



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISA KETAHANAN *STAINLESS STEEL* AISI 308
TERHADAP *PITTING CORROSION* DENGAN MENGGUNAKAN
METODE *E-CRITICAL TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS
STEEL ASTM-G48***

**KAREL SEBASTIAN
NRP. 0251154000091**

**Dosen Pembimbing
Tubagus Noor Rohmanudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim, ST., M.Sc.Eng, Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR – TL 184834

**ANALISA KETAHANAN *STAINLESS STEEL* AISI 308
TERHADAP *PITTING CORROSION* DENGAN
MENGUNAKAN METODE *E-CRITICAL TEMPERATURE
TEST FOR STAINLESS STEEL* ASTM-G48**

KAREL SEBASTIAN
NRP. 0251154000091

Dosen Pembimbing
Tubagus Noor Rohmanudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng, Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 184834

ANALYSIS OF AISI 308 STAINLESS STEEL ALLOY RESISTANCE TOWARDS PITTING CORROSION USING ASTM-G48 E-CRITICAL PITTING TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS STEEL METHOD

KAREL SEBASTIAN
NRP. 0251154000091

Supervisor
Tubagus Noor Rohmanudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim, ST., M.Sc.Eng, Ph.D.

**MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
DEPARTMENT**
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

**ANALISA KETAHANAN *STAINLESS STEEL* AISI 308
TERHADAP *PITTING CORROSION* DENGAN
MENGUNAKAN METODE *E-CRITICAL*
TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS STEEL ASTM-
G48**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

KAREL SEBASTIAN
NRP 0251154000091

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Tubagus Noor Rohmanudin, S.T., M.Sc..... (Pembimbing I)
2. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D. (Pembimbing II)



SURABAYA
Juli 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA KETAHANAN STAINLESS STEEL AISI 308
TERHADAP *PITTING CORROSION* DENGAN
MENGUNAKAN METODE *E-CRITICAL*
*TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS STEEL ASTM-
G48***

Nama : Karel Sebastian
NRP : 0251154000091
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Tubagus Noor Rohmanudin, S.T., M.Sc
Pembimbing II : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

Abstrak

Stainless Steel merupakan salah satu material logam penting yang sering sekali digunakan dalam kehidupan sehari-hari di berbagai bidang. Walaupun begitu, *Stainless Steel* tidak dapat terhindarkan dari proses korosi dikarenakan adanya berbagai faktor yang mempengaruhi cepatnya proses korosi, seperti konsentrasi oksigen, pH, dan temperatur. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui ketahanan logam *Stainless Steel 308* dengan faktor yang ada pada proses korosi. Standar pengujian yang digunakan adalah *ASTM-G48* dengan menggunakan 6% larutan ferric chloride ($FeCl_3$) dan konsentrasi Cl^- melalui penerapan lima kondisi temperature ($10^{\circ}C$, $15^{\circ}C$, $20^{\circ}C$, $30^{\circ}C$, $35^{\circ}C$) selama 24 jam. Setelah itu dilakukan pengujian SEM dan pengamatan visual NDT. Berdasarkan perhitungan CPT menggunakan rumus *ASTM G48*, *Stainless Steel 308* memiliki CPT sebesar $8.02^{\circ}C$. Hasil perhitungan luas area korosi spesimen $10^{\circ}C$, $15^{\circ}C$, $20^{\circ}C$, $30^{\circ}C$, dan $35^{\circ}C$ diantaranya 0 cm^2 , 0 cm^2 , 2.648 cm^2 , 3.155 cm^2 , dan 2.788 cm^2 . Pada spesimen temperature $10^{\circ}C$ dan $15^{\circ}C$ tidak adanya proses *pitting* menunjukkan korosi *pitting* terjadi kisaran $15^{\circ}C$ sampai $20^{\circ}C$ sehingga material dinyatakan layak pakai.

Kata Kunci: *ASTM-G48, Pitting corrosion, Stainless Steel, Temperatur*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALYSIS OF AISI 308 STAINLESS STEEL ALLOY
RESISTANCE TOWARDS PITTING CORROSION USING
ASTM-G48 E-CRITICAL PITTING TEMPERATURE
TEST FOR STAINLESS STEEL METHOD**

Student Name : Karel Sebastian
NRP : 0251154000091
Department : Material and Metallurgical Engineering
Advisor 1 : Tubagus Noor Rohmanudin, S.T., M.Sc
Advisor 2 : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

Abstract

Stainless Steel is one of the important metal materials that is often used in daily life in various fields. Even so, stainless steel cannot be avoided from the corrosion process because of the factors that affect the speed of the corrosion process, such as oxygen concentration, pH, and temperature. The purpose of this research is to determine the resistance of the metal stainless steel 308 with the factors that exist in the corrosion process. The test standard used is ASTM-G48 using 6% ferric chloride ($FeCl_3$) solution and the Cl-concentration through the application of five temperature conditions ($10^{\circ}C$, $15^{\circ}C$, $20^{\circ}C$, $30^{\circ}C$, $35^{\circ}C$) for approximately 24 hours. After that, SEM examiners and visual NDT observations were carried out. Based on the CPT calculation using the ASTM G48 formula, Stainless Steel 308 has a CPT of $8.02^{\circ}C$. The results of the calculation of the pitting area of $10^{\circ}C$, $15^{\circ}C$, $20^{\circ}C$, $30^{\circ}C$, and $35^{\circ}C$ specimen corrosion area were 0 cm^2 , 0 cm^2 , $2,648\text{ cm}^2$, $3,155\text{ cm}^2$, and $2,788\text{ cm}^2$. At $10^{\circ}C$ and $15^{\circ}C$ specimen temperatures there is no process that shows corrosion occurring in the range of $15^{\circ}C$ to $20^{\circ}C$ so that the material is declared fit for use.

Keywords: ASTM-G48, Pitting Corrosion, Stainless Steel, Temperature

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “***Analisa Ketahanan Stainless Steel AISI 308 Terhadap Pitting Corrosion Dengan Menggunakan Metode E-Critical Temperature Test For Stainless Steel ASTM-G48***”. Laporan ini disusun dan diajukan untuk dapat memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis juga menyampaikan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal pelaksanaan tugas akhir, penentuan topik laporan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan.
2. Kedua Orang Tua, kakak, dan adik saya yang selalu memberikan dukungan serta doa yang tidak henti untuk penulis.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi.
4. Bapak Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc., selaku dosen wali yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam segala kegiatan perkuliahan.
5. Bapak Tubagus Noor Rohmanudin, S.T., M.Sc. selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi banyak dukungan, saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
6. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi banyak dukungan, saran dan arahan serta nasihat

dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

7. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dan membantu kelancaran proses tugas akhir ini.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Dengan kerendahan hati, semua saran dan kritik yang dapat membangun sangat penulis harapkan. Demikian semoga laporan ini dapat memberikan informasi dan bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 30 Juli 2020
Penulis

Karel Sebastian

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
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
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Korosi	5
2.2 Mekanisme Korosi	5
2.3 Jenis-jenis Korosi	6
2.4 Mekanisme <i>Pitting Corrosion</i>	11
2.5 Baja Anti Karat (<i>Stainless Steel</i>)	12
2.5.1 <i>Stainless Steel 308</i>	13
2.6 ASTM-G48-11	14
2.7 Penelitian Sebelumnya.....	15
BAB III METODOLOGI	19
3.1 Diagram Alir	19
3.2 Pengujian yang Digunakan	20
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	20
3.3.1 Alat.....	20
3.3.2 Bahan.....	20
3.4 Variabel Penelitian.....	20
3.5 Spesifikasi Teknis Material Penelitian.....	21
3.5.1 Preparasi Sampel Pengujian	21
3.5.2 Pembuatan Larutan Percobaan	21

3.5.3	Dimensi Spesimen <i>Stainless Steel 308</i>	21
3.5.4	Komposisi Spesimen <i>Stainless Steel 308</i>	22
3.6	Rancangan Skema Penelitian	25
3.7	Pelaksanaan Pengujian ASTM-G48.....	25
3.7.1	Pengujian <i>Non Destructive Test (NDT)</i>	25
3.7.2	Prosedur Pengujian.....	27
3.8	<i>Scanning Electron Microscopy</i>	31
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Analisa Data Luas Area <i>Pitting Corrosion</i>	35
4.2	Analisa Data Perhitungan <i>Critical Pitting Temperature (CPT)</i>	39
4.3	Analisa Data Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i>	40
4.4	Analisa Data <i>Non Destructive Test</i> Setelah Pengujian Imersi	42
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	46
	DAFTAR PUSTAKA	47
	LAMPIRAN	49
	UCAPAN TERIMA KASIH.....	57
	BIODATA PENULIS	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema korosi <i>galvanic</i> , paduan <i>active</i> (reaksi anodik) akan mengalami korosi dan paduan <i>noble</i> tidak akan terkorosi	7
Gambar 2.2	<i>Galvanic series in seawater</i>	7
Gambar 2.3	Variasi terjadinya korosi lubang.....	8
Gambar 2.4	Skema terjadinya presipitasi kromium karbida dan menipisnya kromium pada batas butir	9
Gambar 2.5	Skema terjadinya korosi celah.....	11
Gambar 2.6	Mekanisme <i>pitting corrosion</i>	13
Gambar 2.7	(a) Korosi pitting setelah 15 detik, (b) setelah 30 detik, (c) nukleasi palung setelah 15 menit, (d-f) palung telah terbentuk.	16
Gambar 2.8	Hasil pengujian imersi	16
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2	Skema perancangan percobaan ASTM-G48-11	25
Gambar 3.3	Hasil uji NDT <i>stainless steel</i> 308 (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3, (d) sampel 4, dan (e) sampel 5.....	26
Gambar 3.4	Pengukuran temperatur pada spesimen uji 10°C	28
Gambar 3.5	Pengukuran temperatur pada spesimen uji 15°C	28
Gambar 3.6	Pengukuran temperatur pada spesimen uji 20°C	29
Gambar 3.7	Pengukuran temperatur pada spesimen uji 30°C	29
Gambar 3.8	Pengukuran temperatur pada spesimen uji 35°C	30
Gambar 3.9	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) JEOL JSM-6610LV di Laboratorium EM, <i>G.B. Pant</i>	

	<i>University of Agriculture and Technology,</i>	
	<i>Pattnagar</i>	33
Gambar 3.10	Diagram skematik dari <i>Scanning Electron</i>	
	<i>Microscope</i>	33
Gambar 4.1	Grafik perbandingan temperatur dan luas area	
	<i>pitting Stainless Steel 308</i>	39
Gambar 4.2	Foto struktur mikro (a) temperature 10°C dan	
	(b) temperature 15°C dengan perbesaran 50x.....	41
Gambar 4.3	Foto struktur mikro (c) temperature 10°C dan	
	(d) temperature 15°C dengan perbesaran 100x	
	41
Gambar 4.4	Foto struktur mikro (e) temperature 10°C dan	
	(f) temperature 15°C dengan perbesaran 200x.....	42
Gambar 4.5	Hasil uji NDT sampel 10°C setelah uji imersi.....	43
Gambar 4.6	Hasil uji NDT sampel 15°C setelah uji imersi.....	43
Gambar 4.7	Hasil uji NDT sampel 20°C setelah uji imersi.....	44
Gambar 4.8	Hasil uji NDT sampel 30°C setelah uji imersi.....	44
Gambar 4.9	Hasil uji NDT sampel 35°C setelah uji imersi.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis-jenis metode pengujian ASTM G48-11.....	14
Tabel 2.2	Efek temperature <i>annealing</i> terhadap potensial <i>pitting</i> dari <i>Stainless Steel</i> 308.....	17
Tabel 3.1	Variabel penelitian.....	21
Tabel 3.2	Dimensi material	22
Tabel 3.3	Komposisi baja tahan karat AISI 308 sampel WM 10.....	22
Tabel 3.4	Komposisi baja tahan karat AISI 308 sampel WM 15.....	22
Tabel 3.5	Komposisi baja tahan karat AISI 308 sampel WM 20.....	23
Tabel 3.6	Komposisi baja tahan karat AISI 308 sampel WM 30.....	23
Tabel 3.7	Komposisi baja tahan karat AISI 308 sampel WM 35.....	24
Tabel 3.8	<i>Mean</i> komposisi sampel baja tahan karat AISI 308 yang diuji.....	24
Tabel 4.1	Perhitungan luas area terhadap <i>pitting corrosion</i>	35
Tabel 4.2	Dimensi area yang akan diamati.....	36

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi merupakan fenomena alamiah yang terjadi pada logam, dan mengakibatkan logam mengalami proses degradasi akibat adanya reaksi antara logam dengan lingkungan sekitarnya. Seperti bencana alam lainnya, korosi mampu menyebabkan kerusakan yang berbahaya dan membutuhkan biaya yang mahal untuk memperbaikinya. Bahkan di Amerika Serikat, biaya akibat kerusakan korosi pada logam adalah sebesar 276 miliar dolar setiap tahunnya (T.Ross, 2001).

Stainless Steel merupakan salah satu material penting yang banyak digunakan di berbagai bidang, diantaranya bidang medis, transportasi, rumah tangga, konstruksi, dan sebagainya. *Stainless Steel* memiliki sifat memiliki ketahanan korosi yang bagus dan kekuatan mekanik yang besar. Walaupun begitu, *Stainless Steel* tidak terhindarkan dari proses korosi yang disebabkan dari beberapa faktor yang mempengaruhi cepat laju korosi, diantaranya adalah waktu, konsentrasi oksigen, pH, dan temperatur. Penambahan unsur Chromium, Nickel, dan Molybdenum untuk menjadi paduan *Stainless Steel* dapat dilakukan untuk meningkatkan ketahanan korosi, namun penambahan unsur memerlukan proses mulai dari manufaktur hingga pengujian sehingga tidak sedikit biaya produksi yang dikeluarkan.

Fontana (1987) menyatakan bahwa korosi merupakan kerusakan suatu material karena adanya reaksi dengan lingkungan sekitar. Di sini yang dimaksud dengan lingkungan sekitar bisa berupa lingkungan asam, udara, embun, air laut, air danau, dan air tanah. Pada lingkungan yang korosif, laju korosi material akan semakin tinggi; hal ini adalah akibat dari faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap laju korosi logam. Selain itu, laju korosi juga dipengaruhi oleh faktor material itu sendiri. Material yang memiliki tegangan sisa atau internal stress akan memiliki laju korosi yang lebih besar dibanding dengan material dalam keadaan

biasa. Korosi pada dasarnya terdiri dari berbagai macam bentuk, salah satunya adalah korosi *pitting* (*pitting corrosion*). *Pitting Corrosion* merupakan korosi yang berbahaya karena korosi yang terjadi pada bagian permukaan dan berbentuk lubang kecil, sehingga bagian dalam dapat terjadi proses korosi berupa sumur yang tidak tampak mata.

Salah satu pengujian pada *Pitting Corrosion* adalah Standar ASTM-G48. Standar ASTM-G48 digunakan untuk mengetahui *Corrosion Rate* dan kemungkinan korosi *pitting* maupun *crevice* untuk terjadi pada material di industri logam, khususnya pada *Stainless Steel* dan logam *nickel*. Pengujian ini berupa uji imersi material dimana sampel diletakkan di larutan FeCl_3 yang temperatur larutannya dikontrol. FeCl_3 berfungsi sebagai lingkungan agresif untuk menimbulkan korosi dikarenakan adanya ion klorida, kondisi *oxidizing* dan pH yang rendah.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang terdapat dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana pengaruh temperatur terhadap ketahanan *pitting corrosion Stainless Steel* AISI 308?
2. Bagaimana *Critical Temperature Test* pada *Stainless Steel* AISI 308?

1.3 Batasan Masalah

Berikut beberapa batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini, agar didapatkan hasil yang sesuai dan tidak menyimpang dari tujuan yang ada, adalah sebagai berikut:

1. Proses pengkorosian oleh udara dianggap tidak terjadi.
2. Tidak melakukan pengujian SEM sebelum penelitian dilakukan..

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh temperatur terhadap ketahanan *pitting corrosion Stainless Steel* AISI 308.
2. Menganalisa *Critical Temperature Test* pada *Stainless Steel* AISI 308.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya:

1. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan informasi pengaruh temperature terhadap *Stainless Steel* 308 terhadap perubahan sifat mekanik dan ketahanan korosi dari *Stainkess Steel* 308 .
2. Dapat mempelajari dan mengerti mekanisme serta konsep terjadinya *pitting corrosion* pada logam *Stainless Steel* 308.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

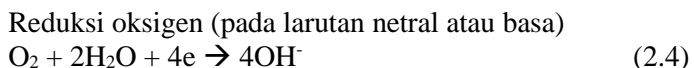
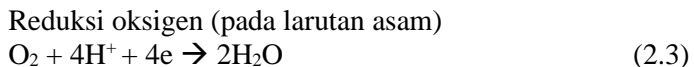
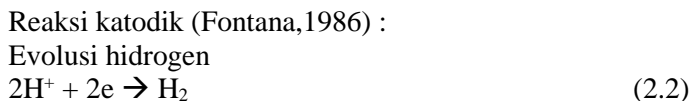
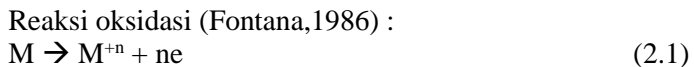
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi pada dasarnya diakibatkan oleh adanya interaksi antara bahan dan lingkungannya. Interaksi ini menyebabkan adanya reaksi kimia atau elektrokimia yang menyebabkan kerusakan dan penurunan sifat-sifat material dari material yang bersangkutan (Ahmad, 2006)

2.2 Mekanisme Korosi

Pada korosi yang bersifat elektrokimia terdapat dua reaksi pada elektrode (Marcus, 2002) : reaksi oksidasi pada logam (anoda) dan reduksi zat oksidasi (katoda). Pada reaksi oksidasi, atom logam akan membentuk ion positif atau kation. Sedangkan pada reaksi reduksi, atom logam akan membentuk ion negatif atau anion. Reaksi oksidasi sesuai dengan Persamaan 2.1 sedangkan reaksi Katodik, hidrogen akan mengalami evolusi hidrogen sesuai Persamaan 2.2, reduksi oksigen larutan asam ditunjukkan Persamaan 2.3 dan larutan basa atau netral pada Persamaan 2.4. sedangkan ion logam mengalami reduksi seperti Persamaan 2.5.



Reduksi ion metal



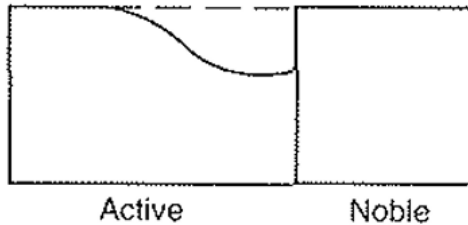
2.3 Jenis-jenis Korosi

2.3.1 Korosi Merata (*Uniform Corrosion*)

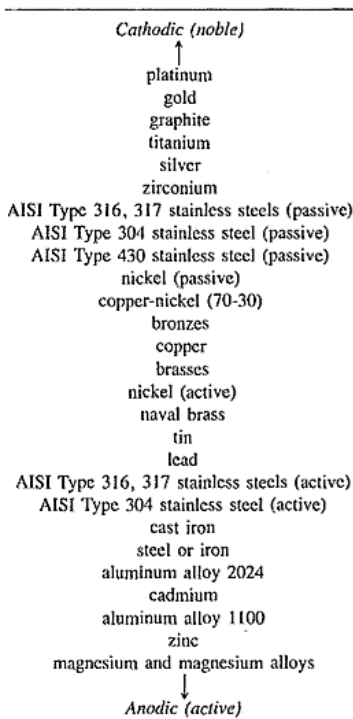
Korosi Merata terjadi ketika lingkungan korosi mengenai seluruh permukaan logam (Jones,1992). Selain itu tingkat korosi *uniform* dan penyebabnya dapat diketahui dengan mudah, tingkat korosi biasa diukur dengan mpy (*mils per year*) dan mm/y (milimeter per *year*). Untuk pencegahannya bisa menggunakan pemilihan material yang lebih baik, *coating*, inhibitor dan proteksi katodik (Raja,2015).

2.3.2 Korosi Galvanik

Ketika 2 paduan yang berbeda dipasangkan pada sebuah larutan elektrolit yang korosif, maka salah satunya paduannya akan terkorosi dan yang satunya lagi akan terlindungi dari korosi. Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa sebuah paduan (*anodic*) akan mengalami korosi terlebih dahulu ketika dipasangkan dengan paduan yang memiliki potensial lebih positif atau lebih mulia (*cathodic*). Potensial yang lebih negatif akan menjadi reaksi anodik atau oksidasi sehingga akan mengalami korosi (jones,1992). Sehingga reaksi anodik terjadi pada paduan yang memiliki potensial lebih negatif dari pada paduan pada reaksi katodik yang memiliki potensial lebih positif. Sehingga pada reaksi anodik akan terkorosi, sedangkan pada katodik akan terproteksi dan tidak mengalami korosi. Skema terjadinya korosi galvanik dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Skema korosi *galvanic*, paduan *active* (reaksi anodik) akan mengalami korosi dan paduan *noble* tidak akan terkorosi (Jones, 1992)

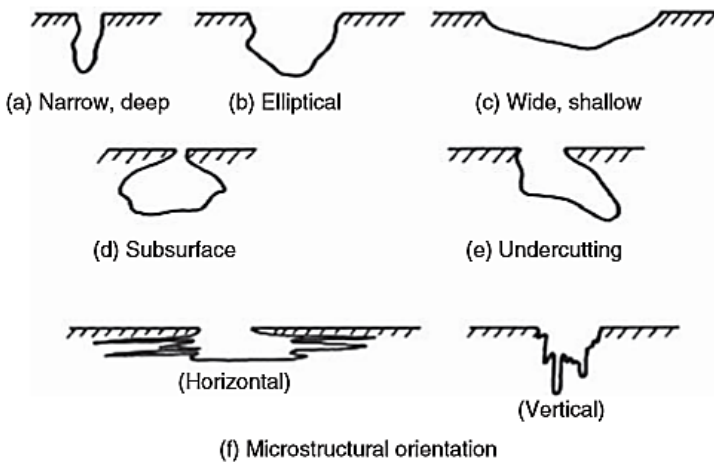


Gambar 2.2 *Galvanic series in seawater* (Jones,1992)

2.3.3 Korosi *Pitting* (Lubang)

Serangan korosi yang terlokalisasi pada permukaan logam akan menghasilkan lubang korosi, lubang korosi yang dihasilkan berupa lubang yang dalam, korosi pada permukaan ataupun melemahkan lapisan pasif pada permukaan logam sehingga menghasilkan korosi lokal (*Jones, 1992*). Mekanisme korosi lokal terjadi dengan 2 tahap, yaitu tahap inisiasi dan tahap propagasi (*Raja, 2015*).

Untuk mencegah korosi lubang dapat memilih material yang tahan korosi seperti menambahkan paduan N dan Mo pada baja tahan karat atau mengatur lingkungan yang memiliki ion yang lebih sedikit, seperti ion klorida yang akan menyebabkan korosi lubang (*Raja, 2015*). Variasi terjadinya korosi lubang pada logam dapat dilihat pada Gambar 2.3.

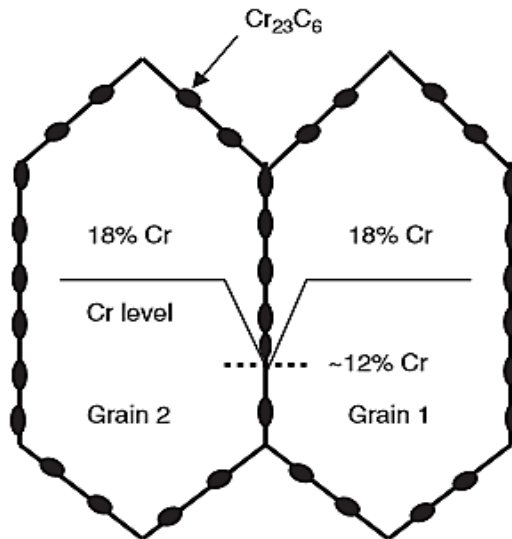


Gambar 2.3 Variasi terjadinya korosi lubang (*Raja, 2015*)

2.3.4 Korosi pada batas butir (*Intergranular Corrosion*)

Batas butir pada paduan dapat menjadi wilayah terjadinya serangan korosi lokal. Pemisahan zat kimia pada batas butir, menipisnya elemen pasif pada batas butir dan presipitasi pada batas

butir adalah penyebab utama terjadinya korosi pada batas butir (Raja, 2015). Contohnya pada Baja Tahan Karat Austenit, ketika dipanaskan pada temperature 550-850°C, maka Kromium Karbida ($Cr_{23}C_6$) akan tumbuh dan mengendap pada batas butir pada saat pendinginan. Akibatnya wilayah yang berdekatan dengan batas butir akan mengalami kekerugan Kromium, daerah yang kekurangan Kromium tersebut akan rentan terserang korosi. presipitasi Kromium Karbida dan menipisnya Kromium pada batas butir dapat dilihat pada Gambar 2.4. sehingga menyebabkan batas butir yang mengalami kekurangan Kromium mengalami korosi pada batas butir.



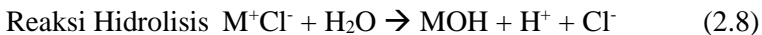
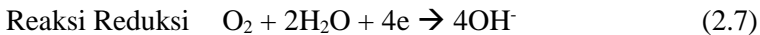
Gambar 2.4 Skema terjadinya presipitasi kromium karbida dan menipisnya kromium pada batas butir (Raja,2015)

2.3.5 Korosi Celah

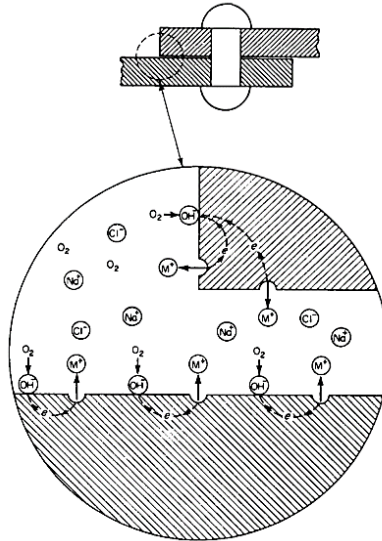
Korosi celah adalah korosi lokal yang terjadi pada sebuah lekukan material : daerah yang penyambung atau pengelasan dan

di bawah daerah yang terjadi endapan. daerah celah sendiri sangat kecil dan sangat sulit untuk dilalui cairan yang melalui permukaan logam. Serangan korosi ini biasa disebut dengan serangan endapan.

Awalnya reaksi ini terjadi seperti korosi pada umumnya, termasuk pada bagian celah. Elektron yang dibuat oleh ion logam akan mengurangi oksigen melalui reaksi reduksi (Persamaan 2.6). Satu ion hidroksida akan dihasilkan oleh ion logam pada larutan (Persamaan 2.7). Dan dalam waktu singkat, oksigen pada celah akan berkurang akibat pergerakannya yang terbatas. Akan tetapi pengurangan oksigen ini tidak mengurangi terjadinya korosi. Setelah oksigen habis, tidak ada reaksi oksigen lebih lanjut, meskipun logam tetap berubah menjadi ion logam (M^+), yang tentunya akan diseimbang dengan perpindahan ion klorida pada celah. Hal ini menyebabkan meningkatnya konsentrasi logam klorida pada metal. Kecuali logam alkali (Na dan K), logam garam, termasuk klorida dan sulfat. Yang terjadi adalah proses hidrolisis pada air, Persamaan 2.8.



Skema terjadinya korosi celah pada logam dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema terjadinya korosi celah (Fontana,1986)

Salah satu cara untuk melawan korosi celah pada desain saluran drainase kapal adalah mengurangi sudut yang tajam dan area yang diam. Fasilitas drainase dibersihkan dan dicuci dan mencegah terjadinya endapan pada daerah bawah kapal (Fontana,1986)

2.4 Mekanisme *Pitting Corrosion*

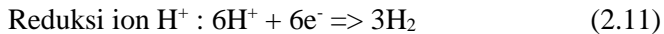
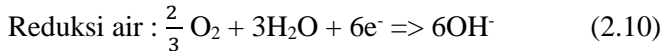
Secara umum korosi sumuran ini terjadi pada satu wilayah tertentu saja karena pada daerah tersebut telah mengalami kerusakan lapisan pasif seperti pada Gambar 2.6. Berikut contoh mekanisme terjadinya korosi sumuran :

1. Terbentuknya tempat-tempat yang bersifat anodik yang disebabkan oleh rusaknya lapisan pasif pada permukaan logam.

Reaksi oksidasi pada anoda :



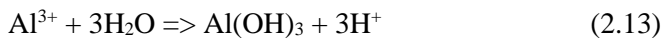
Reaksi reduksi pada katoda :



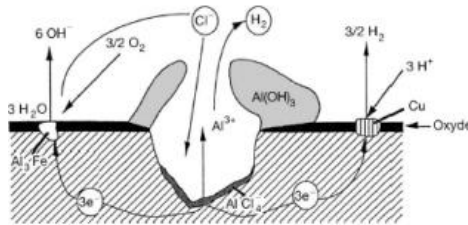
Secara umum reaksi korosi pada aluminium adalah :



2. Karena terjadinya proses pelarutan logam secara kontinu, ion-ion logam akan terakumulasi di daerah anoda, sehingga terbentuk rongga-rongga. dan untuk menstabilkan elektron, ion-ion klorida bermigrasi ke dalam rongga dan bereaksi dengan ion logam dan terjadi reaksi hidrolisis.



3. Dengan adanya ion H^{+} dan Cl^{-} akan mencegah terjadinya repasifasi pada logam. Seiring dengan meningkatnya laju pelarutan logam pada daerah anodik akan mempercepat migrasi dari ion klorida, sehingga akan memperbanyak terbentuknya AlCl_4^{-} . dan proses tersebut akan berjalan hingga logam tersebut terbentuk pitting (lubang).



Gambar 2.6 Mekanisme *pitting corrosion*

2.5 Baja Anti Karat (*Stainless Steel*)

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sedikitnya 11,5% krom berdasar beratnya. *Stainless steel* memiliki sifat tidak mudah terkorosi sebagaimana logam baja yang lain. *Stainless steel* berbeda dari baja biasa dari kandungan kromnya. Baja karbon akan terkorosi ketika diekspos pada udara yang lembab. Besi oksida yang terbentuk bersifat aktif dan akan mempercepat korosi dengan adanya pembentukan oksida besi yang lebih banyak lagi. *Stainless steel* memiliki persentase jumlah krom yang memadai sehingga akan membentuk suatu lapisan pasif kromium oksida yang akan mencegah terjadinya korosi lebih lanjut.

Untuk memperoleh ketahanan yang tinggi terhadap oksidasi biasanya dilakukan dengan menambahkan krom sebanyak 13 hingga 26 persen. Lapisan pasif *chromium(III) oxide* (Cr_2O_3) yang terbentuk merupakan lapisan yang sangat tipis dan tidak kasat mata, sehingga tidak akan mengganggu penampilan dari *stainless steel* itu sendiri. Dari sifatnya yang tahan terhadap air dan udara ini, *stainless steel* tidak memerlukan suatu perlindungan logam yang khusus karena lapisan pasif tipis ini akan cepat terbentuk kembali ketika mengalami suatu goresan. Peristiwa ini biasa disebut dengan pasivasi, yang dapat dijumpai pula pada logam lain misalnya aluminium dan titanium.

Ada berbagai macam jenis dari *stainless steel*. Ketika nikel ditambahkan sebagai campuran, maka *stainless steel* akan berkurang kegetasannya pada suhu rendah. Apabila diinginkan sifat mekanik yang lebih kuat dan keras, maka dibutuhkan penambahan karbon. Sejumlah unsur mangan juga telah digunakan sebagai campuran dalam *stainless steel*. *Stainless steel* juga dapat dibedakan berdasarkan struktur kristalnya menjadi: *austenitic stainless steel*, *ferritic stainless steel*, *martensitic stainless steel*, *precipitation-hardening stainless steel*, dan *duplex stainless steel*. (Sumarji,2011)

2.5.1 Stainless Steel 308

Pada kondisi cor kondisi struktur mikro dari baja 308 adalah dominan *austenite*, sedangkan dalam kondisi las merupakan kombinasi dari *austenite* dan *ferrit* yang dapat ditemukan. Jumlah *ferrit* sangat tergantung pada tingkat pendinginan, dengan tingkat pendinginan yang tinggi menimbulkan fraksi volume *ferrit* yang lebih tinggi (hingga 30%). Morfologi *ferrit* yang terbentuk dalam *stainless steel* 308 lasan bersifat vermicular. Material tersebut juga dapat mengandung endapan karbida $M_{23}C_6$ di sepanjang batas butir *austenite-ferrit* dan fase s kecil yang mengendap dalam *ferrit*. Morfologi dari *ferrit* dalam baja tahan karat tergantung pada proses pemadatan. *308 Stainless Steel* diperkirakan memadat di bentuk feritik, sehingga *d ferrite* adalah fase padat pertama yang terbentuk dari larutan. (Tomas, 2009)

2.6 ASTM-G48-11

ASTM G48-11 adalah metode pengujian yang mencakup prosedur untuk menentukan ketahanan baja tahan karat (*Stainless Steel*) dan paduan yang terkait untuk diuji korosi *pitting* dan *crevice* ketika terkena lingkungan oksidasi klorida. Terdapat enam prosedur yang dijelaskan dan diidentifikasi sebagai metode A, B, C, D, E, dan F

Berikut merupakan beberapa jenis metode yang ada pada ASTM G48-11:

Tabel 2.1 Jenis-jenis metode pengujian ASTM G48-11

Metode	Keterangan
A	Uji <i>pitting</i> dengan larutan <i>Ferric Chloride</i>
B	Uji celah dengan larutan <i>Ferric Chloride</i>
C	Uji <i>pitting</i> dengan <i>critical temperature</i> untuk paduan <i>Nickelbase</i> dan Kromium
D	Uji celah dengan <i>critical temperature</i> untuk paduan <i>Nickel</i> dan Kromium
E	Uji <i>pitting</i> dengan <i>critical temperature</i> untuk <i>stainless steels</i>
F	Uji celah dengan <i>critical temperature</i> untuk <i>stainless steels</i>

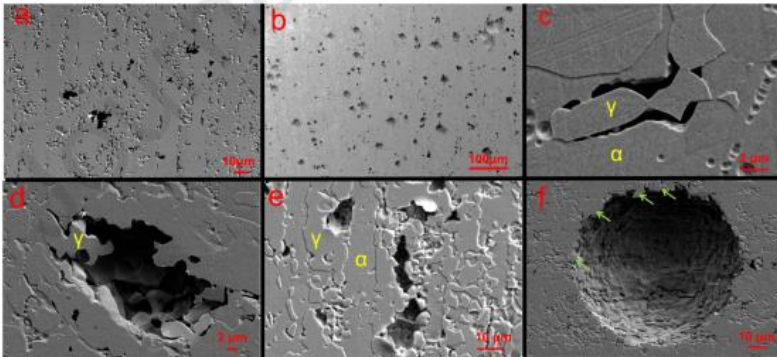
Pada Tabel 2.1 menjelaskan tentang jenis-jenis metode dari standar ASTM G48-11 dan juga kegunaan dari standar itu sendiri.

Metode A dirancang untuk menentukan ketahanan *pitting* relatif baja tahan karat dan padua berbasis nikel, chromiumbearing, sedangkan Metode B dapat digunakan untuk menentukan baik ketahanan korosi *pitting* dan celah dari paduan ini. Metode C, D, E dan F memungkinkan pemeringkatan paduan oleh suhu minimum (kritis) menyebabkan inisiasi lubang korosi dan korosi celah, masing-masing, dari *stainless steels*, paduan berbasis nikel dan kromium dalam standar larutan besi klorida.

2.7 Penelitian Sebelumnya

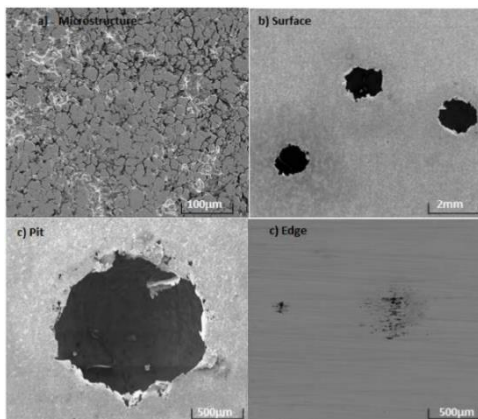
Beberapa penilitian telah dilakukan untuk menganalisa korosi *pitting* pada baja tahan karat. Salah satunya dilakukan oleh Yiqi Zhou pada tahun 2020 yang menguji korosi *pitting* pada material baja tahan karat tipe 2205 duplex (2205 DSS). Pada pengujian tersebut dikatakan temperatur 30°C sebagai temperatur kritis *pitting* (CPT) dari 2205 DSS. Material telah dianil, dengan PREN 38,4 dan estimasi CPT sesuai ASTM G48 sebesar 45°C

untuk larutan 6% FeCl_3 . Percobaan dilakukan dengan meletakkan elektroda bipolar.



Gambar 2.7 (a) Korosi pitting setelah 15 detik, (b) setelah 30 detik, (c) nukleasi palung setelah 15 menit, (d-f) palung telah terbentuk.

Pada tahun 2017, Jyoti Bhandari melakukan pengujian korosi pitting pada SS 304 dengan larutan FeCl_3 . Pada pengujian tersebut diatur temperatur larutan 22°C dan dicelupkan selama 72 jam.



Gambar 2.8 Hasil pengujian imersi

Perbandingan antara lebar dan kedalaman dari spesimen, terlihat jelas dari penampakan permukaannya bahwa terdapat korosi pitting.

2.7.1 Mekanisme Korosi *Intergranular* dan Korosi *Pitting* Baja *Stainless Steel 308 Austenitik* dan *Dupleks*

Pada penelitian yang dilakukan Devine pada tahun 1979 bertujuan untuk menganalisa pengaruh ketahanan korosi antargranular dan korosi sumur terhadap struktur mikro *Stainless Steel 308* dengan variasi volume persen dari ferrit (0% sampai 15%). Penelitian dilakukan dengan uji *Strauss* (berdasarkan ASTM-A262E) di temperatur 1200°C, 1250°C, 1300°C, dan 1350°C.

Tabel 2.2 Efek temperatur *annealing* terhadap potensial *pitting* dari *Stainless Steel 308*

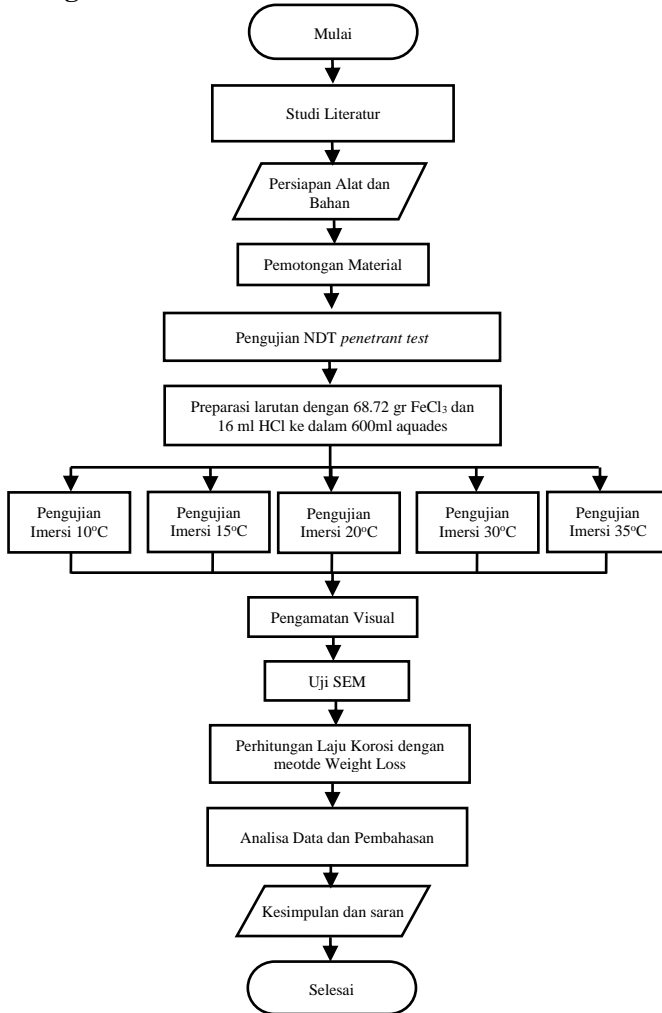
Anneal temperature (°C/hr)	Average value of pitting potential (mV)	Difference between maximum and minimum values
1200/1	526	550
1250/1	602	460
1300/1	485	165
1350/1	418	230

Kesimpulan besar dari penelitian ini ada 2 yaitu perilaku korosi ke baja tahan karat 308 memiliki pengaruh besar terhadap struktur mikro dan pembagian dari kadar ferrit dapat berpengaruh membatasi korosi antargranular dari *stainless steel* Austenitik.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Pengujian yang Digunakan

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti standar ASTM-G48 *E-Critical Temperature Test for Stainless Steel Methods*.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan pada perancangan penelitian diantaranya adalah:

1. Amplas grit-120
2. Container test 1L
3. Stopwatch
4. Termometer
5. Sikat nilon
6. Aseton atau methanol
7. Lembaran kaca
8. *Support PVC*
9. Kamera

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada perancangan penelitian diantaranya adalah:

1. *Stainless Steel*
2. 600 mL larutan FeCl
3. Air reagen
4. Asam hidroklorat (HCl) konsentrasi (36.5-38.0%)
5. Aquades

3.4 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan 3 jenis variabel (variabel bebas, tetap, dan kontrol)

Tabel 3.1 Variabel penelitian

Variabel Bebas	Variabel Tetap	Variabel Kontrol
Stainless Steel 308	Komposisi dan Volume Alloy, Komposisi dan Volume Larutan FeCl ₃ , pH, Volume Penampang Percobaan	Temperatur, Waktu, Laju Korosi, Berat yang Hilang

3.5 Spesifikasi Teknis Material Penelitian

3.5.1 Preparasi Sampel Pengujian

Pembuatan desain material uji berdasarkan ASTM G48-11 pada poin 7. Spesimen dapat berbentuk apa saja dan memiliki bentuk yang simetris. Pada pengujian ini digunakan spesimen dengan dimensi 50mm x 25mm x 2mm yang telah dipotong menjadi 2 dengan dimensi spesimen 25mm x 25mm x 2mm sehingga diperoleh 5 buah spesimen *Stainless Steel* AISI 308 yang akan diuji di 5 temperatur yang berbeda.

3.5.2 Pembuatan Larutan Percobaan

Larutan yang digunakan dengan konsentrasi 6% ferric chloride. Larutan pengujian dibuat dengan melarutkan 68.72 g reagen ferric chloride dan 16 ml HCl ke dalam 600 ml aquades sesuai dengan ASTM G48-11 Metode E menghasilkan larutan dengan konsentrasi Cl⁻ sebesar 2.39 M dan pH sebesar 0.

3.5.3 Dimensi Spesimen *Stainless Steel* 308

Kelima spesimen diukur dimensi awal setelah proses pemotongan dilakukan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Dimensi material

Material	Panjang (cm)	Lebar (cm)
WM 10	2,4	2,0
WM 15	2,4	2,2
WM 20	2,5	2,2
WM 30	2,5	2,2
WM 35	2,5	2,2

3.5.4 Komposisi Spesimen *Stainless Steel 308*

Komposisi dari material yang akan diuji berdasarkan data Lampiran 1 tertera pada Tabel 3.3, Tabel 3.4, Tabel 3.5, Tabel 3.6, Tabel 3.7, dan Tabel 3.8.

Tabel 3.3 Komposisi baja tahan karat AISI 308 sampel WM 10

Unsur	Persentase (%)
Ti	0,01
V	0,13
Cr	18,25
Mn	1,36
Fe	70,80
Co	0,70
Ni	9,33
Cu	0,46
Nb	0,01
Mo	0,42
W	0,06

Tabel 3.4 Komposisi baja tahan karat AISI 308 sampel WM 15

Unsur	Persentase (%)
Ti	0,1
V	0,07
Cr	18,35
Mn	1,31
Fe	70,78

Co	0,52
Ni	9,24
Cu	0,40
Nb	0,02
Mo	0,41
W	0,10

Tabel 3.5 Komposisi baja tahan karat AISI 308 sampel WM 20

Unsur	Persentase (%)
Ti	0,00
V	0,13
Cr	18,48
Mn	1,52
Fe	70,62
Co	0,39
Ni	9,36
Cu	0,36
Nb	0,01
Mo	0,40
W	0

Tabel 3.6 Komposisi baja tahan karat AISI 308 sampel WM30

Unsur	Persentase (%)
Ti	0,01
V	0,13
Cr	18,25
Mn	1,36
Fe	70,80
Co	0,70
Ni	9,33
Cu	0,46
Nb	0,01
Mo	0,42
W	0,06

Tabel 3.7 Komposisi baja tahan karat AISI 308 sampel WM 35

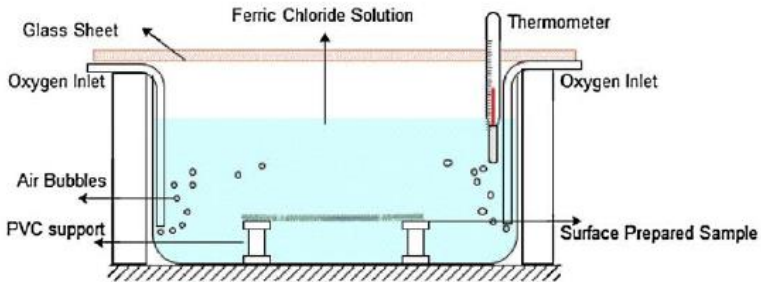
Unsur	Persentase (%)
Ti	0,1
V	0,07
Cr	18,35
Mn	1,31
Fe	70,78
Co	0,52
Ni	9,24
Cu	0,40
Nb	0,02
Mo	0,41
W	0,10

Tabel 3.8 *Mean* komposisi sampel baja tahan karat AISI 308 yang diuji

Unsur	Persentase (%)
Ti	0,01
V	0,11
Cr	18,36
Mn	1,40
Fe	70,77
Co	0,43
Ni	9,31
Cu	0,41
Nb	0,01
Mo	0,41
W	0,06

3.6 Rancangan Skema Penelitian

Berikut Gambar 3.2 merupakan skema percobaan pengujian ASTM-G48-11:



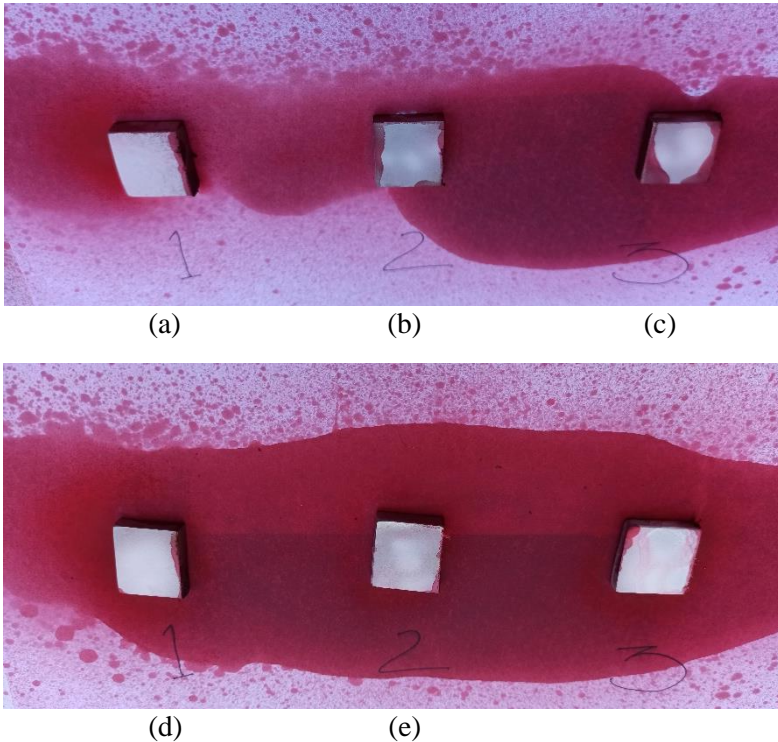
Gambar 3.2 Skema perancangan percobaan ASTM-G48-11
(ASTM-G48-11,2015)

3.7 Pelaksanaan Pengujian ASTM-G48

Tahapan Pengujian ASTM-G48-11 terbagi menjadi 2 yaitu Pengujian *Non Destructive Test* (NDT) dan Prosedur Pengujian

3.7.1 Pengujian *Non Destructive Test* (NDT)

Sebelum pengujian imersi dilaksanakan, dilakukan pengujian NDT (*Non Destructive Test*) yang bertujuan untuk memperoleh data apakah logam uji telah mengalami korosi *pitting* sebelumnya. Pengujian dilakukan dengan menyemprotkan *red penetrant spray* pada logam yang kemudian dibiarkan selama 5 menit sebelum dibersihkan dan disemprot kembali menggunakan *developer spray* untuk dilihat terdapat indikator bercak merah pada permukaan logam uji yang disemprotkan *developer* yang menunjukkan terjadinya korosi *pitting* pada logam. Hasil dari pengujian *penetrant test* dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Hasil uji NDT *stainless steel* 308 (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3, (d) sampel 4, dan (e) sampel 5

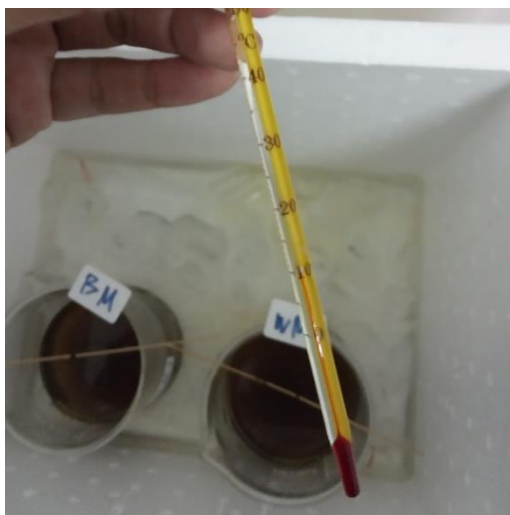
Pada gambar 3.3 menunjukkan bahwa tidak ada titik-titik merah yang menempel pada *developer* untuk kelima sampel hal ini menunjukkan bahwa tidak adanya proses korosi *pitting* yang terjadi pada sampel sebelum dilakukan pengujian imersi.

3.7.2 Prosedur Pengujian

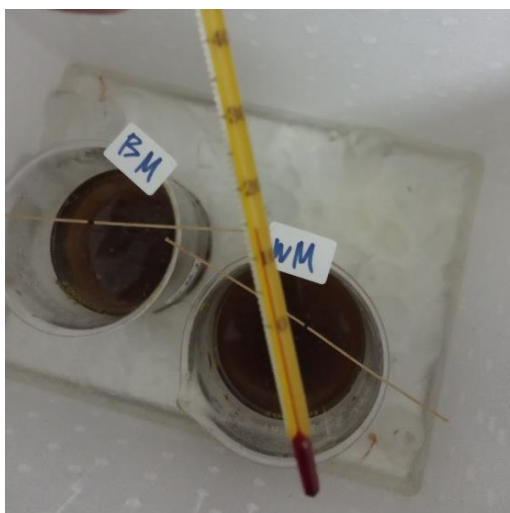
Prosedur dari penelitian imersi ini dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Departemen Teknik Material ITS mengikuti standar ASTM-G48-11 Metode E-*Critical Temperature Pitting Test for Stainless Steel*, diantaranya adalah:

1. Menuangkan 600 ml larutan yang telah disiapkan ke dalam test container berukuran 1L.
2. Mengatur temperatur larutan sesuai dengan target pengujian yaitu sebesar 10°C, 15°C, 20°C, 30°C, dan 35°C.
3. Meletakkan spesimen uji pada tatakan, lalu menutup test container dengan menggunakan kaca dan melakukan proses imersi selama 24 jam dengan menjaga kestabilan temperatur.
4. Setelah 24 jam, mengambil spesimen uji, lalu membilas dengan menggunakan air dan menggosok dengan scrub nilon di bawah air mengalir untuk menghilangkan produk korosi yang menutupi lubang korosi pitting.
5. Membersihkan spesimen menggunakan aseton atau methanol, lalu mengeringkan pada temperatur ruang.

Berikut dokumentasi pengukuran temperatur yang diukur dengan thermometer agar hasil sesuai dengan target dan ditunjukkan pada Gambar 3.4, Gambar 3.5, Gambar 3.6, Gambar 3.7, dan Gambar 3.8.



Gambar 3.4 Pengukuran temperatur pada spesimen uji 10°C



Gambar 3.5 Pengukuran temperatur pada spesimen uji 15°C



Gambar 3.6 Pengukuran temperature pada spesimen uji 20°C



Gambar 3.7 Pengukuran temperatur pada spesimen 30°C



Gambar 3.8 Pengukuran temperature pada spesimen 35°C

3.8 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Scanning Electron Microscope memberikan detail informasi permukaan dengan menelusuri sampel dalam pola raster dengan berkas elektron. Prosesnya dimulai dengan senjata elektron yang menghasilkan seberkas elektron energik di kolom dan ke serangkaian lensa elektromagnetik. Lensa-lensa ini adalah tabung, dibungkus dengan koil dan disebut sebagai solenoida. Kumparan disesuaikan untuk memfokuskan sinar elektron kejadian ke sampel; penyesuaian ini menyebabkan fluktuasi tegangan, meningkatkan / mengurangi kecepatan di mana elektron bersentuhan dengan permukaan spesimen. Dikontrol melalui komputer, operator SEM dapat menyesuaikan sinar untuk mengontrol perbesaran serta menentukan area permukaan yang akan dipindai. Balok difokuskan ke panggung, tempat sampel padat ditempatkan. Sebagian besar sampel memerlukan persiapan sebelum ditempatkan di ruang vakum. Dari berbagai proses persiapan yang berbeda, dua yang paling umum digunakan sebelum analisis SEM adalah pelapisan sputter untuk sampel non-konduktif dan dehidrasi dari sebagian besar spesimen biologi.

Selain itu, semua sampel harus mampu menangani tekanan rendah di dalam ruang vakum. Interaksi antara elektron kejadian dan permukaan sampel ditentukan oleh laju percepatan elektron kejadian, yang membawa sejumlah besar energi kinetik sebelum difokuskan ke sampel. Ketika elektron datang bersentuhan dengan sampel, elektron energetik dilepaskan dari permukaan sampel. Pola hamburan yang dibuat oleh interaksi menghasilkan informasi tentang ukuran, bentuk, tekstur dan komposisi sampel.

Berbagai detektor digunakan untuk menarik berbagai jenis elektron yang tersebar, termasuk elektron sekunder dan hambur balik serta sinar-x. Elektron hambur balik adalah elektron insidental yang dipantulkan ke belakang; gambar memberikan data komposisi yang terkait dengan elemen dan deteksi senyawa. Meskipun informasi topografi dapat diperoleh dengan menggunakan detektor hamburan balik, itu tidak seakurat SED. Elektron hamburan balik yang terdefraksi menentukan struktur

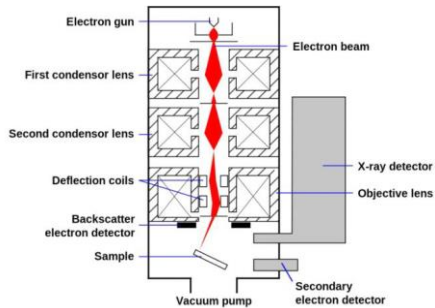
kristal serta orientasi mineral dan mikro-kain. Sinar-X, yang dipancarkan dari bawah permukaan sampel, dapat memberikan informasi elemen dan mineral.

SEM menghasilkan gambar tiga dimensi hitam dan putih. Perbesaran gambar dapat mencapai 10 nanometer dan, meskipun tidak sekuat rekan TEM-nya, interaksi intens yang terjadi pada permukaan spesimen memberikan hasil yang lebih besar dalam kedalaman, resolusi lebih tinggi dan paling penting, gambar permukaan yang lebih rinci.

SEM memiliki berbagai aplikasi dalam sejumlah bidang yang terkait dengan industri dan ilmiah, terutama di mana karakterisasi bahan padat bermanfaat. Selain informasi topografi, morfologi dan komposisi, Scanning Electron Microscope dapat mendeteksi dan menganalisis fraktur permukaan, memberikan informasi dalam struktur mikro, memeriksa kontaminasi permukaan, mengungkapkan variasi spasial dalam komposisi kimia, memberikan analisis kimia kualitatif, dan mengidentifikasi struktur kristal. SEM dapat menjadi alat penelitian penting dalam berbagai bidang seperti ilmu kehidupan, biologi, permata, ilmu kedokteran dan forensik dan metalurgi. Selain itu, SEM memiliki aplikasi industri dan teknologi praktis seperti inspeksi semikonduktor, lini produksi produk kecil dan perakitan microchip untuk komputer.



Gambar 3.9 *Scanning Electron Microscope (SEM) JEOL JSM-6610LV di Laboratorium EM, G.B. Pant University of Agriculture and Technology, Pattnagar*



Gambar 3.10 *Diagram skematik dari Scanning Electron Microscope (Choudhary, 2017)*



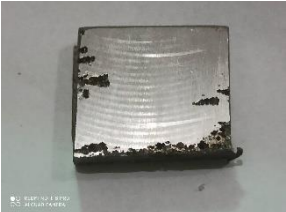
(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data Luas Area *Pitting Corrosion*

Dari penelitian uji imersi yang telah dilakukan diperoleh data luas area yang terkorosi sebagai akibat dari *pitting corrosion* yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Perhitungan luas area yang terkorosi dilakukan setelah pengujian imersi selama 24 jam.

Tabel 4.1 Perhitungan luas area terhadap *pitting corrosion*

Spesimen	Visual	Luas Area (cm ²)	<i>Pitting</i> Area (cm ²)	<i>Pitting</i> Area (%)
WM 10		4.59	0	0
WM 15		5.28	0	0
WM 20		2.648	0.10	3.89

WM 30		3.155	0.54	17.04
WM 35		2.788	0.29	10.57

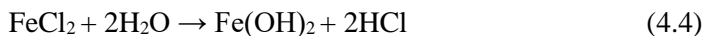
Pada Tabel 4.1 didapatkan hasil visual pengujian dan perhitungan ketahanan logam *Stainless Steel* 308 terhadap *pitting corrosion* dalam larutan FeCl_3 dengan menggunakan *software* ImageJ. Pada hasil setelah dilakukan pengujian imersi, terdapat area di bagian tepi material yang memiliki bagian terkorosi. Hal ini disebabkan adanya kemungkinan terjadi kerusakan lapisan pasif dan adanya perubahan fasa dari material akibat panas ketika proses pemotongan dengan gerinda berlangsung sehingga tidak dimasukkan ke perhitungan luas area *pitting*. Ukuran dimensi dari permukaan spesimen yang diamati dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Dimensi area yang akan diamati

Material	Panjang (cm)	Lebar (cm)
WM 10	2.4	1.7
WM 15	2.3	1.7
WM 20	2.3	1.9
WM 30	2.2	1.7
WM 35	2.2	1.6

Dapat diperhatikan bahwa semakin besar temperature dari pengujian imersi maka ketahanan logam terhadap *pitting corrosion* akan semakin berkurang. Dari hasil visual didapatkan bahwa hasil pengujian 10°C dan 15°C tidak terdapat lubang korosi sumur, sedangkan pada suhu 20°C, 30°C, dan 35°C terbentuk lubang korosi yang cukup banyak. Pada spesimen temperatur 20°C terdapat area *pitting* yang kecil dalam bentuk lubang-lubang kecil, sedangkan pada spesimen temperature 30°C dan 35°C terbentuk area *pitting* yang besar. Pada umumnya, spesimen *Stainless Steel* 308 memiliki ketahanan temperatur kritis dan korosi *pitting* yang lebih besar dibanding dengan *Stainless Steel* 304L, hal ini dikarenakan *Stainless Steel* 308 memiliki kadar Molibdenum (Cr) yang lebih besar dibandingkan dengan *Stainless Steel* 304L, yang memiliki kadar Molibdenum mendekati 0%, menyebabkan perhitungan CPT dari *Stainless Steel* 308 lebih besar dari *Stainless Steel* 304L dan performa korosi *pitting* yang terbentuk dari *Stainless Steel* 304L lebih besar dibandingkan *Stainless Steel* 308.

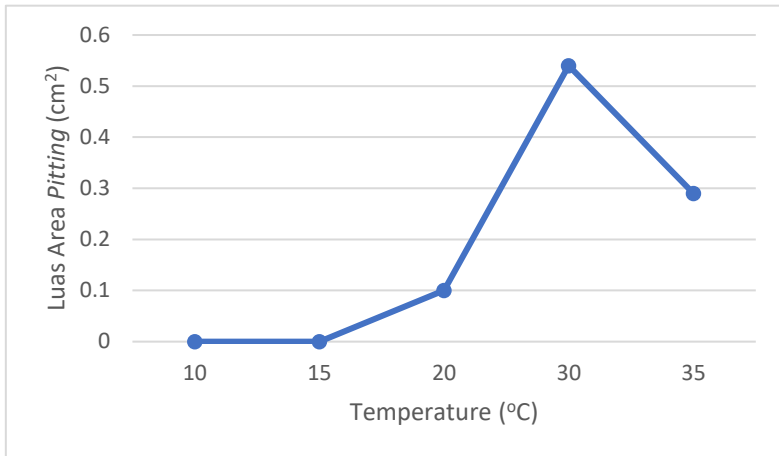
Korosi *pitting* bermula dari titik tertentu pada permukaan dikarena ketidak seragaman dari lapisan pasif, adalah proses redoks telokalisasi yang muncul dalam *pit* pada permukaan logam. Reaksi ini membutuhkan kesetimbangan reaksi antara reduksi dan oksidasi. Reaksi anodik yang terjadi di dalam *pit* menyebabkan larutnya Fe ketika reaksi katodik, yang menggunakan elektron bebas dari reaksi anodik, menghasilkan ion hidroksida. Di dalam *pit* larutan elektrolit menjadi bermuatan positif dikarenakan keberadaan ion Fe^{2+} mempercepat proses korosi (Javier, 2019). Proses terjadinya korosi sesuai dengan persamaan :



Reaksi 4.1 terjadi di luar *pit* terpecahnya larutan FeCl_3 menjadi ion Fe^{3+} dan Cl^- . Fe^{3+} kemudian bereaksi dengan ion hidroksida membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_3$ seperti pada reaksi 4.2. Sementara ion Cl^- yang terlepas dari FeCl_3 bereaksi dengan Fe^{2+} yang merupakan ion Fe terlarut dari logam spesimen. FeCl_2 pada reaksi 4.3. FeCl_2 hasil dari reaksi 4.3 kemudian bereaksi dengan H_2O dari larutan menghasilkan produk korosi berupa $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan HCl sesuai dengan persamaan 4.4.

Berdasarkan buku *Practical Guideline for Fabrication of High Performance Austenitic Stainless Steels*, Stainless Steel AISI 304 dengan filler 308L dapat memiliki CPT diantara 3°C sampai 10°C , karena pada umumnya *filler* metal 308(L) dan 316(L) memiliki kadar Fe sebesar 5 sampai 10 persen, digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap *microfissuring* dan *hot cracking*. Sedangkan menurut penelitian Fransisco jumlah lubang *pitting* yang terbentuk meningkat seiring bertambahnya temperature perlakuan, sedangkan pada penelitian jumlah lubang pada spesimen temperatur 30°C jauh lebih banyak dibandingkan dengan yang 35°C .

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa luas area *pitting* temperatur 30°C lebih besar dibanding temperatur 35°C , hal ini dikarenakan proses korosi yang terbentuk pada spesimen 30°C tidak hanya terdiri dari korosi *pitting* saja, melainkan terdapat perusakan lapisan permukaan pada spesimen 30°C yang menyebabkan luas area korosi *pitting* yang dihitung menggunakan ImageJ terjadi peningkatan yang besar dan tidak wajar bila dibandingkan dengan spesimen 35°C .



Gambar 4.1 Grafik perbandingan temperatur dan luas area *pitting* *Stainless Steel 308*

Hal ini disebabkan karena semakin besarnya temperatur pada lingkungan korosi, akan menyebabkan *internal stress* dari logam menjadi semakin besar, sehingga mempercepat proses korosi.

4.2 Analisa Data Perhitungan *Critical Pitting Temperature* (CPT)

Berdasarkan rumus 4.5 berupa perhitungan *Critical Pitting Temperature* (CPT) dari ASTM G48-11 pada poin 10.1.3 :

$$\text{CPT (}^\circ\text{C)} = (2.5 \times \% \text{Cr}) + (7.6 \times \% \text{Mo}) + (31.9 \times \% \text{N}) - 41.0 \quad (4.5)$$

Berdasarkan *Materials and Welding for Stainless Steels* mengenai komposisi *Stainless Steel 308* yang memiliki kadar Cr sebesar 19.5% - 22.0% dan kadar Mo sebesar 0.75%, dilakukan perhitungan dan kemudian diperoleh hasil CPT yang memiliki range sebesar 13.45°C sampai 19.7°C. Temperatur kritis yang dimiliki material *Stainless Steel* AISI 308 (WM10, WM15, WM20, WM30, dan WM 35) sebesar 7.81°C, 7.99°C, 8.24°C, 7.81°C, dan

7.99°C, dimana rata - rata CPT dari kelima spesimen sebesar 8,02°C.

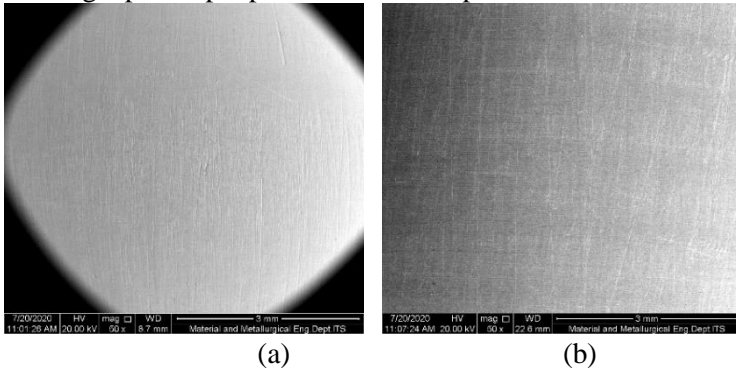
4.3 Analisa Data Pengujian *Scanning Electron Microscopy*

Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk memperoleh gambaran mikroskopis struktur permukaan spesimen sesudah proses *pitting*. Proses ini meliputi persiapan specimen melalui tahapan uji NDT dan uji imersi sebelum spesimen ditempatkan di bawah lensa obyektif mikroskop.

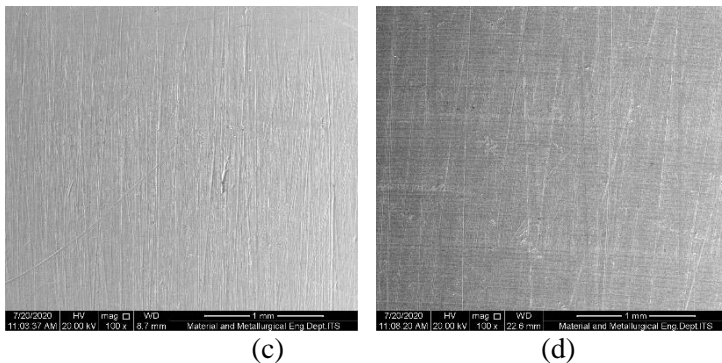
Data pengamatan struktur mikro dilakukan di Departemen Teknik Material, ITS menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) sesudah dilakukan uji imersi yang diambil merupakan data *Stainless Steel* 308 filler di pengujian temperatur 10°C dan 15°C, gambar struktur mikro diambil dengan menggunakan mikroskop SEM dengan perbesaran 50x, 100x, dan 200x, pengambilan foto struktur mikro dilakukan pada permukaan bagian atas spesimen uji.

Setelah dilakukan pengambilan foto struktur mikro, dilakukan pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mencari adanya *pitting* yang terbentuk pada spesimen *Stainless Steel* 308. Pada pengamatan spesimen perbesaran 50x di Gambar 4.2 , tidak ditemukan proses *pitting* yang terbentuk dari kedua spesimen. Kemudian pada pengamatan perbesaran 100x, tidak ditemukan indikator proses korosi yang terbentuk pada spesimen *Stainless Steel* 308 temperature 15°C, demikian pada spesimen temperatur 10°C tidak ditemukan terjadinya proses *pitting* yang dapat dilihat di Gambar 4.3. Pada foto perbesaran 200x di Gambar 4.4, proses korosi dapat terlihat pada spesimen *Stainless Steel* 308 temperatur 15°C namun tidak dapat dipastikan bahwa spesimen terjadi *pitting* dikarenakan perbesaran yang terlalu kecil, sedangkan pada spesimen temperature 10°C tidak ditemukan adanya proses *pitting*. Hal ini dapat disebabkan karena kemungkinan proses korosi yang terjadi pada spesimen temperatur 15°C tidak mengalami korosi *pitting* namun berupa *slag* atau *crack*, selain itu inisiasi proses

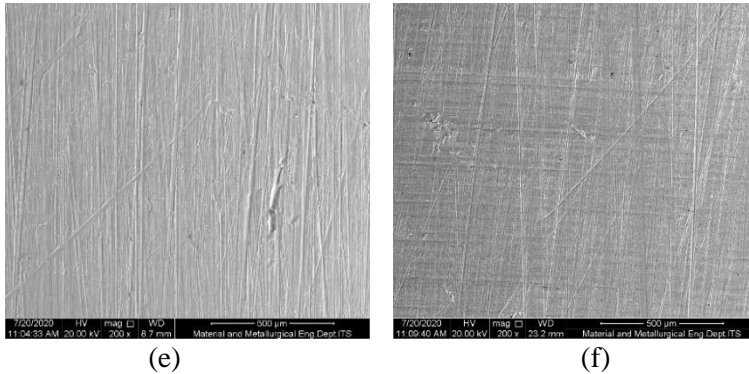
korosi *pitting* mungkin terjadi saat temperatur 15°C. Foto struktur mikro lengkap terdapat pada halaman lampiran 6.



Gambar 4.2 Foto struktur mikro (a) temperature 10°C dan (b) temperature 15°C dengan perbesaran 50x



Gambar 4.3 Foto struktur mikro (c) temperatur 10°C dan (d) temperatur 15°C dengan perbesaran 100x.



Gambar 4.4 Foto struktur mikro (e) temperatur 10°C dan (f) temperatur 15°C dengan perbesaran 200x.

4.4 Analisa Data *Non Destructive Test* Setelah Pengujian Imersi

Selain pengujian *Scanning Electron Microscopy*, dilakukan pula *Non Destructive Test* pada lima spesimen *Stainless Steel 308* yang bertujuan untuk mendapatkan gambar makroskopis struktur permukaan spesimen setelah melalui proses *pitting*. Pengujian dilakukan dengan menyemprotkan *red penetrant spray* pada logam yang kemudian dibiarkan selama 5 menit sebelum dibersihkan dan disemprot kembali menggunakan *developer spray* untuk dilihat terdapat indikator bercak merah pada permukaan logam uji yang disemprotkan *developer* yang menunjukkan terjadinya korosi *pitting* pada logam. Hasil dari pengujian *penetrant test* pada spesimen setelah uji imersi dapat dilihat pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8, dan Gambar 4.9 dimana spesimen sampel 10°C dan 15°C tidak terdapat indikator inisiasi *pitting*, sedangkan pada spesimen sampel 20°C, 30°C dan 35°C terdapat indikator proses *pitting*.



Gambar 4.5 Hasil uji NDT sampel 10°C setelah uji imersi



Gambar 4.6 Hasil uji NDT sampel 15°C setelah uji imersi



Gambar 4.7 Hasil uji NDT sampel 20°C setelah uji imersi



Gambar 4.8 Hasil uji NDT sampel 30°C setelah uji imersi



Gambar 4.9 Hasil uji NDT sampel 35°C setelah uji imersi

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Didapatkan hasil penelitian spesimen *Stainless Steel 308* dengan metode ASTM-G48 diantaranya sebagai berikut:
 - a. Pada perhitungan luas area *pitting* terjadi perubahan seiring dengan meningkatnya temperatur spesimen. Pada spesimen temperatur 10°C dan 15°C memiliki luas area *pitting* sebesar 0 cm² menjadi indikator tidak terjadinya proses *pitting* pada temperatur tersebut. Pada temperatur 20°C memiliki luas area *pitting* sebesar 2.648 cm², temperatur 30°C memiliki luas area *pitting* sebesar 3.155 cm², dan temperatur 35°C memiliki luas area *pitting* sebesar 2.788 cm². Perubahan yang signifikan pada spesimen temperatur 30°C disebabkan karena pada permukaan area spesimen terjadi perusakan permukaan spesimen dan korosi *pitting* yang mengakibatkan perhitungan luas area *pitting* lebih besar dibanding spesimen temperatur 35°C.
 - b. Pada pengujian SEM yang dilakukan pada spesimen temperature 10°C tidak ditemukan adanya proses *pitting* yang terbentuk mulai dari perbesaran 50x, 100x, dan 200x. Pada pengujian SEM spesimen 15°C perbesaran 50x dan 100x tidak ditemukan adanya indikasi *pitting*, namun pada perbesaran 200x terdapat indikasi korosi yang terbentuk yang disebabkan kemungkinan cacat logam, selain itu dapat disebabkan karena proses inisiasi *pitting* dari *Stainless Steel 308* terjadi di sekitar 15°C. Pada pengujian NDT yang dilakukan pada 5 spesimen, didapatkan hasil spesimen 10°C dan 15°C tidak

terdapat indikator *pitting*, sedangkan pada spesimen 20°C, 30°C, dan 35°C terdapat indikasi terjadinya proses *pitting*.

2. Pengujian *Critical Pitting Temperature for Stainless Steel* sudah sesuai dengan ASTM G48 Metode E dengan menggunakan larutan campuran 68,72 gr FeCl₃, 600ml H₂O, dan 16ml HCl menghasilkan larutan dengan molaritas ion Cl⁻ sebesar 2,39 M dengan lama imersi selama 24 jam, menyebabkan proses inisiasi *pitting* pada pengujian spesimen *stainless steel* 308 pada temperatur 20°C diatas perhitungan CPT yakni 8.02°C menunjukkan material spesimen merupakan material uji layak pakai.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjunya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perbandingan dengan penelitian material serupa dengan sumber yang berbeda.
2. Melakukan pengujian mengenai sifat mekanik seperti pengujian kekerasan dan *tensile* terhadap material *stainless steel* 308.
3. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh konsentrasi Cl⁻ terhadap inisiasi proses *pitting* pada *stainless steel* 308.

DAFTAR PUSTAKA

- .2015. **ASTM G48-11: Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution.** United States.
- .1999. **Handbook of Corrosion Engineering.** New York: McGraw-Hill.
- .2019. **Materials and Welding for Stainless Steels.** USA: American Bureau of Shipping.
- .2010. **Practical Guidelines for the Fabrication of High Performance Austenitic Stainless Steels First Edition.** London: International Molybdenum Association (IMO).
- Ahmad, Z.2006. **Principle of Corrosion Engineering and Corrosion Control.** Michigan: McGraw-Hill.
- Bhandari, Jyoti. 2017. *Accelerated Pitting Corrosion Test of Stainless Steel Using ASTM G48; Experimental Investigation and Concomitant Challenge.* **Journal of Loss Prevention in Process Industry.**
- Choudhary, Om Prakash dan Priyanka. 2017. *Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components.* **Int.J.Curr.MicrobioLApp.Sci** 6(5): 1877-1882.
- Devine, T.M. 1979. *Mechanism of Intergranular Corrosion and Pitting Corrosion of Austenitic and Duplex 308 Stainless Steel.* New York: General Electric Company, Metallurgy Laboratory, Corporate Research and Development Center, Schenectady.
- Fontana, Mars. G.1986. **Corrosion Engineering.** Singapore: McGrawhill Int.
- Fontana, Mars. G. 1987. **Corrosion Engineering, 3rd edition.** New York: McGraw-Hill Book Company.

-
- Javier, Francisco, et al. 2019. *Pitting Corrosion in AISI 304 Rolled Stainless Steel Welding at Different Deformation Levels. Applied Sciences, 2019, 9, 3265.*
- Jones, Denny A. 1992. **Principle and Prevention of Corrosion.** New York: Macmillan, Inc.
- Jones, Denny A. 1996. **Principle and Prevention of Corrosion.** New York: Mc.Millan Publishing Company.
- Koch GH, dkk. 2001. **Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States. FHWA-RD-01-156.** Springfield, Va.: National Technical Information Service.
- Marcus Philippe. 2002. *Corrosion Mechanisms in Theory and Practice second edition.* Prancis : Marcel Dekker, Inc.
- Raja, V.S. dan Elayaperumal K. 2015. **Corrosion Failures. United States of America: Wiley.**
- Roberge, Pierre R. 2008. **Corrosion Engineering Principles and Practice.** New York: McGraw-Hill.
- SKIBA, Tomas dkk. 2009. "Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Component Manufactured by Shaped Metal Deposition". **ISIJ International, Vol. 49, No. 10.**
- Sumarji. 2011. "STUDI PERBANDINGAN KETAHANAN KOROSI *STAINLESS STEEL* TIPE SS 304 DAN SS 201 MENGGUNAKAN METODE *U-BEND TEST* SECARA SIKLIK DENGAN VARIASI SUHU DAN PH". **Jurnal ROTOR: Volume 4 Nomor 1.**
- Suratman R. 2001. **Karakteristik Korosi Aluminium dan Baja Tahan Karat.** Bandung; Institut Teknologi Bandung.
- Y. Zhou, D. Lars Engelberg. 2020. *Fast Testing of Ambient Temperature Pitting Corrosion in Type 2205 Duplex Stainless Steel by Bipolar Electrochemistry Experiments. Electrochemistry Communication.*
-

FORM CHE 5-2

PT Boma Bisma Indra (PERSERO)

ALLOY VERIFICATION RECORD

Customer : PT Pall Filtration Indonesia Project : Gas Development Project For Utilization of the IIR
 User : PT PERTAMINA EP Date : 18 JUNE 2020
 Job No : 18.091.1
 Report No : 04/3/C-PM/18.091.1/10/19 Page : 1 OF 1

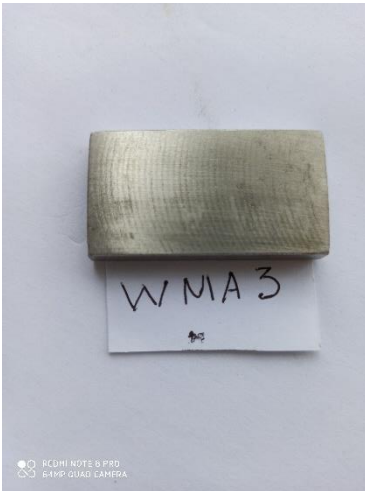
NO	ITEM	REF CODE	TYPE OF SPECIFIED MATERIAL	CHEMICAL COMPOSITION (%)				MILL CERTIFICATE NUMBER	RESULT
				MMN	CR	NI	MO		
1	A-B BASE METAL	ASME CODE SECTION IIA,B,C	304L	1.31	19.00	9.78	0.08	TEST PICE	304L
2	A-B WELDING	ASME CODE SECTION IIA,B,C	308	1.40	18.36	9.31	0.41	TEST PICE	308
3	A-1 BASE METAL	ASME CODE SECTION IIA,B,C	304L	1.32	18.96	10.36	0.04	TEST PICE	304L
4	A-1 WELDING	ASME CODE SECTION IIA,B,C	308	1.58	18.25	9.40	0.40	TEST PICE	308

PT. PALL
[Signature]
Insurment

Lampiran 2

Spesimen sebelum dilakukan proses pemotongan



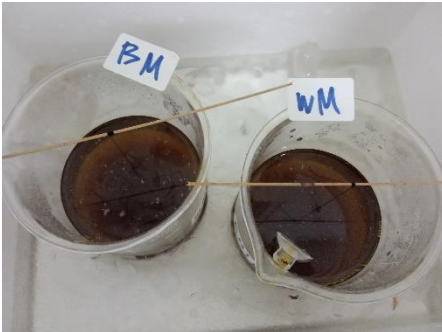


Lampiran 3 **Dokumentasi uji NDT**



Lampiran 4
Dokumentasi uji imersi



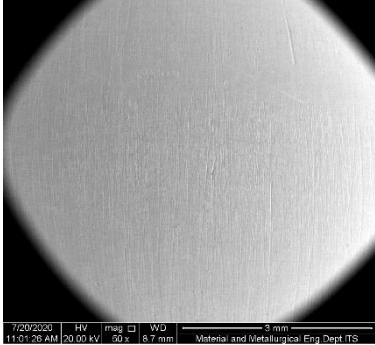


Lampiran 5
Dokumentasi penimbangan berat setelah imersi

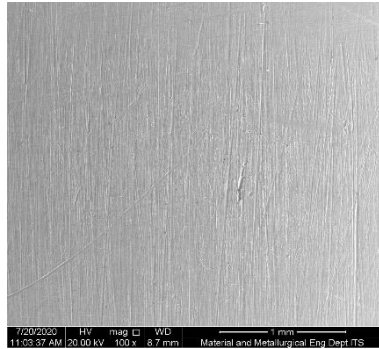




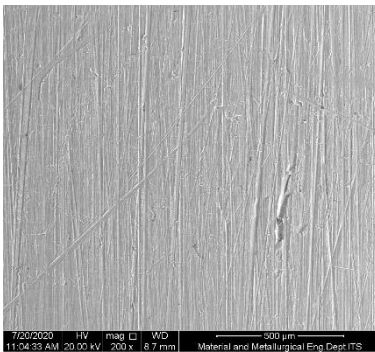
Lampiran 6
Dokumentasi uji NDT
WM 10



50x

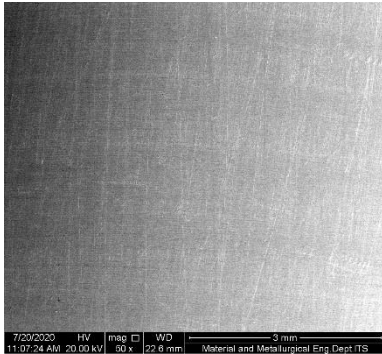


100x

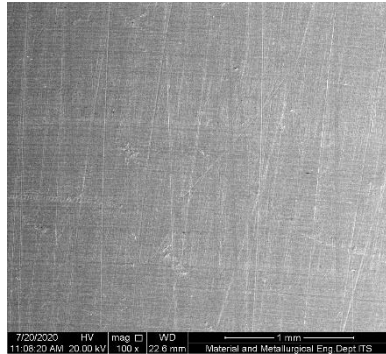


200x

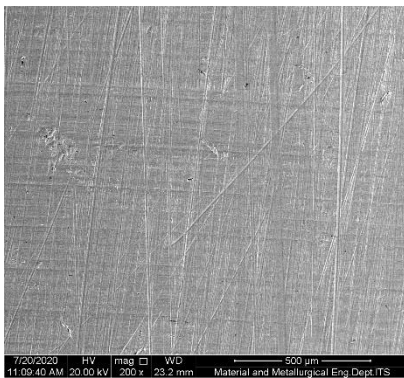
WM 15



50x



100x



200x

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dari mahasiswa baru hingga penulisan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak doa, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi kesempatan bagi penulis untuk menjalani masa perkuliahan di ITS.
2. Keluarga penulis yang telah menjadi support utama saya dalam masa perkuliahan.
3. Teman – teman Angkatan MT17 atas bantuan support dan menjadi keluarga kepada penulis.
4. Dosen Pembimbing penulis yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama proses mengerjakan tugas akhir.
5. Teman – teman UKM IFLS yang telah menjadi keluarga kedua selama masa perkuliahan di ITS.
6. Teman – teman dan adik – adik pengurus Kabinet Zeus UKM IFLS periode 2017 – 2018 yang telah berkerja dengan sangat baik selama proses kepengurusan organisasi.
7. Teman – teman baik penulis : Tommy, Lanang, Dwiki, dan kawan – kawan yang telah membantu, menemani, dan mendengarkan keluh kesah penulis selama masa perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir.
8. Kakak – kakak kelas penulis : Mas Pandu, Mas Dida, Mas Kiki, dan kawan – kawan yang telah menjadi pembimbing penulis dalam menjalani masa perkuliahan.
9. Teman – teman Kampus Unair yakni Mas Angga dan Kampus UPN yakni Abi, Krisna, dan Fara yang telah berbagi pengalaman perkuliahan kepada penulis.
10. Semua pihak yang telah terlibat selama penulis berkuliah di ITS hingga menyelesaikan tugas akhir ini.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Surabaya pada 26 November 1996. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Harianto Tjahjono dan Ratna Juniawati. Riwayat pendidikan yang ditempuh oleh penulis yaitu SDK Santa Clara Surabaya pada tahun 2003 - 2009, SMPK Santa Clara Surabaya pada tahun 2009 – 2012, SMA Negeri 17 Surabaya pada tahun 2012 - 2015, dan pada tahun 2015 melanjutkan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Jawa Timur.

Selama berkuliah di ITS, penulis pernah mengikuti kegiatan seminar, kerja praktik di UD. Birowo, berbagai pelatihan, aksi sosial, dan organisasi. Penulis pernah menjabat sebagai Staff Kewirausahaan HMMT 2016/2017, menjadi Kepala Departemen Kewirausahaan UKM IFLS 2017/2018, dan berbagai kepanitiaan lainnya.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di UD. Birowo, Kota Surabaya, Jawa Timur yang dilaksanakan pada periode Juli – Agustus 2018. Pada saat kerja praktik, penulis mendapatkan topik mengenai “Alternatif Pencegahan Kegagalan Produk pada *Lathe Machine* di UD Birowo”. Sedangkan tugas akhir penulis berjudul “ANALISA KETAHANAN *STAINLESS STEEL* AISI 308 TERHADAP *PITTING CORROSION* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *E-CRITICAL TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS STEEL ASTM-G48*”.

Email: karel_sebastian@yahoo.com