



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TL 141584**

# **ANALISIS KEGAGALAN PADA PIPA PENYALUR AIR PENDINGIN DI PT. HOLCIM TBK. TUBAN**

**HAFIZH DARU TEGUH UTAMA**  
NRP. 2713 100 035

Dosen Pembimbing  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.  
Dr. Ing. Victor Risonarta S.T. M.Sc

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



**TUGAS AKHIR - TL141584**

# **ANALISIS KEGAGALAN PADA PIPA PENYALUR AIR PENDINGIN DI PT. HOLCIM TBK. TUBAN**

HAFIZH DARU TEGUH UTAMA  
NRP. 2713 100 035

Dosen Pembimbing :  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc  
Dr. Ing. Victor Risonarta S.T. M.Sc

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL141584**

# **FAILURE ANALYSIS OF COOLING WATER PIPE IN PT. HOLCIM TBK TUBAN**

**HAFIZH DARU TEGUH UTAMA**  
NRP. 2713 100 035

**Advisor:**

**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc**  
**Dr. Ing. Victor Risonarta S.T. M.Sc**

**MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT**  
**Faculty of Industrial Technology**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya**  
**2017**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALISIS KEGAGALAN PADA PIPA PENYALUR  
COOLING WATER DI PT. HOLCIM TBK. PLANT TUBAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi Korosi dan Analisis Kegagalan  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri

Oleh:

**HAFIZH DARU TEGUH UTAMA**

NRP. 2713100035

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Rochman Rochiem (Pembimbing 1)
2. Dr. Ing. Victor Risong (Pembimbing 2)



*(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)*

## **Analisis Kegagalan pada Pipa Penyalur Air Pendingin di PT HOLCIM Tbk TUBAN**

**Nama** : Hafizh Daru Teguh Utama  
**NRP** : 27 13 100 035  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Rochman Rochiem M.Sc.  
Dr. Ing. Victor Risonarta S.T. M.Sc

### **Abstrak**

Sistem pendingin berguna untuk menjaga temperatur di suatu *equipment* agar tidak melebihi temperatur desainnya. Sistem ini menggunakan fluida air yang diambil dari hasil pengeboran. Lalu diproses menggunakan *reverse osmosis*. Hasil dari *reverse osmosis* berguna untuk mendinginkan temperatur yang terdapat di *equipment* tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kegagalan pada pipa penyalur air pendingin. Beberapa pengujian dilakukan untuk mendukung hasil analisis. Uji komposisi unsur didapatkan pipa ini sesuai dengan ASTM A1020. Pengamatan strukturmikro mendukung karakterisasi material bahwa pipa ini adalah baja karbon rendah. Dari pengamatan makro menunjukkan bahwa terdapat pengurangan ketebalan, terdapat lubang dan korosi. Pengujian senyawa deposit menunjukkan terbentuknya magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Pengujian fluida menunjukkan ketidak sesuaian hasil uji dengan data desain. Faktor penyebab terjadinya kegagalan adalah ketidak sesuaian pemilihan material dan tidak maksimalnya inhibitor bekerja. Dan mekanisme terjadinya kegagalan adalah dengan adanya daerah sambungan las sebagai pusat tegangan, diawali dengan *uniform corrosion* kemudian *erosion corrosion*

**Keyword:** *M-alkalinity, salt density index, pH, electrical conductivity, reverse osmosis*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **Failure Analysis of Cooling Water Pipe in PT. HOLCIM Tbk Tuban**

**Name** : Hafizh Daru Teguh Utama  
**SRN** : 27 13 100 035  
**Major** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Advisor** : Ir. Rochman Rochiem M.Sc.  
Dr. Ing. Victor Risonarta S.T. M.Sc

### ***Abstract***

*Cooling system is useful to keep temperature of equipment not over the temperature design. This system use water that taken from digging the ground. Then processed by reverse osmosis. The result of reverse osmosis is useful to keep the temperature in equipment. The purpose of this research is to analyze the failure in cooling water pipe. Several test is to support the result of analysis. Composition test of this pipe is equal to ASTM A1020. The microstructure supports the characterization of pipe that is carbon steel. From macro testing it show that there is decreasing of thickness, there is a hole and corrosion. Result of deposit test is magnetite ( $Fe_3O_4$ ). Fluid testing shows that there is no equalization between design and the result of test. Factors of failure are the wrong choice of choosing the material and the inhibitor isn't work maximally. And there is mechanism of failure in this pipe, area of welded pipe that become the center of stress and begin with uniform corrosion then erosion corrosion*

***Keyword: M alkalinity, salt density index, pH, electrical conductivity, reverse osmosis***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, atas limpahan RAhmat dan Karunia-Nya penulis dapat merampungkan tugas akhir ini dengan judul:

### **“Analisis Kegagalan Pada Pipa Penyalur *Cooling Water* di PT. Holcim Tbk Plant Tuban”**

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat memperoleh Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri (FTI) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan, bimbingan dan saran dari semua pihak. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada :

1. Allah SWT
2. Keluarga Penulis
3. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc selaku pembimbing pertama
4. Dr. Ing. Victor Risonarta S.T. M.Sc selakum pembimbing kedua
5. Dosen-dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
6. Dan teman-teman yang selalu mendukung berjalannya penelitian ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Amiin

Surabaya, Januari 2017  
PENULIS

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Baja.....	5
2.2 Baja Karbon.....	5
2.3 Analisis Kegagalan.....	8
2.4 <i>Reverse Osmosis</i> .....	12
2.5 Korosi .....	13
2.5.1 Definisi Korosi .....	13
2.5.2 Sel Korosi Basah .....	13
2.5.3 Jenis-jenis Korosi .....	14
2.6 <i>Cooling System</i> .....	18
2.7 Metalografi .....	18
2.8 <i>Water Hardness</i> .....	19
2.9 Uji Penetran .....	20
2.10 Pourbaix Diagram .....	20
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	<b>23</b>
3.1 Diagram Alir .....	23
3.2 Metode Penelitian.....	24
3.3 Material .....	25
3.4 Peralatan .....	26

3.5 Tahapan Penelitian .....	27
3.5.1 Review Dokumen Perusahaan.....	27
3.5.2 Pengujian Komposisi Unsur Kimia.....	28
3.5.3 Pengamatan Makro.....	28
3.5.4 Preparasi Spesimen .....	28
3.5.5 Pengamatan Mikroskopik.....	28
3.5.6 Uji Senyawa Deposit.....	29
3.5.7 Uji Kekerasan.....	30
3.5.8 Uji Fluid .....	30
3.5.9 Perhitungan <i>Reynold Number</i> .....	30
3.5.10 Perhitungan Ketebalan Pipa Terhadap Tekanan Internal .....	31
3.5.11 Perhitungan <i>Hardness Water</i> .....	32
3.6 Rancangan Penelitian .....	32
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Analisis Data .....	33
4.1.1 Data Operasional Lapangan .....	33
4.1.2 Hasil pengujian Komposisi Pipa .....	34
4.1.3 Hasil Pengujian Fluida .....	34
4.1.4 Pengamatan Makroskopik.....	36
4.1.5 Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	39
4.1.6 Hasil Pengujian Senyawa.....	40
4.1.7 Hasil Pengujian Kekerasan.....	41
4.1.8 Perhitungan Reynold Number .....	42
4.1.9 Perhitungan Hardness Fluida .....	43
4.1.10 Ketebalan Dinding Pipa Terhadap Tekanan Internal ..	44
4.1.11 Uji Penetran.....	45
4.2 Pembahasan.....	45
4.2.1 Faktor-Faktor Penyebab Kegagalan .....	45
4.2.2 Mekanisme Kegagalan .....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xix</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxiii</b>

<b>UCAPAN TERIMAKASIH.....</b>	<b>xxix</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>xxxi</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Peta lokasi produksi dan distribusi PT.Holcim Tbk.	6
<b>Gambar 2.1</b>	Efek penambahan tembaga terhadap uniform atmospheric corrosion pada baja	6
<b>Gambar 2.2</b>	Efek penambahan unsur-unsur yang lain terhadap uniform industrial atmospheric corrosion pada baja, (a) krom, (b) silikon, (c) fosfor, dan (d) nikel	7
<b>Gambar 2.3</b>	Gambar saat air dipisahkan membrane permeable, (a) gambar saat terjadinya osmosis, (b) proses terjadinya reverse osmosis saat diberinya pressure sehingga air bergerak melalui membrane.	12
<b>Gambar 2.4</b>	Sel Elektrolit Sederhana	14
<b>Gambar 2.5</b>	Korosi batas butir	15
<b>Gambar 2.6</b>	Crevice corrosion	16
<b>Gambar 2.7</b>	Pitting corrosion	16
<b>Gambar 2.8</b>	Erosion Corrosion	17
<b>Gambar 2.9</b>	Stress Corrosion Cracking	17
<b>Gambar 2.10</b>	Pourbaix Diagram untuk <i>iron-water system</i> di temperatur 25 °C	17
<b>Gambar 4.1</b>	Lubang pada pipa penyalur cooling water	45
<b>Gambar 4.2</b>	(a) Letak korosi lubang; (b) daerah sambungan pada pipa	46
<b>Gambar 4.3</b>	Perbedaan ketebalan pipa antara daerah sambungan dengan daerah yang lain	49
<b>Gambar 4.4</b>	Kerak didalam pipa penyalur cooling water	51
<b>Gambar 4.5</b>	Struktur mikro pipa dengan perbesaran 50x	55
<b>Gambar 4.6</b>	Struktur mikro pipa dengan perbesaran 100x	57
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil Pengujian Senyawa Deposit di Dalam Pipa	59
<b>Gambar 4.8</b>	Titik-titik Pengujian Kekerasan	60
<b>Gambar 4.9</b>	Distribusi kekerasan titik A, B, C	62
<b>Gambar 4.10</b>	Distribusi kekerasan titik F,E,D	63
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil uji penetran; (a) satu kali pemberian developer; (b) dua kali pemberian developer; (c) tiga kali	

pemberian developer; (d) empat kali pemberian developer; (e) lima kali pemberian developer.....63

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin .....	9
<b>Tabel 2.2</b> Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin .....	10
<b>Tabel 2.3</b> Penyebab kegagalan dalam komponen mesin .....	11
<b>Tabel 3.2</b> Diagram Alir .....	43
<b>Tabel 3.2</b> Jadwal Kegiatan Tugas Akhir .....	43
<b>Tabel 4.1</b> Data Operasional .....	33
<b>Tabel 4.2</b> Data Historis <i>Reverse Osmosis</i> .....	33
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan Hasil Pengujian Komposisi dengan Standar ASTM 1020 .....	34
<b>Tabel 4.4</b> Perbandingan Hasil Pengujian Fluida dengan Data Desain .....	35
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Pengujian Kekerasan (HV) .....	41
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Perhitungan $\text{CaCO}_3$ Desain dan Hasil Pengujian (mg/L) .....	44
<b>Tabel 4.7</b> Hasil Perhitungan Total Hardness Desain dan Hasil Pengujian .....	44

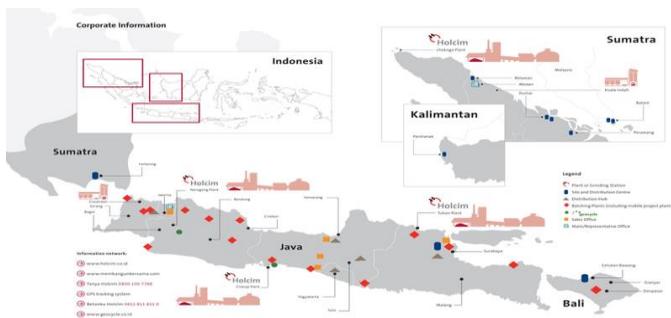
*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1. 1. Latar Belakang

PT Holcim Indonesia Tbk (Holcim Indonesia) adalah sebuah perusahaan publik Indonesia dimana mayoritas sahamnya (86,35%) dimiliki dan dikelola oleh Holcim Group, yang berbasis di Swiss, produsen semen terbesar di dunia dengan total lebih dari 85,000 karyawan dan kapasitas produksi di lebih dari 70 negara mencapai lebih dari 170 juta ton semen. Dalam upaya penyediaan semen tersebut, sebagai salah satu perusahaan semen terbesar di Indonesia, PT Holcim Indonesia Tbk menjalankan usaha yang terintegrasi terdiri dari semen, beton siap pakai, dan produksi agregat. Perusahaan mengoperasikan tiga pabrik semen masing-masing di Narogong, Jawa Barat, di Cilacap, Jawa Tengah, Tuban 1 di Jawa Timur dan fasilitas penggilingan semen di Ciwandan, Banten dengan total kapasitas gabungan per tahun 11 juta ton semen, dan mempekerjakan lebih dari 2,500 orang. Sebaran lokasi produksi dapat dilihat pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1** Peta Lokasi produksi dan distribusi PT. Holcim Indonesia ([holcim.co.id](http://holcim.co.id))

Di Holcim terdapat sistem pendingin yang menggunakan air laut sebagai fluidanya, air ini di proses melalui *pre-watering*



*filter*, *reverse* osmosis dan kemudian dialirkan ke daerah-daerah *kiln*. Air laut ini sebagai air pendingin. Sistem tersebut menggunakan *reverse* osmosis untuk menghilangkan mineral-mineral yang terdapat pada air laut dan membuat komposisinya sesuai dengan yang dibutuhkan untuk mendinginkan suatu sistem. Pada pipa penyalur di daerah *kiln*, sering terjadi korosi dan bisa sampai terjadi kebocoran yang bisa sampai menyebabkan berhentinya produksi. Jika sampai berhenti produksi maka akan mengurangi hasil produksi yang cukup besar dan menyebabkan kerugian yang tidak kecil. Oleh karena itu diperlukan analisa kegagalan pada pipa penyalur air pendingin. Sehingga kegagalan tersebut tidak terulang kembali dan dapat mendukung produksi semen di PT. Holcim Tuban *Plant* Indoensia

### **1. 2. Perumusan Masalah**

Perumusan masalah yang akan dikaji dalam analisa kegagalan ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan pada pipa penyalur air pendingin?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan yang terjadi pada pipa penyalur air pendingin?
3. Apa saja hal-hal yang perlu dilakukan agar kegagalan pada pipa penyalur air pendingin dapat ditanggulangi?

### **1. 3. Tujuan Penelitian**

Sesuai dengan permasalahan yang telah disebutkan, maka tujuan penelitian ini antara lain:

1. Menganalisa faktor-faktor penyebab kegagalan pada pipa penyalur air pendingin
2. Menganalisa mekanisme kegagalan yang terjadi pada pipa penyalur air pendingin
3. Menganalisa hal-hal yang perlu dilakukan agar kegagalan pada pipa penyalur air pendingin dapat ditanggulangi



---

#### **1. 4. Batasan Masalah**

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisa permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan, yaitu:

1. Lingkungan diluar pipa diabaikan
2. Temperatur dalam pipa dianggap sesuai dengan data operasional
3. Debit fluida didalam pipa dianggap sesuai dengan data operasional

#### **1. 5. Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat khususnya cabang ilmu material dan metalurgi, PT. Holcim Tuban Plant Indonesia sebagai pihak utama yang menyokong penelitian dapat menerapkan hasil penelitian untuk:

1. Menentukan faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan pada pipa penyalur air pendingin
2. Masukan untuk hal-hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada pipa penyalur air pendingin dapat ditanggulangi



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Baja

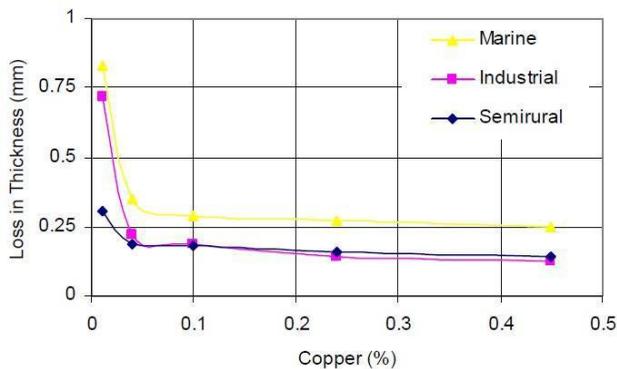
Baja pada dasarnya adalah paduan besi-karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon baja biasanya juga mengandung sejumlah unsur lain, baja ini memiliki kadar karbon yang kurang dari 2%. Ada yang unturnya ditekan serendah mungkin ataupun justru malah ditambahkan agar memperoleh suatu sifat tertentu. Menurut komposisinya baja dibagi menjadi dua kelompok, yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon yang dapat didefinisikan sebagai baja yang hanya mengandung sejumlah kecil unsur dari elemen selain dari karbon. Sedangkan baja paduan adalah paduan dari besi dengan tambahan unsur lain seperti karbon, Mg, Silicon, Nikel, Krom, Molybdenum, dan Vanadium untuk mencapai suatu sifat yang diinginkan. Baja paduan memiliki lingkup yang luas seperti *low-alloy steels*, *stainless steels*, *heat-resistant steels*, dan baja perkakas. Beberapa baja paduan seperti austenitic stainless steels tidak mengandung penambahan karbon yang disengaja. Silicon ketika diperlukan ditambahkan sebagai deoxidizer pada *molten steel*. Nikel memberikan kekuatan dan bantuan pada pengerasan baja melalui quenching dan tempering dalam perlakuan panas. (Wiley, 2006)

### 2.2 Baja Karbon

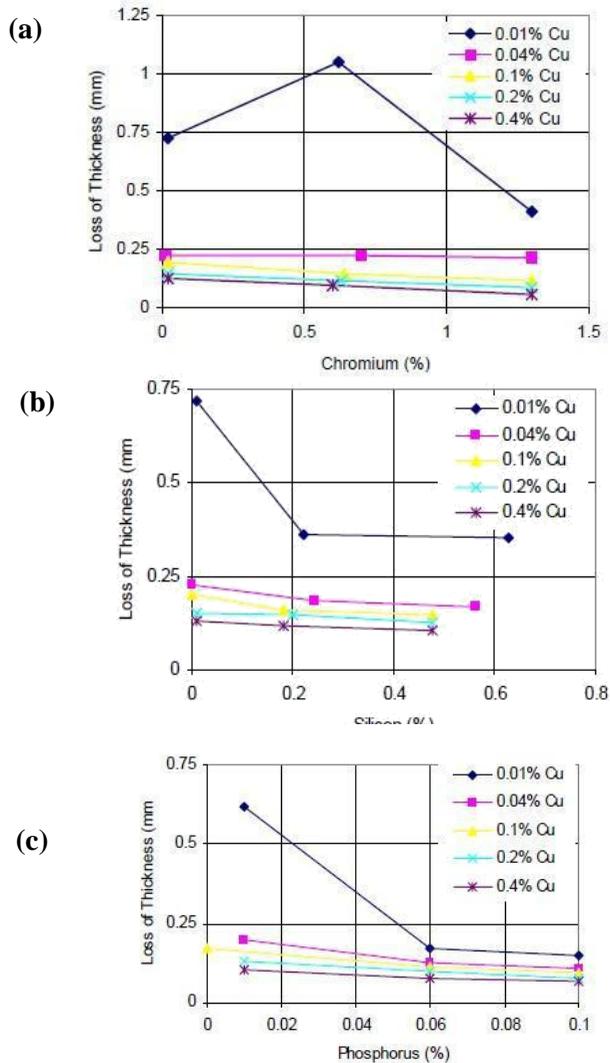
Baja karbon sering digunakan sebagai elemen struktural yang efektif beberapa tahun terakhir ini di lingkungan non-korosif, jika memiliki paduan dan metode proteksi yang tepat. Namun, baja karbon ini merupakan logam yang rentan terhadap semua jenis korosi, pemeliharaan yang intensif sangat dibutuhkan apabila berada di lingkungan korosif. Baja karbon telah digunakan sebagai struktur di lingkungan non-air laut. Baja akan terkorosi dengan cepat saat pertama kali terkena udara dan segera membentuk lapisan oksida dimana lapisan ini akan mengurangi laju korosi secara signifikan.

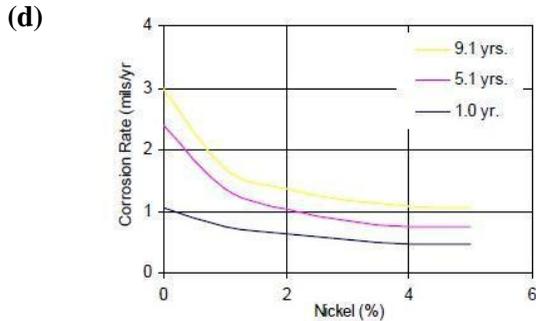


Untuk baja paduan, penambahan tembaga sebanyak 0,01 - 0,05% memiliki efek yang besar dalam meningkatkan ketahanan korosi, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Sedangkan hubungan dengan unsur yang lain terhadap ketahanan korosi ditunjukkan Gambar 2.2 Sedikit penambahan kromium dapat meningkatkan kekuatan tensile secara signifikan dan ketahanan korosi. Kromium, nikel, dan tembaga memberikan sifat yang bagus tanpa harus menggunakan *coating* di lingkungan non-air laut (Craig, et al., 2006).



**Gambar 2.1** Efek penambahan tembaga terhadap uniform atmospheric corrosion pada baja (Craig, et al., 2006)





**Gambar 2.2** Efek penambahan unsur-unsur yang lain terhadap *uniform industrial atmospheric corrosion* pada baja, (a) krom, (b) silikon, (c) fosfor, dan (d) nikel (Craig, et al., 2006)

Karbon berperan penting dalam pembentukan presipitasi karbida. Penurunan kadar karbon dapat membatasi pembentukan karbida yang berbahaya, seperti kromium karbida yang dapat mengendapkan kromium di batas butir. Molibdenum ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan baja terhadap serangan intergranular. Selain itu juga dapat meningkatkan resistansi terhadap korosi *pitting* dan *crevice*. Kromium dapat meningkatkan ketahanan korosi. Titanium ditambahkan untuk memberikan stabilisasi dalam menghadapi presipitasi yang berbahaya, seperti kromium karbida. Unsur ini dikombinasikan dengan karbon dan nitrogen, dan tidak diperbolehkan membentuk karbida dan nitrida yang dapat memicu korosi intergranular. Temperatur optimal dalam pembentukan TiC (karbida titanium) adalah 900 – 950 °C. Silikon ditambahkan untuk meningkatkan resistansi korosi di lingkungan asam sulfur. Sulfur dapat meningkatkan *machinability*, namun menurunkan resistansi terhadap korosi (Ahmad, 2006).

### 2.3 Analisa Kegagalan

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen-komponen atau



struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisa kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut. Dengan kata lain, analisa kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen. Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brooks, 2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat di karenakan :

A. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.1 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material

**Tabel 2.1** Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin (Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15
Kesalahan perlakuan panas	15
Kesalahan desain mekanik	11
Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2



B. Perawatan komponen yang kurang baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.2 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

**Tabel 2.2** Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin (Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang baik	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

C. Kesalahan dalam perancangan komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
2. Kegagalan getas akibat beban kejut
3. Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
4. *Static delayed fracture*
5. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
6. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
7. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.

D. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.3.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



**Tabel 2.3** Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks, 2002)

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan ( <i>fatigue</i> )	25
Kegagalan getas ( <i>brittle fracture</i> )	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperature tinggi	7
Korosi retak tegang, korosi lelah, pengetasan hydrogen	6
Pemuluran ( <i>creep</i> )	3
Abrasi, Erosi	3

### 2.3.1 Prosedur dalam Analisa Kegagalan

Ketika terjadi sebuah kegagalan atau retak, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mencegah terjadinya kegagalan yang sama dengan menginvestigasi dan menganalisa kegagalan komponen yang terjadi. Adapun tindakan yang perlu dilakukan dalam menginvestigasi komponen yaitu (Nishida, 1992):

- A. Material yang digunakan
  1. Data produksi : *melting, rolling, forming, casting, heat treatment*, dan proses *machining*
  2. Analisa kimia : pengujian X-Ray, komposisi kimia
  3. Sifat mekanik : *tensile, bending, hardness, impact*, dan *fatigue test*.
  4. Struktur metalurgi : struktur makro dan mikro struktur
  5. Pengerasan permukaan dan tegangan sisa ; *finishing*
  6. Patah permukaan
- B. Desain tegangan dan kondisi perawatan
  1. Kekuatan dari luar : golongan, besar, pengulangan.
  2. Atmospher : udara, air, air laut, dan sebagainya
  3. Yang lain : kondisi perbaikan



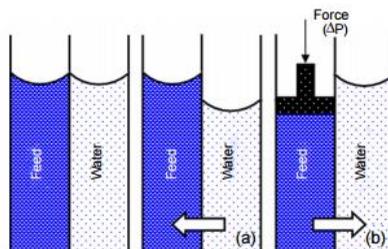
## C. Uji percobaan

1. Uji laboratorium : perhitungan tegangan (kekuatan material, *finite element method* (FEM), kekuatan leleh, kekerasan patahan.
2. Konfirmasi uji lapangan : ukuran tegangan, uji produksi.

## D. Hasil uji seluruhnya.

### 2.4 Reverse Osmosis

Osmosis adalah pergerakan dari molekul pelarut melalui membrane permeable, dari daerah yang memiliki *solute* yang berkonsentrasi rendah, dengan harapan sama *solute*-nya pada dua sisi. Pergerakan pelarut dari yang konsentrasi rendah menuju yang lebih tinggi, sehingga larutan cenderung mengurangi perbedaan konsentrasi. Ketika membran semipermeable memisahkan dua larutan, air selalu berdifusi dari larutan yang memiliki osmotic potential yang lebih rendah menuju yang lebih tinggi. Pergerakan air yang melalui membran dapat disebut osmosis. Sedangkan *reverse osmosis* adalah tekanan yang diberikan kepada proses osmosis sehingga air dapat terkena gaya dan bergerak melalui membrane. RO ini adalah teknik pemisahan yang digunakan untuk mengkonsentrasikan atau memurnikan fluida tanpa perubahan fasa. Proses *reverse osmosis* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.3** Gambar saat air dipisahkan membrane permeable, (a) gambar saat terjadinya osmosis, (b) proses terjadinya *reverse osmosis* saat diberinya tekanan sehingga air bergerak melalui membran. (Cassano,2015)



## 2.5 Korosi

### 2.5.1 Definisi Korosi

Berdasarkan National Association of Corrosion Engineers (NACE) International, korosi didefinisikan sebagai “kerusakan bahan, biasanya logam, terjadi karena reaksi antara logam dengan lingkungannya. Reaksi ini menghasilkan oksida logam, sulfida logam atau hasil reaksi lain. Menurut jenis reaksinya, korosi dapat digolongkan sebagai korosi kimia dan korosi elektrokimia. Korosi kimia terjadi secara murni reaksi kimia tanpa adanya cairan elektrolit, biasanya terjadi pada suhu yang relatif tinggi, atau dalam lingkungan udara yang kering. Sebaliknya, korosi elektrokimia biasanya terjadi di lingkungan yang basah, pada temperatur yang relatif rendah, dengan berbagai bentuk korosi yang berbeda, mengikuti mekanisme elektrokimia yaitu terjadinya reaksi oksidasi (reaksi anodik) dan reaksi reduksi (reaksi katodik) (Sulistijono, 1999).

### 2.5.2 Sel Korosi Basah

Dalam sel korosi basah sederhana seperti pada Gambar 2.4 terdapat beberapa komponen penting dalam sel ini, diantaranya adalah :

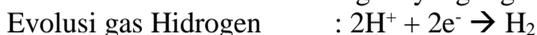
- Anoda terkorosi dengan melepaskan elektron atom logam netral untuk membentuk ion-ion. Ion-ion ini kemungkinan tetap ada pada larutan atau bisa membentuk hasil korosi yang tidak larut. Anoda biasanya menjadi anoda korban untuk melindungi logam yang ingin diproteksi.



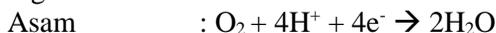
Sebagai contoh reaksi oksidasi pada besi (Fe) yaitu :

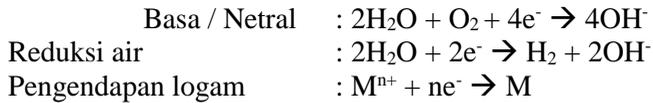


- Katoda tidak terkorosi atau logam yang ingin dilindungi.

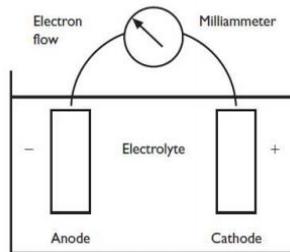


Reduksi Oksigen





- c. Elektrolit Isitilah ini biasanya dihubungkan dengan larutan, tentunya larutan yang dapat menghantarkan listrik.
- d. Hubungan Listrik Anoda dan katoda harus terdapat kontak listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Jika anoda dan katoda merupakan bagian logam yang sama, tidak diperlukan hubungan secara fisik.



**Gambar 2.4** Sel Elektrolit Sederhana

(Sulistijono, 1999)

### 2.5.3 Jenis-jenis Korosi

Ada sembilan jenis korosi yang umumnya logam dapat terkena, yaitu

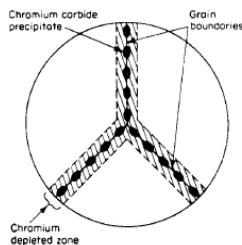
#### 1. *Uniform corrosion*

*Uniform corrosion* adalah salah satu bentuk korosi yang paling umum yang terjadi pada logam. Umumnya korosi ini adalah pengurangan massa logam akibat dari *chemical attack* atau pecahnya *metallic component* menjadi *metallic ions*. Akibat dari

pecahnya *metallic component* maka permukaan logam terjadi pengikisan secara merata sehingga ketebalan logam berkurang.

## 2. *Intergranular corrosion*

*Intergranular corrosion* atau korosi batas butir sesuai pada Gambar 2.5 adalah korosi yang terlokalisir. Hal ini biasanya menyerang batas butir. Ada atau tidaknya korosi ini dapat diamati dari batas butirnya, apabila ada akan menyebabkan pengurangan dari kekuatan dan keuletan.



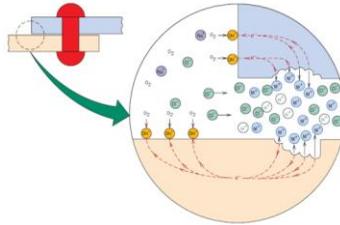
**Gambar 2.5** Korosi batas butir

## 3. *Galvanic corrosion*

Korosi yang umumnya disebut sebagai *dissimilar metal corrosion*. Ketika dua logam secara elektrik tersambung dan ditempatkan dalam larutan konduktif, maka muncul beda potensial. Beda potensial ini memberikan *driving force* untuk pemecahan dari material yang kurang mulia (yang lebih negative), sehingga logam yang potensialnya lebih negative akan mengalami korosi.

## 4. *Crevice corrosion*

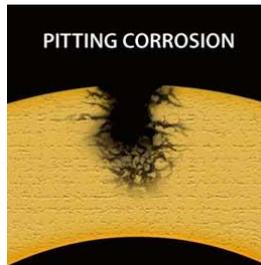
*Crevice corrosion* atau korosi sumuran sesuai dengan Gambar 2.6 adalah korosi yang terlokalisir yang terjadi di atau berdekatan pada suatu celah yang dibentuk dari kontak metal-to-metal-to-non metal. Ini adalah hasil dari perbedaan konsentrasi oksigen antara didalam celah dan di daerah sekitarnya



**Gambar 2.6** *Crevice corrosion*

5. *Pitting*

*Pitting corrosion* sesuai dengan Gambar 2.7 adalah korosi yang terlokalisir dengan ciri-ciri tingginya logam yang hilang secara local. Dalam kasus yang parah, tampak sebagai lubang yang dalam dan kecil. Secara mekanisme awalnya terjadi lubang adalah dengan rusaknya lapisan pasif/protektif pada permukaan logam. Faktor utama yang menyebabkan dan mempercepat terjadinya pitting adalah kontak elektrik antara logam yang berbeda, hal ini akan menyebabkan terjadinya beda potensial dan akan terjadi korosi seperti halnya *galvanic corrosion*.



**Gambar 2.7** *Pitting corrosion*

6. *Erosion corrosion*

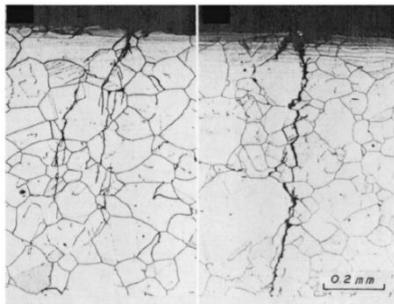
*Erosion corrosion* sesuai dengan Gambar 2.8 adalah korosi yang terjadi akibat dari gaya mekanik. Korosi erosi dipengaruhi oleh kecepatan, turbulensi, tumbukan, temperature, adanya padatan yang tertahan, adanya kavitasi.



**Gambar 2.8** *Erosion Corrosion*

7. *Stress corrosion cracking*

SCC sesuai dengan Gambar 2.9 dapat didefinisikan sebagai kegagalan dari paduan dengan *cracking* ketika terekspos pada lingkungan tertentu dan adanya *static tensile stress*. Ini adalah gabungan antara korosi dengan tegangan. Biasanya berbentuk retakan retakan yang tidak mudah dilihat, terbentuk diperukaan logam dan berusaha merambat kedalam.



**Gambar 2.9** *Stress Corrosion Cracking*

8. *Biological corrosion*

Kondisi korosif yang berkembang karena adanya mikroorganisme hidup sebagai pengaruh mereka terhadap reaksi anodik dan katodik. Aktifitas metabolik ini dapat secara langsung maupun tidak dapat menyebabkan penurunan kualitas logam.



9. *Selective leaching*

Ketika satu elemen dari paduan dihilangkan dengan cara korosi maka proses tersebut dapat disebut sebagai *selective leaching*, atau *dealloying*. (Philips A.,2007)

### 2.6 Cooling System

System pendingin melibatkan sirkulasi air yang melalui jaringan dari *exchangers* yang panasnya dan tekanannya akan dikontrol dengan cara panasnya dikirim ke *cooling water* dan kemudian *cooling water* tersebut dikirim ke *cooling tower*. Pengiriman ke *cooling tower* ini memiliki fungsi untuk mereduksi temperature dari air dengan cara *heat transfer*. *System mass balance* melibatkan mengalirnya uap air dengan cara penguapan, dan temperature tereduksi karena udara dapat menghilangkan bagian dari panas dengan air yang teruapkan. Penggunaan dari *cooling water* membutuhkan perhatian ekstra untuk mencegah korosi dan kerak. Kualitas dari air harus cukup bagus dengan artian kecil adanya *inorganic particle* dari kalsium dan garam magnesium. Menurut Bureau Indian Standard (1999) *cooling water* terdapat empat aspek yang diperhatikan, yaitu pH, *alkalinity*, *water hardness*, dan *electrical conductivity*.(Zahid, 2015)

### 2.7 Metalografi

Metalografi adalah suatu teknik atau metode persiapan material untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi-informasi yang terdapat dalam material yang dapat diamati, seperti fasa, butir, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya. Adapun secara garis besar langkah-langkah yang dilakukan pada metalografi adalah:

1. Pemotongan spesimen (*sectioning*)
2. Pembikaian (*mounting*)
3. Penggerindaan, abrasi dan pemolesan (*grinding, abrasion and polishing*)



4. Pengetsaan (*etching*)
5. Observasi pada mikroskop optic

(Richard, 1971)

## 2.8 Water Hardness

*Total water hardness* adalah penjumlahan dari hardness kalsium dan hardness magnesium yang ditunjukkan pada mg/L sebagai  $\text{CaCO}_3$ . Dengan tingginya tingkat ion *hard-water* seperti  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dapat menyebabkan *scaling* deposit. American Water Works Association mengindikasikan bahwa kualitas ideal air tidak boleh lebih dari 80mg/L dari total *hardness* sebagai  $\text{CaCO}_3$ . Tingginya total hardness tidak menjadi patokan untuk kesehatan tubuh. Total hardness dalam *freshwater* biasanya dalam rentang 15 - 375 mg/L sebagai  $\text{CaCO}_3$ . Kalsium *hardness* dalam *freshwater* dalam rentang 10 - 250 mg/L, seringkali duakali lipat dari magnesium *hardness* dengan rentang 5 - 125 mg/L. Selain dalam bentuk  $\text{CaCO}_3$ , *water hardness* bisa dalam bentuk lain yaitu *French degrees*, *English degrees* and *German degrees*. Satu *degree* dari *German degree* didefinisikan sebagai 10 mg/L CaO. Satu *English degree* didefinisikan sebagai 1 butir (64.8mg) dari  $\text{CaCO}_3$  per gallon. Satu *French degree* didefinisikan sebagai 10mg/L  $\text{CaCO}_3$ . Tabel 2.4 menunjukkan klasifikasi dari *Water hardness*

**Tabel 2.4** Klasifikasi *water hardness* (Amjad, 2015)

Konsentrasi (mg/L $\text{CaCO}_3$ )	<i>Degree of Hardness</i>
0-50	<i>Soft</i>
50-100	Moderately Soft
100-150	Slightly Hard
150-250	<i>Moderately Hard</i>
250-350	<i>Hard</i>
350+	<i>Excessively Hard</i>



## 2.9 Uji Penetran

Uji penetran adalah pengujian *nondestructive* untuk mendeteksi diskontinuitas yang terbuka di permukaan seperti *crack, laps, cold shuts, laminations, through leaks, lack of fusion*. Biasanya pengujian ini dilakukan ketika *maintenance*, dan setelah proses. Uji penetran ini digunakan untuk material yang tidak keropos, *metallic materials*, baik *ferrous* maupun *non-ferrous*. Tahapan melakukan uji penetran adalah sebagai berikut:

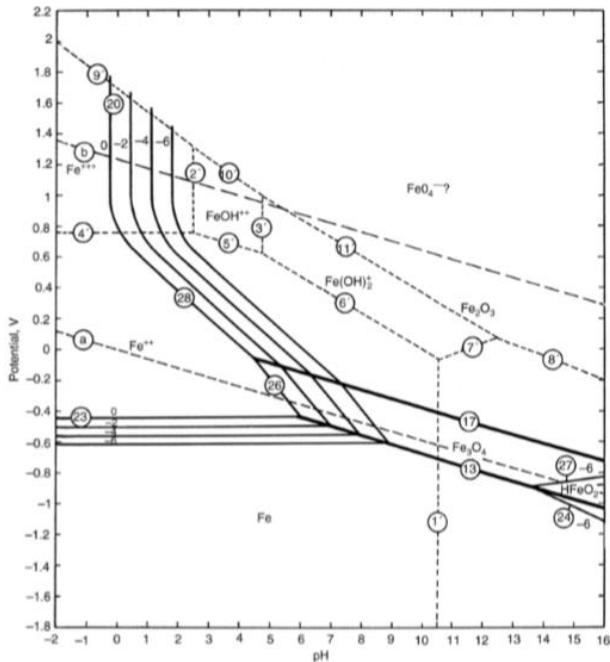
1. Membersihkan permukaan benda uji
2. Menyemprotkan penetran pada permukaan benda uji
3. Menunggu 5-10 menit agar penetran masuk pada celah-celah di permukaan
4. Membersihkan penetran
5. Menyemprotkan developer dan ditunggu sampai kering
6. Pengamatan pada daerah yang memiliki intensitas warna dari penetran yang paling tinggi

(ASME SEC V SE-165, 2001)

## 2.10 Diagram Pourbaix

Untuk korosi dalam media *liquid* terdapat dua variable fundamental yaitu potensial dan pH yang dianggap penting. Perubahan variabel seperti konsentrasi oksigen, dapat dianggap sebagai perubahan potensial korosi. Sangat penting menimbang dan mendefinisikan lingkungan di permukaan logam yang mana reaksi korosi terjadi.

Dalam penerapannya, *E-Ph* diagram terhadap korosi, data termodinamik dapat digunakan untuk memetakan korosi yang terjadi, pasifitas, dan *nobility* logam terhadap fungsi dari pH dan potensial. (ASM Vol 13, 2003)



**Gambar 2.10** Pourbaix Diagram untuk *iron-water system* di temperatur 25 °C

Untuk mengetahui lapisan apa yang akan terbentuk harus diketahui potensial dan pH, misalnya untuk pembentukan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang bersifat lapisan pasif diperlukan pH antara 7-12 dan potensial - 0.2 V. (Hans-Peter, 2004)



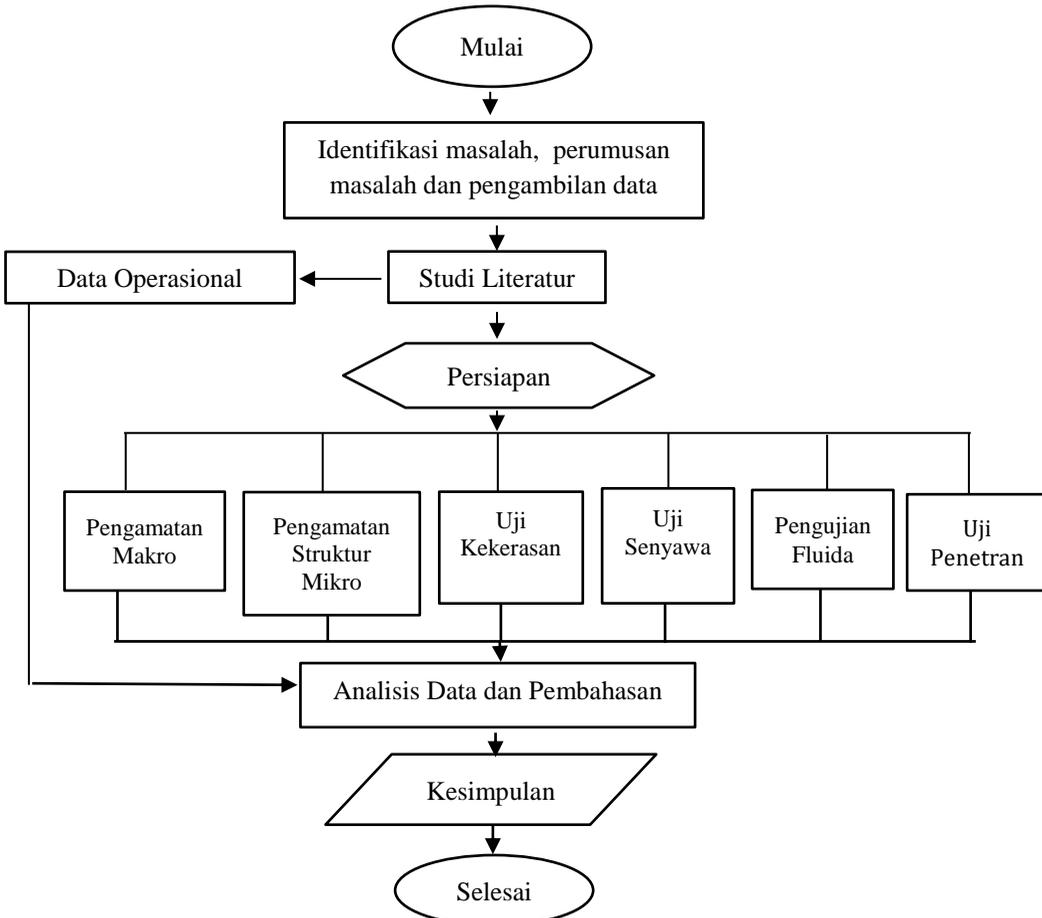
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan alur yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan



### 3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literatur. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT. Holcim Tbk., dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Holcim Tbk., yang ahli dibidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisa kegagalan khususnya keausan pada *piping*, *reverse osmosis*, *cooling system*.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : uji komposisi untuk mengetahui komposisi pipa, pengamatan makro, pengamatan struktur mikro, pengujian pada fluida, pengujian senyawa untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada deposit, dan uji kekerasan menggunakan Vickers untuk mengetahui distribusi kekerasan pipa.



### 3.3 Material yang digunakan

#### 1. Material

Pada tanggal 08 September 2016 ditemukan pipa penyalur *cooling water* di PT. Holcim Tbk yang mengalami korosi pada bagian internal pipa tersebut. Dan dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini:



**Gambar 3.2** Pipa penyalur *cooling water*



## 2. Spesimen

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pipa *cooling water* yang mengalami korosi, diperlihatkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Pipa *cooling water* yang terkorosi

## 3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris  
Digunakan untuk mengukur spesimen.
2. Alat Pemotong  
Digunakan untuk memotong spesimen.
3. Kamera Digital  
Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro.
4. Uji Kekerasan (Vickers)  
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji.



5. Amplas *grade* 80 hingga 2000  
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
6. Mesin Polish  
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
7. Larutan Etsa  
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
8. Resin  
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
9. Mesin XRD  
Digunakan untuk mendapatkan informasi senyawa deposit di material pipa
10. Alat uji fluida  
Alat uji ini digunakan untuk mendapatkan informasi *M-alkalinity*, komposisi unsur, *C-hardness*, *electrical conductivity*, pH, *total suspended solid*, dan *salt density index*
11. Mikroskop optik  
MO digunakan untuk mengetahui struktur mikro dari pipa tersebut
12. OES  
OES digunakan untuk mengetahui komposisi unsur dari pipa penyalur *cooling water*

### 3.5 Tahapan Penelitian

#### 3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data-data pendukung yang berkaitan dengan material yang akan diteliti yaitu pipa sebagai pengalir *cooling water*, adapun data yang perlu didapatkan yaitu:

1. *Flow sheet cooling water*
2. Data operasional
3. Spesifikasi Material



### 3.5.2 Pengujian Komposisi Unsur Kimia

Pengujian komposisi unsur kimia diperlukan untuk mengetahui jenis dari pipa penyalur air pendingin. Hal ini dikarenakan tidak adanya dokumen mengenai data komposisi unsur kimia di PT. Holcim Tbk, plant Tuban

### 3.5.3 Pengamatan Makro

Pengamatan makro ini dibutuhkan agar kita tahu apa yang akan dilakukan dengan material ini dengan kondisi kegagalan yang terjadi. Sebelum dilakukan preparasi specimen kita harus tau bagian mana yang akan diambil untuk diuji.

### 3.5.4 Preparasi Spesimen

Sebelum melakukan pengujian maka perlu dilakukan preparasi terlebih dahulu. Preparasi ini adalah pemotongan pada bagian pipa yang jauh dari tegangan terkonsentrasi dan dekat dengan yang terkonsentrasi, hal ini dimaksudkan untuk membandingkan dengan yang kondisi sangat rusak dan masih tergolong agak baik. Pemotongannya dengan cara vertikal lalu dipotong secara horizontal pada hasil potongan vertikal tersebut

### 3.5.5 Pengujian Strukturmikro

Pada pengamatan strukturmikro dengan mikroskop optik dilakukan untuk menganalisa fasa, bentuk, dan ukuran strukturmikro. Hal ini digunakan untuk mengetahui proses manufaktur yang terjadi pada material tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik *Olympus BX51M-RF* yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.

Pada pengujian metallografi dibagi menjadi dua tahap, yaitu :

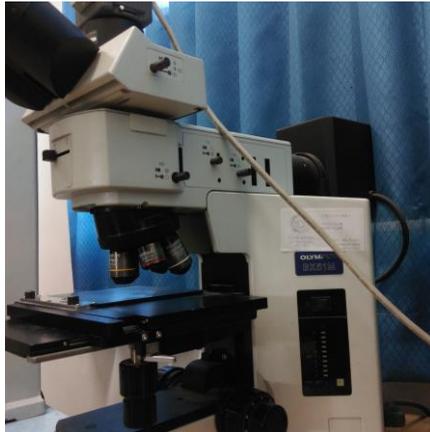
1. Tahap persiapan
  - *Mounting* : Membuat cetakan pada spesimen dengan resin agar proses penggosokan menjadi lebih mudah
  - *Grinding* : Menggosok spesimen dengan kertas gosok grade 80 – 2000 dan dialiri dengan air. Spesimen diputar

90° atau tegak lurus terhadap arah gosokan ketika pindah grade.

- *Polishing* : Memoles spesimen dengan pasta alumina di atas piringan yang berputar cepat. Proses ini akan menghasilkan permukaan yang mengkilat seperti cermin.
- *Etching* : Mencelup permukaan spesimen ke dalam larutan nital 2% (Alkohol 98% dan  $\text{HNO}_3$  2%)

## 2. Tahap pengamatan

Tahap pengamatan dilakukan untuk mengamati struktur mikro spesimen dengan mikroskop optik dengan beberapa kali perbesaran.



**Gambar 3.4** Mikroskop optik *Olympus BX51M-RF*

### 3.5.6 Pengujian Senyawa Deposit

*X-ray diffraction* (XRD) merupakan salah satu alat pengujian material yang biasanya digunakan untuk identifikasi senyawa (analisis kualitatif) dan penentuan komposisi (analisis kuantitatif). Pada bagian internal pipa terdapat deposit-deposit yang perlu dianalisis senyawanya.



### 3.5.7 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indentor piramida intan, pembebanan sebesar 100 kg dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS.



**Gambar 3.5** Alat Uji Kekerasan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A*

### 3.5.8 Uji Fluida

Fluida perlu dilakukan pengujian agar dapat dibandingkan dengan data *sheet* desain. Pengujian tersebut adalah *M-alkalinity test*, *total suspended solid*, *silt density index*, pengujian unsur, *total alkaline earths (hardness)*, dan *electrical conductivity*.



### 3.5.9 Perhitungan Reynold Number

Reynold number dihitung untuk mengetahui aliran fluida turbulen atau laminar. Dengan perhitungan 3.1

$$Re = \frac{\bar{V}.D}{\nu} \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana:  $\bar{V}$  : *kecepatan fluida*  
 $\nu$  : *kinematic viscosity*

Menurut Theodore (2011) kondisi laminar didapatkan dengan  $Re < 2300$  dan kondisi turbulen ketika  $Re > 2300$ .

### 3.5.10 Perhitungan Ketebalan Pipa Terhadap Tekanan Internal

ASME B31.3 menyertakan perhitungan nilai ketebalan dinding pipa nominal yang mampu digunakan dibawah tekanan internal dengan besar tertentu berdasarkan persamaan 3.7.

$$t = \frac{PD}{2(SE+PY)} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$t_m = t + CA \dots\dots\dots(3.3)$$

$$t_{nom} = \frac{t_m}{0.875} \dots\dots\dots(3.4)$$

- P = *Design Pressure (Psig)*
- D = *Pipe Outside Diameter (in)*
- S = *Allowable Stress in Tension (Psi)*
- E = *Longitudinal-joint Quality Factor*
- Y = *Wall Thickness Correction Factor*
- CA = *Corrosion Allowance*
- t = *Pressure Design Thickness (in)*
- t<sub>m</sub> = *Minimum Required Thickness (in)*
- t<sub>nom</sub> = *Nominal Thickness (in)*



### 3.5.11 Perhitungan *Water Hardness*

Untuk menghitung *water hardness* menggunakan prinsip *ekuivalensitas* yang menurut Eugene R. Weiner (2013) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5

$$\text{Total Hardness} = \text{Calcium Hardness} + \text{Magnesium Hardness} \quad (3.5)$$

Kalsium dan magnesium adalah konsentrasi dari ion kalsium dan magnesium yang dinyatakan dan sebanding kalsium karbonat. Molar massa ( $M_r$ ) dari  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  adalah 100,1g/mol, 40,1 g/mol, dan 24,3 g/mol. Perbandingan dari molar massa adalah sebagai berikut:

$$\frac{M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{Ca}}} = \frac{100,1}{40,1} = 2.5$$
$$\frac{M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{Mg}}} = \frac{100,1}{24,3} = 4.1$$

Jadi rumus akhir dari total hardness adalah

$$[\text{CaCO}_3] = 2.5[\text{Ca}^{2+}] + 4.1[\text{Mg}^{2+}]$$

### 3.5.12 Uji Penetran

Uji penetran dilakukan untuk mengetahui adanya kecacatan dipermukaan pipa. Pengujian ini dilakukan di daerah pipa yang jauh dari lubang untuk mengetahui ada tidaknya kecacatan didaerah tersebut



### 3.6 Rancangan Penelitian

**Tabel 3.1** Rancangan Penelitian

Bahan	Pengujian		
	Vickers	MO	XRD
Pipa yang dekat dengan lubang	√	-	√
Pipa yang jauh dengan lubang	√	√	-



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Data

#### 4.1.1 Data Operasional Lapangan

Sistem pendingin di PT Holcim Tbk plant Tuban menggunakan fluida air dari air tanah dan kemudian di proses menggunakan sistem *reverse osmosis*. Fluida ini dapat disebut *cooling water*. Pada penelitian kali ini pipa yang mengalami kegagalan digunakan sebagai penyalur dari fluida untuk media pendingin di daerah kiln. Tabel 4.1 menjelaskan data operasional fluida dan dimensi pipa. Dan Tabel 4.2 menjelaskan data historis *maintenance* dari *equipment reverse osmosis*.

**Tabel 4.1** Data Operasional

Tekanan Fluida	0.2 Mpa
Temperatur Fluida	30 °C
Debit	15.5 m <sup>3</sup> /h
Diameter luar pipa	60.3 mm
Diameter dalam pipa	53.56 mm
Ketebalan	3.37 mm

**Tabel 4.2** Data Historis *Reverse Osmosis*

Tanggal	Kegiatan
22-08-2013	Dimulainya sistem <i>reverse osmosis</i>
19-05-2014	Penggantian <i>catridge fine filter</i>
16-07-2014	Penggantian Membran
28-08-2014	Penggantian <i>catridge fine filter</i>
01-03-2015	Peningkatan <i>treatment</i> secara kimia
23-03-2015	Penggantian <i>catridge fine filter</i>
17-04-2015	Pembersihan secara mekanik
16-08-2015	Penggantian <i>catridge fine filter</i>
01-10-2015	Program Sterilisasi



#### 4.1.2 Hasil Pengujian Komposisi Pipa

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati komposisi unsur pada pipa dengan menggunakan OES (Optical Emission Spectroscopy). Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian yang dibandingkan dengan salah satu komposisi unsur astm 1020.

**Tabel 4.3** Perbandingan Hasil Pengujian Komposisi dengan Standar ASTM 1020

Unsur (%)	Hasil Pengujian	ASTM 1020
Si	0.259	
Mn	0.581	0.27-0.63
P	0.0157	0.035 max
S	0.0114	0.035 max
Ni	0.0123	
Cr	0.0184	
Mo	0.0025	
C	0.147	0.06-0.18
Fe	98.8	

Tabel 4.3, komposisi unsur spesimen pipa *cooling water* memiliki kesesuaian dengan ASTM 1020, hanya saja Si, Ni, Cr, Mo, dan Fe tidak tercantum dalam ASTM 1020. Ini membuktikan bahwa pipa *cooling water* sesuai dengan ASTM 1020 yang berupa baja karbon rendah. Pipa yang diteliti tidak memiliki sertifikat sehingga tidak bisa dibandingkan standar komposisi unsur materialnya.

#### 4.1.3 Hasil Pengujian Fluida

Pengujian fluida menggunakan 3 sampel air (A, B, C) seperti pada lampiran. Sampel A adalah *make-up water*, sampel B adalah *return water*, dan sampel C adalah air yang telah mengalami sirkulasi dan *treatment* dari biocide. Return water merupakan air yang mengalir di dalam pipa yang mengalami kegagalan. Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian fluida pada ketiga sampel yang dibandingkan dengan data desain.



**Tabel 4.4** Perbandingan Hasil Pengujian Fluida dengan Data Desain

Sampel A			
No	Pengujian	Desain	Hasil Pengujian
1	<b>pH</b>	<b>6.2</b>	<b>6.3</b>
2	<b>Electrical conductivity</b>	<b>250 <math>\mu</math>S/cm</b>	<b>78</b>
3	<i>TDS</i>	143 mg/L	143
4	<b>Kalsium</b>	<b>9.0 mg/L</b>	<b>0</b>
5	<b>Magnesium</b>	<b>5.9 mg/L</b>	<b>10.71</b>
6	Sodium	28.5 mg/L Na	8.05
7	Potassium	1.7 mg/L K	0.62
8	<b>Hidrogen Carbonate</b>	<b>41.4 mg/L</b>	<b>35</b>
9	<i>Chloride</i>	48.7 mg/L	24
10	Sulfate	7.5 mg/L	10.57
11	Silicate	2.5 mg/L	0.41

Sampel B			
No	Pengujian	Desain	Hasil Pengujian
1	pH	>7	8.1
2	<i>Electrical conductivity</i>	1000	314
3	<i>TDS</i>	573	160
4	<i>Calcium</i>	36.1	10.71
5	Magnesium	23.4	39.18
6	Sodium	144.2	78.61
7	Potassium	6.7	3.94
8	<i>Hydrogen Carbonate</i>	165.6	105
9	<i>Chloride</i>	195.8	152



10	Sulfate	30.2	2.89
11	Silicate	10.1	0.75
Sampel C			
No	Pengujian	Desain	Hasil Pengujian
1	pH		7.1
2	<i>Electrical conductivity</i>		310
3	<i>TDS</i>		157
4	<i>Calcium</i>		10.71
5	Magnesium		35.71
6	Sodium		28.1
7	Potassium		1.76
8	<i>Hydrogen Carbonate</i>		110
9	<i>Chloride</i>		68
10	Sulfate		10.13
11	Silicate		0.77

Dari data hasil pengujian pada sampel A, ditemukan kadar magnesium yang melebihi standar, nilai PH fluida yang melebihi desain, serta nilai *electrical conductivity* dan alkalinitas yang berada dibawah desain. Berlebihnya kadar magnesium akan berdampak pada hardness dari fluida tersebut. Selanjutnya, pH sebesar 6.3 menunjukkan fluida bersifat asam (Nalco).

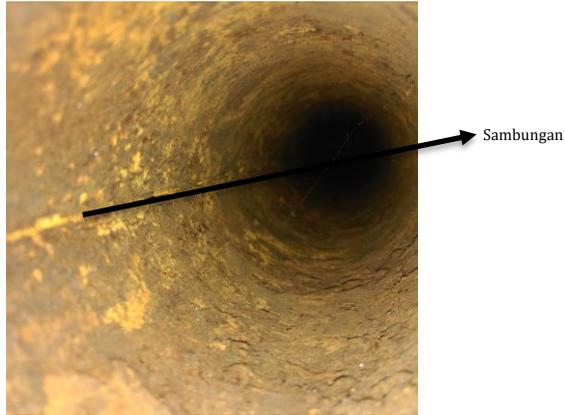
#### 4.1.4 Hasil Pengamatan Makroskopik

Tampak pada Gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 menunjukkan kegagalan yang terjadi pada pipa penyalur cooling water di PT.Holcim Tbk plant Tuban. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa terdapat lubang yang kecil di pipa tersebut dan korosi di permukaan luar pipa. Serta terdapat gerusan yang sepanjang 1 cm dan didalam

gerusan tersebut terdapat lubang yg memiliki ketebalan sebesar 28 mm dan dengan tinggi sebesar 40 mm.



**Gambar 4.1** (a) Bagian luar pipa (b) bagian dalam pipa



**Gambar 4.2** Daerah sambungan pada pipa

Gambar 4.2 (a) menunjukkan terdapat bekas sambungan secara melintang dan lubang tersebut tepat pada daerah sambungan dan terdapat daerah akibat korosi. Gambar 4.2 (b) menunjukkan adanya daerah sambungan sepanjang pipa secara melintang. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa terdapat penurunan ketebalan pada pipa dan didaerah sambungan terjadi penurunan ketebalan paling besar dari ketebalan 3.9 mm sebesar menjadi ketebalan sebesar 3.36 mm.



**Gambar 4.3** Perbedaan ketebalan pipa antara daerah sambungan dengan daerah yang lain



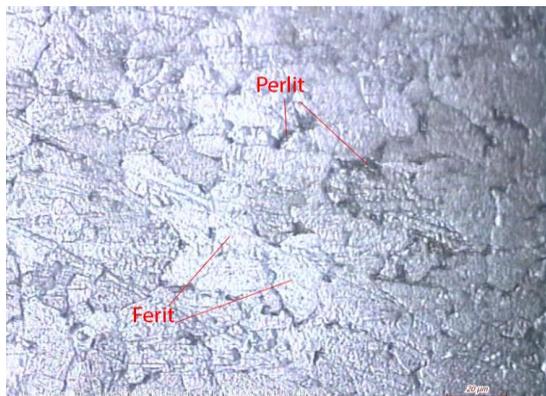
Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa terjadi korosi dan terdapat kerak didalam pipa



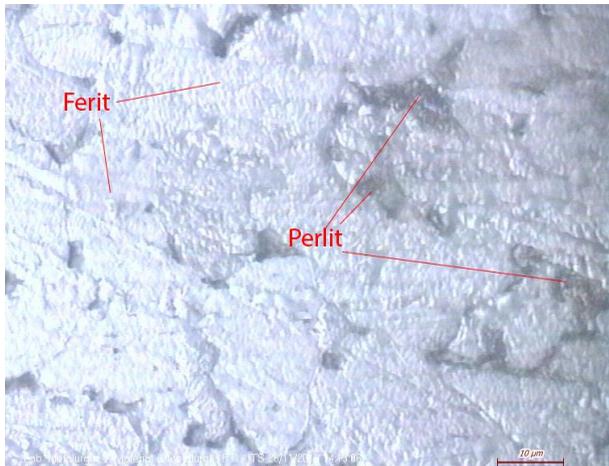
**Gambar 4.4** Kerak didalam pipa penyalur cooling water

#### 4.1.5 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik. Pengamatan ini berguna untuk melengkapi karakterisasi dari pipa penyalur *cooling water*



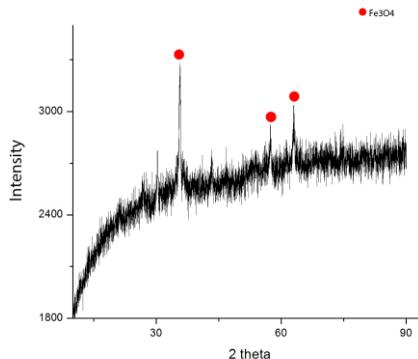
**Gambar 4.5** Struktur mikro pipa dengan perbesaran 50x



**Gambar 4.6** Struktur mikro pipa dengan perbesaran 100x

#### 4.1.6 Hasil Pengujian Senyawa

Uji senyawa dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terdapat di dalam pipa menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*). Pada penelitian kali ini sampel yang digunakan adalah deposit pipa yang berupa serbuk.



**Gambar 4.7** Hasil Pengujian Senyawa Deposit di Dalam Pipa



Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengujian dan didapatkan senyawa yang paling banyak adalah  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Magnetite). JCPDS yang digunakan untuk menganalisis senyawa ini adalah 96-900-5815

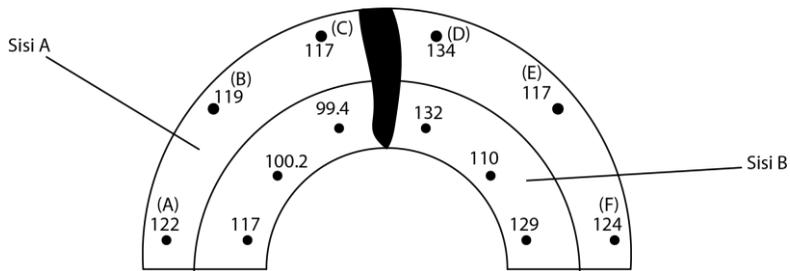
#### 4.1.7 Hasil Pengujian Kekerasan

Dilakukan pengujian kekerasan (ASTM E92) menggunakan alat uji Vickers dengan besar pembebanan 100 Kgf. Pengujian tersebut dilakukan pada 12 titik yang berbeda, 6 di daerah A dan 6 di daerah B. Pada pengujian kekerasan ini didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.5** Hasil Pengujian Kekerasan (HV)

	A	B	C	D	E	F	<b>Rata-Rata</b>
Sisi A	122	119	102	134	117	124	<b>119.67</b>
Sisi B	117	100.2	99.4	132	110	129	<b>114.60</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>119.5</b>	<b>109.6</b>	<b>100.7</b>	<b>133</b>	<b>113.5</b>	<b>126.5</b>	

Dapat dilihat bahwa pada pipa tersebut bagian luar lebih keras dari pada bagian dalam dan bagian paling keras secara melintang adalah di dekat patahan.



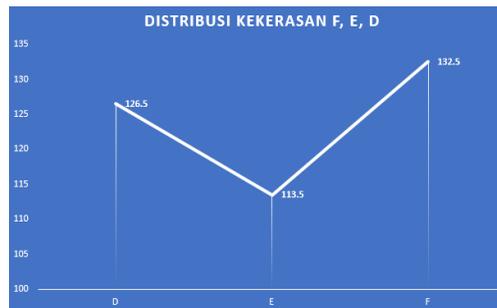
**Gambar 4.8** Titik-Titik Pengujian Kekerasan



Tabel 4.5 menunjukkan kekerasan dari titik A ke titik C yang didekat lubang mengalami penurunan kekerasan. Dari titik F ke titik D yang didekat lubang mengalami penurunan kemudian kenaikan yang signifikan. Distribusi kekerasan ditampilkan di Gambar 4.11 dan 4.12



**Gambar 4.9** Distribusi kekerasan titik A, B, C



**Gambar 4.10** Distribusi kekerasan titik F,E,D

#### 4.1.8 Perhitungan Reynold Number

*Reynold number* menunjukkan fluida tersebut bergerak secara turbulensi atau laminar, dan dibuktikan sebagai berikut:

$$Q = 15.5 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0043 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D.in = 0.05356 \text{ m}$$

Untuk mengetahui *Reynold number* dibutuhkan kecepatan fluida



$$\begin{aligned} Q &= V.A \\ V &= Q/A \\ &= 0.0043 / (3.14 \times 0.05356 \times 1/2)^2 \\ &= 0.608 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Rumus Reynold number adalah sebagai berikut (nakayama,1998)

$$Re = \frac{\bar{V}.D}{\nu} \quad \text{dimana: } \bar{V} : \text{kecepatan fluida}$$

$\nu : \text{kinematic viscosity}$

$$= \frac{0.608 \times 0.05356}{0.801 \times 10^{-6}}$$

$$= 40000 \text{ (Turbulen= } Re > 2300) \text{ (Theodore, 2011)}$$

#### 4.1.9 Perhitungan Water Hardness

Tabel 4.6 menunjukkan Total hardness dari hasil pengujian dan desain. Untuk mendapatkan total *hardness* dengan standar *English Degree* maka hasil  $\text{CaCO}_3$  total dikalikan dengan 0.07 dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.7

**Tabel 4.6** Hasil Perhitungan  $\text{CaCO}_3$  Desain dan Hasil Pengujian (mg  $\text{CaCO}_3$  / l)

Total Hardness	Desain	Hasil Pengujian	Klasifikasi
Sampel A	46.69	43.936	Soft
Sampel B	186.19	187.413	Mod Hard
Sampel C		173.186	Mod Hard

**Tabel 4.7** Hasil Perhitungan Total Hardness Desain dan Hasil Pengujian (grain  $\text{CaCO}_3$ /gal)

Total Hardness	Desain	Hasil Pengujian	Klasifikasi
Sampel A	3.268	3.075	Soft
Sampel B	13.033	13.118	Mod Hard
Sampel C		12.123	Mod Hard



#### 4.1.10 Ketebalan Dinding Pipa Terhadap Tekanan Internal

Berdasarkan data operasi dibawah ini, maka didapatkan perhitungan nilai ketebalan dinding pipa sebagai berikut:

$$P = 2 \text{ bar} = 29.0075 \text{ Psig}$$

$$D = 23.7 \text{ in}$$

$$S = 24700 \text{ (Table K-1)}$$

$$E = 0.85 \text{ (Table A-1B)}$$

$$Y = 0.4 \text{ (Table 304.1.1)}$$

$$CA = 1 \text{ mm}$$

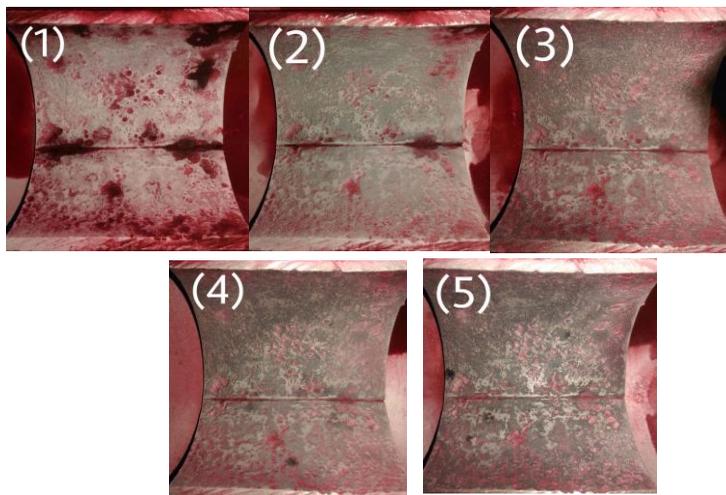
$$^{\circ}T = 25 \text{ }^{\circ}C$$

- $t = \frac{PD}{2(SE+PY)} = \frac{29.0075 \times 23.7}{2((24700 \times 0.85) + (29.0075 \times 0.4))} = 0.016 \text{ in}$
- $t_m = t + CA = 0.016 + 0.039 = 0.055 \text{ in}$
- $t_{\text{nom}} = \frac{t_m}{0.875} = \frac{0.04005}{0.875} = 0.0628 \text{ in} = 1.59 \text{ mm}$

Didapatkan nilai ketebalan nominal untuk pipa *cooling water* dengan tekanan fluida sebesar 2 bar dan temperatur fluida sebesar 30 °C adalah 0.0457 in atau 1.16 mm.

#### 4.1.11 Uji Penetran

Uji penetran ini dilakukan didaerah sambungan yang jauh dari lubang. Gambar 4.11 menunjukkan hasil dari uji penetran



**Gambar 4.11** Hasil uji penetran; (1) satu kali pemberian developer; (2) dua kali pemberian developer; (3) tiga kali pemberian developer; (4) empat kali pemberian developer; (5) lima kali pemberian developer

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa daerah sambungan memiliki kondisi paling parah yang ditunjukkan dengan warna merah. Dengan pemberian developer beberapakali daerah sambungan tetap memiliki intensitas warna merah paling tinggi .

#### 4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil uji komposisi unsur kimia menggunakan OES, komposisi kimia pipa tersebut sesuai dengan ASTM A1020 yang biasanya digunakan untuk *boiler*, *superheater*, *heat exchanger*, dan *condenser*. Pipa ini termasuk jenis baja karbon rendah. Menurut Vasufi (2006), *low carbon steel* memiliki



ketahanan korosi yang rendah. Material dengan memiliki kadar unsur Cr, Cu dan Mo yang rendah memiliki kemungkinan mengalami erosi yang tinggi. Dari pengujian struktur mikro pada Gambar 4.5, 4.6, dan 4.7 didapatkan struktur mikro ferit dan perlit yang mendukung karakterisasi material ini sebagai *carbon steel* (Callister, 2007).

Secara makro, kegagalan ini menunjukkan beberapa hal, yaitu terdapat pengurangan ketebalan pipa, lubang pada pipa yang menyebabkan kebocoran, serta korosi di permukaan dalam pipa. Berdasarkan pengamatan makro daerah yang terdapat lubang berada di daerah sambungan yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 (b). Hasil uji penetrasi didapatkan daerah sambungan yang jauh dari lubang mengalami kegagalan dengan ditunjukkannya pada Gambar 4.11. Di daerah sambungan terdapat warna merah yang mencolok. Dan setelah diberikan *developer* hasilnya tetap dengan intensitas warna merah paling tinggi terletak di daerah sambungan. Berdasarkan ASTM E 1209 *Developer* berguna untuk mengeluarkan liquid penetrasi yang terjebak didalam lubang atau celah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sepanjang hasil dari sambungan ini terdapat cacat.

Berdasarkan standar ukuran pipa, pipa DN 50 berdiameter luar sebesar 60.3 mm, diameter dalam sebesar 52.5 mm, dan dinding pipa memiliki ketebalan sebesar 3.9 mm. Hasil dari pengukuran makro pada Gambar 4.3, diameter luar, diameter dalam dan ketebalan berturut-turut adalah sebagai berikut 60.3, 53.56, dan 3.4 mm. Berdasarkan data tersebut dapat dilihat bahwa terjadi penurunan ketebalan sebesar 0.5 mm.

Berdasarkan Gambar 4.1 (a) dan (b) korosi yang terjadi *uniform corrosion* dan *erosion corrosion*. *Uniform corrosion* menurut NACE akan menyebabkan penurunan ketebalan secara keseluruhan pada material dan dapat diidentifikasi dengan semakin kasarnya permukaan dan terdapat produk korosi.

Menurut Hujibregts (1984), hal-hal yang berpengaruh terhadap korosi erosi adalah kecepatan fluida, komposisi fluida. Pipa tersebut dialiri oleh *cooling water* dengan kecepatan fluida

---

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



sebesar 0.608 m/s. Dengan kecepatan tersebut dapat mengakibatkan adanya turbulensi didalam pipa dengan nilai *Reynold number* sebesar  $0.04 \times 10^6$ . Turbulensi itu akan memicu adanya korosi erosi. Korosi erosi juga menyebabkan penipisan di pipa. Korosi erosi sedikit demi sedikit mengikis permukaan dan membuat pipa terekspos langsung dengan fluida.

Dari uji kekerasan pada Tabel 4.5 didapatkan persebaran kekerasannya pada bagian sisi A lebih keras dari pada bagian sisi B yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Hal ini karena pada saat pembentukan pipa yang awalnya datar menjadi berbentuk silindrikan menghasilkan gaya tarik pada bagian luar dan pada bagian dalam adalah kompresi Dan secara melintang, kekerasan terbesar terdapat pada titik D di bagian sisi A dan pada J di bagian sisi B. Perbedaan kekerasan cukup signifikan dibandingkan dengan titik C di bagian sisi A dan I di bagian sisi B. Berdasarkan pengamatan makro, terdapat pengurangan ketebalan yang sangat signifikan di dekat lubang yang diakibatkan oleh korosi di titik C disisi A dan B yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.

Senyawa paling banyak adalah  $Fe_3O_4$  yang sebagai magnetit, sesuai dengan penelitian oleh Haseda (1992) bahwa hasil reaksi dari korosi adalah reaksi antara unsur antara Fe dengan O yang salah satunya  $Fe_3O_4$ . Reaksi pembentukan  $Fe_3O_4$  adalah sebagai berikut



Berdasarkan Tabel 4.4 pada sampel B didapatkan pH sebesar 8.1. Sesuai dengan teori bahwa senyawa magnetite yang menurut diagram pourbaix dengan potensial sekitar -0.1 sampai -0.2, pH 7 sampai 12 dan temperature kamar didapatkan  $Fe_3O_4$  bersifat lapisan pasif (Hans-Peter, 2004)

Berdasarkan hasil uji fluida pada Tabel 4.4. Sampel A menunjukkan bahwa *electrical conductivity* jauh dibawah desain, sedangkan *hardness* fluida sedikit melebihi desain, Menurut NALCO, inhibitor tidak bekerja dengan maksimal jika *electrical*



*conductivity* dan *hardness fluida* tidak bekerja pada rentang yang sama dengan inhibitor. pH yang menunjukkan asam yang dapat mengindikasikan korosi. Berdasarkan BUREAU of INDIAN STANDARD alkalinitas yang dibawah desain mengindikasikan adanya korosi.

Berdasarkan perhitungan *hardness fluida* pada Tabel 4.7, sampel A *hardness fluida*nya lebih rendah dari pada desain, sampel B didapatkan hasil yang melebihi desainnya dan. Pada sampel C tidak memiliki desain operasional. Berdasarkan pengklasifikasian *hardness fluida*, sampel A tergolong *soft water* sampel B tergolong *moderate hard water*, dan sampel C dan tergolong *moderate hard water*. Menurut *European Water Treatment Association*, semakin rendah *hardness*nya maka semakin korosif, sehingga sampel A adalah *fluida* paling korosif dibandingkan sampel B dan sampel C. Dikarenakan umumnya *soft water* memiliki *dissolved solid* yang sedikit dan pHnya rendah. (*European Water Treatment Association*)

Berdasarkan perhitungan ketebalan dinding pipa terhadap tekanan internal didapatkan nilai nominal ketebalan dinding pipa *cooling water* dengan tekanan internal air sebesar 2 bar adalah 0.0457 in atau 1.59 mm. Perhitungan ini menunjukkan bahwa dalam keadaan normal, tekanan 2 bar mampu ditahan oleh dinding pipa *cooling water* dengan ketebalan 1.59 mm. Namun kondisi lapangan memperlihatkan ketebalan paling tipis yang terdapat pada pipa *cooling water* yang mengalami kegagalan adalah 2.8 mm. Nilai ini menunjukkan bahwa dengan ketebalan 2.8 mm, pipa *cooling water* mampu menerima tekanan yang ada. Sehingga secara mekanik pipa ini masih mampu menahan tekanan internal.

#### 4.2.1 Faktor – Faktor Penyebab Kegagalan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, faktor-faktor penyebab kegagalan dapat ditinjau dari aspek material, dan faktor *fluida*. Berdasarkan uji komposisi menggunakan OES, pipa sesuai dengan standar ASTM 1020 dan tergolong baja karbon rendah, baja karbon rendah yang didukung oleh pengamatan



struktur mikro yang menunjukkan ferit dan perlit. Pemilihan Baja karbon sebagai media penyalur kurang tepat dikarenakan baja karbon rentan terhadap korosi.

Pengaruh eksternal pipa tidak berpengaruh terhadap kegagalan, tetapi dari internal yang berupa fluida sangat berpengaruh. Diketahui bahwa pada Tabel 4.7 fluida yang berguna sebagai *make-up water* (sampel A) sudah tergolong korosif. Hal ini memberikan masalah serius pada pipa yang tergolong baja karbon. Ketika fluida tersirkulasi, fluida mengalami kenaikan *hardness water* dikarenakan telah tercampur oleh biocide, inhibitor dan produk dari korosi itu sendiri.

Penyebab terjadinya *uniform corrosion* adalah karena ketidaksesuaian pemilihan antara material dengan fluida yang mengalir. Dan penyebab terjadinya korosi erosi adalah kecepatan fluida yang tinggi sehingga menyebabkan turbulensi.

#### 4.2.2 Mekanisme Terjadinya Kegagalan

Mekanisme terjadinya korosi ini diawali dari segi material yaitu baja karbon dan *seam welded pipe*. Pipa *seam welded pipe* memiliki daerah sambungan yang menyebabkannya menjadi pusat tegangan. Dengan kombinasi antara material yang rentan terhadap korosi ditambah dengan fluida yang korosif menyebabkan pipa ini mengalami kegagalan. Berdasarkan pengamatan makro jenis korosi ini ada dua, yaitu *uniform corrosion* dan *erosion corrosion*. Mekanisme terjadinya *uniform corrosion* adalah Karena adanya proses elektrokimia yang terjadi di permukaan. Dengan kata lain terdapat reaksi katoda anoda. Anodanya adalah pipa dengan reaksi:



Dan katoda pada proses ini adalah fluida dengan pH basa. Reaksi pada anoda adalah sebagai berikut:





Korosi erosi yang sedikit demi sedikit mengikis lapisan magnetit dan membuat pipa terekspos langsung dengan fluida. Sehingga dapat menyebabkan lubang



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan faktor- faktor penyebab terjadinya kegagalan:
  - a. Pemilihan material (tipe dan jenis pipa) yang tidak sesuai dengan sesuai dengan fluida yang korosif
  - b. Tidak sesuaiinya inhibitor dengan alkalinitas dan *hardness fluida* yang menyebabkan tidak maksimalnya kerja inhibitor
2. Mekanisme terjadinya kegagalan adalah dengan adanya daerah bekas sambungan yang menjadi pusat tegangan, menyebabkan daerah tersebut mengalami kondisi paling parah. Ketidakmaksimalan kerja inhibitor yang menyebabkan terjadinya *uniform corrosion* dan diikuti dengan terjadinya korosi erosi yang menyebabkan pengurangan ketebalan secara signifikan dan merusak lapisan pelindung magnetit.

### 5.2 Saran

1. Menggunakan baja tahan karat austenitic
2. Mengontrol kerja inhibitor, alkalinitas dan *hardness fluida* disesuaikan dengan rentang kerja inhibitor
3. Meningkatkan *hardness fluida* di *make-up water*
4. Menggunakan *seamless welded pipe*



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## Daftar Pustaka

- \_\_\_\_, 2004. *ASM Metals HandBook Volume 9 - Metallography and Microstructure*. Material Park: ASM International
- \_\_\_\_, 2004. *ASM Metals HandBook Volume 13 – Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection*. Material Park: ASM International
- \_\_\_\_, 2003. *ASTM E92 - 82 : Standard Test Method for Vickers Hardness for Metallic Materials*. Material Park: ASTM Internasional.
- \_\_\_\_, 2002. *ASTM A1020 : Standard Specification for Steel Tubes, Carbon and Carbon Manganese, Fusion Welded, for Boiler, Superheater, Heat Exchanger and Condenser Applications*. Material Park: ASTM Internasional.
- \_\_\_\_, 1999. *ASTM E1209-99 : Standard Test Method for Flourescent Liquid Penetrant Examination Using the Water-Washable Process*. Material Park: ASTM Internasional.
- \_\_\_\_, 2007. *ASTM E3 - 01 : Standard Guide Preparation for Metallographic Specimen*. West Conshohocken: ASTM International.
- \_\_\_\_, 2001. *ASME SECTION V SE - 165 : Liquid Penetrant Examination*. ASME Press, New York.
- \_\_\_\_, 1999. *BIS : TREATMENT OF WATER FOR COOLING TOWERS — CODE OF PRACTICE*. New Delhi: Water Quality Sectional Committee

- Brian, Guerin. 2015. *Applied Welding Engineering*. Waltham: Elsevier Publications
- Callister Jr, William D. 2007. *Materials Science And Engineering An Introduction, 7th Edition*. New Jersey :John Wiley & Sons, Inc, Hoboken
- Craig, B. D., Lane, R. A. & Rose, D. H., 2006. *Corrosion Prevention and Control: A Program Management Guidenfor Selecting Materials. 2nd penyunt*. New York: AMMTIAC.
- D, Gandy. 2007. *Carbon Steel Handbook*. California: Electric Power Research Institute
- Dr. Zahid. 2015. *Material Scales and Deposits*. Waltham: Elsevier Publications
- Handoyo, Y. 2013. *Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule*. Bekasi: Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam 45 Bekasi.
- Peter, Hans Hermansson. 2004. *The Stability of Magnetite and its Significance as a Passivating Film in Repository Environment*. Sweden: Studsvik Nuclear AB
- Hoepfner, David. 2011. *Corrosion Fatigue and Environmentally Assisted Cracking in Aging Military Vehicle*. RTO
- Hujibregts. 1984. *Erosion-Corrosion of Carbon Steel in Wet Steam*. Et Arnhen

- Nadh, Swamy. 2014. *Corrosion Resistance for Different Types of Steel Under, Alkaline Solution*. Chennai: Vellore Institute of Technology
- Nakayama, Y. 1998. *Introduction to Fluid Mechanics*. Tokyo: HOKENDO.CO
- Nisancioglu, K., 1994. *Corrosion basics and engineering Lecture Notes for the Course 535233 Korrosjonslaere.*, Trondheim: Norges Tekniske Høgskole, Institutt for Teknisk Elektrokjemi.
- Roberge R. Pierre. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: "McGraw-Hill
- Richard H.G. 1971. *Practical Microscopical Metallography*. Chapman Hall Ltd
- Sulistijono, 1999. *Diktat Kuliah Metalurgi I*, Surabaya : Fakultas Teknologi Industri ITS
- Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, dan David P. Dewitt. *Introduction of Heat Transfer Sixth Edition*. John Wiley & Sons. 2011
- Trethewey, Kenneth R. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama
- Wiley, John. 2006. *Mechanical Engineers' Handbook: Material and Mechine Design, Volume 1, Third Edition*. Pennsylvania: International Steel Group Inc.
- W. M. M. Huijbregts, J. E. Koetsier, *The resistance of unalloyed steel against erosioncorrosion in wet steam*,

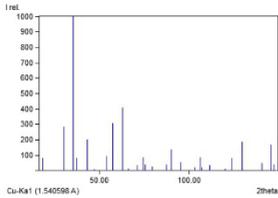
Proceedings of 8th International Congress on Metallic Corrosion, Mainz, September, 1981.

W. M. M. Huijbregts, *The influence of chemical composition of carbon steel on erosioncorrosion in wet steam*, Proceedings of erosion-corrosion meeting at EdF, Les Renardières. May 11-12, 1982.

# LAMPIRAN

## 1. JCPDS

Entry # 96-900-5815													
<b>Phase classification</b>													
<b>Name</b>	Magnetite												
<b>Mineral Name</b>	Magnetite												
<b>Formula</b>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>												
<b>I/Tc</b>	6,240000												
<b>Sample Name</b>	9005814												
<b>Quality</b>	C (calculated)												
<b>References</b>													
<b>Bibliography</b>													
Finger L. W., Hazen R. M., Hofmeister A. M., "High-pressure crystal chemistry of spinel (MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) and magnetite (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ): comparisons with silicate spinels Sample: P = 26 kbar", Physics and Chemistry of Minerals <b>13</b> , 215-220 (1986)													
<b>Origin of data</b>													
COD (Crystallography Open Database)													
<b>Source of entry</b>	9005814												
<b>Link to orig. entry</b>	9005814												
<b>Crystal structure</b>													
<b>Crystallographic data</b>													
<b>Space group</b>	Fd -3 m (227)												
<b>Crystal system</b>	cubic												
<b>Cell parameters</b>	a= 8.3390 Å												
<b>Cell meas. conditions</b>	p= 2.6 kPa												
<b>Concentrations</b>													
<b>Atom coordinates</b>	<b>Element</b>	<b>Oxid.</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>	<b>B</b>	<b>Occ.</b>	<b>U11</b>	<b>U22</b>	<b>U33</b>	<b>U12</b>	<b>U13</b>	<b>U23</b>
	Fe		0.125	0.125	0.125	0.510000	1.000000	0.066300	0.066300	0.066300	0.000000	0.000000	0.000000
	Fe		0.500	0.500	0.500	0.688000	1.000000	0.007700	0.007700	0.007700	0.000500	0.000500	0.000500
	O		0.255	0.255	0.255	0.688000	1.000000	0.008800	0.008800	0.008800	0.000200	0.000200	0.000200
<b>Diffraction data</b>													
<b>Diffraction lines</b>													
	<b>d [Å]</b>	<b>Int.</b>	<b>h</b>	<b>k</b>	<b>l</b>	<b>Mult.</b>							
	4.8145	80.3	1	1	1	8							
	2.9483	282.2	2	0	2	12							
	2.5142	1000.0	3	1	1	24							
	2.4073	82.2	2	2	2	8							
	2.0847	200.5	4	0	0	6							
	1.9131	6.5	3	1	3	24							
	1.7022	94.2	4	2	2	24							
	1.6048	306.9	3	3	3	8							
	1.4741	408.2	4	0	4	12							
	1.4095	9.3	5	3	1	48							
	1.3898	0.0	4	2	4	24							
	1.3185	34.1	6	0	2	24							
	1.2717	84.9	5	3	3	24							
	1.2572	37.3	6	2	2	24							
	1.2036	25.7	4	4	4	8							
	1.1677	4.6	5	1	5	24							
	1.1143	37.4	6	4	2	48							
	1.0856	137.7	5	3	2	24							
	1.0424	52.2	8	0	0	6							
	1.0188	0.2	7	3	3	24							
	1.0113	0.0	6	4	4	24							
	0.9828	20.4	6	0	6	12							
	0.9629	46.8	5	5	5	8							
	0.9565	18.6	6	2	6	24							
	0.9323	35.6	8	0	4	24							
	0.9153	3.0	7	3	3	48							
	0.9153	3.0	7	5	3	48							
	0.9099	0.0	8	4	2	48							
	0.8889	12.1	6	4	6	24							
	0.8742	79.8	9	3	1	48							
	0.8511	184.4	8	4	2	24							
	0.8381	2.7	7	1	7	24							
	0.8177	49.9	8	6	2	48							
	0.8062	166.8	7	3	7	24							
	0.8024	38.6	6	6	6	8							
<b>Diffraction pattern graphics</b>													



Experimental	
<b>Physical Properties</b>	
<b>Calc. density</b>	5.30400 g/cm <sup>3</sup>
<b>Remarks</b>	
<b>Comments</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diffraction pattern calculated by Match!</li> <li>- I/Ic calculated by Match!</li> <li>- Space group has been derived from given symmetry operations.</li> <li>- Ambiguous space group information in source file.</li> </ul>

## 2. Konversi HV ke BHN

### a. Bagian A:

- 122 HV (A)

$$\frac{122 - 121}{124 - 121} = \frac{y - 114}{116 - 114}$$

Y=144.6 BHN

- 119 HV (B)

$$\frac{119 - 118}{121 - 118} = \frac{y - 111}{114 - 111}$$

Y=112 BHN

- 102 HV (C)

$$\frac{102 - 95}{104 - 95} = \frac{y - 90}{95 - 90}$$

Y=93.8 BHN

- 141 HV (D)

$$\frac{141 - 140}{142 - 140} = \frac{y - 137}{139 - 137}$$

Y=138 BHN

$$\begin{aligned}
 & - 117 \text{ HV (E)} \\
 & \frac{117 - 115}{118 - 115} = \frac{y - 107}{111 - 107} \\
 & Y = 109.67 \text{ BHN}
 \end{aligned}$$

$$- 124 \text{ HV} = 116 \text{ BHN}$$

b. Bagian B:

$$- 117 \text{ HV (A)} = 108.67 \text{ BHN}$$

$$\begin{aligned}
 & - 100.2 \text{ HV (B)} \\
 & \frac{100.2 - 95}{104 - 95} = \frac{y - 90}{95 - 90} \\
 & Y = 92.89 \text{ BHN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - 99.4 \text{ HV (C)} \\
 & \frac{99.4 - 95}{104 - 95} = \frac{y - 90}{95 - 90} \\
 & Y = 92.4 \text{ BHN}
 \end{aligned}$$

$$- 124 \text{ HV (D)} = 116 \text{ BHN}$$

$$\begin{aligned}
 & - 110 \text{ HV (E)} \\
 & \frac{110 - 108}{112 - 108} = \frac{y - 103}{105 - 103} \\
 & Y = 104 \text{ BHN}
 \end{aligned}$$

$$- 129 \text{ HV (F)} = 127$$

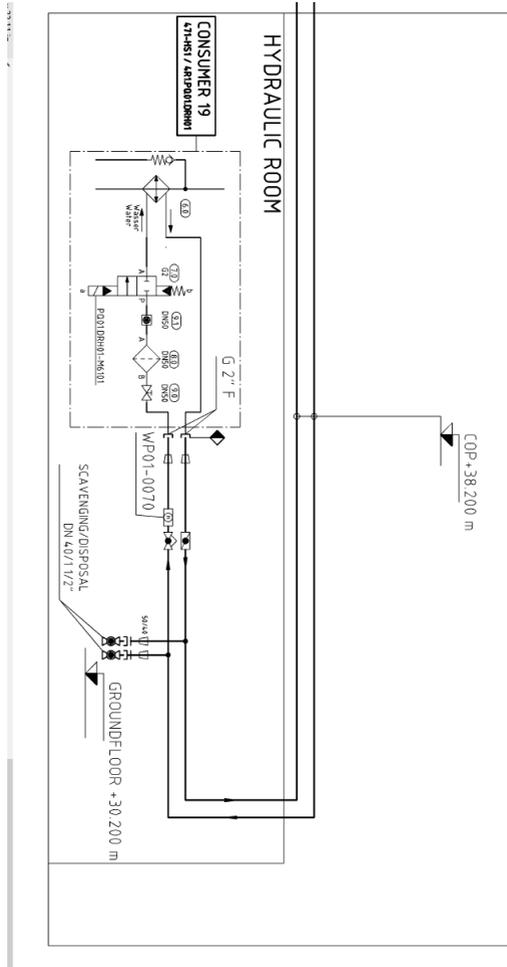
### 3. Konversi BHN ke Tensile Strength Sisi A

	A	B	C	D	E	F
BHN	144.6	112	93.8	138	109.67	116
Tensile Strength	50.61	39.2	32.83	48.3	38.3845	40.6

#### 4. Konversi BHN ke Tensile Strength Sisi B

	A	B	C	D	E	F
BHN	109.67	92.89	92.4	116	104	127
Tensile Strength	38.3845	32.5115	32.34	40.6	36.4	44.45

#### 3. Lokasi pipa penyalur *cooling water*





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala telah mengkaruniakan berkah dan kasih sayang-Nya sehingga atas izin-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Analisis Kegagalan pada Pipa Penyalur *Cooling Water* di PT Holcim Tbk Tuban”.

Penulis menyadari bahwa terslesainya tugas akhir ini tak lepas dari campur tangan berbagai pihak, untuk itulah penulis ingin berterimakasih sebesar-besarnya dan memberikan penghargaan setinggi-tingginya kepada pihak-pihak terkait:

1. Allah SWT
2. Keluarga dari Hafizh Daru Teguh Utama yang selalu mendukung kegiatan baik akademik maupun non akademik
3. Bapak DR. Agung Purniawan S.T. M.Eng selaku ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
4. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc dan bapak Dr. Ing. Victor Risonarta S.T. M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memotivasi penulis
5. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T. M.Sc., Bapak Mas Irfan P. H, S.T., M.Sc, Phd, dan Hariyati Purwaningsih S.Si., M.Si selaku dosen yang telah berbaik hati untuk diajak berdiskusi
6. Bapak Essa Abu Bakar yang telah banyak membantu penulis dalam melakukan penelitian di PT Holcim Tbk. Plant Tuban
7. Teman-teman Para Sayap (Andika, Aulia, Praditya, Dony, Dio, Yudha, Panji, Ridho, Gale, Rifqi T, Rifqi M, Achmad F, Reggy) sebagai penyemangat, tempat diskusi dan fasilitator untuk mengerjakan tugas akhir
8. Andika Pratama, Panji Harga Susila, Dony Prasetya dan Muhammad Suchami sebagai partner tugas akhir yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir

9. Bathara Indra dan Afira Ainur sebagai teman yang memfasilitasi lab inovasi dan bersenang-senang
10. Aisyah Jati Putri sebagai partner penyemangat tugas akhir
11. Bapak dan Ibu dosen, serta karyawan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini Masih jauh dari kesempurnaan, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tulisan ini dapat memberi manfaat

## BIODATA PENULIS



Hafizh Daru Teguh Utama namanya. Lahir di Pekalongan, 01 November 1995. Dia adalah anak pertama dari dua bersaudara. Daru adalah panggilan akrabnya. Memiliki ketertarikan dalam bidang fotografi, digital dan musik. Dalam dunia musik, gitar dan biola yang bisa digunakan.

Kuliah di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Semasa kuliah penulis aktif di organisasi dan juga pelatihan-pelatihan. Semasa aktifnya dibidang organisasi sempat diamanahi menjadi Kepala Departemen Pengabdian Masyarakat HMMT FTI ITS 2015/2016.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. PERTAMINA RU IV Cilacap pada bulan Juli-Agustus 2016. Dan memiliki topik selama kerja praktek dengan judul, “Analisis Kegagalan pada Tube Coil 025F101 di PT PERTAMINA RU IV Cilacap”.

Tugas akhir yang diambil penulis adalah dalam bidang Korosi dan Analisis Kegagalan dengan judul “Analisis Kegagalan Pipa Penyalur *Cooling Water* di PT. Holcim Tbk Tuban”.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*