



**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR *SOLUTION TREATMENT* DAN WAKTU TAHAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN KOROSI BAJA TAHAN KARAT DUPLEX S329**

**GAFRIANSYAH RABBANI**  
NRP 2712 100 145

Dosen Pembimbing  
Sutarsis, ST., M.Sc  
Budi Agung Kurniawan, ST.,M.Sc

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



**FINAL PROJECT - TL 141584**

**ANALYSIS OF EFFECT TEMPERATUR *SOLUTION*  
TREATMENT AND HOLDING TIME ON MECHANICAL  
PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE ON  
DUPLEX STAINLESS STEEL S329**

**GAFRIANSYAH RABBANI  
NRP. 2712 100 145**

Advisor  
Sutarsis, ST., M.Sc  
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc

**DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGICAL  
ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016**

**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR SOLUTION  
TREATMENT DAN WAKTU TAHAN TERHADAP SIFAT  
MEKANIK DAN KETAHANAN KOROSI BAJA TAHAN  
KARAT DUPLEX S329**

**TUGAS AKHIR**

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

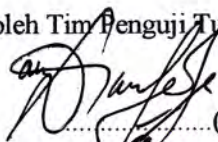
Oleh :

**GAFRIANSYAH RABBANI**

NRP 2712 100 145

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Sutarsis, S.T., M.Sc



.....(Pembimbing 1)

Budi Agung K., S.T., M.Sc



.....(Pembimbing 2)



**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR *SOLUTION TREATMENT* DAN WAKTU TAHAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN KOROSI BAJA TAHAN KARAT DUPLEX S329**

**Nama Mahasiswa** : Gafriansyah Rabbani  
**NRP** : 2712100145  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Sutarsis, ST., M.Sc.  
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

**ABSTRAK**

Baja tahan karat duplex memiliki sifat kekuatan dan ketahanan korosi yang tinggi. Sehingga sering digunakan pada lingkungan kerja yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lingkungan yang korosif. Pada temperatur 600°-1000°C, terjadi penggetasan presipitasi akibat terbentuknya fasa sigma yang menurunkan sifat keuletan, ketangguhan dan ketahanan korosi. Penghilangan fasa sigma ini, dapat dilakukan dengan cara proses *solution treatment*. Selanjutnya dilakukan proses *solution treatment* dengan variasi temperatur *solution treatment* dan waktu tahan. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa Duplex S329 material awal memang memiliki ketahanan korosi *crevice* yang buruk pada temperatur tinggi (50°C). Peningkatan temperatur *solution treatment* dan waktu tahan dapat menurunkan kekerasan dan meningkatkan kekuatan impak. Hal ini disebabkan jumlah fasa sigma mengalami penurunan. Duplex S329 dengan *solution treatment* 1050°C dan waktu tahan 90 menit memiliki ketahanan korosi *pitting* dan *crevice* yang buruk pada temperatur tinggi (50°C). Kekerasan dan kekuatan impak Duplex S329 dengan *solution treatment* 1050°C untuk seluruh waktu tahan mampu mengembalikan kekerasan dan kekuatan impak sesuai dengan sifat mekanik awal baja Duplex S329.

**Kata kunci** : S329, fasa sigma, temperatur dan waktu tahan *solution treatment*, kekerasan, kekuatan impak, ketahanan korosi

**ANALYSIS OF EFFECT TEMPERATUR *SOLUTION*  
TREATMENT AND HOLDING TIME ON MECHANICAL  
PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE IN  
RECOVERY SIGMA PHASE ON DUPLEX STAINLESS  
STEEL S329**

**Student Name** : Gafriasnyah Rabbani  
**Student ID** : 2711 100 145  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Sutarsis, ST., M.Sc  
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc

**ABSTRACT**

Duplex Stainless Steel has high strength and very good corrosion resistant properties. Because of that properties, duplex often used in work environment that need high strength and good corrosion resistance. At temperatur 600°-1000°C, duplex stainless steel can has embrittlement precipitation because sigma phase that can reduce the ductility, toughness, and the corrosion resistance. This phase can be removed with *solution treatment* process. The process solution treatment was performed with variations in solution treatment temperature and holding time. From the result of this study, it was found that the raw material Duplex S329 has low corrosion resistance on the high temperature (50°C). The increase of solution treatment temperature and holding time can reduce the hardness and increase impact strength because the decrease of sigma phase. Duplex S329 with solution treatment at 1050°C and holding time 90 minutes has low pitting and crevice corrosion resistance on the high temperature (50°C). Duplex S329 with solution treatment at 1050°C for any holding time can return hardness and impact strength as well as the raw material.

**Keyword : S329, sigma phase, temperatur and holding time of solution treatment, hardness, impact strength, corrosion resistant.**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
.....	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
.....	<b>xx</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxi</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.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Baja Tahan Karat.....	5
2.1.1 Baja Tahan Karat <i>Duplex</i> .....	9
2.2 Perlakuan Panas ( <i>Heat treatment</i> ).....	14
2.2.1 <i>Solution annealing</i> .....	14
2.2.2 <i>Direct Quenching</i> .....	16
2.3 Fasa Intermetalik.....	16
2.3.1 Fasa Sigma .....	22
2.4 Korosi Sumuran ( <i>pitting corrosion</i> ).....	25
2.5 Studi fasa baja Tahan Karat Super Duplex S329 .....	27
2.6 Penelitian sebelumnya.....	31
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	<b>37</b>
3.1 Diagram Alir.....	37
3.2 Bahan Penelitian.....	38
3.3 Alat-alat Penelitian.....	39
3.4 Prosedur Penelitian.....	40
3.4.1 Preparasi spesimen .....	40
3.4.2 Preparasi Larutan.....	40
3.4.3 Preparasi Pengujian .....	40

<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 Spesimen Duplex S329 Tanpa Perlakuan.....	49
4.1.1 Hasil uji OES.....	49
4.1.2 Hasil Uji XRD.....	49
4.1.3 Hasil Uji SEM .....	50
4.1.4 Hasil Uji Metalografi .....	51
4.1.5 Hasil Uji Kekerasan .....	52
4.1.6 Hasil Uji Impak .....	52
4.1.7 Hasil Uji Korosi <i>Pitting</i> .....	53
4.1.8 Hasil Uji Korosi <i>Crevice</i> .....	54
4.2 Sampel Duplex S329 perlakuan <i>Heat treatment</i> dengan temperatur 850° C dan waktu tahan 120 menit.....	56
4.2.1 Hasil Uji XRD.....	56
4.2.2 Hasil Uji SEM.....	57
4.2.3 Hasil Uji Metalografi .....	58
4.2.4 Hasil Uji Kekerasan .....	59
4.2.5 Hasil Uji Impak .....	59
4.2.6 Hasil Uji Korosi <i>Pitting</i> .....	60
4.2.7 Hasil Uji Korosi <i>Crevice</i> .....	61
4.3 Spesimen Duplex S329 perlakuan <i>Solution treatment</i> ....	62
4.3.1 Hasil Uji XRD.....	63
4.3.2 Hasil Uji SEM.....	68
4.3.3 Hasil Uji Metalografi .....	71
4.3.4 Hasil Uji Kekerasan .....	74
4.3.5 Hasil Uji Impak .....	76
4.3.6 Hasil Uji Korosi <i>Pitting</i> .....	78
4.3.7 Hasil Uji Korosi <i>Crevice</i> .....	79
4.4 Pembahasan.....	81
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>87</b>
5.1 Kesimpulan.....	87
5.2 Saran.....	87
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penggunaan baja tahan karat pada dunia industri berdasarkan bentuk produknya. ....	6
Gambar 2.2 Penggunaan baja tahan karat pada dunia industri berdasarkan kategori penggunaannya. ....	6
Gambar 2.3 Diagram fasa baja 18 %Cr, 8 %Ni. ....	8
Gambar 2.4 Diagram fasa baja kromium 18 %Cr. ....	8
Gambar 2.5 Diagram Scheaffler DeLong menunjukkan perbedaan struktur mikro pada baja lasan baja tahan karat. ....	12
Gambar 2.6 Proses quench annealing setelah diberi perlakuan <i>solution treatment</i> .....	16
Gambar 2.7 Diagram skematik dan semi-kuantitatif TTT menunjukkan presipitasi fasa yang dapat terjadi pada baja tahan karat duplex 2205 setelah di- <i>annealing</i> temperatur 1050°C.....	17
Gambar 2.8 Diagram skematis proses pembentukan presipitasi karbida.....	18
Gambar 2.9 Skematis diagram menunjukkan pembentukan fasa sigma pada baja tahan karat duplex melalui reaksi eutektoid dekomposisi fasa ferrit .....	22
Gambar 2.10 Kurva awal pembentukan fasa sigma melalui perlakuan tempering atau isothermal quenching.....	24
Gambar 2.11 Skema proses yang terjadi pada pertumbuhan pit yang aktif .....	26
Gambar 2.12 Mekanisme terjadinya <i>pitting</i> corrosion pada stainless steel.....	26
Gambar 2.13 Bentuk korosi sumuran.....	27
Gambar 2.14 Diagram fasa <i>ternary</i> Fe-Cr-Ni dari berbagai temperatur (a) 800° C (b) 847° C (c) 900° C (d) 927° C (e) 1000° C (f) 1027° C .....	30
Gambar 2.15 Diagram pseudobinary pada system ternery Fe-Cr-Ni pada saat 60% Fe.....	31



Gambar 2.18 preipitasi fasa sigma di temperatur a) 950° C 2 jam di $\gamma/\alpha$ ; b) 750° C 2 jam di butir $\alpha$ menggunakan SEM/EDS .....	32
Gambar 2.19 Persen volume fasa ( $\sigma + \chi$ ) di kondisi <i>aging</i> yang berbeda melalui kuantitatif metalografi .....	32
Gambar 2.21 Hasil SEM baja yang diberikan perlakuan <i>solution treatment</i> di (a) 1050° C dan 1100° C. Hasil pembesaran (c) dan (d) dari butir ferrit. F= Ferrit, A= Austenit primer, AlN= Aluminium nitride dan $M_{23}C_6$ .....	33
Gambar 2.22 Hasil SEM baja yang diberikan perlakuan <i>solution treatment</i> 1050° C lalu di-aging 700° C selama 1 jam diikuti pendinginan cepat dengan air dari butir ferrit. F= Ferrit, A= Austenit primer .....	34
Gambar 2.23 Hasil SEM baja yang diberikan perlakuan <i>solution treatment</i> 1050° C lalu di-aging 700° C selama 4 jam diikuti pendinginan cepat dengan air dari butir ferrit. F= Ferrit, A= Austenit primer $\chi$ = chi phase .....	34
Gambar 2.27 Persentase fasa sigma untuk temperatur yang berbeda .....	35
Gambar 2.28 Perubahan kekerasan sampel yang diberikan perlakuan panas dan IA (Industrial Annealing) .....	35
Gambar 2.29 UTS dan keuletan pada baja perlakuan panas 875o C (kadar sigma tinggi), 975 (kadar sigma rendah) dan AI .....	36
Gambar 2.30 Hasil uji impak charpy pada baja perlakuan panas 875° C (kadar sigma tinggi), 975° (kadar sigma rendah) dan AI.....	36
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	37
Gambar 3.2 Spesimen uji impak .....	38
Gambar 3.3 Spesimen uji korosi <i>pitting</i> dan <i>crevice</i> .....	38
Gambar 3.4 Pola indentasi pengujian kekerasan .....	42
Gambar 3.5 Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A.	43
Gambar 3.6 Dimensi spesimen uji impak berdasarkan ASTM E23 .....	43

Gambar 3.7 Pemasangan benang nylon pada spesimen uji korosi <i>pitting</i> .....	45
Gambar 3.8 Pemasangan TFE-flouorocarbon pada spesimen uji. .	47
Gambar 4.1 Hasil uji XRD pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan.....	50
Gambar 4.2 Hasil uji SEM BSE pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan (pembesaran 3000x) .....	51
Gambar 4.3 Hasil uji metalografi pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan (pembesaran 500x).....	52
Gambar 4.4 Hasil foto makro uji korosi <i>pitting</i> spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan pada temperatur 22° C (a) sebelum dan (b) sesudah (perbesaran 50x).....	54
Gambar 4.5 Hasil foto makro uji korosi <i>pitting</i> spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan pada temperatur 50° C (a) sebelum dan (b) sesudah (perbesaran 50x).....	54
Gambar 4.6 Hasil foto makro uji korosi <i>pitting</i> spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan pada temperatur 22° C (a) sebelum dan (b) sesudah.....	55
Gambar 4.7 Hasil foto makro uji korosi <i>crevice</i> spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan pada temperatur 50° C (a) sebelum dan (b) sesudah.....	56
Gambar 4.8 Hasil uji XRD pada spesimen Duplex S329 perlakuan <i>heat treatment</i> 850° dan waktu tahan 120 menit.....	57
Gambar 4.9 Hasil uji SEM BSE pada spesimen Duplex S329 perlakuan <i>heat treatment</i> dengan temperatur 850° C dan waktu tahan 120 menit (pembesaran 3000x) .....	58
Gambar 4.10 Hasil uji metalografi pada spesimen Duplex S329 di- <i>heat treatment</i> dengan temperatur 850° C dan waktu tahan 120 menit (pembesaran 500x) .....	58
Gambar 4.11 Hasil foto makro uji korosi <i>pitting</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>heat treatment</i> pada temperatur 22°C.	60
Gambar 4.12 Hasil foto makro uji korosi <i>pitting</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>heat treatment</i> pada temperatur 50° C	61
Gambar 4.13 Hasil foto makro uji korosi <i>crevice</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>heat treatment</i> pada temperatur 22° C	62

Gambar 4.14 Hasil foto makro uji korosi <i>crevice</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>heat treatment</i> pada temperatur 50° C	62
Gambar 4.15 Hasil uji XRD spesimen Duplex S329 dengan perlakuan <i>solution treatment</i> 950° selama 30, 60, dan 90 menit. ....	64
Gambar 4.16 Hasil uji XRD spesimen Duplex dengan perlakuan 1000° C dengan waktu tahan 30 menit.....	66
Gambar 4.17 Hasil uji XRD pada spesimen Duplex S329 perlakuan <i>solution treatment</i> 1050° dan waktu tahan 30 menit .....	67
Gambar 4.18 Hasil uji SEM BSE pada spesimen <i>heat treatment</i> dengan temperatur 950° C dan waktu tahan (a) 30, (b) 60 ,(c) 90 menit (pembesaran 3000x) .....	68
Gambar 4.19 Hasil uji SEM BSE pada spesimen <i>heat treatment</i> dengan temperatur 1000° C dan waktu tahan (a) 30, (b) 60 ,(c) 90 menit (pembesaran 3000x) .....	69
Gambar 4.20 Hasil uji SEM BSE pada spesimen <i>heat treatment</i> dengan temperatur 1050° C dan waktu tahan (a) 30, (b) 60 ,(c) 90 menit (pembesaran 3000x) .....	70
Gambar 4.21 Persentase area fasa sigma.....	71
Gambar 4.22 Hasil uji metalografi pada spesimen Duplex S329 <i>solution treatment</i> dengan temperatur 950° C dan waktu tahan (a) 30 menit, (b) 60 menit, dan (c) 90 menit. (pembesaran 500x).....	72
Gambar 4.23 Hasil uji metalografi pada spesimen Duplex S329 <i>solution treatment</i> dengan temperatur 1000° C dan waktu tahan (a) 30 menit, (b) 60 menit, dan (c) 90 menit. (pembesaran 500x).....	73
Gambar 4.24 Hasil uji metalografi pada spesimen Duplex S329 <i>solution treatment</i> dengan temperatur 1050° C dan waktu tahan (a) 30 menit, (b) 60 menit, dan (c) 90 menit. (pembesaran 500x).....	74
Gambar 4.25 Grafik hasil uji kekerasan pada spesimen perlakuan <i>solution treatment</i> .....	76

Gambar 4.26 Grafik hasil uji impak pada spesimen perlakuan <i>solution treatment</i> .	77
Gambar 4.27 Hasil foto makro uji korosi <i>pitting</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>solution treatment</i> temperatur 1050° C 90 menit pada temperatur 22° C (a) sebelum dan (b) sesudah (perbesaran 50x).	79
Gambar 4.28 Hasil foto makro uji korosi <i>pitting</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>solution treatment</i> temperatur 1050° C 90 menit pada temperatur 50° C (a) sebelum dan (b) sesudah (perbesaran 50x).	79
Gambar 4.29 Hasil foto makro uji korosi <i>crevice</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>solution treatment</i> temperatur 1050° C 90 menit pada temperatur 22° C (a) sebelum dan (b) sesudah	81
Gambar 4.30 Hasil foto makro uji korosi <i>crevice</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>solution treatment</i> temperatur 1050° C 90 menit pada temperatur 50° C (a) sebelum dan (b) sesudah	81

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kodifikasi baja tahan karat .....	7
Tabel 2.2 Sifat mekanik baja tahan karat duplex.....	11
Tabel 2.3 Tabel Komposisi Kimia Jenis Baja Tahan Karat Duplex. .....	11
Tabel 2.4 Temperatur minimum proses <i>solution treatment</i> .....	15
Tabel 2.5 Tipe austenit yang terbentuk pada baja tahan karat duplex .....	20
Tabel 3.1 Rancangan pengujian spesimen kontrol .....	47
Tabel 3.2 Rancangan pengujian sampel .....	48
Tabel 4.1 Hasil uji EOS.....	49
Tabel 4.2 Komposisi kimia Duplex S329 berdasarkan ASTM A240 .....	49
Tabel 4.3 Hasil pengujian kekerasan spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan.....	52
Tabel 4.4 Hasil pengujian kekuaan impak spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan .....	53
Tabel 4.5 Massa hilang pada uji korosi <i>pitting</i> spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan .....	53
Tabel 4.6 Massa hilang pada uji korosi <i>crevice</i> spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan .....	55
Tabel 4.7 Hasil pengujian kekerasan spesimen Duplex S329 perlakuan <i>heat treatment</i> 850° C .....	59
Tabel 4.8 Hasil pengujian kekuatan impak spesimen Duplex S329 perlakuan <i>heat treatment</i> 850° C .....	59
Tabel 4.9 Massa hilang pada uji korosi <i>pitting</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>heat treatment</i> .....	60
Tabel 4.10 Massa hilang pada uji korosi <i>crevice</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>heat treatment</i> .....	61
Tabel 4.11 Hasil uji kekerasan dengan metode vicker .....	75
Tabel 4.12 Hasil uji impak dengan metode charpy .....	77
Tabel 4.13 Massa hilang pada uji korosi <i>pitting</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>solution treatment</i> temperatur 1050° C 90 menit .....	78

Tabel 4.14 Massa hilang pada uji korosi <i>crevice</i> spesimen Duplex S329 perlakuan <i>solution treatment</i> temperatur 1050° C 90 menit .....	80
---	----

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Baja Tahan Karat Duplex merupakan salah satu jenis baja tahan karat dengan kadar paduan tinggi. Pada temperatur kamar, baja ini memiliki dua fasa dengan kadar yang seimbang yaitu sekitar 50% ferrit dan 50% austenit. Duplex menggabungkan keunggulan yang dimiliki baja tahan karat ferritik dan austenitik. Dengan adanya dua fasa ini, Duplex memiliki sifat kekuatan yang tinggi dan juga ketahanan korosi yang sangat baik. Berdasarkan kadar kromiumnya, Duplex dibagi menjadi beberapa kelompok yaitu Baja Tahan Karat Lean Duplex, Baja Tahan Karat Duplex, dan Baja Tahan Karat Super Duplex (Outokumpu,2013)

Salah satu kelemahan Duplex adalah pada temperatur yang relatif rendah akan terbentuk penggetasan presipitasi, sehingga direkomendasikan digunakan di proses kerja dengan temperatur 40°C - 280°C. Penggetasan presipitasi ini dapat menurunkan sifat keuletan, ketahanan korosi, dan ketangguhan. (John C. Lippold dkk, 2005)

Penggetasan presipitasi ini disebabkan adanya fasa-fasa intermetalik. Fasa ini memiliki karakteristik dan morfologi yang berbeda-beda. Salah satu fasa intermetalik yang sangat berpengaruh adalah fasa sigma. Fasa yang kaya akan unsur Cr dan Mo ini, terbentuk pada temperatur antara 650°C - 1000°C. Untuk menghilangkan fasa ini, dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu penambahan unsur-unsur untuk memperlambat pertumbuhan fasa sigma dan perlakuan panas berupa *solution treatment*. *Solution treatment* akan meningkatkan pembentukan fasa ferrit dan melarutkan unsur-unsur pembentuk fasa sigma, kemudian dilanjutkan pendinginan cepat melalui tahap *quenching* dengan media air agar fasa sigma tidak kembali terbentuk. (Robert N. Gun. 2003)

Penelitian ini akan menggunakan proses *solution treatment* untuk menghilangkan fasa sigma pada Baja Tahan Karat Duplex



## BAB I PENDAHULUAN

---

S329. Pengaruh dari variasi temperatur dan waktu tahan pada proses *solution treatment* terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi pada Baja Tahan Karat Duplex S329 akan dianalisis lebih lanjut dengan beberapa pengujian.

### 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh temperatur dan waktu tahan proses *solution treatment* terhadap jumlah fasa sigma pada Baja Tahan karat Duplex S329?
2. Bagaimana pengaruh temperatur dan waktu tahan proses *solution treatment* terhadap sifat kekerasan dan ketangguhan pada Baja Tahan Karat Duplex S329?
3. Bagaimana pengaruh temperatur dan waktu tahan proses *solution treatment* terhadap sifat ketahanan korosi pada Baja Tahan Karat Duplex S329?

### 1.3 Batasan Masalah

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

1. Pengaruh lingkungan sekitar proses *solution treatment* diabaikan
2. Temperatur ketika memasukkan dan mengeluarkan spesimen dari furnace dianggap konstan
3. Persebaran kadar fasa sigma pada spesimen dengan perlakuan *heat treatment* dianggap sama





### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah

1. Menganalisis pengaruh temperatur dan waktu tahan proses *solution treatment* terhadap jumlah fasa sigma?
2. Menganalisis pengaruh temperatur dan waktu tahan proses *solution treatment* terhadap sifat kekerasan dan ketangguhan?
3. Menganalisis pengaruh temperatur dan waktu tahan proses *solution treatment* terhadap sifat ketahanan korosi?

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi tentang pengaruh temperatur dan waktu tahan *solution treatment* pada Baja Tahan Karat Duplex S329.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Baja Tahan Karat**

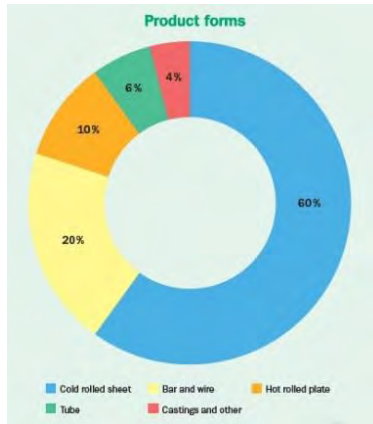
Baja tahan karat memiliki karakteristik berupa kadar kromium lebih dari 12%, Namun, terdapat beberapa literatur yang menyebutkan kadungan kromium antara 10 dan 12%. Baja ini memiliki keistimewaan yaitu sifat ketahanan terhadap korosi yang tinggi.

Mekanisme ketahanan korosi dari baja tahan karat ini yaitu ketika terekspos di udara, kromium bereaksi dengan udara membentuk suatu lapisan, lapisan inilah yang melindungi baja terhadap korosi. Lapisan ini dikenal sebagai lapisan pasif. Lapisan pasif memiliki ketahanan tinggi terhadap serangan reaksi kimia dan memiliki kemampuan untuk kembali ketika lapisan ini dirusak. Efek lapisan ini akan mulai tampak dengan kadar kromium 11%. Peningkatan kadar kromium dan penambahan unsur lainnya, terutama nikel dan molibdenum dapat meningkatkan kestabilan dari lapisan. (Jacques Rondal dkk, 2005)

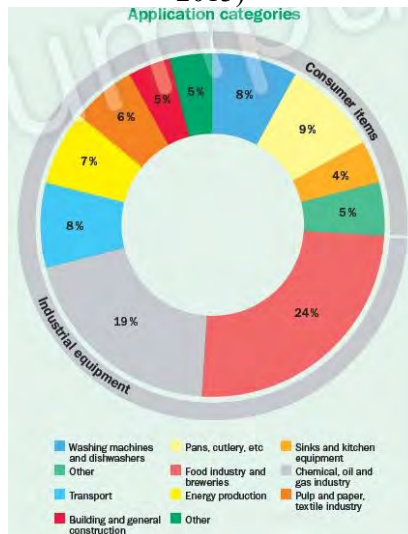
*Cold rolled sheet* merupakan bentuk dari produk baja tahan karat yang paling dominan. Bentuk produk yang lain hanya sepertiga atau kurang dari sepertiga total jumlah *cold rolled sheet*. Untuk penggunaannya, baja tahan karat sering digunakan pada peralatan industri minyak dan gas, industri kimia, produk konsumen serta industri makanan dan minuman. Baja tahan karat terus dikembangkan dan menghasilkan berbagai jenis material baru dengan variasi komposisi yang luas. Karena mikro struktur memiliki peranan penting terhadap sifat dari suatu material, maka pengklasifikasian baja tahan karat didasarkan pada mikro strukturnya pada temperatur kamar (Outokumpu, 2013).



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.1 Penggunaan baja tahan karat pada dunia industri berdasarkan bentuk produknya. (Handbook of Stainless Steel, 2013)



Gambar 2.2 Penggunaan baja tahan karat pada dunia industri berdasarkan kategori penggunaannya. (Handbook of Stainless Steel, 2013)



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

Pengkodean baja tahan karat ini berbeda dengan baja paduan jenis lainnya. Pengkodean menggunakan tiga angka, angka pertama menunjukkan grupnya, sedangkan angka kedua dan ketiga menunjukkan modifikasi paduannya.

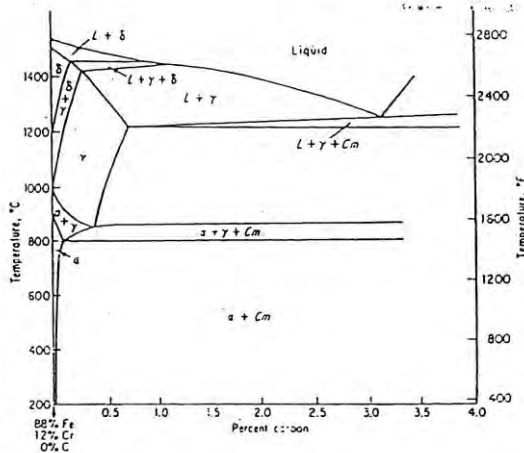
Tabel 2.1 Kodifikasi baja tahan karat.(Suherman, 1999)

Series	Groups
2xx	Chromium-Nickel-Manganese; non-hardenable; austenitic; non magnetic
3xx	Chromium-Nickel; non-hardenable, austenitic, non-magnetic
4xx	Chromium; hardenable, martensitic, magnetic
4xx	Chromium, non-hardenable, ferritic, magnetic
5xx	Chromium; low chromium, heat resisting

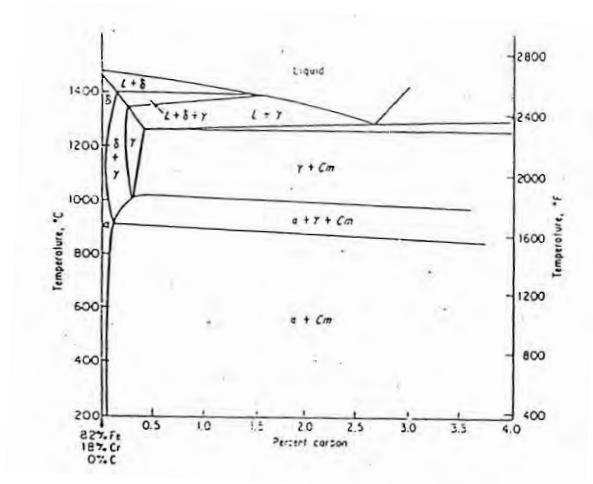
Adanya kadar kromium yang tinggi maka diperlukan diagram terner untuk meneliti lebih lanjut. Kandungan kromium yang cukup tinggi akan menaikkan temperatur kritis dan juga mempersempit daerah austenit, jika dibandingkan dengan diagram besi-karbida besi. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.3 ,diagram fasa dengan kadar 12 %Cr dan 0-4 %C. Kromium sebagai unsur penstabil ferrit akan memperkecil daerah austenit seiring peningkatan kadar kromium. Pada gambar 2.4 diagram fase dengan kadar 18 %Cr menunjukkan bahwa pada kadar karbon yang sangat rendah daerah austenit sudah sangat kecil. (Suherman, 1999)



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.3 Diagram fasa baja 18 %Cr, 8 %Ni. (Suherman, 1999)



Gambar 2.4 Diagram fasa baja kromium 18 %Cr. (Suherman, 1999)

Berdasarkan aplikasinya, baja tahan karat dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu austenitik, ferritik, dan duplex.



Masing-masing kelompok memiliki perbedaan struktur atom tersendiri. Baja tahan karat austenitik merupakan baja yang paling sering digunakan, namun sekarang mulai tergantikan oleh baja tahan karat duplex. (Jacques Rondal dkk, 2005)

1. Baja tahan karat austenitik merupakan paduan yang memiliki struktur atom FCC. Baja ini tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas tetapi dengan *cold working*. Baja ini memiliki keuletan, *weldability*, dan ketahanan korosi yang sangat baik
2. Baja tahan karat ferritik memiliki struktur atom BCC. Baja ini tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas dan hanya dengan cara *cold working*. Baja ini memiliki keuletan, ketahanan korosi, *weldability* yang bagus, dan memiliki kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan baja tahan karat austenitik
3. Duplex merupakan paduan yang memiliki campuran struktur atom baja austenitik dan ferritik. Baja ini dapat dikeraskan dengan *cold working*, dan keuletan, ketahanan korosi yang sangat baik, dan secara umum lebih kuat dibandingkan dengan baja austenitik. Baja ini juga memiliki *weldability* dan *metal fatigue* yang baik.

### 2.1.1 Baja Tahan Karat *Duplex*

Baja tahan karat Duplex merupakan baja yang pada temperatur kamar memiliki dua fasa yaitu austenit dan ferrit. Baja ini mulai dikenal pada tahun 1930-an dan pada tahun 1980-an perkembangan baja tahan karat duplex semakin pesat.

Baja tahan karat duplex digunakan dalam pengaplikasian yang memanfaatkan keunggulan dari sifat baja ini yaitu ketahanan korosi yang sangat baik, kekuatan yang tinggi, ataupun keduanya. Dibandingkan dengan baja tahan karat austenitik, baja ini memiliki sifat yang lebih ferromagnetik, termal konduktifitas yang tinggi, dan thermal ekspansi yang lebih rendah. Baja ini sering dipilih untuk ketahanan korosi dan telah menggantikan baja tahan karat austenitik di berbagai macam penggunaan yang memperhatikan *stress*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

*corrosion cracking* dan *pitting corrosion*. Karna memiliki ketahanan korosi dan kekuatan yang tinggi, baja ini digunakan secara luas sebagai *pipelines* di industri minyak dan gas.

Selain itu, secara signifikan baja tahan karat duplex lebih kuat dibandingkan dengan baja tahan karat autenitik. Nilai *yield strength* duplex adalah 425 MPa (60 ksi) dan 210 MPa (30 ksi) untuk baja tahan karat autenitik. Baja tahan karat duplex memiliki kekuatan yang tinggi, baja ini juga memiliki kekerasan yang lebih tinggi, sehingga memungkinkan memiliki ketahanan abrasi yang lebih baik, dan juga ketahanan korosi yang sama baik. (John C. Lippol, 2005)

Karena keunggulan-keunggulan tersebut, baja tahan karat duplex banyak digunakan pada berbagai bidang, seperti arsitektur, industri minyak dan gas, industri makanan dan minuman, desalinasi serta industri kertas. Salah satu contoh pada bidang arsitektur adalah, baja tahan karat duplex banyak digunakan pada konstruksi jembatan. Dikarenakan material yang digunakan untuk konstruksi jembatan haruslah yang memiliki ketahanan korosi tinggi dan kekuatan untuk menahan beban yang tinggi. Contohnya ialah Singapore Helix Bridge dan Hong Kong Stonecutters Bridge yang menggunakan baja tahan karat duplex 2205 (Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steel, 2014). Pada tabel 2.2 menunjukkan sifat mekanik dari berbagai macam jenis baja tahan karat duplex. Komposisi dari berbagai macam jenis baja tahan karat duplex ditunjukkan ada tabel 2.3.

Efek unsur paduan terhadap struktur mikro baja tahan karat ditunjukkan dengan diagram Schaeffler DeLong (gambar 2.5). Diagram ini. Berdasarkan unsur paduan dibagi menjadi unsur penstabil ferrit dan penstabil austenit. Hal ini berarti unsur paduan dapat bertindak sebagai pembentuk ferrit atau austenit dalam struktur mikro. Jika penstabil austenit yang mampu mendorong pembentukan fasa austenit terkait dengan unsur nikel dan penstabil ferrit terkait dengan unsur kromiumium, sehingga dapat dihitung total dampak unsur-unsur paduan penstabil ferrit dan austenit terhadap baja. Diagram ini digunakan pada baja lasan



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

untuk mengetahui struktur setelah baja mencair dan didinginkan secara cepat. Selain itu dengan diagram ini dapat diketahui dampak dari gabungan unsur paduan terhadap baja yang akan di las. (Outokumpu, 2013).

Tabel 2.2 Sifat mekanik baja tahan karat duplex (ASTM A240)

UNS	Type	Tensile Strength, min		Yield Strength, min		Elongation in 2 in. or 50 mm,		Hardness, max	
		ksi	MPa	ksi	MPa	min, %	Brinell	Rockwell B	
S31200	...	100	690	65	450	25	293	31	
S31260	...	100	690	70	485	20	290	...	
S31803	...	90	620	65	450	25	293	31	
S32001	...	90	620	65	450	25	...	25	
S32205	2205	90	620	65	450	25	293	31	
S32304	2304	87	600	58	400	25	290	32	
S32520	...	112	770	80	550	25	310	...	
S32550	255	110	760	80	550	15	302	32	
S32750	2507	116	795	80	550	15	310	32	
S32760	...	108	750	80	550	25	270	...	
S32900	329	90	620	70	485	15	269	28	
S32950	...	100	690	70	485	15	293	32	

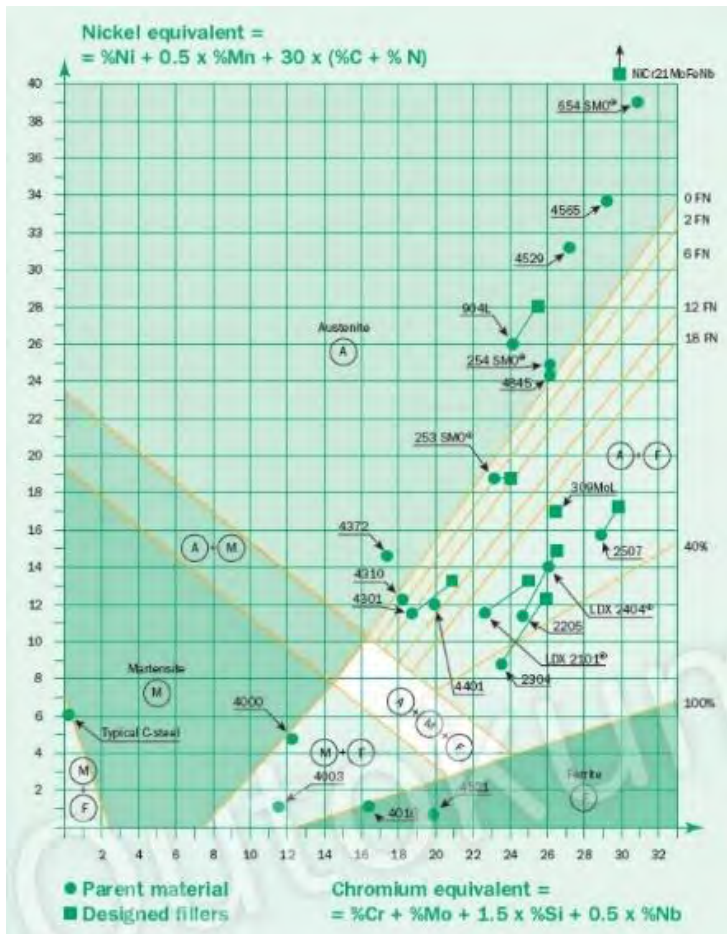
Tabel 2.3 Tabel Komposisi Kimia Jenis Baja Tahan Karat Duplex. (ASTM A240)

UNS	Type	Chemical Composition					
		C	N	Cr	Ni	Mo	Others
S31200	...	0.03	0.14-0.20	24.0-26.0	5.5-6.5	1.20-2.00	Mn, P, S, Si
S31260	...	0.03	0.10-0.30	24.0-26.0	5.5-7.5	2.5-3.5	Mn, P, S, Si, Cu, W
S31803	...	0.03	0.08-0.20	21.0-23.0	4.5-6.5	2.5-3.5	Mn, P, S, Si
S32001	...	0.03	0.05-0.17	19.5-21.5	1.0-3.0	0.6	Mn, P, S, Si, Cu
S32205	2205	0.03	0.14-0.20	22.0-23.0	4.5-6.5	3.0-3.5	Mn, P, S, Si
S32304	2304	0.03	0.05-0.20	21.5-24.5	3.0-5.5	0.05-0.60	Mn, P, S, Si, Cu
S32520	...	0.03	0.20-0.35	24.0-26.0	5.5-8.0	3.0-4.0	Mn, P, S, Si, Cu
S32550	255	0.04	0.10-0.25	24.0-27.0	4.5-6.5	2.9-3.9	Mn, P, S, Si, Cu
S32750	2507	0.03	0.24-0.32	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-5.0	Mn, P, S, Si, Cu
S32760	...	0.03	0.20-0.30	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-4.0	Mn, P, S, Si, Cu, W
S32900	329	0.08	...	23.0-28.0	2.0-5.0	1.00-2.00	Mn, P, S, Si
S32950	...	0.03	0.15-0.35	26.0-29.0	3.5-5.2	1.00-2.50	Mn, P, S, Si





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.5 Diagram Scheffler DeLong menunjukkan perbedaan struktur mikro pada baja lasan baja tahan karat. (Outokumpu,2013)

Penambahan unsur paduan dapat mempengaruhi sifat mekanik, fisik, dan korosi pada baja tahan karat duplex. berikut aturan enambahan unsur paduan pada baja tahan karat duplex



(Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steel, 2014):

a. Kromium

Dibutuhkan minimal 10.5% kromium agar dapat membentuk lapisan pasif yang stabil agar dapat melindungi baja terhadap ancaman korosi. Oleh karena itu, ketahanan korosi akan meningkat seiring peningkatan kadar kromium. Kromium merupakan unsur pembentuk ferrit yang berarti unsur ini mendorong pembentukan struktur BCC pada besi. Kandungan kromium yang sangat tinggi juga dapat mendorong pembentukan fasa intermetalik. Biasanya kandungan kromium pada fasa austenit yaitu paling sedikit 16% dan pada fasa ferrit 20%. Kromium juga meningkatkan ketahanan oksidasi pada peningkatan temperatur. Sifat ini sangat penting pada saat dilakukan perlakuan panas dan pengelasan.

b. Molibdenum.

Unsur ini dapat menambah ketahanan korosi *pitting* pada baja tahan karat. Ketika kadar kromium paling sedikit 18%, dengan penambahan molibdenum tiga kali lipat keefektifannya sama baiknya dengan penambahan kromium dalam peningkatan ketahanan korosi. Molibdenum merupakan unsur pembentuk ferrit dan juga memiliki kecenderungan membentuk fasa intermetalik yang merugikan. Oleh karena itu, dilakukan pembatasan kandungannya, yaitu sekitar 7% pada baja tahan karat austenitik dan 4% pada baja tahan karat duplex.

c. Nitrogen

Nitrogen dapat meningkatkan ketahanan korosi *pitting* dan *crevice* pada baja tahan karat austenitik dan duplex. Selain itu, penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja. Unsur ini merupakan unsur penstabil austenit. Nitrogen bukanlah unsur pencegah terbentuknya fasa intermetalik, tapi unsur ini cukup menghambat pembentukan fasa intermetalik pada proses pembuatan duplex. Selain



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

molibdenum dan kromium, penambahan unsur ini dapat meningkatkan ketahanan korosi yang mengandung kromium dan molibdenum tinggi yang cenderung membentuk fasa sigma. Nitrogen meningkatkan kekuatan fasa asutenit melalui *solution strengthening* dan juga meningkatkan laju *work hardening*. Karena sebagai unsur penstabil austenit, unsur ini digunakan sebagai penyeimbang fasa ferrit dan austenit pada struktur duplex.

### d. Nikel

Nikel merupakan unsur penstabil austenit yang mendorong perubahan struktur dari BCC ke FCC (austenitik). Penambahan nikel dapat menghambat pembentukan fasa intermetallik yang merusak pada baja tahan karat austenitik tapi tidak seefektif dibandingkan nitrogen dalam menghambat pembentukan fasa intermetallik pada baja tahan karat duplex.

## 2.2 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas merupakan suatu operasi atau kombinasi dari operasi yang terdiri dari proses pemanasan dan pendinginan pada *solid metal* atau paduan yang bertujuan untuk mendapatkan suatu kondisi atau sifat (properties) yang diinginkan.

Proses perlakuan panas ini terdiri dari berbagai macam, diantaranya *annealing*, *normalizing*, *hardening*, *tempering* dan lain sebagainya. Pada seluruh jenis perlakuan panas proses yang dilakukan adalah mengenakan logam pada siklus waktu-temperatur. Siklus ini terdiri dari tiga bagian, yaitu pemanasan (*heating*), penahanan pada suatu temperatur dan pendinginan (*cooling*). Pada setiap kasus, siklus ini berbeda-beda tergantung dari kebutuhan dan jenis material (Thomas G. Digges et al, 1966).

### 2.2.1 *Solution Annealing*

*Solution annealing* merupakan perlakuan panas yang digunakan pada baja tahan karat. Pemanasan atau pendinginan lambat dapat mengakibatkan terbentuknya presipitasi pada batas butir baja tahan karat. Akibat adanya presipitasi ini yaitu



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

pengurangan kadar kromium pada baja yang menyebabkan turunnya ketahanan korosi. Selain itu, presipitasi ini juga dapat membuat baja memiliki kekuatan dampak yang rendah dan menaikkan kekerasan. Presipitasi ini dapat dieliminasi dengan *solution heat treatment* dan *quenching*, yaitu *quench annealing*. (K-E Thelning, 1984).

*Solution annealing* atau *quench annealing* dilakukan dengan cara memanaskan baja tahan karat hingga 1000-1100° C. Pemanasan ini dilakukan agar semua karbida dapat larut kembali dan austenit menjadi homogen, lalu di-*quench*, misalnya menggunakan air. Pendinginan cepat mengakibatkan presipitasi karbida tidak sempat terjadi, kromium masih tetap dalam larutan. Untuk benda yang berukuran kecil, pendinginan cukup dilakukan dengan udara. (Suherman, 1999)

Pada penelitian ini menggunakan baja tahan karat duplex S329. Temperatur *solution annealing* yaitu 955° C lalu didinginkan secara cepat menggunakan air (tabel 2.4).

Tabel 2.4 Temperatur minimum proses *solution annealing* (ASTM 480)

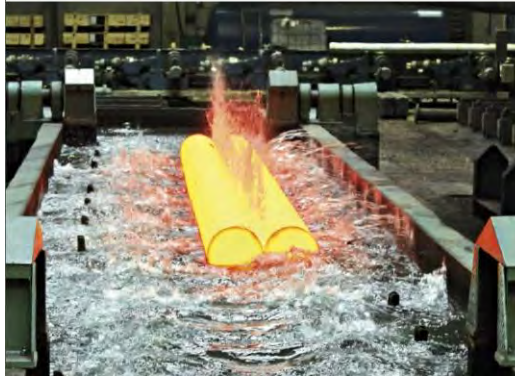
Designation/ Type	Temperature	Cooling/ Testing requirements
	Duplex (Austenitic-Ferritic)	
S31200, S31803, S32001, S32550	1900 <sup>0</sup> F (1040 <sup>0</sup> C) minimum	B
S31260	1870 <sup>0</sup> to 2010 <sup>0</sup> F (1020 <sup>0</sup> to 1100 <sup>0</sup> C)	B
S32205	1900 <sup>0</sup> F (1040 <sup>0</sup> C) minimum	B
S32304	1800 <sup>0</sup> F (980 <sup>0</sup> C) minimum	B
S32520	1975 to 2050 <sup>0</sup> F (1080 <sup>0</sup> to 1120 <sup>0</sup> C)	B
S32750	1880 <sup>0</sup> to 2060 <sup>0</sup> F (1025 <sup>0</sup> to 1125 <sup>0</sup> C)	B
S32760	2010 <sup>0</sup> F (1100 <sup>0</sup> C) minimum	B
S32900	1750 <sup>0</sup> ± 25 <sup>0</sup> F (955 <sup>0</sup> ± 15 <sup>0</sup> C)	B
S32950	1850 <sup>0</sup> ± 25 <sup>0</sup> F (1010 <sup>0</sup> ± 15 <sup>0</sup> C)	B

\*B = Quenched in water or rapidly cooled by other means



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---



Gambar 2.6 Proses quench annealing setelah diberi perlakuan *solution annealing* (Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steel, 2014)

### 2.2.2 Direct Quenching

*Direct Quenching* merupakan pendinginan yang dilakukan langsung dari temperatur austenitik hingga temperatur kamar atau temperatur yang dibutuhkan. Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk menghasilkan fasa martensit pada struktur mikro, meminimalkan stress yang tersisa, meningkatkan kekerasan, kekuatan dan ketangguhan material serta meminimalkan atau menghilangkan presipitat karbida. Media pendinginan yang digunakan dapat berupa air, minyak atau udara. Pendinginan dengan media udara rentan oksidasi pada permukaan. Pendinginan dengan oli memakan waktu jauh lebih lama dibandingkan pendinginan dengan media air. (ASM Handbook, 1991; Thomas G. Digges et al, 1966; K-E Thelning, 1984)

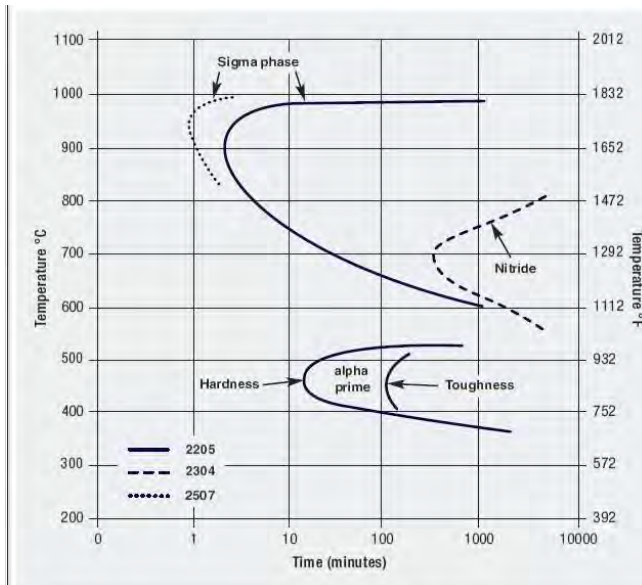
### 2.3 Fasa Intermetalik

Fasa intermetalik 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.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Baja tahan karat duplex akan berubah ke bentuk fasa yang berbeda-beda ketika dipanaskan pada temperatur dibawah 100°C. Sebagian besar fasa sigma ( $\sigma$ ) dan chi ( $\chi$ ), sebagian lainnya karbida dan nitride, terbentuk pada temperatur antara 650 dan 970°C. Temperatur antara 300 dan 500°C, fasa alpha-prime ( $\alpha'$ ) terbentuk, yang menyebabkan penggetasan temperatur 475°C.



Gambar 2.7 Diagram skematik dan semi-kuantitatif TTT menunjukkan presipitasi fasa yang dapat terjadi pada baja tahan karat duplex 2205 setelah di-annealing temperatur 1050°C (Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steel, 2014)

Pada diagram TTT, gambar 2.7, menunjukkan temperatur presipitasi berbagai fasa yang dapat terjadi di baja tahan karat duplex antara 1000° dan 300° C. Penjelasan lebih lanjut fasa-fasa intermetalik sebagai berikut (John Wiley dan Sons, 2009):

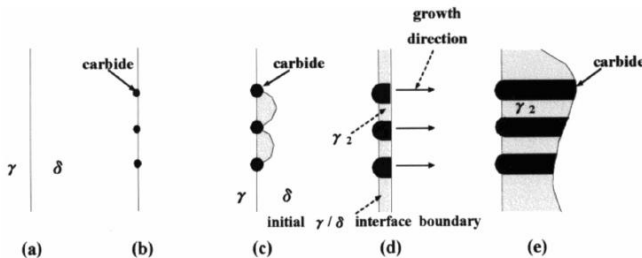
- a. Presipitasi Karbida Kromium



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Sebagian besar baja tahan karat duplex mengandung kadar karbon yang rendah, kurang dari 0.03 wt% dan maksimum presipitasi karbida sekitar 0.5 vol.%. Namun, presipitasi karbida terlebih dahulu terbentuk dibandingkan fasa lainnya pada proses aging. Presipitasi  $M_{23}C_6$  ini terbentuk pada temperatur antara 900°-700°C dalam waktu yang singkat. Tetapi dapat terjadi pula pada temperatur antara 700°-550°C dengan waktu yang lebih lama.

Presipitasi karbida sebagian besar terbentuk di batas butir austenit/ferrit dengan diikuti reaksi eutektoid  $\delta \rightarrow M_{23}C_6 + \gamma_2$ . Presipitasi karbida ini akan membentuk austenit yang memiliki kadar kromium rendah. Austenit ini disebut *secondary* austenit.



Gambar 2.8 Diagram skematis proses pembentukan presipitasi karbida (John Wiley dan Sons, 2009)

### b. Presipitasi Nitrida Kromium ( $Cr_2N$ )

Nitrogen merupakan unsur penstabil austenit yang kuat dan menyebabkan pergeseran daerah dua fasa ( $\delta+\gamma$ ) pada temperatur tinggi. Nitrogen dalam larutan padat akan menghambat pembentukan fase intermetalik. Presipitasi Nitrida dalam jumlah yang sedikit terdapat di fasa austenit dengan selang temperatur dan pembentukan yang hampir bersamaan dengan  $M_{23}C_6$ . Preipitasi nitrida pada baja tahan karat duplex sangat penting diperhatikan dalam proses pengelasan.

### c. Presipitasi fasa chi ( $\chi$ )

Fasa chi ( $\chi$ ) biasa terdapat di baja tahan karat austenitik, ferritik, dan duplex, dan dapat menurunkan sifat ketahanan



korosi dan sifat mekanik. Fasa ini hanya terlihat di diagram *ternary* Fe-Cr-Mo dan sistem *quaternary* Fe-Cr-Ni-Mo dan Fe-Cr-Ni-Ti. Dibandingkan dengan fasa sigma, fasa ini memiliki lebih banyak molibdenum (minimal kandungan sekitar 2 wt%) dan lebih sedikit kromium.

Pada umumnya fasa chi terbentuk pada temperatur antara 900° dan 600° C di batas butir ferrit dan austenit dan juga ferrit dan ferrit. Penelitian mengenai fasa chi ini terbilang masih sedikit dibandingkan dengan fasa sigma, hal ini terjadi karena jumlah fasa yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan dengan fasa sigma. Meskipun demikian, keberadaan fasa ini telah dapat merusak sifat baja tahan karat.

d. Presipitasi fasa sigma ( $\sigma$ )

Fasa sigma memiliki struktur tetragonal dengan 30 atom per unit. Presipitasi fasa sigma dapat terjadi pada baja tahan karat austenitic, ferritik, maupun duplex. Fasa sigma menyebabkan penurunan ketangguhan dan ketahanan korosi.

Ketahanan impak juga menurun sejalan dengan peningkatan jumlah fasa sigma. Sejumlah 1% fasa sigma menyiratkan penurunan ketahanan impak sekitar 50% dari kondisi inisial (*solution annealed* dan *quenched*). Selain itu, fasa sigma memiliki dampak berbahaya terhadap ketahanan korosi baja tahan karat duplex baik itu terhadap jenis korosi general, korosi *pitting*, korosi *crevice*, korosi intergranular, maupun korosi *stress*.

Terakhir, berikut adalah klasifikasi austenit yang terbentuk pada baja tahan karat duplex berdasarkan mekanisme pembentukan (tabel 2.5)

e. *Alpha prime* ( $\alpha'$ )

Penggetasan fasa ferrit pada baja tahan karat ferritik dan duplex disebabkan perlakuan panas pada temperatur 475° C. Faktor penyebab penggetasan ini adalah adanya fasa alpha prime yang terbentuk pada temperatur antara 550 dan 300° C.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

Fasa alpha prime yang memiliki struktur atom BCC, struktur yang sama dengan ferrit, mengandung kromium dan besi. Fasa ini memiliki ukuran yang kecil, antara 20 dan 200 Å dan memiliki sifat ketahanan *coarsening*, meskipun diberikan dalam waktu yang lama. Kehadiran fasa alpha prime ini berdampak pada sifat mekanik dan korosi. Selain itu, berdampak pada sifat kelistrikan, berat spesifik, dan *coarsive force*. Perubahan fisik ini dapat dihilangkan dengan annealing pada temperatur 600° C selama 1 jam.

Tabel 2.5 Tipe austenit yang terbentuk pada baja tahan karat duplex

Type	Formation
Primer ( $\gamma_1$ )	Solidifikasi: $L \rightarrow \delta + \gamma_1$
Sekunder ( $\gamma_2$ )	Presipitasi dari ferrit: $\delta \rightarrow \delta + \gamma_2$
Terner ( $\gamma_3$ )	Reaksi eutektoid: $\delta \rightarrow \sigma + \gamma_3$

Kekerasan, *yield stress*, dan kekuatan *tensile* meningkat namun ketahanan impak menurun dengan adanya fasa alpha prime ini. Adanya fasa alpha prime memiliki dampak terhadap ketahanan korosi. Berdasarkan penelitian, kehadiran fasa ini akan menurunkan ketahanan korosi di dalam larutan asam nitric yang mendidih. Ketahanan korosi *pitting* dapat menurun akibat adanya fasa ini.

Karakteristik dari fasa-fasa intermetallik ditunjukkan pada tabel 2.8



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 2. 1 Struktur Kristal dan komposisi fasa yang terdapat pada baja tahan karat duplex (John Wiley dan Sons, 2009)

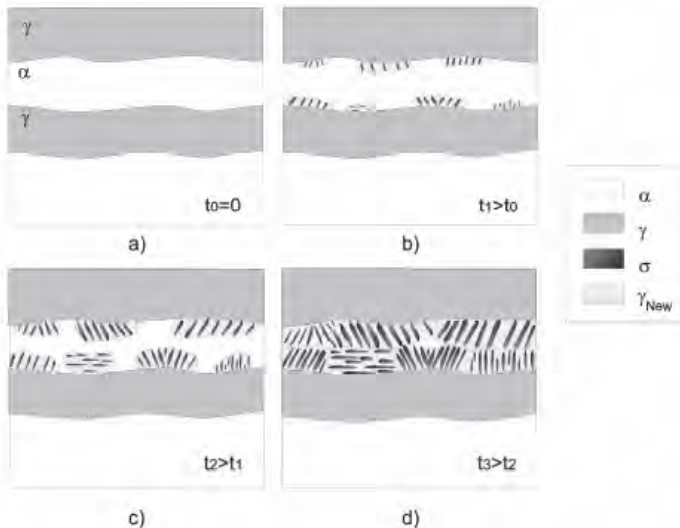
Phase	UNIT CELL	Atoms per cell	Space group	Lattice parameters (nm)	Composition
<b>Main phases</b>					
Austenite ( $\gamma$ )	fcc	4	Fm $\bar{3}$ m	a = 0.358-0.362	(Fe,Cr,Ni,Mo,N)
Ferrite ( $\delta$ or $\alpha$ )	bcc	2	Im $\bar{3}$ m	a = 0.285-0.289	(Fe,Cr,Ni,Mo)
Martensite ( $\alpha'$ )	bcc	2	Im $\bar{3}$ m	a = 0.285-0.289	(Fe,Cr,Ni,Mo,N)
Martensite ( $\epsilon$ )	hcp	2 (6)	P6 $_3$ /mmc	a = 0.250-0.255; c = 0.410-0.420	(Fe,Cr,Ni,Mo,N)
<b>Intermetallic phases</b>					
Sigma ( $\sigma$ )	bct	30	P4 $_2$ /mmn	a = 0.87-0.92; c = 0.4554-0.48	(Fe,Ni) <sub>3</sub> (Cr,Mo) <sub>3</sub>
Chi ( $\chi$ )	bcc	58	I43m	a = 0.881-0.895	Fe <sub>36</sub> Cr <sub>12</sub> Mo <sub>10</sub> ; (Fe,Ni) <sub>36</sub> Cr <sub>18</sub> Mo <sub>4</sub>
Laves ( $\eta$ )	hex.	12	P6 $_3$ /mmc	a = 0.473-0.483; c = 0.772-0.786	Fe <sub>2</sub> Mo; Fe <sub>2</sub> Nb; Fe <sub>2</sub> Ta; Fe <sub>2</sub> Ti; Fe <sub>2</sub> W
G	fcc	116	Fd $\bar{3}$ m	a = 1.115-1.120	Ni <sub>16</sub> Nb <sub>8</sub> Si <sub>7</sub> ; Ni <sub>16</sub> Ti <sub>8</sub> Si <sub>7</sub> ; (Ni,Fe,Cr) <sub>16</sub> (Nb,Ti) <sub>8</sub> Si <sub>7</sub>
R	hex.	53 (159)	R $\bar{3}$	a = 1.08-1.10; c = 1.92-1.94	Fe <sub>22</sub> Mo <sub>18</sub> Cr <sub>13</sub> ; (Fe,Ni) <sub>10</sub> Cr <sub>3</sub> Mo <sub>3</sub> Si <sub>2</sub>
<b>Carbides</b>					
M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	fcc	116	Fm $\bar{3}$ m	a = 1.057-1.068	(Cr, Fe, Mo) <sub>23</sub> C <sub>6</sub> ; (Cr <sub>16</sub> Fe <sub>3</sub> Mo <sub>2</sub> )C <sub>6</sub>
MC	ord fcc	8	Fm $\bar{3}$ m	a = 0.4131- 0.4698	(Ti,Nb,V)C
M <sub>6</sub> C	fcc	112	Fd $\bar{3}$ m	a = 1.085-1.128	(Fe, Mo, Nb,Cr) <sub>6</sub> C
M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	pseudo hex.	40	Pnma	a = 1.395-1.400; c = 0.452-0.453	(Cr,Fe) <sub>7</sub> C <sub>3</sub>
<b>Nitrides</b>					
MN	ord fcc	8	Fm $\bar{3}$ m	a = 0.4097- 0.4577	CrN, ZrN;TiN; NbN; VN
M <sub>2</sub> N	hexagonal	9	P $\bar{3}$ 1m	a = 0.475-0.480; c = 0.443-0.447	(Cr,Fe) <sub>2</sub> N
Z-phase	tetragonal	6	P4/nmm	a = 0.303-0.306; c = 0.738-0.740	CrNNb



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.3.1 Fasa Sigma

Berdasarkan penelitian yang telah ada menunjukkan bahwa pertumbuhan fasa sigma ( $\sigma$ ) lebih cepat terjadi pada baja tahan karat austenitik, dibandingkan dengan baja tahan karat duplex. Pada baja tahan karat duplex, presipitasi terbentuk secara sempurna dalam waktu beberapa jam dan merubah sebagian besar fasa ferrit. Presipitasi terjadi pada temperatur antara  $975^{\circ}$  dan  $650^{\circ}$  C dan ditunjukkan dengan reaksi eutektoid:  $\alpha \rightarrow \gamma' + \sigma$ , dimana  $\gamma'$  merupakan austenit yang kekurangan kromium dan molibdenum jika dibandingkan dengan austenit yang tidak bertransformasi (gambar 2.9). Fasa sigma terbentuk di batas butir ferrit/austenit dan reaksi bergerak ke butir ferrit.



Gambar 2.9 Skematis diagram menunjukkan pembentukan fasa sigma pada baja tahan karat duplex melalui reaksi eutektoid dekomposisi fasa ferrit. (John Wiley dan Sons, 2009)

Fasa sigma kaya akan unsur penstabil ferrit seperti kromium, molibdenum, dan silikon, dan memiliki sedikit unsur penstabil austenit seperti nikel, karbon, dan nitrogen sehingga fasa ini



terbentuk pada ferrit. Selain itu, laju difusi ferrit lebih cepat dibandingkan dengan austenit ( $\gamma'$ ). Temperatur di atas  $800^\circ\text{C}$  menghasilkan morfologi eutektoid yang berbentuk lamellar yang berasal dari sigma dan austenit baru. Sebaliknya, pertumbuhan fasa sigma dapat terjadi di batas butir ferrit/ferrit melalui reaksi langsung  $\alpha \rightarrow \sigma$ . Austenit baru ( $\gamma'$ ) memiliki molibdenum bebas dan kromium yang rendah. Oleh karena itu, presipitasi fasa sigma pada baja tahan karat membuatnya sangat rentan terkena korosi lokal di batas butir sigma/austenit baru.

Biasanya, peningkatan kandungan austenit pada baja tahan karat duplex memicu pembentukan fasa sigma disebabkan oleh peningkatan unsur paduan seperti kromium, molibdenum, dan silicon pada fasa ferrit.

Berdasarkan penelitian yang sudah ada menjelaskan bahwa fasa sigma pada baja tahan karat duplex dan superduplex mengandung 35-55 wt% Fe, 24-40 wt% Cr dan 11-25 wt% Mo. Dengan perbandingan fasa yang lain ( $\alpha$ ,  $\gamma$ , presipitasi  $\chi$  dan  $\gamma'$ ) dan komposisi baja, maka didapatkan urutan sebagai berikut: untuk Cr ( $\sigma > \alpha \equiv \chi > \text{duplex} > \gamma > \gamma'$ ); untuk Ni ( $\gamma' > \gamma > \text{duplex} > \alpha \equiv \chi \equiv \sigma$ ) dan untuk molibdenum ( $\chi > \sigma > \alpha > \text{duplex} > \gamma > \gamma'$ ). (John Wiley dan Sons, 2009)

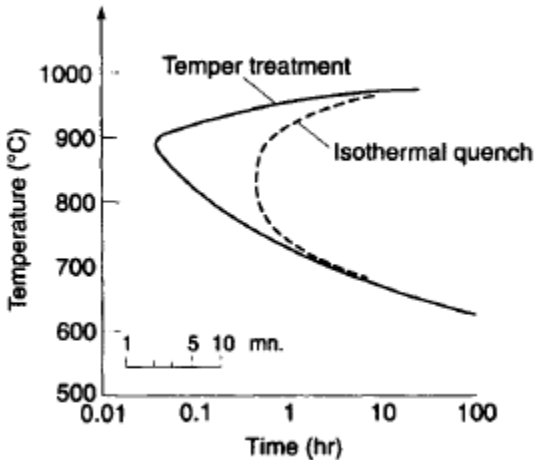
Fasa sigma adalah fasa yang kaya akan unsur Cr dan Mo. Fasa yang terbentuk pada temperatur antara  $650^\circ\text{C}$  dan  $1000^\circ\text{C}$  merupakan fasa yang menggetaskan. Fasa ini juga menurunkan sifat ketahanan korosi dan impak. Pada temperatur peak sekitar  $900^\circ\text{C}$ , ferrit terdekomposisi menjadi sigma dalam beberapa menit pada baja tahan karat superduplex.

Seperti yang telah diketahui unsur kromium, Molibdenum dan Silikon merupakan unsur pendorong terbentuknya fasa sigma. Unsur nikel telah diketahui sebagai unsur yang meningkatkan pembentukan fasa sigma, tapi unsur ini mengurangi keseimbangan fraksi volume fasa sigma. Hal ini terjadi karena nikel mendorong pembentukan fasa austenit dan konsentrasi unsur-unsur pembentuk fasa sigma pada ferrit. Fasa ini dapat dihilangkan melalui *solution annealing*. Proses ini akan meningkatkan kandungan ferrit ( $\delta$ ), dan



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

menurunkan konsentrasi unsur-unsur pembentuk fasa sigma sehingga menghambat pembentukan fasa ini.



Gambar 2.10 Kurva awal pembentukan fasa sigma melalui perlakuan tempering atau isothermal quenching (Robert N. Gun, 2003)

Perbandingan laju pembentuk fasa sigma antara proses tempering (pemanasan ulang dari temperatur kamar) dan isothermal *quenching* ( pendinginan dari temperatur yang tinggi) ditunjukkan pada gambar 2.10. diagram menunjukkan laju pembentukan fasa sigma pada tempering. Hal ini berarti bahwa laju pengintian presipitasi menjadi turun pada saat temperatur dekomposisi yaitu sekitar 900° C untuk fasa sigma. Selama penurunan temperatur pada saat isothermal *quench*, sama sekali tidak terbentuk fasa sigma dan pembentukan fasa diatur oleh laju pengintian yang relative rendah. Bagaimanapun, pada perlakuan tempering melewati temperatur dimana pengintian fasa sigma terbentuk dengan cepat. Selama peningkatan temperatur ini, pengintian fasa sigma tumbuh semakin cepat. (Robert N. Gun, 2003)



### 2.4 Korosi Sumuran (*pitting corrosion*)

Korosi sumuran merupakan serangan korosi lokal yang menghasilkan lubang. Korosi ini biasanya menyerang dibagian dalam dinding interior berupa adanya lubang yang seragam, tetapi terkadang tidak teratur. Setiap logam hasil rekayasa atau paduan tertentu rentan terhadap *pitting*. *Pitting* ini terjadi ketika satu bidang permukaan logam menjadi anodik terhadap permukaan lainnya. Pada permukaan yang normal, *pitting* akan terjadi apabila diawali dengan rusaknya lapisan pasif atau rusaknya lapisan yang dihasilkan oleh inhibitor. Adanya serangan *pitting* sulit untuk dideteksi, namun korosi tipe ini sangat berbahaya sehingga tidak dapat diremehkan. Banyak lubang kecil yang sering tidak terdeteksi oleh mata. Karena ada beberapa lubang yang terisolasi dengan produk korosinya tersebut. (ASM International, 1994)

Golongan halida yang sangat efektif menyerang pasivator lapisan tipis oksida. Klorida merupakan zat paling sering menyebabkan kerusakan di banyak lingkungan seperti air laut, industri kimia, dll. Banyak logam atau pun paduan yang kalah apabila terkena reaksi dengan larutan ini.

Adapun tahap-tahap munculnya korosi sumuran :

1. Pemecahan lapisan pasif
2. Pertumbuhan pit awal
3. Pertumbuhan pit akhir
4. Fenomena repasivasi

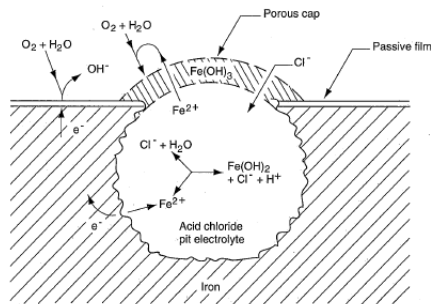
Mekanisme lebih detail juga tergantung pada logam atau komposisi dari paduan sekaligus dengan elektrolit dan kondisi lingkungan. (Henning, 2002)

Pada saat pertumbuhan pit, misal untuk *pitting* dalam larutan klorida pada stainless steel. Produksi anoda bermuatan positif yang berlebihan dari  $\text{Fe}^{2+}$  menarik anion yang bermuatan negatif, misalnya  $\text{Cl}^-$  pada daerah inisiasi *pitting*. Hasilnya adalah adanya mekanisme autokatalitik dari pertumbuhan pit. Larutan asam klorida mempercepat disolusi anodik sehingga lebih berkonsentrasi pada klorida yang berada dalam pit. Sebuah topi hasil produk korosi  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang tidak dapat terlarut, berkumpul

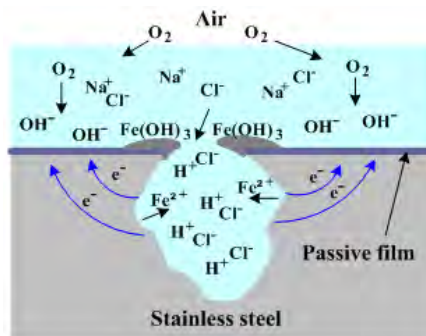


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

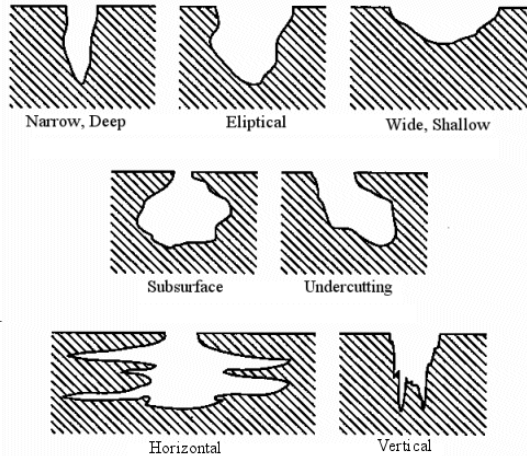
pada mulut pit ketika  $\text{Fe}^{3+}$  dan mengendap dalam larutan. Topi tersebut menghambat hilangnya  $\text{Fe}^{2+}$  namun menimbulkan lubang untuk memberi kesempatan  $\text{Cl}^-$  masuk ke dalam pit, sehingga mempertahankan konsentrasi asam klorida yang tinggi di dalam pit (Jones, 1996).



Gambar 2.11 Skema proses yang terjadi pada pertumbuhan pit yang aktif (Jones, 1996)



Gambar 2.12 Mekanisme terjadinya *pitting* corrosion pada stainless steel (Fong-Yuan, t.thn.)



Gambar 2.13 Bentuk korosi sumuran

## 2.5 Studi fasa baja Tahan Karat Super Duplex S329

Pada baja tahan karat duplex memiliki kadar kromium yang tinggi. Oleh karena itu, pengidentifikasian fasa-fasa yang terbentuk memerlukan diagram *ternary* Fe-Cr-Ni. Perubahan fasa-fasa yang terbentuk di berbagai temperatur pada baja tahan karat duplex S329 dapat ditunjukkan oleh gambar 2.11. Garis merah masing-masing menunjukkan komposisi Cr 27% dan Ni 7%. Garis ini akan dipertemukan, titik pertemuan dua garis yang berwarna merah ini menunjukkan fasa yang terbentuk.

Dari diagram fasa *ternary*, menunjukkan pada temperatur 800° C baja tahan karat duplex S329 memiliki fasa ferrit ( $\alpha$ ) dan austenit ( $\gamma$ ) (gambar 2.11a). Pada temperatur lebih tinggi, 847° C, menunjukkan adanya perubahan fasa yaitu fasa sigma ( $\sigma$ ) dan austenit ( $\gamma$ ) (gambar 2.11b). Namun, pada temperatur lebih dari 900° C fasa sigma tidak terbentuk. Fasa yang terbentuk adalah ferrit dan austenit.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

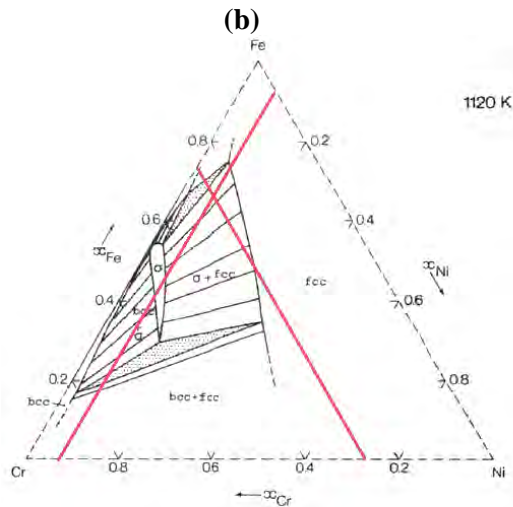
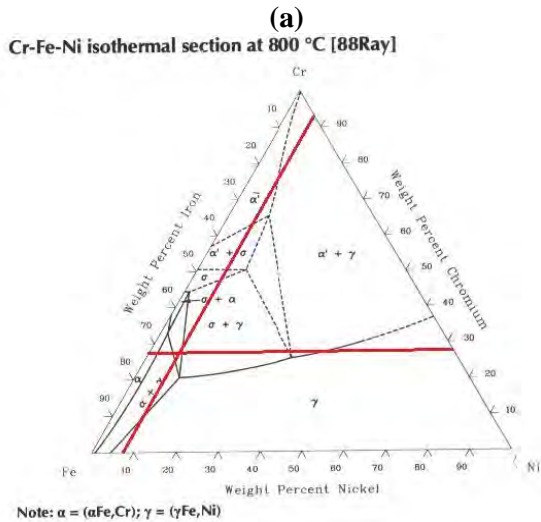
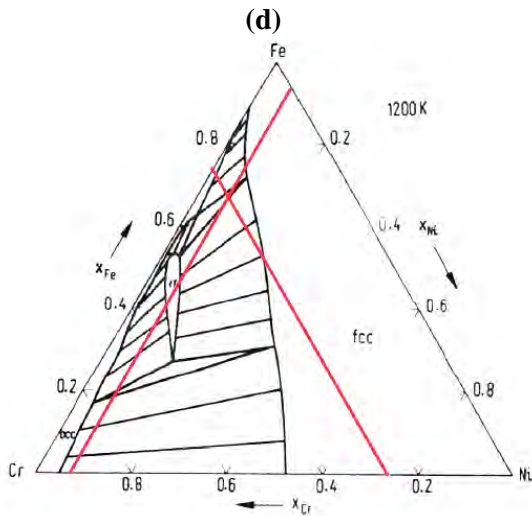
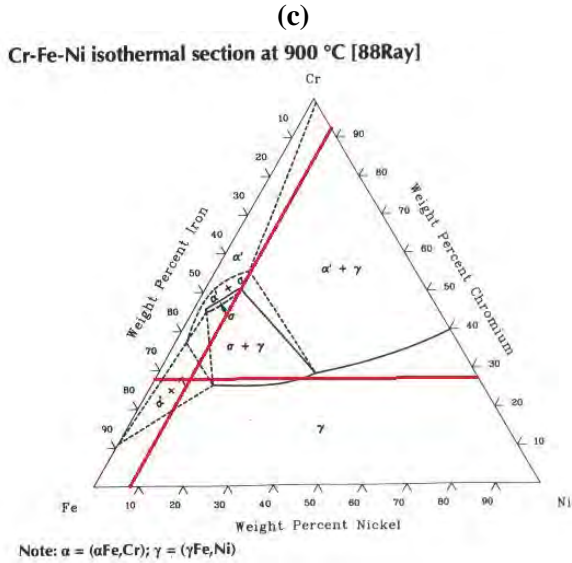


Fig. 20: Calculated partial isothermal section for the Cr-Fe-Ni system at 1120 K.

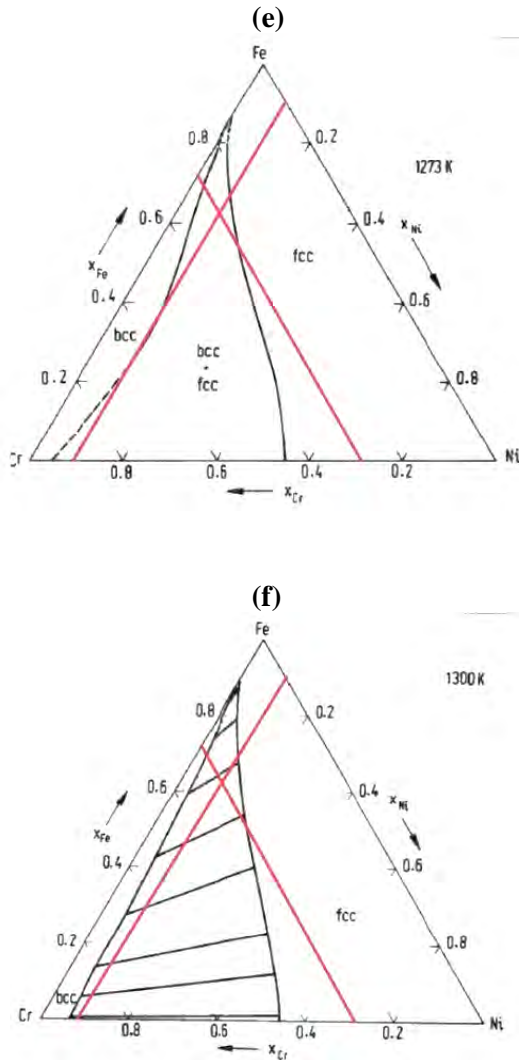


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA





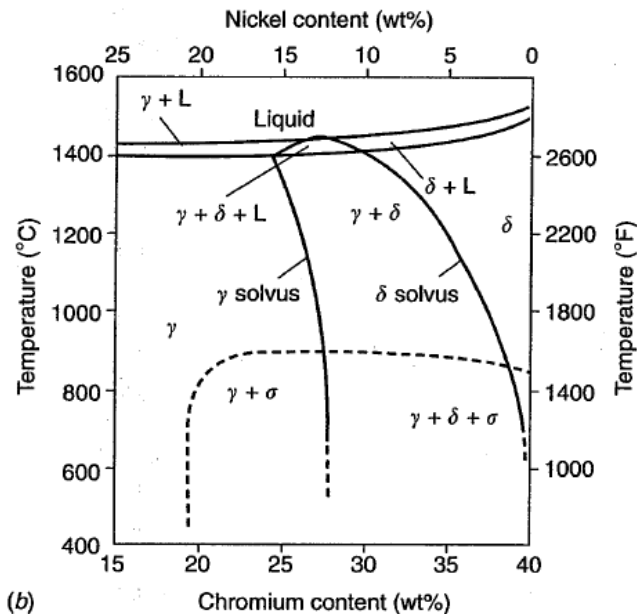
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.14 Diagram fasa *ternary* Fe-Cr-Ni dari berbagai temperatur (a) 800° C (b) 847° C (c) 900° C (d) 927° C (e) 1000° C (f) 1027° C (ASM Vol 3 dan Comission of the European Communities 1985)



Pada gambar 2.15 menunjukkan diagram *pseudobinary* yang menunjukkan temperatur pembentukan fasa sigma. berdasarkan diagram, fasa sigma telah terbentuk pada temperaur 400°-900° C. ketika temperatur diatas 900° C untuk kadar Cr 27% fasa sigma telah hilang. Ini menunjukkan untuk menghilangkan fasa sigma dapat dilakukan pada temperatur lebih 900° C.



Gambar 2.15 Diagram pseudobinary pada system ternery Fe-Cr-Ni pada saat 60% Fe (Lippold, 2005)

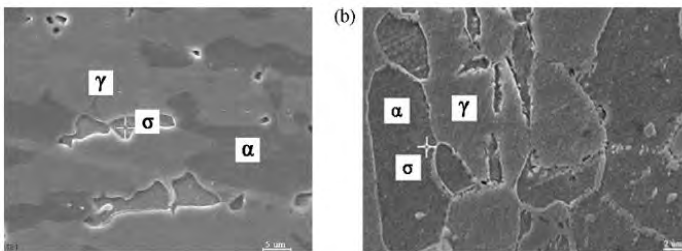
## 2.6 Penelitian sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yan, dkk 2010 yang berjudul *Experimental and comutationa study on microstructural evolution in 2205 duplex stainless steel during high temperatur aging* menggunakan baja tahan karat 2205 dengan metode penelitian yaitu baja di-aging di temperatur antara 700° dan 1050°C

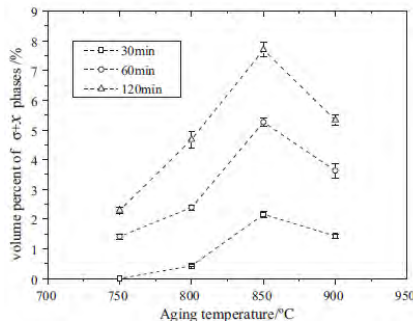


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

dengan perbedaan waktu interval (5 menit, 0.5 jam, 1 jam, 2 jam). Perubahan fasa intermetalik dengan variasi waktu *aging* dan temperatur diukur menggunakan metalografi, SEM & EDS, BSE, dan uji impak sebagai gambaran dampak adanya fasa intermetalik. Fasa  $\sigma$  merupakan fasa yang dominan karena kandungan N dan C yang rendah dan terbentuk di batas butir  $\gamma/\alpha$  atau dalam butir ferrit pada SAF 2205. Presipitasi fasa sigma meningkat seiring peningkatan waktu *aging* dan maksimum persen volume di temperatur 850°C.



Gambar 2.16 preipitasi fasa sigma di temperatur a) 950° C 2 jam di  $\gamma/\alpha$ ; b) 750° C 2 jam di butir  $\alpha$  menggunakan SEM/EDS (Yan,dkk..2010)

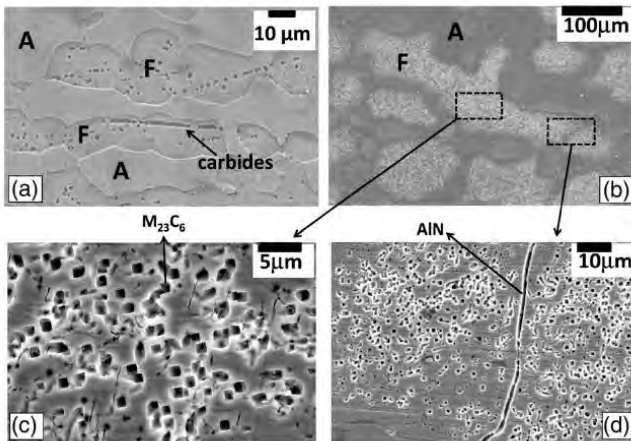


Gambar 2.17 Persen volume fasa ( $\sigma + \chi$ ) di kondisi *aging* yang berbeda melalui kuantitatif metalografi (Yan,dkk.2010)



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

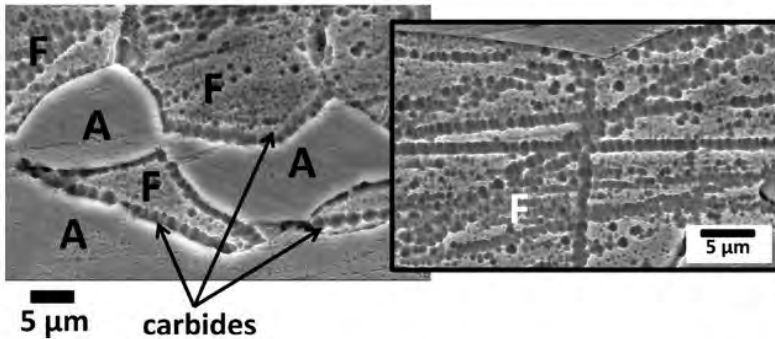
Kemudian Kashiwara,dkk (2012) melakukan dengan judul *Effect of solution annealing temperaturon precipitation in 2205 duplex stainless steel*. Pada penelitian ini menggunakan material duplex 2205 untuk mengetahui efek dari temperatur *solution annealing*, 1050° dan 1100° C, dan di-aging ,700° C dengan waktu tahan 15 menit dan 60 menit, terhadap perubahan struktur mikro. Untuk meneliti perubahan struktur mikro dapat dilakukan dengan menggunakan SEM dan XRD, dan juga EDS digunakan untuk memperoleh informasi kimia dari berbagai fasa. fasa sigma terbentuk pada *solution annealing* di 1000° C. Fasa sigma sebagian besar terbentuk di batas butir ferrit/austenit dan berasal dari reaksi eutektoid pada butir ferrit.



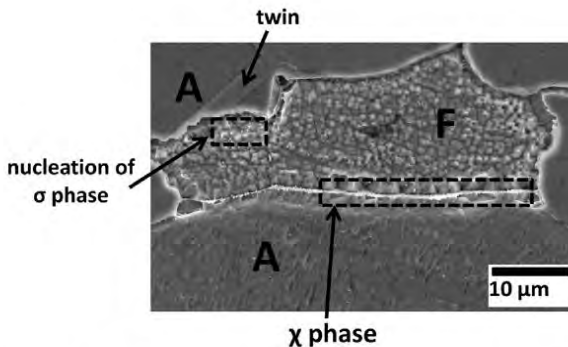
Gambar 2.18 Hasil SEM baja yang diberikan perlakuan *solution annealing* di (a) 1050° C dan 1100° C. Hasil pembesaran (c) dan (d) dari butir ferrit. F= Ferrit, A= Austenit primer, AlN= Aluminium nitride dan  $M_{23}C_6$  (Kashiwara,dkk.2012)



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.19 Hasil SEM baja yang diberikan perlakuan *solution annealing* 1050° C lalu di-aging 700° C selama 1 jam diikuti pendinginan cepat dengan air dari butir ferrit. F= Ferrit, A= Austenit primer (Kashiwara,dkk.2012)



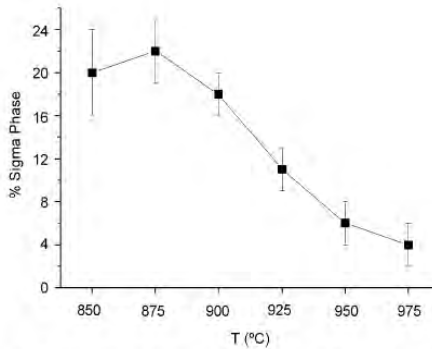
Gambar 2.20 Hasil SEM baja yang diberikan perlakuan *solution annealing* 1050° C lalu di-aging 700° C selama 4 jam diikuti pendinginan cepat dengan air dari butir ferrit. F= Ferrit, A= Austenit primer  $\chi$ = chi phase (Kashiwara, dkk.2012)

Pada penelitian lainnya, Fargas, dkk (2008) dengan judul *Effect of the annealing temperaturon the mechanical properties, formability and corrosion of hot-rolled duplex stainless steel* bertujuan mengetahui konsekuensi penyimpangan dari industri.

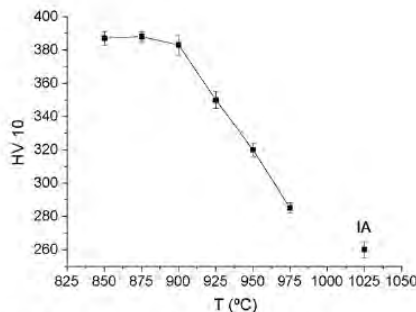


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Urutan untuk memperoleh baja tahan karat duplex melalui *rolling* meliputi dua langkah *annealing* yaitu pemanasan intermediet setelah *hot rolling* dan setelah *cold rolling*. Penurunan temperatur perlakuan panas akan menambah persentasi fasa sigma, yang dapat meningkatkan kekuatan *tensile* dan kekerasan, dan menurunkan keuletan dan ketahanan impak. Selain itu, uji *compression* dan *cold rolling* juga dilakukan untuk membandingkan dengan sifat baja ini dengan kondisi oemansan yang baru sesuai pada industri. Pengujian korosi dilakukan dengan menggunakan uji polarisasi. Hasilnya, fasa sigma menurunkan potensial *pitting*.



Gambar 2.21 Persentase fasa sigma untuk temperatur yang berbeda (Fargas,dkk.2008)

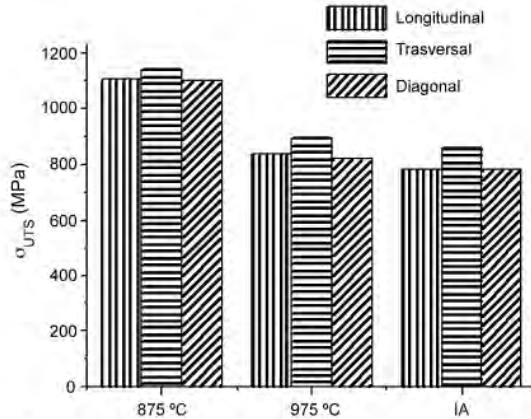


Gambar 2.22 Perubahan kekerasan sampel yang diberikan perlakuan panas dan IA (Industrial Annealing) (Fargas,dkk.2008)

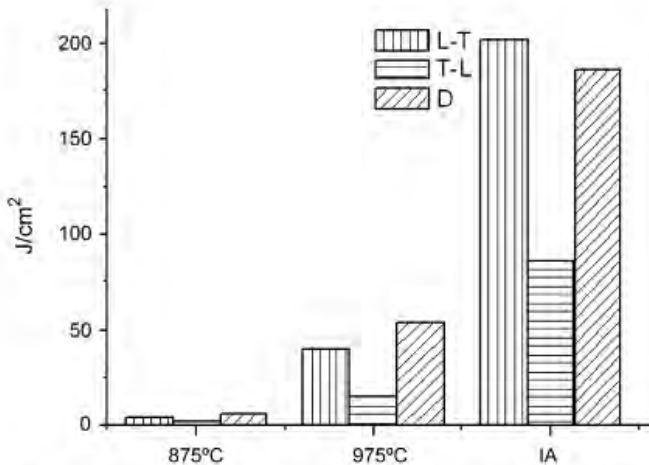




## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.23 UTS dan keuletan pada baja perlakuan panas 875o C (kadar sigma tinggi), 975 (kadar sigma rendah) dan AI (Fargas, dkk.2008)

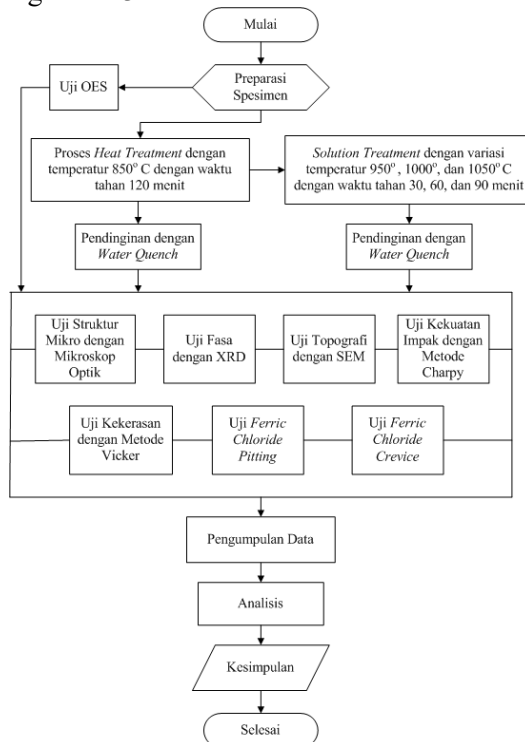


Gambar 2.24 Hasil uji impak charpy pada baja perlakuan panas 875° C (kadar sigma tinggi), 975° (kadar sigma rendah) dan AI

# BAB III METODOLOGI

## 3.1 Diagram Alir

Dalam penelitian ini, dilakukan proses *solution annealing* pada spesimen Duplex S329 dengan variasi temperatur 950°, 1000°, dan 1050°C dan variasi waktu tahan 30, 60, dan 90 menit. Pengaruh variasi ini selanjutnya dilakukan beberapa pengujian yaitu uji XRD, uji SEM, uji metalografi, uji kekerasan, uji kekuatan impak., dan uji korosi. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



## BAB III METODOLOGI

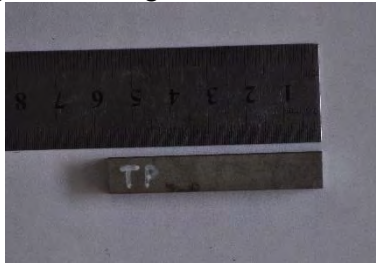
---

### 3.2 Bahan Penelitian

#### 1. Baja Tahan Karat Duplex S329

Spesimen yang digunakan merupakan Duplex S329 berbentuk plat dengan dimensi panjang, lebar, dan tebal yaitu 400, 100, dan 10 mm.

Spesimen ini dibentuk sesuai dengan pengujian yang dilakukan. Untuk uji impak dibutuhkan dimensi 55 x 10 x 10 mm dan uji korosi dengan dimensi 50 x 25 mm.



Gambar 3.2 Spesimen uji impak



Gambar 3.3 Spesimen uji korosi *pitting* dan *crevice*

#### 2. Elektrolit

Pada penelitian ini larutan elektronik yang digunakan untuk uji korosi adalah larutan  $\text{FeCl}_3$  sesuai dengan prosedur ASTM G-48 metode A dan B



3. Larutan etsa glyceresia  
Larutan etsa yang digunakan sesuai dengan ASTM E407 adalah glyceresia yaitu  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ , dan glycerol
4. Methanol
5. Resin
6. Katalis

### 3.3 Alat-alat Penelitian

1. *Cutting tool*
2. Gelas beaker 1 L
3. Gelas ukur
4. Ember
5. Penggaris
6. Benang nylon
7. Kawat
8. Pipa Sok
9. Kertas saring
10. Timbangan Digital
11. Autosol
12. Kamera
13. Kertas Amplas (grade 80,120, 240, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1500, 2000)
14. Silinder penahan (terbuat dari TFE-floucarbon)
15. Karet
16. Penjepit Logam
17. *Muffle furnace*
18. Heater
19. Kompor listrik
20. Termometer
21. Mikroskop optik
22. Alat uji EOS
23. Alat uji SEM
24. Alat uji XRD
25. Alat uji kekerasan Vicker
26. Alat uji kekuatan impak



## BAB III METODOLOGI

---

### 27. Alat uji komposisi

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Preparasi spesimen

Preparasi spesimen meliputi pemotongan plat disesuaikan dengan pengujian yang dilakukan. Untuk pengujian impak, dimensi spesimen berdasarkan ASTM A370 yaitu 55 x 10 x 10 mm dengan takikan 2 mm V notch. Dimensi spesimen untuk uji korosi yaitu 50 x 25 berdasarkan ASTM G48.

#### 3.4.2 Preparasi Larutan

Pada penelitian ini larutan elektrolit yang digunakan adalah  $\text{FeCl}_3$  sesuai dengan ASTM G48 metode A dan B. Berikut cara pembuatan larutan:

1. Dilakukan pencampuran 100 gr serbuk  $\text{FeCl}_3$  100 gr ke dalam 900 ml aquades dan diaduk hingga rata.
2. Larutan didiamkan hingga endapannya berada di dasar gelas baker.
3. Larutan disaring dengan menggunakan kertas saring.

#### 3.4.3 Preparasi Pengujian

##### a) Pengujian Optical Emission Spectroscopy (OES)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya menggunakan alat Foundry-Master Pro.

1. Spesimen dipotong menggunakan cutting tool dengan ukuran 4 x 4 cm.
2. Permukaan spesimen yang akan diuji diratakan.
3. Spesimen diletakkan ke alat Foundry-Master Pro.
4. Pengujian dilakukan.
5. Data hasil pengujian didapatkan berupa persentase kadar unsur.



### **b) Pegujian Metalografi**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari material yang telah diberi variasi perlakuan. Setiap spesimen kontrol dan spesimen dengan perlakuan akan dipotong dengan dimensi yang secukupnya,

1. Spesimen dipotong menggunakan cutting tool
2. Spesimen yang telah dipotong akan di-Monting menggunakan campuran resin dan katalis dengan perbandingan tertentu.
3. Permukaan spesimen yang diamati lalu di haluskan dengan amplas (grade 80,120, 240, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1500, 2000)
4. Permukaan yang telah diamplas lalu dipolish menggunakan alumina hingga tampak seperti cermin
5. Dilakukan proses etsa menggunakan glyceresia dengan waktu celup beberapa menit lalu dibilas dengan air agar tidak terjadi korosi berlebihan.

### **c) Pengujian SEM dan XRD**

Pengujian SEM ini bertujuan untuk melihat dan mengamati topografi permukaan material. Alat yang digunakan merupakan tipe FEI INSPECT S50 yang ada di Laboratorium Karakterisasi Material Teknik Material dan Metalurgi ITS. Tahapan persiapan spesimen pengujian SEM dan pengujian metalografi tidaklah jauh berbeda

Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk setelah dilakukan variasi perlakuan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Material dan Metalurgi ITS. Adapun tahapan sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji menggunakan grinda dengan ketebalan yaitu 5 mm
2. Permukaan yang akan diamati akan diratakan terlebih dahulu menggunakan alat amplas
3. Dilakukan pengujian



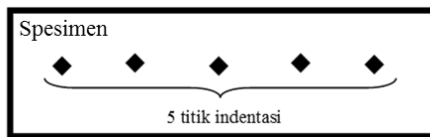
## BAB III METODOLOGI

---

### d) Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan sebuah material terhadap indentasi dan goresan. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan ASTM E92 dengan menggunakan metode vicker. Alat yang digunakan adalah *Universal Hardness Tester* HBRV-187.5A (lihat gambar 3.5) di Laboratorium Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen maka dilakukan indentasi di 5 titik sampel. Berikut prosedur pengujian kekerasan adalah :

1. Meratakan permukaan spesimen dengan menggunakan amplas.
2. Meletakkan benda uji pada holder. Mengatur indenter yang akan digunakan untuk mengindentasi.
3. Mengatur beban yang akan diberikan (60 kg) dan waktu pembebanan selama 10 s.
4. Memulai indentasi pada benda uji. Mengindentasi benda uji sebanyak 5 titik seperti pada Gambar 3.4.

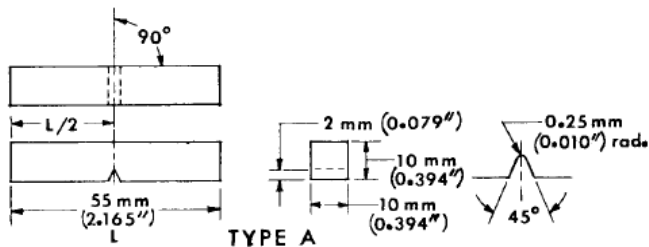


Gambar 3.4 Pola indentasi pengujian kekerasan

5. Dilakukan pengamatan untuk mengukur diagonal hasil indentasi dan menentukan nilai kekerasannya dari masing-masing benda uji.



Gambar 3.5 Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A



Gambar 3.6 Dimensi spesimen uji impact berdasarkan ASTM E23

#### e) Pengujian Impak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketangguhan dari suatu material dengan memberikan beban secara cepat. Pada penelitian ini, uji impact yang dilakukan berdasarkan ASTM E23 dengan menggunakan metode charpy dan dilakukan di Laboratorium Konstruksi Teknik Perkapalan ITS. Adapun tahapan dalam pengujian ini sebagai berikut:

1. Pemotongan dimensi dan pembuatan takik pada spesimen sesuai ASTM E23.
2. Mencatat temperatur ruang ada saat pengujian dilakukan
3. Pembuatan V-notch sesuai pada agambar 3.6.

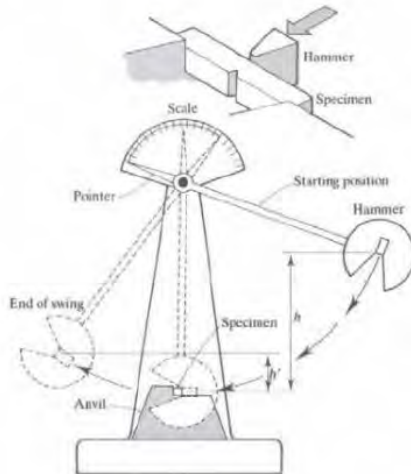




## BAB III METODOLOGI

---

4. Spesimen yang telah dipotong diletakkan pada alat uji impak dengan posisi mendatar sesuai pada gambar 3.7.
5. Spesimen lalu diberikan beban cepat melalui ayunan bandul lalu mencatat energi yang ditunjukkan pada indikator alat.



Gambar 3.7 Pengujian impak metode charpy

### f) Pengujian Korosi *Pitting*

Pengujian korosi *pitting* bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material terhadap ketahanan korosi *pitting*. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM G48 metode A. Adapun prosedur sebagai berikut:

1. Dilakukan pemotongan spesimen dengan ukuran 50 x 25 mm sebanyak 6 potong.
2. Permukaan spesimen diratakan dengan menggunakan amplas (grade 40, 80, 120, 240, 320, 600, 800, 1000) dan melakukan polishing.
3. Luas permukaan spesimen yang terekspos larutan  $\text{FeCl}_3$  diukur.
4. Spesimen ditimbang hingga ketelitian 0.001 gr atau lebih.



5. Larutan  $\text{FeCl}_3$  600ml dituangkan ke dalam gelas beaker.
6. Menjaga temperatur larutan  $\text{FeCl}_3$  pada temperatur yang digunakan pada penelitian ini yaitu  $22^\circ \pm 2^\circ$  dan  $50^\circ \pm 2^\circ$ .
7. Pada saat temperatur larutan telah stabil, spesimen dimasukkan ke dalam larutan dengan cara menggantungnya menggunakan benang nylon seperti pada gambar 3.7 dan direndam selama 72 jam.



Gambar 3.8 Pemasangan benang nylon pada spesimen uji korosi *pitting*

8. Setelah waktu perendaman selesai, spesimen diambil lalu dibersihkan dari produk korosi dengan menggunakan larutan methanol. Dikatakan telah terjadi *pitting* jika terjadi *pitting* pada permukaan. *Pitting* dibagian tepi spesimen diabaikan.
9. Spesimen yang telah direndam tadi kemudian ditimbang. Indikasi terjadinya korosi *pitting* yaitu jika terjadi laju kehilangan massa  $0.0001 \text{ gr/cm}^2$  maka dibutuhkan pengujian visual.



## BAB III METODOLOGI

---

10. Pengambilan gambar morfologi permukaan spesimen sebelum dan sesudah pengujian.

### g) Pengujian Korosi *Crevice*

Pengujian korosi *pitting* bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material terhadap ketahanan korosi *crevice*. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM G48 metode B. Adapun prosedur sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen dengan dimensi 50 x 25 mm.
2. Permukaan spesimen dihaluskan dengan menggunakan amplas (grade 40, 80, 120, 240, 320, 600, 800, 1000) dan melakukan polishing.
3. Dilakukan pengukuran luas permukaan spesimen yang terekspos larutan  $\text{FeCl}_3$ .
4. Spesimen ditimbang hingga ketelitian 0.001 gr atau lebih.
5. Penambahkan 150 ml larutan  $\text{FeCl}_3$  ke dalam gelas beaker.
6. Temperatur larutan  $\text{FeCl}_3$  dijaga pada temperatur yang digunakan pada penelitian ini yaitu  $22^\circ \pm 2^\circ$  dan  $50^\circ \pm 2^\circ$  C.
7. Pembentukan silinder penahan dengan diameter 10 mm lalu memasangnya di kedua sisi spesimen menggunakan karet seperti pada gambar 3.7.
8. Pada saat temperatur larutan telah stabil, spesimen dimasukkan ke dalam larutan dan direndam selama 72 jam.
9. Setelah waktu perendaman selesai spesimen diambil lalu melepaskan silinder penahan dan karet.
10. Spesimen dibersihkan dari produk korosi dengan menggunakan larutan methanol. Dikatakan telah terjadi *pitting* jika terjadi *pitting* pada permukaan.
11. Dilakukan penimbangan spesimen yang telah direndam tadi. Indikasi terjadinya korosi *pitting* yaitu jika terjadi laju kehilangan massa  $0.0001 \text{ gr/cm}^2$  maka dibutuhkan pengujian visual.
12. Pengambilan gambar morfologi permukaan spesimen sebelum dan sesudah pengujian.



Gambar 3.9 Pemasangan TFE-fluorocarbon pada spesimen uji

Adapun rancangan pengujian yang akan dilakukan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Rancangan pengujian spesimen kontrol

Variabel	Pengujian							
	Uji EOS	Uji struktur mikro	Uji SEM	Uji XRD	Uji kekerasan	Uji Kekuatan Impak	Uji Korosi Pitting	Uji Korosi Crevice
Tanpa perlakuan panas	V	V	V	V	V	V	V	V
Proses <i>Heat Treatment</i> dengan temperatur 850°C dan waktu tahan 120 menit	-	V	V	V	V	V	V	V



## BAB III METODOLOGI

Tabel 3.2 Rancangan pengujian sampel

Pengujian	Variabel			
	Temperatur	Waktu Tahan ( <i>menit</i> )		
	<i>Solution Treatment (°C)</i>	30	60	90
Uji Strukturmikro	950	V	V	V
	1000	V	V	V
	1050	V	V	V
Uji SEM	950	V	V	V
	1000	V	V	V
	1050	V	V	V
Uji XRD	950	V	V	V
	1000	V	V	V
	1050	V	V	V
Uji kekerasan	950	V	V	V
	1000	V	V	V
	1050	V	V	V
Uji impak	950	V	V	V
	1000	V	V	V
	1050	V	V	V
Uji Korosi Pitting	1050			V
Uji Korosi Crevice				V

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Spesimen Duplex S329 Tanpa Perlakuan

#### 4.1.1 Hasil uji OES

Hasil uji komposisi dari spesimen yang diteliti dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil uji OES

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Pb
%	0.0862	0.315	0.879	0.0198	< 0.005	27	3.62	7.33	< 0.005
Unsur	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Fe	
%	0.0196	0.0269	0.146	0.0296	0.0068	0.0589	0.0153	60.3	

Tabel 4.2 Komposisi kimia Duplex S329 berdasarkan ASTM  
A240

Unsur	C	N	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Cu	W	P	S
%	0.08	...	23.00- 28.00	2.5- 5.0	1.0- 2.0	1	0.75	...	...	0.04	0.03

Setelah diketahui komposisi unsur dari spesimen yang diteliti, kemudian membandingkan dengan tabel komposisi baja tahan karat duplex berdasarkan ASTM A240 pada tabel 4.2. Hasil perbandingan data, terutama untuk unsur-unsur seperti karbon, kromium, lalu nikel, menunjukkan bahwa jenis spesimen yang digunakan adalah Baja Tahan Karat Duplex tipe S329.

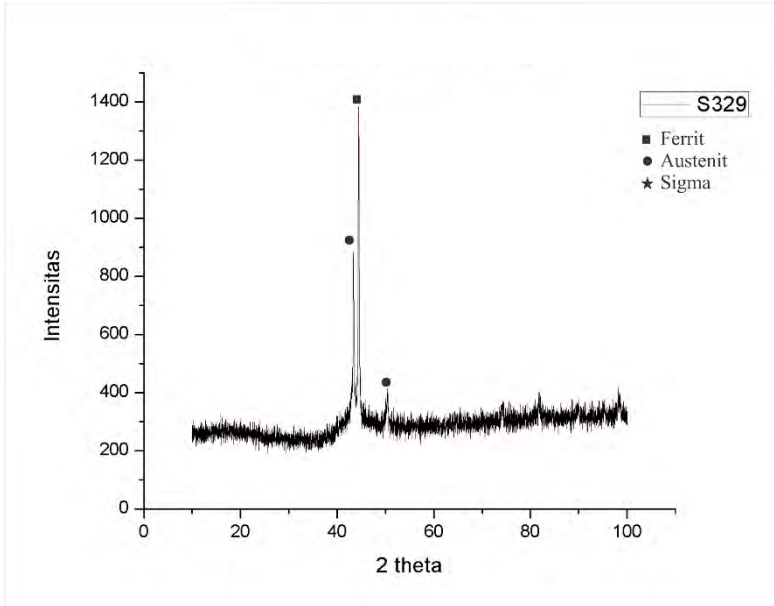
#### 4.1.2 Hasil Uji XRD

Grafik hasil XRD Duplex S329 tanpa perlakuan ditunjukkan pada gambar 4.1. Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 01-085-1410 yang



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

menunjukkan fasa ferrit dan 01-089-4185 yang menunjukkan fasa austenit.



Gambar 4.1 Hasil uji XRD pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan

*Peak* tertinggi pertama merupakan milik fasa ferrit yang terletak pada 2theta 44.409 dengan *peak height* 858 cts dan *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa austenit pada 2theta 43.312 dengan *peak height* 425 cts. Pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan ini tidak ditemukan adanya fasa sigma..

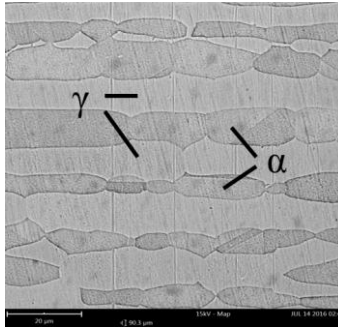
### 4.1.3 Hasil Uji SEM

Pada pengujian ini, fasa ferrit ditunjukkan dengan warna hitam atau gelap. Fasa austenit ditunjukkan dengan warna yang terang dan fasa sigma sendiri memiliki ciri-ciri terlihat lebih terang



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

dibandingkan fasa ferrit dan austenit. Selain itu, fasa austenit sekunder juga terlihat melalui pengujian ini.



Gambar 4.2 Hasil uji SEM BSE pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan (pembesaran 3000x)

Hasil uji SEM untuk spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.2. Pengujian menggunakan pembesaran 3000x. Berdasarkan gambar tersebut diketahui spesimen ini terdiri atas austenit ( $\gamma$ ) yang ditunjukkan dengan daerah putih atau cerah, dan fasa ferrit ( $\alpha$ ) yang ditunjukkan dengan daerah hitam atau gelap. Fasa ferrit dan austenit terlihat memiliki bentuk butir yang memanjang dan tersusun secara bergantian.

### 4.1.4 Hasil Uji Metalografi

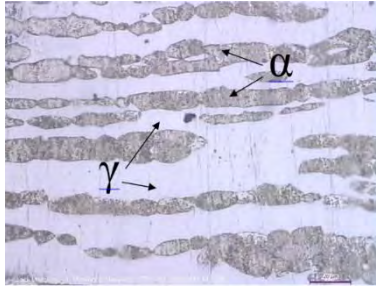
Pengujian ini menggunakan larutan etsa glyceresia agar dapat mengidentifikasi keberadaan fasa sigma. Dengan menggunakan etsa ini, fasa sigma ditunjukkan melalui daerah yang lebih terang dibandingkan dengan fasa ferrit maupun austenit. Selain itu, fasa ini lebih mudah terbentuk pada daerah ferrit sehingga keberadaan fasa sigma dapat diindikasikan berada pada daerah ferrit.

Hasil pengujian metalografi pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan ditunjukkan pada gambar 4.3.





## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.3 Hasil uji metalografi pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan (pembesaran 500x)

Pada gambar 4.3 menunjukkan struktur mikro spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan terdiri dari ferrit dan austenit. Daerah ferrit ( $\alpha$ ) ditunjukkan dengan daerah yang berwarna hitam atau gelap dan daerah austenit ( $\gamma$ ) ditunjukkan dengan daerah yang berwarna putih atau lebih terang. Hasil uji metalografi menunjukkan ferrit dan austenit memiliki butir berbentuk memanjang.

### 4.1.5 Hasil Uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian kekerasan spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan

No	Perlakuan	Waktu Tahan (Menit)	Kekerasan (HVN)
1.	TP		291

### 4.1.6 Hasil Uji Impak

Hasil pengujian kekuatan impak pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan dapat dilihat pada tabel 4.4.



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Tabel 4.4 Hasil pengujian kekuatan impak spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan

No	Perlakuan	Waktu Tahan (Menit)	Kekuatan Impak (J/mm <sup>2</sup> )
1.	TP		1.70

### 4.1.7 Hasil Uji Korosi *Pitting*

Pengujian pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan menunjukkan laju perubahan massa kurang dari 0.0001 gr/cm<sup>2</sup> (tabel 4.5) maka diindikasikan tidak terjadi korosi *pitting*. Selain itu pada pengamatan visual menggunakan mikroskop (gambar 4.4 dan 4.5) menunjukkan tidak adanya tanda-tanda terlihat *pitting*.

Tabel 4.5 Massa hilang pada uji korosi *pitting* spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan

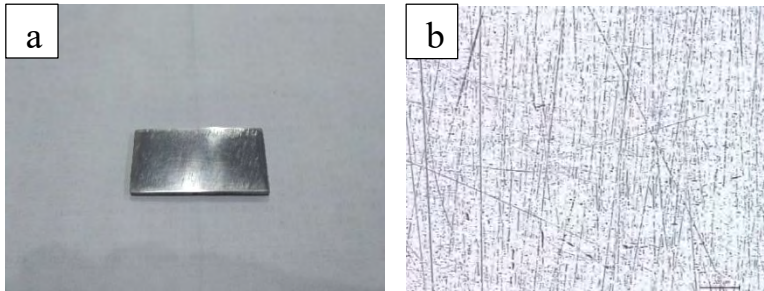
Temperatur	Perlakuan	Luas (cm <sup>2</sup> )	Massa (gr)		Laju kehilangan Massa (gr/cm <sup>2</sup> )		Massa Hilang
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	
22°	Tanpa Perlakuan	29.5	28.9297	28.9292	0.9807	0.9807	0.0000
50°	Tanpa Perlakuan	29.88	33.7218	33.7198	1.1288	1.1287	0.0001

Berdasarkan hasil uji korosi *pitting* menunjukkan bahwa spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan tidak terjadi korosi *pitting*.

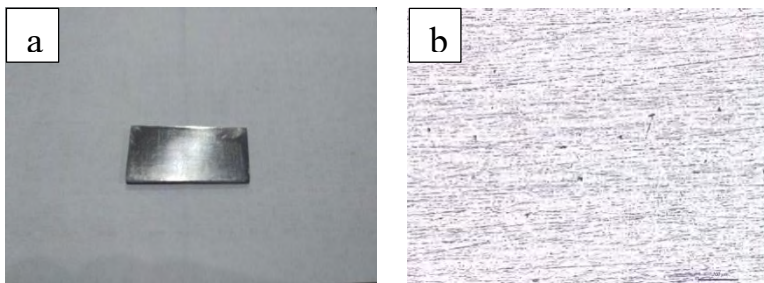
Ini dibuktikan dengan laju kehilangan massa kurang dari 0.0001 gr/cm<sup>2</sup> dan pengamatan visual yang tidak menunjukkan adanya korosi *pitting*.



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.4 Hasil foto makro uji korosi *pitting* spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan pada temperatur 22° C (a) sebelum dan (b) sesudah (perbesaran 50x)



Gambar 4.5 Hasil foto makro uji korosi *pitting* spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan pada temperatur 50° C (a) sebelum dan (b) sesudah (perbesaran 50x)

### 4.1.8 Hasil Uji Korosi *Crevice*

Hasil pengujian ini menunjukkan laju perubahan massa lebih dari 0.0001 gr/cm<sup>2</sup> terjadi pada kedua temperatur (tabel 4.6). Selanjutnya dilakukan pengamatan secara visual yang menunjukkan spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan di temperatur 50° C menunjukkan *crevice* yang jelas. (gambar 4.6 dan gambar 4.7)

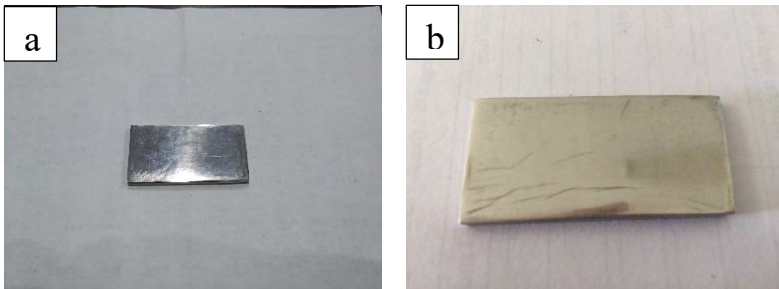


## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

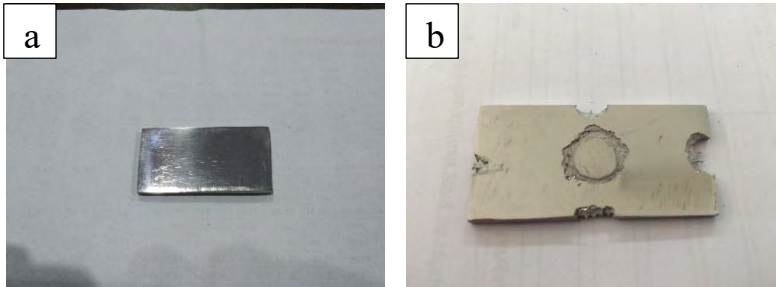
Tabel 4.6 Massa hilang pada uji korosi *crevice* spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan

Temperatur	Perlakuan	Luas (cm <sup>2</sup> )	Massa (gr)		Laju kehilangan Massa (gr/cm <sup>2</sup> )		Massa Hilang
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	
22°	Tanpa Perlakuan	31.11	33.7198	33.706	1.0839	1.0834	0.0004
50°	Tanpa Perlakuan	29.25	37.6572	26.3778	1.2876	0.9020	0.3857

Berdasarkan hasil uji korosi *crevice* menunjukkan spesimen Duplex S329 mengalami korosi *crevice* pada temperatur 50° C. hal ini dibuktikan dengan laju kehilangan massa lebih dari 0.0001 gr/cm<sup>2</sup> dan pemeriksaan secara visual.



Gambar 4.6 Hasil foto makro uji korosi *pitting* spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan pada temperatur 22° C (a) sebelum dan (b) sesudah



Gambar 4.7 Hasil foto makro uji korosi *crevice* spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan pada temperatur 50° C (a) sebelum dan (b) sesudah

#### 4.2 Sampel Duplex S329 perlakuan *Heat treatment* dengan temperatur 850° C dan waktu tahan 120 menit

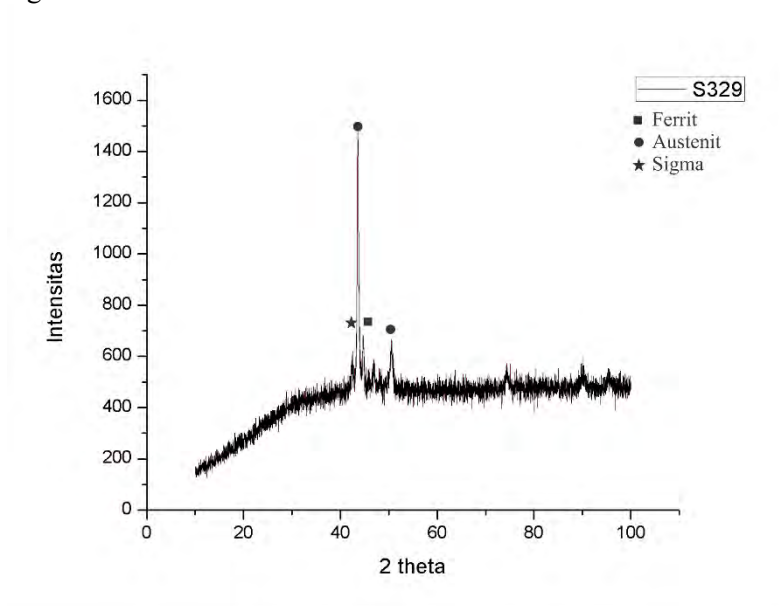
Untuk melihat perubahan fasa sigma yang terjadi pada penelitian ini, spesimen diberikan perlakuan *heat treatment* pada temperatur 850° C dengan waktu tahan 120 menit agar dapat memunculkan fasa sigma kemudian dilakukan pendinginan secara cepat menggunakan air. Fasa sigma terbentuk pada temperatur 600-1000° C. Berdasarkan penelitian terdahulu dan diagram TTT Baja Tahan Karat Duplex, laju tercepat presipitasi fasa sigma terjadi pada range temperatur 850°- 900° C.

##### 4.2.1 Hasil Uji XRD

Grafik hasilpengujian XRD Duplex S329 dengan perlakuan *heat treatment* 850° C selama 2 jam dapat dilihat pada gambar 4.8. Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 01-085-1410 yang menunjukkan fasa ferrit, 03-065-4150 yang menunjukkan fasa austenit, dan 00-005-0708 yang menunjukkan fasa sigma. *Peak* tertinggi pertama merupakan fasa austenit yang terletak pada 2theta 43.562 dengan *peak height* 768 cts, lalu *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa sigma pada 2theta 43.676 dengan *peak height* 384 cts. *Peak*



tertinggi ketiga merupakan fasa ferrit pada 2theta 44.664 dengan *peak height* 144 cts. Berdasarkan hasil pengujian XRD, spesimen Duplex S329 dengan perlakuan *heat treatment* mengandung fasa sigma.



Gambar 4.8 Hasil uji XRD pada spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* 850° dan waktu tahan 120 menit

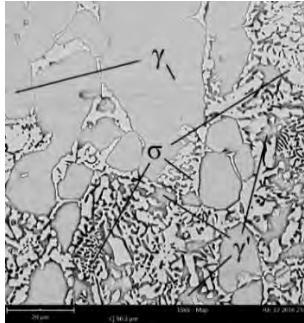
### 4.2.2 Hasil Uji SEM

Hasil pengujian SEM pada spesimen Duplex S329 dengan perlakuan *heat treatment* dapat dilihat pada gambar 4.9.

Pada gambar 4.9 menunjukkan fasa-fasa yang terbentuk yaitu fasa austenit ( $\gamma$ ) ditunjukkan dengan daerah yang berwarna cerah dan fasa sigma ( $\sigma$ ) ditunjukkan dengan daerah yang berwarna lebih cerah dibandingkan dengan fasa austenit. Selain itu daerah yang memiliki ciri-ciri seperti fasa austenit namun berada di daerah pembentukan fasa sigma diindikasikan merupakan fasa austenit sekunder ( $\gamma'$ ).



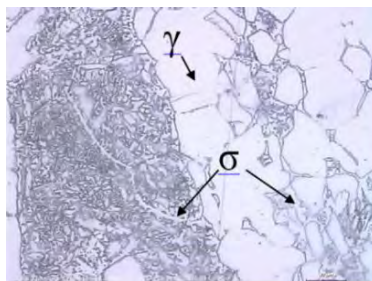
## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.9 Hasil uji SEM BSE pada spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* dengan temperatur  $850^{\circ}\text{C}$  dan waktu tahan 120 menit (pembesaran 3000x)

### 4.2.3 Hasil Uji Metalografi

Dari gambar 4.10 dapat diidentifikasi struktur mikro terdiri dari fasa sigma ( $\sigma$ ) dan austenit ( $\gamma$ ). Fasa austenit ( $\gamma$ ) ditunjukkan dengan daerah yang berwarna putih atau terang dan fasa sigma ( $\sigma$ ) ditunjukkan dengan daerah yang berwarna putih atau terang di daerah yang sebelumnya diindikasikan merupakan daerah fasa ferrit. Pada gambar memperlihatkan fasa sigma memiliki bentuk yang tidak teratur. Fasa ferrit terindikasikan masih ada namun dengan jumlah yang sedikit.



Gambar 4.10 Hasil uji metalografi pada spesimen Duplex S329 di-*heat treatment* dengan temperatur  $850^{\circ}\text{C}$  dan waktu tahan 120 menit (pembesaran 500x)



#### 4.2.4 Hasil Uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada spesimen Duplex S329 dengan perlakuan *heat treatment* 850° selama 120 menit dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengujian kekerasan spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* 850° C

No	Perlakuan	Waktu Tahan (Menit)	Kekerasan (HVN)
1	TP		291
2	<i>Heat treatment</i> 850° C	120 Menit	383.4

Dari tabel 4.7 menunjukkan adanya peningkatan kekerasan secara signifikan pada perlakuan *heat treatment* ini dibandingkan dengan spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan dari 291 HVN menjadi 383,4 HVN.

#### 4.2.5 Hasil Uji Impak

Hasil pengujian kekuatan impak pada spesimen Duplex S329 yang telah diberi perlakuan *heat treatment* 850° C selama 120 menit dapat dilihat pada tabel 4.8.

Hasil pengujian menunjukkan spesimen *heat treatment* mengalami penurunan kekuatan impak yang sangat signifikan dibandingkan dengan spesimen dengan tanpa perlakuan.

Tabel 4.8 Hasil pengujian kekuatan impak spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* 850° C

No	Perlakuan	Waktu Tahan (Menit)	Kekuatan Impak (J/mm <sup>2</sup> )
1	TP		1.70
2	<i>Heat treatment</i> 850° C	120 Menit	0.04





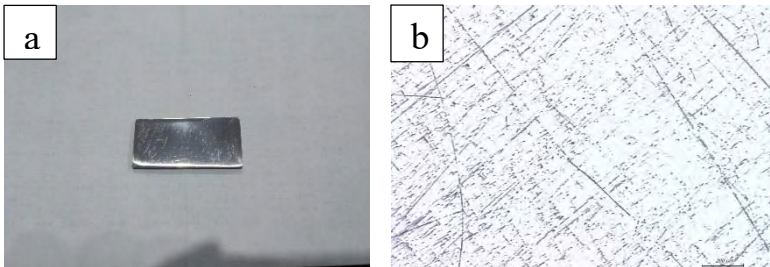
## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.2.6 Hasil Uji Korosi *Pitting*.

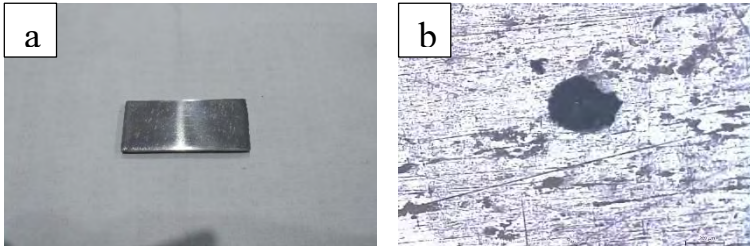
Hasil penelitian menunjukkan laju perubahan massa lebih dari  $0.0001 \text{ gr/cm}^2$  terjadi pada kedua temperatur (tabel 4.9). Selanjutnya dilakukan pengamatan secara visual menggunakan mikroskop yang menunjukkan spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment*  $850^\circ \text{ C}$  selama 120 menit pada temperatur  $50^\circ \text{ C}$  menunjukkan adanya *pitting* sedangkan pada temperatur  $20^\circ \text{ C}$  tidak menunjukkan adanya *pitting*. (gambar 4.11 dan gambar 4.12)

Tabel 4.9 Massa hilang pada uji korosi *pitting* spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment*

Temperatur	Perlakuan	Luas ( $\text{cm}^2$ )	Massa (gr)		Laju kehilangan Massa ( $\text{gr/cm}^2$ )		Massa Hilang
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	
$22^\circ$	Tanpa Perlakuan	29.5	28.9297	28.9292	0.9807	0.9807	0.0000
	Heat Treatment	32.68	39.0126	38.9494	1.1938	1.1918	0.0019
$50^\circ$	Tanpa Perlakuan	29.88	33.7218	33.7198	1.1288	1.1287	0.0001
	Heat Treatment	32.01195	34.2309	30.7289	1.0693	0.9599	0.1094



Gambar 4.11 Hasil foto makro uji korosi *pitting* spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* pada temperatur  $22^\circ \text{ C}$  (a) sebelum dan (b) sesudah (perbesaran 50x)



Gambar 4.12 Hasil foto makro uji korosi *pitting* spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* pada temperatur 50° C  
(a) sebelum dan (b) sesudah (perbesaran 50x)

Berdasarkan hasil uji korosi *pitting* yang dilakukan menunjukkan Duplex S329 perlakuan *heat treatment* mengalami korosi *pitting* pada temperatur 50° C.

#### 4.2.7 Hasil Uji Korosi *Crevice*

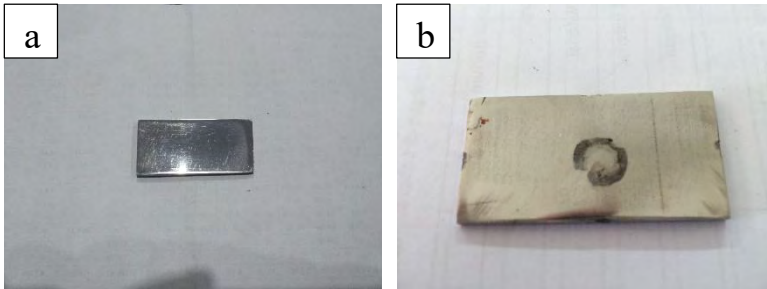
Hasil penelitian menunjukkan laju perubahan massa lebih dari 0.0001 gr/cm<sup>2</sup> terjadi pada kedua temperatur (lihat tabel 4.9). Selanjutnya dilakukan pengamatan secara visual yang menunjukkan spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* 850° C selama 120 menit di temperatur 20° dan 50° C menunjukkan adanya *crevice*. (gambar 4.13 dan gambar 4.14)

Tabel 4.10 Massa hilang pada uji korosi *crevice* spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment*

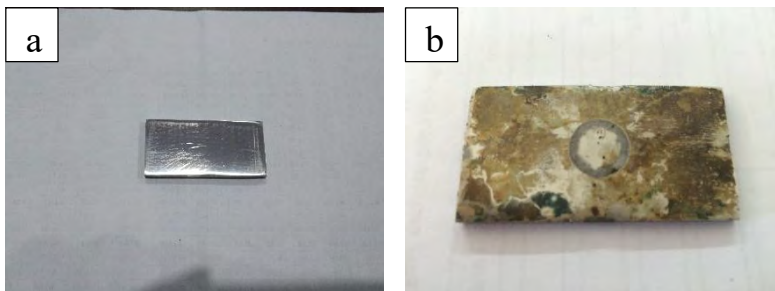
Temperatur	Perlakuan	Luas (cm <sup>2</sup> )	Massa (gr)		Laju kehilangan Massa (gr/cm <sup>2</sup> )		Massa Hilang
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	
22°	Tanpa Perlakuan	31.11	33.7198	33.706	1.0839	1.0834	0.0004
	Heat Treatment	30.6	31.2522	30.725	1.0213	1.0041	0.0172
50°	Tanpa Perlakuan	29.25	37.6572	26.3778	1.2876	0.9020	0.3857
	Heat Treatment	31.68	35.4295	32.1281	1.1184	1.0141	0.1042



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.13 Hasil foto makro uji korosi *crevice* spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* pada temperatur 22° C  
(a) sebelum dan (b) sesudah



Gambar 4.14 Hasil foto makro uji korosi *crevice* spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* pada temperatur 50° C  
(a) sebelum dan (b) sesudah

Berdasarkan hasil uji *crevice* yang telah dilakukan menunjukkan terjadi korosi *crevice* pada spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* pada kedua temperatur.

### 4.3 Spesimen Duplex S329 perlakuan *Solution treatment*

Setelah membentuk fasa sigma dengan perlakuan *heat treatment* 850° selama 120 menit. Fasa sigma yang terbentuk akan dihilangkan melalui perlakuan *solution treatment* dengan variasi temperatur dan waktu tahan. Selanjutnya akan diamati pengaruh



terhadap sifat mekanik dan korosi. Variasi temperatur *solution treatment* yaitu 950° , 1000°, dan 1050° C dengan setiap variasi menggunakan waktu tahan 30, 60, dan 90 menit.

### 4.3.1 Hasil Uji XRD

Pada spesimen duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* pada temperatur 950° dengan variasi waktu tahan 30, 60, dan 90 menit dapat dilihat pada gambar 4.15.

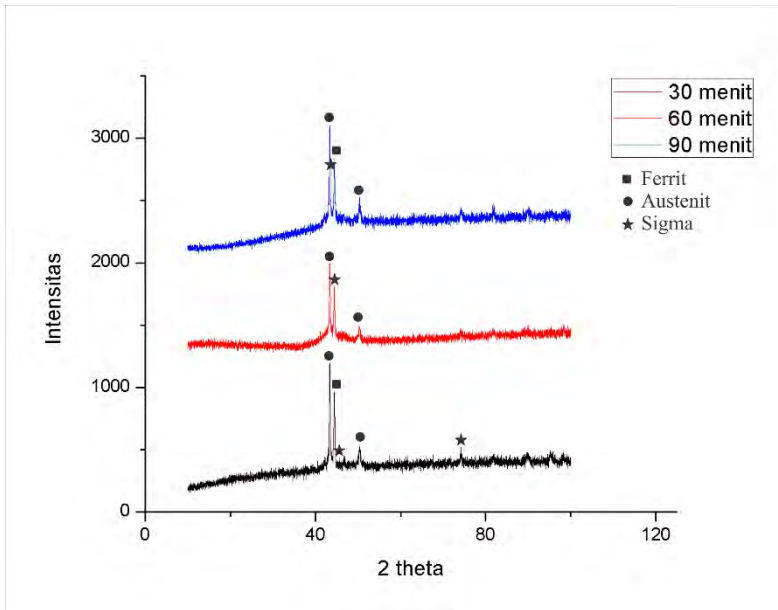
Gambar 4.15 menunjukkan grafik hasil XRD Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 950° C selama 30 menit yang digambarkan dengan grafik berwarna hitam. Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 01-085-1410 yang menunjukkan fasa ferrit, 01-089-4185 yang menunjukkan fasa austenit, dan 00-009-0290 menunjukkan fasa sigma. *Peak* tertinggi pertama merupakan milik fasa austenit yang terletak pada 2theta 43.337 dengan *peak height* 645 cts dan *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa ferrit pada 2theta 44.401 dengan *peak height* 410 cts. Pada 2theta 45.54 dengan *peak height* 20 cts menunjukkan fasa sigma. Pada hasil XRD ini menunjukkan adanya fasa sigma.

Grafik hasil XRD Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 950° C selama 60 menit dapat diamati dengan grafik berwarna merah pada gambar 4.15. Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 01-089-4185 yang menunjukkan fasa austenit dan 03-065-9117 yang menunjukkan fasa sigma. *Peak* tertinggi pertama merupakan milik fasa austenit yang terletak pada 2theta 43.316 dengan *peak height* 450 cts dan *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa sigma pada 2theta 44.388 dengan *peak height* 293 cts. Pada hasil XRD tidak ditemukan fasa ferrit.

Grafik berwarna biru menunjukkan grafik hasil XRD Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 950° C selama 90 menit pada gambar 4.15.



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.15 Hasil uji XRD spesimen Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 950° selama 30, 60, dan 90 menit.

Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 00-052-0513 yang menunjukkan fasa austenit, 03-065-4899 yang menunjukkan fasa ferrit, dan 03-065-9117 menunjukkan fasa sigma. *Peak* tertinggi pertama merupakan milik fasa ferrit yang terletak pada 2theta 43.325 dengan *peak height* 545 cts dan *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa ferrit pada 2theta 44.416 dengan *peak height* 336 cts. Fasa sigma terletak pada 2theta 44.532 dengan *peak height* 168 cts. Dari hasil pengujian ini menunjukkan adanya fasa sigma.

Untuk variasi temperatur *solution treatment* 1000° C dapat dilihat pada gambar 4.16. Grafik berwarna hitam pada gambar 4.16 menunjukkan grafik hasil XRD Duplex S329 dengan perlakuan



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

---

*solution treatment* 1000° C selama 30 menit. Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 01-085-1410 yang menunjukkan fasa austenit dan 00-052-0513 yang menunjukkan fasa ferrit. *Peak* tertinggi pertama merupakan milik fasa ferrit yang terletak pada 2theta 44.358 dengan *peak height* 413 cts dan *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa austenit pada 2theta 43.262 dengan *peak height* 367 cts. Pada hasil pengujian ini tidak ditemukan adanya fasa sigma.

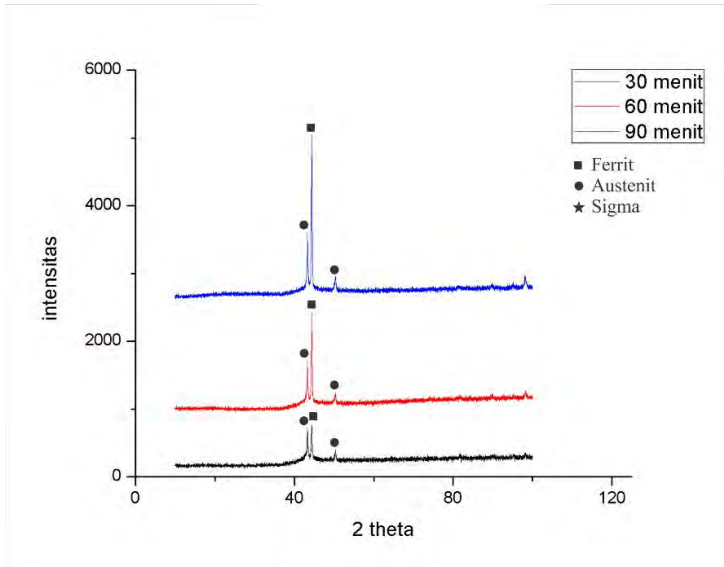
Pada gambar 4.16 dengan grafik berwarna merah menunjukkan grafik hasil XRD Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 1000° C selama 60 menit. Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 01-071-4407 yang menunjukkan fasa austenit dan 01-085-1410 yang menunjukkan fasa ferrit.

*Peak* tertinggi pertama merupakan milik fasa austenit yang terletak pada 2theta 44.3732 dengan *peak height* 1250.71 cts dan *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa ferrit pada 2theta 43.2837 dengan *peak height* 563.49 cts. Pada hasil pengujian ini tidak ditemukan fasa sigma.

Grafik berwarna biru menunjukkan grafik hasil XRD Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 1000° C selama 90 menit ada gambar 4.16. Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 01-085-1410 yang menunjukkan fasa ferrit dan 03-065-9094 yang menunjukkan fasa austenit. *Peak* tertinggi pertama merupakan milik fasa ferrit yang terletak pada 2 theta 44.3574 dengan *peak height* 1819 cts dan *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa austenit pada 2theta 43.286 dengan *peak height* 631 cts. Pada hasil pngujian ini tidak ditemukan fasa sigma. Dari ketiga variasi waktu tahan spesimen Duplex S329 perlakuan *solution treatment* 1000° C tidak ditemukan adanya fasa sigma. Dan yang terakhir Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 1050° dengan waktu tahan 30, 60, dan 90 menit dapat dilihat pada gambar 4.17.



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.16 Hasil uji XRD spesimen Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 1000° selama 30, 60, dan 90 menit.

Grafik berwarna hitam menunjukkan grafik hasil XRD Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 1050° C selama 30 menit pada gambar 4.17. Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 01-085-1410 yang menunjukkan fasa ferrit dan 03-065-9094 yang menunjukkan fasa austenit. *Peak* tertinggi pertama merupakan milik fasa ferrit yang terletak pada 2 theta 44.476 dengan *peak height* 711 cts dan *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa austenit pada 2theta 43.398 dengan *peak height* 361 cts. Hasil pengujian ini tidak ditemukan fasa sigma.

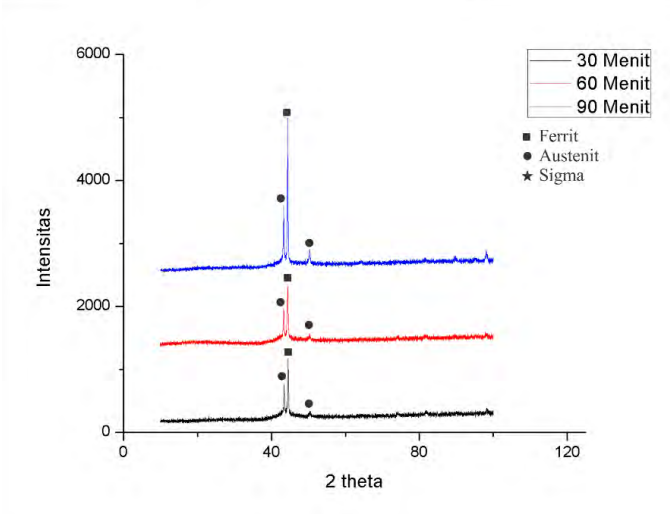
Grafik hasil XRD Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 1050° C selama 60 menit ditunjukkan dengan grafik berwarna merah pada gambar 4.17. Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 01-085-1410 yang menunjukkan fasa ferrit dan 01-089-4185 yang menunjukkan fasa austenit. *Peak* tertinggi pertama



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

merupakan milik fasa ferrit yang terletak pada 2 theta 44.359 dengan *peak height* 692 cts dan *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa austenit pada 2theta 43.284 dengan *peak height* 377 cts. Hasil pengujian ini tidak ditemukan fasa sigma.

Gambar 4.17 menunjukkan grafik hasil XRD Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 1050° C selama 90 menit dengan grafik berwarna biru. Dari hasil analisis menunjukkan adanya kecocokan antara hasil XRD dengan kartu PDF 01-085-1410 yang menunjukkan fasa ferrit dan 03-065-4150 yang menunjukkan fasa austenit. *Peak* tertinggi pertama merupakan milik fasa ferrit yang terletak pada 2 theta 44.3519 dengan *peak height* 1898 cts dan *peak* tertinggi kedua merupakan milik fasa austenit pada 2theta 43.263 dengan *peak height* 678 cts. Hasil XRD emnunjukkantidak ditemukan fasa sigma. Berdasarkan hasil pengujian XRD temperatur *solution treatment* 1050° C dengan seluruh variasi waktu tahan menunjukkan tidak adanya fasa sigma.



Gambar 4.17 Hasil uji XRD spesimen Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 1050° selama 30, 60, dan 90 menit





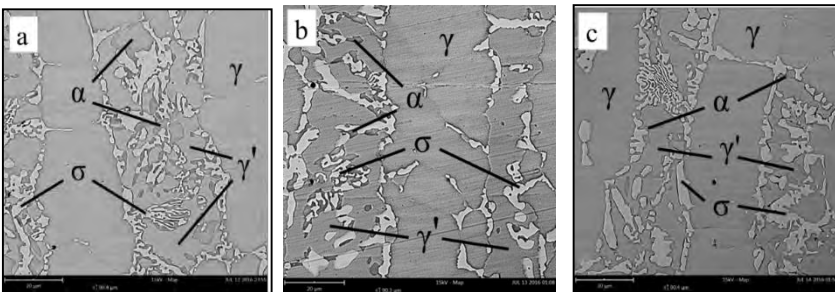
## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.3.2 Hasil Uji SEM

Gambar hasil pengujian SEM pada spesimen Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment*  $950^{\circ}\text{C}$ , dengan pembesaran sampai 3000x, dapat dilihat pada gambar 4.19.

Hasil uji SEM spesimen Duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment*  $950^{\circ}\text{C}$  dengan waktu tahan 30 menit ditunjukkan pada gambar 4.18a. Gambar menunjukkan spesimen terdiri atas fasa ferrit ( $\alpha$ ) yang ditunjukkan dengan daerah berwarna gelap, fasa austenit ( $\gamma$ ) ditunjukkan dengan daerah berwarna cerah, dan fasa sigma ( $\sigma$ ) terlihat berwarna lebih cerah dibandingkan dengan fasa lain. Selain itu terdapat fasa austenit sekunder ( $\gamma'$ ) yang memiliki ciri-ciri seperti austenit. Austenit sekunder berada didaerah antara fasa ferrit dan sigma.

Fasa-fasa yang sama juga ditunjukkan pada hasil pengujian dengan waktu tahan 60 menit (Gambar 4.18b) dan 90 menit (Gambar 4.18c).

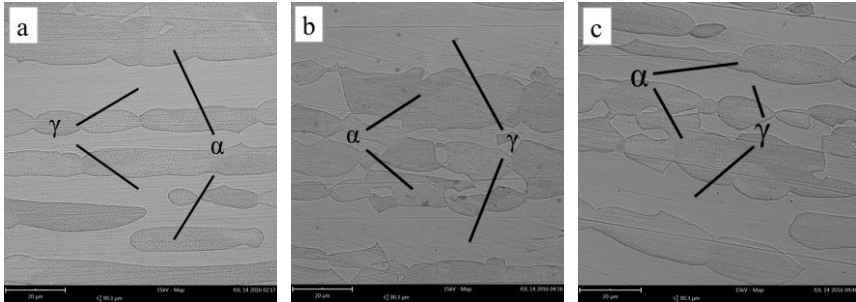


Gambar 4.18 Hasil uji SEM BSE pada spesimen *heat treatment* dengan temperatur  $950^{\circ}\text{C}$  dan waktu tahan (a) 30, (b) 60, (c) 90 menit (pembesaran 3000x)

Pada variasi temperatur *solution treatment* yang selanjutnya menggunakan temperatur  $1000^{\circ}\text{C}$  dengan variasi 30, 60, dan 90 menit. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.19. Pengujian ini dilakukan pada pembesaran 3000x.



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.19 Hasil uji SEM BSE pada spesimen *heat treatment* dengan temperatur  $1000^{\circ}\text{C}$  dan waktu tahan (a) 30, (b) 60, (c) 90 menit (pembesaran 3000x)

Hasil uji SEM spesimen dengan waktu tahan 30 menit ditunjukkan pada gambar 4.19a. Hasil pengujian menunjukkan spesimen terdiri dari fasa ferrit ( $\alpha$ ) dan austenit ( $\gamma$ ). Selain itu, hasil pengujian menunjukkan tidak ada fasa sigma. Hal ini menandakan fasa sigma telah larut keseluruhan. Pada gambar 4.19 fasa ferrit ditunjukkan dengan daerah yang berwarna gelap. Fasa austenit ditunjukkan dengan daerah yang berwarna terang. Pengujian dengan waktu tahan 60 menit (gambar 4.19b) dan 90 menit (gambar 4.19c) juga menunjukkan fasa-fasa yang sama. Berdasarkan hasil pengujian ini maka dapat diketahui bahwa fasa sigma telah hilang pada perlakuan *solution treatment*  $1000^{\circ}\text{C}$  untuk seluruh variasi waktu tahan.

Pada variasi temperatur *solution treatment* yang terakhir menggunakan temperatur  $1050^{\circ}\text{C}$  dengan variasi waktu tahan yang sama. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.20.

Hasil uji SEM spesimen dengan waktu tahan 30 menit ditunjukkan pada gambar 4.20a. Hasil pengujian menunjukkan spesimen terdiri dari fasa ferrit ( $\alpha$ ) dan austenit ( $\gamma$ ). Pada gambar, fasa ferrit ( $\alpha$ ) ditunjukkan dengan daerah yang berwarna gelap dan fasa austenit ( $\gamma$ ) ditunjukkan dengan daerah yang berwarna terang.

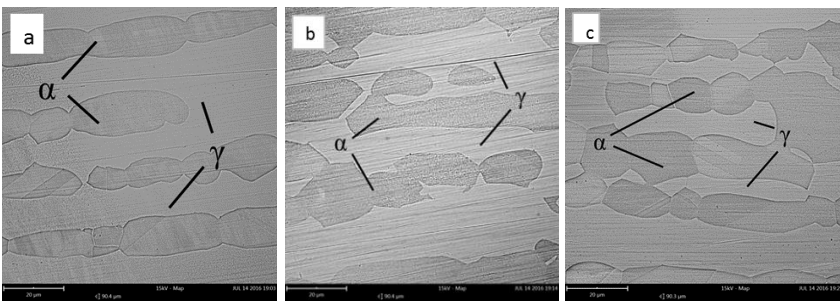


## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengujian dengan waktu tahan 60 menit (gambar 4.20b) dan 90 menit (gambar 4.20c) juga menunjukkan fasa-fasa yang sama.

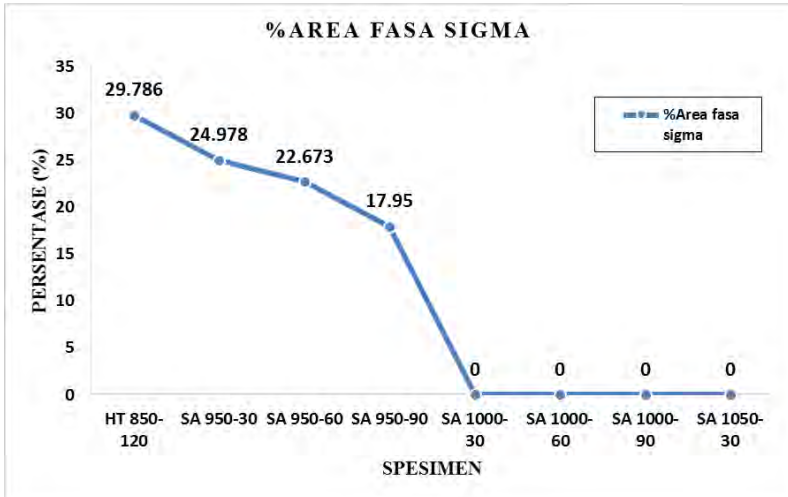
Hasil pengujian pada perlakuan ini menunjukkan tidak adanya fasa sigma. Hal ini menandakan pada spesimen Duplex S329 perlakuan *solution treatment* 1050° menunjukkan fasa sigma telah hilang.

Untuk mengetahui seberapa besar pengurangan fasa sigma melalui proses *solution treatment* dapat dilihat pada gambar 4.41. Gambar hasil pengujian SEM ini dengan perbesaran 3000x lalu diolah menggunakan software desain grafis yaitu ImageJ. Banyaknya fasa sigma ditunjukkan dengan persentase area yang diindikasikan merupakan fasa sigma.



Gambar 4.20 Hasil uji SEM BSE pada spesimen *heat treatment* dengan temperatur 1050° C dan waktu tahan (a) 30, (b) 60 ,(c) 90 menit (pembesaran 3000x)

Berdasarkan gambar 4.21 menunjukkan terjadi penurunan persentase area fasa sigma siring dengan peningkatan temperatur *solution treatment* dan waktu tahan. Fasa sigma mulai hilang seluruhnya pada saat temperatur *solution treatment* 1000° C dengan waktu tahan 30 menit.



Gambar 4.21 Persentase area fasa sigma

### 4.3.3 Hasil Uji Metalografi

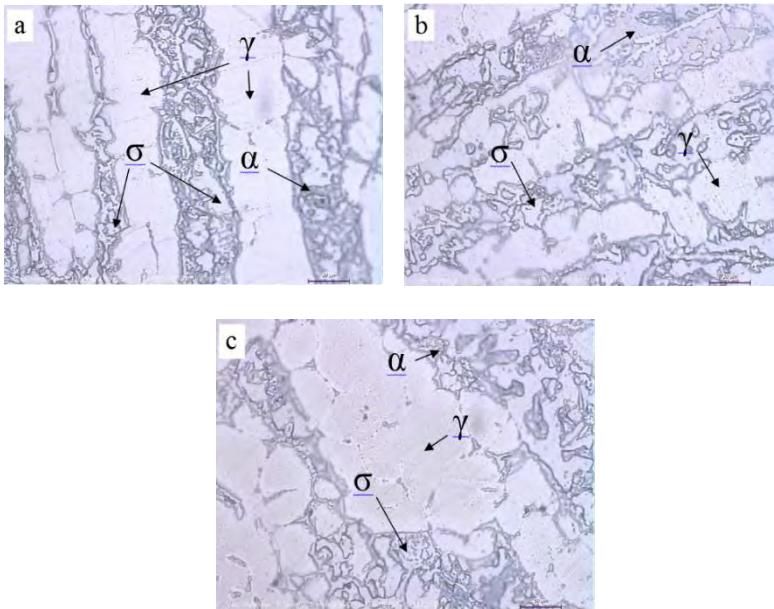
Struktur mikro spesimen Duplex S329 perlakuan *solution treatment* 950° C dan waktu tahan 30, 60 ,dan 90 menit dapat dilihat pada gambar 4.22. Hasil pengujian menunjukkan spesimen terdiri atas fasa ferrit ( $\alpha$ ), fasa austenit ( $\gamma$ ) dan fasa sigma ( $\sigma$ ).

Pada temperatur *solution treatment* 950° C pada semua variasi waktu tahan menunjukkan masih adanya fasa sigma ( $\sigma$ ). Fasa sigma ditunjukkan di daerah yang berwarna putih atau cerah di daerah fasa ferrit., Fasa sigma menunjukkan bentuk tidak beraturan pada daerah fasa ferrit dari hasil struktur mikro.

Pada temperatur *solution treatment* selanjutnya yaitu 1000° C dan waktu tahan 30, 60 ,dan 90 menit dapat dilihat pada gambar 4.23. Dari hasil pengujian menunjukkan spesimen terdiri atas fasa ferrit ( $\alpha$ ) dan fasa austenit ( $\gamma$ ).



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.22 Hasil uji metalografi pada spesimen Duplex S329 *solution treatment* dengan temperatur  $950^{\circ}\text{C}$  dan waktu tahan (a) 30 menit, (b) 60 menit, dan (c) 90 menit. (pembesaran 500x)

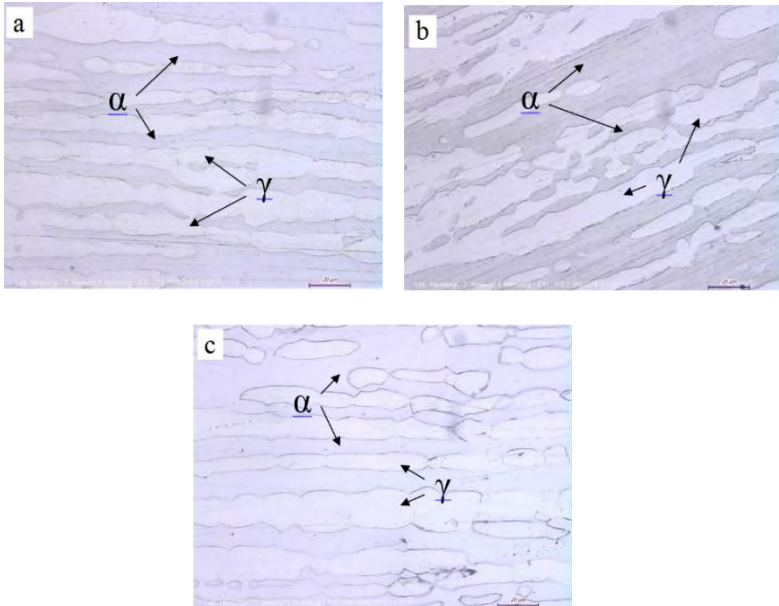
Hasil metalografi memperlihatkan spesimen Duplex S329 dengan perlakuan  $1000^{\circ}\text{C}$  dengan waktu tahan 30, 60, dan 90 menit menunjukkan fasa ferrit yang ditunjukkan dengan warna gelap dan austenit yang ditunjukkan dengan warna terang. Pada perlakuan temperatur *solution treatment*  $1000^{\circ}\text{C}$  mengindikasikan fasa sigma telah hilang.

Selanjutnya pada spesimen *solution treatment* temperatur  $1050^{\circ}\text{C}$  dengan variasi waktu tahan 30, 60, dan 90 menit. Memperlihatkan spesimen terdiri atas fasa ferrit ( $\alpha$ ) dan fasa austenit ( $\gamma$ ). Fasa ferrit ditandai dengan daerah gelap dan fasa austenit ditandai dengan daerah yang lebih terang.



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil metalografi pada temperatur *solution treatment* 1050° C untuk seluruh variasi waktu tahan tidak menunjukkan indikasi adanya fasa sigma.

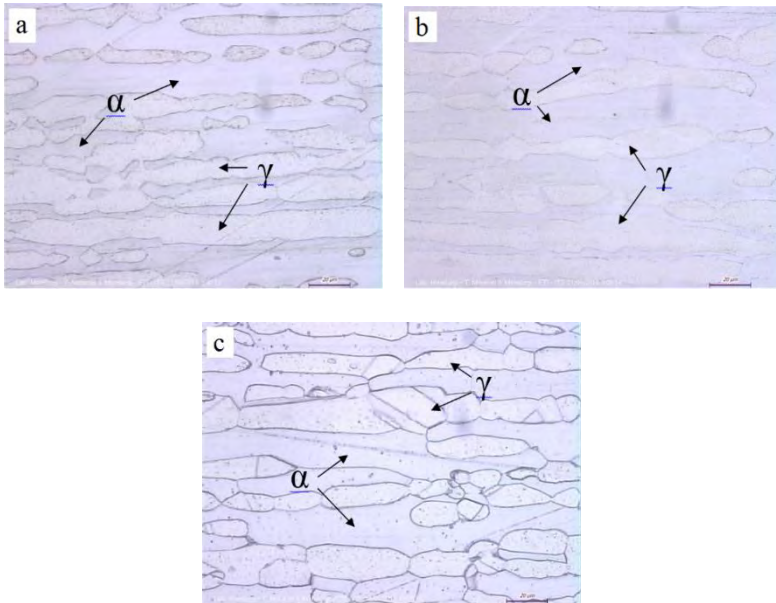


Gambar 4.23 Hasil uji metalografi pada spesimen Duplex S329 *solution treatment* dengan temperatur 1000° C dan waktu tahan (a) 30 menit, (b) 60 menit, dan (c) 90 menit. (pembesaran 500x)





## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.24 Hasil uji metalografi pada spesimen Duplex S329 *solution treatment* dengan temperatur 1050° C dan waktu tahan (a) 30 menit, (b) 60 menit, dan (c) 90 menit. (pembesaran 500x)

### 4.3.4 Hasil Uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.11. Dari tabel menunjukkan perbedaan nilai kekerasan pada spesimen dengan perlakuan yang berbeda-beda. Hal ini menunjukkan terjadinya penurunan kekerasan dengan seiring bertambahnya temperatur *solution treatment* dan waktu tahannya. Penurunan kekerasan mendekati nilai kekerasan pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan.

Untuk melihat perbandingan kekerasan pada setiap perlakuan yang diberikan dapat dilihat pada gambar 4.25. Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur *solution*



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

*treatment* maka nilai kekerasan akan semakin menurun. Kekerasan terendah terjadi pada temperatur *solution treatment* 1050° C.

Tabel 4.11 Hasil uji kekerasan dengan metode vicker

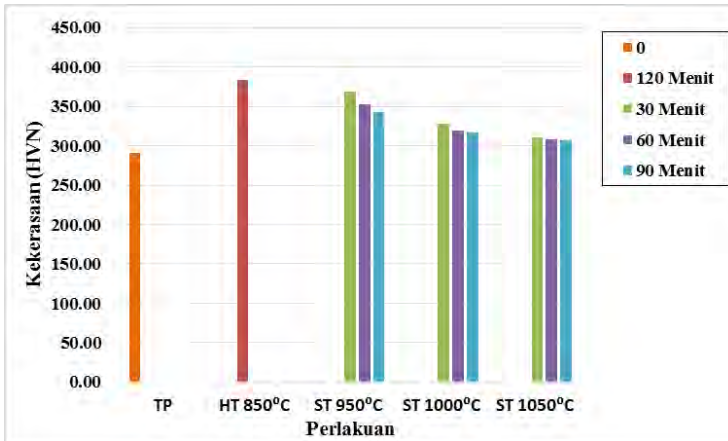
No	Perlakuan	Waktu Tahan (Menit)	Kekerasan (HVN)
1	TP		291
2	<i>Heat treatment</i> 850° C	120 Menit	383.4
3	<i>Solution treatment</i> 950°C	30 Menit	368.4
4		60 Menit	352.4
5		90 Menit	343.4
6	<i>Solution treatment</i> 1000°C	30 Menit	327.8
7		60 Menit	319
8		90 Menit	316.4
9	<i>Solution treatment</i> 1050°C	30 Menit	310.8
10		60 Menit	308.4
11		90 Menit	307

Grafik juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu tahan maka nilai kekerasan semakin turun. Grafik perubahan penurunan nilai kekerasan yang signifikan sangat terlihat pada pada temperatur *solution treatment* 950° C ,namun pada temperatur *solution treatment* 1050° C tidak terjadi perubahan nilai kekerasan yang signifikan.





## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.25 Grafik hasil uji kekerasan pada spesimen Duplex S329

### 4.3.5 Hasil Uji Impak

Hasil pengujian ini ditunjukkan pada tabel 4.12. Dari tabel hasil pengujian pada spesimen Duplex S329 perlakuan *solution treatment* ini menunjukkan adanya kenaikan kekuatan impak ketika dibandingkan dengan spesimen Duplex S329 *heat treatment* yang memiliki kekuatan impak yang terendah. Kenaikan ini terjadi seiring peningkatan temperatur *solution treatment* dan waktu tahan. Peningkatan nilai kekuatan impak ini hampir menyamai nilai kekuatan impak pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan.

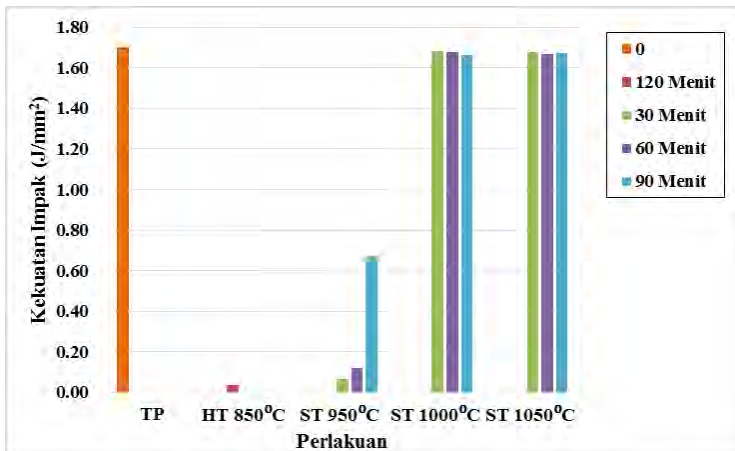
Grafik perbedaan kekuatan impak dari setiap variasi perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.26. Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *solution treatment* maka dapat meningkatkan nilai kekuatan impak. Kenaikan yang signifikan pada kekuatan impak terlihat jelas pada temperatur *solution treatment* 950° C. Nilai kekuatan impak tertinggi terdapat pada perlakuan temperatur *solution treatment* 1000° dan 1050° C dan nilai kekuatan impak keduanya memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh.



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Tabel 4.12 Hasil uji impak dengan metode charpy

No	Perlakuan	Waktu Tahan (Menit)	Kekuatan Impak (J/mm <sup>2</sup> )
1	TP		1.70
2	<i>Heat treatment</i> 850° C	120 Menit	0.04
3	<i>Solution treatment</i> 950° C	30 Menit	0.07
4		60 Menit	0.12
5		90 Menit	0.67
6	<i>Solution treatment</i> 1000° C	30 Menit	1.68
7		60 Menit	1.68
8		90 Menit	1.66
9	<i>Solution treatment</i> 1050° C	30 Menit	1.68
10		60 Menit	1.67
11		90 Menit	1.68



Gambar 4.26 Grafik hasil uji impak pada spesimen Duplex S329



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

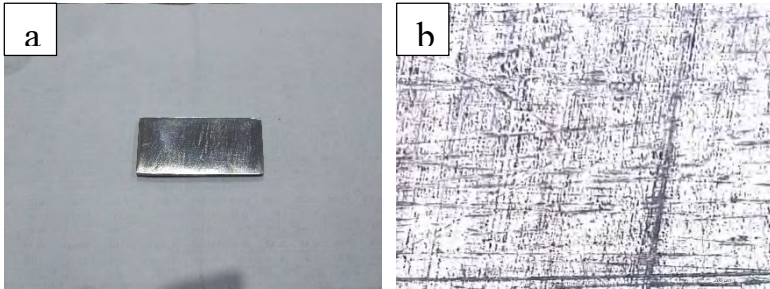
### 4.3.6 Hasil Uji Korosi *Pitting*

Pada pengujian korosi ini tidak semua variasi temperatur solution annaling yang diamati, namun hanya variasi yang diperkirakan tidak memiliki fasa sigma yaitu pada temperatur *solution treatment* 1050° C dengan waktu tahan 90 menit.

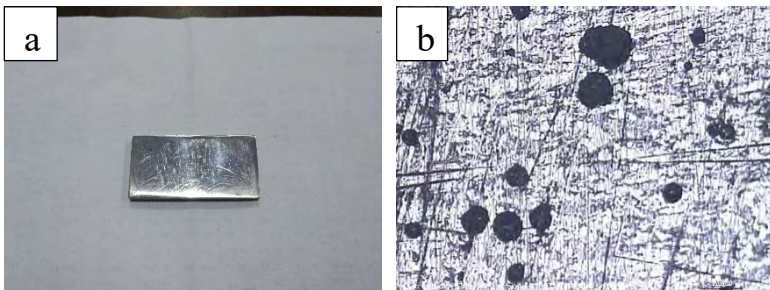
Hasil penelitian menunjukkan laju perubahan massa lebih dari 0.0001 gr/cm<sup>2</sup> terjadi pada spesimen temperatur kondisi 50° C (lihat tabel 4.12). Selanjutnya dilakukan pengamatan secara visual menggunakan mikroskop yang menunjukkan spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* 1050° C selama 90 menit di temperatur 50° C menunjukkan *pitting* terlihat jelas dipermukaan. (gambar 4.27 dan gambar 4.28).

Tabel 4.13 Massa hilang pada uji korosi *pitting* spesimen Duplex S329 perlakuan *solution treatment* temperatur 1050° C 90 menit

Temperatur	Perlakuan	Luas (cm <sup>2</sup> )	Massa (gr)		Laju kehilangan Massa (gr/cm <sup>2</sup> )		Massa Hilang
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	
22°	Tanpa Perlakuan	29.5	28.9297	28.9292	0.9807	0.9807	0.0000
	Heat Treatment	32.68	39.0126	38.9494	1.1938	1.1918	0.0019
	Slution Annealing	30.06	27.9511	27.9499	0.9298	0.9298	0.0000
50°	Tanpa Perlakuan	29.88	33.7218	33.7198	1.1288	1.1287	0.0001
	Heat Treatment	32.01195	34.2309	30.7289	1.0693	0.9599	0.1094
	Solution Treatment	29.56	25.1123	24.0956	0.8497	0.8153	0.0344



Gambar 4.27 Hasil foto makro uji korosi *pitting* spesimen Duplex S329 perlakuan *solution treatment* temperatur 1050° C 90 menit pada temperatur 22° C (a) sebelum dan (b) sesudah (perbesaran 50x)



Gambar 4.28 Hasil foto makro uji korosi *pitting* spesimen Duplex S329 perlakuan *solution treatment* temperatur 1050° C 90 menit pada temperatur 50° C (a) sebelum dan (b) sesudah (perbesaran 50x)

Dari hasil uji korosi *pitting* yang dilakukan menunjukkan spesimen duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* pada temperatur 50° C mengalami korosi *pitting*.

#### 4.3.7 Hasil Uji Korosi *Crevice*

Hasil dari pengujian ini berupa laju perubahan massa akibat terjadinya korosi *pitting*. Jika laju kehilangan massa lebih dari



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

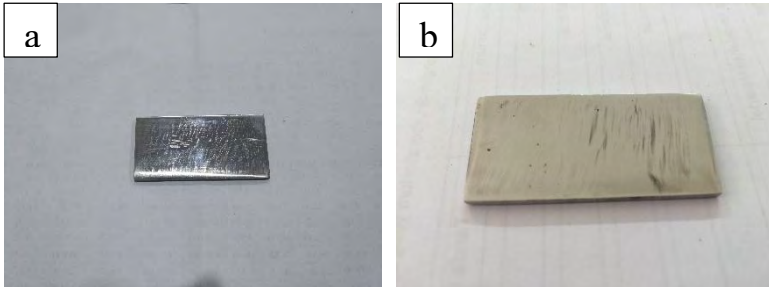
0.0001 gr/cm<sup>2</sup> maka dibutuhkan pengamatan visual. Korosi yang terjadi pada pinggir spesimen diabaikan. Pengujian ini dilakukan pada temperatur berbeda yaitu 22° dan 50° C.

Dari hasil pengujian didapatkan spesimen yang berada pada kondisi temperatur 50° C (gambar 4.30) terlihat jelas adanya *crevice* dibagian tengah.

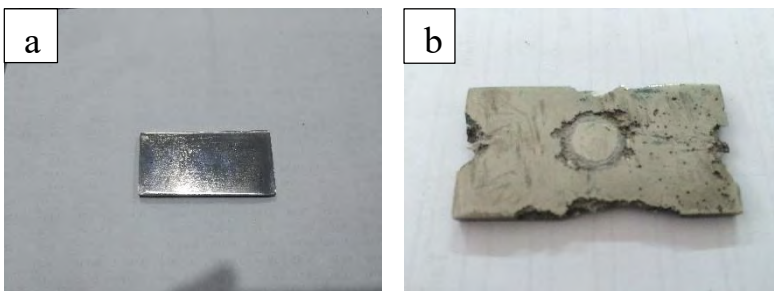
Tabel 4.14 Massa hilang pada uji korosi *crevice* spesimen Duplex S329 perlakuan *solution treatment* temperatur 1050° C 90 menit

Temperatur	Perlakuan	Luas (cm <sup>2</sup> )	Massa (gr)		Laju kehilangan Massa (gr/cm <sup>2</sup> )		Massa Hilang
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	
22°	Tanpa Perlakuan	31.11	33.7198	33.706	1.0839	1.0834	0.0004
	Heat Treatment	30.6	31.2522	30.725	1.0213	1.0041	0.0172
	Solution Treatment	30.52	36.6561	36.6364	1.2012	1.2005	0.0006
50°	Tanpa Perlakuan	29.25	37.6572	26.3778	1.2876	0.9020	0.3857
	Heat Treatment	31.68	35.4295	32.1281	1.1184	1.0141	0.1042
	Solution Treatment	28.60	38.2468	30.4768	1.3371	1.0655	0.2716

Pengujian korosi *crevice* yang dilakukan spesimen duplex S329 dengan perlakuan *solution treatment* 1050° C dengan waktu tahan 90 menit menunjukkan pada temperatur 50° C mengalami korosi *cevice*.



Gambar 4.29 Hasil foto makro uji korosi *crevice* spesimen Duplex S329 perlakuan *solution treatment* temperatur 1050° C 90 menit pada temperatur 22° C (a) sebelum dan (b) sesudah



Gambar 4.30 Hasil foto makro uji korosi *crevice* spesimen Duplex S329 perlakuan *solution treatment* temperatur 1050° C 90 menit pada temperatur 50° C (a) sebelum dan (b) sesudah

#### 4.4 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur *solution treatment* dan waktu tahan terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi pada Baja Tahan Karat Duplex S329. Variasi temperatur *solution treatment* yang digunakan pada penelitian ini adalah 950°, 1000°, dan 1050° C dengan variasi waktu tahan 30, 60, dan 90 menit.



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

---

Sebelum melakukan penelitian ini, spesimen terlebih dahulu diberi perlakuan *heat treatment* berupa pemanasan  $850^{\circ}\text{C}$  selama 120 menit lalu didinginkan secara cepat menggunakan air. Pemanasan ini bertujuan untuk memunculkan fasa sigma. Pada gambar 4.8 hasil pengujian XRD yang telah dilakukan menunjukkan spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* memiliki kandungan fasa sigma. Data ini diperkuat dengan hasil pengujian SEM (gambar 4.9) dan Metalografi (4.10). Selain itu, dilakukan pengujian kekerasan dan impak untuk mengetahui sifat mekanik dimana nilai kekerasan yang diperoleh mengalami kenaikan ketika dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan yaitu 383.4 HVN (tabel 4.7) dan nilai kekuatan impak mengalami penurunan ketika dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan yaitu  $0.04\text{ J/mm}^2$  (tabel 4.8). Pengujian korosi *pitting* dan *crevice* juga dilakukan untuk mengetahui ketahanan korosi dari Duplex S329 perlakuan *heat treatment*. Data yang diperoleh menunjukkan terjadi korosi *pitting* pada temperatur  $50^{\circ}$  (tabel 4.9) dan korosi *crevice* di kedua temperatur,  $22^{\circ}$  dan  $50^{\circ}\text{C}$  (tabel 4.10).

Spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment* yang telah memiliki fasa sigma kemudian akan dihilangkan melalui proses *solution treatment* dengan variasi temperatur *solution annealing* dan waktu tahan. Variasi temperatur *solution treatment* pertama yang dilakukan adalah  $950^{\circ}\text{C}$  dengan waktu tahan 30, 60, dan 90 menit kemudian didinginkan secara cepat menggunakan media air. Hasil pengujian XRD yang telah dilakukan menunjukkan bahwa untuk ketiga variasi waktu tahan yang dilakukan masih mengandung fasa sigma (gambar 4.15). Namun jumlah fasa sigma semakin lama akan menurun seiring dengan penambahan waktu tahan (gambar 4.21). Hasil pengujian SEM juga memperlihatkan fasa sigma masih terlihat (gambar 4.18) dan pada pengujian metalografi memperlihatkan adanya fasa sigma (gambar 4.22). Lalu spesimen dilakukan pengujian kekerasan dan kekuatan impak yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.11 dan 4.12. Data kekerasan



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

---

yang diperoleh memperlihatkan terjadi penurunan kekerasan yang signifikan seiring peningkatan waktu tahan yang lebih lama namun belum mendekati atau menyamai nilai kekerasan spesimen S329 tanpa perlakuan. Hasil pengujian kekuatan impak menunjukkan spesimen mengalami kenaikan nilai kekuatan impak yang signifikan seiring peningkatan waktu tahan tetapi kekuatan impak belum cukup menyamai spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan.

Selanjutnya dilakukan variasi *solution treatment* yang kedua yaitu 1000° dengan waktu tahan 30, 60, dan 90 menit lalu didinginkan melalui media air. Setelah dilakukan proses *solution treatment*, kemudian dilanjutkan dengan pengujian XRD. Hasil pengujian XRD menunjukkan fasa sigma diindikasikan telah menghilang pada semua variasi waktu tahan yang digunakan (gambar 4.16). Hasil pengujian ini diperkuat dengan pengujian SEM dan Metalografi. Berdasarkan data pengujian SEM yang dilakukan, menunjukkan fasa sigma telah diindikasikan telah hilang seluruhnya (gambar 4.19). Indikasi hilangnya fasa sigma mulai terlihat pada waktu tahan 30 menit dan selanjutnya (gambar 4.21). Hasil data yang sama juga ditunjukkan berdasarkan pengujian metalografi yang memperlihatkan untuk seluruh variasi waktu tahan telah menunjukkan tidak adanya fasa sigma (gambar 4.23). kemudian dilakukan pengujian kekerasan dan impak. Gambar 4.11 diperoleh hasil pengujian kekerasan yang menunjukkan terjadi penurunan nilai kekerasan seiring peningkatan waktu tahan yang diberikan. Namun penurunan nilai kekerasan ini terbilang masih belum cukup mendekati nilai kekerasan pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan. Untuk data hasil pengujian impak pada variasi temperatur *solution treatment* ini diperoleh nilai kekuatan impak menurun jika dibandingkan pada spesimen Duplex S329 dengan temperatur *solution treatment* 950° C dan telah mendekati kekuatan impak pada spesimen Duplex S329 tanpa perlakuan (tabel 4.12). Tidak





## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

---

seperti seperti temperatur *solution treatment* sebelumnya, pada temperatur *solution treatment* 1000° C ini menunjukkan seiring peningkatan waktu tahan yang diberikan menunjukkan tidak terjadi perubahan nilai kekuatan impak yang signifikan. Sehingga diperoleh data bahwa pada temperatur *solution treatment* dengan variasi waktu tahan yang digunakan telah memperbaiki kekuatan impak pada baja Duplex S329 namun belum memperbaiki kekerasan Duplex S329 meskipun terjadi penurunan seiring peningkatan waktu tahan.

Proses *solution treatment* yang terakhir menunggunakan temperatur 1050° C dengan variasi waktu tahan 30, 60, dan 90 menit lalu didinginkan secara cepa melalui media air. Selanjutnya dilakukan pengujian XRD, hasil pengujian ini diperoleh bahwa pada seluruh variasi waktu tahan yang digunakan menunjukkan tidak ada fasa sigma (gambar 4.17). Data ini didukung dengan hasil pengujian SEM yang menunjukkan fasa sigma yang telah hilang untuk seluruh variasi waktu tahan (gambar 4.20). Selain itu, pada gambar 4.24 hasil pengujian metalografi juga memperlihatkan hasil data yang sama bahwa fasa sigma telah seluruhnya hilang. Selanjutnya dilakukan uji kekerasan, hasil pengujian kekerasan (tabel 4.11) menunjukkan terjadi penurunan kekerasan seiring peningkatan waktu tahan yang diberikan dan juga terjadi penurunan kekerasan ketika dibandingkan dengan variasi temperatur *solution treatment* sebelumnya. Kemudian, hasil pengujian kekuatan impak pada perlakuan ini menunjukkan bahwa seiring peningkatan waktu tahan yang digunakan tidak berpengaruh pada kekuatan impak (tabel 4.2). Hal ini dibuktikan dengan nilai kekuatan impak yang tetap pada seluruh variasi waktu tahan. Dari hasil pengujian kekerasan dan kekuatan impak diperoleh bahwa pada temperatur *solution treatment* 1050° pada seluruh variasi waktu tahan yang diberikan sudah mampu memperbaiki kekerasan dan kekuatan impak. Meskipun nilai kekerasan hasil proses *solution treatment* pada temperatur ini lebih



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

---

tinggi dibandingkan dengan Duplex S329 tanpa perlakuan. Selanjutnya untuk pengujian korosi *pitting* dan *crevice* yang dilakukan pada temperatur *solution treatment* 1050° dengan waktu tahan 90 menit pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan korosi pada perlakuan ini. Hasil pengujian menunjukkan korosi *pitting* dan *crevice* hanya terjadi pada temperatur pengujian 50° C (tabel 4.13 dan tabel 4.14).

Berdasarkan teori yang ada, untuk menghilangkan fasa sigma dapat dilakukan melalui proses *solution treatment*. Pada proses *solution treatment* ini jumlah kromiumium yang tinggi pada fasa sigma akan dilarutkan kembali menjadi fasa ferrit. Pada diagram pseudobinary (gambar 2.15) menunjukkan pada temperatur sekitar 900° C merupakan batas temperatur maksimal pembentukan fasa sigma sehingga ketika benda kerja diberikan perlakuan panas sampai diatas temperatur tersebut maka fasa sigma telah seluruhnya bereaksi menjadi fasa ferrit. Semakin tinggi temperatur yang digunakan maka semakin tinggi energy yang diperoleh untuk bertransformasi menjadi fasa ferrit sehingga akan mempercepat hilangnya fasa sigma. Selain temperatur, waktu tahan juga sangat berpengaruh pada proses *solution treatment* ini. Kromiumium yang tinggi pada fasa sigma akan dilarutkan kembali melalui proses difusi. Semakin lama waktu tahan yang diberikan maka semakin banyak kromium berdifusi dan seluruhnya menjadi fasa ferrit. Hasil pengujian telah sesuai dengan teori, diman semakin tinggi temperatur *solution treatment* dan waktu tahan maka jumlah fasa sigma akan semakin berkurang.

Dari hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan adanya pengaruh temperatur *solution treatment* dan waktu tahan terhadap kekerasan dan kekuatan impact. Dimana semakin tinggi temperatur dan waktu tahan maka akan menurunkan kekerasan dan meningkatkan kekuatan impact. Hal ini disebabkan adanya fasa sigma. berdasarkan teori yang ada fasa sigma merupakan fasa yang dapat mempengaruhi sifat mekanik benda kerja, membuat benda



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

---

kerja menjadi keras dan getas. Pengaruh terhadap sifat mekanik ini berkaitan dengan struktur kristal fasa sigma yaitu BCT (*Body Centered Tetragonal*). Struktur ini memiliki tegangan yang tinggi sehingga membuat kekerasannya akan meningkat. Ketika melalui proses *solution treatment*, struktur fasa sigma akan berubah yang awalnya BCT menjadi struktur kristal ferrit, BCC (*Body Centered Cubic*). Dengan berubahnya struktur tersebut maka tegangan yang ada pada struktur BCT akan semakin berkurang sehingga kekerasannya akan berkurang. Berkurangnya tegangan yang ada juga mengakibatkan penurunan kegetasan lalu menaikkan kekuatan impact.

Selain sifat mekanik, fasa sigma juga dapat menurunkan ketahanan korosi. Dari pengujian korosi *pitting* dan *crevice* yang telah dilakukan menunjukkan pada spesimen Duplex S329 perlakuan *heat treatment*, yang berdasarkan pengujian terbukti terdapat fasa sigma, mengalami korosi *pitting* pada temperatur 50°C dan korosi *crevice* pada temperatur 22°C dan 50°C. berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa diindikasikan spesimen ini memiliki ketahanan korosi yang kurang baik. Hal ini disebabkan ketika spesimen dipanaskan pada temperatur pembentukan fasa sigma, terjadi reaksi eutektoid dari ferrit menjadi fasa sigma dan fasa austenit. Kromium dan molibdenum yang ada pada fasa ferrit akan berdifusi membentuk fasa sigma, sehingga fasa ini memiliki kadar kromium dan molibdenum yang tinggi. Akibatnya disekitar fasa sigma atau batas butir akan kekurangan kadar kromium. Daerah yang kekurangan kromium inilah yang akan menjadi daerah yang anodik dan lebih mudah terjadi korosi.

## LAMPIRAN

Lampiran 1

- **Peak List hasil uji XRD**

**Spesimen Duplex S329 Tanpa Perlakuan**

**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.312(2)	425(17)	0.20(1)	2.08736	49.54
43.425(2)	212(17)	0.20(1)	2.08736	24.77
44.409(1)	858(21)	0.186(8)	2.03831	100.00
44.525(1)	429(21)	0.186(8)	2.03831	50.00
50.31(1)	67(5)	0.45(5)	1.81205	7.85
50.45(1)	34(5)	0.45(5)	1.81205	3.93
74.10(2)	40(6)	0.39(9)	1.27849	4.65
74.31(2)	20(6)	0.39(9)	1.27849	2.33
81.75(2)	54(8)	0.26(6)	1.17705	6.28
82.00(2)	27(8)	0.26(6)	1.17705	3.14
89.74(4)	29(7)	0.4(2)	1.09184	3.38
90.02(4)	15(7)	0.4(2)	1.09184	1.69
95.08(5)	20(6)	0.5(2)	1.04415	2.33
95.39(5)	10(6)	0.5(2)	1.04415	1.16
98.20(2)	58(7)	0.31(6)	1.01909	6.79

98.53(2)	29(7)	0.31(6)	1.01909	3.39
----------	-------	---------	---------	------

**Spesimen Duplex S329 Heat treatment 850° C 120 menit**

**Peak List: (Bookmark 3)**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.38(2)	56(6)	0.41(5)	2.13128	7.30
42.49(2)	28(6)	0.41(5)	2.13128	3.65
43.562(2)	768(17)	0.28(1)	2.07595	100.00
43.676(2)	384(17)	0.28(1)	2.07595	50.00
44.664(7)	144(12)	0.27(4)	2.02725	18.77
44.781(7)	72(12)	0.27(4)	2.02725	9.38
45.80(3)	30(7)	0.4(1)	1.97966	3.84
45.92(3)	15(7)	0.4(1)	1.97966	1.92
46.89(2)	70(8)	0.37(8)	1.93610	9.13
47.01(2)	35(8)	0.37(8)	1.93610	4.57
48.10(4)	24(5)	0.5(1)	1.89001	3.11
48.23(4)	12(5)	0.5(1)	1.89001	1.56
50.49(1)	117(5)	0.60(4)	1.80617	15.22
50.62(1)	58(5)	0.60(4)	1.80617	7.61
74.37(3)	48(5)	0.6(1)	1.27449	6.20

74.59(3)	24(5)	0.6(1)	1.27449	3.10
81.8(1)	11(2)	1.3(4)	1.17708	1.40
82.0(1)	5(2)	1.3(4)	1.17708	0.70
90.02(4)	40(4)	0.9(1)	1.08920	5.24
90.30(4)	20(4)	0.9(1)	1.08920	2.62
95.39(5)	29(4)	1.0(2)	1.04157	3.73
95.70(5)	14(4)	1.0(2)	1.04157	1.87

### **Spesimen Duplex S329 Solution treatment 950° C 30 menit**

#### **Peak List: (Bookmark 3)**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.337(2)	645(19)	0.209(7)	2.08619	100.00
43.450(2)	322(19)	0.209(7)	2.08619	50.00
44.401(3)	410(15)	0.235(8)	2.03865	63.50
44.517(3)	205(15)	0.235(8)	2.03865	31.75
46.77(5)	18(4)	0.5(1)	1.94074	2.84
46.89(5)	9(4)	0.5(1)	1.94074	1.42
50.32(1)	89(6)	0.50(5)	1.81186	13.82
50.45(1)	45(6)	0.50(5)	1.81186	6.91
74.13(3)	52(9)	0.42(9)	1.27801	8.11
74.35(3)	26(9)	0.42(9)	1.27801	4.05
81.69(4)	28(6)	0.5(2)	1.17776	4.31
81.94(4)	14(6)	0.5(2)	1.17776	2.16
89.76(4)	40(6)	0.7(2)	1.09167	6.24
90.04(4)	20(6)	0.7(2)	1.09167	3.12
95.20(3)	40(8)	0.5(2)	1.04314	6.28
95.51(3)	20(8)	0.5(2)	1.04314	3.14

**Spesimen Duplex S329 Solution treatment 950° C 60 menit**

Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.316(2)	450(19)	0.188(7)	2.08714	100.00
43.429(2)	225(19)	0.188(7)	2.08714	50.00
44.388(3)	293(14)	0.21(2)	2.03921	65.07
44.504(3)	146(14)	0.21(2)	2.03921	32.54
50.30(1)	68(7)	0.36(6)	1.81235	15.19
50.44(1)	34(7)	0.36(6)	1.81235	7.59
74.07(2)	45(9)	0.19(6)	1.27888	9.89
74.29(2)	22(9)	0.19(6)	1.27888	4.95
98.28(3)	35(7)	0.27(7)	1.01849	7.81
98.61(3)	18(7)	0.27(7)	1.01849	3.91

**Spesimen Duplex S329 Solution treatment 950° C 90 menit**

Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.325(2)	545(16)	0.22(1)	2.08676	100.00
43.438(2)	272(16)	0.22(1)	2.08676	50.00
44.416(3)	336(14)	0.22(2)	2.03799	61.62
44.532(3)	168(14)	0.22(2)	2.03799	30.81
46.72(2)	31(11)	0.17(9)	1.94272	5.70
46.84(2)	16(11)	0.17(9)	1.94272	2.85
50.360(9)	114(9)	0.32(5)	1.81049	21.00
50.494(9)	57(9)	0.32(5)	1.81049	10.50
74.14(2)	65(10)	0.28(7)	1.27784	11.96
74.36(2)	33(10)	0.28(7)	1.27784	5.98
81.79(3)	41(8)	0.4(1)	1.17662	7.44
82.04(3)	20(8)	0.4(1)	1.17662	3.72

89.94(3)	37(4)	0.7(1)	1.08994	6.82
90.23(3)	19(4)	0.7(1)	1.08994	3.41

**Spesimen Duplex S329 Solution treatment 1000° C 30 menit**

Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.264(3)	325(13)	0.25(2)	2.08954	100.00
43.377(3)	163(13)	0.25(2)	2.08954	50.00
50.287(9)	90(6)	0.34(4)	1.81295	27.69
50.421(9)	45(6)	0.34(4)	1.81295	13.84
81.62(3)	33(7)	0.3(1)	1.17858	10.29
81.87(3)	17(7)	0.3(1)	1.17858	5.14
98.16(2)	45(7)	0.28(7)	1.01946	13.68
98.48(2)	22(7)	0.28(7)	1.01946	6.84

**Spesimen Duplex S329 Solution treatment 1000° C 60 menit**

Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2837	563.49	0.1004	2.09037	45.05
44.3732	1250.71	0.1224	2.03986	100.00
44.5233	630.25	0.0612	2.03838	50.39
50.3489	119.16	0.3264	1.81087	9.53
81.7898	28.39	0.4896	1.17662	2.27
98.1041	79.02	0.3264	1.01985	6.32

**Spesimen Duplex S329 Solution treatment 1000° C 90 menit**

Peak List: (Bookmark 3)



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.49(7)	4(3)	0.4(3)	8.44714	0.22
43.286(2)	631(21)	0.174(8)	2.08854	34.69
43.399(2)	316(21)	0.174(8)	2.08854	17.34
44.3574(8)	1819(27)	0.176(3)	2.04054	100.00
44.4735(8)	910(27)	0.176(3)	2.04054	50.00
50.293(9)	124(7)	0.42(2)	1.81275	6.81
50.427(9)	62(7)	0.42(2)	1.81275	3.40
89.74(3)	29(5)	0.5(1)	1.09189	1.62
90.02(3)	15(5)	0.5(1)	1.09189	0.81
95.44(3)	17(8)	0.24(9)	1.04373	0.94
98.111(9)	133(8)	0.31(3)	1.01980	7.30
98.440(9)	66(8)	0.31(3)	1.01980	3.65

**Spesimen Duplex S329 Solution treatment 1050° C 30 menit**

Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.398(3)	361(17)	0.16(1)	2.08340	50.87
43.512(3)	181(17)	0.16(1)	2.08340	25.43
44.476(2)	711(22)	0.171(6)	2.03539	100.00
44.592(2)	355(22)	0.171(6)	2.03539	50.00
50.38(2)	52(8)	0.31(9)	1.80987	7.33
50.51(2)	26(8)	0.31(9)	1.80987	3.66
74.14(4)	23(4)	0.6(1)	1.27791	3.23
74.35(4)	11(4)	0.6(1)	1.27791	1.61
81.77(3)	35(5)	0.5(1)	1.17681	4.95
82.02(3)	18(5)	0.5(1)	1.17681	2.47
98.25(1)	76(9)	0.20(4)	1.01869	10.73
98.58(1)	38(9)	0.20(4)	1.01869	5.37

**Spesimen Duplex S329 Solution treatment 1050° C 60 menit**

Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.284(3)	377(16)	0.18(1)	2.08863	54.49
43.397(3)	189(16)	0.18(1)	2.08863	27.25
44.359(2)	692(19)	0.19(1)	2.04047	100.00
44.475(2)	346(19)	0.19(1)	2.04047	50.00
50.24(2)	41(5)	0.44(9)	1.81443	5.87
50.38(2)	20(5)	0.44(9)	1.81443	2.93
73.99(4)	26(7)	0.4(2)	1.28014	3.72
74.20(4)	13(7)	0.4(2)	1.28014	1.86
81.64(5)	20(3)	0.9(2)	1.17845	2.92
81.88(5)	10(3)	0.9(2)	1.17845	1.46
98.03(4)	26(4)	0.6(1)	1.02045	3.82
98.36(4)	13(4)	0.6(1)	1.02045	1.91

**Spesimen Duplex S329 Solution treatment 1050° C 90 menit**

Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.263(2)	678(20)	0.183(7)	2.08958	35.72
43.376(2)	339(20)	0.183(7)	2.08958	17.86
44.3519(8)	1898(29)	0.150(3)	2.04078	100.00
44.4680(8)	949(29)	0.150(3)	2.04078	50.00
50.260(7)	134(7)	0.35(2)	1.81387	7.08
50.393(7)	67(7)	0.35(2)	1.81387	3.54
64.21(9)	13(2)	1.2(2)	1.44927	0.67
64.39(9)	6(2)	1.2(2)	1.44927	0.34
81.61(6)	20(3)	0.9(2)	1.17873	1.07
81.86(6)	10(3)	0.9(2)	1.17873	0.54
89.73(4)	35(4)	0.6(1)	1.09199	1.82
90.01(4)	17(4)	0.6(1)	1.09199	0.91

95.05(3)	32(6)	0.3(1)	1.04434	1.68
95.36(3)	16(6)	0.3(1)	1.04434	0.84
98.057(9)	127(8)	0.30(3)	1.02022	6.70
98.385(9)	64(8)	0.30(3)	1.02022	3.35

## Lampiran 2

### - Perhitung peresentase fasa sigma

Perlakuan Spesimen Duplex S329	Persentase Fasa Non-Sigma (%)	Persentase Fasa Sigma (%)
HT 850° C 120 menit	70.214	29.786
SA 950° C 30 menit	75.022	24.978
SA 950° C 60 menit	77.327	22.673
SA 950° C 90 menit	82.05	17.95
SA 1000° C 30 menit	100	0
SA 1000° C 60 menit	100	0
SA 1000° C 90 menit	100	0
SA 1050° C 30 menit	100	0

- **Gambar analisa software ImageJ**

**Spesimen Duplex S329 *Heat treatment* 850° C 120 menit**



**Spesimen Duplex S329 *Solution treatment* 950° C 30 menit**



**Spesimen Duplex S329 *Solution treatment* 950° C 60 menit**



**Spesimen Duplex S329 *Solution treatment* 950° C 90 menit**



**Spesimen Duplex S329 *Solution treatment* 1000° C 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan *Solution treatment* 1050° C 30 menit.**



### Lampiran 3

#### - Perhitungan hasil uji impact

$$\text{Kekuatan Impact} = \text{Energi Impact (J)} / \text{Luas Penampang (mm}^2\text{)}$$

No	Perlakuan	Waktu tahan (menit)	Repetisi	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Energi Impact	Kekuatan Impact (J/mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (J/mm <sup>2</sup> )
1	TP		I	10.24	8	81.92	128	1.56	1.70
			II	10.18	8	81.44	149	1.83	
			III	10.13	8	81.04	139,5	1.72	
2	Heat Treatment 850°C	120	I	10.18	8	81.44	3	0.04	0.04
			II	9.74	8	77.92	3	0.04	
			III	10.10	8	80.80	3	0.04	
3	Solution Treatment 950°C	30	I	10.06	8	80.48	5	0.06	0.07
			II	10.15	8	81.20	6	0.07	
			III	10.15	8	81.20	5	0.06	
4		60	I	10.20	8	81.60	8	0.10	0.12
			II	10.08	8	80.64	9	0.11	
			III	10.07	8	80.56	12	0.15	
5		90	I	10.25	8	82.00	42,5	0.52	0.67
			II	10.09	8	80.72	37	0.46	
			III	10.17	8	81.36	84	1.03	
6	Solution Treatment 1000°C	30	I	10.19	8	81.52	130	1.59	1.68
			II	10.17	8	81.36	140	1.72	
			III	10.13	8	81.04	140	1.73	
7		60	I	10.16	8	81.28	136	1.67	1.68
			II	10.10	8	80.80	134	1.66	
			III	10.07	8	80.56	137	1.70	
8		90	I	10.12	8	80.96	128	1.58	1.66
			II	10.15	8	81.20	140,5	1.73	
			III	10.18	8	81.44	137	1.68	
9	Solution Treatment 1050°C	30	I	10.12	8	80.96	139	1.72	1.68
			II	10.09	8	80.72	134	1.66	
			III	10.22	8	81.76	135	1.65	
10		60	I	10.14	8	81.12	134	1.65	1.67
			II	10.13	8	81.04	134	1.65	
			III	10.16	8	81.28	138	1.70	
11		90	I	10.20	8	81.60	136	1.67	1.68
			II	10.17	8	81.36	135	1.66	
			III	10.15	8	81.20	138	1.70	

## Lampiran 4

### - Perhitungan hasil uji kekerasan

No	Perlakuan		Kekerasan (HVN)					Rata-rata
	Temperatur	Waktu Tahan (menit)	I	II	III	IV	V	
1	TP		287	293	291	293	291	291
2	<i>Heat Treatment</i> 850°C	120	395	382	375	387	378	383.4
3	<i>Solution Treatment</i>	30	363	366	344	408	361	368.4
4	950°C	60	363	366	335	349	349	352.4
5		90	346	336	347	347	341	343.4
6		30	326	326	333	333	321	327.8
7	1000°C	60	318	325	313	321	318	319
8		90	309	326	321	311	315	316.4
9		30	313	307	304	309	321	310.8
10	1050°C	60	309	311	309	307	306	308.4
11		90	311	318	306	304	296	307

# Lampiran 5

## - Hasil uji OES Duplex S329 tanpa perlakuan

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
LABORATORIUM DT NDT

### OES Chemical Results

Sample ID : 1 Material : DUPLEX SUS 2205  
 Customer : Sdr. Gafriansyah R (T.Material ITS) Dimension : -  
 Lab-no. : UJI BAHAN Heat-no. : -  
 Operator : ELHAM Ka. Laboratorium : M. THORIQ WAHYUDI  
 Date : 01/08/2016

### Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
5	80.1	0.0907	0.299	0.887	0.0197	< 0.0050	27.3	3.99
6	80.0	0.0876	0.304	0.885	0.0221	< 0.0050	27.4	3.59
7	80.1	0.0890	0.372	0.928	0.0199	< 0.0050	27.1	3.75
8	80.0	0.0887	0.343	0.937	0.0188	< 0.0050	27.5	3.66
Ave	80.3	0.0892	0.315	0.878	0.0198	< 0.0050	27.0	3.82

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
5	7.31	0.0109	0.0288	0.145	0.0258	0.0070	0.0578	0.0135
6	7.34	0.0119	0.0289	0.145	0.0261	< 0.0050	0.0544	0.0131
7	7.27	0.0590	0.0271	0.150	0.0243	0.0092	0.0536	0.0187
8	7.15	0.0292	0.0271	0.139	0.0262	0.0066	0.0608	0.0168
Ave	7.33	0.0196	0.0269	0.146	0.0296	0.0068	0.0589	0.0153

	Pb
5	< 0.0050
6	< 0.0050
7	0.0052
8	0.0055
Ave	< 0.0050





## DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, Iris, Armas Suzanne Degallaix, dan Moreuil. 2009. *Duplex Stainless Steels*. London :ISTE Ltd
- Ansara, T. G. Chart, P. Y. Chevalier, K. Hack, G. McHugh, M. H. Rand dan P. J. Spencer. 1985. *Phase Diagram for Fe-Cr-Ni Based Alloys*. Luxembourg: Directorate for Science, Research and Development.
- \_\_\_\_\_.ASM Metal Handbook Vol. 3. *Heat Treating*. USA: ASM International.
- \_\_\_\_\_.ASM Metal Handbook Vol. 4. *Alloy Phase Diagram*. USA: ASM International.
- \_\_\_\_\_.ASTM A 240/A 240 M. 2001. “*Standard Specification for Heat-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steels Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels*”.
- ASTM A 923. 2003. “*Standard Test Method for Detecting Detrimental Intermetallic Phase in Duplex Austenitic/Ferritic Stainless Steels*”.
- ASTM A 480. 2003. “*Standard Specification for General Requirements for Flat-Rolled Stainless and Heat-Resisting Steel Plate, Sheet, and Strip*”.
- Avner, S.H. 1974. *An Introduction to Physical Metallurgy*. New York: John Wiley & Sons.
- Callister, William D., dan David G. Rethwisch. 2009. *Materials Science and Engineering an Introduction Eight Edition*. USA: WorldColor USA/Versailles
- Chen,T.H., J.R. Yang. 2001. *Effect of solution treatment and continous cooling on  $\sigma$ phase precipitation in a 2205 duplex stainless steel*. Materials Science and Engineering A311 (2001) 28–41
- Digges, Thomas G., Samuel J. Rosenberg dan Glenn W. Geil. 1966. *Heat treatment and Properties of Iron and Steel*. Washington D. C. : National Bureau of Standards Monograph 88.

- Fong-Yuan, t.thn. *Corrosive Effects of Chlorides on Metals*, Taiwan: Intechopen.
- Fargas, G., M. Anglada, A. Mateo. 2008. *Effect Of The Annealing Temperatur On The Mechanical Properties, Formability And Corrosion Resistance Of Hot-Rolled Duplex Stainless Steel*. Journal Of Materials Processing Technology 209 (2009) 1770–1782
- Gunn, Robert N, editor, 1997. *Duplex Stainless Steels Microstructure, Properties and Applications*. Cambridge: Abington Publishing.
- Henning, H., 2002. *Mechanisms of Pitting Corrosion*. Germany: Marcel Dekker Inc.
- IMOA. 2014. *Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steel*. London, UK :International Molibdenum Asociation.
- Jones, D. A., 1996. *Principles and Prevention of Corrosion*. 2nd penyunt. USA: Prentince Hall.
- Kashiwara, A., N. Phani Vennelaa, S.L. Kamathb, R.K. Khatirkara. 2012. *Effect Of Solution treatment Temperatur On Precipitation In 2205 Duplex Stainless Steel*. Material s Characterterization 74 (2012) 55-65
- Lippold, John C., Damian J. Kotecki. 2005. *Welding Metallurgy And Weldability Of Stainless Stell*. New Jersey: John Wiley And Sons
- Mcguire, Michael. 2008. *Stainless Steels For Design Engineers*. USA: ASM International
- Outokumpu. 2013. *Handbook of Stainless Steel*. Finlandia: Outokumpu Oyj.
- Rondal, C Jacques, Dubina. 2005. *Light Gauge Metal Structures Recent Advances*. Italy: Springer Wien NewYork
- Sandvik. 2015. *SANDVIK SAF 2205 Tube and Pipe Seamless Datasheet*. Sandvik.
- Suherman, W. 1999. *Ilmu Logam II*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS.

- Suherman, W. 2001. *Perlakuan Panas*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS.
- Thehning, Karl Erik. 1984. *Steel and Its Heat treatment Second Edition*. Swedia: Butterworth-Heinemann.
- Yan, Lin He, Na Qiong Zhu, Xiao Gang Lu, Lin Li. 2010. *Experimental and computational study on microstructural evolution in 2205 duplex stainless steel during high TemperaturAging*. *Materials Science And Engineering A* 528 (2010) 721–729

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Gafriansyah Rabbani. Penulis yang merupakan anak terakhir dari empat bersaudara ini dilahirkan di Ujung Pandang pada tanggal 5 April 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Perum Antang II, SMPN 8 Makassar, dan SMAN 5 Makassar. Lalu, penulis melanjutkan pendidikan di salah satu perguruan tinggi di Indonesia yaitu Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil bidang Teknik Material dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai staff Departemen Hubungan Luar HMMT FTI-ITS (2013-2014), Staff Divisi Keprofesian PM3I (2013-2014), dan Wakil Departemen Hubungan Luar HMMT FTI-ITS (2014-2015). Selain itu, penulis aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan tingkat fakultas maupun jurusan. Semasa kuliah penulis juga melakukan kegiatan *On The Job Training* di PT Vale Indonesia Tbk. Kegiatan perkuliahan penulis diakhiri dengan melakukan penelitian yang dijadikan sebagai Tugas Akhir dengan judul “**Analisa Pengaruh Temperatur *Solution Treatment* Dan Waktu Tahan Terhadap Sifat Mekanik Dan Ketahanan Korosi Pada Baja Tahan Karat Duplex S329**”.

Email: [gafri.rabbani@gmail.com](mailto:gafri.rabbani@gmail.com)