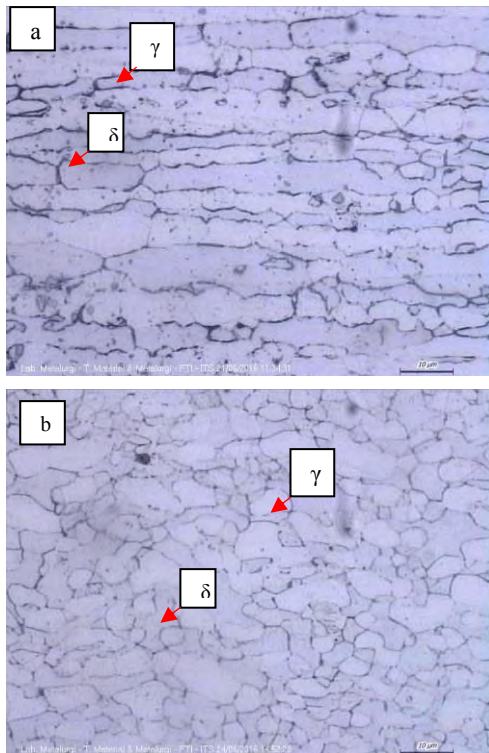
Analisa struktur mikro ini menggunakan mikroskop optik, etsa yang digunakan adalah gliseria dengan komposisi 6ml Gliserol, 6ml HCl dan 4ml HNO<sub>3</sub>. Spesimen dietsa dengan cara dicelup selama 30-35 detik untuk identifikasi awal perubahan pada struktur mikro SAF 2507 Super Duplex.

Gambar 4.6 adalah struktur mikro dari SAF 2507 super duplex yang tanpa perlakuan yang menunjukkan bahwa fasa yang terdapat pada spesimen yang tanpa perlakuan adalah fasa ferit ( $\delta$ ) yang berwarna lebih gelap karena ferit adalah fasa yang lebih mudah terkorosi karena beda potensialnya lebih rendah dan fasa austenit ( $\gamma$ ) yang berwarna lebih cerah seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas hal ini terjadi karena etsa yang digunakan adalah gliseria dan hal ini juga membuktikan bahwa pada spesimen yang tidak diberi perlakuan tidak terdapat fasa sigma ( $\sigma$ ).

Untuk spesimen yang lain diberi perlakuan *aging* dengan variasi temperatur 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C dengan variasi waktu tahan 1 jam dan 2 jam pendinginan dilakukan dengan sangat cepat dengan media air (*water quench*) yang diikuti dengan agitasi (pengadukan). Setelah diberi perlakuan *aging* dengan berbagai variasi temperatur dan waktu tahan, terjadi perubahan pada struktur



mikro dari baja tahan karat SAF 2507 Super Duplex. Perubahan yang terjadi adalah munculnya fasa intermetalik yang dapat berpengaruh buruk terhadap ketahanan korosi, fasa tersebut adalah fasa sigma, berikut ini adalah hasil dari pengujian struktur mikro dari baja yang telah diberi perlakuan *aging* dengan variasi temperatur dan waktu tahan.



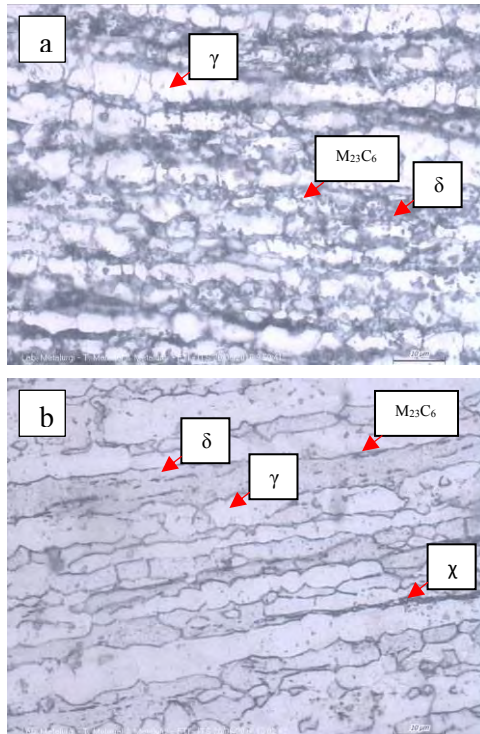
**Gambar 4.7** Struktur Mikro SAF 2507 Diaging pada Temperatur 600°C dengan Waktu Tahan (a) 1 jam; (b) 2 jam (100x)



## LAPORAN TUGAS AKHIR

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

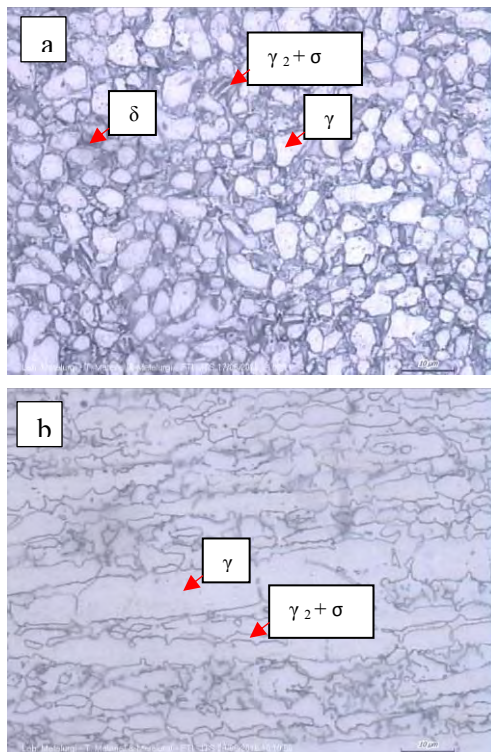
Gambar 4.7 (a) adalah gambar struktur mikro dari baja tahan karat SAF 2507 super duplex yang telah diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 600°C dengan waktu tahan 1 jam. Ditemukan fasa austenit ( $\gamma$ ) yang berwarna terang dan ferit ( $\delta$ ) yang berwarna lebih gelap seperti yang ditunjukkan anak panah, pada gambar 4.7 (b) juga ditemukan fasa austenit ( $\gamma$ ) yang berwarna terang dan ferit ( $\delta$ ) yang berwarna lebih gelap dan belum ditemukan adanya fasa intermetalik sesuai dengan diagram TTT.



**Gambar 4.8** Struktur Mikro SAF 2507 Diaging pada Temperatur 700°C dengan Waktu Tahan (a) 1 jam; (b) 2 jam (100x)



Pada gambar 4.8 (a) Struktur mikro dari baja SAF 2507 yang telah diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 700°C waktu tahan 1 jam ditemukan fasa austenit ( $\delta$ ), fasa austenit ( $\gamma$ ) yang muncul akibat perlakuan *aging* yang telah diberikan. Fasa chi ( $\chi$ ) dan fasa  $M_{23}C_6$  ditemukan pada perlakuan *aging* dengan temperatur 700°C dengan waktu tahan 2 jam (Gambar 4.8.b) sesuai dengan diagram TTT (gambar 2.5) dan yang ditemukan oleh Kashiwar (2012).



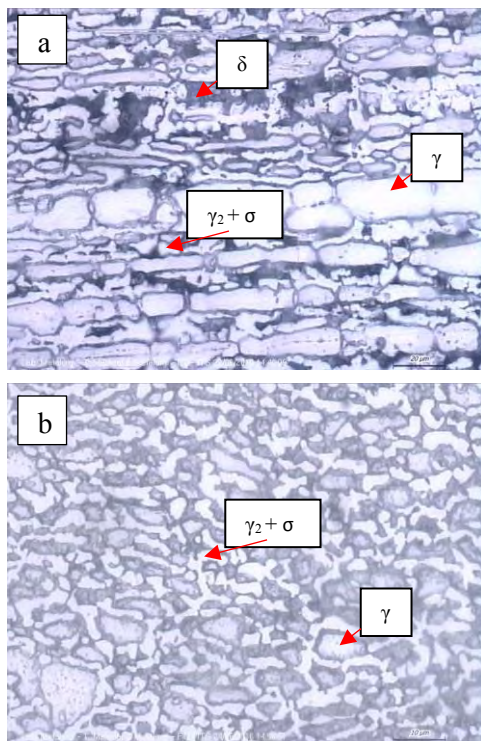
**Gambar 4.9** Struktur Mikro SAF 2507 Diaging pada Temperatur 800°C dengan Waktu Tahan (a) 1 jam; (b) 2 jam (100x)



## LAPORAN TUGAS AKHIR

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 4.9 (a) Struktur mikro dari baja SAF 2507 yang telah diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 800°C waktu tahan 1 jam ditemukan fasa austenit ( $\delta$ ), fasa austenit ( $\gamma$ ) dan fasa sigma ( $\sigma$ ) sebagai fasa intermetalik yang muncul akibat perlakuan *aging* yang telah diberikan. Fasa-fasa tersebut juga ditemukan pada perlakuan *aging* dengan temperatur 800°C dengan waktu tahan 2 jam, kecuali fasa ferit yang hilang karena bertransformasi menjadi fasa sigma dan fasa austenit sekunder. (Gambar 4.9 b)



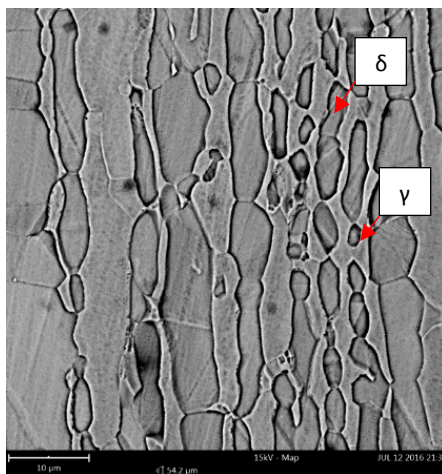
**Gambar 4.10** Struktur Mikro SAF 2507 Diaging pada Temperatur 900°C dengan Waktu Tahan (a) 1 jam; (b) 2 jam (100x)



Pada gambar 4.10 (a) Struktur mikro dari baja SAF 2507 yang telah diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 900°C waktu tahan 1 jam ditemukan fasa ferit ( $\delta$ ), fasa austenit ( $\gamma$ ) dan fasa sigma ( $\sigma$ ) sebagai fasa intermetalik yang muncul akibat perlakuan *aging* yang telah diberikan. Fasa-fasa tersebut juga ditemukan pada perlakuan *aging* dengan temperatur 900°C dengan waktu tahan 2 jam namun fasa ferit ( $\delta$ ) tidak lagi ditemukan karena seluruh ferit telah bertransformasi menjadi fasa sigma dan austenit sekunder (Gambar 4.10.b)

Dari hasil uji metalografi yang telah dilakukan, terlihat peningkatan jumlah fasa intermetalik yang bermunculan, apabila meninjau dari gambar struktur mikro pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C terlihat perbandingan yang sangat mencolok, terutama munculnya fasa intermetalik. Kemudian hasil metalografi ini diperjelas dengan menggunakan SEM.

### 4.3 HASIL UJI SEM



**Gambar 4.11** Hasil SEM SAF 2507 Tanpa Perlakuan

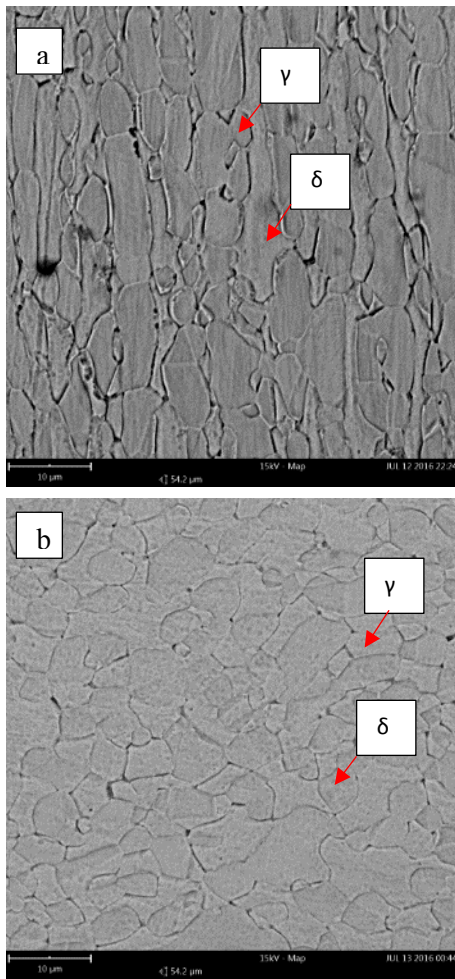




## LAPORAN TUGAS AKHIR

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

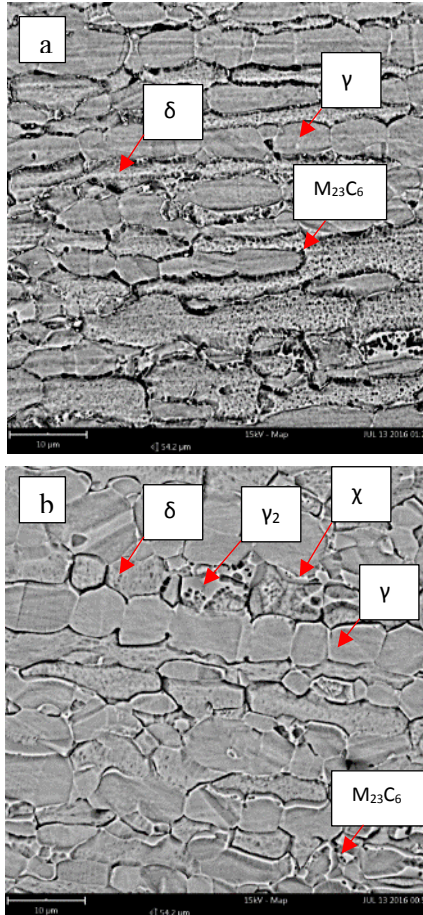
Gambar 4.11 adalah gambar hasil pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM yang menunjukkan bahwa fasa yang terdapat pada spesimen yang tidak diberi perlakuan adalah fasa ferit ( $\delta$ ) yang berwarna lebih gelap dan fasa austenit ( $\gamma$ ) yang timbul seperti pulau yang ditunjukkan pada gambar diatas.



Gambar 4.12 Hasil SEM SAF 2507 di-Aging  
Temperatur 600°C Waktu Tahan (a) 1 Jam (b) 2 Jam



Gambar 4.12 adalah gambar-gambar hasil pengamatan struktur mikro dengan variasi temperatur  $600^{\circ}\text{C}$  dengan waktu tahan 1 Jam (a) dan 2 Jam (b) pada gambar 4.12 (a) ditemukan fasa ferit ( $\delta$ ), austenit ( $\gamma$ ), dan untuk gambar 4.12 (b) ditemukan fasa ferit ( $\delta$ ), austenit ( $\gamma$ ) dan belum ditemukan fasa intermetalik yang terbentuk sesuai dengan diagram TTT (gambar 2.5).



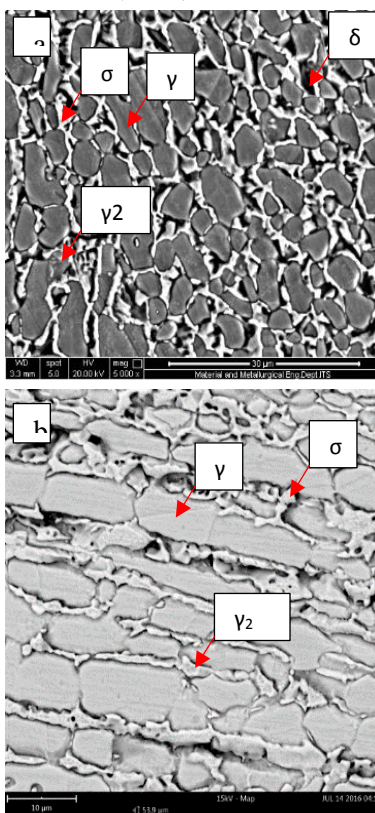
**Gambar 4.13** Hasil SEM SAF 2507 di-Aging Temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  Waktu Tahan (a) 1 Jam (b) 2 Jam



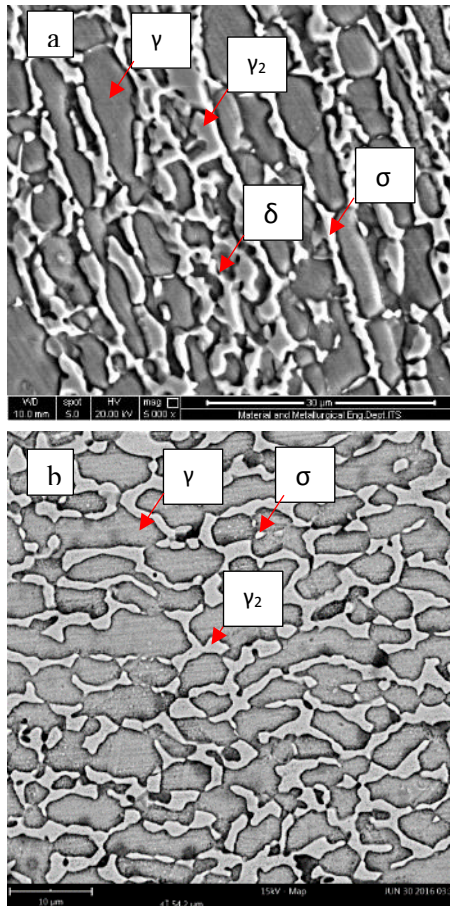
## LAPORAN TUGAS AKHIR

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4.13 adalah gambar-gambar hasil pengamatan struktur mikro dengan variasi temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  dengan waktu tahan 1 Jam (a) dan 2 Jam (b) pada gambar 4.13 (b) ditemukan fasa ferit ( $\delta$ ), austenit ( $\gamma$ ) serta  $\text{M}_{23}\text{C}_6$  yang terlihat seperti butiran-butiran yang terbentuk pada batas butir  $\delta/\gamma$  sesuai dengan yang ditemukan oleh Kashiwar (2012) dan untuk gambar 4.13 (b) ditemukan fasa ferit ( $\delta$ ), fasa austenit ( $\gamma$ ), fasa chi ( $\chi$ ) yang berwarna putih terang karena kadar Mo-nya yang sangat tinggi seperti yang dikatakan Nilsson (1993) dan fasa  $\text{M}_{23}\text{C}_6$ .



**Gambar 4.14** Hasil SEM SAF 2507 yang Telah di-Aging Temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  Waktu Tahan (a) 1 Jam; (b) 2 jam



**Gambar 4.15** Hasil SEM SAF 2507 yang Telah di-Aging Temperatur 900°C dengan Waktu Tahan (a) 1 Jam; (b) 2 Jam

Gambar 4.14 adalah gambar-gambar hasil pengamatan struktur mikro dengan variasi temperatur 800°C dengan waktu tahan 1 Jam (A) dan 2 Jam (b) pada gambar 4.14 (a) ditemukan fasa ferit ( $\delta$ ) dengan persentase area 28.06% , austenit ( $\gamma$ ) dengan persentase area 44.24% , dan fasa sigma ( $\sigma$ ) dengan persentase area 27.7% dan untuk gambar 4.14 (b) ditemukan fasa austenit ( $\gamma$ )



dengan persentase area 62.98%, dan sigma ( $\sigma$ ) dengan persentase area 37.01%.

Gambar 4.15 adalah gambar-gambar hasil pengamatan struktur mikro dengan variasi temperatur 900°C dengan waktu tahan 1 Jam (a) dan 2 Jam (b) pada gambar 4.15 (a) ditemukan fasa ferit ( $\delta$ ) dengan persentase area 28.06% , austenit ( $\gamma$ ) dengan persentase 44.24%, dan fasa sigma ( $\sigma$ ) dengan persentase area 27.7% dan untuk gambar 4.15 (b) ditemukan fasa, austenit ( $\gamma$ ) dengan persentase 52.56% , dan sigma ( $\sigma$ ) dengan persentase 47.44%. Fasa sigma yang ditemukan pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 800°C dan 900°C dengan waktu tahan 1 jam dan 2 jam adalah fasa yang berwarna lebih terang daripada austenit dan ferit karena memiliki konsentrasi Cr dan Mo yang lebih tinggi seperti yang dikatakan oleh Martins (2009).

Munculnya fasa intermetalik (utamanya sigma seperti yang tertera pada gambar 4.14 dan 4.15) mengakibatkan berkurangnya fasa ferit hal ini tidak lain disebabkan oleh pembentukan fasa intermetalik (sigma ( $\sigma$ ),  $M_{23}C_6$  dan chi ( $\chi$ )) yang awalnya terbentuk pada batas butir  $\delta/\gamma$  untuk kemudian berdifusi menuju butir ferit ( $\delta$ ) karena fasa-fasa intermetalik tersebut adalah fasa yang kaya akan unsur-unsur pembentuk ferit ( $\delta$ ) seperti Cr dan Mo. Ferit yang kehilangan Cr dan Mo untuk kemudian membentuk austenit yang baru yaitu austenit sekunder ( $\gamma_2$ ).

Fasa ferit tidak ditemukan pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 800°C dan 900°C dengan waktu tahan 2 jam. Hal ini terjadi karena ferit bertransformasi total menjadi austenit sekunder ( $\gamma_2$ ) dan fasa sigma ( $\sigma$ ) melalui reaksi eutektoid.

#### 4.4 HASIL UJI WEIGHT LOSS

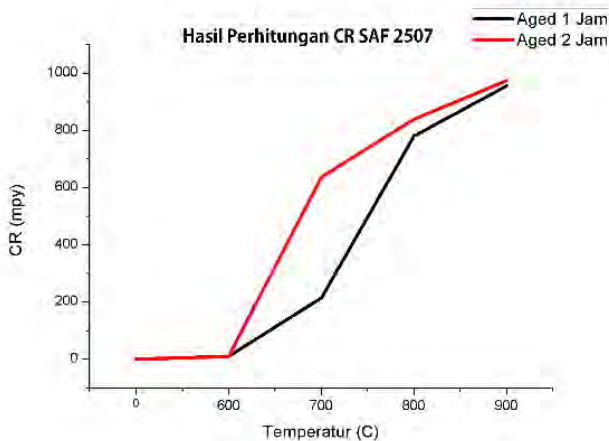
Hasil uji *weight loss* yang ditunjukkan oleh tabel 4.1 dan gambar 4.16 adalah hasil uji *weightloss* dan perhitungan *corrosion rate* yang dilakukan pada spesimen yang telah diberi perlakuan *aging* dengan variasi temperatur 600°C, 700°C, 800°C, dan 900°C yang menggambarkan terjadinya tren kenaikan pada selisih massa



yang hilang pada spesimen yang telah direndam didalam larutan  $FeCl_3$  selama 24 Jam, untuk spesimen yang tidak diberi perlakuan (TP) yang memiliki massa awal sebesar 7.5845gr mengalami pengurangan massa sebesar 0.0002gr menjadi 7.5843gr.

**Tabel 4.1** Hasil Uji Weightloss dan Perhitungan CR SAF 2507

Parameter Aging	W (gr)	K	A (cm <sup>2</sup> )	T (jam)	D (gr/cm <sup>3</sup> )	CR (mpy)
Tanpa Perlakuan	0.0002	$3.45 \times 10^{-6}$	8.194	24	7.8	0
600°C 1 Jam	0.0043					9.67
700°C 1 Jam	0.0954					214.57
800°C 1 Jam	0.3472					780.90
900°C 1 Jam	0.4246					954.98
600°C 2 Jam	0.0044					9.89
700°C 2 Jam	0.2883					637.18
800°C 2 Jam	0.3237					839.38
900°C 2 Jam	04331					974.10



**Gambar 4.16** Corrosion Rate SAF 2507



Pada spesimen yang telah diberi perlakuan *aging* dengan variasi temperatur 600°C; 700°C; 800°C; 900°C dengan waktu tahan selama 1 jam dan 2 jam terus mengalami kenaikan massa yang hilang. Pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 600°C dengan waktu tahan 1 jam dan 2 jam mengalami pengurangan massa sebesar 0.0043gr dan 0.0044gr, dengan *corrosion rate* sebesar 9.67mpy dan 9.89mpy yang didapatkan melalui perhitungan dengan menggunakan rumus yang tertera pada persamaan 3.1. Kemudian yang berikutnya adalah spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 1 jam mengalami pengurangan massa sebesar 0.0954gr dengan laju nilai *corrosion rate* sebesar 214.57mpy, untuk yang waktu tahan 2 jam mengalami pengurangan massa sebesar 0.2883gr dengan nilai *corrosion rate* sebesar 637.18mpy.

Selanjutnya adalah spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 800°C dengan waktu tahan 1 jam mengalami pengurangan massa sebesar 0.3472gr dengan nilai *corrosion rate* sebesar 780.9mpy kemudian untuk yang diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 800°C dengan waktu tahan 2 jam mengalami pengurangan massa sebesar 0.3237gr dengan nilai *corrosion rate* sebesar 839.38mpy. Yang terakhir adalah spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 900°C dengan waktu tahan 1 jam mengalami pengurangan massa sebesar 0.4246gr dengan nilai *corrosion rate* sebesar 954.98mpy dan untuk yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur 900°C dengan waktu tahan 2 jam mengalami pengurangan massa sebesar 0.4331gr dengan nilai *corrosion rate* sebesar 974.10mpy

Jika dilihat dari hasil pengujian *weightloss* dan perhitungan *corrosion rate* yang telah dilakukan maka terlihat terjadinya peningkatan nilai *corrosion rate* yang menandakan menurunnya ketahanan korosi dari baja tahan karat SAF 2507 super duplex. Pada spesimen yang tidak diberi perlakuan nilai CR-nya adalah 0, setelah diberi perlakuan *aging* dengan variasi temperatur dan waktu tahan, CR mengalami peningkatan, hingga pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 900°C dengan



waktu tahan 2 jam dengan nilai CR sebesar 974.10 mpy. (Gambar 4.16)

Hal ini sejalan dengan jumlah fasa sigma yang muncul semakin banyak. Karena terbentuknya fasa sigma melalui reaksi eutektoid yaitu ferit yang bertransformasi menjadi fasa sigma dan fasa austenit sekunder. Selain fasa sigma, fasa  $M_{23}C_6$  yang terbentuk pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur  $700^{\circ}C$  dengan waktu tahan 1 jam yang terbentuk dari ferit yang bertransformasi menjadi fasa  $M_{23}C_6$  dan austenit sekunder. Hal ini juga berlaku pada fasa chi yang terbentuk pada spesimen yang diberi perlakuan *aging* pada temperatur  $700^{\circ}C$  dengan waktu tahan 2 jam. Fasa austenit sekunder adalah fasa ferit yang kekurangan Cr dan Mo yang dimana kedua unsur tersebut adalah unsur yang dapat memberikan sifat ketahanan korosi. Menurut Nilsson (1993) dan Zou (2011) pada kondisi awal nilai PRE antara austenit dan ferit adalah seimbang. Munculnya fasa intermetalik seperti fasa sigma ( $\sigma$ ), fasa chi ( $\chi$ ) dan fasa  $M_{23}C_6$  dapat mengganggu kestabilan nilai PRE. Karena austenit sekunder memiliki nilai PRE yang rendah akibat kadar Cr dan Mo yang menurun menyebabkan ketahanan korosi yang rendah.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## LAMPIRAN

### Lampiran 1:

#### Peak List Uji XRD

<b>- SAF 2507 Tanpa Perlakuan</b>				
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.3581	482.68	0.3011	2.08696	70.13
44.4513	688.29	0.0836	2.03814	100.00
50.3925	119.40	0.4684	1.81090	17.35
64.6230	40.61	0.5353	1.44229	5.90
74.2035	61.79	0.6691	1.27801	8.98
81.9238	148.99	0.4684	1.17600	21.65
89.9577	69.92	0.5353	1.09067	10.16
98.1234	25.17	0.6691	1.02055	3.66

<b>- SAF 2507 Aging 600C 1 Jam</b>				
	Height [cts]		d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.267(8)	216(8)	0.49(2)		86.08
43.380(8)	108(8)	0.49(2)		43.04
44.329(6)	251(9)	0.39(2)		100.00
44.445(6)	125(9)	0.39(2)		50.00

50.18(3)	67(5)	0.82(9)	26.60
50.31(3)	33(5)	0.82(9)	13.30
64.38(4)	43(12)	0.5(2)	17.12
64.56(4)	21(12)	0.5(2)	8.56
73.96(3)	75(6)	0.75(8)	29.97
74.18(3)	38(6)	0.75(8)	14.99
81.63(1)	182(13)	0.42(4)	72.47
81.87(1)	91(13)	0.42(4)	36.23
89.63(3)	69(7)	0.7(1)	27.38
89.92(3)	34(7)	0.7(1)	13.69

**- SAF 2507 Aging 600C 2 Jam**

	Height [cts]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.3532	421.00	0.2362	90.25
44.3237	466.49	0.2755	100.00
50.1482	102.07	0.7872	21.88
60.8192	60.96	0.9446	13.07
64.5521	45.95	0.7872	9.85
74.0571	97.78	0.4723	20.96
77.2191	52.00	0.7872	11.15
81.7195	198.48	0.7085	42.55

85.1836	42.97	0.2362		9.21
89.5972	44.04	0.9446		9.44
95.9484	64.50	0.3936		13.83

**- SAF 2507 Aging 700C 1 Jam**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.8293	687.60	0.0900	2.10975	88.65
44.3500	775.60	0.0900	2.04087	100.00
49.8647	433.60	0.0900	1.82731	55.91
64.5205	679.60	0.0900	1.44314	87.62
73.1937	600.60	0.0900	1.29206	77.44
81.6496	490.60	0.0900	1.17828	63.25
88.7017	555.60	0.0900	1.10192	71.64

**- SAF 2507 Aging 700C 2 Jam**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
37.7658	458.41	0.0900	2.38015	85.30
41.5927	537.41	0.0900	2.16957	100.00
43.326(7 )	177(6)	0.56(2)	2.08669	32.95

43.439(7 )	89(6)	0.56(2)	2.08669	16.48
44.362(4 )	378(17)	0.32(1)	2.04036	70.37
44.478(4 )	189(17)	0.32(1)	2.04036	35.19
48.1100	229.49	0.0900	1.88978	42.70
50.18(3)	50(5)	0.72(7)	1.81670	9.30
50.31(3)	25(5)	0.72(7)	1.81670	4.65
64.48(5)	50(14)	0.4(2)	1.44399	9.24
64.66(5)	25(14)	0.4(2)	1.44399	4.62
74.09(1)	98(8)	0.48(4)	1.27863	18.21
74.31(1)	49(8)	0.48(4)	1.27863	9.11
79.0760	128.49	0.0900	1.21004	23.91
81.76(1)	114(10)	0.41(6)	1.17696	21.29
82.01(1)	57(10)	0.41(6)	1.17696	10.65
89.76(5)	29(3)	1.2(1)	1.09168	5.45
90.04(5)	15(3)	1.2(1)	1.09168	2.72

**- SAF 2507 Aging 800C 1 Jam**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
-----------------	-----------------	----------------------	------------------	------------------

---

42.21(1)	60(11)	0.19(6)	2.13936	18.81
42.32(1)	30(11)	0.19(6)	2.13936	9.40
43.422(8 )	186(11)	0.44(2)	2.08232	58.30
43.535(8 )	93(11)	0.44(2)	2.08232	29.15
44.42(2)	59(11)	0.30(5)	2.03771	18.69
44.54(2)	30(11)	0.30(5)	2.03771	9.34
45.68(2)	59(17)	0.18(7)	1.98442	18.49
45.80(2)	29(17)	0.18(7)	1.98442	9.25
46.84(4)	21(7)	0.3(2)	1.93784	6.57
46.97(4)	10(7)	0.3(2)	1.93784	3.28
50.52(1)	73(5)	0.53(5)	1.80507	22.98
50.66(1)	37(5)	0.53(5)	1.80507	11.49
74.217(5 )	318(17)	0.33(1)	1.27676	100.00
74.432(5 )	159(17)	0.33(1)	1.27676	50.00
82.04(7)	19(8)	0.4(3)	1.17368	6.12
82.29(7)	10(8)	0.4(3)	1.17368	3.06
90.14(2)	68(4)	0.77(5)	1.08804	21.26

---

90.43(2)	34(4)	0.77(5)	1.08804	10.63
----------	-------	---------	---------	-------

**- SAF 2507 Aging 800C 2 Jam**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.331(6) )	105(13)	0.11(2)	2.13341	39.47
42.441(6) )	52(13)	0.11(2)	2.13341	19.73
43.53(1)	147(16)	0.33(4)	2.07718	55.20
43.65(1)	73(16)	0.33(4)	2.07718	27.60
44.51(1)	86(6)	0.33(4)	2.03397	32.17
44.62(1)	43(6)	0.33(4)	2.03397	16.08
45.72(2)	43(11)	0.20(9)	1.98285	16.07
45.84(2)	21(11)	0.20(9)	1.98285	8.03
46.89(2)	49(6)	0.19(3)	1.93613	18.37
47.01(2)	24(6)	0.19(3)	1.93613	9.19
48.03(4)	23(5)	0.3(1)	1.89256	8.60

48.16(4)	11(5)	0.3(1)	1.89256	4.30
50.63(1)	72(6)	0.40(6)	1.80161	27.21
50.76(1)	36(6)	0.40(6)	1.80161	13.61
74.340(4 )	266(6)	0.54(1)	1.27494	100.00
74.556(4 )	133(6)	0.54(1)	1.27494	50.00
90.20(2)	69(4)	0.79(6)	1.08747	26.04
90.49(2)	35(4)	0.79(6)	1.08747	13.02

**- SAF 2507 Aging 900C 1 Jam**

	Height [cts]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
32.6362	56.78	0.2362	15.23
37.8949	58.49	0.2362	15.69
42.4396	133.36	0.1968	35.78
43.6558	372.74	0.2755	100.00
44.6680	200.92	0.3936	53.90
50.7212	98.12	0.3149	26.32
65.0118	26.97	0.9446	7.23
74.5176	317.40	0.1181	85.15
78.9772	59.38	0.1968	15.93



81.9594	44.78	0.9446	12.01
90.3062	80.02	0.6298	21.47
95.3669	61.78	0.3936	16.57

**- SAF 2507 Aging 900C 2 Jam**

	Height [cts]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
36.61(9)	17(9)	0.6(2)	3.37
36.70(9)	8(9)	0.6(2)	1.68
37.70(3)	36(10)	0.2(1)	7.28
37.79(3)	18(10)	0.2(1)	3.64
39.29(5)	31(8)	0.5(2)	6.26
39.39(5)	16(8)	0.5(2)	3.13
43.47(4)	136(9)	2.8(1)	27.24
43.491(4 )	501(24)	0.25(1)	100.00
43.59(4)	68(9)	2.8(1)	13.62
43.604(4 )	250(24)	0.25(1)	50.00
45.63(6)	36(10)	0.6(2)	7.28

---

45.75(6)	18(10)	0.6(2)	3.64
46.77(3)	81(9)	0.66(9)	16.23
46.89(3)	41(9)	0.66(9)	8.11
48.00(3)	77(12)	0.47(6)	15.31
48.13(3)	38(12)	0.47(6)	7.65
50.45(1)	157(13)	0.67(4)	31.43
50.59(1)	79(13)	0.67(4)	15.71
67.10(4)	50(6)	0.7(1)	10.02
67.29(4)	25(6)	0.7(1)	5.01
74.29(2)	126(8)	0.58(5)	25.12
74.51(2)	63(8)	0.58(5)	12.56
79.05(8)	28(6)	0.8(3)	5.52
79.28(8)	14(6)	0.8(3)	2.76
84.4(1)	26(4)	1.3(3)	5.12
84.7(1)	13(4)	1.3(3)	2.56
90.01(2)	134(11)	0.57(7)	26.68
90.30(2)	67(11)	0.57(7)	13.34
95.08(7)	33(7)	0.8(2)	6.59
95.39(7)	16(7)	0.8(2)	3.29

---

## **Lampiran 2:**

### **JCPDF Card**

#### **Austenit**

##### Name and formula

Reference code: 00-052-0513

**Compound name:** Iron  
**Common name:**  $\gamma$ -Fe, austenite

Empirical formula: Fe  
Chemical formula: Fe

##### Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic  
Space group: Fm-3m  
Space group number: 225

a (Å): 3.6599  
b (Å): 3.6599  
c (Å): 3.6599

Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 7.57  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 49.02  
Z: 4.00

RIR: 7.98

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.11300	42.760	100.0
2	2	0	0	1.83000	49.787	42.8
3	2	2	0	1.29400	73.066	17.9
4	3	1	1	1.10350	88.542	16.8
5	2	2	2	1.05650	93.623	4.6
6	4	0	0	0.91500	114.674	2.0
7	3	3	1	0.83960	133.115	6.6
8	4	2	0	0.81840	140.517	6.3

### Name and formula

Reference code: 00-023-0298

**Compound name:** Iron  
**Common name:** Austenite  
 Empirical formula:  $C_{0.05}Fe_{0.95}$   
 Chemical formula: ( Fe , C )

### Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic  
 Space group: Fm-3mE  
 Space group number: 225  
  
 a (Å): 3.6000  
 b (Å): 3.6000  
 c (Å): 3.6000  
 Alpha (°): 90.0000  
 Beta (°): 90.0000  
 Gamma (°): 90.0000  
  
 Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 46.66  
 Z: 4.00

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.08000	43.473	100.0
2	2	0	0	1.80000	50.674	80.0
3	2	2	0	1.27000	74.679	50.0
4	3	1	1	1.08300	90.676	80.0
5	2	2	2	1.03700	95.944	50.0

6 4 0 0 0.90000 117.716  
30.0

## Name and formula

Reference code: 00-052-0512

**Compound name:** Iron Carbon  
**Common name:** austenite

Empirical formula:  $\text{CFe}_{15.1}$

Chemical formula:  $\text{CFe}_{15.1}$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

Space group: Fm-3m

Space group number: 225

a (Å): 3.6180

b (Å): 3.6180

c (Å): 3.6180

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 7.45

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 47.36  
Z: 0.25  
RIR: 7.51

### Peak list

<u>No.</u>	<u>h</u>	<u>k</u>	<u>l</u>	<u>d [Å]</u>	<u>2Theta[deg]</u>	<u>I</u>
1	1	1	1	2.08880	43.280	100.0
2	2	0	0	1.80900	50.405	42.1
3	2	2	0	1.27920	74.051	17.5
4	3	1	1	1.09090	89.839	16.5
5	2	2	2	1.04440	95.047	4.5
6	4	0	0	0.90450	116.779	2.1
7	3	3	1	0.83000	136.273	6.7

### Name and formula

Reference code: 03-065-9094

**Compound name:** Iron  
**Common name:** γ-Fe

Empirical formula: Fe

Chemical formula: Fe

## Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic  
Space group: Fm-3m  
Space group number: 225

a (Å): 3.6544  
b (Å): 3.6544  
c (Å): 3.6544  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 90.0000

Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 48.80  
Z: 4.00

RIR: 7.97

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I
1	1	1	1	2.10990	42.826	100.0
2	2	0	0	1.82720	49.868	42.9
3	2	2	0	1.29200	73.198	17.9
4	3	1	1	1.10180	88.714	16.8
5	2	2	2	1.05490	93.808	4.6
6	4	0	0	0.91360	114.948	2.0



7	3	3	1	0.83840	133.495
6.6					
8	4	2	0	0.81710	141.028
6.4					

- **Ferit**

Name and formula

Reference code: 01-085-1410

**Mineral name:** Iron, syn

**Compound name:** Iron

**Common name:**  $\alpha$ -Fe

Empirical formula: Fe

Chemical formula: Fe

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

Space group: Im-3m

Space group number: 229

a (Å): 2.8860

b (Å): 2.8860

c (Å): 2.8860

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 24.04

Z: 2.00

RIR: 10.81

Reference code: 01-076-6587

**Compound name:** Iron  
**Common name:**  $\alpha$ -Fe

Empirical formula: Fe

Chemical formula: Fe

### Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

Space group: Im-3m

Space group number: 229

a (Å): 2.8420

b (Å): 2.8420

c (Å): 2.8420

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Volume of cell ( $10^6$  pm<sup>3</sup>): 22.95

Z: 2.00

RIR: 10.72

### Peak list

<u>No.</u>	<u>h</u>	<u>k</u>	<u>l</u>	<u>d [Å]</u>	<u>2Theta[deg]</u>	<u>I</u>
------------	----------	----------	----------	--------------	--------------------	----------

<u>[ % ]</u>						
1	1	1	0	2.00960	45.078	
100.0						
2	2	0	0	1.42100	65.651	
11.6						
3	2	1	1	1.16020	83.202	
17.7						
4	2	2	0	1.00480	100.103	
4.6						
5	3	1	0	0.89870	117.991	
6.5						
6	2	2	2	0.82040	139.746	
1.8						

## - **Sigma**

### Name and formula

Reference code: 00-005-0708

**Compound name:** Chromium Iron

**Common name:**  $\sigma$ -Fe Cr

Empirical formula: CrFe

Chemical formula: FeCr

### Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal

Space group: P42/mnm

Space group number: 136

a (Å): 8.7995

b (Å): 8.7995

c (Å): 4.5442

Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 90.0000

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 351.86  
Z: 15.00

RIR: -

### Peak list

<u>No.</u>	<u>h</u>	<u>k</u>	<u>l</u>	<u>d [Å]</u>	<u>2Theta[deg]</u>	<u>I</u>
1	0	0	2	2.26100	39.838	10.0
2	4	1	0	2.12800	42.444	100.0
3	3	3	0	2.06300	43.849	80.0
4	2	0	2	2.01500	44.950	60.0
5	4	2	0	1.96400	46.184	80.0
6	4	1	1	1.92800	47.098	100.0
7	3	3	1	1.87700	48.459	80.0
8	2	2	2	1.83000	49.787	10.0
9	4	3	0	1.75500	52.070	10.0
10	3	2	2	1.66400	55.151	1.0
11	5	0	1	1.63800	56.103	1.0
12	5	1	1	1.61100	57.129	1.0
13	6	2	0	1.39000	67.307	

1.0					
14	5	2	2	1.32700	70.969
1.0					
15	5	3	2	1.25800	75.515
10.0					
16	7	1	0	1.24400	76.517
10.0					
17	4	1	3	1.23600	77.103
40.0					
18	3	3	3	1.22400	78.001
20.0					
19	7	2	0	1.20900	79.157
40.0					
20	7	1	1	1.19900	79.950
10.0					
21	6	2	2	1.18600	81.007
10.0					
22	5	4	2	1.17700	81.758
10.0					
23	7	2	1	1.16900	82.438
40.0					
24	5	1	3	1.13800	85.202
40.0					
25	8	3	1	1.00400	100.212
20.0					
26	6	3	3	0.99100	102.027
5.0					
27	8	4	0	0.98300	103.187
20.0					
28	7	1	3	0.96200	106.399
10.0					
29	9	2	1	0.93400	111.123
5.0					
30	6	2	4	0.88100	121.936
1.0					
31	9	5	1	0.84000	132.990
1.0					
32	10	3	1	0.82900	136.618
80.0					
33	10	0	2	0.82100	139.518

20.0						
34	10	4	0	0.81700	141.068	
10.0						
35	9	6	0	0.81300	142.696	
20.0						
36	9	6	1	0.80100	148.171	
40.0						
37	11	1	0	0.79700	150.255	
40.0						
38	11	2	0	0.78700	156.351	
60.0						
39	4	4	5	0.78500	157.789	
60.0						
40	5	3	5	0.77900	162.858	
80.0						
41				0.77500	167.373	
40.0						

## Name and formula

Reference code: 00-005-0703

**Compound name:** Chromium Iron Molybdenum  
**Common name:**  $\sigma$ -Fe Cr Mo

Empirical formula: CrFeMo  
 Chemical formula: FeCrMo

## Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal

a (Å): 6.4890  
 b (Å): 6.4890  
 c (Å): 9.4830  
 Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 399.30

RIR: -

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I
1				2.74000	32.655	
5.0						
2	2	0	2	2.67000	33.537	
5.0						
3	2	1	2	2.46000	36.496	
50.0						
4	0	0	4	2.37000	37.934	
50.0						
5				2.32000	38.784	
20.0						
6	2	0	3	2.26000	39.856	
20.0						
7	3	0	0	2.15900	41.806	
50.0						
8	2	1	3	2.12900	42.423	
100.0						
9	1	1	4	2.10600	42.909	
50.0						
10	3	1	0	2.05200	44.097	
50.0						
11	3	1	1	2.01200	45.021	
100.0						
12	3	0	2	1.96400	46.184	
50.0						
13	2	0	4	1.91700	47.385	
20.0						
14	2	1	4	1.83600	49.613	

20.0						
15	4	0	3	1.44700	64.328	
50.0						
16	3	2	4	1.43300	65.033	
50.0						
17	4	1	3	1.41100	66.176	
20.0						
18	2	1	6	1.38800	67.417	
50.0						
19	0	0	7	1.35200	69.465	
5.0						
20	4	1	4	1.31200	71.906	
50.0						
21	5	0	0	1.29800	72.805	
20.0						
22				1.28900	73.396	
50.0						
23	3	0	6	1.27500	74.336	
20.0						
24				1.25800	75.515	
50.0						
25	5	0	2	1.25100	76.012	
20.0						
26				1.24000	76.809	
5.0						
27	2	1	7	1.22800	77.699	
5.0						
28				1.21700	78.536	
20.0						

## Name and formula

Reference code: 00-005-0707

**Compound name:** Iron Chromium  
**Common name:**  $\sigma$ -Fe Cr

Empirical formula: CrFe



Chemical formula: FeCr

## Crystallographic parameters

Crystal system: Unknown

RIR: -

### Peak list

<u>No.</u>	<u>h</u>	<u>k</u>	<u>l</u>	<u>d [Å]</u>	<u>2Theta[deg]</u>	<u>I</u>
1				2.36000	38.101	5.0
2				2.32300	38.731	5.0
3				2.26800	39.710	5.0
4				2.12700	42.465	100.0
5				2.06700	43.760	20.0
6				2.02000	44.833	20.0
7				1.96800	46.085	50.0
8				1.92600	47.150	100.0
9				1.88200	48.322	50.0
10				1.83600	49.613	5.0
11				1.76200	51.847	5.0

## - Chi

### Name and formula

Reference code: 01-071-7541

**Compound name:** Chromium Iron Molybdenum

Empirical formula:  $\text{Cr}_6\text{Fe}_{18}\text{Mo}_5$

Chemical formula:  $\text{Cr}_6\text{Fe}_{18}\text{Mo}_5$

### Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

Space group: I-43m

Space group number: 217

a (Å): 8.9200

b (Å): 8.9200

c (Å): 8.9200

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 709.73

Z: 2.00

RIR: 6.24

### Peak list

<u>No.</u>	<u>h</u>	<u>k</u>	<u>l</u>	<u>d [Å]</u>	<u>2Theta[deg]</u>	<u>I</u>
						<u>[%]</u>

1	1	1	0	6.30740	14.030
5.0					
2	2	0	0	4.46000	19.891
1.5					
3	2	1	1	3.64160	24.424
2.4					
4	2	2	0	3.15370	28.275
0.4					
5	3	1	0	2.82080	31.695
0.1					
6	2	2	2	2.57500	34.813
0.7					
7	3	2	1	2.38400	37.703
4.8					
8	4	0	0	2.23000	40.416
3.0					
9	4	1	1	2.10250	42.984
100.0					
10	4	2	0	1.99460	45.436
1.1					
11	3	3	2	1.90180	47.787
18.3					
12	4	2	2	1.82080	50.055
9.4					
13	4	3	1	1.74940	52.249
4.2					
14	5	2	1	1.62860	56.456
0.9					
15	4	4	0	1.57680	58.487
0.1					
16	5	3	0	1.52980	60.468
1.0					
17	6	0	0	1.48670	62.413
2.2					
18	5	3	2	1.44700	64.328
3.1					
19	6	2	0	1.41040	66.208
0.1					
20	5	4	1	1.37640	68.063
0.6					

21	6	2	2	1.34470	69.897
2.2					
22	6	3	1	1.31520	71.704
0.4					
23	4	4	4	1.28750	73.495
3.3					
24	5	5	0	1.26150	75.269
5.1					
25	6	4	0	1.23700	77.030
0.1					
26	7	2	1	1.21390	78.776
14.8					
27	6	4	2	1.19200	80.515
0.8					
28	7	3	0	1.17120	82.250
0.6					
29	6	5	1	1.13280	85.687
2.5					
30	8	0	0	1.11500	87.395
0.1					
31	7	4	1	1.09800	89.103
1.3					
32	8	2	0	1.08170	90.815
1.7					
33	6	5	3	1.06610	92.529
0.6					
34	6	6	0	1.05120	94.240
3.3					
35	8	3	1	1.03690	95.956
1.8					
36	6	6	2	1.02320	97.673
0.4					
37	7	5	2	1.01000	99.401
0.5					
38	8	4	0	0.99730	101.137
0.1					
39	9	1	0	0.98500	102.894
0.9					
40	8	4	2	0.97330	104.639
0.3					

41	7	6	1	0.96190	106.415
0.3					
42	6	6	4	0.95090	108.206
0.7					
43	7	5	4	0.94030	110.011
2.5					
44	7	6	3	0.92000	113.709
0.5					
45	8	4	4	0.91040	115.582
0.2					
46	8	5	3	0.90110	117.485
2.1					
47	8	6	0	0.89200	119.438
0.1					
48	10	1	1	0.88320	121.423
0.5					
49	8	6	2	0.87470	123.440
0.8					
50	9	4	3	0.86640	125.516
0.5					
51	10	2	2	0.85830	127.655
0.3					
52	9	5	2	0.85050	129.836
1.9					
53	8	7	1	0.83540	134.462
1.7					
54	10	4	0	0.82820	136.898
0.6					
55	9	6	1	0.82120	139.442
2.0					
56	10	4	2	0.81430	142.158
1.7					
57	11	1	0	0.80760	145.037
1.7					

## Name and formula

Reference code:	00-058-0762
<b>Mineral name:</b>	<b>Isovite</b>
<b>Compound name:</b>	<b>Chromium Iron Carbide</b>
Empirical formula:	$C_{6.7}Cr_{16.2}Fe_6Ni_{0.1}$
Chemical formula:	$(Cr, Fe)_{23}C_6$

## Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	10.6500
b (Å):	10.6500
c (Å):	10.6500
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	6.95
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	7.40
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	1207.95
Z:	4.00
RIR:	-

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I
1	4	2	0	2.38000	37.768	
30.0						
2	4	2	2	2.17000	41.584	
50.0						
3	5	1	1	2.05000	44.142	
100.0						

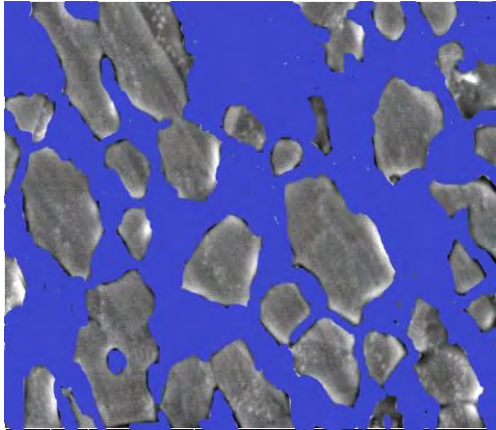
### Lampiran 3:

#### - Tabel Persentase Fasa

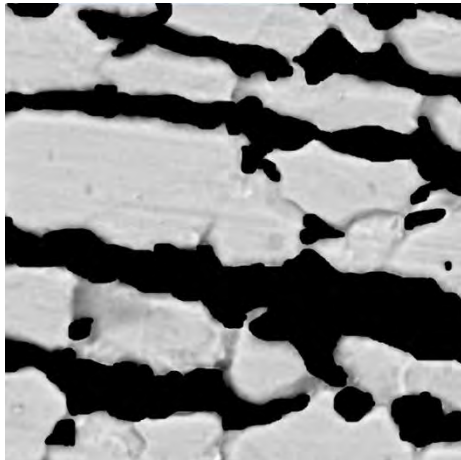
Spesimen	Austenit	Ferit	Sigma
<b>800C 1 Jam</b>	44,239	<b>28,058</b>	<b>27,20</b>
<b>900C 1 Jam</b>	<b>42,413</b>	<b>24,232</b>	<b>33,35</b>
<b>800C 2 Jam</b>	<b>62,987</b>	<b>0</b>	<b>37,01</b>
<b>900C 2 Jam</b>	<b>52,559</b>	<b>0</b>	<b>47,44</b>

- **Gambar Analisa Software ImageJ**

**SAF 2507 Aging 800 1 Jam**

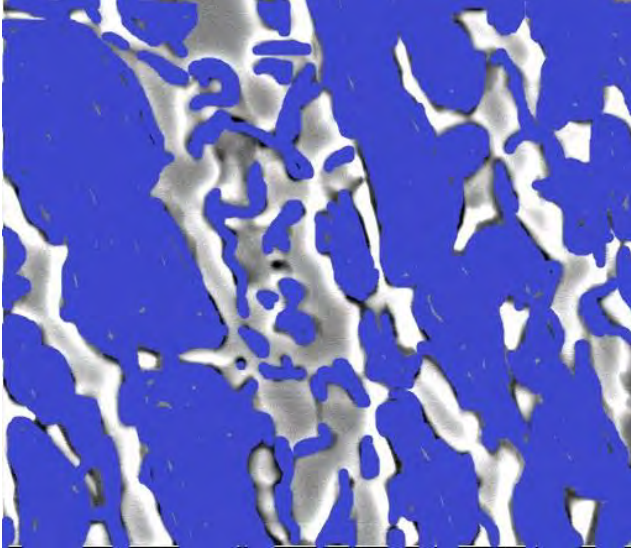


**SAF 2507 Aging 800 2 Jam**

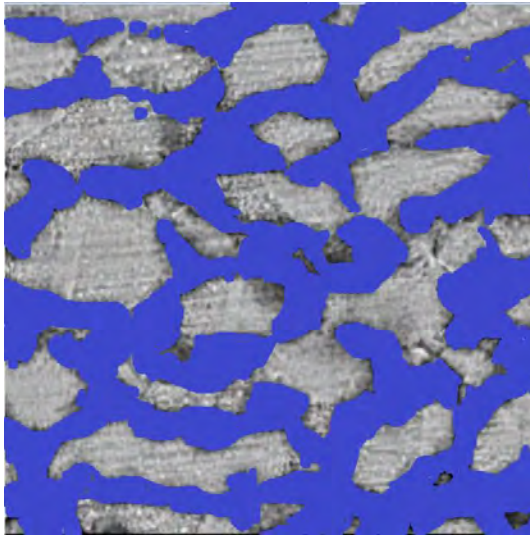




**SAF 2507 Aging 900 1 Jam**



**SAF 2507 Aging 900 2 Jam**



## Lampiran 4 :

### Perhitungan Corrosion Rate

Kode	K	W1- W0	A (cm <sup>2</sup> )	T (jam)	D (gr/cm <sup>3</sup> )	CR (mpy)
TP	3.45E +06	0.000 2	8,194	24	7.8	0
A1	3.45E +06	0.004 3	8.194	24	7.8	9.6713198 53
B1	3.45E +06	0.095 4	8.194	24	7.8	214.56835 21
C1	3.45E +06	0.347 2	8.194	24	7.8	780.90284 95
D1	3.45E +06	0.424 6	8.194	24	7.8	954.98660 68
A2	3.45E +06	0.004 4	8.194	24	7.8	9.8962342 68
B2	3.45E +06	0.283 3	8.194	24	7.8	637.18253 82
C2	3.45E +06	0.373 2	8.194	24	7.8	839.38059 74
D2	3.45E +06	0.433 1	8.194	24	7.8	974.10433 21

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Struktur mikro SAF 2507 mengalami perubahan setelah diberi perlakuan *aging*, yakni munculnya fasa sigma ( $\sigma$ ). Kenaikan temperatur dan waktu tahan berbanding lurus dengan persentase area fasa sigma ( $\sigma$ ), yakni pada temperatur 800°C dengan waktu tahan 1 jam dengan persentase sebesar 27.70% dan waktu tahan 2 jam dengan persentase sebesar 37.01%, temperatur 900°C dengan waktu tahan 1 jam dengan persentase sebesar 33.35% dan waktu tahan 2 jam dengan persentase sebesar 47.44%.
2. Kenaikan temperatur dan waktu tahan berbanding lurus dengan *weightloss* dan *corrosion rate*, mulai dari spesimen yang di-*aging* dengan temperatur 600°C dengan waktu tahan 1 jam terjadi pengurangan massa sebesar 0.0043gr dan nilai *corrosion rate*-nya sebesar 9.67mpy hingga spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan temperatur 900°C dengan waktu tahan 2 jam terjadi pengurangan massa sebesar 0.4331gr dan nilai *corrosion rate*-nya sebesar 974.10mpy.

#### **5.2 SARAN**

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Melakukan pengujian dengan menggunakan alat yang dapat mengidentifikasi suatu fasa dengan sangat detail.
2. Lebih memperhatikan preparasi sebelum melakukan pengujian *weightloss*.



**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

---

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_.2001.**ASTM A790/790M : Standard Specification for Seamless and Welded Ferritic/Austenitic Stainless Steel Pipe**. American Society for Testing and Materials.
- \_\_\_\_.1999.**ASTM E407 : Standard for Microetching Metals Alloys**. American Society for Testing and Materials.
- \_\_\_\_.1999.**ASTM G31 : Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals**. American Society for Testing and Materials.
- \_\_\_\_.2000.**ASTM G48 : Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution**. American Society for Testing and Materials.
- \_\_\_\_.2015.**Sandvik SAF 2507 Tube and Pipe, Seamless Data Sheet**. Sandvik.
- Armas, Iris A., dan Suzanne Degallaix Moreuil, editor. 2009. **Duplex Stainless Steels**. London: ISTE.
- Avner, S.H. 1974. **An Introduction to Physical Metallurgy**. New York: John Wiley & Sons.
- Callister, William D., David G. Rethwisch. 2010. **Materials Science and Engineering an Introduction**. New York: John Wiley & Sons.
- Davanageri, Mahesh B., Narendranath S. Ravikiran Kadoli. 2015. **Influence of Heat Treatment on Microstructure, Hardness and Wear Behavior of Super Duplex Stainless Steel AISI 2507**. American Journal of Materials Science, 5: 48-52.
- Fargas, G., A. Maestra, and A. Mateo. 2013. **Effect of Sigma Phase on The Wear Behavior of a Super Duplex Stainless Steel**. Wear 303:584-590.
- Gunn, Robert N, editor, 1997. **Duplex Stainless Steels Microstructure, Properties and Applications**. Cambridge: Abington Publishing.

- H. Luo, X.G. Li, C.F. Dong, K. Xiao. 2012. **Effect of Solution Treatment on Pitting Behavior of 2205 Duplex Stainless Steel**. Arabian Journal of Chemistry.
- Hilders, Oswaldo, Naddord Zambrano. 2014. **The Effect of Aging on Impact Toughness and Fracture Surface Fractal Dimension in SAF 2507 Super Duplex Stainless Steel**. Journal of Microscopy and Ultrastructure, 2: 236-254.
- Jones, Denny A. 1996. **Principle and Prevention of Corrosion 2nd Edition**. New Jersey: Prentice Hall.
- Kashiwar, A., dkk. 2012. **Effect of Solution Annealing Temperature on Precipitation in 2205 Duplex Stainless Steel**. Materials Characterization 74:55-63.
- Kutz, Myer, editor, 2002. **Handbook of Materials Selection**. New York: John Wiley & Sons.
- Martins, Marcelo, dan Luiz Carlos C. 2009. **Sigma Phase Morphologies in Cast and Aged Super Duplex Stainless Steel**. Materials Characterization 60:792-795.
- Nilsson, J.O., dan A. Wilson. 1993. **Influence of Isothermal Phase Transformations on Toughness and Pitting Corrosion of Super Duplex Stainless Steel SAF 2507**. Material Science and Technology Vol. 9.
- Outokompu Oyj. 2013. **Handbook of Stainless Steel**. Avesta: Sandvikens Trykeri AB.
- Willis, C.F., R. Gronsky dan T.M. Devine. 1991. **Carbide Precipitation in Welds of Two Phase Austenitic-Ferritic Stainless Steel**. Metallurgical Transaction Vol.22A.
- Zou Dening, Han Ying, Zhang Wei dan Yu Junhui. 2010. **Sigma Phase Precipitation and Properties of Superduplex Stainless Steel UNS S32750 Aged at the Nose Temperature**. Journal of Wuhan University of Technology, 26: 2.

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Kukuh Ardiansani Kurniawan. Anak kedua dari dua bersaudara, lahir di Surabaya 28 Maret 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Al Muslim Waru (2000-2006), SMP Al Hikmah Surabaya (2006-2009), SMA Al Hikmah Surabaya (2009-2012) dan melanjutkan studi di Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS melalui jalur SNMPTN Undangan dengan NRP 2712 100 013.

Selama kuliah penulis aktif sebagai staf BSO Kewirausahaan HMMT FTI-ITS 2013/2014 dan sebagai Wakil Direktur BSO Kewirausahaan HMMT FTI-ITS periode 2014/2015. Selain itu, penulis juga aktif sebagai anggota *Steering Committee* (SC) pada periode 2013/2014 dan 2015/2016. Penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan tingkat fakultas dan jurusan.

Dengan perjuangan, usaha dan do'a serta dukungan dari berbagai pihak, penulis akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Proses *Aging* Terhadap Struktur Mikro dan Ketahanan Korosi Pada Baja Tahan Karat SAF 2507 Super Duplex" yang mengantarkan penulis menjadi alumni ITS dengan meraih gelar Sarjana Teknik.

**Kukuh Ardiansani Kurniawan**

[kukuh.ardiansani28@gmail.com](mailto:kukuh.ardiansani28@gmail.com)

+62-822-3300-7443