



TUGAS AKHIR - TL 141584

# ANALISIS KEGAGALAN OUTER TUBE CHLORINATION PLANT PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS UAP PT. PJB UP GRESIK

TAUFIK TALENTINO  
NRP 2712100044

Dosen Pembimbing  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

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

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



FINAL PROJECT - TL 141584

# FAILURE ANALYSIS OF OUTER TUBE CHLORINATION PLANT IN STEAM GAS POWER PLANT PT. PJB UP GRESIK

TAUFIK TALENTINO  
NRP 2712100044

Advisor  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

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

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

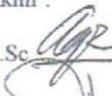
Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

**TAUFIK TALENTINO**

NRP. 2712 100 044

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  (Pembimbing I)
2. Wikan Jatimurti, ST., M.Sc.  (Pembimbing II)



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

# ANALISA KEGAGALAN OUTER TUBE CHLORINATION PLANT PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS UAP PT. PJB UP GRESIK

**Nama Mahasiswa** : Taufik Talentino  
**NRP** : 2712100044  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
**Co-Pembimbing** : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

## ABSTRAK

Chloropac adalah alat pada chlorination plant yang memiliki fungsi untuk memproduksi sodium hipoklorit (NaOCl). Sodium hipoklorit dihasilkan dari elektrolisis air laut yang memiliki manfaat untuk melemahkan biota laut, seperti kerang, remis, dan udang kecil. Chloropac atau yang lebih dikenal dengan Chlorination Plant di PLTGU PT. PJB UP Gresik bekerja dengan tegangan 65 V, arus 4000 A dan temperatur 50°C. Namun, pada penggunaannya sering kali mengalami kebocoran baik Inner maupun Outer Tube yang berbahan titanium dengan umur guna hanya sekitar 5 – 12 bulan, dengan desain pemakaian yang seharusnya bisa mencapai 5 tahun. Dalam penelitian ini dilakukan analisis kegagalan outer tube dengan pengujian XRF, metalografi, XRD, pengujian kandungan air laut, SEM, dan Hardness. Dari hasil pengujian XRF bersesuaian dengan Titanium grade 2. Hasil pengamatan XRD terdapat pengurangan senyawa. Faktor yang menyebabkan kegagalan material pada outer tube adalah *Hydrogen Embrittlement* yang disebabkan oleh kenaikan temperatur dan kemunculan *hydrid needle* pada permukaan hasil pengujian metalografi. Selain itu, terbentuk pola patahan pada material yang bersifat patah ulet dengan ditandai alur patahan vertikal dari hasil pengujian SEM, serta terjadi penurunan kekerasan.

**Kata kunci** : Chlorination Plant, Sodium Hipoklorit, Titanium, Elektrolisa, Outer Tube, Analisa Kegagalan, Hidrogen Embrittlement

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

**FAILURE ANALYSIS OF OUTER TUBE  
CHLORINATION PLANT IN STEAM GAS POWER PLANT  
PT. PJB UP GRESIK**

**Name** : Taufik Talentino  
**NRP** : 2712 100 044  
**Department** : Teknik Material dan Metalurgi, FTI-ITS  
**Advisor** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
**Co-Advisor** : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

**ABSTRACT**

*Chloropac is a device in the chlorination plant which has the function to produce sodium hypochlorite (NaOCl). Sodium hypochlorite is produced from the electrolysis of seawater that have benefits to weaken marine life, such as clams, mussels, shrimp and small. Chloropac or better known as Chlorination Plant in Gas Fired Power Plant PT. PJB UP Gresik Working with a voltage of 65 V, current 4000 A and a temperature of 50 ° C. However, on its use often leak both Inner and Outer Tube is made of titanium with age to only about 5-12 months, with a design that should be able to use up to 5 years. In this research, failure analysis of outer tube with XRF testing, metallography, XRD, testing sea water, SEM, and Hardness Test.. From the XRF test results corresponding to Titanium grade 2. XRD observations are the reduction of compounds in accordance with the theory. Factors that lead to failure of the material in the outer tube is Hydrogen embrittlement caused by rising temperatures and the appearance of the surface of the hydride needle. In addition, in the failed material, formed patterns that are ductile fracture with marked grooves vertical fracture of the test results SEM, as well as a reduction in hardness number Vickers.*

**Keywords** : Chlorination Plant, Sodium Hipoklorit, Titanium, Elektrolysis, Outer Tube, Failure Analysis, Hydrogen Embrittlement

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 PLTGU .....	5
2.2 Chlorination Plant.....	6
2.3 Proses Kerja Generator Chloropac .....	7
2.4 Sel Elektroda Chloropac.....	8
2.5 Modul Sel Chloropac.....	11
2.6 Kualitas Air Laut.....	14
2.7 Titanium .....	17
2.7.1 Perilaku Korosi pada Titanium.....	20
2.8 Platinum .....	30
2.8.1 Pelapisan Platinum .....	31
2.9 Elektrolisis Antar Elektroda .....	32
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	<b>41</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	41
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	42
3.3 Metode Penelitian.....	43
3.4 Pengujian Material .....	43
<b>BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>53</b>
4.1 Hasil Analisis .....	53

4.1.1 Hasil Pengujian Komposisi kimia .....	53
4.1.2 Hasil Pengujian Metalografi .....	54
4.1.3 Hasil Pengujian X – Ray Diffraction .....	59
4.1.4 Hasil Pengujian Kandungan Air Laut .....	63
4.1.5 Pengujian SEM .....	64
4.1.6 Uji Kekerasan .....	70
4.2 Pembahasan .....	70
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>75</b>
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran .....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>79</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>85</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Kandungan yang terdapat pada air laut (Roberge,1999) .....	15
<b>Tabel 2. 2</b> Ketahanan Temperatur Titanium.....	16
<b>Tabel 2. 3</b> Titanium dalam Media Asam (Brunette, 2001).....	20
<b>Tabel 2. 4</b> Urutan Metal yang Lebih Katodik dibandingkan dengan SCE dalam Media Air Laut (Donachie, 2000).....	25
<b>Tabel 2. 5</b> Pengaruh Lingkungan dan Temperatur .....	29
<b>Tabel 2. 6</b> Kerentanan Paduan Terhadap .....	30
<b>Tabel 2. 7</b> Deret EMF terhadap Hidrogen .....	33
<b>Tabel 2. 8</b> Perubahan Arus (I).....	37
<b>Tabel 2. 9</b> Perubahan Arus (II) .....	38
<b>Tabel 2. 10</b> Kondisi Operasi Chloropac PLTGU.....	39
<b>Tabel 3. 1</b> Spesifikasi Komposisi Kimia ASTM B 338 Grade 2	42
<b>Tabel 3. 2</b> Pengujian yang digunakan.....	48
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil Komparasi Komposisi Kimia.....	53
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil Pengujian Kandungan Air Laut.....	63
<b>Tabel 4. 3</b> Data Hasil Uji Kekerasan .....	70

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> PLTGU.....	5
<b>Gambar 2. 2</b> Chlorination Plant .....	7
<b>Gambar 2. 3</b> Proses Pada Chorination Plant .....	8
<b>Gambar 2. 4</b> Sel/Tube Inner dan Outer .....	9
<b>Gambar 2. 5</b> Outer dan Inner tube dipotong Horizontal .....	9
<b>Gambar 2. 6</b> Susunan Sel dan Rangkaianya .....	10
<b>Gambar 2. 7</b> Susunan Sell.....	13
<b>Gambar 2. 8</b> Modul pada Unit 1 .....	13
<b>Gambar 2. 9</b> Efek dari penambahan unsur dalam paduan titanium (Brunette, 2001) .....	18
<b>Gambar 2. 10</b> Hydrid Needle (J.Schumerth) .....	23
<b>Gambar 2. 11</b> Hubungan Kondisi Lingkungan dengan Impressed Potensial (L. Briant, 1997) .....	24
<b>Gambar 2. 12</b> Pengaruh pH Terhadap Temperatur pada lingkungan air laut untuk pipa grade 2 titanium bukan paduan (Schweitzer, 2003).....	27
<b>Gambar 2. 13</b> Skema Korosi Celah (Donachie, 2000).....	28
<b>Gambar 2. 14</b> Reaksi Elektrolisis .....	33
<b>Gambar 2. 15</b> Daerah Outer Tube yang Memiliki Kegagalan Berbentuk Lubang .....	34
<b>Gambar 2. 16</b> Patahan Pada Ujung Pipa Outer Tube.....	35
<b>Gambar 2. 17</b> Sisi Dalam dari Outer Tube tanpa Pelapisan Platina .....	35
<b>Gambar 2. 18</b> Air Laut Hasil Klorinasi.....	36
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian .....	41
<b>Gambar 3. 2</b> Pematangan Spesimen titanium.....	44
<b>Gambar 3. 3</b> Mikroskop Optik Olympus BX51M-RF .....	44
<b>Gambar 3. 4</b> Mesin XRD PAN Analytical.....	45
<b>Gambar 3. 5</b> Mesin SEM FEI INSPECT S50 .....	46
<b>Gambar 3. 6</b> Mesin XRF XL3t-91347 .....	47

<b>Gambar 3. 7</b> Mesin Spektrofotometer.....	48
<b>Gambar 3. 8</b> Alat Uji Hardness HBRV.....	49
<b>Gambar 4. 1</b> (a) Titanium yang sudah dipotong. (b)Titanium yang sudah dietsa dan memiliki 2 titik.....	55
<b>Gambar 4. 2</b> (a) Perbesaran 50 X Dekat dengan Lubang. (b) Perbesaran 50x Jauh dari Lubang.....	56
<b>Gambar 4. 3</b> (a) Perbesaran 100x dekat dengan lubang (b) perbesaran 100x jauh dari lubang (c) perbesaran pada bagian Hydrid Needle sample (a).....	58
<b>Gambar 4. 4</b> Hasil XRD Dekat dengan Lubang.....	59
<b>Gambar 4. 5</b> Hasil XRD Jauh dari Lubang.....	60
<b>Gambar 4. 6</b> Perbandingan Grafik Hasil XRD.....	62
<b>Gambar 4. 7</b> (a) perbesaran 500x dekat lubang (b) perbesaran 1000x dekat lubang (c) perbesaran 500x jauh lubang (d) perbesaran 1000x jauh lubang.....	66
<b>Gambar 4. 8</b> Perbesaran 60x pada Patahan.....	67
<b>Gambar 4. 9</b> Perbesaran 100x pada Patahan.....	68
<b>Gambar 4. 10</b> Perbesaran 400x pada Patahan.....	68
<b>Gambar 4. 11</b> Perbesaran 500x pada Patahan.....	69

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang Masalah

PT. PJB UP Gresik adalah suatu anak perusahaan yang bergerak dalam menyuplai listrik negara untuk Jawa dan Bali. PT. PJB UP Gresik memiliki tiga pembangkit listrik yaitu, Pembangkit Listrik Tenaga UAP (PLTU) dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)

PLTGU merupakan pembangkit listrik yang merupakan gabungan antara PLTG dan PLTU, yaitu suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas (hasil pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energi listrik yang bermanfaat. PLTU memanfaatkan energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk memanaskan air di HRSG (Heat Recovery Steam Generator), sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar turbin. Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Dalam sistem *combine cycle* PLTGU, uap sisa keluaran *steam* turbin masuk ke kondenser untuk didinginkan dengan air pendingin (*sea water*) agar berubah kembali menjadi air. Kondenser merupakan alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang berasal dari turbin yang mengalir di luar pipa-pipa, sedangkan air pendingin mengalir melalui bagian dalam *tube*. Laju perpindahan panas tergantung pada aliran air pendingin, dan kebersihan pipa-pipa. Penggunaan air laut sebagai media air pendingin tentu saja membawa biota - biota laut yang menimbulkan berbagai variasi gangguan. Selain dapat menyumbat *tube - tube* dan peralatan pendingin. Biota laut juga akan berkembang biak dalam *tube* sehingga dapat menyebabkan penurunan *heat transfer* bahkan kebocoran pada peralatan. Maka dari itu, pada kondensor lazimnya diberi klorin



## BAB I PENDAHULUAN

---

atau Sodium Hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ) yang berfungsi untuk melemahkan biota laut, misalnya kerang, remis, udang dan kepiting. Embrio dari biota laut agar tidak menempel didalam pipa kondensor. Tumbuh dan berkembangnya biota laut bisa menyebabkan pipa kondensor tersumbat, jika air laut tidak diberi sodium hipoklorit dan berujung over heat hingga menyebabkan kebocoran.

*Chlorination plant* pada PLTGU merupakan suatu unit peralatan bantu pada sistem pembangkit yang berfungsi untuk memproduksi *Sodium hypochlorite* ( $\text{NaOCl}$ ) yang berfungsi menghambat tumbuh dan berkembangnya binatang – binatang renik dan mikro organisme terutama yang dapat menempel pada dinding pipa – pipa sistem pendingin yang dapat mengganggu bekerjanya sistem pendingin di Unit Pembangkit PLTGU. Prosesnya adalah dengan cara menguraikan air laut yang diinjeksi dengan arus DC didalam *tube hypochlorite generator* melalui proses elektrolisa. Dengan demikian, dengan adanya unit chloropac akan sangat membantu dalam menjaga unit pembangkit tenaga listrik tetap beroperasi dengan seefisien mungkin.

Chloropac di PLTGU PT. PJB UP Gresik sering mengalami kebocoran pada outer maupun inner tube dengan umur pakai hanya sekitar 5 – 10 bulan. Padahal untuk umur pakai desain adalah 5 tahun. Spesifikasi material yang digunakan adalah tabung Titanium yang bekerja dengan tegangan sekitar 65 V, arus 4000 A. Bila dilihat dari umur pakai outer dan inner tube yang hanya berkisar 5 bulan, tentu hal ini akan memerlukan cadangan tube untuk penggantian tube yang bocor, disamping itu juga tube berbahan Titanium ini mahal harganya dan tidak banyak yang mampu membuatnya. Dengan pertimbangan tersebut, PT. PJB UP Gresik berencana untuk menganalisa faktor–faktor yang menyebabkan kegagalan pada outer ataupun inner tube, diharapkan nantinya dapat ditemukan solusi yang tepat terhadap kebocoran.



### 1.2 Rumusan Permasalahan

Dari uraian latar belakang diatas, maka didapat permasalahan yang dapat dibahas sebagai berikut:

1. Faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya kegagalan material pada *outer tube* di PLTGU milik PT. PJB UP Gresik.
2. Bagaimana mekanisme terjadinya kebocoran *outer tube* di PLTGU milik PT. PJB UP Gresik.

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam laporan Tugas Akhir ini penulis membatasi pembahasan sebagai berikut :

1. Arus listrik yang dipakai dianggap konstan
2. Temperatur air yang laut dianggap sama
3. Keadaan lingkungan luar dianggap sama diseluruh unit
4. Material *outer tube* memiliki komposisi yang sama (homogen)

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisa faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya kegagalan material pada *outer tube* di PLTGU milik PT. PJB UP Gresik.
2. Mengetahui mekanisme terjadinya kebocoran *outer tube* di PLTGU milik PT. PJB UP Gresik.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dan pembelajaran yang lebih tentang bagaimana menghindari dan mencegah terjadinya kembali kegagalan serupa dikemudian hari. Serta bisa menjadi acuan untuk penelitian berikutnya seputar hal serupa.



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 PLTGU**

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) merupakan suatu instalasi peralatan yang dimiliki oleh PT PJB UP. Gresik disamping PLTU dan PLTG. PLTGU berfungsi untuk mengubah energi panas, yang berasal dari hasil pembakaran bahan bakar dan udara, menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk masyarakat. Pada dasarnya, sistem kerja PLTGU ini memanfaatkan sistem daur ganda (*combined cycle*) yang merupakan penggabungan antara PLTG dan PLTU. Dengan memanfaatkan energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG, yang kemudian digunakan untuk memanaskan air di HRSG (Heat Recovery Steam Generator), sehingga menghasilkan uap jenuh kering yang bertekanan tinggi dan rendah. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar baling-baling sehingga menghasilkan energi mekanis yang berguna untuk memutar turbin dan kemudian generator yang akan mengubahnya menjadi energi listrik.



**Gambar 2. 1 PLTGU**



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

### 2.2 Chlorination Plant

Dalam sistem *combine cycle* PLTGU, uap sisa keluaran *steam* turbin masuk ke kondenser untuk didinginkan dengan air pendingin, dalam hal ini air laut, agar uap sisa berubah kembali menjadi air. Kondensor merupakan alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang berasal dari turbin yang mengalir di luar pipa-pipa, sedangkan air pendingin mengalir melalui bagian dalam *tube*. Laju perpindahan panas tergantung pada aliran air pendingin, dan kebersihan pipa-pipa. Penggunaan air laut sebagai media air pendingin tentu saja membawa biota - biota laut yang dapat menimbulkan gangguan. Selain dapat menyumbat *tube - tube* dan peralatan pendingin. Biota laut juga akan berkembang biak dalam *tube* sehingga dapat menyebabkan penurunan *heat transer* bahkan kebocoran pada peralatan.

*Chlorination Plant* atau yang biasa disebut Chloropac adalah sebuah unit peralatan penunjang pada sistem pembangkit listrik tenaga gas uap yang berfungsi untuk memproduksi sodium hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ) dari bahan air laut dengan cara elektrolisa. Penggunaan injeksi chlorin pada air laut berfungsi untuk melemahkan biota-biota laut yang terkandung dalam air laut sehingga biota laut tidak akan merusak *tube-tube* alat penukar panas dan mempercepat umur pemakaian. Prosesnya adalah dengan cara menguraikan air laut yang diinjeksi dengan arus searah (arus DC) didalam *tube hypochlorite generator* melalui proses elektrolisa. Mutu dan kualitas produksi sodium hipoklorit yang dibentuk oleh sel tergantung pada besar arus yang diberikan pada sel. Semakin besar arus yang diberikan maka semakin baik kualitas pula produksinya. Sedangkan jumlah atau kuantitas produksi Sodium hipoklorit ditentukan oleh banyaknya sel yang digunakan.

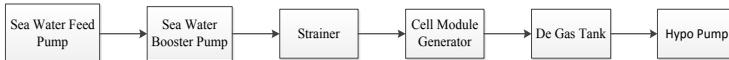


**Gambar 2. 2** Chlorination Plant

### 2.3 Proses Kerja Generator Chloropac

Kapasitas produksi *sodium hypochlorite* unit generator chloropac di PLTGU Gresik sebesar  $80 \text{ M}^3 / \text{jam}$ . Unit Chloropac ini merupakan peralatan yang cukup fleksibel, dalam arti output produknya dapat diatur. Pada alat chloropac sendiri diberikan arus stabil 4000 A dan dilakukan pengecekan tegangan agar dijaga per setiap selnya tetap sebesar 7V.

Dalam prosesnya, *chlorination plant* menggunakan inputan air laut dari *Sea Water Feed Pump*, kemudian air laut dipompa masuk menggunakan *Sea Water Boster Pump* (SWBP), lalu di *filter* menggunakan *Strainer* sebelumnya dan kemudian masuk ke dalam *module generator* untuk mengalami proses elektrolisis dengan injeksi arus DC. Setelah proses elektrolisis tersebut dihasilkan sodium hypochlorite yang kemudian di tampung di de gas tank untuk kemudian membuang kandungan gas  $\text{H}_2$  sehingga tersisa NaOCl saja. Proses pembuangan gas  $\text{H}_2$  dari dalam De Gas Tank dilakukan secara alami, kemudian NaOCl disalurkan dengan *Hypo pump* menuju ke tempat injeksi chlorin.

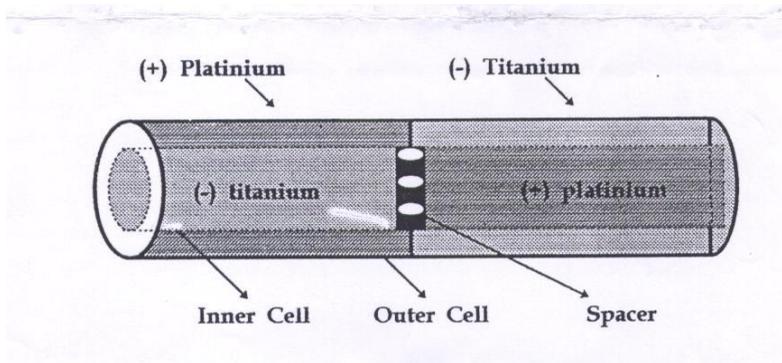


**Gambar 2. 3** Proses Pada Chorination Plant

## 2.4 Sel Elektroda Chloropac

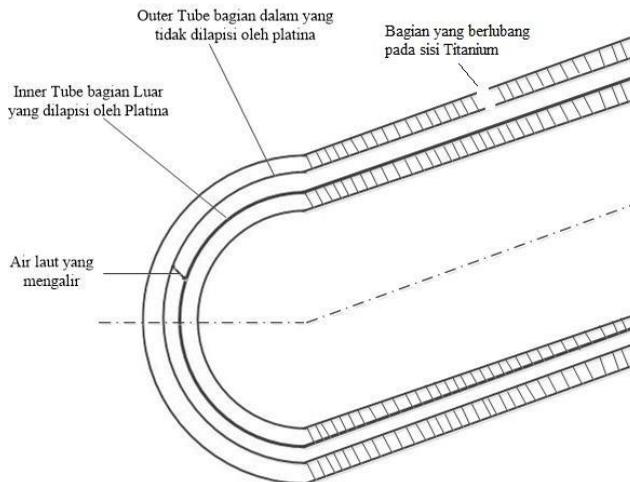
Sel Chloropac PLTGU dikonstruksi secara tetap dari tiga buah silinder Titanium yang panjang dan dua buah silinder pendek terletak secara aksial lurus dan dilekatkan di kedua pinggirnya dengan suatu pengatur jarak silinder yang terisolasi dan terbuat dari bahan plastik PVC berdiameter 2 inci untuk membentuk sebuah pipa tunggal.

Larutan elektrolit mengalir mengisi tempat yang terbentuk diantara bagian dalam dari silinder luar serta bagian luar dari silinder dalam. Bahan outer Titanium ASTM B 338 Grade 2 yang dipakai memiliki lapisan yang berbeda di bagian dalamnya. Terdapat setengah bagian yang dilapisi dengan Platinum (Pt) dan setengah bagiannya tetap berbahan Titanium (Ti) tanpa dilapisi apapun. Material ini digunakan sebagai pengisi sel – sel *Chloropac* yang akan digunakan untuk mereaksikan air laut menjadi *Sodium Hypochlorite*. Untuk elektroda positif (+) yang diletakan sebagai anoda dari bahan Titanium yang dilapisi Platina (P) dan elektroda negatif (-) yang diletakan sebagai katoda dari bahan Titanium saja (Ti) seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 dimana nanti air yang mengalir berada diantara kedua outer tube dan inner tube. Garis putus putus melingkar merupakan inner tube dan garis melingkar tidak putus putus merupakan outer tube. Instalasi inner dan outer tube dibuat selang seling. Apabila pada outer disebelah kiri menggunakan titanium yang dilapisi platina dalam hal ini sebagai kutub positif maka sisi inner sebelah kiri menggunakan titanium tanpa pelapisan platina dan dihubungkan dengan kutub negatif. Rangkaian ini dibuat agar reaksi elektrolisis berjalan dengan seksama dan sodium hipoklorit yang dihasilkan menjadi maksimal.



**Gambar 2. 4** Sel/Tube Inner dan Outer

lalu tampak potongan Horizontal ada pada Gambar 2.5 yang terdapat lubang yang merepresentasikan kegagalan material tersebut.

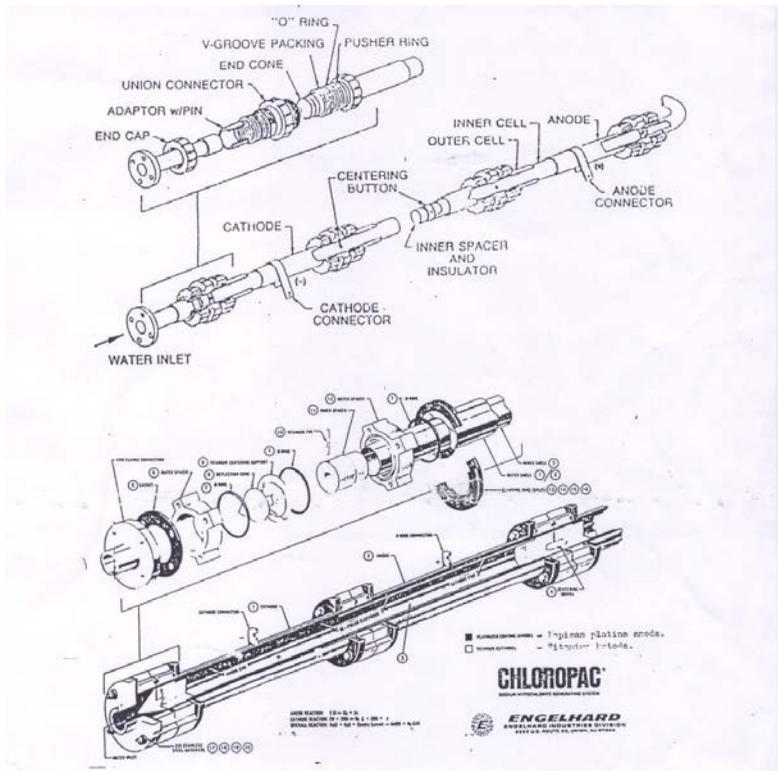


**Gambar 2. 5** Outer dan Inner tube dipotong Horizontal



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tube pertama yang dipasang adalah satu tube pendek yang berbahan titanium kemudian sebelah tube tersebut dipasang tube panjang yang sebelah dalam lapisan Outer tube yang dilapisi platina, hingga membentuk rangkaian yang selang seling. Susunan tube atau yang sering disebut sel, memiliki rangkaian yang kompleks dalam hal susunannya. Ketika *inner* dan *outer* telah tersambung menjadi satu serta dihubungkan dengan *spacer*, maka susunan tersebut harus dirangkai dengan penyambung listrik dari Rectifier dengan menggunakan *Cathode Connector* dan *Anode Connector* seperti yang terlihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Susunan Sel dan Rangkaianannya



Tahun 1880, Faraday menemukan suatu prinsip yang menjelaskan apabila jika arus listrik dialirkan di dalam suatu cairan (elektrolit), maka akan terjadi proses elektrolisis. Dalam sel – sel chloropac dimana air laut yang dialirkan ke dalamnya akan terelektrolisis oleh arus listrik yang diberikan pada sel. Arus listrik yang terpancar pada tube yang terlapisi Platinum sebagai anoda (elektroda positif) dimana *chlorine* yang ditimbulkan menjadi berkembang, selanjutnya arus listrik tersebut mengalir dalam larutan air garam menuju ke katoda Titanium (elektroda negatif) tempat Sodium Hipoklorit dan Hidrogen diproduksi. Aliran elektrolit yang tercampur dari hasil anoda dan katoda tersebut menghasilkan suatu larutan yang dinamakan Sodium Hipoklorit (NaOCl) dan gas hidrogen, dimana reaksi kimiawinya digambarkan sebagai berikut :



Proses elektrolisa yang terjadi pada suatu modul, berjalan secara terus menerus selama modul dioperasikan. Berat larutan hypochlorite yang terdapat setiap jam pada tiap –tiap tube kurang lebih 0.5 Kg. Untuk itu konsentrasi larutan tersebut akan terus meningkat melalui modul dan jumlah sel – sel pada suatu modul telah dipakai untuk mencukupi kebutuhan dari konsentrasi Sodium Hipoklorit yang dibutuhkan.

### 2.5 Modul Sel Chloropac

Modul tube chloropac merupakan susunan dari beberapa sel baik inner maupun outer.

Unit generator chloropac yang ada di PLTGU yang terdiri atas 3 buah unit masing – masing unit terdiri atas 18 modul (sisi inlet dan sisi outlet) dan tiap modul terdiri dari 16 tube. Sehingga ukuran modul dinyatakan dengan 18 x 16 tube.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

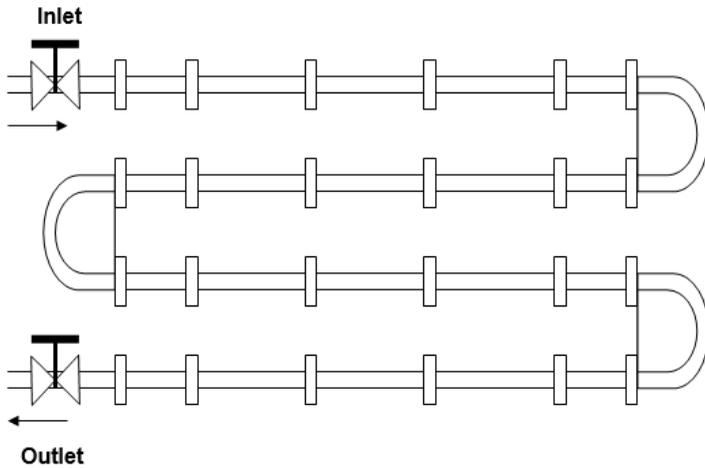
---

Untuk 9 modul inlet yang ada diberikan indeks Modul A, Modul B, Modul C, Modul D, Modul E, Modul F, Modul G, Modul H, Modul J, dan untuk 9 modul outlet yang ada diberikan indeks Modul K, Modul L, Modul M, Modul N, Modul O, Modul P, Modul Q, Modul R, Modul S. Setiap modul yang dialiri air laut masing – masing dari modul tersebut dilengkapi dengan katup – katup (*valve*) untuk aliran masuk dan aliran keluar (*Flow*). Maksud diberikannya katup – katup tersebut adalah untuk menyamakan kapasitas air yang melalui modul serta untuk memudahkan bila suatu waktu diperlukan pengisolasian untuk pekerjaan pemeliharaan (*maintenance*).

Satu modul chloropac yang terdiri dari 16 pasang sel, yang tiap – tiap pasang tube terdiri dari dua tube (*inner dan outer tube*) dan antara dua pasang tube tersebut yang satu dengan yang lain dihubungkan dengan suatu pipa PVC yang berbentuk “ U “. Pada 9 pasang yang pertama dari sisi inlet flow disebut dengan setengah modul inlet dan 9 pasang yang lain disebut setengah modul outlet. Tiap modul sel chloropac diberikan supply tegangan untuk dua sisi, yaitu sisi inlet modul dan sisi outlet modul, dimana antara tube yang satu dengan yang lain dihubungkan secara seri dengan menggunakan pelat tembaga yang dapat diperlihatkan seperti gambar 2.7 sedangkan susunan sel dalam bentuk visualisasi komputer ditunjukkan dengan gambar 2.8



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 7 Susunan Sell



Gambar 2. 8 Modul pada Unit 1



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

### 2.6 Kualitas Air Laut

Air laut merupakan bahan baku utama pembuatan larutan Sodium Hipoklorit yang melalui proses elektrolisis, oleh karena itu kualitas air laut haruslah baik untuk mendapatkan sodium hipoklorit yang berkualitas tinggi. Tetapi sebaik apapun kualitasnya, air laut memiliki sifat korosif yang cukup tinggi, oleh karenanya sel – sel chloropac ini dirancang untuk pengoperasian pada daerah air laut dan pada suhu tertentu.

Selain reaksi pembentukan NaOCl (sodium hypochlorite) timbul juga reaksi-reaksi sampingan. Reaksi sampingan ini karena unsur yang terdapat dalam air laut ada bermacam-macam. Reaksi sampingan ini adalah pengendapan magnesium hidroksida (  $Mg(OH)_2$  ), pengendapan calcium carbonate (  $CaCO_3$  ), pengendapan mangan oksida (  $MgO_2$  ) dan ferit oksida (  $Fe_2O_3$  ) pada sisi anoda. Pengendapan-pengendapan tersebut dapat mengurangi efisiensi dan efektifitas elektroliser sehingga menurunkan kapasitas produksi NaOCl. Pengendapan yang cukup parah dapat merusak elektrode. Gangguan inilah yang paling umum terjadi pada instalasi Chlorination Plant berbagai model karena faktor alam. Failure mode lain yang disebabkan oleh alam yang mungkin terjadi adalah tingginya kandungan lumpur pada air laut. Akibatnya modul cell elektroliser menjadi kotor yang pada akhirnya menyebabkan produksi NaOCl turun, konsentrasi chlorine tidak memenuhi syarat dan penyumbatan yang menjadikan sel menjadi tidak stabil (Tube Unbalance). Selain itu, air laut yang mengalir memiliki pH sekitar 9,3

Masa pengoperasian harus dibarengi dengan pemeliharaan yang baik melalui pembersihan balik (*back flushing*) agar kerak dan zat yang menempel ataupun mengendap bisa terlepas. seperti yang terlihat pada Tabel 2.1 dibawah ini merupakan kandungan garam ionik yang bisa menjadi penyebab pengendapan dan kerak kerak. (Muhara, 2010).



**Tabel 2. 1** Kandungan yang terdapat pada air laut (Roberge,1999)

**TABLE 1.6** Conductivity and Diffusion Coefficients of Selected Ions at Infinite Dilution in Water at 25°C

Cation	z	$\lambda, S \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$	$D \times 10^5, \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	Anion	z	$\lambda, S \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$	$D \times 10^5, \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
H <sup>+</sup>	1	349.8	9.30	OH <sup>-</sup>	1	197.6	5.25
Li <sup>+</sup>	1	38.7	1.03	F <sup>-</sup>	1	55.4	1.47
Na <sup>+</sup>	1	50.1	1.33	Cl <sup>-</sup>	1	76.3	2.03
K <sup>+</sup>	1	73.5	1.95	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1	71.4	1.90
Ca <sup>2+</sup>	2	119.0	0.79	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1	67.3	1.79
Cu <sup>2+</sup>	2	107.2	0.71	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2	160.0	1.06
Zn <sup>2+</sup>	2	105.6	0.70	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	2	138.6	0.92
O <sub>2</sub>	—	—	2.26	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1	50.0	1.33
H <sub>2</sub> O	—	—	2.44	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	1	41.5	1.11

Dalam kondisi lingkungan air laut yang diubah menjadi sodium hipoklorit, titanium memiliki ketahanan temperatur hingga 93 °C atau 210 °F. Ketahanan temperturnya berbeda ketika dalam lingkungan kimiawi lainnya. Pada Tabel 2.2 terlihat perbedaan titanium dengan logam tantalum dan zirkonium.



**Tabel 2. 2** Ketahanan Temperatur Titanium

Chemical	Maximum temp. (°F/°C)		
	Titanium	Zirconium	Tantalum
Hydrobromic acid, dilute	90/32	80/27	302/150
Hydrobromic acid, 20%	200/93	X	302/150
Hydrobromic acid, 50%	200/93	X	302/150
Hydrochloric acid, 20%	X	300/149	302/150
Hydrochloric acid, 38%	X	140/60	302/150
Hydrocyanic acid, 10%			
Hydrofluoric acid, 30%	X	X	X
Hydrofluoric acid, 70%	X	X	X
Hydrofluoric acid, 100%	X	X	X
Hypochlorous acid	100/38		302/150
Iodine solution, 10%	90/32		
Ketones, general	90/32		
Lactic acid, 25%	210/99	300/149	302/150
Lactic acid, conc.	300/149	300/149	300/149
Magnesium chloride	300/149		302/150
Malic acid	210/99	210/99	210/99
Manganese chloride, 5–20%	210/99	210/99	210/99
Methyl chloride	210/99		210/99
Methyl ethyl ketone	210/99	210/99	210/99
Methyl isobutyl ketone	200/93	200/93	210/99
Muriatic acid	X		302/150
Nitric acid, 5%	360/182	500/260	302/150
Nitric acid, 20%	400/204	500/260	302/150
Nitric acid, 70%	390/199	500/260	302/150
Nitric acid, anhydrous	210/99	90/32	302/150
Nitrous acid, conc.			300/149
Oleum			X
Perchloric acid, 10%	X		302/150
Perchloric acid, 70%	X	210/99	302/150
Phenol	90/32	210/99	302/150
Phosphoric acid, 50–80%	X	180/82	302/150
Picric acid	90/32		200/93
Potassium bromide, 30%	200/93	200/93	90/32
Salicylic acid	90.32		210/99
Silver bromide, 10%			90/32
Sodium carbonate	210/99	210/99	210/99
Sodium chloride	210/99	250/151	302/150
Sodium hydroxide, 10%	210/99	210/99	X
Sodium hydroxide, 50%	200/93	200/93	X
Sodium hydroxide, conc.	200/93	210/99	X
Sodium hypochlorite, 20%	200/93	100/38	302/150

Chemical	Maximum temp. (°F/°C)		
	Titanium	Zirconium	Tantalum
Sodium hypochlorite, conc.			302/150
Sodium sulfide, to 10%	210/99	X	210/99
Stannic chloride, 20%	210/99	210/99	300/149
Stannous chloride	90.32		210/99
Sulfuric acid, 10%	X	300/149	302/150
Sulfuric acid, 50%	X	300/149	302/150
Sulfuric acid, 70%	X	210/99	302/150
Sulfuric acid, 90%			302/150
Sulfuric acid, 98%	X	X	302/150
Sulfuric acid, 100%	X	X	300/149
Sulfuric acid, fuming	X		X
Sulfurous acid	170/77	370/188	300/149
Thionyl chloride			300.149
Toluene	210/99	80/27	300/149
Trichloroacetic acid	X	X	300/149
White liquor		250/121	
Zinc chloride			210/99



### 2.7 Titanium

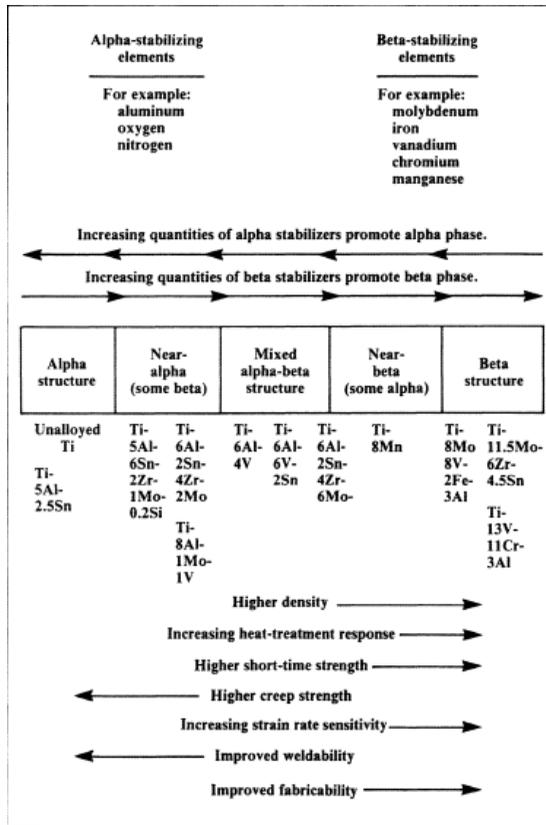
Titanium adalah logam ringan dengan kepadatan sedikit 40% lebih rendah dari zat besi atau paduan berbasis tembaga. modulus elastisitas juga hanya sekitar setengah dari baja. Titanium memiliki koefisien ekspansi rendah dan hambatan listrik yang relatif tinggi. Panas spesifik dan termal konduktivitas dari titanium yang mirip dengan stainless steel.

Titanium adalah elemen alotropik yang mengindikasikan memiliki lebih dari satu bentuk kristalografi. Struktur kristal Hexagonal Close-Packed (HCP), juga disebut fase alpha, terdapat dalam suhu kamar. Sebuah transformasi ke struktur Body Centered Cubic (BCC), atau fase beta, terjadi ketika Titanium membeku dari cairan atau ketika Titanium padat dipanaskan sampai suhu di atas 1.621 °F dari (883 °C).

Kedua struktur kristal tersebut merupakan dasar untuk klasifikasi penamaan dari paduan Titanium, yakni "Alpha", "Alpha-Beta" dan "Beta". Dengan memadukan logam Titanium dengan unsur-unsur lain, kedua struktur kristal tersebut dapat selektif lebih stabil pada suhu kamar, sehingga memungkinkan untuk memproduksi paduan alpha, alpha-beta, dan beta yang stabil.

Pada Gambar 2.9 digambarkan preferensi penstabilan dari berbagai penambahan unsur dan bagaimana pengaruh karakteristik perilaku material dalam paduan. Elemen paduan yang umum digunakan untuk menstabilkan fase *Alpha* adalah Aluminium, Timah dan Oksigen, sementara yang digunakan untuk menstabilkan fase *Beta* adalah Niobium, Molibdenum, Tantalum, Kromium, Besi dan Vanadium.

Penggunaan titanium dapat dibagi dua, yaitu untuk pemakaian dalam kondisi tahan terhadap korosi dan untuk pemakaian yang menggunakan kekuatan struktur. Dalam aplikasi korosi normalnya digunakan "Unalloyed" Titanium yang diproduksi dalam bentuk alat penukar panas, reaktor *vessel*, dan dalam proses kimia maupun desalinasi dan pembangkit listrik. Sedangkan aplikasi performa tinggi seperti gas turbin, struktur pesawat, peralatan bor, *biomedical implants*, dan frame sepeda.



**Gambar 2. 9** Efek dari penambahan unsur dalam paduan titanium (Brunette, 2001)

**A. Titanium dan Paduan Titanium Alfa**

Titanium yang tidak dipadukan dan paduan Titanium dengan unsur penstabil *alpha* mempertahankan bentuk struktur kristalografi HCP mereka pada suhu kamar dan karenanya diklasifikasikan sebagai kelas Alpha-Titanium. Kelas ini menunjukkan sifat creep yang baik pada temperatur tinggi, dapat di-las, dan dapat digunakan dalam aplikasi kriogenik karna



material yang memiliki struktur HCP tidak menunjukkan transformasi ulet-getas. Efek penguatan di alpha paduan dapat dicapai dengan memadatkan larutan elemen paduan tersebut. Titanium, fase alfa, dan fase dekat alfa memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Titanium murni memiliki beberapa jumlah oksigen didalam paduan tersebut yang berasal dari reaksi interstisial kedalam paduan tersebut. Paduan alfa memiliki banyak jumlah Aluminium yang menyebabkan tahan terhadap oksidasi pada temperatur tinggi (serupa dengan paduan Alfa-beta, karna memiliki beberapa jumlah aluminium, tetapi alasan utama aluminium adalah penstabil fase alfa). Paduan alfa tidak bisa dilakukan perlakuan panas untuk memperoleh sifat mekanik yang tinggi karna hanya berupa satu fase paduan, beda halnya ketika memasuki fase alfa-beta karna memiliki dua fase. Titanium yang tidak dalam bentuk paduan biasanya lebih keras karena terdapat oksigen interstisial didalamnya tapi apabila dalam keadaan ruang terbuka, oksigen dari lingkungan juga ikut masuk kedalam dan bisa membuat titanium ini semakin keras tapi mengarah ke getas. Oleh sebab itu biasanya ada perlakuan untuk menghilangkan sedikit lapisan itu.

### **B. Paduan Titanium Beta**

Kebanyakan paduan Titanium beta mengandung sedikit stabilisator alpha. Fase Beta BCC adalah ulet, karna itu paduan Titanium beta yang mudah dibentuk sampai keadaan dingin. Paduan beta rentan terhadap transformasi ulet-getas, maka dari itu tidak baik digunakan untuk aplikasi kriogenik (temperatur sangat rendah). Unsur-unsur paduan utama untuk paduan beta adalah molybdenum, niobium dan tantalum, termasuk juga unsur-unsur yang dianggap sangat mudah dijadikan bio material. Paduan ini juga mudah untuk dibentuk.

Paduan beta dapat diperkuat oleh efek memadatkan larutan dengan penambahan beta stabilizer, tapi besar kenaikan kekuatan juga hasil dari volume kecil (biasanya <5%) presipitasi fase kedua selama perlakuan panas. Karena bisa digunakan untuk bekerja dalam keadaan panas dan dingin, banyak usaha telah dilakukan



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

untuk menciptakan paduan spesial Titanium beta untuk aplikasi khusus. Meskipun banyak yang tertarik dalam pembuatan Titanium beta, dari seluruh dunia pabrik Titanium hanya mencakup beberapa persen pembuatan paduan beta Titanium dihitung dari beratnya.

### C. Paduan Titanium Alfa-Beta

Paduan ini menggabungkan jumlah yang seimbang dari alpha dan beta stabilisator. Sifat yang dimiliki paduan ini adalah kekuatan tarik yang tinggi dan keuletan yang baik. Paduan ini lebih kuat dibandingkan paduan alfa ataupun paduan beta. Sifat-sifat dari kedua fase paduan alpha-beta Titanium dapat disesuaikan dengan perlakuan panas begitu pula paduan fase beta.

#### 2.7.1 Perilaku Korosi pada Titanium

Korosi adalah proses yang menghasilkan degradasi logam atau paduan dengan penghilangan atom. Hal ini dapat terjadi ketika ada interaksi dengan oksigen, dapat terjadi pula dari reaksi elektrokimia yaitu reaksi antara anoda dan katoda. Bentuk korosi yang paling sering dijumpai pada paduan titanium adalah korosi celah yang dapat berkembang ke segala arah tetapi korosi celah ini dapat dikurangi dengan penambahan paladium dan molybdenum untuk meningkatkan layanan tahan korosi yang menyebabkan perubahan fase menuju fase alfa-beta. Titanium menawarkan ketahanan korosi yang baik di lingkungan kecuali dalam media yang mengandung *Fluoride* seperti yang terlihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Titanium dalam Media Asam (Brunette, 2001)

Medium	Titanium	Silver
Hydrofluoric acid	Spontaneous corrosion	Resistant
Nitric acid	Resistant	Spontaneous corrosion

Titanium termasuk jenis yang memiliki ketahanan terhadap korosi yang sangat baik, oleh karena itu titanium sering kali digunakan dalam alat-alat yang berhubungan dengan bahan atau



lingkungan kimia daripada menggunakan baja tahan karat, kuningan, perunggu, tembaga, nikel, untuk wilayah korosi. Akibatnya peralatan titanium harus menghasilkan biaya operasi yang lebih rendah, hidup lebih lama, dan pemeliharaan yang lebih rendah pula. Untuk itu persyaratan dasar untuk pemakaian dalam lingkungan korosi harus memenuhi standar B265, B 338, atau B 367. Tidak seperti material lainnya, Titanium dapat menimbulkan korosi baik sangat cepat atau sangat lambat, tergantung pada kondisi lingkungan. Oleh karena itu, faktor umum seperti titik leleh, konduktivitas listrik, modulus elastisitas, tidak boleh disepelekan.

Kondisi lingkungan yang mengandung banyak klorida atau hidroksida yang mengendap pada permukaan titanium dapat menyebabkan reaksi oksidasi. Pada dasarnya Klorin basah tidak memiliki pengaruh terlalu besar terhadap titanium, maka dari itu titanium cocok digunakan dalam kondisi lingkungan seperti ini. Beda halnya dengan gas klorin kering yang sangat berbahaya. Titanium yang tak dipadukan tahan terhadap korosi pada lingkungan air laut. Titanium yang terkena air laut secara terus menerus selama 18 tahun hanya terjadi perubahan warna. Belerang cair, senyawa klorinasi, dan sebagian besar asam pengoksidasi tidak berpengaruh dalam logam ini. Sementara itu panas yang tinggi, konsentrasi yang tinggi, dan pH garam klorida yang rendah (seperti memanaskan 30%  $\text{AlCl}_3$  dan 70%  $\text{CaCl}_2$ ) bisa menyebabkan titanium terkorosi. Konsentrasi klorida yang tinggi, sulfat, fosfat, dan oksalat asam juga bisa menyebabkan kerusakan. Dalam lingkungan yang mengandung.

Titanium dan paduannya termasuk kedalam grup besar material yang memiliki oksida pasivasi. Pasivasi sendiri didefinisikan sebagai suatu keadaan dimana logam mempunyai sifat tahan korosi pada potensial tinggi anodik yang disebabkan adanya lapisan tipis (film) oksida di permukaan logam akibat oksidasi. Struktur dari lapisan film ini sangatlah tipis, getas, dan transparan dengan ketebalan antara 1 nm hingga 10 nm. Dalam



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

lapisan tipis ini mengindikasikan adanya hidroksida (OH)<sup>-</sup> (Sulistijono, 1999)

Karena logam titanium sangat reaktif dan memiliki afinitas yang tinggi terhadap oksigen, permukaan lapisan tipis ini akan terbuat dengan sendirinya dan membuat lapisan yang melindungi ketika terjadi kontak dengan udara. Bahkan lapisan tipis yang mulai rusak pun dapat kembali terlindung ketika ada kontak kembali dengan lingkungan. Apabila titanium ini tidak tahan terhadap korosi, itu disebabkan film tipis ini tidak menutupi seutuhnya, ini bisa disebabkan oleh lingkungan oksidasi yang terlalu tinggi ataupun kehadiran ion fluoride yang mengurangi sifat pelindung dari oksida. Kemungkinan lainnya adalah terjadi kontak dengan logam lainnya sehingga lapisan tersebut tergerus atau bisa juga terjadi pada kontak langsung aliran air yang kencang, sehingga pelindung oksida tidak sempat terbuat dan mempercepat korosi pada titanium. Sifat pelindung yang tercipta tergantung pada lingkungannya. Dalam lingkungan yang berair, oksida yang biasanya terbentuk adalah  $TiO_2$ ,  $Ti_2O_3$ , atau  $TiO$ . Pada suhu tinggi, oksida cenderung untuk membentuk  $TiO_2$  atau yang dikenal sebagai rutil. Sedangkan suhu yang lebih rendah sering menghasilkan bentuk yang lebih amorf yaitu  $Ti_2O_3$  yang lebih dikenal sebagai anatase.

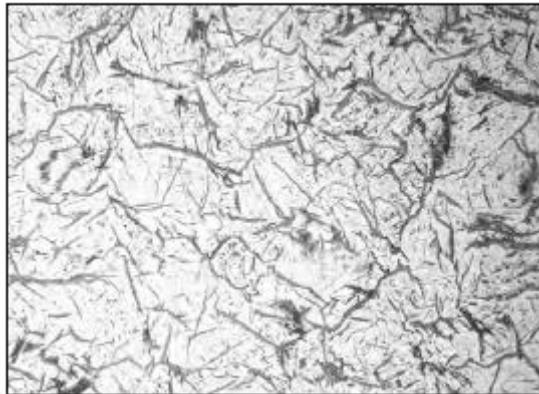
Korosi yang umum ditandai dengan serangan yang seragam di atas permukaan dari logam. Korosi yang seragam pada media air dapat berupa bintik bintik dan menyebabkan logam menjadi kasar. Korosi yang seragam menjadi perhatian ketika dalam lingkungan konsentrasi asam yang kuat dan ketika terjadi kenaikan suhu. Pada saat itu film oksida titanium dapat memburuk dan larut yang menyebabkan tidak terlindungi dan logam teroksidasi menjadi ion trivalen ( $Ti^{3+} + 3e^-$ ). Ion ini memiliki karakteristik warna violet dalam larutan asam. Apabila terdapat oksigen terlarut yang jenuh dalam asam panas maka logam akan teroksidasi menjadi  $Ti^{4+}$  yang berwarna kuning pucat. Selain korosi seragam, terdapat pula korosi galvanik. Korosi galvanik adalah korosi yang terjadi diantara dua logam yang memiliki kontak



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

langsung diantara keduanya dalam suatu larutan elektrolit. Di dunia industri sering kali terjadi korosi galvanik dalam media asam atau media air laut. Dalam media air laut nilai potensial titanium terhadap *saturated calomel electrode* sekitar  $-0,1$  V menempatkan titanium tepat dibawah platinum, emas, dan perak yang merupakan golongan logam mulia seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.4. Titanium dapat mempercepat korosi logam lainnya karena sifat titanium yang hampir selalu menjadi katodik setiap terjadi kontak dengan metal lain. Tetapi, karna itu pula setiap terjadi reaksi galvanik menyebabkan hidrogen dapat berkembang dipermukaan titanium. Ketika konsentrasi hidrogen terlewat tinggi, hidrogen bisa terdifusi kedalam logam yang menyebabkan *embrittlement*. Dalam beberapa keadaan lingkungan titanium hidrida itu bersifat tidak stabil dan mudah terurai, sehingga titanium akan kehilangan massanya. Hydrogen Embrittlement dapat terlihat dengan adanya hydrid needle, yaitu permukaan terdapat seperti jarum jarum (J. Schumert). Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.10



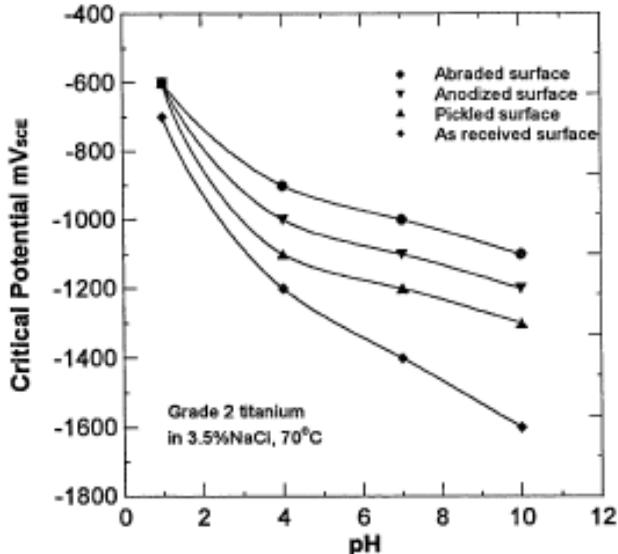
**Gambar 2. 10** Hydrid Needle (J.Schumerth)

Tanda tanda terjadinya Hydrid Needle di permukaan titanium dapat diketahui dalam lingkungan kerjanya. Khususnya dalam lingkungan air laut yang memiliki kadar NaCl sekitar 3,5% dapat



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

terjadi reaksi hydrogen embrittlement apabila temperatur lingkungan kerjanya menyentuh angka 70 °C dan pH diatas 3, maka critical potensialnya akan melebihi -700 mV yang merupakan batas perlindungan. Selain itu dengan meningkatnya temperatur dan meningkatnya pH, maka potensial kritis pembentukan Hydrid Needle akan bertambah, seperti Gambar 2.11



**Gambar 2. 11** Hubungan Kondisi Lingkungan dengan Impressed Potential (L. Briant, 1997)



**Tabel 2. 4** Urutan Metal yang Lebih Katodik dibandingkan dengan SCE dalam Media Air Laut (Donachie, 2000)

Series	Metal
Cathodic end (noble metals)	Platinum
	Gold
	Silver
	Titanium
	Cr-Ni stainless steels, passive
	Straight Cr stainless steels, passive
	Ni-Cu alloys (Monels)
	Ni-Cr-Fe alloys (Inconels), passive
	Nickel, passive
	Silver solder
	Tin bronzes
	Copper nickels
	Silicon bronzes
	Copper
	Red and yellow bronzes
	Aluminum bronzes
	Ni-Cr-Fe alloys (Inconels), active
	Nickel, active
	High-Zn yellow bronzes (>30% Zn)
	Manganese bronzes
Tin	
Lead	
Cr-Ni stainless steels, active	
Cast iron	
Wrought iron	
Low-carbon steel	
2xxx and 7xxx aluminum alloys	
Cadmium	
Alclad aluminum alloys	
6xxx aluminum alloys	
Galvanized steel	
Zinc	
Magnesium alloys	
Magnesium	
Anodic end (active metals)	

Dalam korosi titanium di media garam berair, tercatat bahwa titanium paduan yang mengandung nikel, molibdenum atau paladium akan lebih tahan terhadap larutan asam non oksida dari titanium yang tidak dipadukan, dan paduan itu juga lebih tahan terhadap korosi celah. Suatu paduan yang mengandung 2% Nikel direkomendasikan untuk aplikasi di lingkungan air garam yang panas dimana kasus korosi celah kadang terjadi. Paduan ini juga memiliki ketahanan yang lebih baik untuk korosi celah daripada titanium yang tidak dipadukan. Namun disamping itu, penambahan

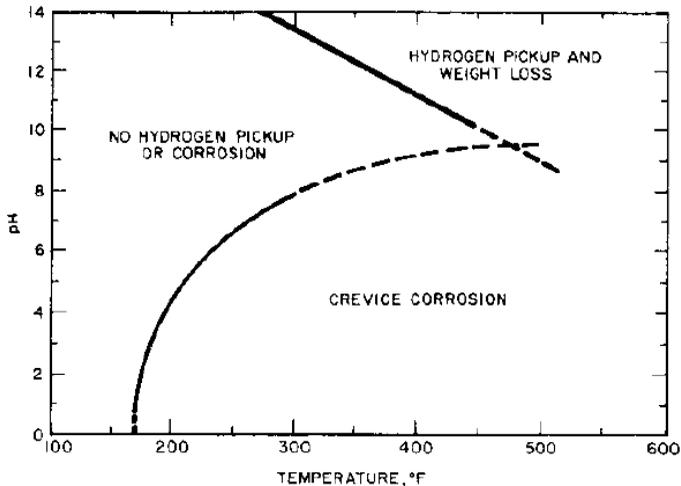


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

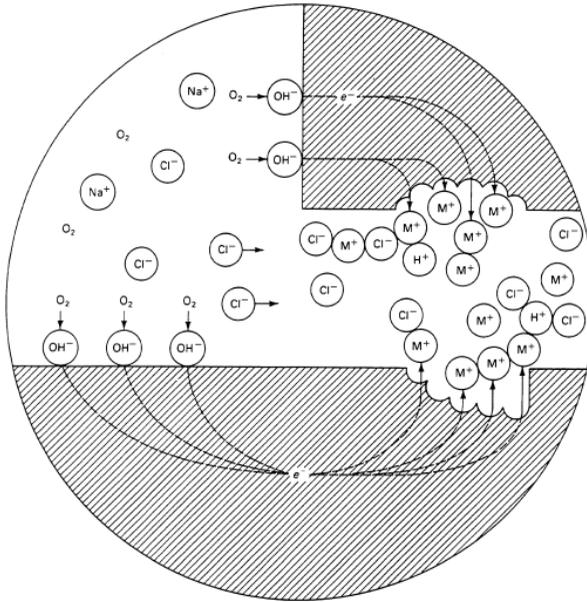
nikel memiliki efek yang merugikan karena sangat rentan terjadi hidrogen embrittlement dan bisa menyebabkan retak diujungnya selama dilakukan *rolling*. Perlakuan pada permukaan titanium merupakan salah satu opsi yang bisa dilakukan. Perlakuan tersebut menggunakan logam mulia seperti platina atau paladium dengan melapisi, menanamkan, atau difusi termal ke dalam permukaan titanium untuk meningkatkan ketahanan terhadap asam. Pendekatan ini memang belum banyak digunakan secara komersial untuk dunia industri karena membutuhkan biaya yang tinggi dan aplikasi pelapisan yang terbatas. Biasanya akan membentuk lapisan film yang tipis di atasnya. Penambahan lapisan tipis ini bisa meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi hingga suhu 650 °C. Oksidasi termal tidak menawarkan perbaikan dalam ketahanan titanium terhadap lingkungan bergaram yang tinggi. Karena biaya yang tinggi dan aplikasi pelapisan yang terbatas, film ini umumnya tidak hanya digunakan sebagai penambah ketahanan terhadap korosi tapi juga bisa meningkatkan ketahanan aus.

Terdapat pula proses korosi lokal yaitu korosi celah yang dapat berasal dari sedikit celah atau ada air yang terjebak. Awalnya korosi celah tidak merata tapi seiring dengan berjalannya waktu bisa semakin melebar karena celah yang ditimbulkan semakin besar. Apalagi korosi celah erat kaitannya dengan oksigen yang terjebak. Maka oksigen disini bisa menjadi pedang bermata dua yang merusak sekaligus melindungi ketiak terbentuk film tipis. Dalam kondisi pH netral, korosi celah di titanium dapat diamati pada suhu dibawah 120 °C tapi pada pH rendah, korosi celah kadang lebih mudah ditemui tergantung pada lingkungannya. seperti pada Gambar 2.12 merupakan korosi celah yang terjadi pada air laut.



**Gambar 2.12** Pengaruh pH Terhadap Temperatur pada lingkungan air laut untuk pipa grade 2 titanium bukan paduan (Schweitzer, 2003)

Titanium di lingkungan air asin yang panas merupakan suatu kasus khusus yang bisa menyebabkan korosi celah hingga menimbulkan lubang. Ini terjadi ketika baja karbon, besi, atau baja paduan rendah menggores hingga tertancap ke titanium dan menyebabkan lapisan tipis permukaan terbuka. Saat terpapar air garam disuhu sekitar 80 °C, titanium yang tak terlindungi ini bisa menyebabkan korosi pada permukaannya dan menimbulkan korosi lokal yaitu korosi celah. Korosi celah ini menyisakan morfologi yang melingkar dan cekung, karna hal ini pula bisa terjadi penyerapan hidrogen lokal. Maka dari itu selama fabrikasi dan instalasi titanium ke peralatan, titanium harus ditangani dengan cukup hati hati menghindari kontaminasi yang disebabkan tergores dengan metal lain. Partikel besi yang tertanam di titanium hasil fabrikasi atau kontak kasar tadi bisa menciptakan reaksi sel elektrolisis dimana ia akan menjadi anoda dan menciptakan lubang di titanium seperti yang terlihat pada Gambar 2.13.



**Gambar 2. 13** Skema Korosi Celah (Donachie, 2000)

Jenis korosi lainnya yang bisa terjadi pada titanium adalah korosi karna erosi. Titanium bisa terkorosi karna erosi ketika kecepatan dalam air laut lebih tinggi dari 27 m/s. Korosi karna erosi ini dapat diperparah dengan kehadiran partikel abrasif seperti pasir dalam fluida yang mengalir pada kecepatan 1,8 m/s. Abrasi ini dapat menghasilkan lubang bulat yang mendalam dipermukaan. Terdapat pula stress corrosion cracking yakni korosi retak yang terjadi karna kelelahan. Fenomena ini disebabkan oleh kondisi metalurgi, lingkungan dan temperatur yang menyebabkan SSC. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5



**Tabel 2. 5** Pengaruh Lingkungan dan Temperatur

Environment	Temperature
Hot dry chloride salts	260–480 °C (500–900 °F)
Seawater, distilled water, and aqueous solutions	Ambient
Nitric acid, red fuming	Ambient
Nitrogen tetroxide	Ambient to 75 °C (165 °F)
Methanol, ethanol	Ambient
Chlorine	Elevated
Hydrogen chloride	Elevated
Hydrochloric acid, 10%	Ambient to 40 °C (105 °F)
Trichloroethylene	Elevated
Trichlorofluoroethane	Elevated
Chlorinated diphenyl	Elevated

Dalam paduan titanium alfa, perilaku SCC tergantung pada komposisi. Perilaku SCC sensitif terhadap aluminium dan kandungan oksigen. Dalam alfa-beta juga masih terdapat fasa alfa yang menunjukkan kerentanan SCC. Sementara itu, peningkatan stabilisator alfa cenderung mempercepat terjadinya SCC. Sedangkan peningkatan stabilisator beta cenderung mengurangi kerentanan terhadap SCC. Titanium yang tidak dipaukan umumnya kebal terhadap SCC kecuali yang mengandung oksigen yang tinggi (0,3% atau lebih). Hal ini penting untuk membedakan dua kelas titanium. Titanium yang meliputi nilai ASTM 1, 2, 7, 11, dan 12, merupakan yang kebal terhadap SCC, kecuali dalam beberapa spesifik lingkungan. Lingkungan yang menyebabkan ASTM tadi tidak tahan adalah metanol, nitrogen tetrakoksida, asam nitrat, dan kadmium padat. Retak juga dapat terjadi dapat terjadi lebih cepat apabila dalam media air laut. Paduan untuk menangani keretakan juga harus dipilih dengan seksama. Karna paduan juga berpengaruh terhadap ketahanan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.6. Paduan yang mengandung 6% Al sangat rentan. Penambahan timah, mangan, kobalt, dan oksigen juga merugikan. Sedangkan stabilisator beta, seperti molibdenum, niobium, vanadium, cenderung mengurangi kerentanan terhadap fenomena ini. Titanium unalloyed tidak rentan, kecuali mengandung lebih dari sekitar 0,3% oksigen.



**Tabel 2. 6 Kerentanan Paduan Terhadap**

Alloy	Susceptibility
Ti-8Al-1Mo-1V	High
Ti-5Al-2.5Sn	High
Ti-13V-11Cr-3Al	Intermediate
Ti-6Al-6V-2Sn	Intermediate
Ti-6Al-4V	Intermediate
Grade 4	Intermediate
Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al	More resistant
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn	More resistant
Ti-4Al-3Mo-1V	More resistant
Ti-2.25Al-1Mo-11Sn-5Zr-0.25Si	More resistant
Grades 1 and 2	Immune
Grades 7 and 11	Immune
Grade 9	Immune
Grade 12	Immune

## 2.8 Platinum

Logam Platina (Pt) merupakan unsur yang memiliki nomor atom 78, yang terdapat pada golongan 10, priode 6, dan blok d, logam Platina ini memiliki kepadatan nomor tiga setelah Iridium dan Osmium. Kira-kira 12% lebih padat dibanding emas untuk per 1 g/cm<sup>3</sup>. Platinum merupakan logam golongan platinum group metal (PGM). Didalam PGM terdapat beberapa logam, yaitu platinum, palladium, rhodium, osmium, ruthenium dan iridium. Platinum, paladium dan rhodium, yang paling ekonomis yang signifikan dari PGM, ditemukan dalam jumlah terbesar.

Logam platinum memiliki warna putih keabu-abuan. Logam platinum banyak ditemukan di dalam biji nikel. Warna platinum tergolong cukup indah di pandang, oleh karena itu platinum juga dimanfaatkan sebagai perhiasan. Logam platinum tidak teroksidasi di ruang udara pada suhu berapapun. Namun logam platinum memiliki kekurangan akan termakan oleh unsur lain seperti halogen, sulfur, dan sianida. Platinum berwarna abu-abu



keputihan, ulet, mudah dibentuk, memiliki titik leleh yang tinggi (kurang lebih 1722 °C) karena merupakan material logam yang padat. Logam yang resistan terhadap korosi, serangan kima, dan tidak bersifat reaktif. Selain itu sifatnya sebagai konduktor panas dan listrik yang baik, banyak digunakan sebagai peralatan laboratorium kimia. Platinum juga banyak digunakan sebagai elektroda, logam perhiasan, dan katalis reaksi kimia.

### 2.8.1 Pelapisan Platinum

Platinum sering kali digunakan sebagai pelapis dibahan bahan tertentu karna sifat platinum yang sangat tahan terhadap korosi dan oksidasi. Karena sangat mulia dan mahal, platinum tidak dapat digunakan dalam bentuk padat sebagai anoda. Meskipun platinum bahkan lebih mahal dari emas, digunakan untuk kontak listrik di atmosfer pengoksidasi. Hal ini sangat tahan terhadap asam dan basa kecuali aqua regia, halogen secara umum (yaitu, klor, brom, yodium) dan asam halogen di atas 100 ° C Sehingga Platinised Logam Anoda (Pt Anoda) diproduksi oleh *electroplating* platinum pada logam mulia yang diperlakukan khusus seperti Titanium, Niobium, Tantalum, Zirkonium.

Di antara mereka, Titanium lebih murah; Namun, ia memiliki potensi kerusakan jauh lebih rendah dari niobium atau Tantalum. Titanium oksida rusak pada potensi anodik di kisaran 12 V.

Dalam kasus aplikasi Kelautan, untuk menghindari titanium di lokasi platinized di permukaan, tegangan operasi anoda dibatasi di kisaran 9-9,5 V terhadap klorida. Oleh karena itu tegangan maksimum yang disarankan operasi anoda titanium platinized adalah 8 V. sesuai maksimum kepadatan arus keluaran adalah sekitar 1 kA m<sup>-2</sup>. Untuk sistem proteksi katodik dimana tegangan operasi yang dibutuhkan lebih tinggi, maka niobium dan tantalum anoda umumnya lebih banyak dipilih untuk dipakai dalam sistem tersebut. Hal ini karena dua unsur tersebut memiliki



## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

---

breakdown potensial anodik lebih besar dari 100 V di elektrolit yang mengandung klorida.

Proses oksidasi / reduksi yang diulang menghasilkan pembentukan lapisan kecoklatan platinum oksida. Tingkat konsumsi anoda platinized juga terpengaruh oleh adanya kotoran organik seperti gula, garam, dan bahan diesel. Oleh karena itu baiknya selalu dilakukan pemeliharaan peralatan yang mengandung platina agar tidak terjadi kegagalan material.

Pelapisan platina pada titanium, niobium, tantalum pada bentuk anoda pada batangan secara luas digunakan untuk perlindungan internal kondensor, peralatan proses, dan lain lain. Untuk yang berbentuk kawat digunakan untuk perlindungan dalam tangki air dan pipa. Sedangkan perlindungan anoda dalam bentuk serat digunakan untuk strukur beton bertulang.

### **2.9 Elektrolisis Antar Elektroda**

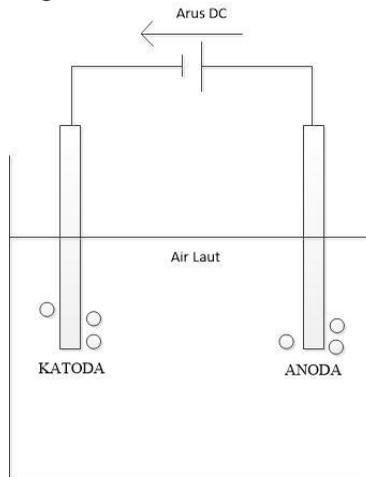
Seperti sudah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya bahwa reaksi elektrolisis memiliki beberapa syarat tertentu seperti harus adanya elektroda yang berbeda, sumber listrik, dan elektrolit. Pada chlorination plant, elektroda yang digunakan ada dua buah, yaitu Platinum dan Titanium. Dimana platinum sebagai Anoda dan disambungkan dengan kutub negatif, sedangkan titanium sebagai katoda dan disambungkan dengan kutub positif. Pemilihan katoda dan Anoda bisa terlihat pada deret EMF antara Titanium dan Platina seperti pada Tabel 2.7. Elektrolit yang digunakan agar terjadinya reaksi pemisahan dengan menggunakan air laut. Reaksi elektrolisis merupakan reaksi yang kompleks oleh karena itu diperlukan visualiasi yang bisa menjelaskan bagaimana reaksi tersebut berjalan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20.



**Tabel 2. 7** Deret EMF terhadap Hidrogen

Electrode	E°/V
$\text{Li}^+ + e = \text{Li}$	-3.045
$\text{Mg}^{2+} + 2e = \text{Mg}$	-2.34
$\text{Al}^{3+} + 3e = \text{Al}$	-1.67
$\text{Ti}^{2+} + 2e = \text{Ti}$	-1.63
$\text{Cr}^{2+} + 2e = \text{Cr}$	-0.90
$\text{Zn}^{2+} + 2e = \text{Zn}$	-0.76
$\text{Cr}^{3+} + 3e = \text{Cr}$	-0.74
$\text{Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}$	-0.44
$\text{Ni}^{2+} + 2e = \text{Ni}$	-0.257
$\text{Pb}^{2+} + 2e = \text{Pb}$	-0.126
$2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$	0
$\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}$	0.34
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e = 4\text{OH}^-$	0.401
$\text{Fe}^{3+} + e = \text{Fe}^{2+}$	0.771
$\text{Ag}^+ + e = \text{Ag}$	0.799
$\text{Pt}^{2+} + 2e = \text{Pt}$	1.2
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e = 2\text{H}_2\text{O}$	1.229
$\text{Au}^{3+} + 3e = \text{Au}$	1.52

Pada gambar 2.14 terdapat dua garis lurus sejajar yang berukuran besar dan kecil. Yang berukuran kecil adalah sebagai kutub negatif dan berukuran besar adalah kutub positif. Arah panah diatas sumber adalah arah arus DC yang terjadi yaitu dari kutub positif ke kutub negatif. Maka akan terjadi reaksi pemisahan air laut dimasing masing elektroda.



**Gambar 2. 14** Reaksi Elektrolisis



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

Dalam teori elektrolisis apabila anoda yang digunakan inert (C, Pt, Au), maka reaksi yang akan terjadi adalah melihat dari anionnya. Karna pemisahan air laut, maka terjadi pembentukan Klorin, beda halnya apabila anoda yang digunakan bukan termasuk golongan inert. Sedangkan reaksi yang terjadi di katoda adalah pembentukan gas H<sub>2</sub> karna pada kation terjadi reaksi yang disebabkan unsur golongan IA. Reaksi lebih lengkapnya terlihat pada sub bab 2.4.

### 2.10 Evaluasi Awal

Setelah mengetahui apa saja tinjauan pustaka yang dibutuhkan maka langkah selanjutnya adalah mengetahui masalah sebenarnya dalam material yang mengalami gagal.

Pada Gambar 2.15 disajikan penampang kegagalan pada material. Material mengalami gagal karna terdapat lubang dengan lebar 7 mm dibagian bahan outer yang tidak memiliki lapisan platina, dalam hal ini sebagai anoda.



**Gambar 2. 15** Daerah Outer Tube yang Memiliki Kegagalan Berbentuk Lubang

selain itu masih pada sisi Titanium yang tidak memiliki coating, terdapat pula patahan pada ujung pipa seperti yang ditunjukkan Gambar 2.16



**Gambar 2. 16** Patahan Pada Ujung Pipa Outer Tube

Dalam tulisan sebelumnya banyak dibahas mengenai sisi titanium yang dilapisi platina maupun tidak. Berikut merupakan bentuk visual hasil dokumentasi. Pada Gambar 2.17 merupakan sisi titanium tanpa pelapisan yang nantinya digunakan sebagai katoda dan yang mengalami kegagalan material.



**Gambar 2. 17** Sisi Dalam dari Outer Tube tanpa Pelapisan Platina

---



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

Tube titanium ini bekerja pada lingkungan air laut, dimana air laut ini yang akan diubah menjadi gas Hidrogen dan Sodium Hipoklorit. Maka dari itu Gambar 2.18 merupakan air laut hasil klorinasi yang diambil untuk pengujian unsur yang mempengaruhi.



**Gambar 2. 18** Air Laut Hasil Klorinasi

Sebelum sel mengalami kegagalan, operator dapat memprediksi gejala yang akan ditimbulkan. Pada setiap sel mulai akan terlihat mengalami kegagalan apabila Tegangan tiap sel melebihi 7 V atau Arus setiap sel baik inlet ataupun outlet kurang dari 90 – 115 A. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.8 dan 2.9



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

**Tabel 2. 8** Perubahan Arus (I)

Tanggal	Jan-15	Feb-15	Mar-15	Apr-15	Mei-15	Jun-15
1				110-73		103-68
2	65-79		26-70			
3						
4			26-77		104-76	
5						
6		32-73	116-74			102-65
7				90-59		
8						
9						
10						
11						
12			115-78			
13						
14						
15						
16						
17			115-77			
18						
19					115-78	105-66
20		29-77		107-71		
21						
22						
23						
24						
25						98-61
26		27-76	114-77			
27	40-75			112-76	106-92	
28	37-75					
29						
						(BLOK 3, SEL Q)



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

**Tabel 2. 9** Perubahan Arus (II)

Jul-15	Agu-15	Sep-15	Okt-15	Nov-15	Des-15	Jan-16
95 - 57		85 - 52			20 - 20	
	95 - 57			43- 27		27 - 115
			65 - 34			21 - 106
						109 - 79
104 - 66		72 - 49				
				31 - 23		111 - 97
99 - 52		72 - 44			22 - 24	
		66 - 41				
	99 - 60		62 - 34			
	88 - 54	70 - 41		21 - 22		
92 - 58			46 - 28	19 - 16	36 - 24	

Sumbu x menjelaskan tentang perubahan bulan dari Januari 2015 – 2016 dan Sumbu y menjelaskan tentang perubahan tanggal yang bergerak maju. Angka yang terdapat diantara pertemuan tanggal dan bulan merupakan Arus yang tertera. Untuk angka disebelah kiri merupakan arus sisi Inlet sel Q yang terdapat di blok 3 dan Angka yang disebelah kanan merupakan arus sisi outlet sel Q yang terdapat di blok yang sama. 2 Januari 2015 merupakan awal permulaan pengecekan ketika tahun yang baru dimulai, yaitu Arus yang tertera disisi inlet adalah 65 A dan sisi outlet adalah 79 A, ini sudah menunjukkan tanda tanda material mulai mengalami *tube unbalance*. Kemudian pada 4 Maret 2015, pada sel Q mulai memperlihatkan arus yang sangat menurun yaitu 26 A untuk inlet dan 77 A untuk outlet. Ketika dilakukan pengecekan pada saat running tanggal 6 Maret 2015, sel Q pada



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

sisi inlet terbilang 116 A dan sisi outlet 74 A, hal ini menunjukkan bahwa salah satu tube yang ada pada sisi Inlet Q telah diganti, terlihat pada perubahan dari 26 A menuju 116 A. Pada 28 desember 2015, mulai memperlihatkan sell Q yang tak seimbang, baik pada inlet maupun outlet dengan nilai yang terbilang adalah 36 A inlet dan 24 A outlet. Pada Januari 2016 akhirnya Sel Q sisi Outlet mengalami pergantian ketika Arus yang terbilang kembali stabil dengan angka sebesar 115 A. 8 Januari 2016, sel Q sisi inlet mengalami pergantian tube lagi ketika 21 A menjadi 109 A.

Dari data tersebut sisi inlet butuh mengalami pergantian dari Maret 2015 ke Januari 2016 setelah pemakaian selama 10 Bulan, sedangkan sisi outlet perlu mengalami pergantian ketika data tahun baru yaitu dari Januari 2015 ke Januari 2016, yaitu sekitar 12 Bulan.

Setelah mengetahui keadaan tube yang mengalami kegagalan dan mengetahui tanda kegagalan material, Tabel 2.10 merupakan kondisi operasi lingkungan yang digunakan.

**Tabel 2. 10** Kondisi Operasi Chloropac PLTGU

Suhu Air	32,5°C Max
Produksi NaOCl	80M <sup>3</sup> /Jam
Arus Generator	4000 A
Tegangan Generator	65 V
Daya (Power Output)	260 kW



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

### 2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini pernah dilakukan oleh mahasiswa terdahulu yang mengidentifikasi material yang sama tetapi lingkungan yang berbeda.

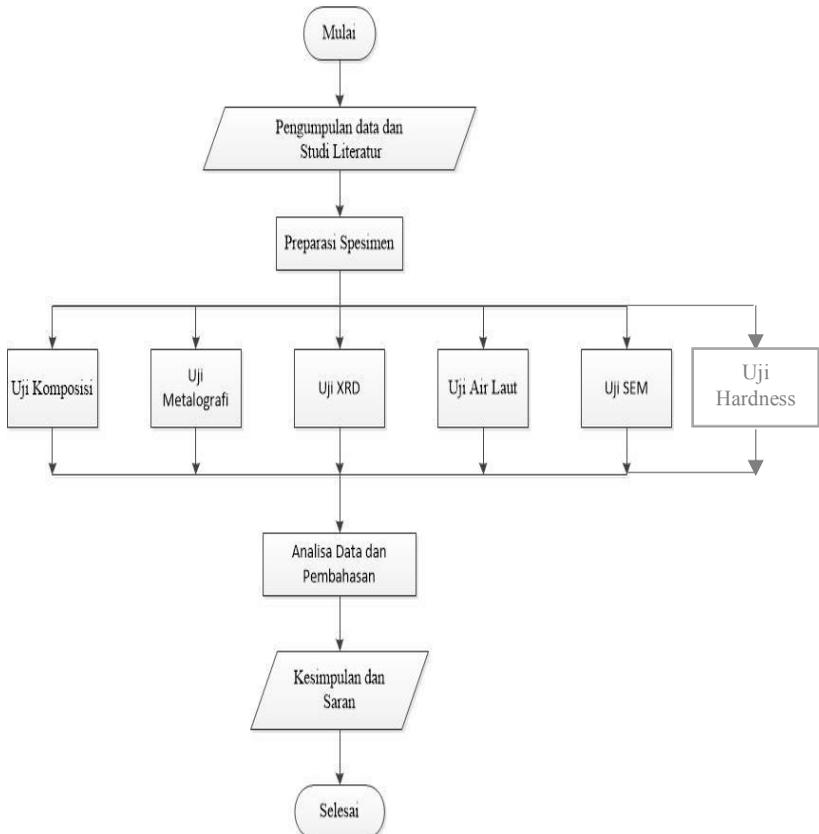
Kondisi yang sudah pernah diidentifikasi adalah chlorination plant pada PLTU dengan arus hanya 1200 A. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian makro, komposisi kimia, XRD, SEM, Mikroskop Optik. Penelitian sebelumnya menggunakan standar ASTM B 338 Grade. 1, dimana Grade 1 merupakan untuk tube yang di welding, bukan berupa tube seamless.. Identifikasi penyebab kegagalan pada tube yang rusak berupa korosi. Rekomendasi yang diberikan adalah dengan menebalkan pipa outer dan inner itu sendiri dan memasang pipa dengan kondisi tidak berselang seling.

Penelitian terhadap material yang sama juga pernah diteliti oleh Timet dan L. Briant. Menurut Timet, Titanium Metal Corporation Ada beberapa pemicu terjadinya Hydrogen Embrittlement seperti; PH dari larutan berada dibawah 3 atau melebihi 12, metal tersebut mengalami abrasi atau impressed potensial lebih negative dari -0,70, temperatur yang terdapat di lingkungan diatas 77°C, atau terdapat korosi galvanic. Lain halnya dengan Timet, L Briant pada tahun 1997 mengadakan penelitian terhadap Titanium Grade 2 dan 3 dalam lingkungan kerja yang berbeda, yaitu pada Air yang mengandung NaCl 3,5% (yang merepresentasikan air laut) dan NaCl 6%, Variasi pH, temperatur. Hasil Penelitian L. Briant menunjukkan pada Titanium Grade 2 yang bekerja pada air yang mengandung NaCl 3,5% dan temperatur mencapai 70 °C, kritikal potensial untuk pembuatan jarum hydrid semakin besar. jika ditarik kesimpulan menurut Timet dan L. Briant maka hydrid needle mulai terbentuk dalam temperatur 70 °C.

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian dapat dilihat dari rangkaian diagram alir penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dibawah ini:



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian



## BAB III METODOLOGI

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Outer Tube Titanium ASTM B 338 Grade 2 dengan Komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1

**Tabel 3. 1** Spesifikasi Komposisi Kimia ASTM B 338 Grade 2

Komposisi Kimia	Nilai Persentase
N	Max 0.03
C	Max 0.08
H	Max 0.015
Fe	Max 0.3
O	Max 0.25
Al	-
V	-
Tin	-
Ru	-
Pd	-
Co	-
Ni	-
Nb	-
Zr	-
Si	-
Ti	Balance

2. Air Laut
3. Amplas hingga grade 2000
4. Larutan Etsa

#### 3.2.2 Alat

Peralatan dan pengujian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Mesin Potong
2. Mesin Poles / Gerinda
3. Mikroskop Optik



4. Mesin Uji SEM-EDX
5. Mesin Uji XRD
6. Mesin Uji Air Laut
7. Mesin Spektrometri

### 3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain adalah:

1. Studi Lapangan  
Metode yang dipakai berbentuk pencarian informasi mengenai hal hal apa saja yang berkaitan dengan kegagalan material tersebut, meliputi komponen, lingkungan kerja, dan data data terkait.
2. Studi Literatur  
Metode yang digunakan mengacu kepada jurnal dan *handbook* terdahulu yang dapat membantu penelitian ini
3. Pengujian Material

### 3.4 Pengujian Material

Pengujian material yang dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi kegagalan material tersebut adalah:

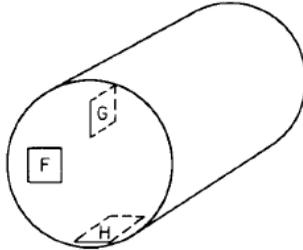
1. Pengujian Metallography
2. Pengujian XRD
3. Pengujian SEM-EDX
4. Pengujian Spektrometri
5. Pengujian air laut

#### 3.4.1 Pengujian Metallography

Dilakukan pada benda uji yang mengalami pelubangan yaitu dengan mengambil bagian yang mendekati lubang. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari outer tube pada chlorination plant dengan material titanium. Standar yang digunakan untuk preparasi spesimen adalah ASTM E3. Adapun langkah yang harus dipersiapkan sebelum melakukan pemeriksaan struktur mikro adalah sebagai berikut:



1. Pemotongan spesimen  
Pemotongan dalam bentuk tube dilakukan dengan bentuk kotak sekitar 12 – 25mm.



**Gambar 3. 2** Pemotongan Spesimen titanium

2. Mounting  
Mounting dilakukan menggunakan resin dan katalis yang dicampur
3. Proses *grinding* dan *polishing*  
*Grinding* dilakukan bertahap dengan menggunakan kertas gosok dari grade 200 hingga grade ukuran 2000. Kemudian dilakukan *polishing* menggunakan alumina cair.
4. Pencucian dengan air bersih
5. Proses etsa menggunakan larutan *Aquaregia*
6. Pengambilan gambar secara mikroskopis dilakukan dengan mikroskop optik dengan perbesaran 100 – 1000 x.



**Gambar 3. 3** Mikroskop Optik Olympus BX51M-RF



### 3.4.2 Pengujian XRD

*XRD* merupakan salah satu alat pengujian material yang biasanya digunakan untuk identifikasi unsur/senyawa (analisis kualitatif) dan penentuan komposisi (analisis kuantitatif). Pengujian *XRD* menggunakan sinar X yang dihasilkan dari tumbukan elektron kecepatan tinggi yang mengenai sasaran. Nanti akan muncul puncak-puncak yang spesifik hasil dari refleksi sinar X. Dari puncak tersebut dapat diketahui sel struktur, peak intensity yang menjelaskan Identifikasi komposisi hamburan tak koheren, sedangkan lebar puncak dapat mengetahui ukuran dari kristal.

Adapun langkah-langkah yang untuk melakukan pengujian *XRD* adalah sebagai berikut :

- Memasukan sampel ke *holder*, Kemudian *Holder* diletakkan ke dalam mesin *X-RD*. Setting pengukuran sudut dilakukan dengan rentang  $5-90^\circ$ , tetapi sudut terbaiknya adalah  $45^\circ$ . Tembak spesimen dengan sinar-X.
- Data tampil pada layar komputer berupa grafik horizontal dengan puncak-puncak grafik pada sudut tertentu.



**Gambar 3. 4** Mesin XRD PAN Analytical

### 3.4.3 Pengujian SEM

SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menganalisa permukaan dari objek solid secara langsung. Langkah-langkah yang dilakukan dalam *fractography* menggunakan SEM adalah sebagai berikut :



## BAB III METODOLOGI

---

1. Spesimen yang telah dipotong dibersihkan dengan hati-hati menggunakan *blower* untuk menghilangkan debu dan pengotor ringan lainnya.
2. Spesimen diletakkan diatas holder yang sebelumnya telah dilekatkan dengan *carbon tape*. *Carbon tape* berfungsi untuk melekatkan *holder* dengan sampel

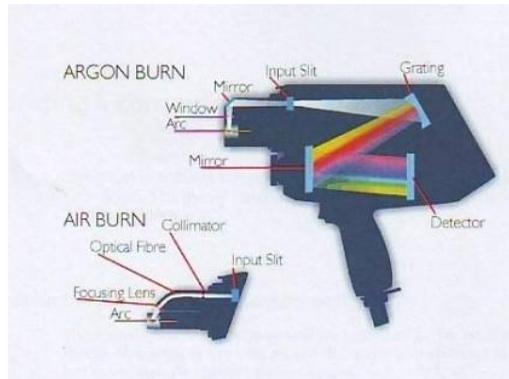
Holder yang telah berisi spesimen dimasukkan kedalam mesin SEM pada Gambar 3.5 dan siap dilakukan proses pengamatan. Pada layar komputer akan tampak permukaan spesimen dengan berbagai perbesaran yang bisa diatur sesuai keinginan.



**Gambar 3. 5** Mesin SEM FEI INSPECT S50

### 3.4.4 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan mesin XRF (X – Ray Fluorescence) untuk mengetahui komposisi kimia dari Outer Tube apakah sesuai dengan standar material yang ada. Mekanisme dari uji komposisi menggunakan XRF adalah berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar – x yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target pada sampel terkena sinar berenergi tinggi.



**Gambar 3. 6** Mesin XRF XL3t-91347

### 3.4.5 Pengujian Kandungan Air Laut

Pengujian kandungan air laut menggunakan alat spektrofotometri. Spektrofotometri merupakan salah satu metode dalam kimia analisis yang digunakan untuk menentukan suatu sampel baik secara kuantitatif dan kualitatif yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan cahaya. Peralatan yang digunakan dalam spektrofotometri disebut spektrofotometer. Cahaya yang dimaksud dapat berupa cahaya visibel, UV dan inframerah, sedangkan materi dapat berupa atom dan molekul namun yang lebih berperan adalah elektron valensi. Spektrofotometer umum digunakan karena kemampuannya dalam menganalisa begitu banyak senyawa kimia serta kepraktisannya dalam hal preparasi sampel apabila dibandingkan dengan beberapa metode analisa (Herliani, 2008)

**Gambar 3. 7** Mesin Spektrofotometer

Berikut merupakan rangkuman pengujian apa saja yang dilakukan pada Tabel 3.2

**Tabel 3. 2** Pengujian yang digunakan

Pengujian	Outer Tube	Gambar Penampang
Metalografi	V	
XRD	V	
SEM	V	
Komposisi Kimia	V	
Air Laut	V	

### 3.4.6 Uji Kekerasan

Pada pengujian kekerasan dengan menggunakan metode vickers sesuai dengan ASTM E92 dilakukan beberapa tahap pengerjaan. Tahap – tahap yang dilakukan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan specimen sesuai dengan standart dari literatur yang digunakan.



2. Spesimen yang digunakan dalam pengujian hardness vickers adalah material memerlukan tingkat kehalusan dari permukaan specimen uji hampir sehalus pada specimen foto makro, kurang lebih hingga grade 2000.
3. Mempersiapkan peralatan pengujian hardness
4. Pengujian dilakukan pada daerah dekat lubang dan jauh dari lubang.
5. Meletakkan material uji pada meja kerja, menekan indenter pada masing – masing lokasi yang diinginkan pada masing – masing specimen dengan beban sebesar 60 kg
6. Indentor berbentuk diamond diletakkan pada tempat yang akan diuji kekerasannya dengan cara menarik handle yang ada di samping mesin. Handle dilepas, sehingga indenter akan menekan spesimen dengan dwell time 10 detik.
7. Mencatat hasil pengukuran.



**Gambar 3. 8** Alat Uji Hardness HBRV



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## **BAB IV**

### **HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Analisis**

##### **4.1.1 Hasil Pengujian Komposisi kimia**

Pengujian komposisi kimia menggunakan bantuan alat X – Ray Fluoresence yang dilakukan di PT. PJB UP. Gresik untuk mengetahui kesesuaian komposisi unsur penyusun Titanium yang dianalisis dengan acuannya, yaitu ASTM B 338 Grade 2.

**Tabel 4. 1 Hasil Komparasi Komposisi Kimia**

<b>Unsur</b>	<b>ASTM B 338 Grade 2</b>	<b>Hasil uji Outer Tube</b>
<b>Nitrogen</b>	0.03 (max)	(-)
<b>Carbon</b>	0.08 (max)	(-)
<b>Hydrogen</b>	0.015 (max)	(-)
<b>Iron</b>	0.20 (max)	0.073
<b>Oxygen</b>	0.18 (max)	(-)
<b>Aluminium</b>	(-)	1.036
<b>Vanadium</b>	(-)	0.788
<b>Tin</b>	(-)	(-)
<b>Ruthenium</b>	(-)	0.004
<b>Palladium</b>	(-)	0.002
<b>Cobalt</b>	(-)	0.045
<b>Molybdenum</b>	(-)	0.003
<b>Chromium</b>	(-)	0.190
<b>Nickel</b>	(-)	0.071
<b>Niobium</b>	(-)	0.004
<b>Zirconium</b>	(-)	0.004
<b>Silicon</b>	(-)	0.195
<b>Titanium</b>	Balance	99.950

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa hasil dari pengujian komposisi kimia menggunakan XRF pada material titanium



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

---

yang mengalami kegagalan sesuai dengan komposisi pada ASTM B 338 Grade 2. Outer tube yang diperiksa adalah bagian dalam yang berkontak langsung dengan air laut yang mengalir. Hasil uji komposisi ini masih terdapat kemungkinan perbedaan angka yang disebabkan oleh “*error*” mengingat posisi pada titanium yang melengkung. Pada hasil uji menggunakan XRF, jumlah Nitrogen, Oksigen, Karbon, dan Hidrogen yang dideteksi kemungkinan sangat kecil dari maksimum yang diperbolehkan, sehingga tidak terbaca. Dalam hasil pengujian ini pula diketahui bahwa selain Titanium sebagai base metal, terdapat Aluminium yang sebagai stabilisator alfa dan Vanadium sebagai stabilisator beta.

### 4.1.2 Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari aktivitas kerja *chlorination plant* yang menyebabkan kerusakan berupa lubang pada *tube* titanium terhadap perubahan fasa menggunakan mikroskop optik untuk mendapatkan struktur mikro dengan yang sebelumnya telah dietsa dengan Kroll Reagen (ASTM E 407). Alat yang digunakan adalah *Olympus BX51M-RF* yang terdapat pada Laboratorium Metalurgi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Terdapat 2 titik yang diamati pada pengujian metalografi. 2 titik tersebut memiliki perbedaan letak, yakni titik pertama atau titik 1 merupakan daerah yang dekat dengan lubang, sedangkan titik 2 merupakan potongan yang jauh dari lubang. Berikut merupakan ilustrasinya yang terdapat pada Gambar 4.1



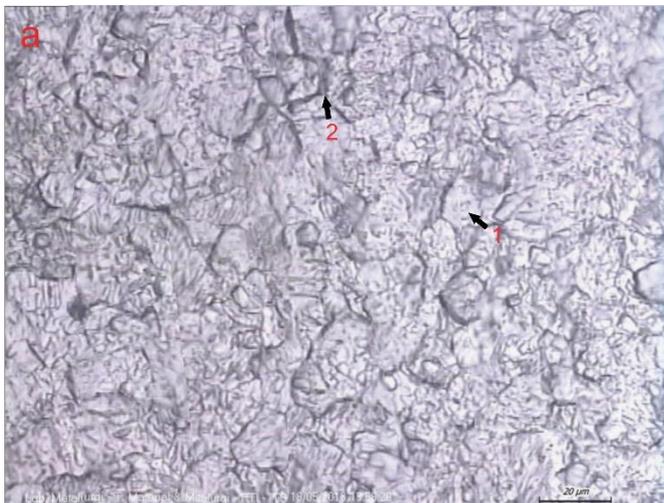
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

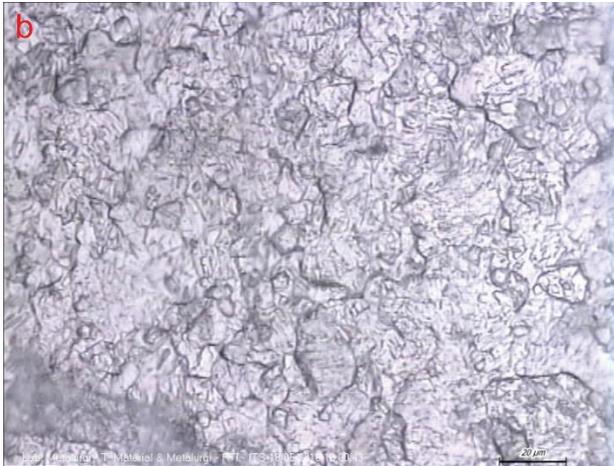


(a)

(b)

**Gambar 4.1** (a) Titanium yang sudah dipotong. (b) Titanium yang sudah dietsa dan memiliki 2 titik.



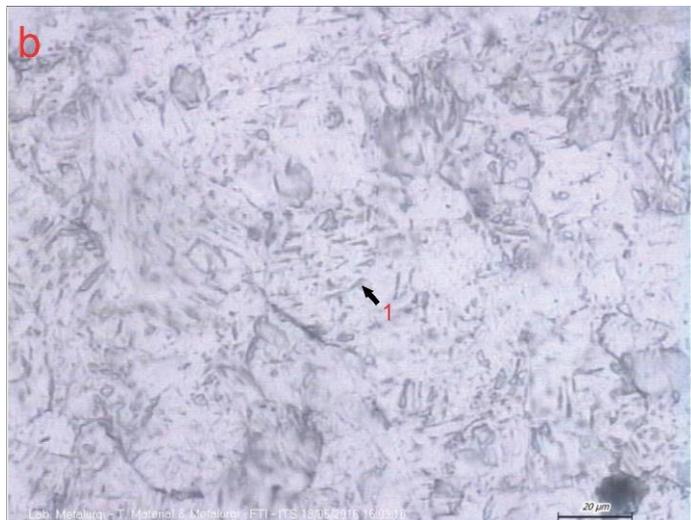
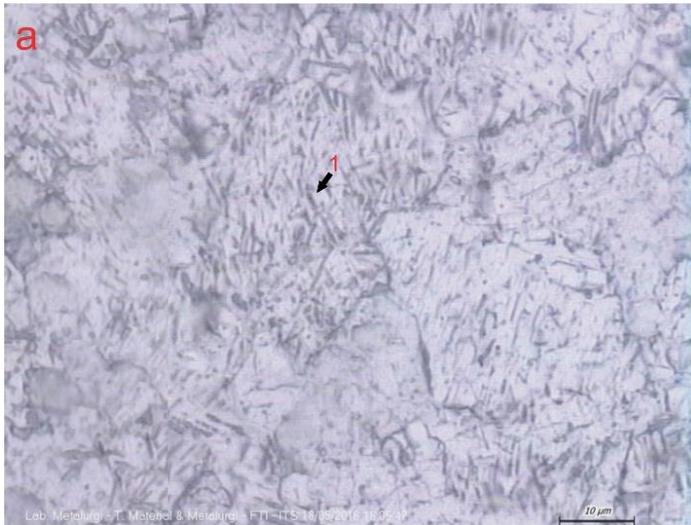


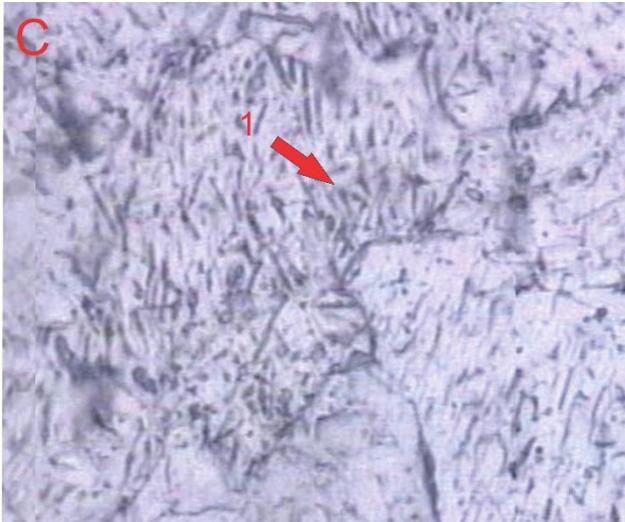
**Gambar 4. 2** (a) Perbesaran 50 X Dekat dengan Lubang. (b) Perbesaran 50x Jauh dari Lubang

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa Outer tube sisi dalam dengan perbesaran 50x memiliki struktur mikro menyerupai “plate” yang berwarna lebih terang dari sekitarnya yang merupakan fase alfa (ditunjukkan dengan angka 1 pada gambar) dan seperti garis-garis hitam atau bagian yang lebih gelap menunjukkan intergranular beta (ditunjukkan dengan angka 2 pada gambar). Ini bersesuaian menurut *ASM Committee on Metallography of Titanium and Titanium Alloys*.



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN





**Gambar 4. 3** (a) Perbesaran 100x dekat dengan lubang (b) perbesaran 100x jauh dari lubang (c) perbesaran pada bagian Hydride Needle sample (a)

Lain halnya untuk perbesaran 100x terdapat perbedaan yang bisa dilihat dibandingkan dengan perbesaran 50x. Pada Gambar 4.3 hasil perbesaran 100x tidak terlalu berbeda jauh antara yang dekat dengan dekat lubang dan jauh dari lubang, hanya saja pada plate metalnya terdapat seperti jarum jarum yang disebut dengan “*Hydride Needle*” (ditunjukkan dengan angka 1). Jarum ini disebabkan oleh Hidrogen yang masuk kedalam matriks titanium. Matriks ini memiliki sifat yang mudah rapuh dan ketika rapuh mudah sekali terhempas dengan aliran air dan pasir yang bersifat abrasif menyebabkan pipa menjadi berlubang. Hidrogen yang masuk biasa terjadi pada kebanyakan aluminium, baja karbon, titanium, dan baja tahan karat feritik. Hidrogen bisa masuk disebabkan oleh aktivitas dari proses kimia didalamnya, hydrogen yang bereaksi bisa berasal dari luar ataupun hydrogen hasil sampingan dari proses klorinasi (J. Schumerth).

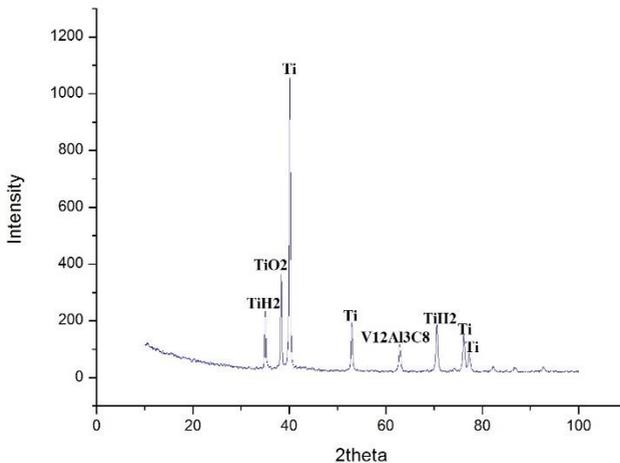


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1.3 Hasil Pengujian X – Ray Diffraction

X – Ray Diffraction atau yang sering dikenal XRD bertujuan untuk menganalisis apakah terdapat senyawa yang masuk ke dalam titanium ataupun beraksi dengan titanium. Analisis XRD yang dilakukan memakai 2 titik, yaitu titik dekat lubang dan jauh dari lubang. Dari hasil XRD diperoleh *peak-peak* dengan intensitas tertentu. *Peak-peak* yang memiliki intensitas tertinggi dicocokkan dengan kartu PDF untuk mengetahui fasa atau senyawa apa yang terdapat pada sampel.

Berikut merupakan hasil analisa XRD yang dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS yang terdapat pada Gambar 4.4 dan 4.5



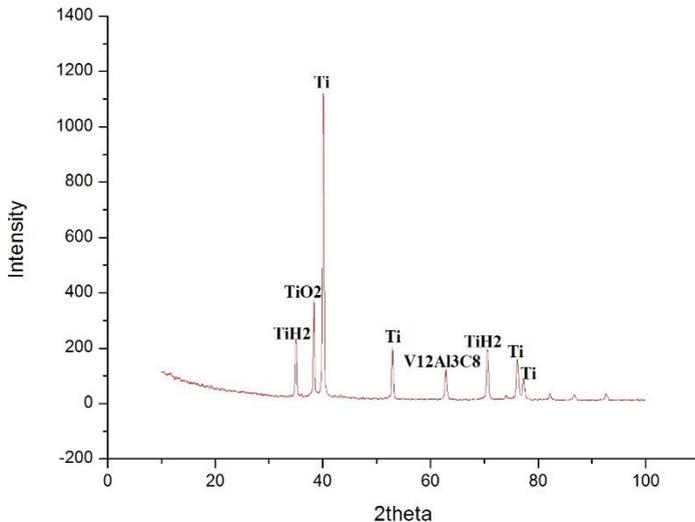
**Gambar 4. 4** Hasil XRD Dekat dengan Lubang

Pada Gambar 4.4 disajikan hasil XRD dengan *Peak* tertinggi terdapat pada  $2\theta = 40.0705^\circ$  dengan *peak height* sebesar 1118.90 cts yang dimiliki oleh Titanium. Untuk *peak* tertinggi kedua dengan *peak height* 408.34 cts terletak pada  $2\theta =$



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

$38.3137^\circ$  dimiliki oleh  $\text{TiO}_2$  dan *peak* tertinggi ketiga memiliki *peak height* 245.43 cts pada  $2\theta = 35.0041^\circ$  dimiliki oleh  $\text{TiH}_2$



**Gambar 4. 5** Hasil XRD Jauh dari Lubang

Pada Gambar 4.5 disajikan hasil XRD dengan *Peak* tertinggi terdapat pada  $2\theta = 40.0969^\circ$  dengan *peak height* sebesar 1228.94 cts yang dimiliki oleh Titanium. Untuk *peak* tertinggi kedua dengan *peak height* 438.17 cts terletak pada  $2\theta = 38.3323^\circ$  dimiliki oleh  $\text{TiO}_2$  dan *peak* tertinggi ketiga memiliki *peak height* 248.24 cts pada  $2\theta = 35.0154^\circ$  dimiliki oleh  $\text{TiH}_2$ . Secara keseluruhan, *pattern* yang dihasilkan jauh dari lubang sama dengan yang dekat dengan lubang, hanya terjadi penurunan atau kenaikan pada intensitas antara keduanya.

Titanium dan  $\text{TiO}_2$  mengalami penurunan.  $\text{TiO}_2$  dalam bentuk perlindungan yang ada pada lapisan titanium dan titanium sendiri mengalami penurunan disebabkan oleh



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

---

terjadinya pengeroposan pada outer tube disebabkan oleh sobeknya lapisan  $\text{TiO}_2$  yang berupa lapisan pelindung hingga ke base metal titanium. Titanium yang tersobek dan menyebabkan pembuatan lubang bertahap oleh hempasan aliran air dan pasir yang bersifat abrasif. Titanium oksida yang berupa lapisan film pelindung terbentuk dari reaksi lapisan terluar titanium dengan air yang memiliki reaksi sebagai berikut:  $\text{Ti} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{TiO}_2 + 2\text{H}_2$ , selain itu titanium bisa bereaksi dengan udara bebas membentuk reaksi  $\text{Ti} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{TiO}_2$

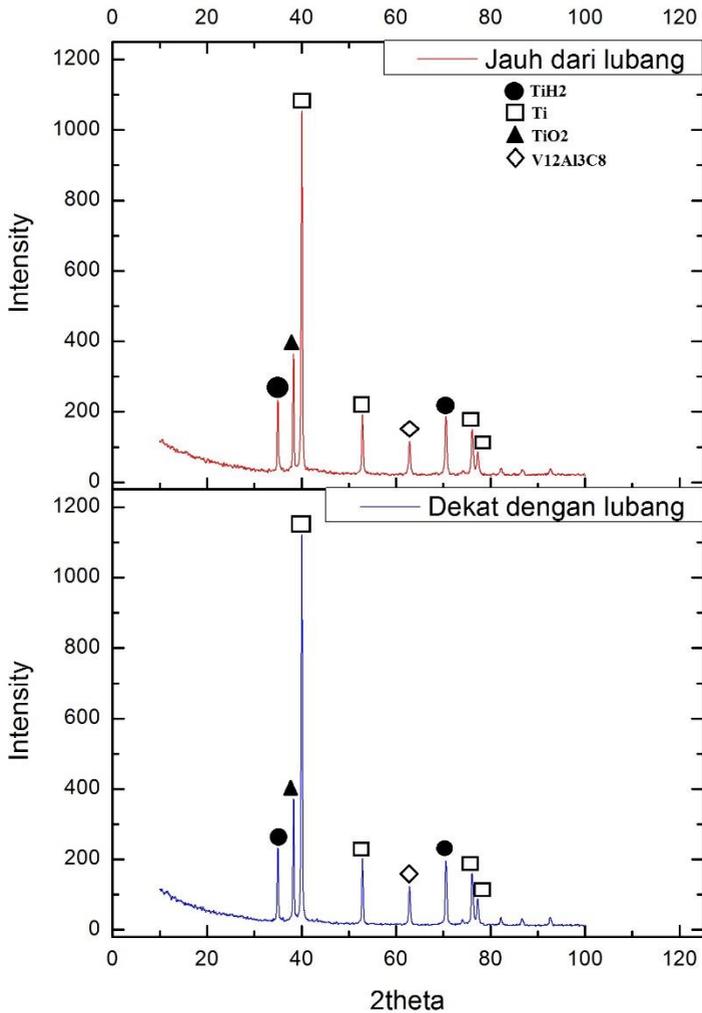
Penyusupan Hidrogen ke dalam titanium dari lingkungan dapat berbentuk  $\text{TiH}$  ataupun  $\text{TiH}_2$ . Hidrogen yang dihasilkan merupakan produk sampingan dari reaksi chlorination plant, seperti pada reaksi dibawah ini yang tertera pada bab 2 sebelumnya.



Sedangkan berikut ini merupakan reaksi pembentukan titanium hidrida:  $\text{Ti} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{TiH}_2$

Penyusupan hydrogen ini dinamakan reaksi hydrogen embrittlement. Produk hydrogen ini berupa serbuk abu kehitaman yang wajar terbentuk, namun gas  $\text{H}_2$  ini tidak diperbolehkan berdifusi kedalam titanium.

Berikut merupakan perbandingan diantara kedua grafik hasil XRD seperti yang terlihat pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Perbandingan Grafik Hasil XRD



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1.4 Hasil Pengujian Kandungan Air Laut

Pengujian kandungan air laut bertujuan untuk mengetahui kadar kandungan senyawa sampingan yang terjadi pada hasil klorinasi air laut, baik reaksi pemisahan maupun reaksi pembentukan yang berpengaruh. Pengujian kandungan air laut dilakukan di dua tempat, yakni Jurusan Teknik Kimia ITS dan Kimia ITS. Tabel 4.2 menunjukkan parameter apa yang diuji, hasil analisa, serta metode analisisnya.

**Tabel 4. 2** Hasil Pengujian Kandungan Air Laut

Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
NaOCl	ppm	72400	Argentometri
CaCO <sub>3</sub>	ppm	720	Titrimetri
Mg(OH) <sub>2</sub>	ppm	3287	Titrimetri
FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	0,161	AAS
pH	9,3		pH Meter

Karakteristik kualitas air laut yang terdapat pada ujung kanal PLTGU ini memiliki kandungan lumpur yang paling tinggi jika dibandingkan daerah kanal lain, hal ini disebabkan karena ujung kanal merupakan daerah hilir aliran kanal, sehingga menampung banyak kandungan lumpur, sampah serta plastik. Kandungan lumpur yang mengendap didalam tube ini yang menyebabkan panas terpusat serta menimbulkan turbulensi aliran air yang mengalir. Reaksi penggaraman yang terjadi pada air laut hasil efek samping reaksi klorinasi adalah pembentukan kristal garam. Kristal garam yang diuji adalah CaCO<sub>3</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>, FE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>, FE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan NaOCl.

NaOCl merupakan hasil utama dari proses klorinasi sehingga sangat banyak hasil yang didapatkan serta sesuai dengan jumlah yang dihasilkan oleh chlorination plant.

Tidak terdapat MnO<sub>2</sub> pada hasil uji air laut yang dilakukan, apabila adapun terlampau kecil. Parameter yang lain jika dibandingkan dengan NaOCl sangatlah berbeda jauh.

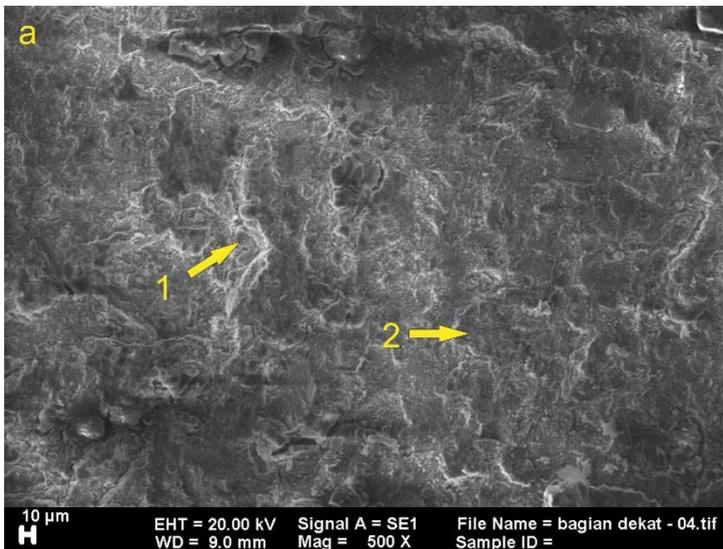


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk  $\text{CaCO}_3$  bahkan 1/100 untuk perbandingannya.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  sekitar 1/18, dan untuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sangat kecil. Wajar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang diproduksi dari air laut sangatlah kecil dan sifat Kristal berasal dari golongan IA dan IIA. pH yang didapatkan sebesar 9,3.

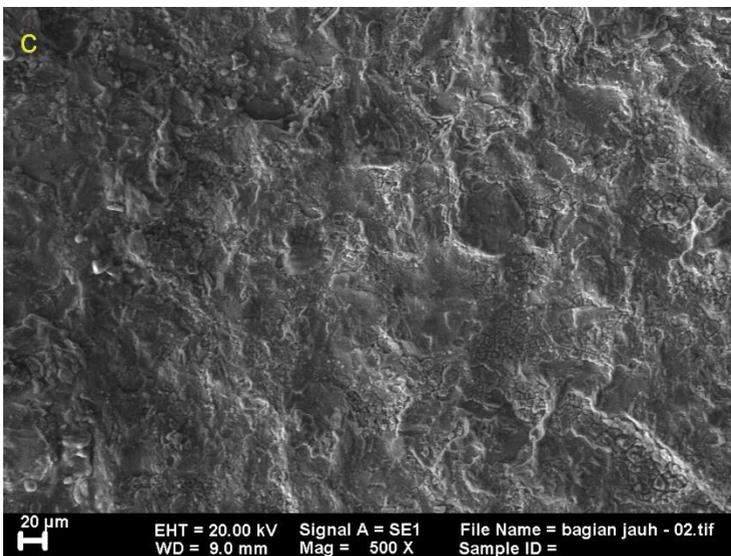
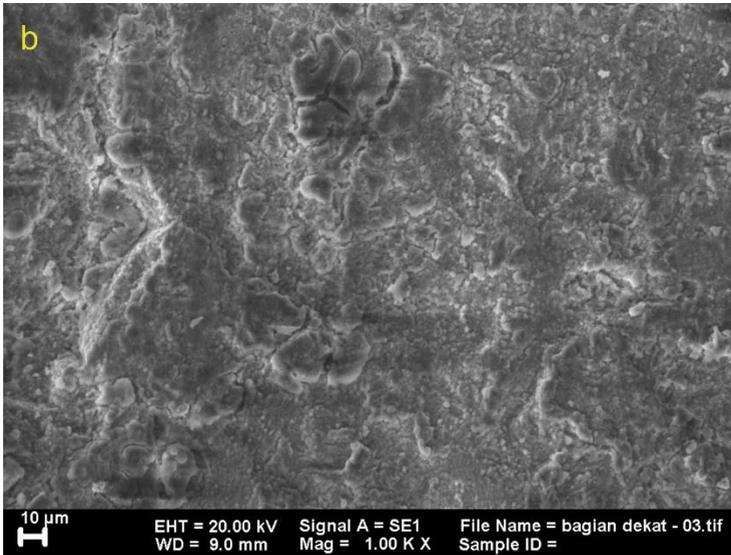
### 4.1.5 Pengujian SEM

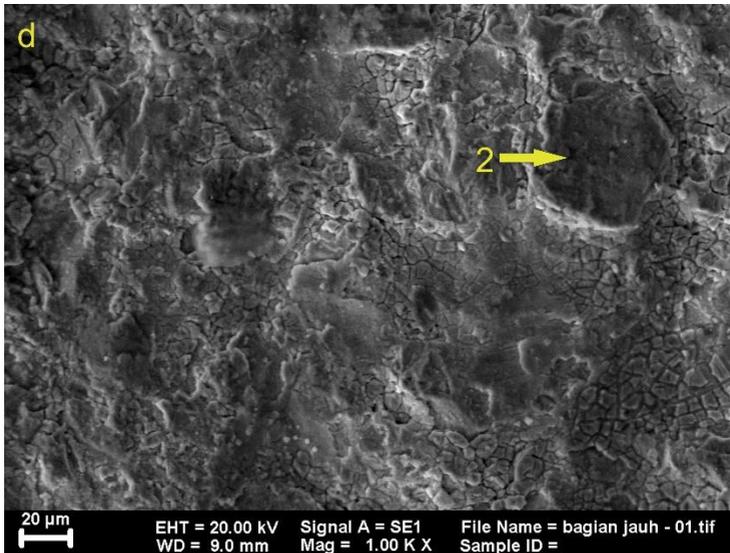
Pengujian Scanning Electron Microscope atau yang biasa disebut SEM, berguna untuk mencari tau bagaimana kondisi dari permukaan secara 3 dimensi dan mengetahui morfologi permukaannya. Pengujian SEM dilakukan di Laoratorium Energi ITS. Ada dua titik yang diuji. Titik tersebut seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.1 (b) meliputi titik yang dekat lubang dan jauh dari lubang. Pada Gambar 4.6 disajikan perbesaran 500x dan 1000x untuk kedua titik tersebut. Berikut merupakan hasil analisanya





## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN





**Gambar 4. 7** (a) perbesaran 500x dekat lubang (b) perbesaran 1000x dekat lubang (c) perbesaran 500x jauh lubang (d) perbesaran 1000x jauh lubang

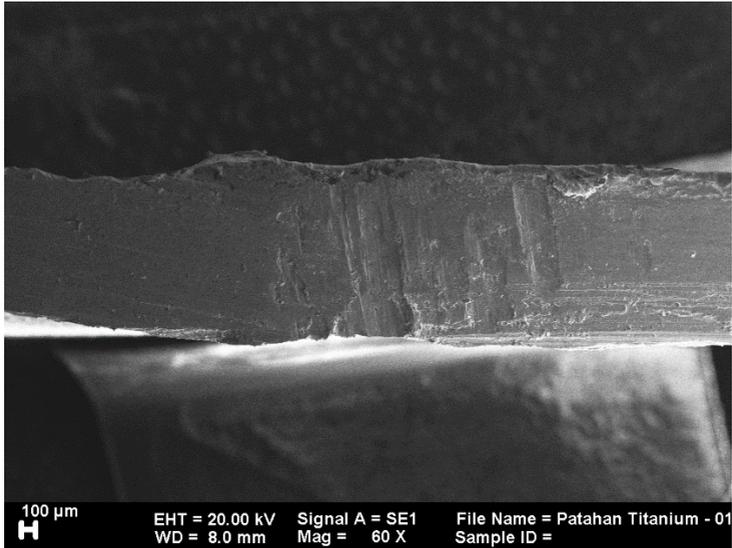
Pada hasil pengujian SEM dengan perbesaran 500x tertera pada Gambar 4.6 a dan b yang dilakukan didaerah dekat dengan patahan dari lubang yang terbentuk mengidentifikasi terdapat permukaan menyerupai pita pita tipis atau yang biasa disebut dengan “*slip bands*” (ditunjukkan dengan angka 1) dan kekosongan atau *Voids* (ditunjukkan dengan angka 2). Pada hasil pengujian dengan perbesaran dekat lubang memiliki lebih banyak *Slip Bands* dengan posisi yang tak beraturan daripada yang jauh dari lubang. Pada Gambar tersebut juga disajikan *Voids* atau kekosongan yang terbentuk disekitar *slip bands*. Dari hasil SEM dengan perbesaran 1000x yang jauh dari lubang, terdapat *voids* lebih banyak dan nampak cukup besar tetapi sedikit *slip bands* yang lebih menyerupai pecah pecah tidak seperti benang tipis.



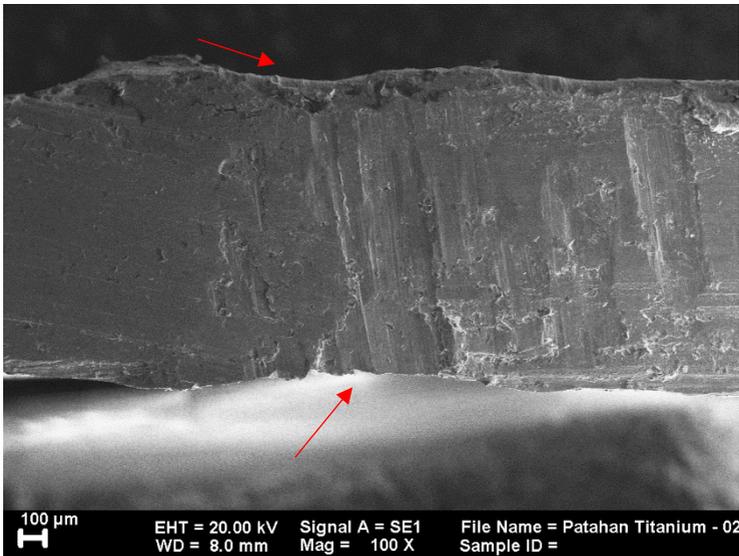
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

---

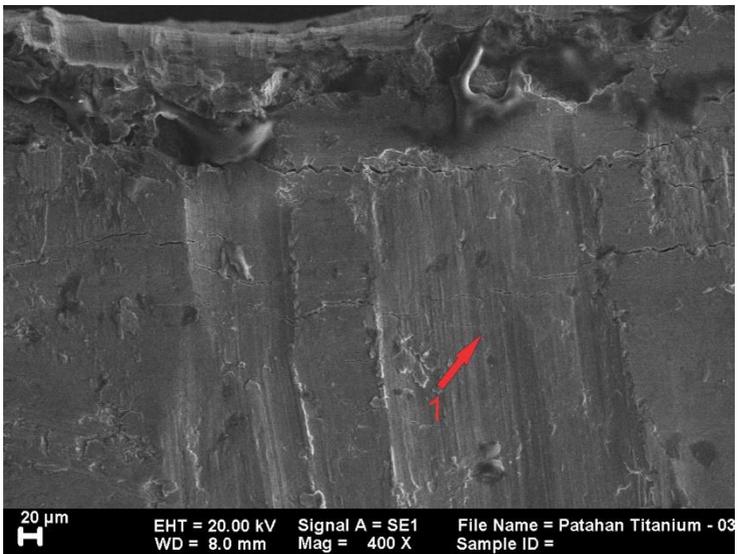
Pada Gambar 4.8 hingga 4.11 disajikan hasil pengujian SEM pada daerah tepat dipatahannya.



**Gambar 4. 8** Perbesaran 60x pada Patahan



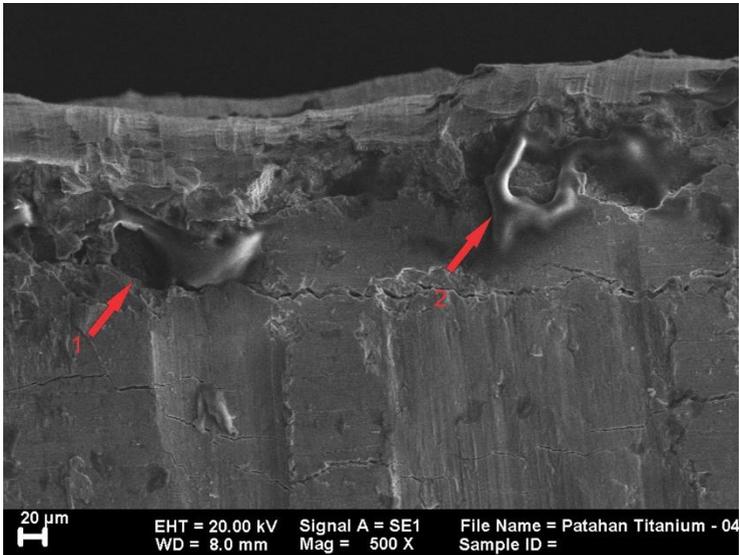
**Gambar 4. 9** Perbesaran 100x pada Patahan



**Gambar 4. 10** Perbesaran 400x pada Patahan



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



**Gambar 4. 11** Perbesaran 500x pada Patahan

Pada Gambar 4.7 dengan perbesaran 60x terlihat alur patahan yang berbeda dengan sekitarnya. Bagian tengahnya memiliki patahan vertical yang merupakan patahan dari bawah keatas yang menyebabkan terbentuknya lubang. Gambar 4.8 yang merupakan perbesaran 100x semakin terlihat komparasi yang berbeda dimana patahan vertical ternyata cukup banyak serta terdapat cekungan dibagian bawah dan atasnya (ditunjukkan dengan garis merah dan angka 1) pada alur patahan terbesar. Gambar 4.9 merupakan perbesaran 400x, terlihat alur patahan menyerupai rambut tipis lurus vertikal dari bawah keatas (ditunjukkan dengan angka 1) disepanjang patahan dan berjumlah banyak, ini membuktikan bahwa patahan yang terbentuk hingga terciptanya lubang merupakan patahan yang bersifat ulet karna terjadi deformasi plastis. Gambar 4.10 dengan perbesaran 500x dibagian atas dapat terlihat pula *Voids* (ditunjukkan dengan nomor 1) dan *slip bands* (ditunjukkan



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

dengan nomor 2) terletak di kanan dan kiri, serta terbentuk cekungan hasil patahan yang cukup lebar. (Briant, 1997)

### 4.1.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat penurunan kekerasan pada bagian yang jauh dari lubang dan dekat dengan lubang. Pengujian kekerasan yang dilakukan adalah macrohardness dengan metode Vickers (VHN). Hasil pengujian terhadap Titanium B 338 Grade 2 yang telah mengalami kegagalan material berupa terbentuknya lubang dapat dilihat pada Tabel 4.3. Posisi yang diuji adalah yang jauh dari lubang dan dekat dengan lubang dengan pembebanan sebesar 60 Kg. Nilai kekerasan yang didapat dari Titanium B 338 Grade 2 hasil proses klorinasi pada daerah dekat lubang sebesar 124 VHN, sedangkan yang jauh dari lubang sebesar 170 VHN, seperti yang tertera pada Tabel 4.3 dibawah ini.

**Tabel 4. 3** Data Hasil Uji Kekerasan

Posisi	Load	Nilai Kekerasan (HVN)
Jauh Dari Lubang	60 Kg	170
Dekat dengan Lubang	60 Kg	124

### 4.2 Pembahasan

Pada hasil pengujian komposisi kimia didapatkan hasil yang sesuai dengan acuan pada titanium yang digunakan, yaitu titanium grade 2 yang lebih dikenal dengan “CP Titanium” atau Commercially Pure Titanium.

Dari hasil pengujian metalografi dapat ditemukan fase alfa berupa kepingan dan intergranular beta di grain boundary, selain itu terlihat juga *Hydrid needle* yang tersebar merata. Hydrid needle ini terbentuk ketika hydrogen hasil reaksi



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

---

sampingan chlorination plant berdifusi masuk ke logam titanium yang sudah tersobek lapisan film pelindungnya akibat kenaikan temperatur hingga batas ambang yaitu 70 °C dan akibat abrasi dari air laut, sehingga besar kemungkinan terjadi hydrogen embrittlement. Hydrid needle yang terbentuk pada Gambar 4.2 dan 4.3 serupa dengan yang telah diteliti oleh J. Schumerth pada Gambar 2.10. dengan hasil uji coba seperti pada Gambar 2.10 dan 2.11

Selanjutnya didapatkan hasil XRD yang menunjukkan pengurangan jumlah senyawa dari hasil pengujian dekat dengan lubang seperti Gambar 4.4 dan jauh dari lubang seperti pada Gambar 4.5. Terjadi pengurangan titanium dan titanium oksida sebagai base metal dan film pelindungannya dikarenakan sobek akibat panas yang terpusat dan abrasi dari air laut yang mengalir. Titanium hidrida yang merupakan produk utama *hydrogen embrittlement* terlihat sama, karna titik yang diuji hanya yang dekat dengan lubang, bukan permukaan yang berlubang dikarenakan sudah terkena efek abrasi. Hasil ini cocok dengan teori dimana terjadi pengurangan kadar titanium.

Pengujian berikutnya adalah uji kandungan mineral pada air laut untuk mengetahui pengaruh dari garam yang mengkristal. Garam yang mengkristal tidak berpengaruh terhadap pelubangan karna jumlah yang dihasilkan sangat kecil jika dibandingkan dengan NaOCl. air yang mengalir tidak berpengaruh terhadap, kecuali apabila pH-nya terlampaui asam maupun basa, sedangkan pH yang diuji adalah 9,3. Walaupun PH 9,3 seperti tidak terlalu berpengaruh, tetapi ketika temperatur lingkungan yang terdapat dalam proses terlampaui melewati batas (diatas 70 °C )yang disarankan maka bisa terjadi Hidrogen Embrittlement, ini dalam sisi pH. Tidak seperti mineral, lumpur yang menghambat justru bisa menjadi penyebab kerusakan pada pipa karna panas yang terpusat dan gerusan dari air laut.

Pengujian selanjutnya yang dilakukan adalah uji SEM. Pada pengujian SEM ini ditemui *Void* dan *Slip band*. Void dan



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

---

slip bands merupakan efek dari *Hydrogen Embrittlement* yang bersifat rapuh ketika diterpa aliran air secara terus menerus. Slip band merupakan hasil disklokasi atom atom didalam titanium yang ketika temperature naik melebihi ambang batas menyebabkan pergerakan ke salah satu sisi sehingga membentuk pita. Disisi lain, desakan atom ke salah satu sisi menimbulkan lubang yang akan diisi oleh hydrogen yang menyebabkan pembentukan voids. Beberapa kumpulan *slip bands* kecil ini berkumpul bersama dan menyebabkan patah karna sifatnya rapuh. Seperti teori *mikro crack* yang menyebabkan *macro crack*. Hal ini bersesuaian seperti yang dijelaskan oleh L. Briant dalam penelitiannya di tahun 1997 yang berjudul *Hydriding Titanium* yang menfokuskan diri pada titanium grade 2 dan 3 dalam lingkungan kadar NaCl 3,5%, pH 8, Temperatur lingkungan 70 °C dan Impressed Potensial yang melewati batas perlindungan hingga -1400 mV<sub>sce</sub> pada Gambar 2.11.

Pengujian yang terakhir adalah pengujian kekerasan. Pengujian menggunakan indenter berupa berlian berbentuk limas segi empat, hasil indentasi yang besar menunjukkan kekerasan yang kecil, sedangkan hasil indentasi yang lebih besar kecil menunjukkan kekerasan yang besar. Unalloyed Commercially Pure Titanium memiliki angka kekerasan Vickers disekitar 160 VHN. Hasil kekerasan mengalami penurunan dari 170 VHN pada posisi jauh dari lubang, menjadi 124 VHN posisi yang dekat dengan lubang. Hal ini mencerminkan terjadi penurunan kekerasan pada titanium yang mengalami kegagalan. Salah satu efek dari hydrogen embrittlement adalah terjadinya penurunan kekerasan yang berujung pada pengeroposan pada material dasar (Froes, 2015).

Mekanisme yang terjadi hingga menyebabkan kegagalan material berawal dari kenaikan temperatur diatas temperatur ambang maksimum yaitu 70 °C pada saat alat bekerja menyebabkan panas terpusat pada suatu titik dan juga tekanan tinggi dari air yang mengalir menyebabkan sobeknya



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

---

lapisan film tipis pelindung titanium oksida yang memudahkan masuknya hidrogen ke dalam titanium. Proses masuknya hidrogen ke dalam logam titanium dinamakan hydrogen embrittlement yang ketika dalam posisi jenuh menyebabkan pembentukan hydrid needle, dan slip band. Hydrid needle dan slip band ini bersifat rapuh yang bisa berujung pembentukan lubang lubang kecil atau void di titik tertentu. Lalu lubang lubang kecil ini bertemu dan menyebabkan pembentukan lubang yang lebih besar hingga menyebabkan kegagalan material berupa penurunan kekerasan, pengurangan kadar base metal titanium, ataupun terbentuk senyawa diluar seharusnya seperti titanium hidrida. Kenaikan temperatur diatas ambang batas yang diikuti masuknya Hidrogen menjadi faktor utama kegagalan material dihasilkan dari air laut sebagai efek samping reaksi klorinasi. Hidrogen ini tidak bisa dihindari namun dapat dicegah untuk berdifusi ke dalam titanium yang dimaksud dengan menjaga dan mengatur temperatur pada saat alat bekerja.



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

# LAMPIRAN

## 1. Komposisi Kimia

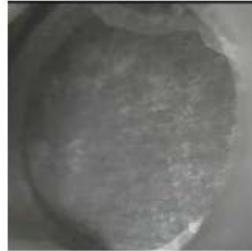
**Thermo**  
SCIENTIFIC

Thermo Fisher Scientific  
900 Middlesex Turnpike  
Billerica, MA 01821

### Certificate of Verification

XL3t-91347

Reading No 722  
Mode General Metals  
Time 2016-01-12 11:52  
Duration 30.00  
Units %  
Sigma Value 2  
Sequence Final  
Alloy1 Ti-CP : 0.00  
Alloy2 No Match : \*2.89  
Flags  
SAMPLE inner tube chlor  
HEAT  
LOT  
BATCH  
MISC  
NOTE



	%	±	Error
Sb	< LOD	:	0.017
Sn	< LOD	:	0.017
Cd	< LOD	:	0.014
Pd	< LOD	±	0.013
Ag	< LOD	:	0.022
Ru	< LOD	:	0.004
Mo	< LOD	:	0.003
Nb	< LOD	:	0.004
Zr	< LOD	:	0.004
Bi	< LOD	:	0.006
Pb	< LOD	:	0.006
Se	< LOD	:	0.004
Au	< LOD	:	0.002
W	< LOD	:	0.043
Zn	< LOD	:	0.012
Cu	< LOD	:	0.041
Ni	< LOD	:	0.071
Co	< LOD	:	0.045
Fe	< LOD	±	0.073
Mn	< LOD	:	0.115
Cr	< LOD	±	0.190
V	< LOD	±	0.788
Ti	99.950	±	0.670
Al	< LOD	±	1.036
S	< LOD	:	0.002
P	< LOD	:	0.002
Si	< LOD	:	0.195
Mg	< LOD	:	0.002
resnl	0.000	±	0.000

Supervised By: \_\_\_\_\_

## 2. Kandungan Air Laut



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS**

**TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI**

KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, Telp. (031) 5922935 FAX (031) 5999282

### KETERANGAN HASIL ANALISA

No. 44/LTAKI/IV/2016

Terima dari : **Sdr. Taufiq, T.**  
Mhs. Jur. T. Material FTI-ITS  
Surabaya  
Jenis contoh : Air laut  
U. analisa : Chemical analysis  
Diterima tgl. : 20 April 2016

Parameter	Satuan	Hasil analisa	Methode analisa
NaOCl	ppm	72400	Argentometri
CaCO <sub>3</sub>	ppm	720	Titrimetri
Mg (OH) <sub>2</sub>	ppm	3287	Titrimetri

Keterangan :

- Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima





78.0500

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**JURUSAN KIMIA**

Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111  
Telp: 031-5943353, Fax: 031-5928314, PABX: 1207-1208  
E-mail : kimia@its.ac.id, http://www.chem.its.ac.id

Kepada Yth :  
Taufik Talentino  
T. Material dan Metalurgi ITS

<b>LAPORAN ANALISIS</b> Subyek : Air Laut	No	: 0284/IT2.1.1.4/PM.05.02/2016
	Tanggal	: 19 April 2016
	Metode	: ---
	Diteliti Oleh	: Fataty K
Tanggal diterima sampel : 15 April 2016		

No	Parameter Uji	Hasil Analisa	Metode
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,161 ppm	AAS

Catatan :

1. Hasil analisis ini mengacu pada sampel yang diterima laboratorium Kimia ITS dan tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum
2. Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh Laboratorium Kimia ITS



Horimat Kami,

Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M. Sc  
Ketua

### 3. XRD

#### Pattern List: *Dekat Lubang*

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2 $\theta$ .]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-089-2959	89	Titanium	-0.122	0.774	Ti
*	01-074-9521	1	Titanium Oxide	-0.151	0.500	Ti O <sub>2</sub>
*	01-077-3988	3	Aluminum Vanadium Carbide	-0.318	1.046	V <sub>12</sub> Al <sub>3</sub> C <sub>8</sub>
*	01-078-4485	14	Titanium Hydride	-0.073	0.207	Ti H <sub>2</sub>

**Pattern List:** Jauh dari Lubang

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-089-2959	91	Titanium	-0.109	0.861	Ti
*	01-074-9521	10	Titanium Oxide	-0.137	0.360	Ti O2
*	01-078-4485	28	Titanium Hydride	-0.071	0.185	Ti H2
*	01-077-3988	10	Aluminum Vanadium Carbide	-0.297	0.824	V12 Al3 C8

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa

1. Faktor yang menyebabkan kegagalan material titanium pada pipa outer tube milik PT. PJB UP Gresik yaitu kenaikan temperatur
2. Kenaikan temperatur hingga diatas 70 °C dan abrasi air laut menyebabkan lapisan TiO<sub>2</sub> sobek, proteksi pun berkurang. Sehingga hydrogen bisa masuk dan menghasilkan reaksi *hydrogen embrittlement* pada pipa titanium dan menghasilkan Hydrid Needle yang bersifat rapuh dan menyebabkan lubang.
3. Komposisi air laut tidak berpengaruh pada kegagalan material
4. *Hydrogen embrittlement* yang berujung patahan dan berlubang ditunjukkan dengan adanya *Hydrid Needle, Slip Bands, Voids*, serta alur patahan vertikal disepanjang patahan yang menunjukan patah ulet

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu

1. Melakukan miniatur pengujian seperti kondisi dilapangan
2. Menghubungkan titanium yang tidak dilapisi platina dengan logam lain secara galvanik pada saat Chlorination Plant berjalan, seperti HY80 Steel atau SS316 yang bisa menjadi anoda ketika kenaikan temperatur. Dan melepaskan hubungan galvanik saat temperatur kamar karna akan menjadi katoda
3. Menjaga temperatur pada chlorination plant agar tidak terjadi overheat melebihi 70°C
4. Melakukan *back flush* secara rutin untuk menghindari pengendapan lumpur dan kerak kerak yang menempel
5. Melakukan penelitian tambahan mengenai hubungan dengan besarnya arus dengan kenaikan temperatur.



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 2004. **ASM Metals Handbook Vol 09: Metallography and Microstructures**. Ohio: ASM International.
- \_\_\_\_\_. 2008. **ASTM B338: Standard Specification for Seamless and Welded Titanium Alloy Tubes for Condensers and heat Exchangers**. West Conshohocken: ASTM International.
- \_\_\_\_\_. 2008. **ASTM E3 – 01 : Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens**. West Conshohocken: ASTM International
- \_\_\_\_\_. 2008. **ASTM E92 – 82 : Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials**. West Conshohocken: ASTM International
- Bogaerets, Prof. Dr. Ir. Walter. 2008. **Material Engineering for The Chemical Process Industries**. CPI Materials Engineering
- Boyer, dkk. 1994. **Material Properties Handbook: Titanium Alloys**. Ohio: ASM International
- Boyer, R.R., March. 2010. "Titanium Processing". **Attributes, Characteristics, and Applications of Titanium and Its Alloys**. 21 – 24
- Brunette, dkk. 2001. **Titanium In Medicine: Material Science, Surface Science, Engineering, Biological Responses, and Medical Applications**. New York: Springer.
- Donachie Jr, Matthew J. 2000. **Titanium: A Technical Guide, Second Edition**. Ohio: ASM International
- Eforit Oy. **Platinum Plating**. <URL: <http://eforit.fi/en/plating/precious-metal-plating/platinum-plating/>>
- Froes, F.H. 2015. **Titanium: Physical Metallurgy Processing and Applicants**. Ohio: ASM International
- Hilti. 2015. **Corrosion Handbook**. Liechtenstein: Hilti Corporation.

- International Titanium Association. 2005. **Specifications Book**. Broomfield: International Titanium Association
- J. Schumerth, Dennis. **Hydrogen Embrittlement In Titanium Steam Surface Condenser Tubing, Truths, Myths, & Misnomers**. Anaheim: Titanium Tubular Consultants
- L. Briant, Clyde. 1997. **Hydriding Titanium**. Virginia: Division of Engineering, Brown University
- Muhara. 2010. **Electrochlorination**. <URL: <https://muhara.wordpress.com/2010/06/16/electrochlorination/>>
- Mountfourd, jr, John A. 2002. **Titanium – Properties, Advantages And Applications Solving The Corrosion Problems In Marine Service**. New Hudson: Tico Titanium, Inc.
- Platinum , Implants Distinctly. 2005. **Platinum Group Metals & Their Applications**. <URL:[http://www.implats.co.za/im/files/ar/2005/introduction/pgm\\_applications.htm](http://www.implats.co.za/im/files/ar/2005/introduction/pgm_applications.htm)>
- Roberge, Pierre R. 2000. **Handbook of Corrosion Engineering**. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Schweitzer, Philip A. 2003. **Metallic Materials: Physical, Mechanical, and Corrosion Properties**. New York: Marcel Dekker, Inc
- Sulistijono. 1999. **Diktat Kuliah: Korosi**. Surabaya: ITS
- Tiaano. 2001. **Platinum Plating**. <URL: [http://www.tianode.com/tianode\\_platinized\\_anodes.htm](http://www.tianode.com/tianode_platinized_anodes.htm)>
- Timet. 1999. **Corrosion Resistance of Titanium**. Albany: Titanium Hearth Technologies, Inc.
- Titan. **Platinized Anodes**. <URL: <http://www.indiamart.com/company/2612280/electrodes.html>>

## **BIODATA PENULIS**



Penulis lahir di Jakarta, 21 Januari 1995. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Islam Al-Azhar 13 Rawamangun pada tahun 2000-2006, SMP Islam Al-Azhar pada tahun 2006-2009, SMA Negeri 77 Jakarta Pusat tahun 2009-2012. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis memiliki kakak perempuan dan adik laki laki.

Selama berkuliah di ITS penulis aktif dalam bidang akademik maupun non akademik. Penulis aktif dalam Badan Ekecutif Mahasiswa di Fakultas Teknologi Industri ITS sebagai staff Kewirausahaan pada tahun kedua (semester 3 dan 4), kemudian pada tahun ketiga (semester 5 dan 6) penulis menjabat sebagai Kepala Departemen Kewirausahaan periode 2014 / 2015.

Pengalaman kerja yang pernah diikuti yakni kerja praktik pada bulan Juli 2015 di PT. Geteka Founindo yang merupakan anak perusahaan dari PT. Tourishima Guna Group yang bergerak dalam bidang manufaktur.

Selama berkuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, penulis sangat tertarik pada bidang Korosi dan Analisa Kegagalan serta bidang manufaktur. Dimana 2 bidang studi tersebut yang penulis ambi selama melakukan Kerja Praktik dan melaksanakan Tugas Akhir