TUGAS AKHIR – TL 184834

ANALISA KETAHANAN *STAINLESS STEEL* AISI 304L TERHADAP *PITTING CORROSION* DENGAN MENGGUNAKAN METODE E-*CRITICAL TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS STEEL* ASTM-G48

JAUZA' NUR RAHMADANTI
NRP. 02511640000095

Dosen Pembimbing
Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

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 304L TERHADAP *PITTING CORROSION* DENGAN MENGGUNAKAN METODE E-*CRITICAL TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS* STEEL ASTM-G48

JAUZA' NUR RAHMADANTI
NRP. 02511640000095

Dosen Pembimbing
Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

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 304L STAINLESS STEEL RESISTANCE TOWARDS PITTING CORROSION USING METHOD E—CRITICAL PITTING TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS STEEL ASTM G48

JAUZA' NUR RAHMADANTI
NRP. 02511640000095

Supervisor
Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

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 304L TERHADAP *PITTING CORROSION* DENGAN MENGGUNAKAN 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:
JAUZA' NUR RAHMADANTI
NRP 02511640000095

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Tubagus Noor Rohmanudin, S.T., M.Sc. ....(Pembimbing I)
2. Dr. Agung Purniawan S.T., M.Eng.....(Pembimbing II)

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

SURABAYA
Juli 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

ANALISA KETAHANAN *STAINLESS STEEL* AISI 304L TERHADAP *PITTING CORROSION* DENGAN MENGGUNAKAN METODE E-*CRITICAL TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS* STEEL ASTM

Nama : Jauza' Nur Rahmadanti
NRP : 02511640000095
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Tubagus Noor Rohmannudin S. T., M. Sc.
Pembimbing II : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

Abstrak

Stainless Steel memiliki sifat memiliki ketahanan korosi yang bagus namun ketergantungan stainless teel pada proteksi lapisan pasif membuat stainless steel rawan untuk mengalami korosi pitting. Pada penelitian ini dilakukan analisis terkait dengan pengaruh temperatur terhadap ketahanan korosi pitting baja stainless steel 304L. Karakteristik yang akan diuji adalah luas area permukaan pitting pada beberapa variabel temperatur uji sebesar 10°C, 15°C, 20°C, 30°C, dan 35°C. Metode yang digunakan yaitu imersi sesuai dengan ASTM G48 Metode E-Critical Pitting Temperature dengan menggunakan larutan dengan konsentrasi Cl^- *2,39 M. Setelah itu dilakukan pengamatan visual maksroskopis, dan pengamatan menggunakan SEM. Berdasarkan perhitungan Critical Pitting Temperature (CPT) sesuai ASTM G48, stainless steel 304L memiliki CPT sebesar 7°C. Hasil yang didapat yaitu peningkatan luas area korosi dari 0* cm^2 *pada temperatur 10°C dan 15°C menjadi 0,0174* cm^2 *pada temperatur 20°C, lalu terjadi peningkatan pada temperatur 30°C menjadi 0,282* cm^2*, dan 0,378* cm^2*. Tidak adanya pit pada temperatur 10°C dan 15°C menunjukkan bahwa korosi pitting terjadi pada kisaran temperatur 15°C sampai 20°C. Hal ini menujukkan bahwa material tersebut layak pakai.*

Kata Kunci: ***Stainless steel, pitting, korosi, temperatur***

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

ANALYSIS OF AISI 304L STAINLESS STEEL ALLOY RESISTANCE TOWARDS PITTING CORROSION USING METHOD E—CRITICAL PITTING TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS STEEL ASTM G48

Student Name : Jauza' Nur Rahmadanti
NRP : 02511640000095
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Co-Supervisor : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

Abstract

Steel possesses good corrosion resistance characteristic but its dependance towards its passive layer makes stainless steel easily form a pitting corrosion. This study will analyze the effect of temperature towards the corrosion resistance in pitting steel stainless steel steel 304L. the pitting surface area are characteristic that will be observed. The variable for temperature study are 10 °C, 15°C, 20°C, 30°C, and 35°C. Method used in this study is immersion method based on ASTM G48 Method E-Critical Pitting Temperature (CPT) using Cl^- acid solution with 2,39 M concentration. Then, macroscopic visual observation is conducted, as well as SEM observation. According to CPT calculation, stainless steel 304L has a CPT of 7°C. The result is that temperature increased corrotion area 0 cm^2 on 10°C and 15°C. At temperature 20°C, the result was 0,0174 cm^2, then 0,282 in temperature 30°C, and 0,378 cm^2 in temperature 35°C. The absence of pit at temperature 10°C and 15°C show that the pit started to form at range 15°C to 20°C. The higher CPT result compared to calucated CPT show that this material is feasible.

Keywords: ***Stainless steel, pitting, corrosion, temperature***

(*This page is intentionally left blank*)

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji dan syukur kehadirat Allah SWT, karena atas ridho dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *"**Analisa Ketahanan Stainless Steel AISI 304l Terhadap Pitting Corrosion Dengan Menggunakan Metode E-Critical Temperature Test For Stainless Steel ASTM"*** Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Terima Kasih penulis ucapkan kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan Tugas Akhir ini :

1. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, S. T., M. Sc. Dan Bapak Dr. Agung Purniawan, S. T., M. Eng. Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis selama proses pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Sigir Tri Wicaksono, S.Si, M. Si selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS.
3. Bapak
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS yang telah mendukung penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.

Akhir kata besar harapan penulis laporan ini bisa memberikan manfaat bagi kita semua.

Surabaya, 22 Juli 2020
Penulis

Jauza' Nur R.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN..... Error! Bookmark not defined.
Abstrak vii
Abstract.....ix
KATA PENGANTAR.....xi
DAFTAR ISI..... xiii
DAFTAR GAMBAR.....xv
DAFTAR TABEL..... xvii
1 BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Korosi 5
2.1.1 Jenis-Jenis Korosi 6
2.1.2 Mekanisme Korosi.....7
2.2 Korosi *Pitting*.....8
2.3 Mekanisme Korosi *Pitting* 10
2.3.1 *Passive Film Breakdown* 10
2.3.2 Nukleasi *Pit* 13
2.3.3 Pelebaran *Pit* 14
2.3.4 Serangan *Pit* 16
2.4 Baja Tahan Karat 16
2.5 Pengaruh Unsur Paduan Cr 20
2.6 Pengaruh Unsur Paduan Mn.....20
2.7 Unsur Paduan Mo 21
2.8 Perhitungan Laju Korosi 22
2.9 Penelitian Sebelumnya.....22
3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN 27
3.1 Prosedur Penelitian 27
3.1.1 Preparasi Material.....27

3.1.2 Pembuatan Larutan 31
3.1.3 Uji Imersi.....31
3.1.4 Uji SEM.....37
3.2 Diagram Alir 42
4 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 45
4.1 Uji *Non Destructive Test* (NDT) 45
4.2 Hasil Uji Imersi.....46
4.3 Pengamatan Visual.....48
4.4 Luas Area Korosi *Pitting*.....53
5 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....57
5.1 Kesimpulan 57
5.2 Saran 57
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN.....63
UCAPAN TERIMA KASIH 69
BIODATA PENULIS 71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses terbentuknya korosi pitting 9
Gambar 2.2 Proses pelarutan pada *salt island* menghasilkan pembentukan Fe^{3+} (Popov, 2015).....11
Gambar 2.3 Geometri *pit* model Galvele (Popov, 2015).....12
Gambar 2.4 Larutnya logam lapisan bawah pada permulaan *pit* membentuk Fe^{2+} (Popov, 2015).....13
Gambar 2.5 Skema pelebaran *pit* (Popov, 2015).....15
Gambar 2.6 Diagram ekuilibrium Fe-Cr (Sedriks, 2017).....17
Gambar 2.7 Morfologi metastable pitting dari UNS S32750 setelah annealing (a) 1050℃ dalam 2 jam, (b) 1080℃ dalam 2 jam, (c) 1100℃ dalam 2 jam, (d) 1200℃ dalam 2 jam(Sedriks, 2017).....19
Gambar 2.8 Inklusi Mn pada sampel (Pardo, 2008).....21
Gambar 2.9 (a) korosi pitting setelah 15 detik, (b) setelah 30 detik, (c) nukleasi palung setelah 15 menit, (d-f) palung telah terbentuk. (Yiqi Zhou, 2020) 23
Gambar 2.10 Hasil pengujian imersi (Jyoti Bhandari, 2017).....24
Gambar 2-11 Korosi *pitting* pada spesimen uji 20℃ (Viera, 2019).....25
Gambar 2-12 Korosi *pitting* pada spesimen uji 50℃ (Viera, 2019).....25
Gambar 3.1 Skema pemotongan material 28
Gambar 3.2 *Cool box* yang digunakan untuk pengujian pada temperatur rendah.....33
Gambar 3.3 Pemanasan larutan dengan *hot plate magnetic stirrer*.....34
Gambar 3.4 Pengukuran temperatur spesimen uji 30℃.....35

Gambar 3.5 Pengukuran temperatur pada spesimen uji 20°C.....35
Gambar 3.6 Pengukuran temperatur pada spesimen uji 15°C.....36
Gambar 3.7 Pengukuran temperatur pada spesimen uji 10°C.....36
Gambar 3.8 Pengukuran temperatur spesimen uji 35°C.....37
Gambar 4.1 Hasil uji NDT *stainless steel* 304L (1) sampel 1 (2) sampel 2 (3) sampel 3 (4) sampel 4 (5) sampel 5.....46
Gambar 4.4 Permukaan logam uji temperatur 15°C.....49
Gambar 4.5 Permukaan logam uji temperatur 20°C.....50
Gambar 4.6 Permukaan logam uji temperatur 35°C.....51
Gambar 4.10 Hasil uji SEM spesimen BM 10 56

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Dimensi material.....27
Tabel 3.2 Komposisi baja tahan karat AISI 304L sampel BM 10.....28
Tabel 3.3 Komposisi baja tahan karat AISI 304L sampel BM 15.....29
Tabel 3.4 Komposisi baja tahan karat AISI 304L sampel BM 20.....29
Tabel 3.5 Komposisi baja tahan karat AISI 304L sampel BM30.....30
Tabel 3.6 Komposisi baja tahan karat AISI 304L sampel BM 35.....30
Tabel 3.7 *Mean* komposisi sampel baja tahan karat AISI 304L yang diuji.....30
Tabel 4.1 Luas area yang akan diamati.....48
Tabel 4.2 Perhitungan CPT.....52
Tabel 4.3 Perhitungan luas area korosi *pitting* pada *stainless steel* 304L.....53

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi dideskripsikan sebagai serangan destruktif terhadap logam, hal tersebut disebabkan oleh reaksi elektrokimia yang dimulai dari permukaan. Masalah korosi pada logam memberikan dampak yang signifikan, dari segi ekonomi, diperkirakan 5% pendapatan industri digunakan untuk pencegahan korosi dan perawatan atau pergantian produk yang terkorosi. Dampak dari korosi secara umum seperti karat pada badan kendaraan, radiator, dan lain-lain. (Callister, 1940) Korosi muncul ketika material berkontak dengan lingkungan tertentu dan mengalami degradasi yang berdampak pada kekuatan, keuletan, dan penampakan permukaan dari spesimen logam. Insinyur mengembangkan metode perlakuan pada logam yang dapat menghambat efek serangan dari korosi seperti menggunakan paduan krom pada baja untuk membuat baja tahan karat atau dengan perlakuan pada permukaan untuk mencapai ketahan korosi lebih tinggi. (Abdulaziz, 2018)

Logam atau paduan dapat dipilih secara umum berdasarkan sifat mekanik dan fisiknya, faktanya terdapat banyak sekali faktor yang mempengaruhi interaksi dari logam dengan lingkungannya yang diabaikan. Pentingnya interaksi logam dengan lingkungannya dapat beragam sesuai dengan kesesuaian dengan keadaan seperti pada penguraian logam yang lambat pada *cross section* seperti rel kereta, masih dapat dikatakan bahwa urgensitasnya di bawah pengausan secara cepat yang terjadi pada pipa baja yang ditanam di dalam tanah. Sangat penting untuk menentukan aplikasi dari logam yang dipilih dari preferensi

berupa penampakan visual, dan kecerahan dan refleksifitas yang tahan selama terpapar pada lingkungan. (Shreir, 1993)

Stainless steel dapat bertahan dari serangan karat berkat interaksi bahan-bahan campurannya dengan alam. *Stainless steel* terdiri dari besi, krom, mangan, silikon, karbon dan seringkali nikel dan molibdenum dalam jumlah yang cukup banyak. Elemen-elemen ini bereaksi dengan oksigen yang ada di air dan udara membentuk sebuah lapisan yang sangat tipis dan stabil yang mengandung produk dari proses karat/korosi yaitu metal oksida dan hidroksida. Krom, bereaksi dengan oksigen, memegang peranan penting dalam pembentukan lapisan korosi ini. Pada kenyataannya, semua stainless steel mengandung paling sedikit 10% krom. Keberadaan lapisan korosi yang tipis ini mencegah proses korosi berikutnya dengan berlaku sebagai tembok yang menghalangi oksigen dan air bersentuhan dengan permukaan logam.

Lingkungan korosi yang merupakan faktor dari kerusakan suatu material dapat berupa lingkungan reaktif, kelembaban, udara.

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

Berdasarkan latar belakang di atas, didapat poin rumusan masalah dalam penelitian ini, diantaranya adalah:

1. Bagaimana pengaruh temperatur terhadap ketahanan *pitting corrosion Stainless Steel* AISI *304L*?
2. Bagaimana *Critical Pitting Temperature* pada *stainles steel* AISI 304L?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan beberapa poin tujuan penelitian pada subbab sebelumnya, agar didapatkan hasil yang sesuai dan tidak menyimpang dari tujuan yang ada, maka diberikan beberapa batasan masalah, diantaranya adalah:

1. Proses pengkorosian oleh udara dianggap tidak terjadi.
2. PH yang digunakan diasumsikan antara 0.4 sampai 1.3.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan beberapa poin rumusan masalah pada subbab sebelumnya, dapat ditentukan tujuan dari penelitian ini, diantaranya adalah:

1. Menganalisa pengaruh temperatur pengaruh temperatur terhadap ketahanan *pitting corrosion Stainless Steel 304L*.
2. Menganalisa *Critical Pitting Temperature* pada *stainles steel* AISI 304L.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapatkan dari penelitian ini diantaranya adalah:

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

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi merupakan serangan destruktif pada logam akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi pada besi atau paduan berbasis besi menyebabkan karat yang merupakan produk korosi berupa besi oksida. Korosi umumnya terjadi pada media cair sebagai media pegantar dan tempat terjadinya serah terima electron dalam suatu sistem larutan eletrolit. Pada larutan elektrolit kuat terkandung ion-ion terlarut yang dapat menghantarkan arus listrik dengan sangat baik sehingga proses serah terima electron berlangsung cepat dan menghasilkan energi yang relatif besar. Pada proses elektrokimia tidak terlepas dari logam yang dicelupkan pada larutan yang disebut eletroda. (Ridwan, 2016)

Menurut ahli fisika asal Italia, Luigi Galvani, kombinasi antara dua konduktor elektrik yang dicelupkan ke dalam elektrolit disebut sel galvanik. Sel galvanik menkonversikan energi kimia menjadi energi listrik, muatan positif mengalir melalui logam dari eletroda posiitif ke elektroda negatif. Dalam korosi, proses elektrokimia dapat dicontohkan dengan reaksi sesuai persamaan 2.1

$$Cu^{2+} \rightarrow Cu - 2e^{-} \qquad (2.1)$$

Pada persamaan diatas elektroda dimana terjadi reaksi reduksi disebut katoda. Reaksi reduksi atau reaksi katodik ditandai dengan berkurangnya valensi dan konsumsi elektron. Sementara elektroda yang mengalami oksidasi disebut anoda dimana terjadi penambahan valensi dan pembentukan elektron. Persamaan 2.2 merupakan contoh dari reaksi anodik

$$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-} \quad (2.2)$$

Korosi logam pada umumnya terjadi di anoda. Dalam sel galvanik katoda adalah kutub positif sementara anoda adalah kutub negatif. Namun, ketika arus dialirkan menuju sel dari generator atau baterai eksternal, seperti contohnya *electroplating*, reduksi muncul pada elektroda yang tersambung pada kutub negatif dari sumber arus eksternal, dengan begitu elektroda tersebut berperan sebagai katoda. Begitu pula sebaliknya, elektroda yang tersambung pada kutub positif menjadi anoda.

2.1.1 Jenis-Jenis Korosi

Korosi sering dianggap hanya berupa karat. Namun, kerusakan akibat korosi juga dapat muncul dalam bentuk lain, contohnya adalah kegagalan karena keretakan akibat kerkurangnya keuletan dari material. Berikut jenis-jenis korosi yang umum ditemui antara lain :

1. Korosi seragam

   Ketika dipapatkan pada media korosi, logam cenderung bereaksi dengan lingkungan dengan melepaskan elektron dan menyatu dengan elemen media korosi, menciptakan senyawa yang mirip dengan senyawa yang dapat ditemukan di lingkungannya. Ketika korosi jenis ini terjadi, senyawa yang muncul akibat reaksi tersebut disebut produk korosi, dan permukaan metal dianggap telah terkorosi. Korosi seragam pada umumnya merupakan kegagalan logam akibat serangan kimia atau larutnya komponen logam menjadi ion logam.

2. Korosi intergranular

   Intergranular adalah korosi terlokalisasi yang merupakan serangan pada batas butir fasa. Adanya serangan diamati pada

badan dari butir. Jenis korosi ini menyebabkan berkurangnya kekuatan an keuletan dari logam yang terkorosi. Contoh dari korosi intergraular terjadi pada baja tahan karat autenik dimana serangan korosi terjadi presipitasi karbida selama proses pengelasan

3. *Stress corrosion cracking* (SCC)

   SCC didefinisikan sebagai kegagalan dari paduan dengan keretakan ketika terekspos pada lingkungan tertentu yang terdapat *tensile stress.*

4. Korosi galvanik

   Jenis korosi ini disebut sebagai korosi logam yang berbeda. Korosi galvanik sering terjadi di rumah lama dimana pipa tembaga dihubungkan dengan jalur pipa baja yang sudah ada sebelumnya. Terhubungnya baja karbon dan tembaga menyebabkan baja karbon terkorosi. Ketika dua jenis logam terhubung secara elektrik dan diletakkan pada larutan konduktif, muncullah potensial listrik. Perbedaan potensi ini menjadi penyebab terjadinya korosi pada logam yang memiliki potensi lebih rendah.

(Philip, 2007)

2.1.2 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 2.3 sedangkan reaksi Katodik,hidrogen akan mengalami evolusi hidrogen sesuai Persamaan 2.4, reduksi oksigen larutan asam ditunjukkan Persamaan 2.5 dan larutan basa atau netral pada

Persamaan 2.6. sedangkan ion logam mengalami reduksi seperti Persamaan 2.7.

Reaksi oksidasi (Fontana,1986) :

$$M \rightarrow M^{+n} + ne \qquad (2.3)$$

Reaksi katodik (Fontana,1986) :

Evolusi hidrogen

$$2H^{+} + 2e \rightarrow H_2 \qquad (2.4)$$

Reduksi oksigen (pada larutan asam)

$$O_2 + 4H^{+} + 4e \rightarrow 2H_2O \qquad (2.5)$$

Reduksi oksigen (pada larutan netral atau basa)

$$O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^{-} \qquad (2.6)$$

Reduksi ion metal

$$M^{3+} + e \rightarrow M^{2+} \qquad (2.7)$$

2.2 Korosi *Pitting*

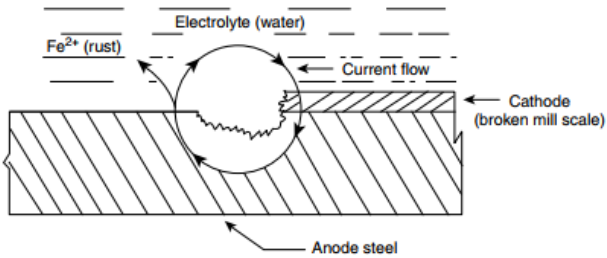
Logam yang menggantungkan ketahanan korosinya pada lapisan protektif permukaan yang tipis dan pasif sangat berpotensi mengalami korosi pitting. Lapisan protektif yang telah rusak tidak akan terbentuk kembali. Korosi pitting pada umumnya terdapat dua tahap, terbentuknya palung, dan menyebarnya korosi sehingga menyebabkan lubang semakin besar.

(Shreir, 2000)

Korosi pitting ditandai dengan adanya kehilangan logam pada suatu tempat tertentu. Korosi ini dapat pula muncul sebagai lubang yang kecil dan dalam. Awal mula dari lubang

berhubungan dengan rusaknya lapisan protektif pada permukaan logam.

Korosi jenis ini sangat berbahaya karena susah dideteksi dan diukur secara kuantitatif. Kedalaman dari palung dapat muncul dari pengeboran atau pemotongan ketebalan pada logam. Lebar dari palung dapat bertambah secara todak signifikan dan dapat tetutup karat produk korosi, sementara kedalaman korosi pitting akan terus bertambah, menyebabkan korosi pitting susah dideteksi. Korosi pitting dapat muncul dari pengeboran pada pipa, menyebabkan pipa tidak dapat digunakan meskipun hanya ada sedikit kehilangan logam.



Gambar 2.1 Proses terbentuknya korosi pitting
(Philip, 2007)

Masalah utama yang ditemui pada baja tahan karat yang dilas sama seperti melakukan perlakuan panas pada baja tahan karat. Temperatur las (430 sampai 870°C) dapat menyebabkan sensitisasi dan pembentukan fasa intermetalik, menyebabkan korosi intergranular, pittnig, crevice, dan SCC. Fenomena tersebut terjadi pada area yang dikenai perlakuan panas pada kasus ini adalah sambungan las.

Temperatur merupakan salah satu faktor krusial dari korosi pitting karena temperatur sangat berpengaruh pada sifat korosi

dari baja. Laju korosi akan meningkat dengan temperatur diatas temperatur krusial.

2.3 Mekanisme Korosi *Pitting*

Korosi pitting dimulai dari berpindahnya klorida dari elektrolit menuju lapisan pasif logam. Ion klorida menyerap permukaan oksida pada bagian luar logam. Reaksi redoks pada lapisan meningkatkan potensial menuju potensial *pitting* menghasilkan konsentrasi klorida lokal meningkat karena reaksi elektrostatik antara ion klorida bermuatan negatif dan pemukaan logam yang bermuatan positif. *Pitting* terjadi dalam beberapa tahap yaitu (i) rusaknya lapisan pasif membentuk *pit*, (ii) pembentukan embrio *pit*, (iii) pembentukan *metastable pit*, (iv) *pit* stabil dan pertumbuhan *pit*, (v) serangan *pit*

2.3.1 *Passive Film Breakdown*

Tiga mekanisme utama dari rusaknya lapisan pasif dan permulaan terbentuknya *pit* ialah melalui penetrasi, adsorbsi, atau rusaknya lapisan. Mekanisme ini berlaku pada logam murni karena logam murni tidak memperhitungkan partikel *second-phase* pada matriks lapisan pasif yang sering menyebabkan *pitting*. Sebagai contoh, larutnya struktur MnS pada matriks adalah permulaand ari terbentuknya *pit* pada baja. Apabila tidak terdapat ion klorida, lapisan pasif pelindung besi terhidrasi akan perlahan berubah menjadi larutan ion *ferric* :

$$FeOOH + Cl^- \rightarrow FeOCl + OH^+ \qquad (2.8)$$

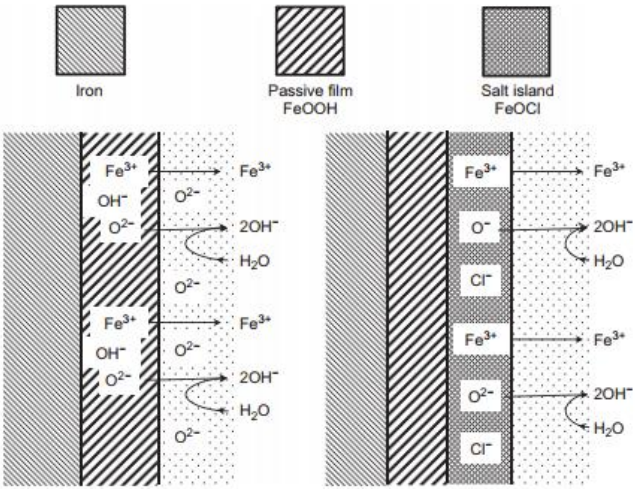
Dengan adanya ion klorid, lapisan luar dari lapisan pasif terabaikan dikarenakan adanya pembentukan katalis Fe^+. Reaksi (2.8) terjadi melalui dua tahap dan berlangsung dengan cepat,

dengan FeOCl terpisah pada gumpalan klorida pada permukaan lapisan pasif

$$FeOOH + Cl^- \rightarrow FeOCl + OH^- \quad (2.9)$$

$$FeOCl + H_2O \rightarrow Fe^{3+} + Cl^- + 2\ OH^- \quad (2.10)$$

Reaksi (2.10) menghilangkan lapisan pasif pada area *pitting* aktif dan mengionisiasi larutnya besi menjadi Fe^{3+}.

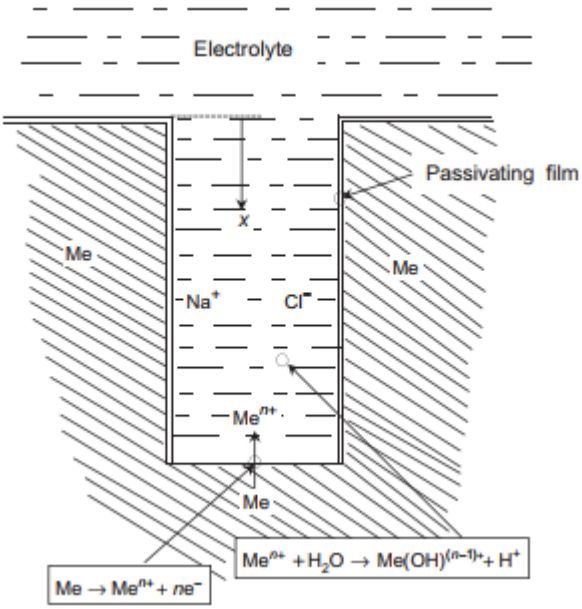


Gambar 2.2 Proses pelarutan pada *salt island* menghasilkan pembentukan Fe^{3+} (Popov, 2015)

Pada awal 1970, Galvele membuat model transportasi ion pada geometri *pit* satu dimensi berbasis pelarutan logam dan hidrolisis. Model menunjukkan potensi *pitting* pada lapisan pasif ditentukan oleh perluasan *pit* kecil dibawah potensial *pitting*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3, model menunjukkan bahwa pertumbuhan *pit* dimulai ketika interior terasidifikasi oleh

larutan logam, difusi, dan hidrolisis dan penetrasi lapisan pasif oleh elektrolit.

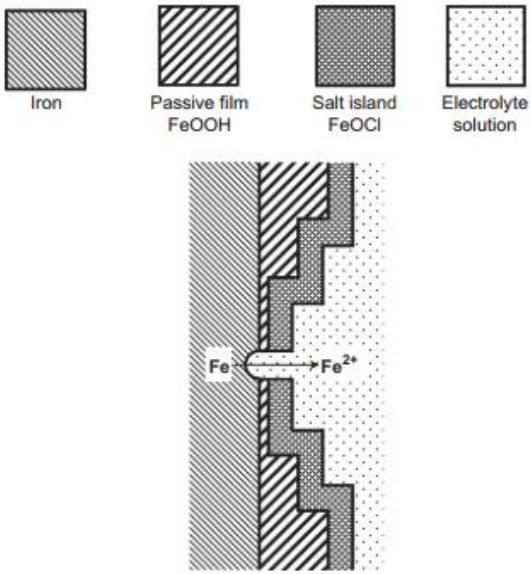
Faktor kritis yang menentukan densitas arus *pitting* dan penetrasi *pit* sebagai produk dari densitas arus, *i*, dan kedalaman *pit*, x. Nilai kritis (*ix*) menjaga pH pada dasar *pit* untuk larutan logam berkelanjutan dan perluasan *pit*. Model Galvele digunakan untuk kedalaman *pit*, diusi panjang, dan nilai konsentrasi logam *interface* yang terlalu rendah.



Gambar 2.3 Geometri *pit* model Galvele (Popov, 2015)

Hidrolisis dari kation logam, dikarenakan larutnya logam menghasilkan pH berkurang dan konsentrasi klorida bertambah pada permulaan *pitting*.

$$Fe^{2+} + 2H_2O + 2\,Cl^- \rightarrow Fe(OH)_2 + 2HCl \qquad (2.11)$$



Gambar 2.4 Larutnya logam lapisan bawah pada permulaan *pit* membentuk Fe^{2+} (Popov, 2015)

2.3.2 Nukleasi *Pit*

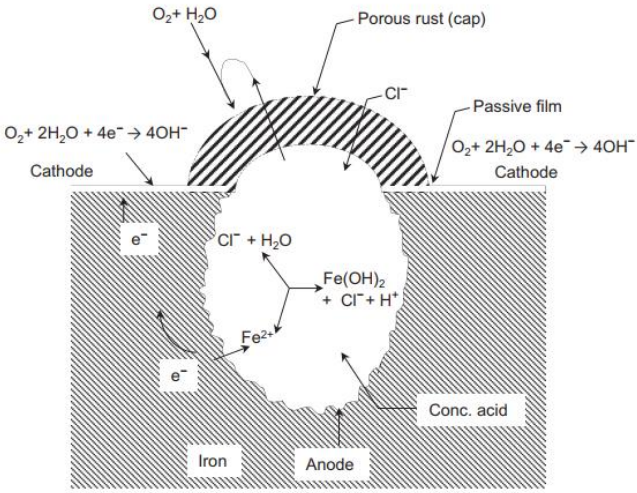
Pit ternukleasi menunjukkan permulaan tahap korosi *pitting*. *Pit* terpasifasi oleh katoda yang mengelilingi area atau perluasan dikarenakan konsentrasi saturasi garam klorida lokal meningkat. Nukleasi *pit* terbentuk pada tahap awal perluasan dikarenakan area lokalisasi larutan pada permukaan logam memulai tahap kedua, terbentuknya embrio *pit*. Di bawah densitas arus anodik yang tinggi dan penetrasi ion logam yang tinggi pada elektrolit, embrio *pit* terbentuk menjadi *metastable pit*, tahap ketiga dari mekanisme *pitting*. Terbentuknya *metastable pit* dibawah potensial *pitting* kritis dan stabilnya pembentukan *pit* diatas potensial *pitting* kritis. Karena tidak dapat mengkontrol difusi dari spesies yang agresi pada *interface pit*, *metastable pit*

tumbuh pada periode yang singkat dan repasifasi dengan katode sekitar. Selama polarisasi anodik potensiostatik, pembentukan *metastable pit* pada *stainless steel* ditunjukkan dengan arus anodik atau potensial sementara. *Pit* yang stabil melewati masa *metastable* akan terus melebar, dan menjadi stabil pada ukuran yang lebih besar pada arus anodik di atas potensial *pitting* kritis.

2.3.3 Pelebaran *Pit*

Pertumbuhan *pit* pada besi dalam larutan alkalin klorida (pH 9) pertumbuhan pit pada potensial rendah dikendalikan oleh parameter kinetik elektrokimia seperti transfer daya, massa, atau efek ohm. Klorida atau oksidator memindahkan secara massal interior *pit* mengendalikan pertumbuhan *pit* pada potensial tinggi. Selama pertumbuhan *pit*, reduksi oksigen muncul pada area pasif, sementara ion ferrous terbentuk pada penetrat anoda larutan dibawah lapisan oksida terhidrasi. Rasio kelarutan logam anodik dikendalikan oleh reduksi oksigen pada permukaan eksterior katoda pasif. Ion ferrous positif menarik ion klor bermuatan negatif dari sekumpulan larutan dan terbentuk pada area *pitting* awal. Gradien potensial terbentuk pada perbatasan *pit* menarik elektromigrasi dari klorida dikarenakan jatuhnya voltase dari interior *pit* dan area katodik dari lapisan pasif. Oksigen juga terdifusi melalui membran karat dan mengoksidasi ion ferrous yang terdifusi dari dasar *pit* asam ke permukaan *pit*, dimana $Fe(OH)_3$ terbentuk sebagai produk korosi pada pori-pori karat.

Keasaman terbentuk dalam *pit* tidak dinetralkan oleh reaksi katoda karena jarak antara katoda dan anoda. Reduksi oksigen muncul pada lapisan pasif, dimana reaksi anodik terjadi pada bagian dalam *pit.* Selama *pitting*, *pit* terasidifikasi, kaya akan klorida dan kation logam, sementara oksigen berkurang dari bagian dalam *pit*.



Gambar 2.5 Skema pelebaran *pit* (Popov, 2015)

Cekungan pori-pori membiarkan klor mempenetrasi dan menjaga konsentrasi asam kuat pada dasar *pit.* pH renda, klorida agresif, dan agen oksidasi pada bagian dalam *pit* mencegah repasifasi dan meingkatkan pertumbuhan *pit* pada kebanyakan logam. Karena reaksi katoda mengendalikan pertumbuhan *pit*, *pit* terdistibusikan secara acak dalam aerasi larutan klorida disebabkan oleh terbatasnya solubilitas oksigen dalam elektrolit. Rendahnya solubilitas oksigen pada elektrolit membutuhkan area katoda yang luas untuk membantu pertumbuhkan *pit*. Konsentrasi klorida mengurangi nilai saturasi dan dikendalikan oleh konstanta equilibrium antara konsentrasi klorida dalam elektrolit dan konsentrasi klorida dalam lapisan. Pertumbuhan *pit* di bawah supersaturasi adalah transportasi massa yang dikendalikan oleh difusi klorida ke luar *pit.*

2.3.4 Serangan *Pit*

Seiring dengan bertambahnya kedalaman *pit*, begitu juga panjang ohmic antara dasar *pit* dan lapisan pasif di atas permukaan *pit*. Sebagai hasil dari jatuhnya voltase ohmic, potensial permukaan luar menjadi lebih tinggi daripada dinding *pit* yang larut. Potensial *pit* lokal berkurang seiring dengan bertumbuhnya *pit*, menyebabkan berkurangnya densitas arus pada *pit* dan mengurangi rasio kelarutan logam.

Konsentrasi klorida pada dasar *pit* dikendalikan ole migrasi menuju atau keluar dari *pit*. Fenomena ini muncul ketika elektrolit *pit* jenuh akan klorida. Jika penutup *pit* hilang, repasifasi mungkin muncul akibat transportasi klorida ke luar dari *pit*. Konsentrasi klorida dalam *pit* akan akan berkurang karena berkurangnya kelarutan logam akibat jatuhnya voltase pada dasar *pit*.

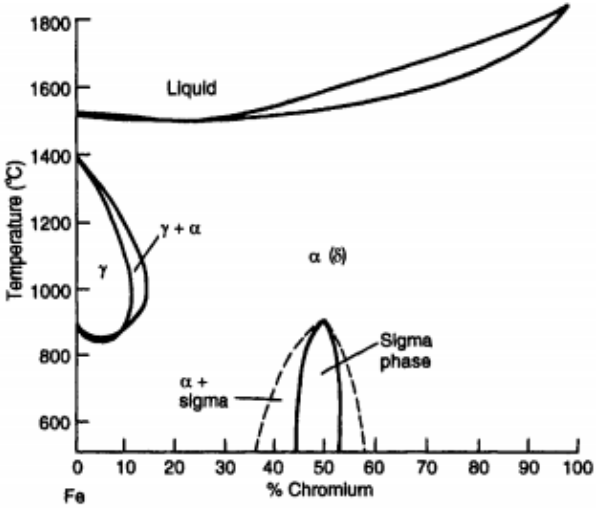
(Popov, 2015)

2.4 Baja Tahan Karat

Baja tahan karat adalah baja paduan dengan kadar paduan tinggi, dengan sifat yang istimewa yaitu tahan terhadap korosi dan temperatur tinggi. Sifat tahan korosinya diperoleh dari lapisan oksida yang sangat stabil yang melekat pada permukaan dan melindungi baja terhadap lingkungan yang korosif. Pada beberapa jenis baja tahan karat juga terjadi lapisan oksida nikel. Efek perlindungan oksida krom ini tidak efektif pada baja paduan dengan kadar krom rendah, efek ini mulai tampak nyata pada kadar krom tidak kurang dari 10%

(Wahid, 1999)

Baja tahan karat yang paling sederhana ialah paduan besi-krom, namun paduan ini dapat menghasilkan variasi mikrostruktur dan sifat mekanik yang sangat beragam.



Gambar 2.6 Diagram ekuilibrium Fe-Cr (Sedriks, 2017)

Berdasarkan diagram ekuilibrium Fe-Cr, dikarakterisasikan menjadi dua sifat yang khas yaitu, keberadaan fasa sigma pada 50% Cr, dan fasa austenit yang terisolasi atau biasa disebut *gamma loop*.

Fasa sigma adalah senyawa intermetalik yang keras dan getas, dan dapat dibuat pada paduan dengan kadar krom kurang dari 50%. Fasa sigma juga memiliki efek yang merugikan ketahanan korosi dari baja tahan karat.

Dari segi komersial, area pada diagram ekuilibrium Fe-Cr yang paling penting adalah dengan kandungan maksimum 25% Cr. Karena krom merupakan pembentuk karbida ringan, banyak tipe dari baja tahan karat diberi perlakuan dengan larutan pada temperatur yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan baja

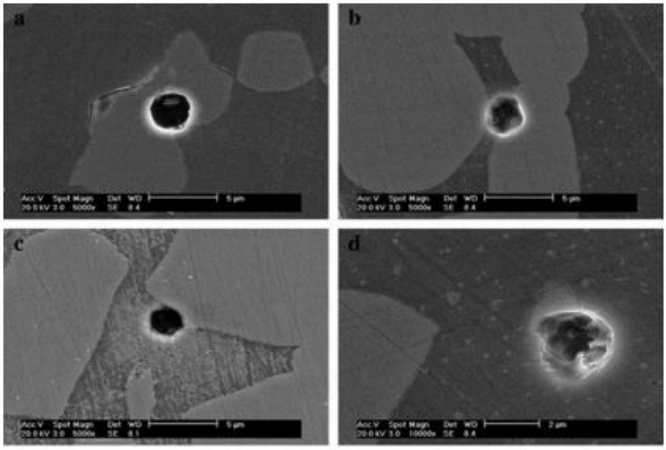
paduan rendah dengan tujuan untuk melarutkan karbida krom. Perlakuan pada temperatur larutan 1050°C merupakan tipikal dari beragam baja tahan karat dan digunakan sebagai patokan temperatur yang berhubungan dengan mikrostruktur pada temperatur tinggi. Baja dengan 0,1% C dapat mengandung Cr hingga 13,5% pada temperatur 1050°C dan tetap berasa austenik dengan struktur *face centered cubic*. Seiring dengan bertambahnya kadar krom pada baja pada kisaran ini, *hardenability* juga meningkat sehingga area yang luas dapat mengeras secata menyeluruh menuju martensit pada pendinginan menuju temperatur ruang.

Ketahanan terhadap korosi pitting biasanya ditingkatkan dengan penambahan paduan pada baja takah karat austenitik dan duplex dengan Cr, Mo, dan N. Sementara baja tahan karat ferritik dengan Cr dan Mo. Keuntungan dari penambahan paduan menghasilakn hasil yang kompleks dan interaktif. Produsen baja tahan karat telah berusaha mengembangkan dan memodifikasi komposisi untuk meningkatkan index ketahanan baja tahan karat terhadap korosi pitting atau disebut PREN. PREN ditentukan dengan parameter komposisi

$$PREN = \%Cr + 3{,}3(\%Mo)+16(\%N)+1{,}65(\%W) \quad (2.8)$$

Pada umumnya, semakin tinggi nilai PREN, semakin tinggi ketahanan baja tahan karat terhadap korosi pitting. Kelemahan dari menggunakan komposisi kimia sebagai parameter ketahanan korosi adalah terabaikannya faktor-faktor berbahaya lain yang sering ditemukan seperti faktor mikrostruktural seperti mangan sulfida, sigma, chi, area yang kehilangan krom, dan terpisahnya elemen paduan dikarenakan ketidakhomogenan yang disebabkan oleh proses seperti pengelasan. Namun, PREN menyediakan

panduan untuk pemilihan paduan untuk oksidasi klorida atau lingkungan asam. Diantara baja tahan karat, baja tahan karat superaustenistik memiliki nilai PREN yang tinggi, seperti 254SMO (S31254), 6XN (N08367), 925hMo (N08925), dan 654SMO (S32654). Superferritik seperti 29-4C (S44735), Sea-cure (S44660), dan Monit (S44635). Dan superduplex seperti DP-3W (S39274), Zeron 100 (S32760), dan Uranus 52N (S39255), ferralium SD40 (S39253), SAF2507 (S32750). Sebagai contoh, ketahanan korosi pitting dari SAF2507 (S32750) ditentukan dengan ketahanan pitting setara dengan jumlah dari fasa yang lebih lemah, yang telah dibuktikan dengan morfologi pit dari spesimen yang telah dianneal pada temperatur yang berbeda, dan kesamaan kecenderungan CPT dan PREN dari fasa yang lebih lemah seiring dengan meningkatnya temperatur anneal.



Gambar 2.7 Morfologi metastable pitting dari UNS S32750 setelah annealing (a) 1050℃ dalam 2 jam, (b) 1080℃ dalam 2 jam, (c) 1100℃ dalam 2 jam, (d) 1200℃ dalam 2 jam(Sedriks, 2017)

(Sedriks, 2017)

2.5 Pengaruh Unsur Paduan Cr

Kromium merupakan salah satu logam yang cukup populer dalam dunia metalurgi. Sekitar 85% kromium digunakan dalam aplikasi metalurgi seperti *stainless steel*, baja paduan rendah, *high-strength alloy steel*, *tool steel*, dan *high performance alloy* seperti paduan krom-kobalt-tungsten, paduan nikel-krom-mangan-niobium-titanium, paduan kobalt-krom, dan berbagai jenis baja lainnya. Krom sering digunakan sebagai paduan karena sifat yang kuat dan tahan karat. Krom sering digunakan pada *plating* dan *finishing* logam.

Sifat yang tahan korosi dari sebuah *stainless steel* sangat bergantung pada unsur krom. Derajat reaktifitas yang tinggi adalah dasar dari keefektifan krom sebagai unsur paduan pada *stainless steel*. Ketahanan paduan metalik terhadap efek kimia dari agen korosif bergantung pada kemampuan logam dalam melindungi dirinya dengan membentuk lapisan yang kuat dan tidak mudah larut yang akan melindungi logam dari korosi. Lapisan pelindung ini disebut lapisan pasif. Lapisan pasif sangat tipis pada permukaan.

Agar pasifasi tetap stabil, paduan Fe-Cr hendaknya memiliki kadar kromium minimal 11%wt. Ketahanan korosi dari paduan Fe-Cr akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar kromium, pada umunya *stainless steel* memiliki kadar kromium sekitar 17%.

(Cunat, 2004)

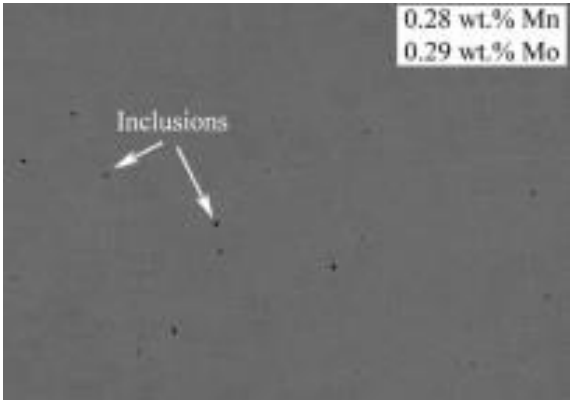
2.6 Pengaruh Unsur Paduan Mn

Paduan lain yang terdapat pada *stainless steel* adalah mangan. Mangan telah digunakan secara tradisional sebagai pembentuk austenit dan sering digunakan untuk meningkatkan

solubilitas nitrogen. Namun penambahan unsur mangan kerap dikaitkan dengan berkurangnya ketahanan korosi *pitting*. Hal ini dikaitkan dengan terbentuknya inklusi MnS yang dikenal sebagai penyebab dari serangan *pitting*.

Analisa dari pengaruh MnS pada proses pembentukan *pitting* dibawakan oleh Stewart dan William, mengkonfirmasi bahwa inklusi mendominasi sebagai area nukleasi *pit*.

Penelitian dari Pardo menunjukkan bahwa keberadaan Mn mengurangi CPT dari *stainless steel* secara drastis.



Gambar 2.8 Inklusi Mn pada sampel (Pardo, 2008)
(Pardo, 2008)

2.7 Unsur Paduan Mo

Molibdenum merupakan logam transisi berwarna putih perak dengan massaa atom relatif sebesar 95,94, nomor atom 42, temperatur leleh 2610°C, dan densitas sebsar 10,22 kg/dm^3. Molibdenum memiliki struktur kristal *body centered cubic*.

Temperatur leleh yang tinggi membuat molibdenum menjadi paduan yang memberikan kekuatan kepada baja dan paduan logam lainnya. Unsur ini juga ditambahkan dalam paduan logam sebagai penahan korosi.

Paduan molibdenum pada *stainless steel* maksimum 8%. Pada umumnya digunakan dengan persentase 2-4%. Dengan persentase yang rendah, molibdenum memilik efek yang cukup signifikan untuk meningkatkan ketahanan *pitting* dari *stainless steel* pada lingkungan klorida. Molibdenum mengurangi intensitas dari efek oksidasi untuk mengurangi kecenderungan dari pecahnya lapisan pasif.

(Cunat, 2004)

2.8 Perhitungan Laju Korosi

Terdapat beberapa macam perhitungan untuk menghitung laju korosi, salah satunya adalah menggunakan metode *weight loss.* Metode ini dilakukan dengan menghitung selisih berat dari material sebelum dan sesudah terjadi korosi. Laju korosi dihitung dengan menggunakan rumus :

$$CR = \frac{W\ x\ K}{D\ x\ A\ x\ T}$$

Dimana :

CR = *Corrosion rate* (mm/y)

D = Densitas spesimen (g/cm^3)

A = Luas area spesimen (cm^2)

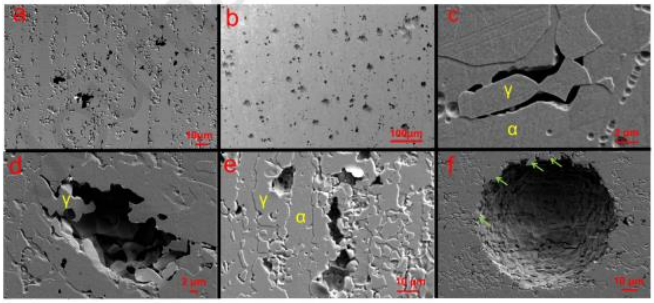
T = Waktu korosi (hr)

(Surya, 2013)

2.9 Penelitian Sebelumnya

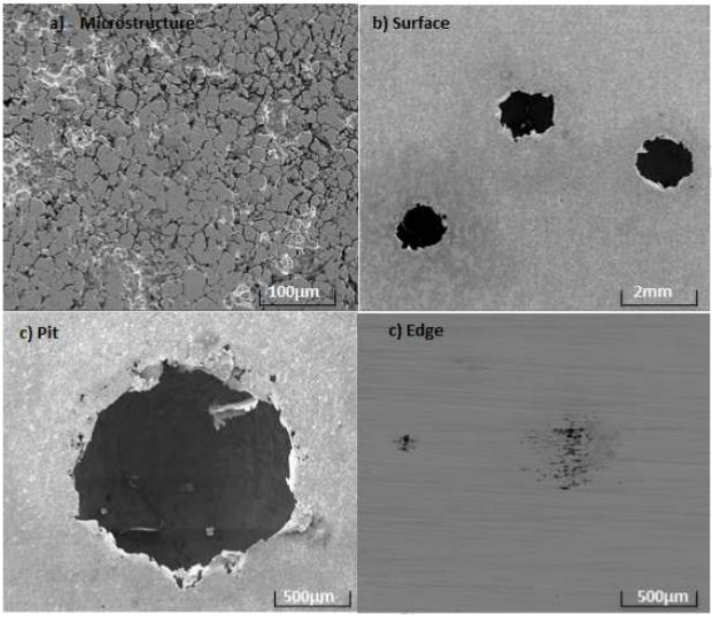
Beberapa penilitian telah dilakukan untuk menganalisa korosi pitting pada baja tahan karat. Salah satunya dilakukan oleh Yiqi Zhou pada tahun 2020 yang menguji korosi pitting pada material baja tahan karat tipe 2205 duplex (2205 DSS). Pada pengujian tersebut dikatakan temperatur 30°C sebagai temperatur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

PREN 38,4 dan estimasi CPT sesuai ASTM G48 sebesar 45℃ untuk larutan 6% $FeCl_3$. Percobaan dilakukan dengan meletakkan elektroda bipolar.



Gambar 2.9 (a) korosi pitting setelah 15 detik, (b) setelah 30 detik, (c) nukleasi palung setelah 15 menit, (d-f) palung telah terbentuk. (Yiqi Zhou, 2020)

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



Gambar 2.10 Hasil pengujian imersi (Jyoti Bhandari, 2017)

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

Pada tahun 2019, Viera Zatkalivoka, dkk, melakukan pengujian korosi lokal pada baja *stainless steel* 304 dalam larutan asam klorida. Pada pengujian tersebut digunakan larutan klorida dengan $FeCl_3$ sebanyak 5% (pH = 1,2) dan dilakukan imersi selama 24 jam dengan menggunakan standar ASTM G48. Pengujian imersi dilakukan pada temperatur 20 dan 50°C.

Gambar 2-11 Korosi *pitting* pada spesimen uji 20°C (Viera, 2019)

Gambar 2-12 Korosi *pitting* pada spesimen uji 50°C (Viera, 2019)

Dari pengujian tersebut dapat dilihat bahwa pada temperatur 20°C telah terjadi korosi *pitting* pada spesimen AISI 304. (Viera, 2019)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Pada penelitian mengenai analisa korosi pitting pada baja tahan karat terbagi menjadi beberapa tahap dimulai dari preparasi material, pembuatan larutan, pengujian imersi, dan pengamatan menggunakan SEM.

3.1.1 Preparasi Material

Data material yang dimaksud dalam preparasi ini meliputi material yang akan diuji, dimensi material yang akan diuji, dan komposisi dari material yang akan diuji.

1. Material yang digunakan

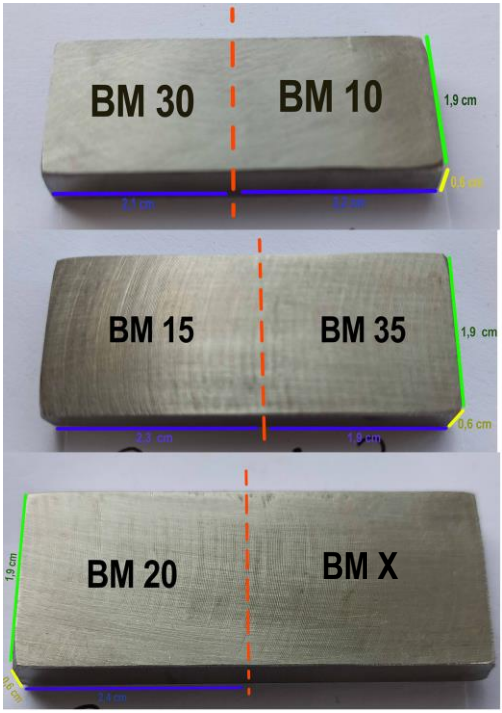
Material yang digunakan adalah 5 potong baja tahan karat AISI 304L yang akan diuji pada 5 temperatur

3. Dimensi material

Dimensi material yang digunakan adalah dimensi material setelah dilakukan pemotongan teretera pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Dimensi material

Material	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)
BM 10	2,2	1,9	0,5
BM 15	2,3	1,9	0,5
BM 20	2,4	1,9	0,5
BM 30	2,1	1,9	0,5
BM 35	1,9	1,9	0,5
BM X	2,1	1,9	0,5



Gambar 3.1 Skema pemotongan material

Skema pemotongan dilakukan sesuai dengan skema pada Gambar 3.1 menghasilkan meterial dengan ukuran yang tertera pada Tabel 3.1.

4. Komposisi material

Komposisi material yang akan diuji berdasarkan data yang diberikan tertera pada Tabel 3.2, Tabel 3.3, Tabel 3.4, Tabel 3.5, dan Tabel 3.6

Tabel 3.2 Komposisi baja tahan karat AISI 304L sampel BM 10

Unsur	Persentase (%)
Ti	0,03
V	0,07

Cr	18,74
Mn	1,22
Fe	70,19
Co	0,08
Ni	9,85
Cu	0,06
Nb	0,02
Mo	0,10
W	0

Tabel 3.3 Komposisi baja tahan karat AISI 304L sampel BM 15

Unsur	Persentase (%)
Ti	0
V	0,06
Cr	19,05
Mn	1,39
Fe	69,66
Co	0,17
Ni	9,81
Cu	0,06
Nb	0,03
Mo	0,07
W	0,06

Tabel 3.4 Komposisi baja tahan karat AISI 304L sampel BM 20

Unsur	Persentase (%)
Ti	0,05
V	0,09
Cr	19,21
Mn	1,32
Fe	69,57
Co	0,29
Ni	9,68
Cu	0,05
Nb	0,03

Mo	0,08
W	0

Tabel 3.5 Komposisi baja tahan karat AISI 304L sampel BM30

Unsur	Persentase (%)
Ti	0,03
V	0,07
Cr	18,74
Mn	1,22
Fe	70,19
Co	0,08
Ni	9,85
Cu	0,06
Nb	0,02
Mo	0,10
W	0

Tabel 3.6 Komposisi baja tahan karat AISI 304L sampel BM 35

Unsur	Persentase (%)
Ti	0
V	0,06
Cr	19,05
Mn	1,39
Fe	69,66
Co	0,17
Ni	9,81
Cu	0,06
Nb	0,03
Mo	0,07
W	0,06

Tabel 3.7 *Mean* komposisi sampel baja tahan karat AISI 304L yang diuji

Unsur	Persentase (%)

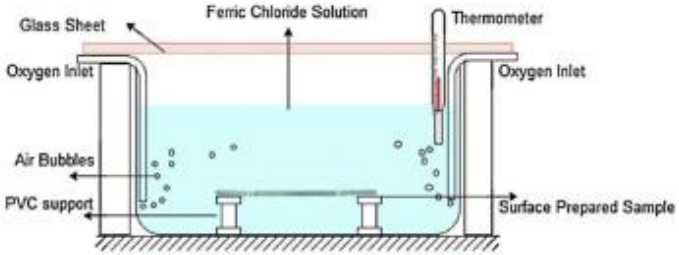
Ti	0,03
V	0,07
Cr	19,00
Mn	1,31
Fe	69,81
Co	0,18
Ni	9,78
Cu	0,05
Nb	0,03
Mo	0,08
W	0,02

3.1.2 Pembuatan Larutan

Larutan yang digunakan dengan konsentrasi 6% ferric chloride. Larutan pengujian dibuat dengan melarutkan 68,72g reagen ferric chloride ke dalam 600ml air sesuai dengan ASTM G48-11 menghasilkan larutan dengan konsentrasi Cl^- sebesar 2,39 M.

3.1.3 Uji Imersi

600 ml Larutan yang telah disiapkan dituangkan ke dalam test container berukuran 1L. Temperatur larutan kemudian diatur sesuai dengan pengujian yang diinginkan yaitu sebesar 10°C, 15°C, 20°C, 30°C dan 35°C. Spesimen uji diletakkan pada tatakan, lalu test container ditutup dengan menggunakan kaca dan diimersi selama 24 jam dengan menjaga kestabilan temperatur. Setelah 24 jam, spesimen uji diambil, Kemudian spesimen diusap dengan aseton atau metanol dan dikeringkan pada temperatur ruang.



Gambar 3. 1 Ilustrasi pengujian korosi pitting dengan ferric chloride

Pengujian imersi dilakukan untuk melihat pada temperatur berapa korosi *pitting* terjadi pada material *stainless steel* 304L. pengujian dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Departemen Teknik Material ITS dengan mengacu pada standar ASTM G48-11 dengan menggunakan Metode E-*Critical Temperature Pitting Test.*dengan melakukan imersi sampel pada larutan $FeCl_3$ selama 24 jam dengan variasi temperatur 10℃, 15℃, 20℃, 30℃, dan 35℃. Pada pengujian ini digunakan alat berupa *cool box* untuk pengujian pada temperatur 10℃, 15℃, dan 20℃. Dan *hot plate magnetic stirrer* untuk temperatur 35℃. Sementara pengujian temperatur 30℃ dilakukan pada temperatur ruang.

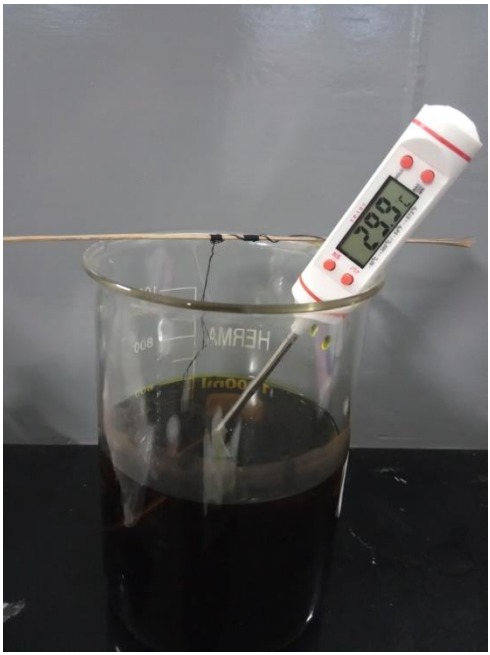
Gambar 3.2 *Cool box* yang digunakan untuk pengujian pada temperatur rendah

Pada gambar 3.2 ditunjukkan *cool box* yang digunakan untuk pengujian pada temperatur di bawah temperatur ruang. Untuk pengendalian temperatur agar selalu stabil, dilakukan pengisian es batu secara berkala dan pengecekan temperatur secara berkala untuk memastikan temperatur stabil.

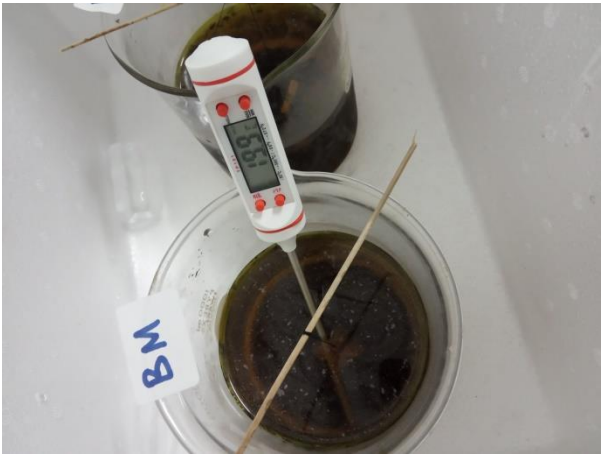
Pengujian temperatur 35℃ dilakukan dengan memanaskan larutan di atas *hot plate magnetic stirrer* dengan pengaturan temperatur 40℃ seperti pada gambar 3.3 dikarenakan adanya kehilangan panas dari permukaan *hot plate stirrer* menuju larutan, sehingga dilakukan penambahan temperatur pada *hot plate stirrer* untuk meghasilkan temperatur larutan yang lebih akurat.

Gambar 3.3 Pemanasan larutan dengan *hot plate magnetic stirrer*

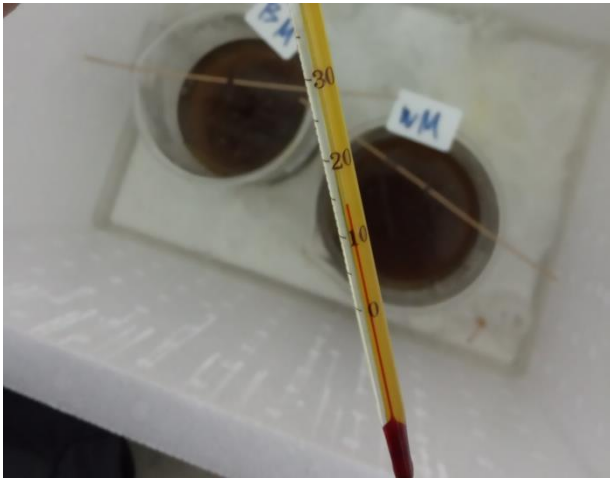
Dengan perlakuan seperti pada penjelasan diatas, telah didapatkan temperatur yang sesuai dengan target dengan hasil pengukuran tertera pada Gambar 3.4, Gambar 3.5, Gambar 3.6, Gambar 3.7, dan Gambar 3.8.



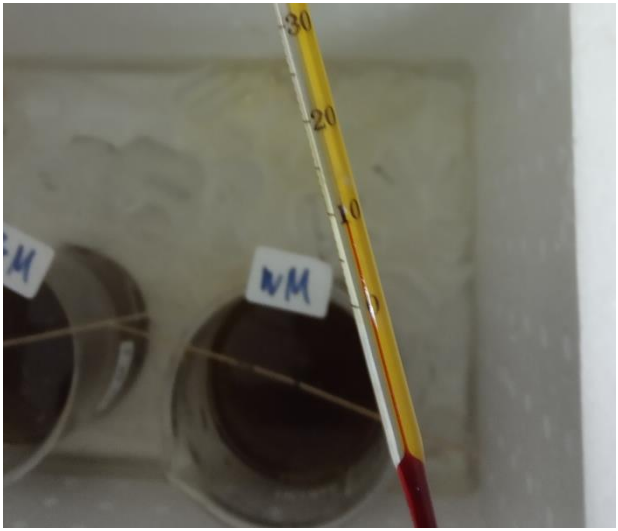
Gambar 3.4 Pengukuran temperatur spesimen uji 30℃



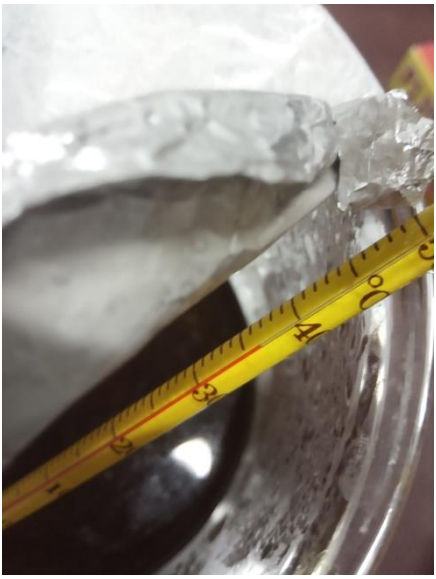
Gambar 3.5 Pengukuran temperatur pada spesimen uji 20℃



Gambar 3.6 Pengukuran temperatur pada spesimen uji 15℃



Gambar 3.7 Pengukuran temperatur pada spesimen uji 10℃



Gambar 3.8 Pengukuran temperatur spesimen uji 35℃

Berdasarkan gambar pengukuran temperatur tersebut dapat dikatakan bahwa temperatur pengujian telah sesuai dengan temperatur yang diharapkan.

3.1.4 Uji SEM

Terdapat dua jenis mikroskop yaitu mikroskop optik (OM) dan *scanning electron microscopy* (SEM). Mikroskop optik telah digunakan selama 2 abad sebagai alat sederhana dengan kemampuan yang terbatas. SEM telah digunakan di berbagai negara untuk berbagai macam pengamatan. SEM memiliki metode yang sangat efektif untuk menganalisa material organik maupun anorganik dalam nanometer hingga mikrometer. SEM memiliki perbesaran hingga 300.000x atau bahkan 1.000.000

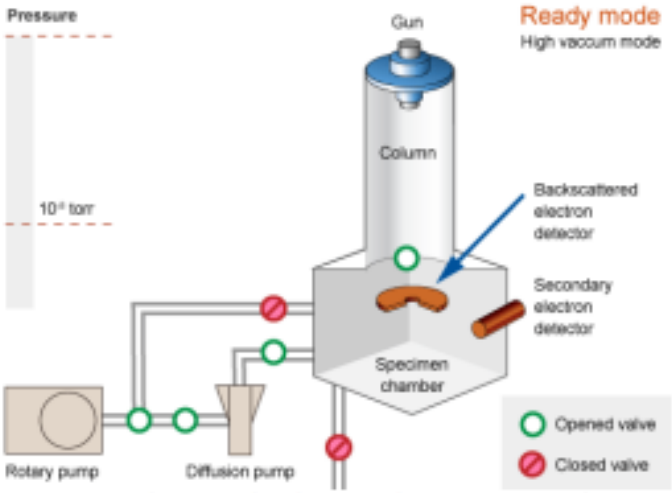
pada model yang lebih modern, menghasilkan gambar yang sangat akurat untuk cakupan material yang luas.

SEM pertama kali dibuat berdasarkan gagasan dari ilmuwan fisika Ruska dan Knoll pada tahun 1933 yang membuat sebuah alat *transmitted electron microscope* (TEM).

Gambar 3.9 Transmitted electron microscope (Azad, 2019)

Pada TEM elektron hanya melewati spesimen yang tipis. Pada 1938, Von Ardenne menambahkan kumparan scan pada TEM menghasilkan scanning transmission electron microscope (STEM) dengan perbesaran 8000x dan resolusi 50-100nm. Alat ini memiliki berbagai macam fitur yang kemudian mengembangkan sistem SEM. Namun alat ini tidak dijual secara komersil dikarenakan terjadi ledakan pada labnya. Zworykin, Hillier, dan Synder kemudian pada tahun 1942 membuat fitur baru dari SEM untuk menguji material yang tebal. Emisi elektron sekunder untuk menunjukkan kontras topografi. Oatley pada tahun 1952 dengan muridnya, McMullan dan Smith, menciptakan SEM dengan lensa elektrostatis. Smith menyadari bahwa

mikrografi dapat dikembangkan dengan pemrosesan sinyal dan amplifikasi sinyal linier. Smith juga menambahkan *double deflection scanning* untuk meningkatkan sistem scan. Stereoskopik baru ditemukan oleh O. Wells pada tahun 1953 untuk mengamati mikrografi 3 dimensi.



Gambar 3.10 Detektor elekron pada sistem SEM (Azad, 2019)

Komponen utama dari SEM antara lain :

1. Sumber untuk menghasilkan elektron dengan energi tinggi atau disebut *electron gun*
2. Kolom untuk jalan elektron melalui lensa elektromagnetik
3. Sistem defleksi dengan kumparan scan
4. Detektor elektron
5. Tempat untuk sampel
6. Sistem komputer dengan layar untuk menampilkan gambar yang telah discan dan keyboard untuk mengatur tembakan elektron.

Gambar 3.11 Komponen SEM (Azad, 2019)

SEM merupakan alat yang dapat melihat hal yang tidak terlihat secara kasat mata dan skala nano dapat terlihat. Detail dan kerumitan yang tidak dapat dilihat dengn mikroskop optik dapat dilihat oleh SEM. Proses yang terjadi dalam SEM antara lain :

1.Analiasa dilakukan dengan menerapkan tembakan elektron yang memiliki energi yang besar pada kisaran 100-30.000 electron volts.

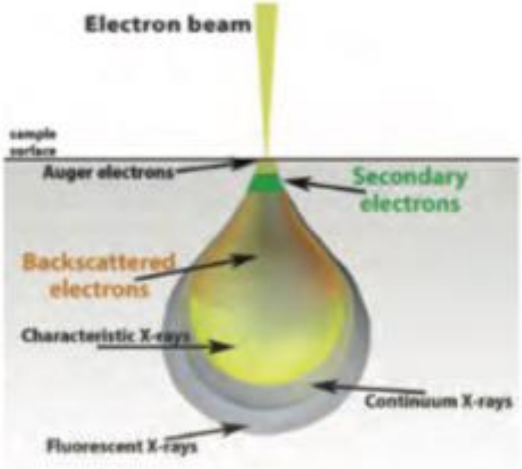
2.Ukuran tembakan yang dibuat terlalu besar untuk menghasilkan gambar yang tajam oleh karena itu SEM memilliki lensa untuk mengkompres ukuran dan mengarahkan fokus dari elektron pada spesimen.

3.Gambar dari spesimen dibuat per poin tergantung dari pergerakan kumparan yang menyebabkan tembakan elektron bergerak ke lokasi yang terpisah dari garis lurus hingga pola persegi diproduksi pada permukaan spesimen. Seluruh proses bergantung pada perbesaran yang diinginkan.

4. Detektor elektron untuk mendeteksi emisi elektron dari sampel yang discan. Dengan keberadaan detektor setiap sinyal yang ada karena interaksi antara tembakan elektron dan permukaan sampel dapat menghasilkan gambar. SE dan BSE digunakan pada produksi gambar pada SEM. Ketika tegangan positif diarahkan pada kolektor, SE dan BSE akan ditangkap. Namun, hanya BSE yang akan ditangkap sebagai tegangan negatif.

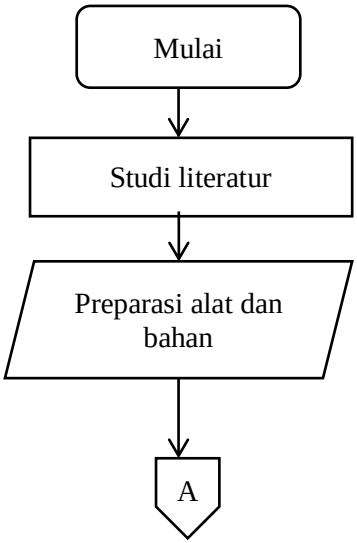
5. Tegangan elektron telah mempengaruhi detail yang dibutuhkan. Gambar yang dihasilkan akan kaya akan informasi mengenai permukaan apabila voltase dengan percepatan rendah digunakan kurang dari 5kV. Sebaliknya apabila tegangan dengan percepatan tinggi dengan kisaran 15-30kV dapat menembus ke bawah permukaan, akan merefleksikan sinyal dari permukaan memberikan detail dari interior sampel.

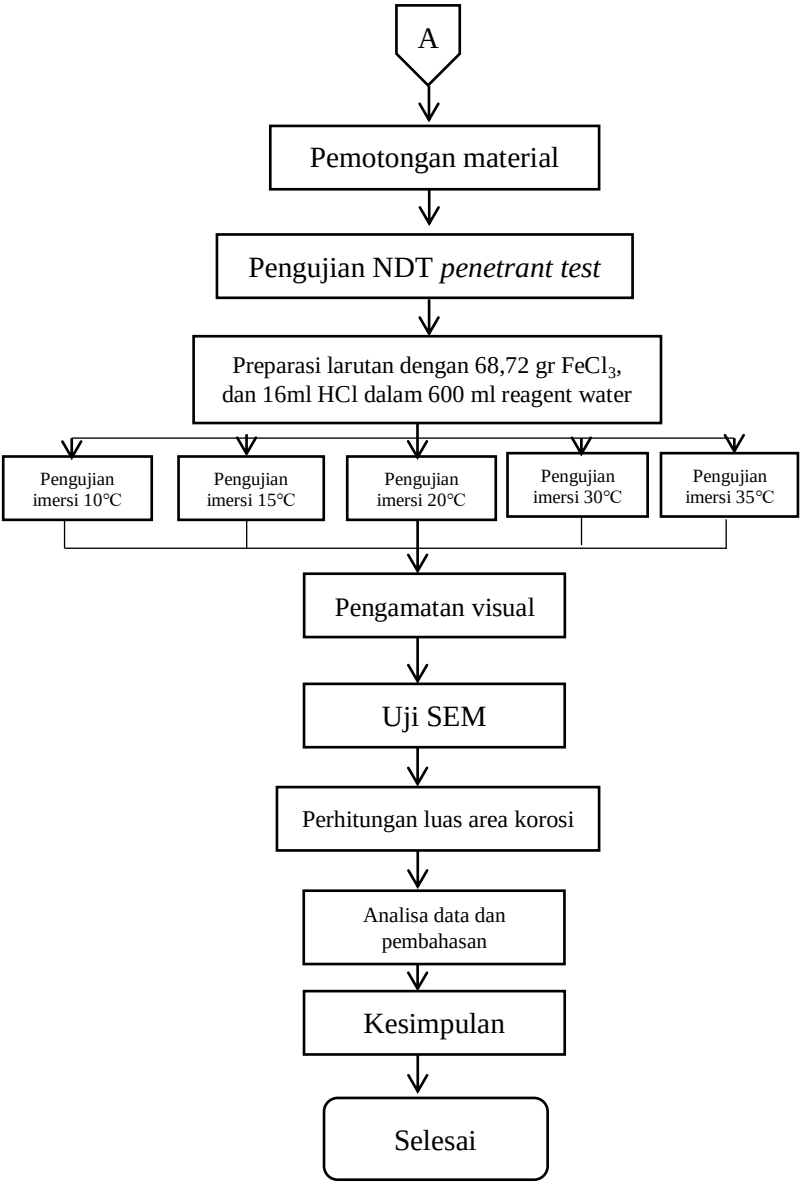
6. Sebagian gambar 3 dimensi diperoleh dari SEM tergantung pada visualisasi dari topografi sampel dan bergantung pada jumlah BSE dan SE. Sudut dari pemukaan sampel memiliki efek langsung apabila menambah jumlah BSE dan SE dan sebagai hasil dari kontras topografi.



Gambar 3.11 Perbedaan level penetrasi eletron pada sampel (Azad, 2019)

3.2 Diagram Alir



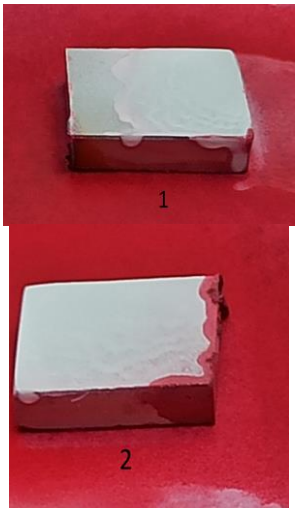

A
Pemotongan material
Pengujian NDT *penetrant test*
Preparasi larutan dengan 68,72 gr $FeCl_3$, dan 16ml HCl dalam 600 ml reagent water
Pengujian imersi 10°C
Pengujian imersi 15°C
Pengujian imersi 20°C
Pengujian imersi 30°C
Pengujian imersi 35°C
Pengamatan visual
Uji SEM
Perhitungan luas area korosi
Analisa data dan pembahasan
Kesimpulan
Selesai

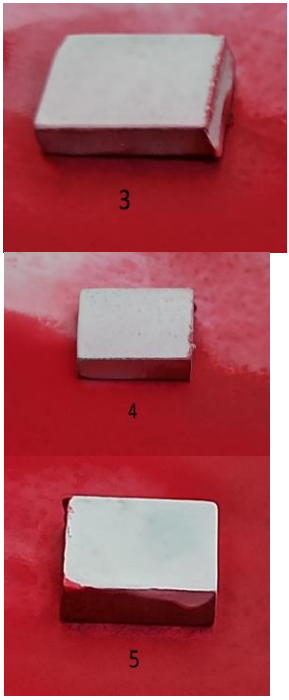
Gambar 3.11 Diagram alir

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji *Non Destructive Test* (NDT)

Uji NDT dengan menggunakan metode *penetrant test* untuk mengetahui apakah logam uji telah mengalami korosi *pitting* sebelum melakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan menyemprotkan *red penetrant spray* pada logam yang kemudian ditunggu selama 5 menit sebelum dibersihkan dan disemprot dengan *developer spray* untuk kemudian dilihat apakah terdapat bercak merah pada *developer* yang menandakan adanya korosi *pitting* pada logam. Hasil dari pengujian *penetrant test* dapat dilihat pada gambar 4.1





Gambar 4.1 Hasil uji NDT *stainless steel* 304L (1) sampel 1 (2) sampel 2 (3) sampel 3 (4) sampel 4 (5) sampel 5

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa tidak ada bercak merah yang menempel pada *developer* untuk kelima sampel hal ini menunjukkan bahwa tidak ada korosi *pitting* yang terjadi pada sampel sebelum dilakukan pengujian.

4.2 Hasil Uji Imersi

Korosi *pitting* yang 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 (Francisco, 2019). Proses terjadinya korosi sesuai dengan persamaan :

$$FeCl_3 \rightarrow Fe^{3+} + 3Cl^- \quad (4.1)$$

$$Fe^{3+} + 3(OH)^- \rightarrow Fe(OH)_3 \quad (4.2)$$

$$Fe^{2+} + 2Cl^- \rightarrow FeCl_2 \quad (4.3)$$

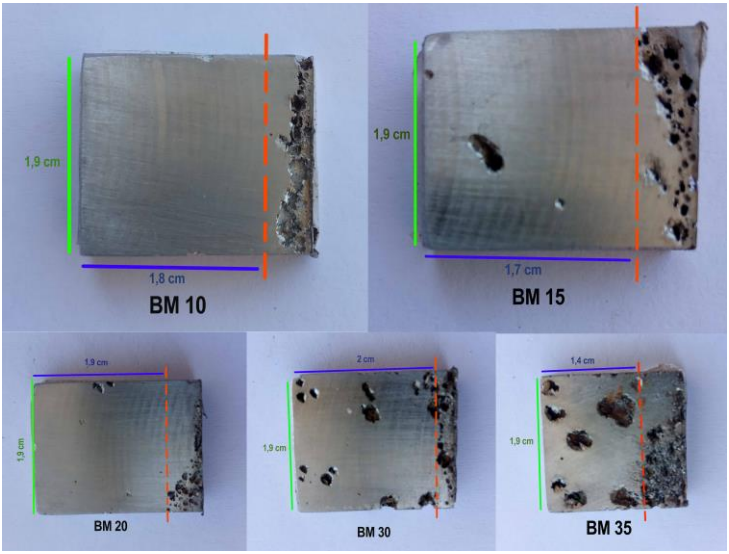
$$FeCl_2 + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + 2HCl \quad (4.4)$$

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 $Fe(OH)_3$ 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 $Fe(OH)_2$ dan HCl sesuai dengan persamaan 4.4.

Setelah dilakukan imersi selama 24 jam, spesimen diangkat dan dibasuh dengan metanol menggunakan kapas hingga tidak ada larutan yang tersisa pada spesimen uji.

Hasil dari pengujian imersi dapat dilihat pada Gambar 4.9. Pada hasil setelah pengujian imersi, terdapat area di bagian tepi material yang terkorosi cukup parah. Hal ini dikarenakan besarnya kemungkinan terjadi kerusakan lapisan pasif dan perubahan fasa akibat panas ketika dilakukan pemotongan menggunakan gerinda. Sehingga, area tepi yang dianggap sebagai

error tidak akan diamati. Ukuran *surface area* yang akan diamati dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.1



Gambar 4.2 *Surface area* yang akan diamati setelah imersi

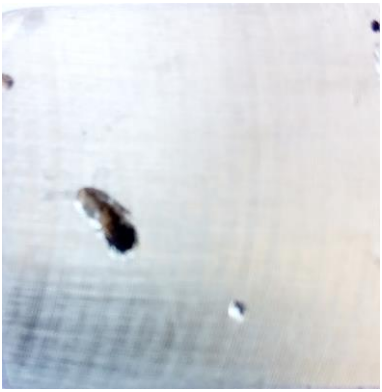
Tabel 4.1 Luas area yang akan diamati

Material	Panjang (cm)	Lebar (cm)
BM 10	1,8	1,9
BM 15	1,7	1,9
BM 20	1,9	1,9
BM 30	2,0	1,9
BM 35	1,4	1,9

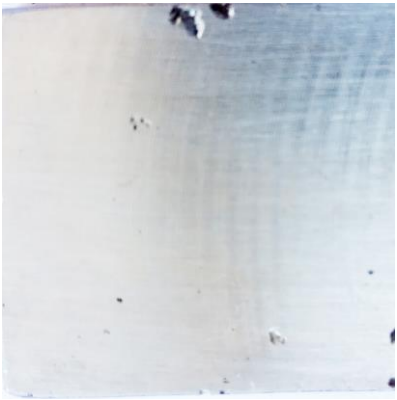
4.3 Pengamatan Visual

Pengamatan visual dilakukan untuk melihat apakah terdapat korosi *pitting* pada spesimen secara kasat mata. Area permukaan material yang diamati telah dipotong sesuai dengan pada Gambar 4.2 Hasil pengamatan visual dapat dilihat pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7.

Gambar 4.3 Permukaan logam uji temperatur 10℃

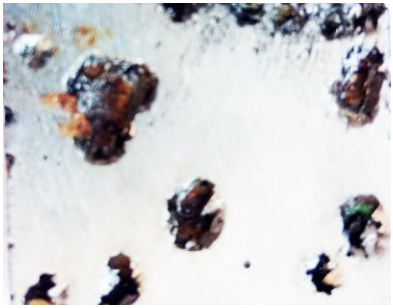


Gambar 4.42 Permukaan logam uji temperatur 15℃



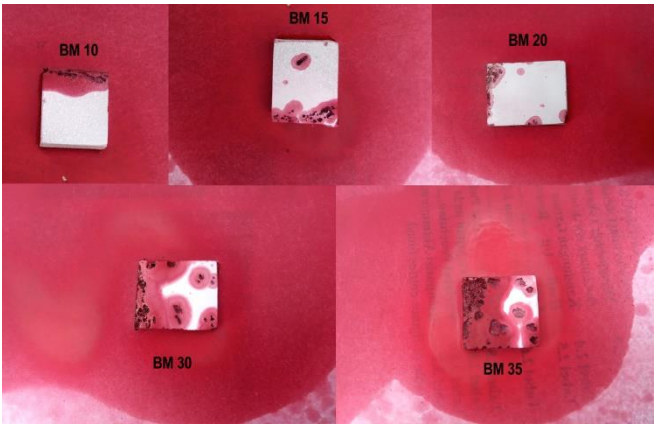
Gambar 4.53 Permukaan logam uji temperatur 20°C

Gambar 4.6 Permukaan logam uji temperatur 30°C



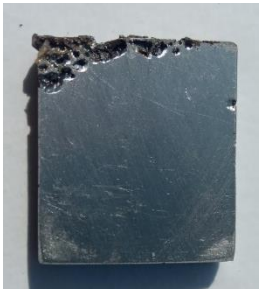
Gambar 4.64 Permukaan logam uji temperatur 35℃

Dilakukan pula pengujian NDT kembali untuk melihat apakah terbentuk *pit* pada sampel uji. Hasil pengujian NDT dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Uji NDT setelah imersi

Berdasarkan Gambar 4.2, *pit* mulai terbentuk pada temperatur 20℃. Pada temperatur 15℃ dapat terlihat adanya lubang, namun berdasarkan pengamatan secara morfologi lubang tersebut kemungkinan besar bukanlah *pit* melainkan cacat logam sebelum pengujian sehingga dilakukan pengujian ulang pada temperatur 15℃ dengan spesimen BM X yang didapat hasil tidak terbentuk *pit* seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil pengujian ulang temperatur 15℃

Dengan melihat hasil pengamatan makroskopis cukup jelas terlihat bahwa luas korosi *pitting* pada temperatur 30℃ dan 35℃ cukup besar dan dapat dipastikan temperatur tersebut tidak direkomendasikan dalam penggunaan material. Pada temperatur 20℃ terdapat bercak-bercak lubang kecil dengan jumlah yang sedikit menandakan pada temperatur 20℃ terjadi korosi *pitting* dengan area *pitting* yang kecil. Sementara pada tempertatur 10℃ dan 15℃ tidak terlihat adanya *pitting*. Maka dapat disimpulkan bahwa korosi *pitting* mulai terbentuk pada kisaran temperatur 15℃ hingga 20℃. Sementara berdasarkan rumus *Critical Pitting Temperature* (CPT) pada rumus 4.5 yang didapat dari ASTM G48 pada poin 10.1.3 :

$$CPT = 2{,}5 \times \%Cr + 7{,}6 \times \% Mo + 31{,}9 \times \% N - 41{,}0 \quad (4.5)$$

Tabel 4.2 Perhitungan CPT

Unsur	Jumlah (%)
Cr	19
Mo	0,08
N	0
Nilai CPT	7,108℃

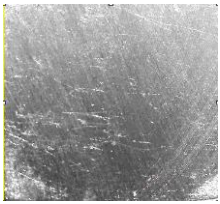
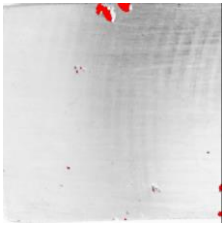
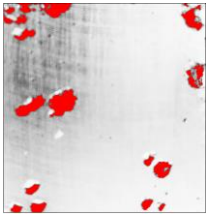
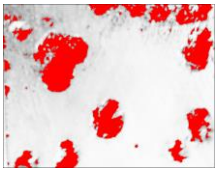
Temperatur kritis dimana *pitting* mulai terinisiasi, material sampel memiliki CPT sebesar 7°C sesuai dengan perhitungan pada Tabel 4.2. Berdasarkan data dari Arcelor Mittal yang telah melakukan pengujian imersi korosi *pitting* dengan metode A dari ASTM G48, *stainless steel* 18Cr-10Ni tidak direkomendasikan untuk aplikasi dalam larutan yang mengandung kadar klorida dengan pH sangat rendah dan temperatur yang tinggi. Sementara berasarkan data dari *North American Stainless,* AISI 304L dapat memiliki CPT pada temperatur ruang (25°C) apabila konsentrasi Cl^- maksimum pada lingkungan aplikasi material sebesar 0,5%. Lingkungan dengan konsentrasi Cl^- di atas 0,5% akan menjadi sangat korosif untuk *stainless steel* AISI 304L. Berdasarkan data dari *Bechtel Oil, Gas, & Chemicals*, *austenitic stainless steel* seperti AISI 304L pada industri gas natural digunakan pada proses dengan temperatur yang sangat rendah dan temperatur *cyrogenic* selain dikarenakan oleh potensi terjadi *pitting* pada lingkungan dengan konsentrasi asam tinggi, *austenitic stainless steel* juga memiliki sifat *cyrogenic* yang sangat baik.

4.4 Luas Area Korosi *Pitting*

Perhitungan luas area yang mengalami korosi *pitting* dilakukan untuk mengetahui berapa banyak *pitting* yang terbentuk pada permukaan logam. Hasil perhitungan luas area korosi *pitting* pada permukaan ditunjukkan pada Tabel 4.8

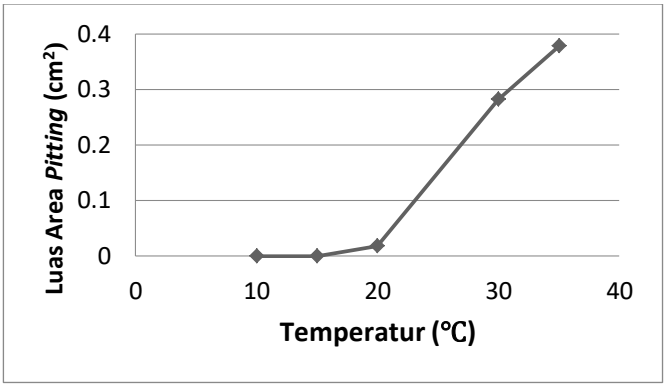
Tabel 4.3 Perhitungan luas area korosi *pitting* pada *stainless steel* 304L

Spesimen	Luas area (cm^2)	Pitting Area (%)	Pitting Area (cm^2)	Gambar

BM 10	3,102	0	0	
BM X (15°C)	2,674	0	0	
BM 20	3,344	0,521	0,0174	
BM 30	3,683	7,653	0,282	
BM 35	2,239	16,886	0,378	

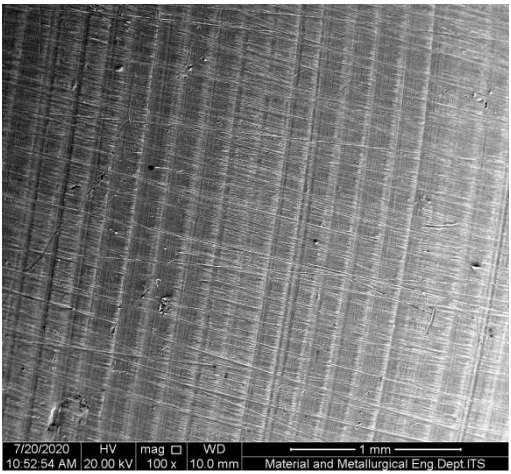
Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa korosi *pitting* pada spesimen *stainless steel* 304L bertambah banyak seiring dengan bertambahnya temperatur. Hasil perhitungan luas

menggunakan *software* ImageJ menunjukkan bahwa pada temperatur 10 dan 15°C tidak terjadi korosi *pitting*. Menunjukkan bahwa korosi *pitting* terjadi pada temperatur antara 15 sampai 20°C.

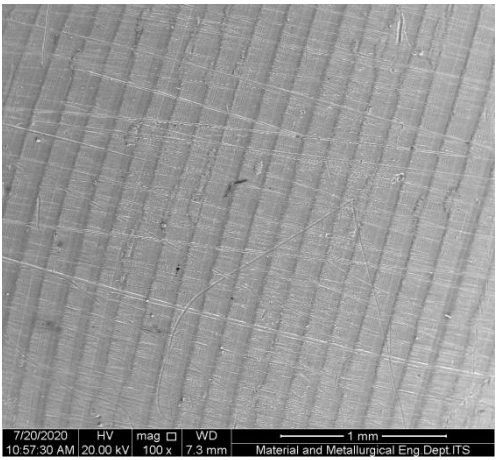


Gambar 4.9 Grafik perbandingan luas area *pitting* dan temperatur

Untuk memastikan tidak adanya korosi *pitting* pada spesimen *stainless steel* 304L dilakukan pengamatan melalui *Scanning Electron Miscroscope* (SEM) pada spesimen BM 10 dan BM 15 pada perbesaran 100x. Pengujian SEM dilakukan di Departemen Teknik Material, ITS.



Gambar 4.105 Hasil uji SEM spesimen BM 10



Gambar 4.11 Hasil uji SEM spesimen BM 15

Hasil uji SEM menunjukkan bahwa benar tidak terdapat korosi *pitting* pada spesimen BM 10 dan BM 15.

)

)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penilitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perbedaan temperatur uji pada spesimen *stainless steel* 304L terhadap beberapa parameter seperti meningkatnya luas area *pitting* meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Pada temperatur 10°C dan 15°C luas area *pitting* sebesar 0 cm^2 menandakan bahwa *pitting* tidak terjadi pada temperatur tersebut. Pada temperatur 20°C terjadi *pitting* seluas 0,0174 cm^2. Pada temperatur 30°C luas area *pitting* meningkat secara drastis menjadi 0,282 cm^2, dan kembali meningkat pada temperatur 35°C menjadi 0,378 cm^2. Korosi *pitting* akan semakin banyak terbentuk seiring dengan meningkatnya temperatur dilihat dari meningkatnya luas area permukaan yang terkorosi.
2. Pengujian *Critical Pitting Temperature* sesuai dengan ASTM G48 Metode E, telah merusak lapisan pasif FeOOH dan menyebabkan inisiasi *pitting* pada pengujian spesimen *stainless steel* menghasilkan nilai CPT 20°C. Didapatkannya nilai CPT 20°C di atas CPT perhitungan yaitu 7°C menunjukkan bahwa material yang digunakan pada spesimen uji layak untuk dipakai.

5.2 Saran

Adapun saran yang diperoleh dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Melakukan *mounting* untuk menghindari terjadinya korosi pada bagian pinggir dan ujung logam uji.

2. Melakukan pengujian mengenai sifat mekanik seperti pengujian kekerasan dan tarik terhadap *stainless steel* 304L.
3. Tidak memasukkan area batas pemotongan untuk menghindari *error*.

DAFTAR PUSTAKA

_____.1992. ***ASM Handbook Vol 13 : Corrosion***. United States.

A. A Datsgerdi. 2019. *Experimental Design to Study The Influence of Temperature, pH, and Chloride Concentration on The Pitting and Crevice Corrosion of UNS S30403 Stainless Steel.* ***Corrosion Science 159 (2019) 1081 60.***

Azad, Mohammed. 2019. *Scanning Electron Microscopy (SEM) : A Review.* **ISSN 1454 – 8003.**

Bahrami, Abbas. 2019. *A Study of The Failure of AISI 304 Stainless Steel Tubes in A Gas Heater Unit.* ***Metals 2019, 9, 969.***

Bechtel. 2019. *The Challenges of LNG Materials Selection.* ***Infrastructure, Mining & Metals, Nuclear, Security & Environtmental, Oil, Gas, & Chemicals.***

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***

Callister, William D. 2007. ***Material Science an Engineering An Introduction.*** John Willey & Sons:USA

Carter, V.E. 1982. ***Corrosion Testing For Metal Finishing***. UK: Institute of Metal finishing

Cunat, J. Pierre. 2004. ***Alloying Elemets in Stainless Steel and Other Chromium-Containing Alloys***. Euro Inox

Ginanjar, Surya. 2016. **Studi Ketahanan Korosi dan Kerentanan Terhadap *Pitiing Corrosion* Paduan Aluminium Hasil Pengerolan Dingin**. Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Javier, Francisco, et al. 2019 *Pitting Corrosion in AISI 304 Rolled Stainless Steel Welding at Different Deformation Levels.* ***Applied Sciences, 2019, 9, 3265.***

Laleh, Majid, et al. 2019. *Unanticipated Drastic Decline in Pitting Corrosion Resistance of Additively Manufactured*

316L Stainless Steel After High-Temperature Post-Processing. ***Corrosion Science.***

Pardo, A. 1995. *Influence of Microstructure on The Corrosion Resistance of AISI Type 304L and Type 316L Sintered Stainless Steel Exposed to Ferric Chloride Solution.* ***Material Characterization 35:145-151.***

Pardo, A. 2008. *Pitting Corrosion Behavior of Austenitic Stainless Steels – Combining Effects of Mn and Mo Additions.* ***Corrosion Science 50 (2008) 1796-1806.***

Popov. 2015. *Pitting and Crevice Corrosion.* ***Corrosion Engineering 297-304.***

Roberge, R. 2000. ***Handbook of Corrosion Engineering***. New York: The McGraw-Hill

Schweitzer, A. 2007. ***Fundamentals of Metallic Corrosion: Atmospheric and Media Corrosion of Metal***s. Unites States: CRC Press

Sedriks, AJ. 2017. *Corrosion of Stainless Steel.* ***Reference Moule in Materials Science and Materials Engineering.***

Shreir, L. L. 2000. *Influence of Structure on Surface Films-Pitting Corrosion.* ***Corrosion Metal/Environtment Reaction***, 49-50.

Taiwade, Ravindra. 2012. *A Comparative Study of Intergranular Corrosion of AISI 304 Stainless Steel and Chrome-Manganese Austenitic Stainless Steel.* ***ISJ International, Vol. 52 (2012), No. 10.***

Uhlig, Herbert. H. 1985. ***Corrosion and Corrosion Control***. Canada: John Willey & Sons

Wang, J. H. 1988. *Effects of Cl^- Concentration and Temperature on Pitting of AISI 304 Stainless Steel.* ***Corrosion Science.***

Widyanto, Bambang. 2017. ***Study of Temperature an Chloride Concentration Effect on Pitting Corrosion of AISI 316L with Immersion Method.*** *Materials Engineering Department, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Bandung Institute of Technology, Bandung.*

Y. Zhou, D. Lars Engelberg. 2020. *Fast Testing of Ambient Temperature Pitting Corrosion in Type 2205 Duplex Stainless Steel by Bipolar Elecrochemistry Experiments.* ***Electrochemistry Communication.***

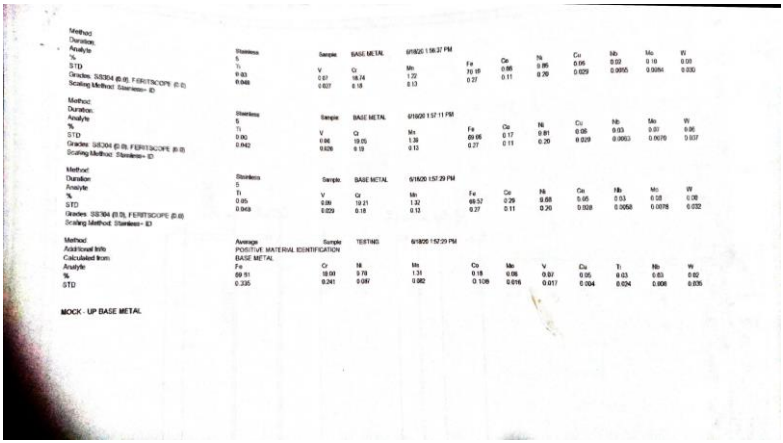
Zatkalikova, Viera. 2019. *Local Corrosion of AISI 304 Stainless Steel in Acidic Chloride Solution.* **QPI 2019, vol 1, issue 1, 268-275.**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1

Hasil Pengujian Komposisi Spesimen



Method: Stainless
Duration:
Analyte: S Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Nb Mo W
%: 0.03 0.07 18.74 1.22 70.18 0.06 0.09 0.029 0.0055 0.10 0.03
STD: 0.048 0.027 0.18 0.13 0.27 0.11 0.29 0.0094 0.030
Grades: SS304 (0.8), FERITSCOPE (0.8)
Scaling Method: Stainless- ID

Method: Stainless
Duration:
Analyte: S Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Nb Mo W
%: 0.00 0.06 19.05 1.38 69.66 0.17 0.81 0.06 0.03 0.07 0.06
STD: 0.042 0.026 0.19 0.15 0.27 0.11 0.20 0.029 0.0063 0.0070 0.007
Grades: SS304 (0.8), FERITSCOPE (0.8)
Scaling Method: Stainless- ID

Method: Stainless
Duration:
Analyte: S Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Nb Mo W
%: 0.05 0.06 19.21 1.32 69.57 0.29 0.68 0.05 0.03 0.08 0.08
STD: 0.048 0.029 0.18 0.12 0.27 0.11 0.26 0.028 0.0058 0.0078 0.032
Grades: SS304 (0.8), FERITSCOPE (0.8)
Scaling Method: Stainless- ID

Method: Average Sample TESTING 6/18/20 1:57:29 PM
Additional Info: POSITIVE MATERIAL IDENTIFICATION
Calculated from: BASE METAL
Analyte: Fe Ni Mn Co Mo V Cu Ti Nb W
%: 69.51 10.00 1.31 0.18 0.06 0.07 0.05 0.03 0.03 0.02
STD: 0.335 0.241 0.067 0.062 0.108 0.016 0.017 0.004 0.024 0.006 0.035

MOCK - UP BASE METAL

FORM : CHE - 5-2

PT Boma Bisma Indra (Persero)

ALLOY VERIFICATION RECORD

Customer : PT.Pall Filtration Indonesia
User : PT.PERTAMINA EP
Job No : 18.091.1
Report No : 04/QC-PMI/18.091.1/10/19

Project : Gas Development Project For Unitization of the FFB
Date : 18,JUNE'2020

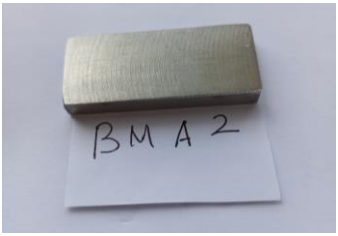
Page : 1 OF 1

NO	ITEM	REF CODE	TYPE OF SPECIFIED MATERIAL	CHEMICAL COMPOSITION (%)				MILL CERTIFICATE NUMBER	RESULT
				MN	CR	NI	MO		
1	A -8 BASE METAL	ASME CODE SECTION IIA,B,C	304L	1.31	19.00	9.78	0.08	TEST PICE	304L
2	A -8 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

Lampiran 2

Material Sebelum Proses Pemotongan

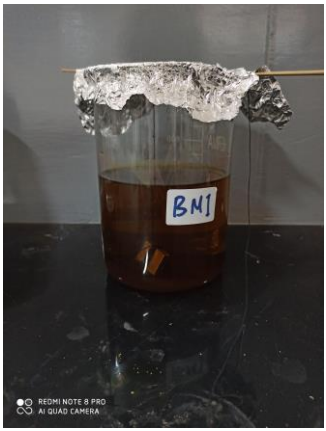


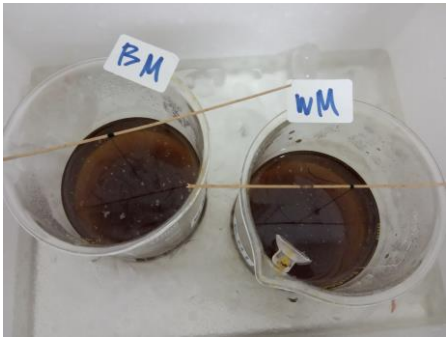
Lampiran 3

Dokumentasi Uji NDT

Lampiran 4

Dokumentasi Uji Imersi





Lampiran 5

Dokumentasi Penimbangan Berat Setelah Imersi

METTLER TOLEDO
15.3384 g
FACT
→0/T←

METTLER TOLEDO
19.9589 g
FACT
→0/T←

METTLER TOLEDO
19.7953 g
→0/T←

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama berkuliah di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS mulai dari mahasiswa baru hingga penulisan tugas akhir ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Teman-teman angkatan MT18 atas support dan bantuannya kepada penulis.
2. Teman-teman UKM IFLS yang telah menjadi keluarga kedua selama berkuliah di ITS.
3. Teman-teman sekaligus adik-adik pengurus Kabinet Erlangga UKM IFLS periode 2018 yang telah bekerja dengan sangat baik selama menjadi pengurus.
4. Teman-teman *anti lost club* : Trik, Avian, Micha, Ricky, dan Putri yang telah membantu, menemani, dan mendengarkan keluh kesah penulis selama mengerjakan tugas akhir.
5. Teman-teman *Kapukeki Band* : Ardin, Adre, Ai, Putri, Robby, Bagus, dan Mas Valdi yang telah membantu penulis menghilangkan *stress*.
6. Keluarga *Ommega Studio* : Mas Ommy, Dea, Aan, dan Jusi yang senantiasa mendukung dan memberikan nasehat kepada penulis.
7. Delilah, yang telah menyediakan tempat, *wifi*, dan konsumsi kepada penulis dan membantu melancarkan pengerjaan tugas akhir penulis.
8. Alya, yang telah membantu memberikan dukungan moral dan membantu melakukan translasi pada tugas akhir penulis.
9. Para pelanggan usaha *MK Illustration* yang telah membantu penulis secara finansial.

10. Semua pihak yang telah terlibat selama penulis berkuliah di ITS hingga menyelesaikan tugas akhir ini.

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Jauza' Nur Rahmadanti. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang lahir pada tanggal 20 Juni 1999 di Kota Kediri. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Plus Rahmat pada tahun 2005 – 2011. Kemudian penulis melanjutkan jenjang pendidikannya ke MTs Negri 1 Kediri pada tahun 2011 – 2014. Setelah itu penulis menempuh pendidikan atas di SMA Negeri 7 Kediri pada tahun 2014 – 2016. Setelah itu penulis melanjutkan studi sarjananya di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS mulai tahun 2016. Selama menempuh perkuliahan penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan diantaranya LKMM Pra TD, EOT IFLS ITS, dan PMO LMB ITS. Selain itu penulis pernah mengikuti beberapa organisasi seperti UKM IFLS ITS sebagai Bendahara 2 periode 2017/2018, dan sebagai Presiden periode 2018, dan LMB ITS sebagai staff Departemen Event periode 2017/2018. Selain itu, penulis juga pernah mengikuti kegiatan keprofesian seperti melakukan kerja praktik di PT. Insastama di Divisi *Quality Control* selama 1 bulan, dan bekerja sebagai *freelance illustrator* selama 2 tahun. Ketika berada di Departemen Teknik Material dan Metalurgi penulis melakukan penelitian tugas akhir pada bidang Korosi dan Analisa Kegagalan yang berjudul "ANALISA KETAHANAN *STAINLESS STEEL* AISI 304L TERHADAP *PITTING CORROSION* DENGAN MENGGUNAKAN METODE E-*CRITICAL TEMPERATURE TEST FOR STAINLESS* STEEL ASTM-G48". Penulis dapat dihubungi melalui email ocha_jauza@yahoo.co.id dan nomor *handphone* +6285730700603