



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH LARUTAN PARAQUAT DICHLORIDE TERHADAP
KETAHANAN KOROSI *PITTING* PADA
CARBON STEEL API 5L GRADE B,
SUS 316L AUSTENITE STAINLESS STEEL DAN *TITANIUM GRADE 2***

TESIS

ZULNOVRI

0906651006

**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU MATERIAL
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
JAKARTA
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH LARUTAN PARAQUAT DICHLORIDE
TERHADAP KETAHANAN KOROSI *PITTING* PADA
*CARBON STEEL API 5L GRADE B, SUS 316L AUSTENITE
STAINLESS STEEL DAN TITANIUM GRADE 2***

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

ZULNOVRI

0906651006

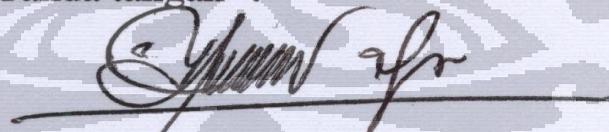
**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU MATERIAL
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
JAKARTA**

JULI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Zulnovri
NPM : 0906651006
Tanda tangan :



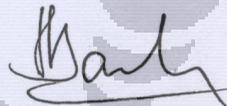
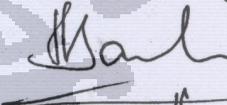
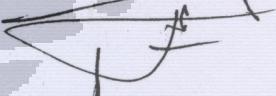
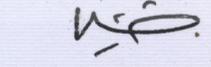
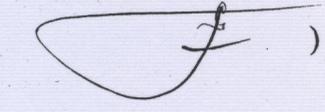
Tanggal : 9 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Zulnovri
NPM : 0906651006
Program Studi : Magister Ilmu Material
Judul Tesis : Pengaruh Larutan Paraquat Dichloride Terhadap
Ketahanan Korosi *Pitting* Pada *Carbon Steel API 5L*
Grade B, SUS 316L Austenite Stainless Steel Dan
Titanium Grade 2

Telah berhasil dipertabakan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Pascasarjana Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Ketua Jurusan : Dr. Bambang Soegiono ()
Pembimbing I : Dr. Bambang Soegiono ()
Pembimbing II : Dr. M. Yudi Masduky Solihin ()
Penguji I : Dr. Azwar Manaf, M.Met ()
Penguji II : Dr. Budhy Kurniawan ()
Penguji III : Dr. M. Yudi Masduky Solihin ()

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal : 9 Juli 2011

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil 'alamin, itulah salah satu kata yang dapat penulis ungkapkan dengan selesainya penulisan tesis ini sebagai karya ilmiah untuk memperoleh gelar magister dalam bidang ilmu material. Karya ilmiah ini merupakan sebagian kecil dari beribu-ribu karya ilmiah lainnya yang dihasilkan umat manusia didunia ini untuk memahami betapa dahsyatnya ciptaan Sang Maha Pencipta. Dengan semakin dekatnya kita mengeksplorasi maka semakin bertambah kagum kita terhadap keteraturan yang diciptakanNya dan semakin terasa ilmu yang kita miliki tidak ada artinya. Sehingga patutlah kita menjadi semakin bersyukur akan rahmat dan kasih sayangNya yang diberikan kepada kita sebagai orang-orang yang berilmu.

Penulis juga sadar bahwa karya ilmiah ini tidak akan rampung jika tidak ada bantuan, dorongan dan ilmu atau pengajaran yang diberikan oleh kolega penulis, sehingga sangat layak jika penulis berterimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

- 1) Ibunda penulis yang selalu mendoakan untuk kesuksesan penulis
- 2) Istriku, Deasy Asturi dan anaku tercinta Arkan dan Rayyan sebagai inspirasi dan pendorong semangat penulis yang tiada hentinya
- 3) Dr. Ir. M. Yudi Masduki Solihin M.Si, MBA, selaku pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan tesis ini
- 4) Dr. Bambang Soegijono, selaku pembimbing akademis penulis dan ketua program studi Ilmu Material FMIPA UI yang telah memberikan arahan dan

secara tidak langsung memberikan semangat pada penulis untuk dalam melaksanakan di program pasca sarjana ini.

- 5) Rekan-rekan dilaboratorium Korosi – PT BIN BATAN, Sulistioso, Supardi dan Anton yang banyak membantu penulis melakukan test polarisasi serta mendapatkan data-data yang diperlukan dalam penyusunan tesis
- 6) Seluruh dosen pascasarjana Ilmu Material UI, penulis tidak akan lupa akan ilmu yang diberikannya, semoga Allah SWT membalas ilmu yang bermanfaat ini
- 7) Rekan-rekan mahasiswa pasca sarjana UI (Wisnu, Tatang, Richard, Errie, Tri, Ferry Budi, Yan, Yulia, Lia, Dona, Edyos) yang tetap memberikan semangat untuk menuntaskan program ini
- 8) Rekan-rekan laboratorium PT Inti Everspring Indonesia yang sangat membantu dalam pelaksanaan pembuatan larutan uji paraquat dichloride di laboratorium.

Penulis juga menyadari bahwa karya ini tak luput dari kekurangan-kekurangan yang dikarenakan kealpaan penulis sebagai manusia. Oleh karena itu penulis harapkan masukan dan kritikan yang mendalam terhadap karya ini untuk dilakukan perbaikan dimasa yang akan datang. Akhirnya penulis mengucapkan selamat membaca, semoga dapat bermanfaat terhadap kemajuan ilmu dan teknologi di Indonesia

Jakarta, Juli 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Zulnovri
NPM : 0906651006
Program Studi : Magister Ilmu Material
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Pengaruh Larutan Paraquat Dichloride Terhadap Ketahanan Korosi Pitting Pada *Carbon Steel API 5L Grade B, SUS 316L Austenite Stainless Steel, dan Titanium Grade 2*”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian persyaratan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 9 Juli 2011
Yang menyatakan



(Zulnovri)

ABSTRAK

Nama : Zulnovri
Program Studi : Magister Ilmu Material
Judul : **Pengaruh Larutan Paraquat Dichloride Terhadap Ketahanan Korosi Pitting pada *Carbon Steel API 5 L Grade B, SUS 316L Austenite Stainless Steel, dan Titanium Grade 2***

Carbon Steel API 5L Grade, SUS 316L Austenite Stainless Steel dan Titanium Grade 2 merupakan material yang umum digunakan dalam perancangan peralatan di industri kimia. Seperti halnya dengan plant untuk memproduksi paraquat dichloride material ini juga digunakan, akan tetapi material ini sering mengalami kerusakan diakibatkan karena terjadinya korosi merata dan pitting. Pengujian korosi menggunakan fluida yang mendekati umumnya proses yang dilakukan di plant paraquat dichloride. Pengujian dilakukan dengan variasi konsentrasi Paraquat dichloride dan air, dengan konsentrasi paraquat dichloride 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% menggunakan metode uji polarisasi anodik *cyclic*. Pengujian mendapatkan hasil bahwa terjadinya penurunan ketahanan pitting potensial (E_{pit}) dan potensial proteksi (E_{prot}) ketika konsentrasi paraquat dichloride dinaikan atau pH diturunkan. Arus korosi (I_{cor}) dan laju korosi mengalami kenaikan ketika konsentrasi paraquat dichloride dinaikan. Ketahanan korosi merata dan pitting serta laju korosi pada Titanium Grade 2 lebih baik dibandingkan dengan SUS 316L Austenite Stainless Steel. Carbon Steel API 5L Grade B memiliki laju korosi sangat besar sehingga tidak bisa digunakan sebagai material kontak dengan paraquat dichloride.

Keywords : Korosi Pitting, Paraquat Dichloride, Carbon Steel, Austenite Stainless Steel, Titanium

ABSTRACT

Name : Zulnovri
Study Program: Magister Materials Science
Title : **Influence of Paraquat Dichloride Solution to Pitting Corrosion Resistivity at Carbon Steel API 5L Grade B, SUS 316L Austenite Stainless Steel and Titanium Grade 2**

Carbon Steel API 5L Grade B, SUS 316L Austenite Stainless Steel and Titanium Grade 2 are common materials which used commercially for equipment design at chemicals industries. Production plant which produced paraquat dichloride also uses these materials, but these materials often get damage due to uniform and pitting corrosion. Corrosion testing uses fluid nearly with paraquat dichloride solution in paraquat dichloride manufacturer. The testing fluid consist of several condition which comparison between paraquat dichloride and water are 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% use polarization anodic cyclic testing method. Result of testing method showed that there are decreasing of pitting potential resistivity (E_{pit}), protected potential (E_{prot}) and increasing corrosion current (I_{cor}) and corrosion rate when paraquat dichloride concentration are increased. uniform and pitting resistivity at Titanium Grade 2 better than SUS 316L Austenite Stainless Steel. Corrosion rate Titanium Grade 2 lower than SUS 316L Austenite Stainless Steel. Carbon Steel API 5L Grade B have corrosion rate very high, this material cannot use as contacted materials with paraquat dichloride

Keywords : Pitting Corrosion, Paraquat Dichloride, Carbon Steel, Austenite Stainless Steel, Titanium

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Penelitian.....	4
1.5 Hipotesa Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Korosi dan Reaksi Elektrokimia Korosi.....	7
2.2 Paraquat Dichloride.....	9
2.3 Korosi <i>Pitting</i>	10
2.4 Polarisasi.....	20
2.5 Passivasi.....	23
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Skema Kerja Penelitian.....	29
3.2 Tempat Penelitian.....	30
3.3 Bahan dan Alat Penelitian.....	30
3.3.1 Bahan Penelitian.....	30
3.3.2 Peralatan Penelitian.....	30
3.4 Persiapan Bahan.....	31
3.4.1 Persiapan Spesimen Uji.....	31
3.4.2 Pembuatan Larutan Pengujian.....	32
3.5 Pengujian Korosi Dengan Polarisasi Anodik <i>Cyclic</i>	34
3.6 Evaluasi Sampel Test Korosi dengan Polarisasi Anodik <i>Cyclic</i> ..	37
3.7 Analisa Produk Korosi Stainless Steel SUS 316L Asutenit.....	37
3.7.1 Spesifikasi Pengukuran.....	38
3.7.2 Prosedur Pelaksanaan.....	38
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Verifikasi <i>Mill Certificate</i> Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L, Titanium Grade 2 dan hasil pengujian larutan Paraquat Dichloride.....	40

4.1.1 Verifikasi Mill Certificate Carbon Steel API 5L Garde B terhadap Standar.....	40
4.1.2 Verifikasi Mill Certificate Stainless Steel SUS 316L Asutenit terhadap Standar.....	41
4.1.3 Verifikasi Mill Certificate Titanium Grade 2 terhadap Standar.....	42
4.1.4 Hasil Pengujian Larutan Paraquat Dichloride	43
4.2 Hasil dan Analisa Uji Polarisasi Anodik <i>Cyclic</i>	44
4.2.1 Analisa Kurva Polarisasi Anodik <i>Cyclici</i>	44
4.2.2 Analisa Pengaruh Konsentrasi Paraquat Dichloride dan pH Larutan terhadap Nilai Potensial Pitting (E_{pit}), Potensial Proteksi (E_{prot}), Rapat Arus Korosi (I_{cor}) dan Laju Korosi (mpy).....	53
4.3 Analisa Morfologi Permukaan Korosi.....	61
4.3.1 Analisa Morfologi Permukaan Material Sebelum Proses Korosi	61
4.3.2 Analisa Morfologi Permukaan Material Setelah Proses Korosi	63
4.4 Hasil dan Analisis Produk Korosi Paraquat Dichloride pada Stainless Steel SUS 316L Austenit	70
4.4.1 Hasil dan Analisis Karakterisasi Difraksi Sinar X.....	70
4.4.2 Analisis Rietveld.....	70
4.5 Pemilihan Material yang Tepat untuk Bahan Paraquat Dichloride	73
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
4.1 Kesimpulan.....	75
3.2 Saran.....	76
DAFTAR REFERENSI.....	77
LAMPIRAN.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram skematik <i>dissosiasi</i> metal M.....	8
Gambar 2.2. Struktur kimia <i>paraquat dichloride</i>	9
Gambar 2.3. Reaksi kimia pembetukan <i>paraquat dichloride</i>	10
Gambar 2.4. Berbagai bentuk cross section dari Pitting	11
Gambar 2.5. Standar <i>Chart</i> untuk Pitting Korosi	12
Gambar 2.6. Skema untuk mendefinisikan Pitting Faktor, p/d	14
Gambar 2.7. Skema penentuan potensial <i>pitting</i> kritis E_{pit} dari polarisasi Anodik	15
Gambar 2.8. Pengukuran potensial korosi pada <i>alloy</i> tahan korosi dalam larutan asam $FeCl_3$	16
Gambar 2.9. Skema proses terjadinya pertumbuhan pit pada besi.....	17
Gambar 2.10 Polarisasi <i>cyclic</i> yang menghasilkan <i>pitting</i> , E_{pit} dan potensial E_{prot}	18
Gambar 2.11 Polarisasi <i>cyclic</i> untuk <i>alloy</i> yang tahan terhadap <i>pitting</i>	19
Gambar 2.12 Pengaruh polarisasi yang lebih lama diatas E_{pit} dan E_{prot} ditentukan oleh polarisasi <i>cyclic</i>	20
Gambar 2.13 Kurva Tafel praktis yang diidealkan	21
Gambar 2.14 Kurva disolusi anodik dari logam aktif-pasif.....	23
Gambar 2.15 Diagram Pourbaix untuk Fe dalam larutan cair	24
Gambar 2.16 Pengaruh Penurunan Laju Polarisasi (1) ~ (7) pada kurva polarisasi potensiostatik anodik untuk AISI 304 Stainless Steel dalam deareasi 1 N H_2SO_4 pada 25 °C	25
Gambar 2.17 Reproduksi dari kurva polarisasi potensiodinamik anodik dari laboratorioum berbeda untuk AISI 430 Stainless steel dalam kurva deareasi 1N H_2SO_4	26
Gambar 2.18 Kurva Polarisasi Anodik Hypothetical Alloy A, B, C dan D dalam berbagai kondisi kimia 1. Reduksi 2. Moderat Oksidasi 3. Oksidasi yang Tinggi.....	27
Gambar 2.19 Pengaruh Penambahan Klorida dalam Asam Sulfat pada polarisasi potensial anodik pada Stainless Steel 304 dan Hastelloy C.....	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Skema persiapan larutan pengujian untuk uji polarisasi anodik <i>cyclic</i>	32
Gambar 3.3 Skema persiapan larutan pengujian untuk uji polarisasi anodik <i>cyclic</i>	33
Gambar 3.4 Skema Sel Polarisasi	35
Gambar 3.5 Skema pengujian dan evaluasi untuk pengujian polarisasi anodik <i>cyclic</i>	36
Gambar 4.1 Grafik hubungan konsentrasi Larutan Paraquat Dichloride terhadap pH larutan	43

Gambar 4.2 Kurva uji polarisasi anodik <i>cyclic</i> pada material Carbon Steel API 5L Grade B.....	44
Gambar 4.3 Kurva uji polarisasi anodik <i>cyclic</i> material Carbon Steel API 5L Grade B pada konsentrasi paraquat dichloride (a). 5%, (b). 10%, (c). 15%, (d). 20%, (e). 25% dan (f). 30%	46
Gambar 4.4 Kurva uji polarisasi anodik <i>cyclic</i> pada material Stainless Steel SUS 316L Austenit	47
Gambar 4.5 Kurva uji polarisasi anodik <i>cyclic</i> material Stainless Steel SUS 316L Austenit pada konsentrasi paraquat dichloride (a). 5%, (b). 10%, (c). 15%, (d). 20%, (e). 25% dan (f). 30%	49
Gambar 4.6 Kurva uji polarisasi anodik <i>cyclic</i> pada material Titanium Grade 2.....	50
Gambar 4.7 Kurva uji polarisasi anodik <i>cyclic</i> material Titanium Grade 2 pada konsentrasi paraquat dichloride (a). 5%, (b). 10%, (c). 15%, (d). 20%, (e). 25% dan (f). 30%.....	52
Gambar 4.8 Nilai potensial <i>pitting</i> (E_{pit}) Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 terhadap (a) perubahan konsentrasi paraquat dichloride (b) perubahan pH.....	57
Gambar 4.9 Nilai potensial proteksi (E_{prot}) Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 terhadap (a) perubahan konsentrasi paraquat dichloride (b) perubahan pH.....	58
Gambar 4.10 Nilai rapat arus korosi (I_{corr}) Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 terhadap (a) perubahan konsentrasi paraquat dichloride (b) perubahan pH.....	59
Gambar 4.11 Nilai <i>corrosion rate</i> (mpy) pada material Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 terhadap (a) perubahan konsentrasi paraquat dichloride (b) perubahan pH.....	60
Gambar 4.12 Morfologi permukaan material (a) Carbon Steel API 5L Grade B (b) Stainless Steel SUS 316L (c) Titanium Grade 2, sebelum dilakukan uji korosi polarisasi anodik <i>cyclic</i>	61
Gambar 4.13 Morfologi permukaan korosi pada Carbon Steel API 5L Grade B, pada konsentrasi paraquat dichloride (a) 5 %, (b) 10 %, (c) 15 %, (d) 20 %, (e) 25 % dan (f) 30 %.....	63
Gambar 4.14 Morfologi permukaan korosi pada Stainless Steel SUS 316L Austenit, pada konsentrasi paraquat	

dichloride (a) 5 %, (b) 10 %, (c) 15 %, (d) 20 %, (e) 25 % dan (f) 30 %.....	65
Gambar 4.15 Morfologi permukaan material SUS 316L dipotong melintang setelah dilakukan uji korosi polarisasi anodik <i>cyclic</i> pada konsentrasi paraquat dichloride 30 %.....	66
Gambar 4.16 Morfologi permukaan korosi pada Titanium Grade 2, pada konsentrasi paraquat dichloride (a) 5 %, (b) 10 %, (c) 15 %, (d) 20 %, (e) 25 % dan (f) 30 %.....	68
Gambar 4.17 Morfologi permukaan material Titanium Grade 2 dipotong melintang setelah dilakukan uji korosi polarisasi anodik <i>cyclic</i> pada konsentrasi paraquat dichloride 30 %.....	69
Gambar 4.18 Pola Difraksi Sinar-X Produk Korosi Paraquat Dichloride pada material Stainless Steel SUS 316L	70
Gambar 4.19 <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-x Sampel Produk Korosi.	72



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Bahan Dasar Penelitian.....	30
Tabel 4.1 Hasil Verifikasi Mill Certificate Material Carbon Steel API 5L Grade B dan standar	40
Tabel 4.2 Hasil Verifikasi Mill Certificate Material Stainless Steel SUS 316L austenite dan standar	41
Tabel 4.3 Hasil Verifikasi Mill Certificate Material Titanium Grade 2 dan standar	42
Tabel 4.4 Data hasil analisis larutan uji paraquat dichloride	43
Table 4.5 Kategori Korosi Menurut NACE	54
Table 4.6 Data Hasil Uji Polarisasi Anodik Cyclic pada material Carbon Steel API 5L; (b) Stainless Steel SUS 316L (c) Titanium Grade 2.....	54
Table 4.7 Posisi Data morfologi luasan pitting pada akhir uji polarisasi anodik <i>cyclic</i> dan kategori luasannya menurut ASTM G46-94	67
Table 4.8 Posisi Atom untuk Fe, O dan Cl Dalam Paduan $Fe_4O_8Cl_{0.675}$	71
Table 4.9 Posisi Atom untuk Fe, O dan H Dalam Paduan FeOOH	71
Table 4.10 Posisi Atom untuk Fe dan O Dalam Paduan Fe_2O_3	71
Table 4.11 Posisi Atom untuk Cr, O dan H Dalam Paduan CrO_2H	72
Table 4.12 Produk Korosi Hasil <i>Refinement</i> GSAS	73

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Carbon Steel merupakan material yang menjadi standar pemilihan awal material dalam merancang peralatan pada industri kimia, karena material ini mudah didapatkan dan difabrikasi, harganya murah, memiliki kekuatan yang cukup, akan tetapi material ini sangat mudah terkorosi. Dalam rangka pencegahan korosi yang disebabkan oleh bahan kimia dan lingkungan yang menyebabkan proses korosi maka dipilih material yang sifatnya dapat mengurangi atau mencegah terjadinya korosi, *Austenite Stainless Steel* seperti SUS 316L dan *Titanium Grade 2* merupakan material yang umum digunakan secara komersial baik untuk static equipment seperti piping line, vessel/ tower, maupun untuk rotating equipment. *Austenite Stainless Steel* memiliki beberapa macam kelebihan seperti mudah didapatkan, harga yang relative tidak terlalu mahal, kemudahan dalam proses fabrikasi serta memiliki ketahanan korosi yang cukup baik. Titanium merupakan material yang jarang digunakan dalam industri kimia, kecuali untuk bahan yang sangat korosi, karena Titanium memiliki ketahanan korosi yang sangat baik tapi memiliki harga yang relatif lebih mahal dibanding dengan *Carbon Steel* dan *Stainless Steel*.

Industri kimia yang memproduksi *Paraquat Dichloride*, *Austenite Stainless Steel* digunakan sebagai material utama untuk peralatan produksinya baik peralatan statik maupun peralatan *rotating*. Salah satu problem korosi yang sering terjadi pada material *Stainless Steel* di industri kimia yang memproduksi *Paraquat Dichloride* adalah korosi *pitting* dan *crevice*. Kerugian yang cukup besar terjadi akibat korosi *pitting* adalah beberapa kali plant harus berhenti beroperasi selain itu penggantian *piping line* secara periodik harus dilakukan. Dalam kenyataannya korosi *pitting* memiliki kecepatan korosi yang berbeda beda tergantung pada fluida serta kondisi operasinya. Korosi *Pitting* ini menyebabkan metal menjadi berlubang sehingga menyebabkan terjadinya kebocoran dan korosi ini berpengaruh langsung terhadap *safety* serta *reliability* dari peralatan tersebut.

Bahan baku utama yang digunakan dalam pembuatan formulasi *paraquat dichloride* adalah *paraquat dichloride*, surfaktan dan air. Selama ini cukup banyak literatur serta penelitian yang membahas terjadinya korosi *pitting* yang disebabkan oleh senyawa-senyawa kimia lainnya, tapi belum ditemukan pembahasan tentang pengaruh *paraquat dichloride*. Pada kenyataannya senyawa *paraquat dichloride* mengakibatkan kerusakan peralatan yang berupa korosi *pitting* yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi konsentrasinya. Dengan mempelajari sifat ketahanan material terhadap korosi *pitting* pada kondisi kandungan *paraquat dichloride* tertentu maka dapat diketahui kondisi optimum dari operasi peralatan dan perkiraan umur pakai peralatan tersebut.

1. 2. Perumusan Masalah

Penelitian ini mempelajari pengaruh kandungan senyawa *paraquat dichloride* pada berbagai konsentrasi dalam air terhadap terjadinya korosi *pitting* pada material *Carbon Steel API 5L Grade B, SUS 316L Austenite Stainless Steel* dan *Titanium Grade 2*. Dengan mengetahui laju korosi serta kondisi *pitting* yang terjadi maka dapat diperkirakan kondisi pemakaian optimum dari peralatan baik vesel maupun pipa yang ada di *manufacturing* yang memproduksi *paraquat dichloride*. Penelitian ini dapat dijadikan semacam *bench mark* khususnya di industri *paraquat dichloride* pada material *Carbon Steel API 5L Grade B, SUS 316L Austenite Stainless Steel* dan *Titanium Grade 2* pada beberapa kondisi konsentrasi *Paraquat Dichloride*. Pemilihan material nantinya bisa dilakukan dengan membandingkan antara material yang telah dipakai saat ini yaitu *SUS 316L Austenite Stainless Steel* dengan *Titanium Grade 2* dan *Carbon Steel API 5L Grade B* sehingga laju korosi yang didapat dapat dibandingkan dengan investasi biaya penggantian jenis materialnya tersebut.

Penelitian ini mendapatkan besarnya laju korosi dengan menggunakan metode uji polarisasi anodik *cyclic*. Selain itu, kemungkinan terjadinya korosi *pitting* dan ketahanan terhadap terjadinya *pitting* korosi pada material ini dapat juga diketahui dengan metode tersebut. Pengamatan terhadap bentuk terjadinya korosi *pitting* ini dilakukan menggunakan mikroskop optik.

Penelitian sebelumnya oleh Erwin Ermawan pada tahun 2007, mempelajari pengaruh ion Bromide terhadap terjadinya Korosi Pitting pada material *SUS 316L* dan *SUS 317L Austenit Stainless Steel* pada manufaktur PTA ⁽¹⁾ dalam hal ini media yang digunakan adalah CH₃COOH 70 % : 30 % Air dengan variasi konsentrasi ion Bromide 100 ppm, 600 ppm dan 1200 ppm dan variasi temperature 30 °C, 60 °C dan 90 °C. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan terjadinya penurunan ketahanan korosi terhadap peningkatan temperature dan konsentrasi *ion* bromide. Dalam pengujian ini hasil uji polarisasi anodik *cyclic* menunjukkan terjadinya kenaikan laju korosi seiring meningkatnya konsentrasi ion bromide dan temperature dan terjadinya penurunan rapat arus hasil uji polarisasi anodik dengan naiknya konsentrasi ion bromide dan temperature

.Bastian Maier, G.S Frankel pada tahun 2010 mempelajari korosi *pitting* pada *Bare Stainless Steel 304* dibawah tetesan larutan *chloride* ⁽²⁾ menyimpulkan diameter *pitting* mengalami kenaikan dengan adanya kenaikan konsentrasi *chloride* setelah larutan MgCl₂ ditetaskan pada material Stainless Steel SUS 304

Bengt Wallén pada tahun 1998 melakukan penelitian pada tahun 1998 mempelajari korosi yang terjadi pada *Superaustenitic Stainless Steel* dan *Duplex Stainless Steel* pada media air laut ⁽³⁾, hasil pengujian menyimpulkan uji celup kedua material tersebut pada air laut (*chlorinated water*) menunjukkan ketahanan korosi yang sama pada inisiasi korosi *pitting* dan korosi *crevice*

Penelitian sebelumnya oleh S.A.M. Refaey, F.Taha dan M.Abd El-Malak pada tahun 2006 yang mempelajari pengaruh inhibitor 2-Mercaptobenzimidazole pada korosi *pitting* dalam larutan NaCl pada material *SUS 316L Austenite Stainless Steel* ⁽⁴⁾, menyimpulkan bahwa inhibitor dapat mencegah terjadinya korosi merata dan *pitting* pada material SUS 316L, naiknya konsentrasi inhibitor menurunkan laju korosi , akan tetapi efisiensi inhibitor menurun ketika temperatur diturunkan

LU Guocheng, CHENG Haidong, XU Chunchun dan HE Zonghu pada tahun 2008 melakukan penelitian tentang pengaruh *strain* dan konsentrasi *Chloride* pada korosi *pitting* material 304 *Autenite Stainless Steel* ⁽⁵⁾. hasil penelitian menunjukkan

penurunan potensial *pitting* disebabkan oleh kenaikan konsentrasi *chloride*, hal ini mengakibatkan kenaikan *strain* pada material SUS 304 Austenite Stainless Steel

Dengan mempertimbangkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya maka pada penelitian ini akan lebih spesifik lebih membahas terhadap terjadinya korosi *pitting* pada material *Carbon Steel API 5L Grade B*, *SUS 316L Austenite Stainless Steel* dan *Titanium Grade 2* pada kondisi berbagai macam konsentrasi *Paraquat Dichloride*.

1. 3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi *paraquat dichloride* dan pH larutan terhadap nilai potensial pitting (E_{pit}), potensial proteksi (E_{prot}), rapat arus korosi (I_{corr}) pada material *Carbon Steel API 5L Grade B*, *Stainless Steel SUS 316L Austenit* dan *Titanium Grade 2*
2. Untuk mengetahui besarnya laju korosi pada material *Carbon Steel API 5L Grade B*, *Stainless Steel SUS 316L Austenit* dan *Titanium Grade 2* pada larutan *Paraquat Dichloride* dan air
3. Untuk mengetahui morfologi permukaan korosi yang terjadi pada material *Carbon Steel API 5L Grade B*, *Stainless Steel SUS 316L Austenit* dan *Titanium Grade 2* pada larutan larutan *Paraquat Dichloride* dan air
4. Untuk mengetahui material yang tepat digunakan pada peralatan yang digunakan di manufaktur yang memproduksi *paraquat dichloride*

1. 4. Batasan Penelitian

Material yang dijadikan bahan dalam penelitian ini terdiri dari 3 material yaitu *Carbon Steel API 5L Grade B*, *Stainless Steel SUS 316L Austenit* dan *Titanium Grade 2*. material ini adalah material yang biasa didapatkan dipasaran. Metode analisa korosi yang digunakan mengacu pada ASTM G61 mengenai uji polarisasi anodik cyclic.

1. 5. Hipotesa Penelitian

Pada penelitian ini dapat diambil hipotesa sementara, kenaikan konsentrasi *paraquat dichloride* menyebabkan laju korosi mengalami kenaikan, hal ini disebabkan oleh kenaikan konsentrasi paraquat dichloride menyebabkan ion chloride semakin besar dan kondisi pH larutan menjadi lebih kecil, jika pH lebih kecil maka laju korosi akan semakin tinggi.

Ketiga material memiliki respon ketahanan korosi yang berbeda-beda terhadap lingkungan korosi yang sama. Titanium memiliki ketahanan korosi yang paling baik, kemudian diikuti oleh Stainless Steel dan yang paling rendah adalah Carbon Steel

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika pada penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Pendahuluan terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, aplikasi penelitian dan sistematika penulisan

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka meliputi pemahaman tentang korosi, pengenalan bahan uji, polarisasi, pasivasi serta dijelaskan beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

Bab 3 Metode Penelitian

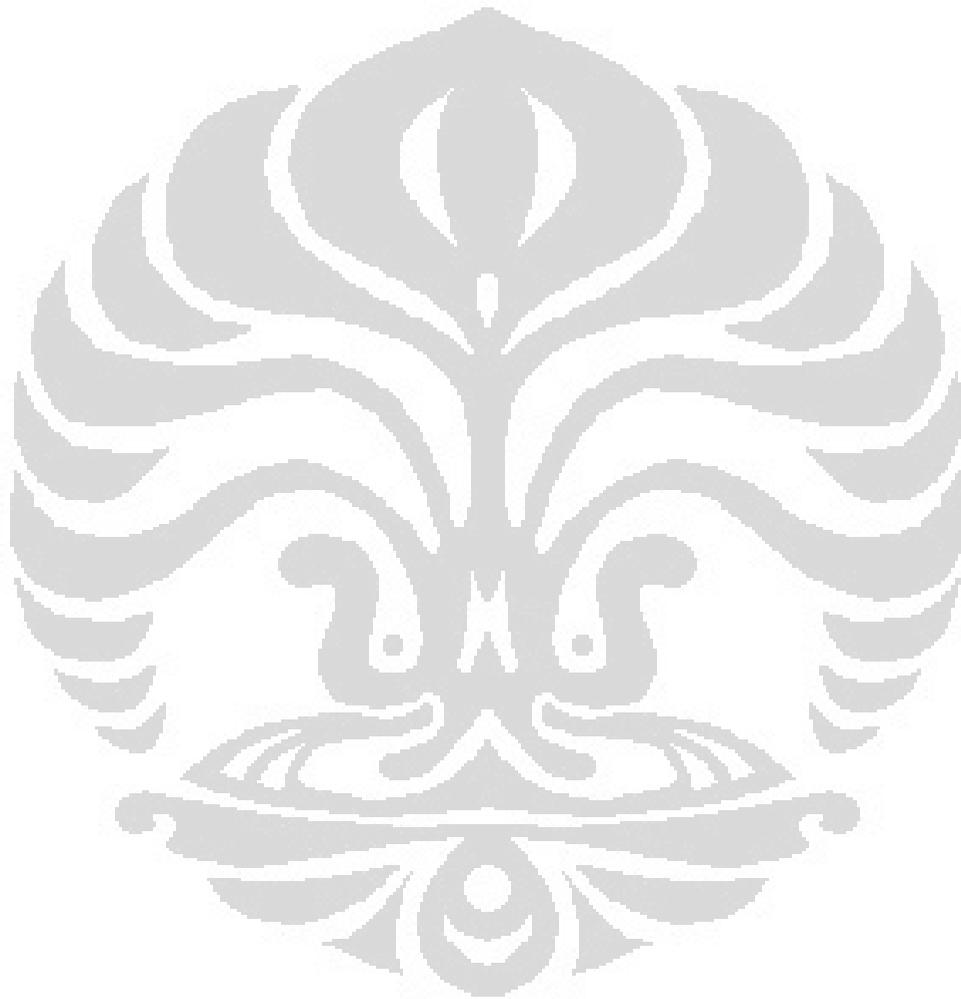
Metode penelitian terdiri dari tempat, diagram alir penelitian, preparasi sampel, karakterisasi dan pengujian yang dilakukan

Bab 4 Pembahasan

Analisis data pada penelitian ini meliputi karakterisasi produk korosi, hasil pengukuran polarisasi, evaluasi morfologi permukaan korosi dan pembahasan

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan sebuah intisari dari seluruh kegiatan penelitian ini yang berdasarkan pada tujuan yang akan dicapai serta saran-saran yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Korosi dan Reaksi Elektrokimia Korosi

Korosi adalah bentuk kerusakan akibat adanya reaksi kimia atau elektrokimia antara logam atau *alloy* dengan lingkungannya ^(6,7). Pada dasarnya, reaksi korosi memerlukan adanya 4 faktor yaitu anoda sebagai tempat terjadinya oksidasi, katoda sebagai tempat terjadinya reduksi, elektrolit sebagai media pengantar listrik dan adanya hubungan antara anoda dengan katoda.

Secara umum semua proses korosi pada logam akan melibatkan transfer elektron *charge*. Untuk korosi dalam lingkungan air dapat dicontohkan adalah korosi antara Zinc dan HCl (Asam Klorida) yang dapat ditunjukkan melalui reaksi sebagai berikut ⁽⁸⁾ :



Zinc bereaksi dengan larutan asam membentuk larutan *Zinc Chloride* dan menghasilkan gas Hydrogen pada permukaan.

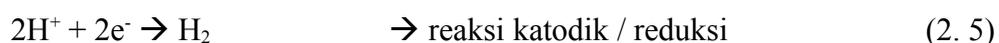
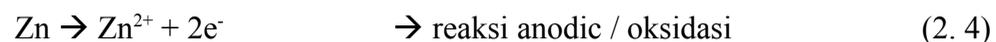
Dalam bentuk ionic, reaksi ini adalah :



Pengurangan Cl^- dari kedua sisi pada reaksi ini memberikan :

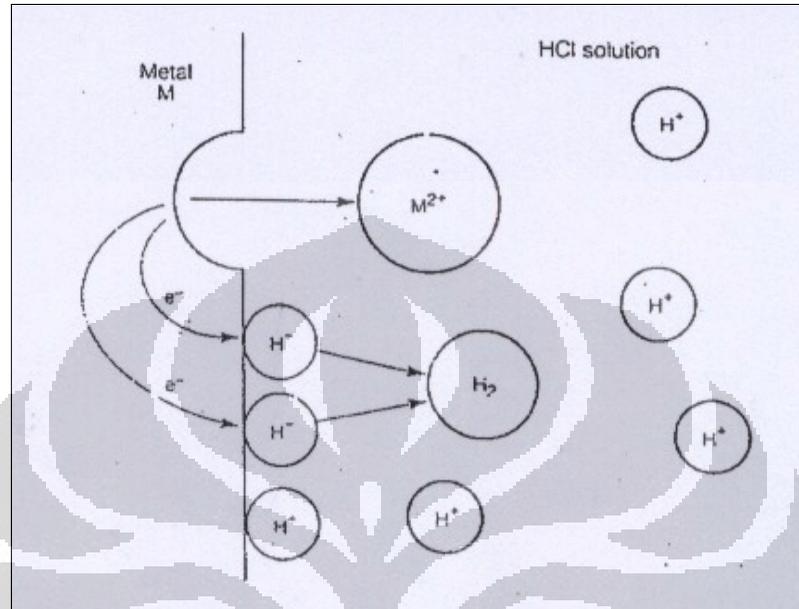


Dimana reaksi ini dapat dipisahkan menjadi :



Reaksi anodic ini adalah reaksi oksidasi dimana bilangan valensi naik dari 0 \rightarrow +2 dan menghasilkan electron, sedangkan reaksi katodik adalah reaksi reduksi

dimana bilangan oksidasi Hydrogen turun dari +1 \rightarrow 0 serta mengkonsumsi electron. Secara skematis reaksi perpindahan electron dijelaskan pada Gambar 2.1 dibawah ini.

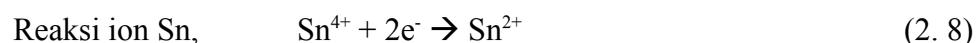
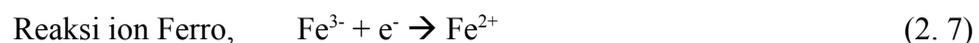


Gambar 2.1. Diagram skematik *dissosiasi* metal M ⁽⁹⁾

Logam akan melepaskan elektron yang bermigrasi menuju bagian permukaan dimana elektron tersebut akan bereaksi dengan H⁺ dalam larutan membentuk H₂. Sedangkan air diperlukan sebagai pembawa ion seperti Zn²⁺ dan H⁺ dan ini yang disebut sebagai elektrolit. Untuk logam yang terkorosi, reaksi anodiknya dapat bervariasi sesuai dengan bentuk ⁽⁹⁾ :



Reaksi reduksi katodik yang umum adalah reaksi ion Hydrogen dalam larutan asam. Selain itu juga terdapat reaksi reduksi sebagai oksidasi ion dalam larutan yang dikenal sebagai reaksi redoks. Contohnya adalah :



Reaksi reduksi oksigen terlarut sering diamati dalam larutan netral dan larutan asam. Reaksi reduksi tersebut adalah:



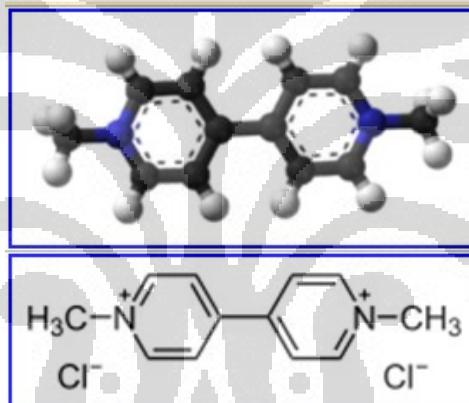
Ketidakhadiran reaksi reduksi yang lain, air akan berkurang oleh



Dimana disosiasi air menjadi H^+ dan OH^- dan substraksi OH^- dari kedua sisi reaksi.

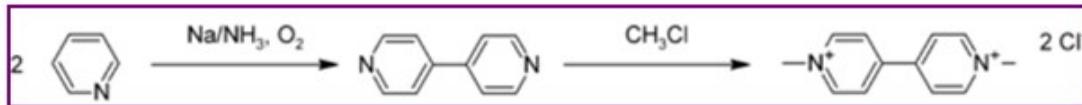
2.2 Paraquat Dichloride

Paraquat Dichloride adalah senyawa kimia dengan nama kimia *N,N'-dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride*, paraquat dichloride adalah salah satu senyawa herbisida yang umum digunakan untuk membunuh gulma di bidang pertanian. Gambar 2.2. adalah struktur kimia *paraquat dichloride*



Gambar 2.2. Struktur kimia *paraquat dichloride* ⁽¹⁰⁾

Paraquat dichloride pertama kali di produksi oleh perusahaan pestisida ICI/Syngenta pada tahun 1962, senyawa ini dibentuk dari 2 tahap reaksi kimia yaitu 2 molekul Pyridine dengan sodium didalam ammonia membentuk 4,4-bipyridine, sedangkan reaksi tahap dua adalah reaksi antara 4,4-bypiridne dengan chloromethane melalui proses metilasi membentuk senyawa paraquat dichloride. ion Cl^- didalam senyawa yang terbentuk membentuk ikatan ionic dengan amonia. Proses reaksi kimia dapat dilihat pada gambar 2.3. Paraquat dichloride korosif terhadap metal



Gambar 2.3. Reaksi kimia pebetukan *paraquat dichloride* ⁽¹⁰⁾

2. 3. Korosi Pitting

Pada dasarnya bentuk korosi terdiri atas 2 macam yaitu korosi merata (*Uniform Corrosion*) dan korosi lokal (*Localized Corrosion*). Dimana korosi lokal tersebut terdiri atas 8 macam bentuk korosi ⁽⁹⁾ yaitu :

- Korosi Galvanik
- Korosi *Crevice* (Korosi Celah)
- Korosi *Pitting* (Korosi Sumuran)
- *Environmental Induced Cracking*
- *Hydrogen Damage*
- Korosi *Intergranular* (Korosi Batas Butir)
- *Dealloying*
- Erosi Korosi

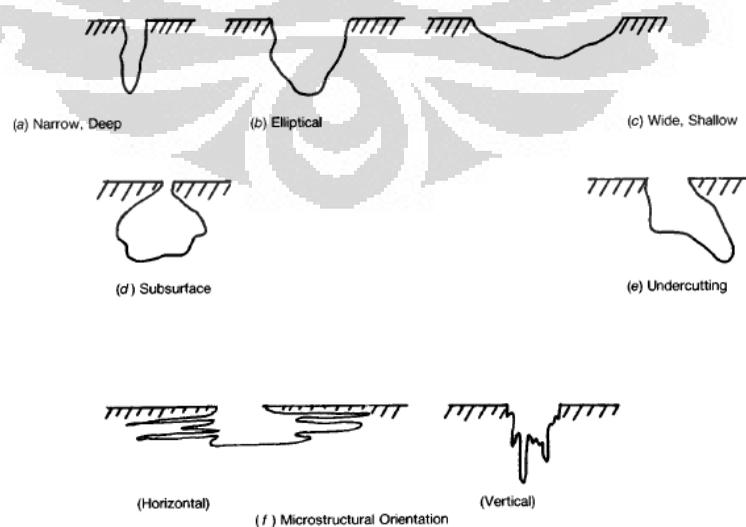
Disini yang akan dijelaskan adalah tentang korosi *pitting* (korosi sumuran). Korosi *pitting* adalah bentuk lokal korosi dimana penetrasinya berlangsung cepat dalam area diskrit yang kecil. Korosi *pitting* ini memiliki permukaan yang kecil dan mudah tertutup oleh produk korosi. Seringkali korosi *pitting* yang terjadi tidak terdeteksi sampai kebocoran terjadi karena penetrasi *pitting* pada ketebalan dinding.

Korosi *pitting* pada *stainless steel* dan *alloy* yang terdiri atas bermacam proporsi Fe, *Chrom*, Nikel dan *Molybdenum* sering terjadi pada larutan netral sampai larutan asam dengan klorida atau ion-ion yang mengandung chlorine. Kondisi ini banyak terjadi pada fasilitas kelautan dan industri kimia.

Korosi *pitting* ini disebabkan adanya kegagalan lapisan pasif film. Servis dan larutan test harus cukup untuk mengoksidasi pasif film dan kehadiran klorida akan merusak lapisan pasif film dan membuat terjadinya korosi lokal. Seperti contoh, pada larutan 6% FeCl_3 (10% $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) adalah media yang umum digunakan untuk melakukan test korosi *pitting*. Ion *Ferro* adalah sebagai *passivator oxidizer* melalui pengurangan ion Ferro dan Klorida sebagai agen *pitting*. Hidrolisa 6% larutan garam menghasilkan asam pH 1.2. kombinasi dari *oxydizer* yang kuat untuk mempertahankan lapisan pasif pada larutan asam dan klorida yang menghasilkan lingkungan yang agresif. Kelarutan oksigen cukup untuk mempasivasi stainless steel dan memicu korosi *pitting* karena keberadaan *Klorida*. Pada temperatur lebih tinggi maka korosi *pitting* dapat berlansung lebih cepat.

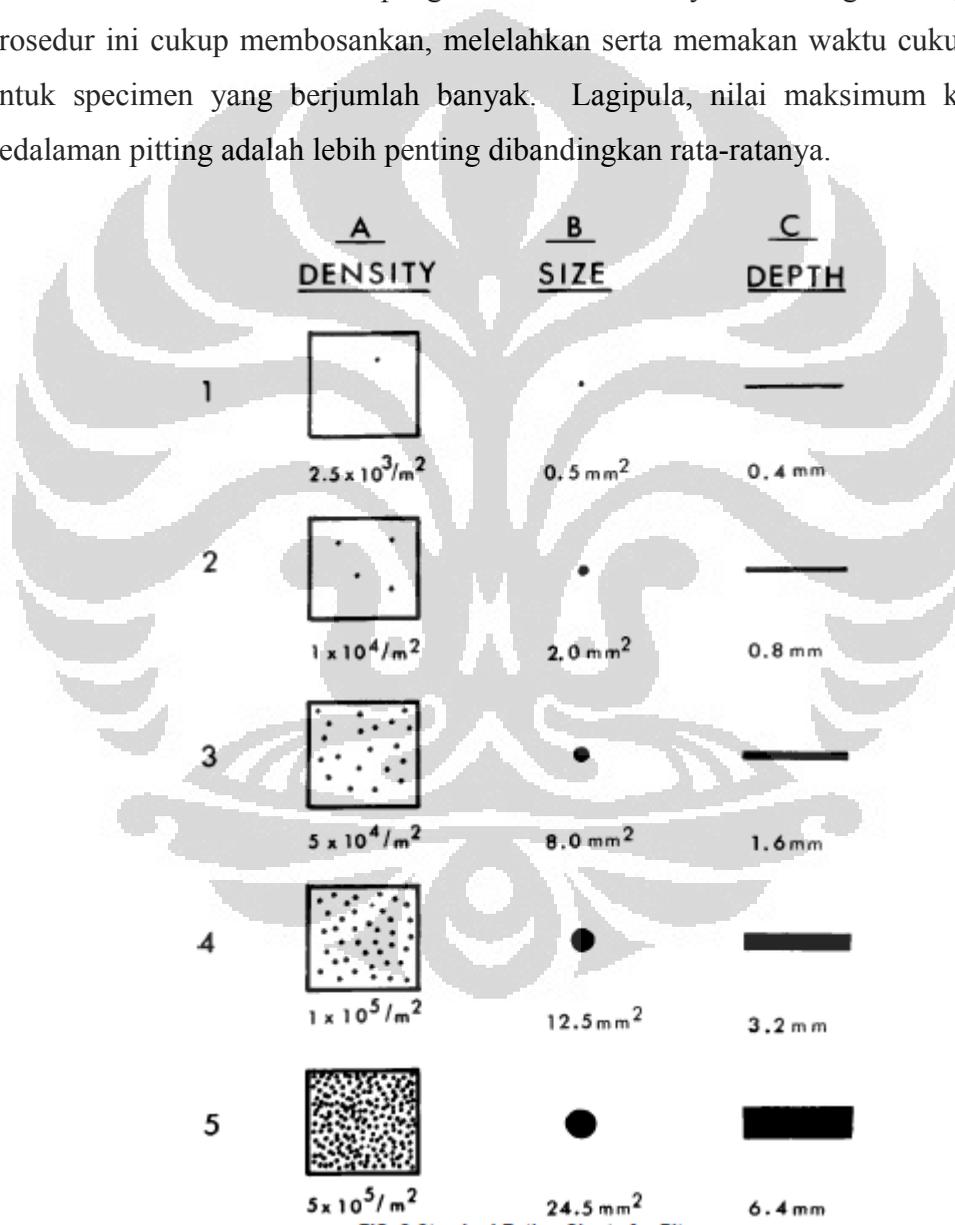
Bentuk kedalaman korosi *pitting* ini tidak dapat diprediksi. Laju korosi *pitting* ini bervariasi tergantung pada migrasi material korosif kedalam dan keluar pit. *Pitting* dapat dimulai oleh sejumlah diskontinuitas pada permukaan termasuk adanya inklusi sulfide, pelapisan *inhibitor* yang tidak tercukupi, adanya deposit slag, *scale*, debu atau kotoran yang lain, serta goresan pada permukaan cat.

Tergantung pada metalurgi *alloy* dan kimia dari lingkungannya, *pitting* dapat berbentuk *shallow*, elips, *deep* (dalam), *undercut* atau sub permukaannya akan mengikuti bentuk metalurginya. Tipikal morphology dari pit dapat digambarkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Berbagai bentuk cross section dari Pitting ⁽⁹⁾

Density, ukuran permukaan dan kedalaman pitting dapat dibandingkan dengan menggunakan standard charts ⁽¹¹⁾. Untuk contoh, pada gambar 2.5, dapat digunakan untuk perbandingan dan kuantifikasi penyimpanan data. Spesimen *pitting* yang dikarakterisasikan sebagai A-4, B-3, C-2 akan memiliki pitting dengan nilai rata-rata pada *density* permukaannya, 1×10^5 *pitting*/ m^2 , permukaan yang terbuka 8 mm^2 dan kedalaman 0.8 mm . pengamatan secara menyeluruh dengan menggunakan prosedur ini cukup membosankan, melelahkan serta memakan waktu cukup banyak untuk specimen yang berjumlah banyak. Lagipula, nilai maksimum khususnya kedalaman pitting adalah lebih penting dibandingkan rata-ratanya.

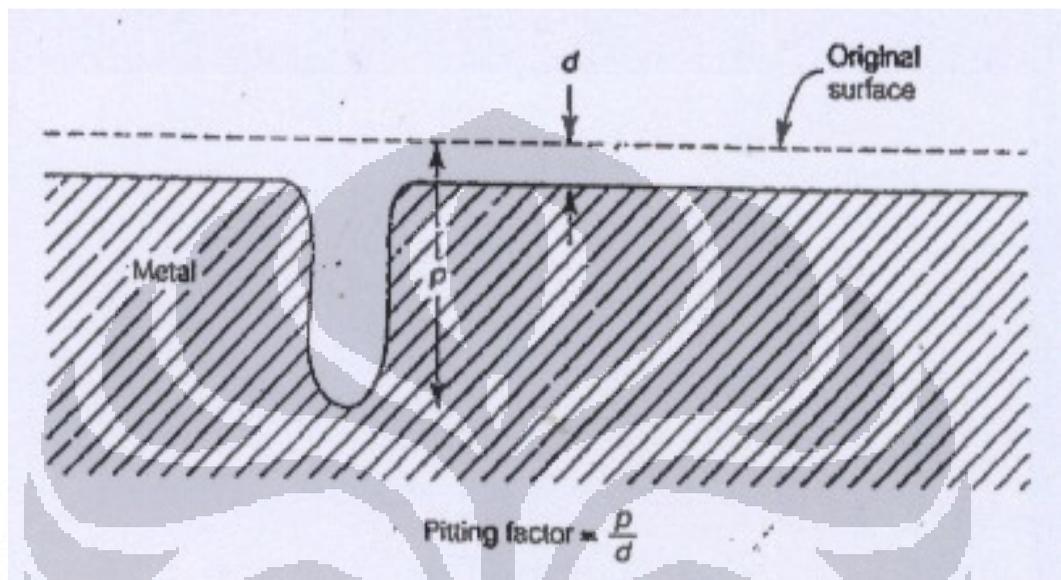
Gambar 2.5. Standar Chart untuk Pitting Korosi ⁽¹¹⁾

Metoda *weight loss* tidak cukup untuk mengevaluasi *pitting* sebab pada pengurangan berat yang sangat kecil dapat terkonsentrasi pada sejumlah pit dengan penetrasi kedalaman *pitting* maksimum pada ketebalan dinding yang dapat menghasilkan kegagalan berupa kebocoran. Pengukuran maksimum kedalaman penetrasi *pitting* adalah lebih baik dan dapat dilakukan dengan beberapa metode tetapi kenyataannya jika *pitting* tersebut kecil adalah sangat sulit.

Metoda	Penjelasan	Keterangan
<i>Metallography</i>	Sectional dan <i>pemolesan</i> pada pit tertentu yang diikuti dengan pengukuran mikroskopis	Menghabiskan waktu. Ketidakpastiannya cukup besar dalam pemilihan <i>pitting</i> dan <i>sectional</i> pada kedalaman maksimumnya
<i>Machining</i>	Pengukuran kedalaman mengakibatkan tidak terdapat bukti sisa <i>pitting</i> nya	Memerlukan sample yang berbentuk teratur. Sample harus dirusak
Mikrometer <i>Depth Gauge</i>	Membandingkan bacaan antara permukaan dan bagian <i>pitting</i> dengan <i>probe</i> jarum	<i>Pitting</i> harus memiliki bagian yang terbuka cukup besar. Tidak dapat digunakan untuk <i>undercut</i> atau pit yang berorientasi arah tertentu
Mikroskopik	Menggunakan fokus yang sangat jernih untuk penentuan perbedaan antara permukaan dan bagian bawah <i>pitting</i>	Cahaya harus mencapai <i>pitting</i> bagian bawah. Tidak dapat digunakan untuk <i>undercut</i> atau <i>subsurface</i> pit

Pada Gambar 2.6 dijelaskan bahwa untuk korosi *pitting* yang cukup luas terkadang dibandingkan sebagai korosi *general*, dimana *pitting factor*, p/d diukur melalui laboratorium, dimana p adalah maksimum penetrasi menggunakan mikroskop dan d adalah penetrasi rata-rata dari *weight loss* specimen. Maksimum

kedalaman *pitting* akan meningkat serta luas permukaan *pitting* seiring dengan waktu. Kemungkinan ditemukannya *pitting* pada kedalaman tertentu akan bertambah pada area yang terbuka atau telah terjadi korosi. Ketahanan *pitting* dari berbagai macam alloy dapat dibandingkan melalui pengukuran kedalaman *pitting* maksimum di laboratorium.



Gambar 2.6. Skema untuk mendefinisikan Pitting Faktor, p/d ⁽⁹⁾

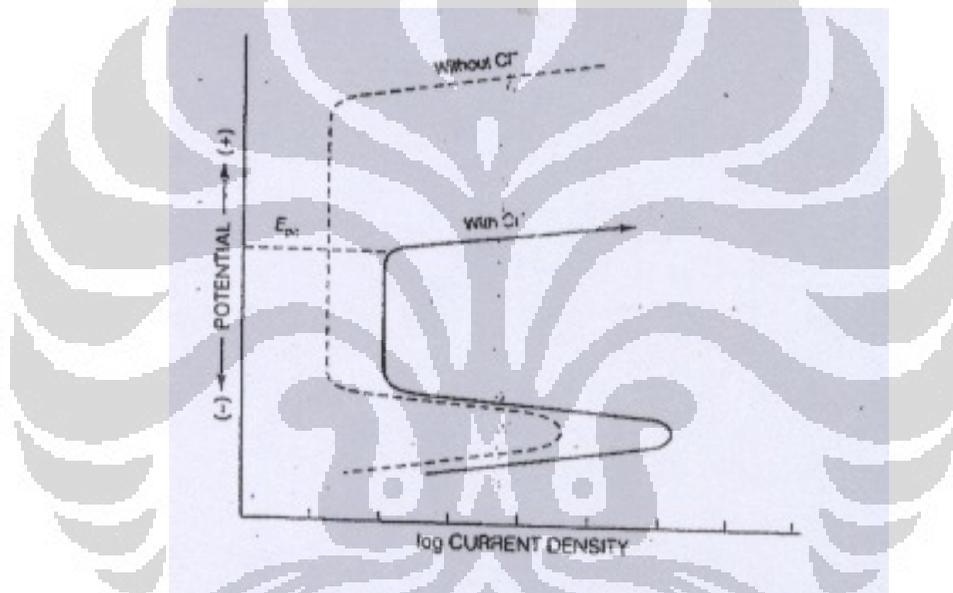
Korosi pada bagian pusat *water drops* memicu *deaerasi*, *acidifikasi* dan pembentukan lokal anoda. Area pada perimeter menjadi alkali oleh katodik reduksi dari oksigen terlarut yang memiliki eksese yang lebih besar pada permukaan tetesan. Proses ini akan membentuk lokal anoda didalam *pitting* yang didukung oleh katoda pada permukaan sekitarnya.

Hidrolisis produk korosi, klorida, menghasilkan larutan asam yang akan merusak pasif film secara lokal dan membentuk aktif anoda yang mengkorosi didalam pit. Anoda *pitting* didukung oleh pengurangan larutan kelarutan pengoksidasi pada sekitar permukaan katoda.

Kemunculan *pitting* diawali pada potensial *pitting* krisis (E_{pit}) dimana E_{pit} ini digunakan sebagai pengukur ketahanan terhadap korosi *pitting*. Kehadiran klorida dalam larutan asam secara umum akan meningkatkan potensiostatik atau potensiodinamik arus anodic pada semua potensial tetapi pada kondisi kritis

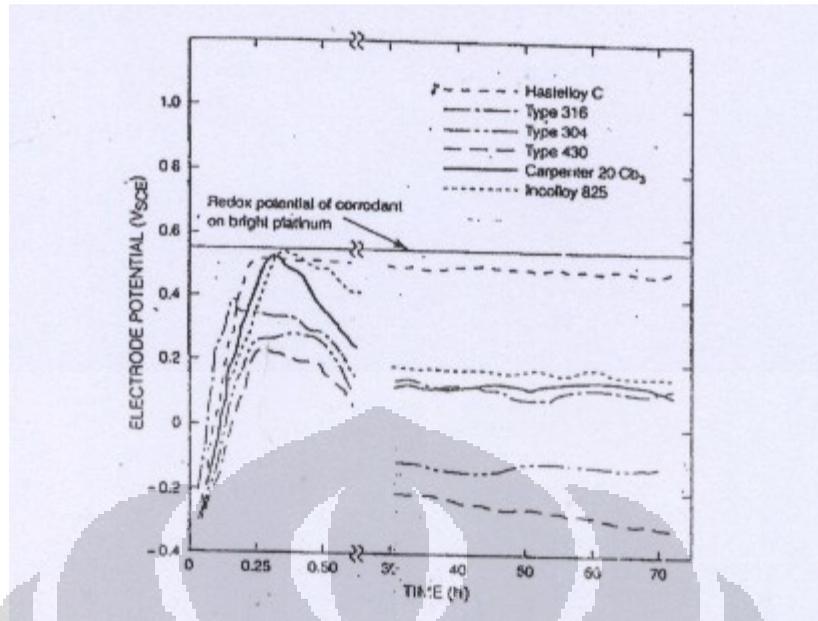
potensialnya maka arus akan meningkat secara signifikan sebagaimana E_{pit} yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

Peningkatan rapat arus (*current density*) diatas E_{pit} akan mengukur tegangan rendah dari kelarutan anodik didalam *pitting* yang akan membuat menjadi terlihat pada potensial kritisnya. Lebih tinggi nilai E_{pit} nya maka akan lebih tahan material tersebut terhadap *pitting*. Terdapat hubungan yang menunjukkan antara E_{pit} dengan ketahanan serial Fe-Cr alloy terhadap *pitting* dalam waktu pencelupan yang lama kedalam air laut. Peningkatan kandungan *chromium* akan menjadikan E_{pit} menjadi lebih tinggi dan *alloy* tersebut menjadi lebih tahan terhadap *pitting*.



Gambar 2.7. Skema penentuan potensial *pitting* kritis E_{pit} dari polarisasi Anodik ⁽⁹⁾

Kehadiran *pitting* juga diawali diatas E_{pit} ketika potensial korosi telah stabil melalui kelarutan pengoksidasinya. Gambar 2.8 menunjukkan hasil pengukuran potensial pada larutan $FeCl_3$ untuk serial *alloy* dengan memvariasikan E_{pit} dan ketahanan terhadap *pitting*. Potensial ditingkatkan secara tetap selama waktu sesudah pencelupan dan *pitting* akan muncul ketika E_{pit} dicapai. Dalam banyak hal, *pitting* dapat diobservasikan ketika maksimum potensial yang diukur telah melebihi E_{pit} . *Pitting* akan bertambah ketika potensial korosinya naik, dan akan turun ketika arah aktif menuju nilai aktif terhadap E_{pit} selama penambahan pit.



Gambar 2.8. Pengukuran potensial korosi pada *alloy* tahan korosi dalam larutan asam FeCl_3 ⁽¹²⁾

Sebagaimana kenaikan potensial dan mendekati E_{pit} , maka konsentrasi Cl^- meningkat pada permukaan pasif stainless steel dan ini diukur dengan Cl^- mikroelektroda yang sensitif yang bias disebabkan kenaikan potensial karena secara kimia melalui reaksi reduksi oksidasi atau secara elektronik dengan menggunakan potensiostat. Ini merupakan hasil dari tarikan elektrostatis antara muatan positif terhadap muatan negative Cl^- anion ⁽⁹⁾.



$\text{Fe}(\text{OH})_2$ adalah basa lemah dan HCl adalah asam kuat, hal ini akan membuat larutan tersebut memiliki pH yang rendah. Anion yang lain adalah asam kuat seperti sulfat dan nitrat yang membuat pH asam tetapi Klorida adalah jauh lebih memiliki mobilitas dalam larutan yang agresif terhadap korosi *pitting* dan *crevice*. Reaksi hidrolisis asam lebih terlihat selama proses berkembangnya pit.

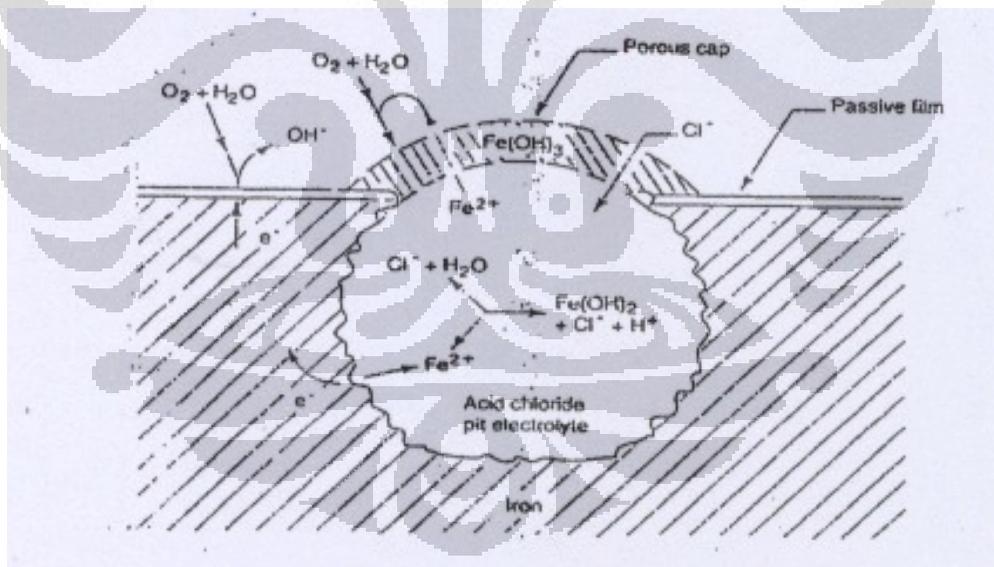
Ketidakhadiran klorida, lapisan pasif film terlarut lebih lambat sebagaimana ion Ferro ⁽⁹⁾,



Dimana kehadiran FeOOH menunjukkan hidrasi lapisan pasif Film dengan besi dalam oksidasi besi. Chloride merupakan katalis terlepasnya Fe³⁺ pada bagian lapisan luar dari lapisan pasif film



Pada E_{pit} , klorida dalam jumlah yang mencukupi dalam garam di permukaan akan memicu mulainya reaksi anodik yang baru pada kondisi awal. Peningkatan arus anodik di atas E_{pit} membuat kurva polarisasi untuk karakteristik proses anodik yang baru pada lingkungan pitting. Nilai E_{pit} secara eksperimen sangat tergantung pada prosedur. Peningkatan secara cepat potensial akan menghasilkan pitting yang lebih lambat dan menaikkan E_{pit} . Semakin lambat kenaikan potensial akan memberikan waktu pada akumulasi klorida dan memunculkan nilai E_{pit} yang lebih rendah tetapi memerlukan waktu yang lebih lama.



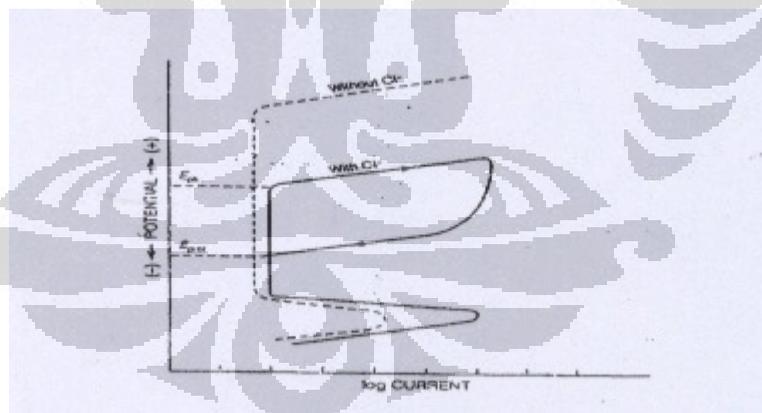
Gambar 2.9. Skema proses terjadinya pertumbuhan pit pada besi ⁽⁹⁾

Pada Gambar 2.11 adalah model sederhana terjadinya *pitting* pada besi *stainless steel* dalam larutan alkali klorida. Muatan positif Fe²⁺ akan menarik anion negative seperti Cl⁻ pada kondisi awal.



Hidrolisis ini akan menghasilkan pengurangan pH secara lokal pada kondisi awal. Hasil ini adalah merupakan mekanisme *self propagating* atau *autocatalytic* pada pertumbuhan pit. Larutan asam klorida akan mempercepat *dissolusi* anodik. Pada bagian cap yang tidak terlarut $\text{Fe}(\text{OH})_3$, produk korosi akan berkumpul di bagian mulut pit ketika Fe^{2+} berdifusi keluar dari bagian dalam pit ke bagian luar, yang akan beroksidasi menjadi Fe^{3+} dan berpresipitasi dalam larutan bulk yang netral. Polarisasi anodik pada bagian dalam pit terjadi karena hubungan antara permukaan luar katoda pasif. Pengurangan katodik pada pelarutan pengoksidasi seperti oksigen yang mengkonsumsi elektron bebas pada reaksi pit anodik.

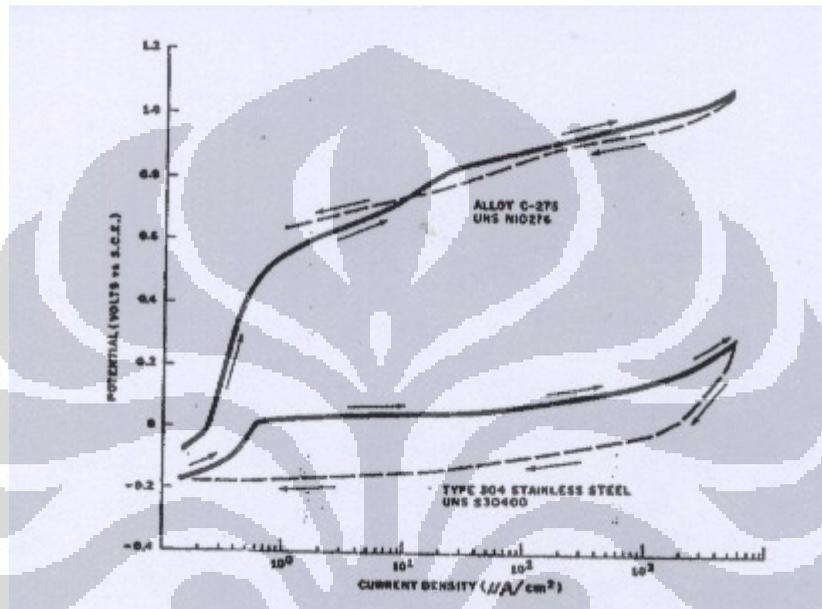
Untuk *stainless steel*, penambahan reaksi anodik untuk nikel dan *chromium* adalah menyerupai besi dalam pit. *Chromium* dan nikel berhidrolisis menjadi larutan asam melalui reaksi yang menyerupai reaksi yang telah dijelaskan sebelumnya. Pentingnya reaksi katodik untuk menahan *pitting* dimana pertumbuhan pit tidak dapat berlanjut tanpa adanya reaksi reduksi katodik yang mengkonsumsi elektron bebas pada reaksi pit anodik.



Gambar 2.10. Polarisasi *cyclic* yang menghasilkan *pitting*, E_{pit} dan potensial E_{prot} ⁽¹²⁾

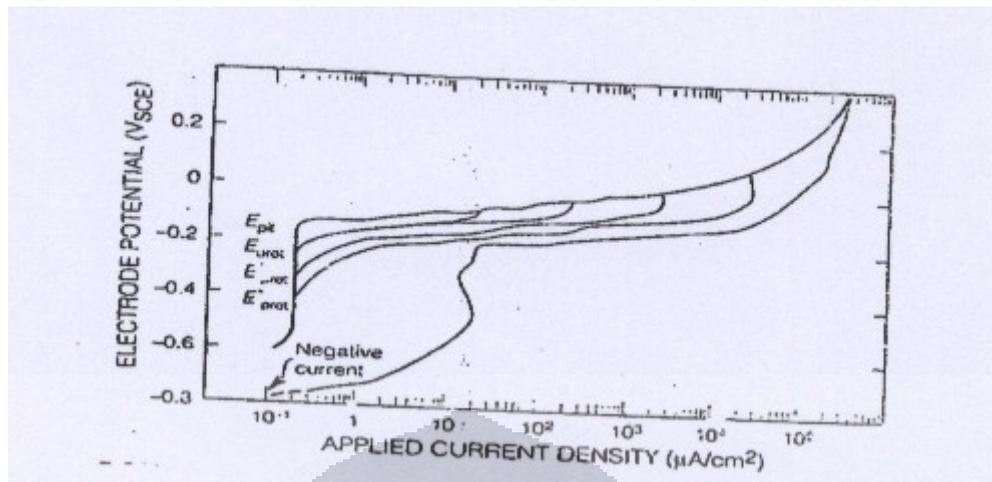
Proteksi potensial E_{prot} , telah didefinisikan melalui prosedur potensiostatik atau potensiodinamik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.10. Sesudah beberapa derajat polarisasi anodik diatas E_{pit} , arah polarisasi dibalik dalam test polarisasi *cyclic* dan histerisis diobservasi dimana kembalinya kurva polarisasi

mengikuti *active path* dibandingkan pada kondisi awal anodik. E_{prot} yang merupakan perpotongan pada pasif *current density* menyebabkan *pitting* tidak dapat berkembang. Dan jelas hal ini berbeda dengan E_{pit} , dimana E_{pit} merupakan awal terjadinya *pitting*. Antara E_{prot} dengan E_{pit} , *pitting* yang baru tidak dapat muncul tetapi *pitting* yang lama masih dapat berkembang. Untuk material yang tahan terhadap *pitting* akan menunjukkan *alloy* tersebut tidak memiliki histerisis ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Polarisasi *cyclic* untuk *alloy* yang tahan terhadap *pitting* ⁽¹¹⁾

E_{prot} dan E_{pit} merupakan fungsi yang sangat penting sekali dalam eksperimen. Semakin lama waktu diatas E_{pit} atau scan potensial yang lebih lambat mengikuti konsentrasi klorida yang lebih besar didalam pit. Kurva polarisasi yang berlawanan membuat karakteristik elektrolit pit ditekan agar potensialnya lebih bernilai aktif sebagaimana klorida lebih terkonsentrasi didalam pit, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Pengaruh polarisasi yang lebih lama diatas E_{pit} dan E_{prot} ditentukan oleh polarisasi *cyclic* ⁽⁹⁾

Kurva polarisasi yang berlawanan dalam prosedur cyclic dan kurva polarisasi anodik dalam sel pit akan menunjukkan bahwa E_{corr} untuk anoda pit adalah identik dengan E_{prot} . Pada potensial aktif E_{prot} akan mempolarisasi katodik anoda pit dan akan menghentikan perkembangan pit hanya pada potensial yang lebih tinggi dibandingkan potensial anoda pada interior pitnya. E_{prot} menjadi lebih aktif sebagaimana peningkatan konsentrasi klorida tetapi konsentrasi ini dibatasi pada kondisi dimana difusi keluar dari keseimbangan didalam pit

2.4. Polarisasi

Logam dalam larutan akan mencapai potensial keseimbangan yang tergantung pada pertukaran elektron oleh reaksi anodik dan katodik. Suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, sehingga potensial elektroda akan berbeda dari potensial korosinya, dan selisih

keduanya disebut overpotensial (η) atau polarisasi.

Polarisasi dapat diklasifikasikan menjadi 2 tipe, *aktivasi* dan *konsentrasi*. Polarisasi *aktivasi* terjadi saat aliran elektron dipengaruhi oleh suatu tahapan dalam reaksi tersebut. Evolusi hidrogen pada permukaan logam misalnya, terdiri dari 3 tahapan utama. Pertama, H^+ bereaksi dengan sebuah elektron dari dalam logam,



untuk membentuk sebuah atom hidrogen teradsorpsi (H_{ads}) pada permukaan. Kedua, dua buah atom ini harus beraksi membentuk molekul hidrogen,



Kemudian tahap ketiga membutuhkan sejumlah molekul untuk menyatu lalu bernukleasi membentuk gelembung H_2 pada permukaan. Hubungan antara polarisasi dengan laju reaksi yang diwakilkan oleh rapat arus, i_a atau i_c , adalah ⁽⁹⁾ :

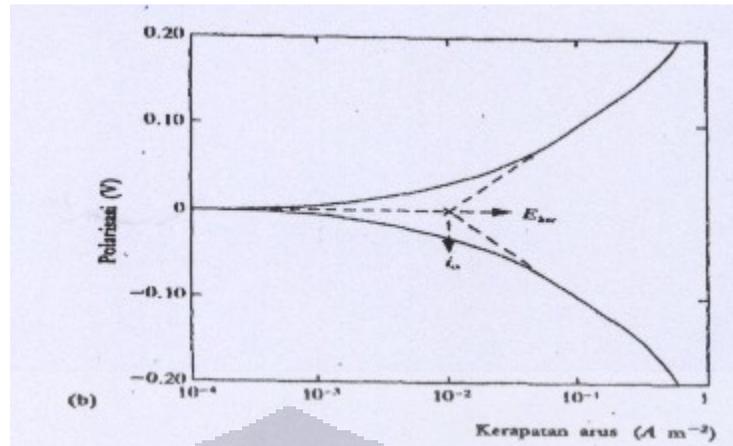
$$\eta_a = \beta_a \log \frac{i_a}{i_{a0}} \quad (2.19)$$

untuk polarisasi anodik, dan polarisasi katodiknya adalah :

$$\eta_c = \beta_c \log \frac{i_c}{i_{c0}} \quad (2.20)$$

i_0 adalah *exchange current density*, β_a dan β_c adalah tetapan anoda dan katoda Tafel.

Persamaan (2.19) dan (2.20) dapat diplot ke dalam kurva polarisasi terhadap rapat arus secara teoritis, namun tidak akan sama dengan kurva hasil pengujian. Oleh karena itu kurva hasil pengujian harus diekstrapolasikan pada bagian linier sehingga dapat mendekati kurva Tafel teoritis.



Gambar 2.13. Kurva Tafel praktis yang diidealkan ⁽¹²⁾

Dari gambar 2.13, kecepatan korosi material dapat dikalkulasi dalam bentuk *mpy* (*mils per year*; 1 mil = 0,001 inchi), dengan rumusan ⁽¹¹⁾ :

$$mpy = 0,129 \frac{i_{cor} M}{D} \quad (2. 21)$$

di mana, D = berat jenis

i_{cor} = rapat arus korosi (A/cm^2)

M = berat ekivalen ($g/mol.equ$)

Polarisasi konsentrasi terjadi akibat ketergantungan reaksi terhadap koefisien difusi ion terlarut (D_z) dan konsentrasinya pada larutan (C_B). Hal ini berakibat semakin cepat reaksi yang melibatkan ion tersebut pada permukaan, konsentrasi ion akan semakin menipis sehingga terjadi pembatasan kecepatan reaksi itu sendiri. hubungan yang terjadi antara koefisien difusi, konsentrasi larutan dengan kecepatan reaksi yang diwakilkan oleh rapat arus batas (i_L) adalah ⁽⁹⁾ :

$$i_L = \frac{D_{znFCB}}{\delta} \quad (2.22)$$

dengan δ adalah gradient ketebalan konsentrasi dalam larutan.

Jika di asumsikan sebuah elektroda tidak mengalami polarisasi aktivasi, maka persamaan untuk polarisasi konsentrasi adalah ⁽⁹⁾ :

$$\eta_k = 2,3 \frac{RT}{nF} \log \frac{1}{1-i_L} \quad (2.23)$$

dimana, R : konstanta gas (8,314 J/mol.K)

T : temperatur absolute (273 K)

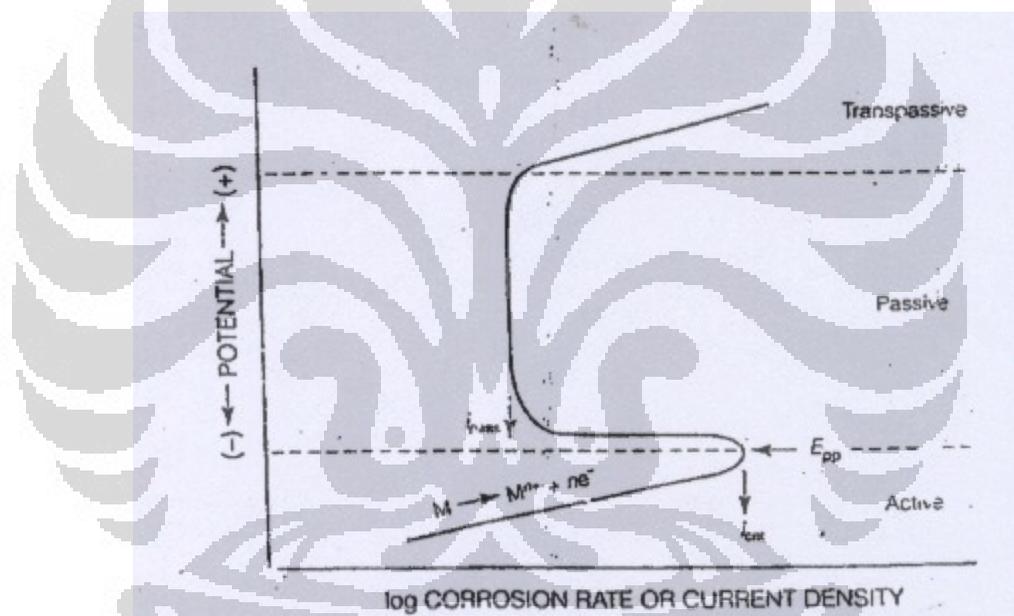
Polarisasi konsentrasi terutama terjadi pada reaksi katodik dalam korosi, karena pada reaksi anodik terdapat suplai atom logam yang tak terbatas pada permukaannya.

2.5. Pasivasi

Pasivasi dihasilkan saat logam atau paduan tertentu membentuk lapisan perlindungan yang tipis pada permukaannya dalam larutan korosif. Pasivasi dapat

didefenisikan sebagai sebuah bentuk ketahanan korosi akibat pembentukan lapisan pelindung dibawah kondisi teroksidasi dengan polarisasi anodik yang tinggi.

Kurva Gambar 2-14 mengilustrasikan perilaku dari sebuah logam aktif-pasif. awalnya logam tersebut menunjukkan perilaku umum dari logam nonpasivasi, dimana saat potensial makin positif laju disolusi logam meningkat secara eksponensial, menyerupai perilaku Tafel. Lalu pada potensial yang lebih tinggi (E_{pp}), laju disolusi menurun sampai nilai yang sangat kecil dan bertahan tidak terpengaruh oleh kenaikan potensial, saat inilah logam dikatakan mengalami pasivasi. Akhirnya pada potensial yang lebih tinggi (E_{pit}), laju disolusi meningkat kembali seiring peningkatan potensial⁽⁹⁾.

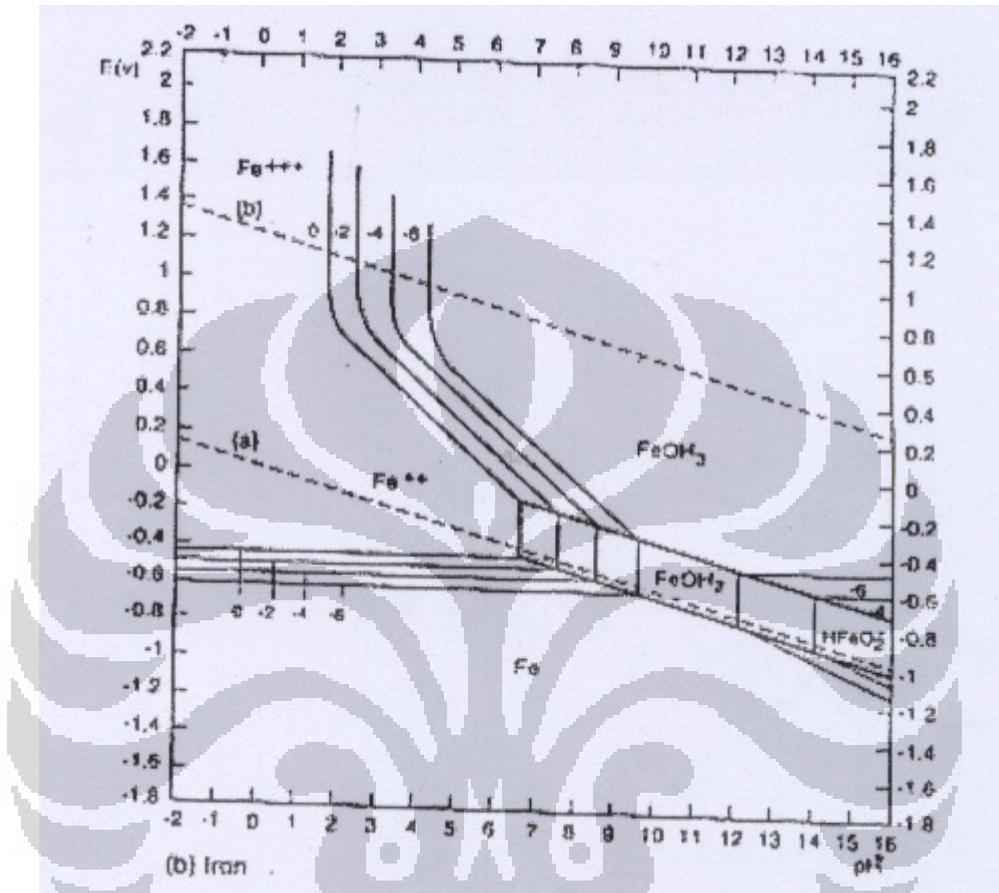


Gambar 2.14. Kurva disolusi anodik dari logam aktif-pasif⁽⁹⁾

Reaksi yang terjadi pada logam aktif-pasif berubah dengan pertambahan potensial. Pada lingkungan netral dengan kandungan oksigen terlarut yang cukup, dibawah potensial korosi (E_o) evolusi hidrogen merupakan reaksi dominan yang terjadi. Lalu setelah memasuki daerah aktif, terjadi disosiasi logam sehingga potensial pasivasi primer (E_{pp}). Dalam daerah pasivasi terjadi reaksi antara ion logam terdisosiasi dengan ion hidroksida hasil reduksi air⁽⁹⁾:



yang membentuk lapisan pasif hingga mencapai potensial *pitting* (E_{pit}), setelah itu logam akan terdisosiasi kembali dengan cepat. Kadangkala terjadi evolusi oksigen pada daerah ini.

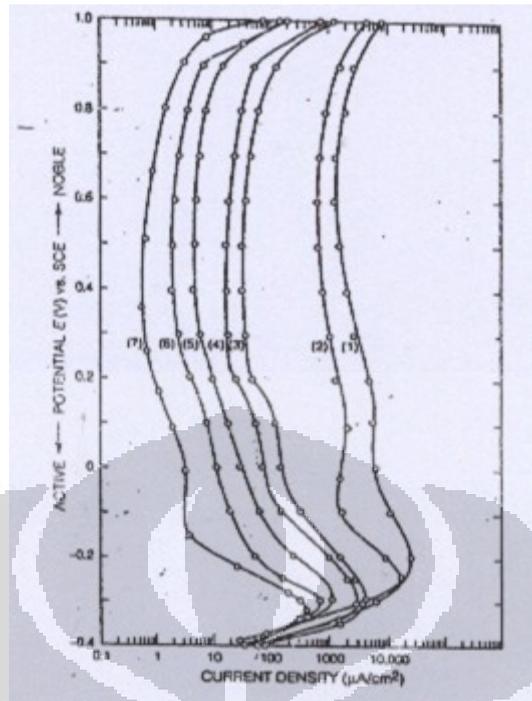


Gambar 2.15. Diagram Pourbaix untuk Fe dalam larutan cair ⁽⁹⁾

Diagram Pourbaix menunjukkan kestabilan lapisan oksida logam pada potensial yang lebih mulia dalam larutan pengoksidasi, misalnya logam Fe membentuk presipitasi hidroksida $\text{Fe}(\text{OH})_3$ atau $\text{Fe}(\text{OH})_2$, yang dihasilkan dari reaksi berikut ⁽⁹⁾:



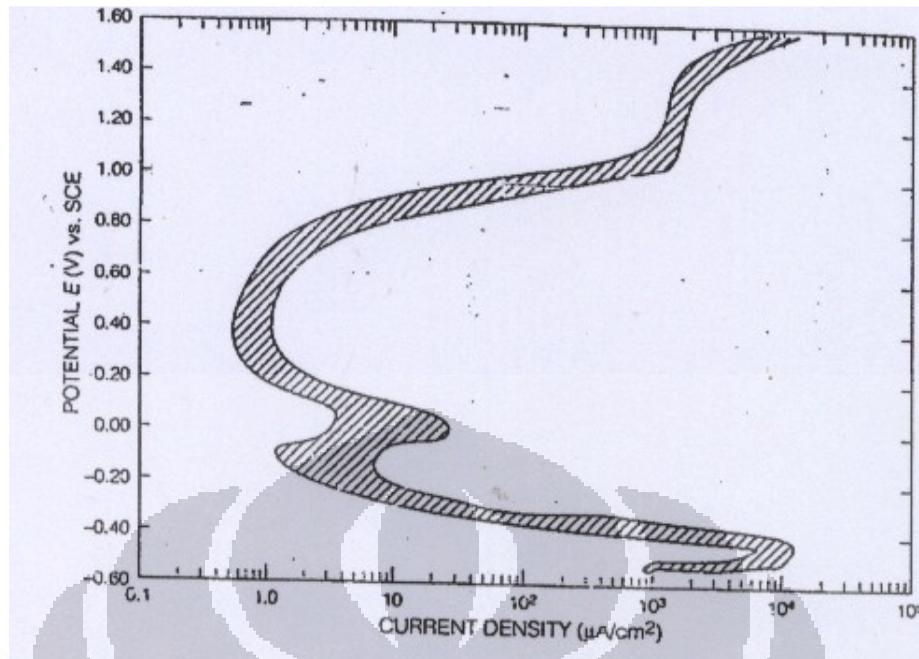
Lapisan pasif ini dipengaruhi oleh keasaman, temperatur, dan kandungan ion Cl^- terlarut, serta untuk kurva polarisasi anodik secara keseluruhan dipengaruhi pula oleh laju polarisasi (untuk daerah pasivasi) dan komposisi logam paduan.



Gambar 2.16. Pengaruh Penurunan Laju Polarisasi (1) ~ (7) pada kurva polarisasi potensiostatik anodik untuk AISI 304 Stainless steel dalam deareasi 1 N H₂SO₄ pada 25 °C ⁽⁹⁾

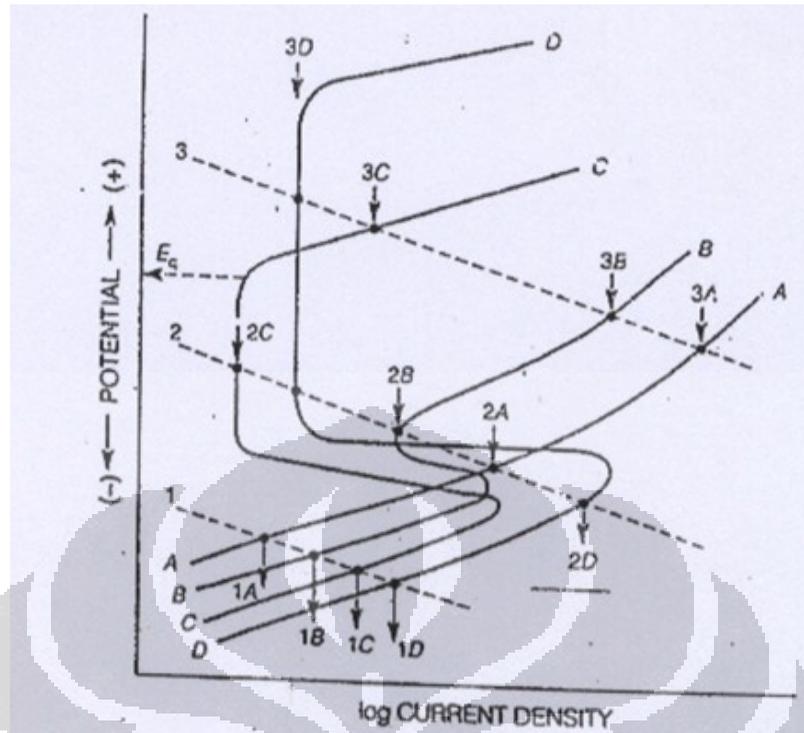
Gambar 2-16, menunjukkan pengaruh laju polarisasi, pada polarisasi yang lebih lambat dengan waktu yang lebih lama pada tiap potensiostatik akan menghasilkan rapat arus yang lebih rendah pada semua potensial pada kurva polarisasinya, khususnya pada area pasivasi.

Pada Gambar 2-17, ditunjukkan pengaruh variasi komposisi pada spesifikasi *alloy* yang sama. Pada beberapa variasi komposisi dapat menyerupai pengaruh yang signifikan pada detail dari kurva polarisasinya. Untuk itu diperlukan pengontrolan variable eksperimen dan komposisi alloy untuk menghasilkan kurva polarisasi anodik yang maksimal. Program ASTM *round robin testing* memberikan rekomendasi prosedur untuk potensiostatik dan potensiodynamik polarisasi anodik. Pada elektrolit dengan konduktivitas yang rendah dapat membuat ohmic interferensi pada pengukuran potensiostatic dan potensiodynamik. Positif *feed back loop* pada potensiostat dapat digunakan untuk mengimbangi tahanan elektrolit ohmic. Bagaimanapun juga, keseimbangan feed back adalah sangat sensitif dan perubahan $R\Omega$ selama pengukuran polarisasi dapat menyebabkan potensiostat kehilangan potensial control selama eksperimen.



Gambar 2.17. Reproduksi dari kurva polarisasi potensiodinamik anodik dari laboratorium berbeda untuk AISI 430 Stainless steel dalam kurva deareasi 1N H_2SO_4 ⁽⁹⁾

Kurva polarisasi potensiostatic anodik dapat digunakan untuk menghitung ketahanan korosi *alloy* dan korosivitas dari larutan. Kurva polarisasi anodik dapat menghemat waktu dan tenaga saat ketika akan melakukan test korosi material pada suatu aplikasi.



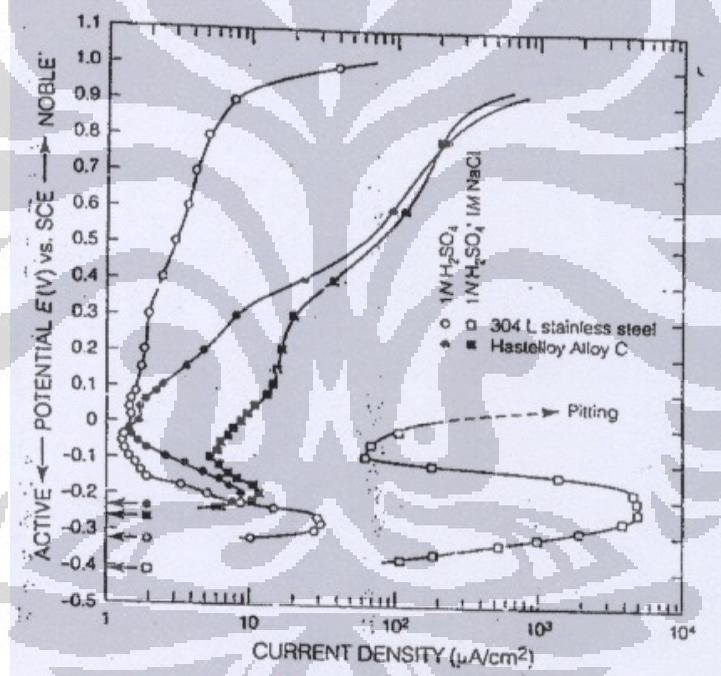
Gambar 2.18. Kurva Polarisasi Anodik Hypothetical Alloy A, B, C dan D dalam berbagai kondisi kimia 1. Reduksi 2. Moderat Oksidasi 3. Oksidasi yang Tinggi ⁽⁹⁾

Secara umum polarisasi potensiostatik anodik ini digunakan untuk mengetahui ketahanan korosi dari beberapa kandidat *alloy* pada lingkungan yang spesifik. Pada Gambar 2-18, ditunjukkan perbandingan skematis pada *hypothetical alloy* A, B, C dan D. Untuk kondisi pengurangan, sebagaimana nomor 1, tiap non pasivasi *alloy* A atau pasivasi parsial *alloy* B adalah lebih baik dibandingkan dengan nomor 2, sebab A dan B mempunyai laju korosi dan rapat arus, $i_{\text{corr}, 1A}$ dan $i_{\text{corr}, 1B}$, yang dituliskan sebagai 1A dan 1B pada gambar 2-14 lebih rendah untuk alloy A dan B pada kondisi 1 dibandingkan kondisi yang lain. Unsur *chromium* pada alloy dibutuhkan untuk memproduksi pasivasi yang kuat dan membuat *alloy* C dan D lebih baik pada kondisi 1.

Laju korosi pada *alloy* dapat dicari melalui beberapa parameter yang dihasilkan polarisasi potensiostatik anodik adalah :

1. Pada kondisi aktif, laju korosi adalah sebanding secara proporsional dengan rapat arus anodik

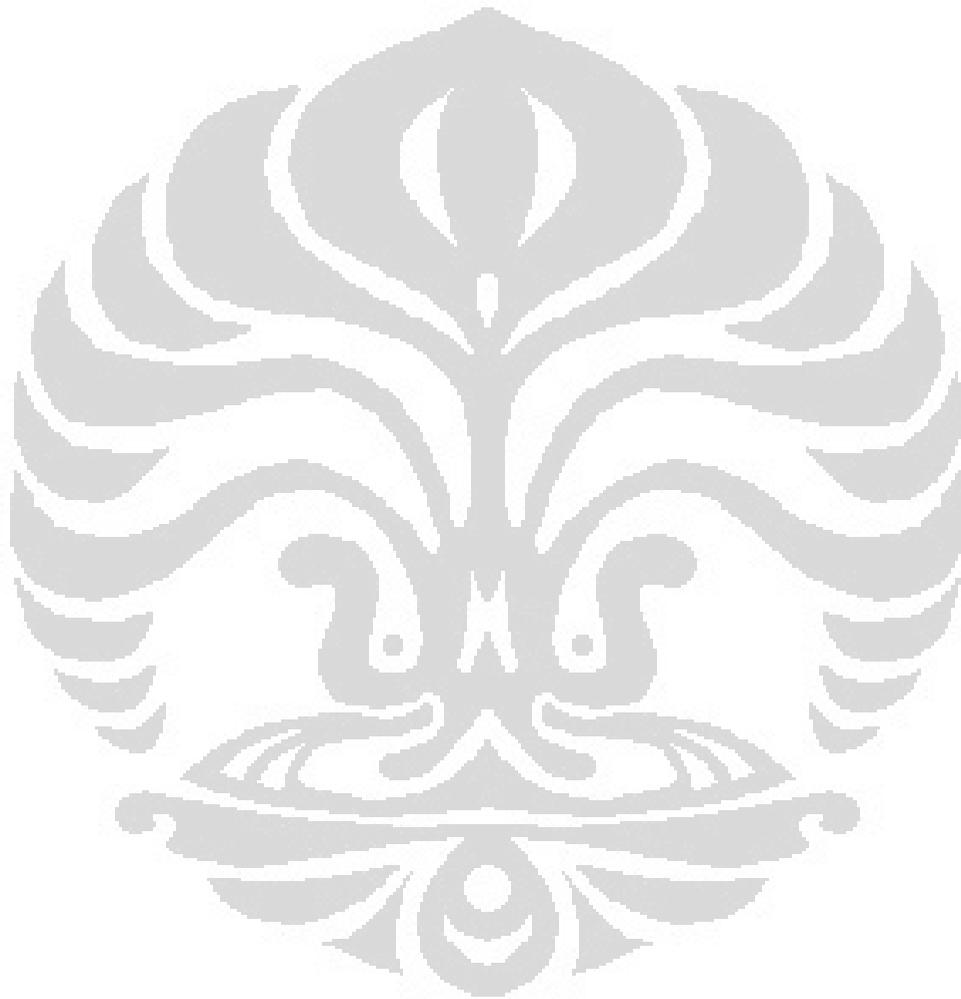
2. Pengurangan laju rapat arus harus mencapai rapat arus kritikal untuk passivasi untuk memastikan laju korosi yang rendah pada kondisi pasif
3. Garis batas pasivasi harus dihindari pada tiap kondisi aktif dan pasif yang stabil
4. Kerusakan passivasi film pada kondisi teroksidasi disebabkan transpassivasi atau awal munculnya korosi lokal harus dihindari
5. Kondisi pasif pada kondisi teroksidasi merupakan laju korosi tetapi secara langsung variasi yang kecil pada rapat arus pasif tidak berpengaruh secara signifikan



Gambar 2.19, Pengaruh Penambahan Klorida dalam Asam Sulfat pada polarisasi potensial anodik pada Stainless Steel 304 dan Hastelloy C ⁽⁹⁾

Korosivitas dari larutan dapat dilihat dari larutan. Gambar 2-21, menunjukkan efek ion klorida pada polarisasi anodik *stainless steel* AISI 304 dan Alloy C. *Stainless steel* menunjukkan peningkatan rapat arus yang besar dengan kerusakan lapisan pasif film dan menimbulkan korosi *pitting*. Pada *alloy C*, klorida hanya memiliki efek korosi yang lebih kecil. Tetapi pada *stainless steel* AISI 304 adalah lebih cocok secara ekonomis pada larutan yang bebas *klorida* dimana rapat arusnya

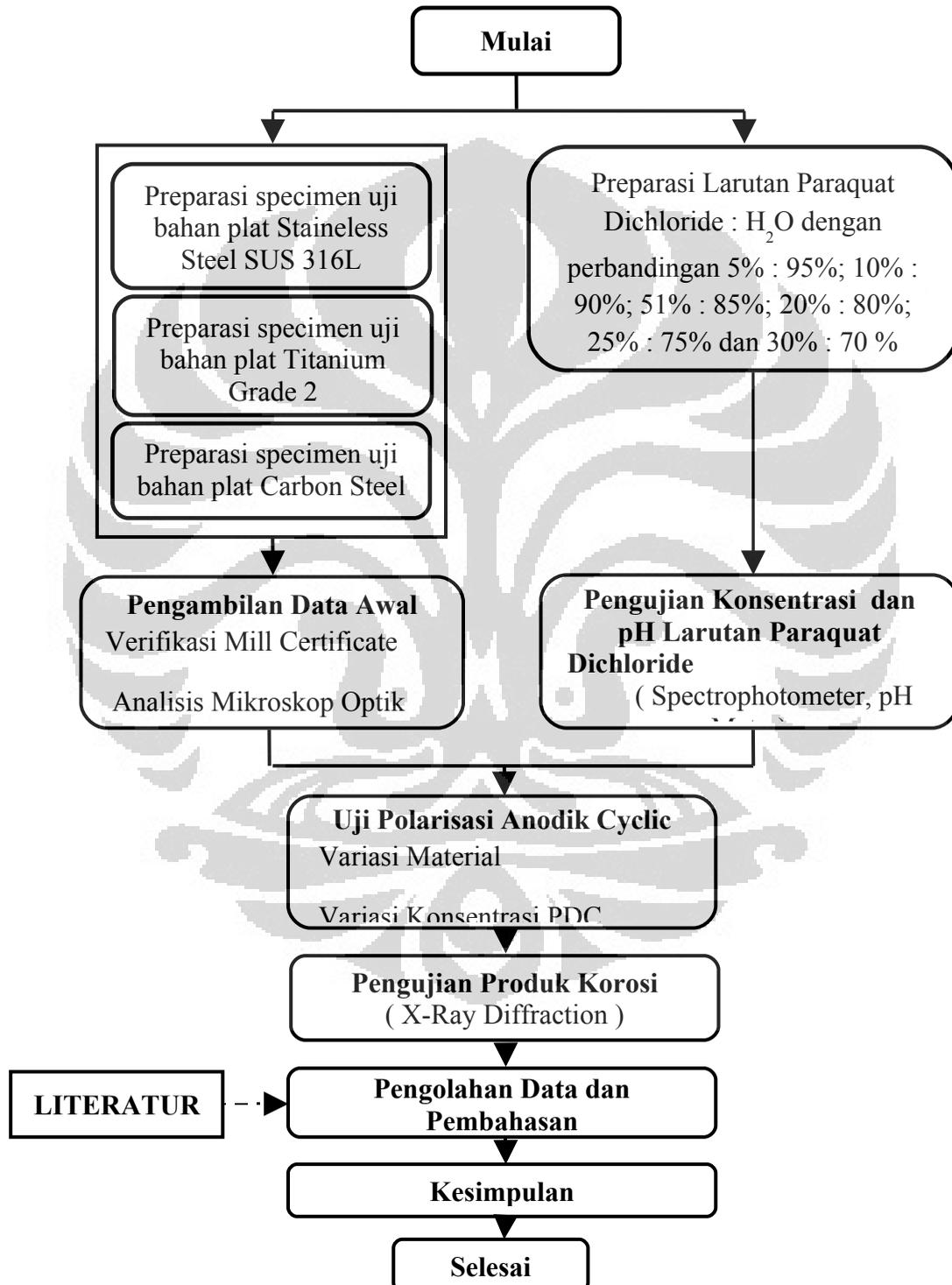
secara umum lebih kecil dibandingkan *alloy C*. Sedangkan pada Titanium, klorida tidak berpengaruh pada kurva polarisasi.



BAB III

METODE PENELITIAN

3. 1. Skema Kerja Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3. 2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium S2-Ilmu Material Universitas Indonesia, BATAN, Serpong – Tangerang dan Laboratorium PT Inti Everspring Indonesia

3. 3. Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah spesimen *Stainless Steel SUS 316L*, Titanium Grade II, Carbon Steel API 5L Grade B. Masing-masing permukaan bahan uji diampelas menggunakan kertas grosok grid #300, #400, #600, #1000 dan # 1500. bahan di siapkan sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Larutan elektrolit yang digunakan dalam uji korosi adalah larutan *Paraquat Dichloride* dan H₂O yang dibuat dengan perbandingan 5% : 95%; 10% : 90%; 51% : 85%; 20% : 80%; 25% : 75% dan 30% : 70 % .

Tabel 3.1. Bahan Dasar Penelitian

No	Nama Bahan	Formula Kimia / Standar Bahan	Produsen
1	Paraquat Dichloride (1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride (kandungan min 42%))	C ₁₂ H ₁₄ N ₂ Cl ₂	Red Sun, China
2	Stainless Steel SUS 316L	ASTM A276	Viraj Profiles Ltd
3	Titanium Grade II	ASTM B265	Titanium Techniques 2001 Ltd
4	Carbon Steel	API 5L Grade B	PT Krakatau Steel

3.3.2. Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Spectrofotometer, digunakan untuk mengukur kandungan paraquat dichloride yang digunakan sebagai media elektrolit pada uji korosi
- pH meter, digunakan untuk mengukur pH larutan paraquat dichloride yang digunakan sebagai media elektrolit pada uji korosi
- Beaker glass, Pengaduk Elektrik, Gleas Ukur, Pipet Plastik, Timbangan, yang digunakan untuk preparasi larutan paraquat dichloride yang digunakan sebagai media elektrolit pada uji korosi

- d. Peralatan untuk uji polarisasi anodik *cyclic*, yang digunakan untuk uji polarisasi anodik *cyclic* pada bahan Stainless Steel SUS 316L, Titanium Grade 2 dan Carbon Steel
- e. Mikroskop optik, yang digunakan untuk melihat korosi yang terjadi pada bahan Stainless Steel SUS 316L, Titanium Grade 2 dan Carbon Steel
- f. X-Ray Diffraction, yang digunakan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk hasil produk korosi Stainless Steel SUS 316L

3.4 Persiapan Bahan

3.4.1 Persiapan Spesimen Uji

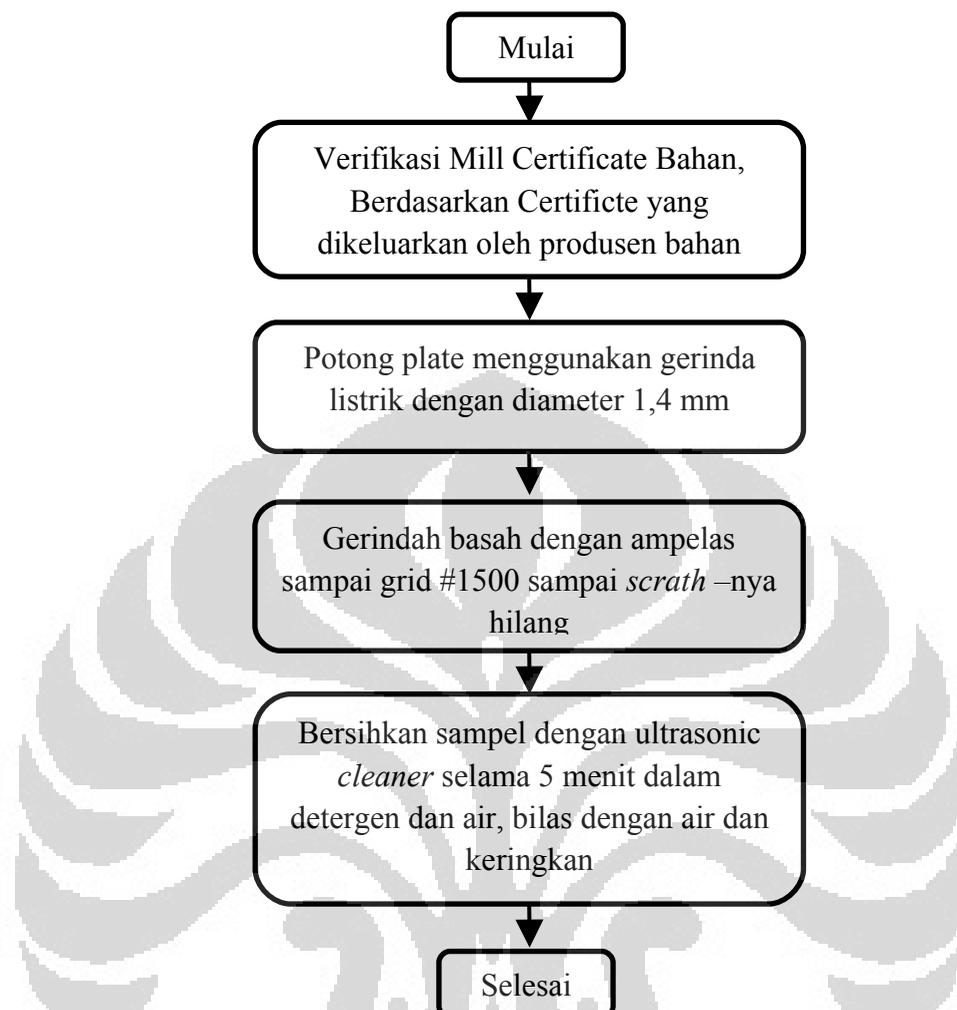
Standard yang digunakan dalam pembuatan sampel adalah :

ASTM G 61-86 untuk Standard *test Methode for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurement for Localized Corrosion Susceptibility of Iron, Nickle, or Cobalt Base Alloy*

Preparasi specimen uji untuk uji polarisasi anodik *cyclic* ini dilakukan di Laboratorium Material PT BIN BATAN (Badan Teknologi Atom)-Serpong

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan sampel untuk uji Polarisasi Anodic Cyclic terdiri dari : Mesin gerinda listrik (*Buehler Samplmet 2 Abrasive Cutter*), mesin penggosok (*MoPao 2D Grinding Polisher*) dan kertas gosok dengan grid #300, #400, #600, #1000 dan # 1500.

Pembuatan sampel uji polarisasi Anodik *Cyclic* dilakukan dengan jalan menyiapkan plat SUS 316L (ketebalan 3 mm) dan Titanium Grade 2 (ketebalan 2 mm) dan Carbon Steel API 5L grade B (ketebalan 3 mm), melakukan pemeriksaan kesesuaiannya dengan mill sertifikat. Seanjutnya memeriksa kandungan unsur kimianya menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). kemudian sampel uji dipotong menggunakan gerinda listrik menjadi ukuran berdiameter 1,4 mm. Masing-masing 7 pcs untuk material SUS 316L dan Titanium Grade 2 dan Carbon Steel. Sampel specimen yang sudah dipotong diampelas menggunakan kertas gosok berukuran grid #300, #400, #600, #1000 dan # 1500. Selanjutnya dibersihkan dengan air menggunakan *ultra sonic cleaner* dan dikeringkan.



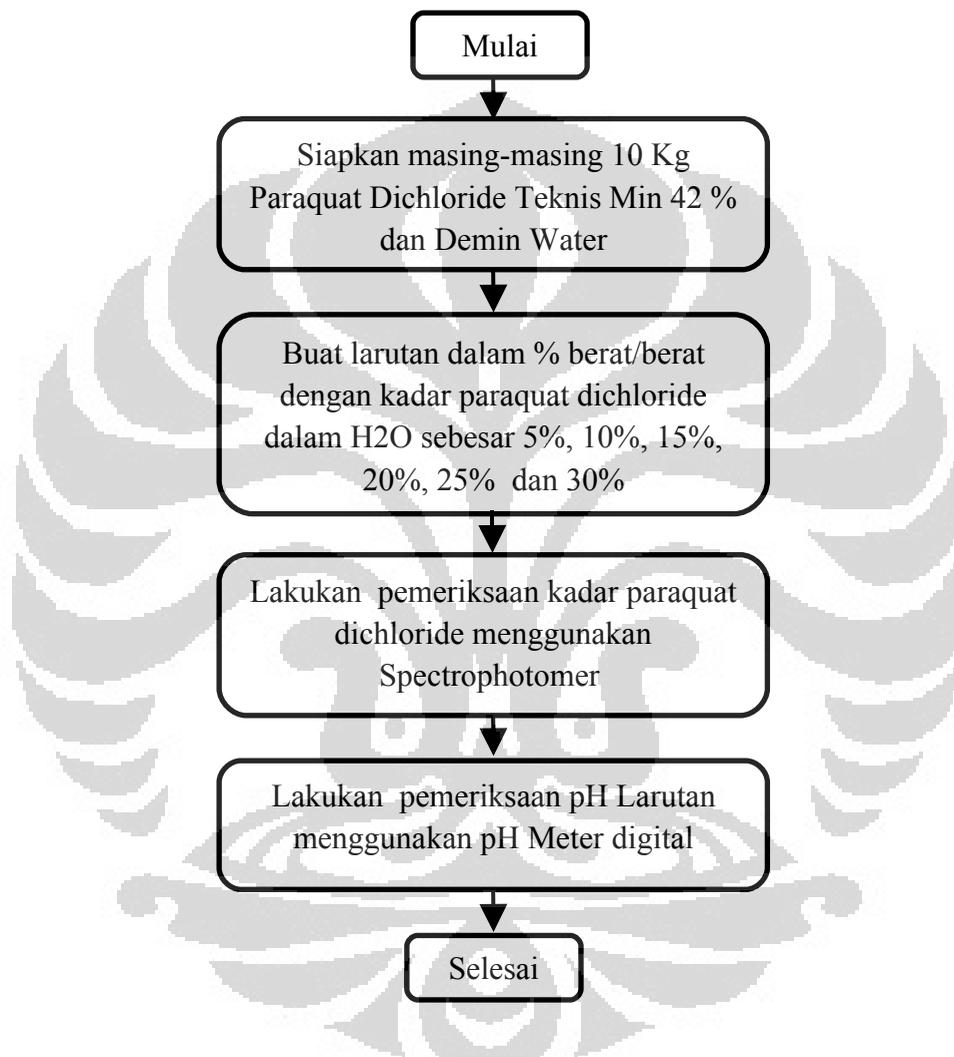
Gambar 3.2. Skema persiapan sampel anoda untuk uji polarisasi anodik *cyclic*

3.4.2. Pembuatan Larutan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan larutan pengujian adalah : Spectrophotometer (Hitachi U-2001), pH Meter (Methrom), Beaker Glass (Pyrex), Timbangan Teknis ketelitian 2 digit dibelakang koma (Precisa), Gelas Ukur, Pengaduk, Lemari Asam.

Pembuatan larutan uji polarisasi Anodik *Cyclic* dilakukan dengan menyiapkan 10 kg larutan *Paraquat Dichloride* dengan kadar bahan teknis minimal 42 % dan 10 kg *Demin Water* . Menimbang secara proporsional bahan teknis paraquat dichloride dan demin water untuk menghasilkan larutan paraquat dichloride dengan kadungan dalam persen berat/berat larutan 5%, 10 %, 15%, 20%, 25% dan 30%. Selanjutnya melakukan pemeriksaan kadar paraquat dichloride dengan

spectrophotometer, jika kadar kurang dari konsentrasi yang telah ditetapkan lakukan penambahan bahan sesuai dengan kebutuhannya. kemudian memeriksa pH dari larutan paraquat dichloride yang sudah diketahui konsentrasinya menggunakan pH Meter, simpan larutan uji didalam botol HDPE. Larutan uji siap untuk digunakan sebagai media elektrolit dalm uji korosi anodik *cyclic*.



Gambar 3.3. Skema persiapan larutan pengujian untuk uji polarisasi anodik *Cyclic*

3.5 Pengujian Korosi Dengan Polarisasi Anodik *Cyclic*

Penelitian secara umum untuk mengukur ketahanan korosi pada suatu bahan logam banyak digunakan metode polarisasi, karena membutuhkan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan metode *immers solution*. Metode celup membutuhkan waktu yang sangat lama untuk mendapatkan hasil korosi, disamping itu metode polarisasi menghasilkan data yang lebih memiliki akurasi dan presisi yang lebih baik dibandingkan dengan metode lainnya.

Standard yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan :

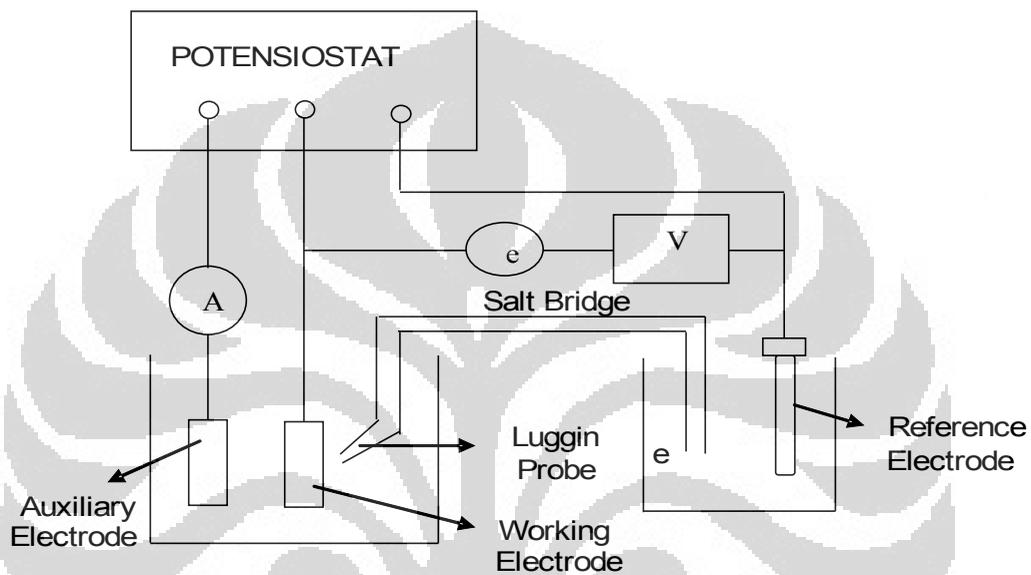
- ASTM G 61-86 untuk Standard Test Methode for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurement for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt Base Alloy.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian polarisasi anodik cyclic terdiri dari: Sel polarisasi, Potensiostat, PC yang dilengkapi software pengolahan, working elektroda (anoda/sampel preparasi), Reference Elektroda yang menggunakan Standard Calomel Elektroda (SCE) dan Auxillary Elektroda yang terbuat dari bahan grafit, Luggin capillary dengan jembatan garam untuk menghubungkan ke reference elektroda.

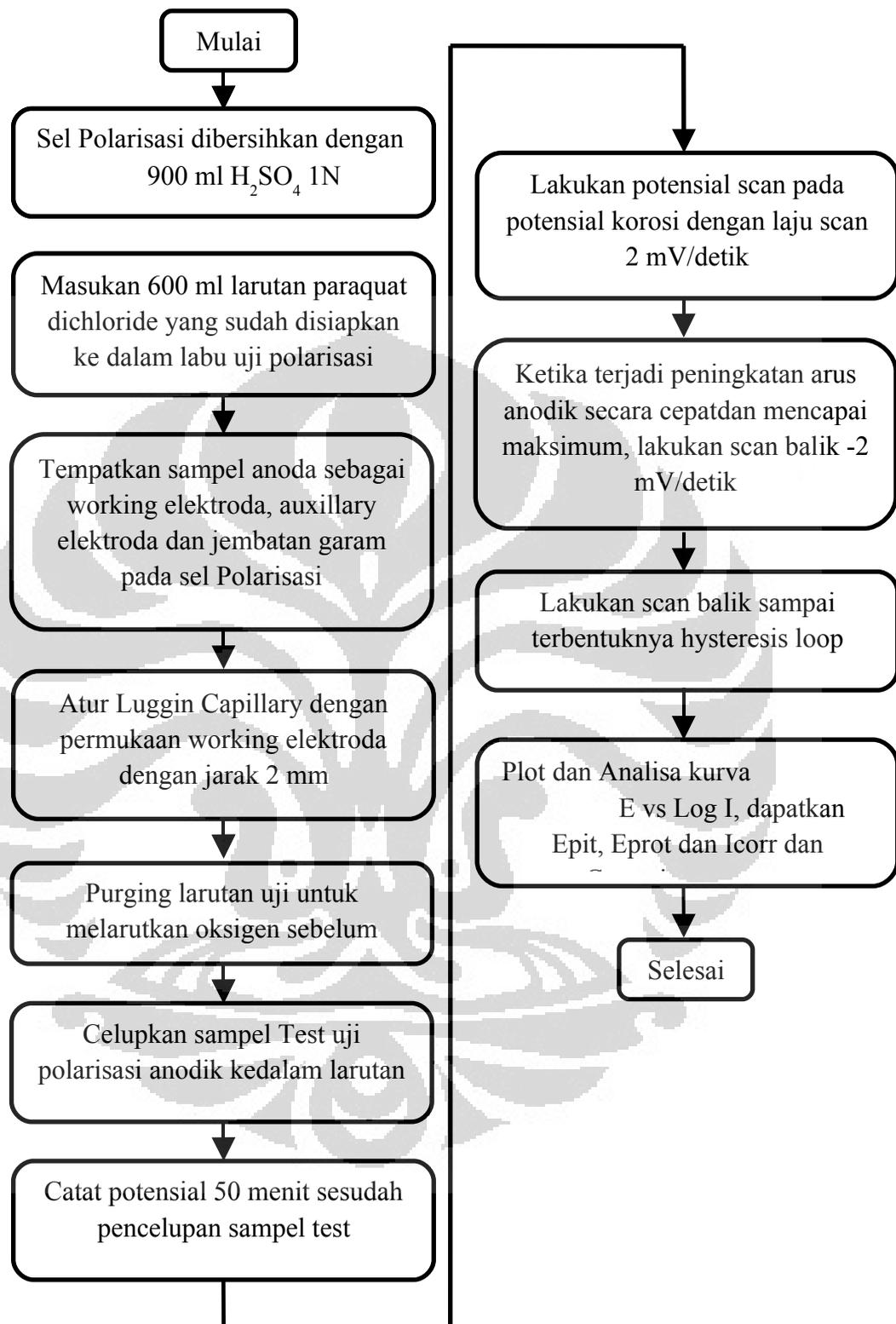
Pengujian korosi dengan metode uji polarisasi Anodik *Cyclic* dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Sel polarisasi dibersihkan dengan 900 ml H₂SO₄, dibilas dengan air dan dibiarkan kering
- Masukkan 600 ml larutan Paraquat Dichloride yang sudah disiapkan sebelumnya dengan konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%.
- Tempatkan Anoda sebagai working elektroda, reference elektroda, auxillary elektroda dan pipa jembatan garam yang sudah di isi dengan 3,5% NaCl pada sel polarisasi
- atur posisi Luggin Capillary dengan permukaan working electrode dengan jarak 2 mm

- Potensio stat membaca open circuit sekitar 50 menit pada polarisasi terbaca stabil, setelah stabil maka potensial korosi awal akan terbaca pada nilai tertentu maka dilakukan setting dan menaikkan potensial (forward scan) sebesar 2 mV/detik. , ketika mencapai potensial maksimum maka potensial diturunkan (reverse scan) sebesar 2 mV/detik
- Data kurva polarisasi disimpan dikomputer.



Gambar 3.4. Skema Sel Polarisasi



Gambar 3.5 Skema pengujian dan evaluasi untuk pengujian polarisasi anodik *cyclic*

3.6 Evaluasi Sampel Test Korosi dengan Polarisasi Anodik *Cyclic*

Evaluasi hasil uji polarisasi anodik cyclic dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap data pada kurva polarisasi anodik cyclic yang diperoleh berupa E vs log I. Data-data pada kurva E vs log I yang perlu dievaluasi adalah :

- Data Potensial Pitting (E_{pit}) dan Current densitynya
- Data Potensial Proteksi (E_{prot}) dan Current densitynya
- Data E_{corr} dan I_{corr} untuk menghitung Corrosion Rate

Untuk mengamati morfologi korosi pitting yang terjadi dilakukan dengan pengamatan dibawah mikroskop optik.

3.7. Analisa Produk Korosi Stainless Steel 316L Austenit

Produk korosi yang digunakan adalah produk korosi yang sudah terjadi di lapangan yang berasal dari proses produksi PT Inti Everspring Indonesia. Peralatan yang digunakan adalah X-Ray Diffraction (XRD) yang dimiliki oleh BATAN.

Persiapan Pengukuran

- a) Menyiapkan bahan yang akan diambil datanya dengan menggunakan sampel holder.
- b) Karena sampel berbentuk padatan maka harus memperhatikan tebal dan diameter sampel agar tidak melebihi batas ruang sampel holder dan apabila tidak memungkinkan maka sampel padatan tersebut diserbukkan terlebih dahulu.
- c) Menggunakan double tip maupun lilin (malam) untuk mengikat sampel.
- d) Bila sampel tersebut sedikit maka dapat menggunakan kaca sebagai sample holder.
- e) Membuka ruang sampel, kemudian memasukkan sampel yang akan diambil datanya setelah itu menutup ruang sampel.
- f) Menyesuaikan parameter untuk pengambilan data
- g) Memulai pengambilan data.
- h) Mengulangi prosedur . sampai . untuk memperlakukan sampel berikutnya.

- i) Setelah selesai melakukan pengukuran, langkah selanjutnya adalah mengambil data dari komputer berupa hardcopy maupun soft copy yang dapat dibuka melalui software EXCEL, IGOR dan lain-lain dalam bentuk ASCII file.

3.7.1 Spesifikasi Pengukuran

<i>Diffractometer type</i>	:	<i>PW3710 Based</i>
<i>Tube anode</i>	:	<i>Cu</i>
<i>Generator tension</i>	:	<i>40 kV</i>
<i>Generator current</i>	:	<i>35 mA.</i>
<i>Wavelength Alpha 1</i>	:	<i>1,78896 Å</i>
<i>Wavelength Alpha 2</i>	:	<i>1,79285 Å</i>
<i>Intensity ratio (Alpha2/alpha1)</i>	:	<i>0,500</i>
<i>Divergence slit</i>	:	<i>1/40</i>
<i>Receiving slit</i>	:	<i>0,2</i>
<i>Monochromator used</i>	:	<i>No</i>

3.7.2 Prosedur Pelaksanaan

Cara penggunaan XRD

1. Nyalakan *travo* (berada di bawah jendela)
2. Nyalakan saklar otomatis ke atas di ruang sebelah (tombol ke-3 paling kanan)
3. Nyalakan air sehingga tekanan air menunjukkan 2,6 - 2,8 atm.
4. Naikkan *voltage* (berada di tembok)
5. pasang steker PW-control dibelakang bawah meja PC
6. Pasang Nagoya Stabilisator (berada di belakang pintu).
7. Nyalakan komputer PC
8. Nyalakan XRD (tombol merah putih), tunggu sampai terdengar bunyi klik yang cukup keras.
9. Naikkan arus dan *voltage* bergantian. Biasanya menaikkan 2 kali arus satu kali volt. Tunggu sebentar baru menaikkan lagi hingga dicapai 40 mA dan 35 kV.

10. Pasang spesimen pada sample holder dan letakkan pada penjepit spesimen di goniometer.
11. Edit pilih program (identity program) tentukan program sesuai keperluan misalnya theta dari sudut 10 s/d 70. Sudut theta 5.020 sudut theta maksimum 160.020
12. Data collection. Identity Measurement
13. Pasang *shutter* dengan memutar tombol 4 ke penunjuk tak terhingga, tekan tombol 4 yang berwarna merah.
14. Tekan F1 untuk memulai pengukuran.
15. Untuk melihat pola yang terjadi selama pengukuran tekan *Data Collection, Display Scan* dan akan terlihat pola tersebut pada layar monitor.
16. Setelah pengukuran selesai matikan *shutter* dengan memutar tombol 4 ke penunjuk nol
17. *Peak* hasil XRD dapat dicari dengan melihat *peak search*.
18. Pola XRD dapat dihaluskan dengan *smooth data*.
19. Catat pemakaian peralatan XRD ini pada buku biru.

Data yang didapat adalah data antara intensitas vs sudut 2θ . Untuk mengetahui komposisi sample secara kualitatif dan kuantitatifnya dilakukan komputerisasi dengan metode GSAS.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Verifikasi *Mill Material Certificate Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L Austenit, Titanium Grade 2* dan hasil pengujian larutan *Paraquat Dichloride*

4.1.1. Hasil Verifikasi *Mill Material Certificate Carbon Steel API 5L Garde B* terhadap Standar

Material *Carbon Steel API 5L grade B* yang digunakan dalam pengujian ini bersumber dari PT Karakatau Steel, Tbk. Carbon Steel API 5L Grade B yang digunakan mengikuti standar API 5L Grade B, Adapun hasil verifikasi *mill material certificate* dari material tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1. dibawah ini :

Tabel 4.1. Hasil Verifikasi *Mill Material Certificate Material Carbon Steel API 5L Grade B* dan standar ⁽¹³⁾

No	Parameter ukur	Unit	Standar API 5L Grade B	Hasil Analisis
1	Kandungan unsur kimia			
-	C	%	Max 0.28	0.17
-	Mn	%	Max 1.20	0.64
-	P	%	Max 0.03	0.09
-	S	%	Max 0.03	0.02
-	Ti	%	Max 0.04	0.03
-	Si	%	-	0.19
-	Al	%	-	0.42
-	Cr	%	-	0.12
-	Mo	%	-	0.02
-	Ni	%	-	0.08
-	V	%	-	0.03
-	Cu	%	-	0.16
-	Nb	%	-	0.01
-	N	%	-	0.36
-	B	%	-	0.01
-	Ca	%	-	0.11
2	Sifat Mekanik			
-	Yield strenght	MPa	241 – 448	341
-	Tensile strenght	MPa	414 – 758	472
-	Elongation	%	-	40

Berdasarkan data hasil verifikasi material *Carbon Steel API 5L Grade B* yang digunakan memenuhi spesifikasi material standar API 5L Grade B, kecuali untuk unsur Phospor, kandungan unsur tersebut diatas standar yang di tetapkan.

4.1.2. Hasil Verifikasi *Mill Material Certificate Stainless Steel SUS 316L Austenite* terhadap Standar

Material stainless steel SUS 316L Austenit yang digunakan dalam uji korosi bersumber dari Viraj Profiles LTD. Stainless steel SUS 316L mengikuti standar ASTM A276, Adapun hasil verifikasi *mill material certificate* dari material tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2. dibawah ini :

Tabel 4.2. Hasil Verifikasi *Mill Material Certificate* Stainless Steel SUS 316L austenit dan standar ⁽¹⁴⁾

No	Parameter ukur	Unit	Standar ASTM A276	Hasil Analisis
1	Kandungan unsur kimia			
-	C	%	0.030	0.021
-	Mn	%	2.000	1.460
-	Si	%	1.000	0.450
-	S	%	0.030	0.020
-	P	%	0.045	0.040
-	Cr	%	16-18	16.700
-	Ni	%	10-14	10.060
-	Cu	%	-	0.500
-	Mo	%	2-3	2.030
-	Co	%	-	0.190
-	N	%	0.1000	0.069
2	Sifat Mekanik			
-	0.2% yield strenght	MPa	Min 170	503
-	Tensile strenght	MPa	Min 485	655
-	Elongation	%	Min 40	46
-	Reduction of Area	%	Min 50	70
-	Hardness	BHN	-	191

Berdasarkan data verifikasi material Stainless Steel SUS 316L diatas, material yang digunakan memenuhi spesifikasi material standar ASTM A276

Dari data kandungan unsur kimia diatas diperoleh nilai *Pitting Resistance Equivalence Number (PREN)* dengan menggunakan formula $PREN = Cr + 3.3Mo + 16N$ adalah:

$$PREN \text{ SUS 316L} = 16.7 + \{3.3 \times 1.46\} + \{16 \times 0.069\}$$

$$PREN \text{ SUS 316L} = 22.62$$

Nilai PREN digunakan sebagai standar untuk mengetahui ketahanan pitting dari suatu material stainless steel, semakin tinggi nilai PREN-nya maka ketahanan korosi pitting material tersebut semakin baik. Ketahanan pitting pada material stainless steel ditentukan oleh unsur Chromium, Molibdenium dan Nitrogen yang dikandungnya

4.1.3. Hasil Verifikasi *Mill Material Certificate Titanium Grade 2* terhadap Standar

Material Titanium Grade 2 yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Titanium Techniques 2001 LTD. Titanium Grade 2 yang digunakan mengikuti standar ASTM B265, Adapun hasil verifikasi *mill material certificate* dari material tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3. dibawah ini :

Tabel 4.3. Hasil Verifikasi *Mill Material Certificate Titanium Grade 2* dan standar ⁽¹⁵⁾

No	Parameter ukur	Unit	Standar ASTM B265	Hasil Analisis
1	Kandungan unsur kimia			
-	N	%	0.030	0.010
-	C	%	0.080	0.010
-	H	%	0.015	0.008
-	Fe	%	0.300	0.120
-	O	%	0.250	0.090
-	Al	%	-	-
-	V	%	-	-
-	Ti	%	Bal	Rest
2	Sifat Mekanik			
-	Yield strenght	MPa	Min 275	320
-	Tensile strenght	MPa	Min 345	345
-	Elongation	%	Min 20 %	26

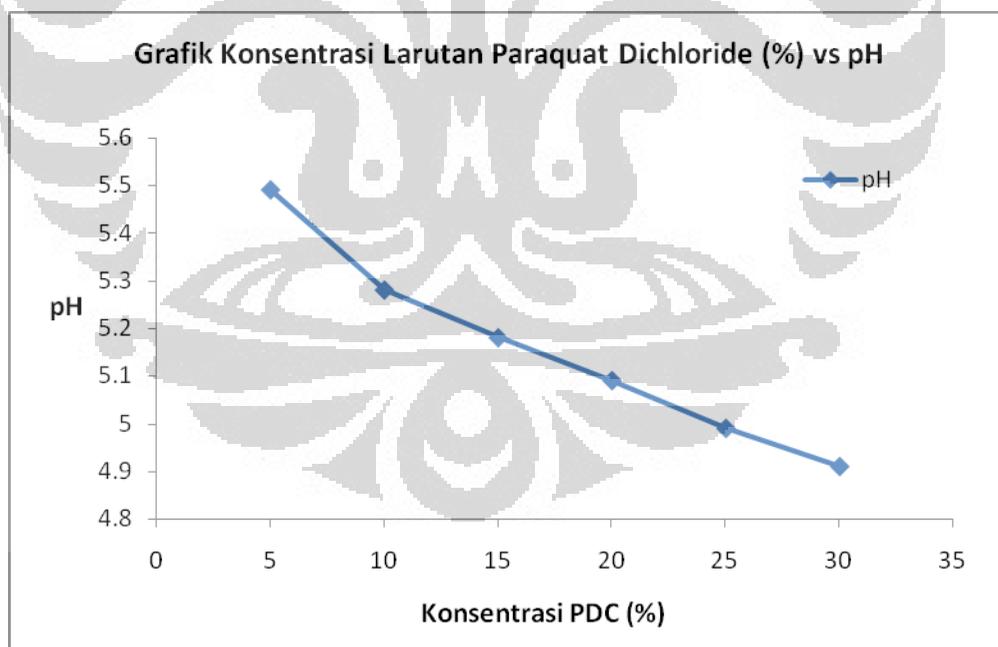
Hasil verifikasi material Titanium Grade 2 diatas, material yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi spesifikasi material standar ASTM B265.

4.1.4. Hasil Pengujian Larutan Paraquat Dichloride

Paraquat dichloride yang digunakan bersumber dari produsen Red Sun Group Corporation, China. Adapun hasil pengujian paraquat dichloride disajikan pada Table 4.4 dibawah ini:

Tabel 4.4. Data hasil analisis larutan uji paraquat dichloride

No	Konsentrasi Larutan Paraquat Dichloride (Nominal), %berat/berat	Konsentrasi Larutan Paraquat Dichloride (terukur), %berat/berat	pH
1	5	5.1	5.49
2	10	9.9	5.28
3	15	15.2	5.18
4	20	20.1	5.09
5	25	24.9	4.99
6	30	30.1	4.91



Gambar 4.1. Grafik hubungan konsentrasi Larutan Paraquat Dichloride terhadap pH larutan

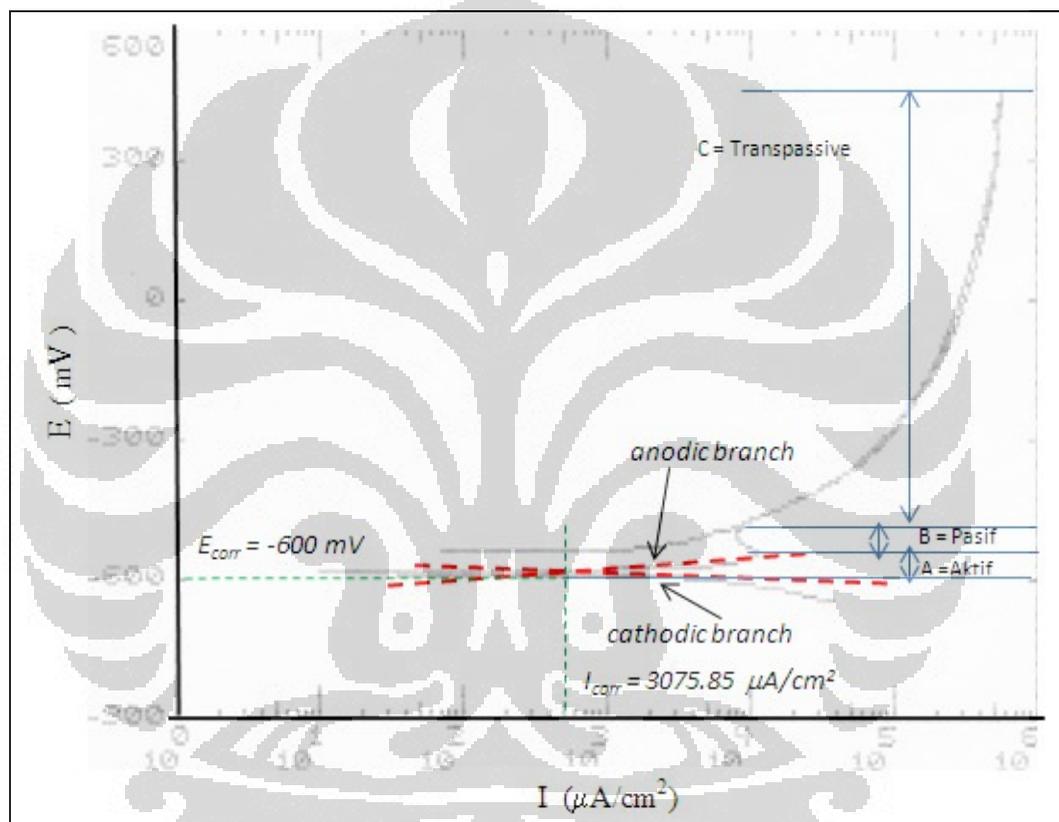
Gambar 4.1. adalah hasil pengujian pH pada larutan paraquat dichloride, dari hasil pengujian diatas dapat dilihat naiknya konsentrasi paraquat dichloride maka pH

larutan yang dihasilkan semakin kecil, hal ini disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi paraquat dichloride maka kandungan ion Cl^- juga semakin meningkat, meningkatnya ion Cl^- menyebabkan pH semakin rendah.

4.2. Hasil dan Analisa Uji Polarisasi Anodik *Cyclic*

4.2.1 Analisa Kurva Hasil Uji Polarisasi Anodik *Cyclic*

4.2.1.1 Analisa Kurva Hasil Uji Polarisasi Anodik *Cyclic* Material Carbon Steel API 5L Grade B



Gambar 4.2. Kurva uji polarisasi anodik *cyclic* pada material Carbon Steel API 5L Grade B

Gambar 4.2 memperlihatkan kurva hasil uji polarisasi anodik *cyclic* pada material Carbon Steel API 5L Grade B dengan konsentrasi larutan paraquat dichloride sebesar 15%. Dari kurva diatas dapat dijelaskan, ketika arus dialirkan pada sel polarisasi pada *cathodic branch* terjadi penurunan arus kemudian arus mengalami kenaikan pada *anodic branch*, arus perpotongan antara *anodic branch* dan *cathodic branch* sampai dengan maksimum kenaikan arus pada *anodic branch* disebut juga dengan daerah “Aktif (sepanjang zona A)”. pada zona aktif ini terjadi proses korosi ,

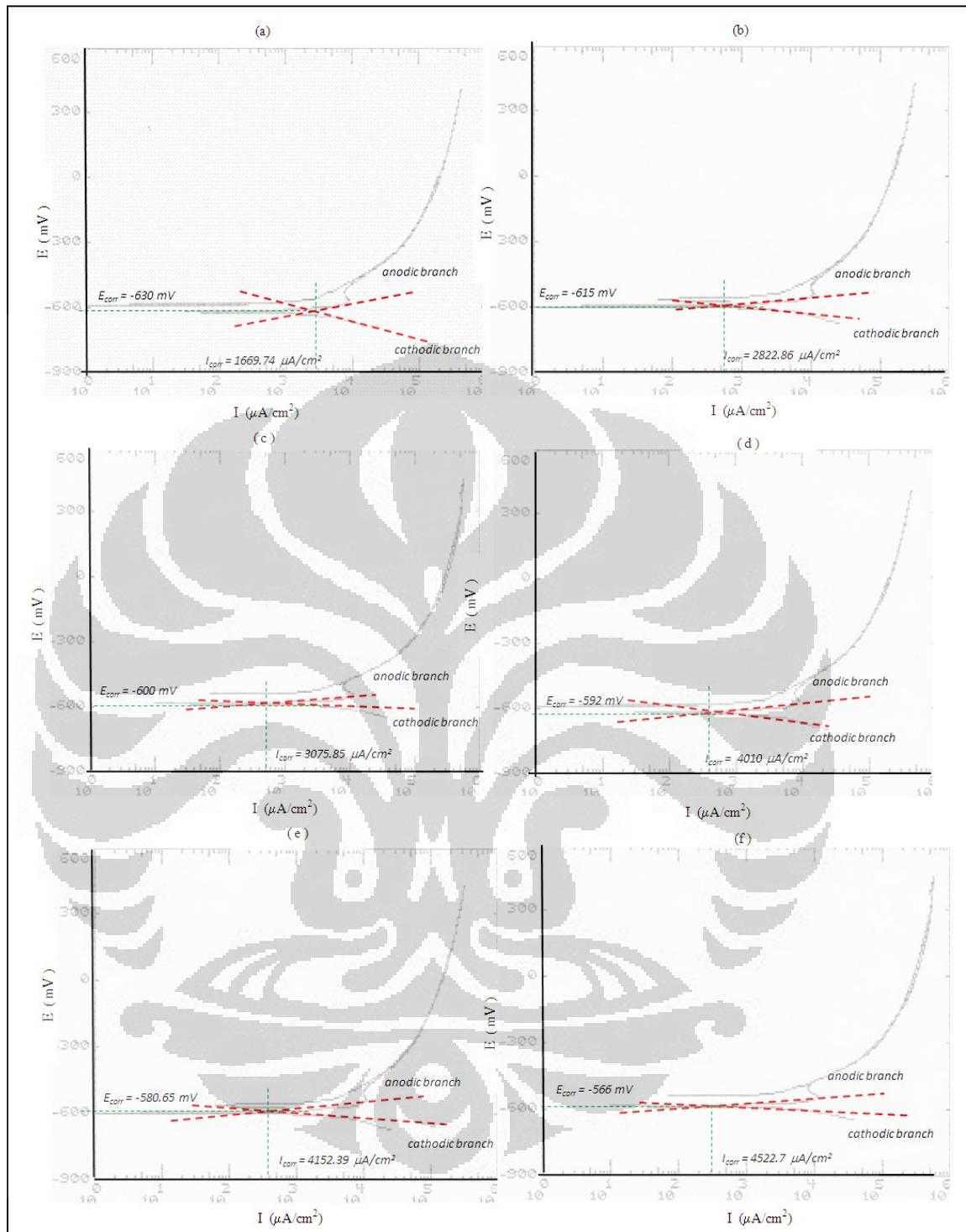
dalam hal ini carbon steel API 5L Grade B yang dijadikan sebagai Anoda mengalami reaksi oksidasi (pelepasan elektron $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-$). Pada daerah “Aktif”. korosi yang terjadi adalah korosi merata (*general corrosion*) dengan rapat arus korosi sebesar $3075.85 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ serta *corrosion rate* yang terjadi sebesar 1413.85 mpy .

Ketika arus terus dinaikan terbentuk lapisan pasif (sepanjang zona B) pada permukaan logam, lapisan pasif ini terjadi karena didalam carbon steel API 5L Grade B terkandung unsur Cr, Ni, Ti, Al. unsur tersebut akan membentuk lapisan pasif. sepanjang zona B ini tidak terjadi proses korosi pada logam dan arus yang diberikan juga tidak mengalami kenaikan. Zona B ini disebut juga dengan daerah “Pasif”. pada material carbon Steel API 5L Grade B, daerah pasif yang terbentuk sangat rendah hal ini disebabkan oleh kandungan unsur-unsur pembentuk lapisan pasif ini rendah.

Ketika arus terus dinaikan pada Zona C kembali terjadi proses korosi dengan arus yang lebih besar, Zona C ini dikenal juga dengan daerah *Transpassive*. proses korosi yang terjadi didaerah ini sangat cepat karena arus korosi yang terbentuk sangat besar sekali. pada zona ini terjadi korosi pitting yang diikuti oleh korosi merata

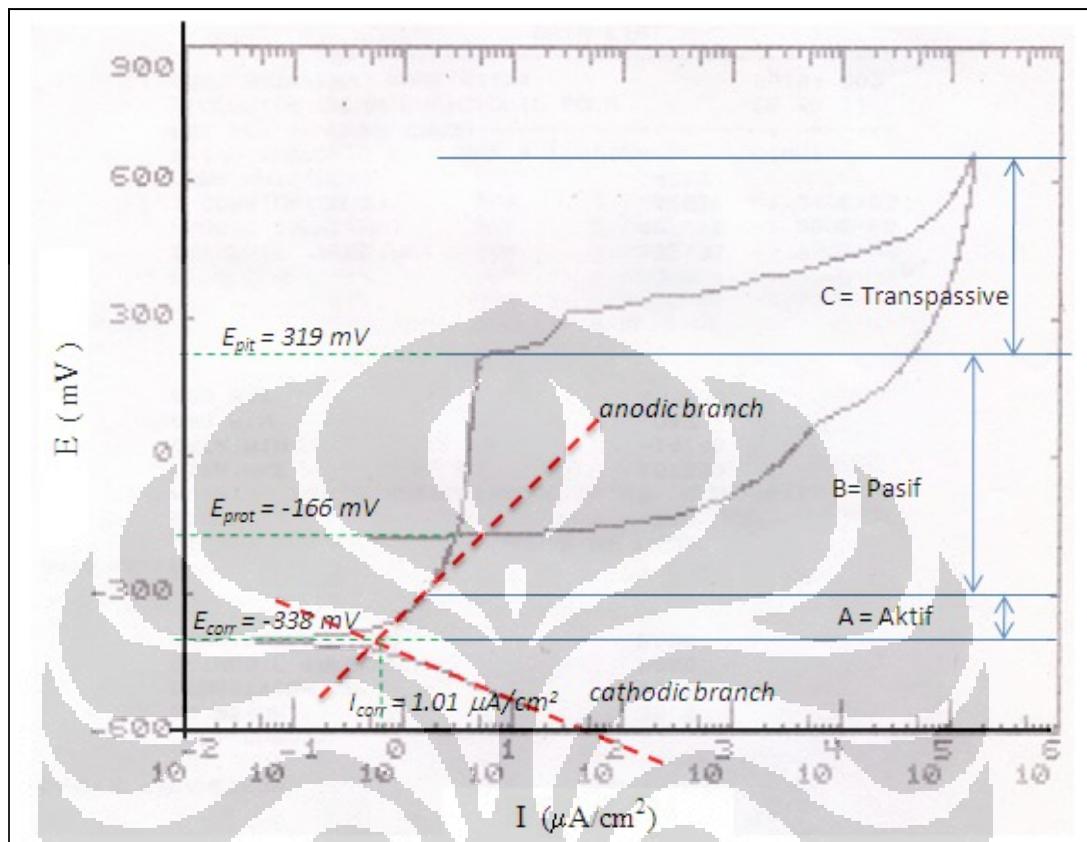
Ketika arus diturunkan (*reverse scan*), arus korosi berimpit mengikuti arus pada saat *forward scan*

Gambar 4.3 adalah memperlihatkan kurva hasil uji polarisasi anodik *cyclic* pada material Carbon Steel API 5L Grade B pada berbagai kondisi konsentrasi larutan paraquat dichloride.



Gambar 4.3. Kurva uji polarisasi anodik *cyclic* material Carbon Steel API 5L Grade B pada konsentrasi paraquat dichloride (a). 5%, (b). 10%, (c). 15%, (d). 20%, (e). 25% dan (f). 30%

4.2.1.2 Analisa Kurva Hasil Uji Polarisasi Anodik *Cyclic* Material Stainless Steel SUS 316L Austenit



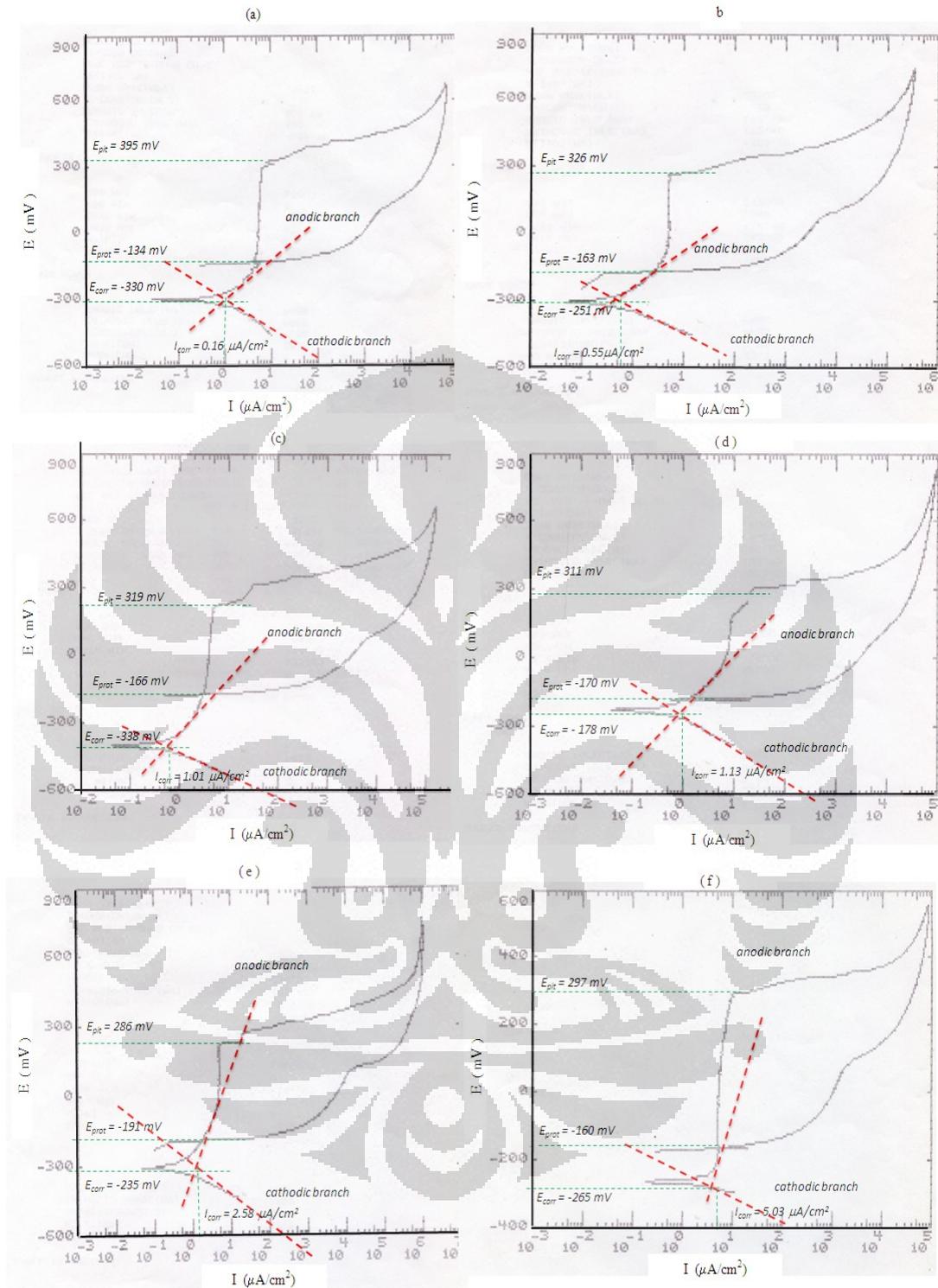
Gambar 4.4. Kurva uji polarisasi anodik *cyclic* pada material Stainless Steel SUS 316L Austenit

Gambar 4.4 memperlihatkan kurva hasil uji polarisasi anodik *cyclic* pada material Stainless Steel SUS 316L Austenit dengan konsentrasi larutan paraquat dichloride sebesar 15%. Dari kurva diatas dapat dijelaskan, sama halnya engan penjelasan pada Gambar 4.2 ketika arus dialirkan pada sel polarisasi pada *cathodic branch* terjadi penurunan arus kemudian arus mengalami kenaikan pada *anodic branch*, arus perpotongan antara *anodic branch* dan *catodic branch* sampai dengan maksimum kenaikan arus pada *anodic branch* disebut juga dengan daerah “Aktif (sepanjang zona A)”. pada zona aktif ini terjadi proses korosi, dalam hal ini Stainless Steel SUS 316L yang dijadikan sebagai Anoda mengalami reaksi oksidasi (pelepasan elektron $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 e^-$). Pada daerah “Aktif”. korosi yang terjadi adalah korosi merata (*general corrosion*) dengan rapat arus korosi sebesar $1.01 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ serta *corrosion rate* yang terjadi sebesar 0.4212 mpy .

Ketika arus terus dinaikan terbentuk lapisan pasif (sepanjang zona B) pada permukaan logam, lapisan pasif ini terjadi karena didalam Stainless Steel SUS 316L Austenit terkandung unsur Cr dan Ni. unsur tersebut akan membentuk lapisan pasif. sepanjang zona B ini tidak terjadi proses korosi pada logam dan arus yang diberikan juga tidak mengalami kenaikan. Zona B ini disebut juga dengan daerah “Pasif”. pada material Stainless Steel SUS 316L Austenit, daerah pasif yang terbentuk sangat cukup lebar dibandingkan dengan Carbon Steel API 5L grade. hal ini disebabkan oleh kandungan unsur-unsur pembentuk lapisan pasif ini, khususnya Cr dan Ni memiliki kandungan yang cukup tinggi.

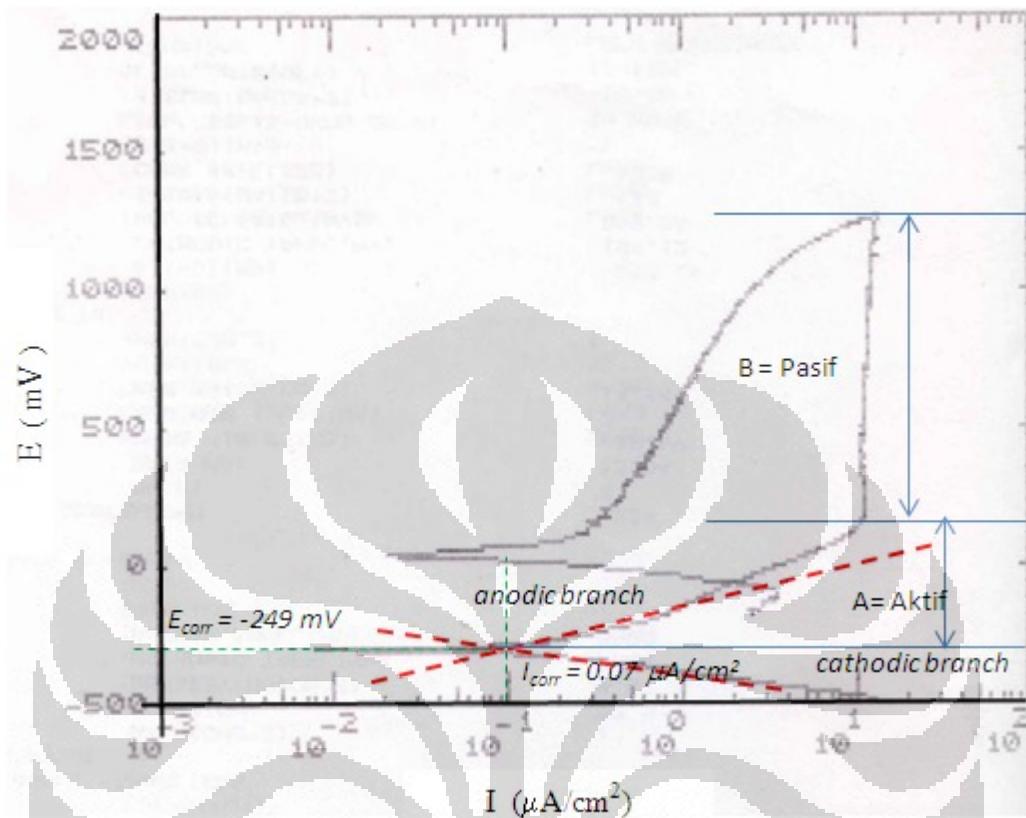
Ketika arus terus dinaikan pada Zona C kembali terjadi proses korosi dengan arus yang lebih besar, Zona C ini dikenal juga dengan daerah *Transpassive*. proses korosi yang terjadi didaerah ini sangat cepat karena arus korosi yang terbentuk sangat besar sekali. pada material stainless steel pada zona ini terjadi korosi pitting. Potensial *pitting* (E_{pit}) sebesar 319 mV, potensial proteksi (E_{prot}) sebesar -166 mV dan rapat arus korosi (I_{corr}) sebesar $1.01 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ serta corrosion rate yang terjadi sebesar 0.4212 mpy (kategori *Outstanding*), dan hasil polarisasi menunjukkan korosi pitting terjadi dengan ditandainya adanya perpotongan antara *reverse scan* dengan *forward scan* dimana selisih antara nilai $E_{pit} - E_{prot}$ sebesar 485 mV.

Gambar 4.5 adalah memperlihatkan kurva hasil uji polarisasi anodik *cyclic* pada material Stainless Steel SUS 316L Austenit pada berbagai kondisi konsentrasi larutan paraquat dichloride.



Gambar 4.5. Kurva uji polarisasi anodik *cyclic* material Stainless Steel SUS 316L Austenit pada konsentrasi paraquat dichloride (a). 5%, (b). 10%, (c). 15%, (d). 20%, (e). 25% dan (f). 30%

4.2.1.3 Analisa Kurva Hasil Uji Polarisasi Anodik *Cyclic* Material Titanium Grade 2



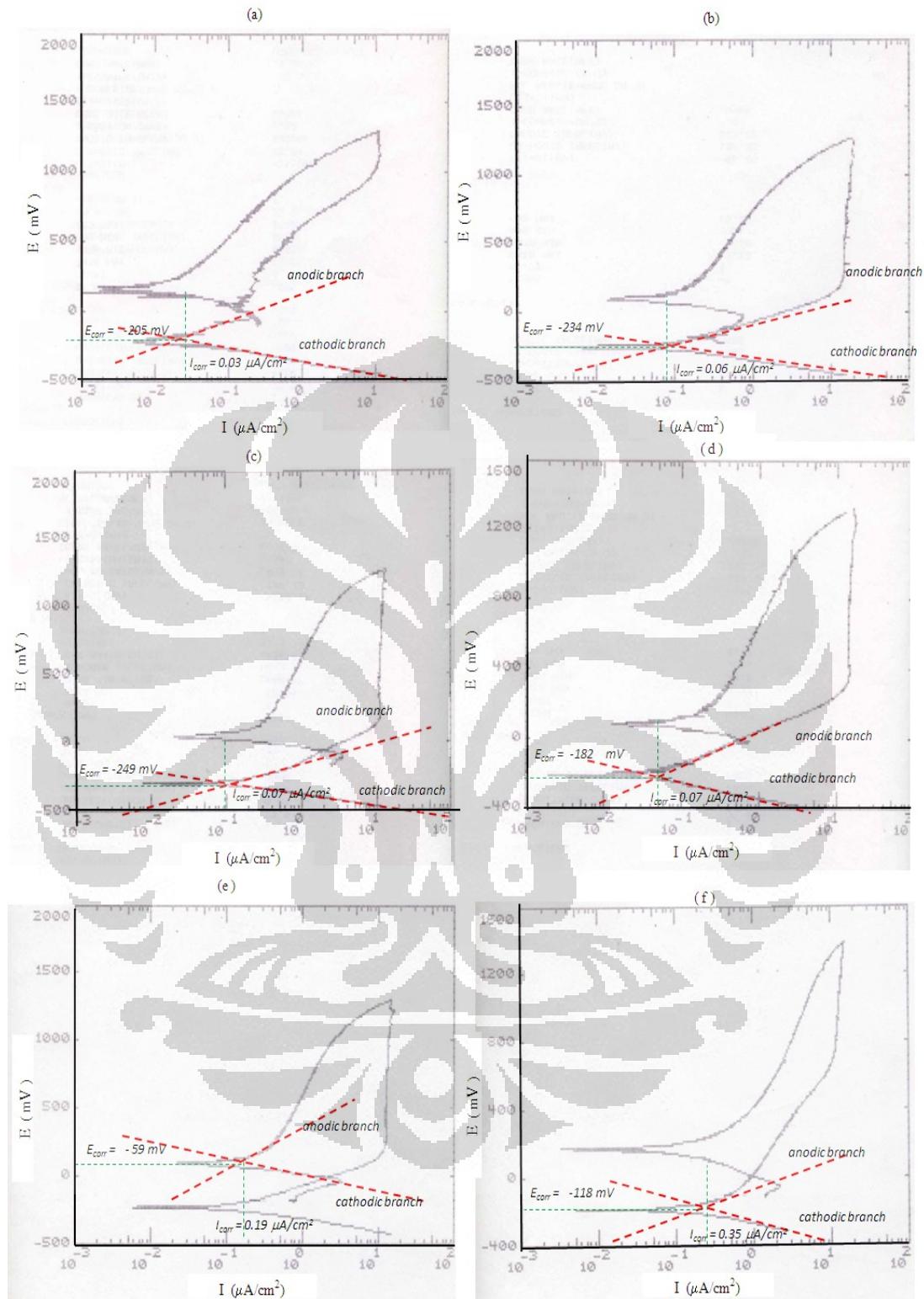
Gambar 4.6. Kurva uji polarisasi anodik *cyclic* pada material Titanium Grade 2

Gambar 4.6 memperlihatkan kurva hasil uji polarisasi anodik *cyclic* pada material Titanium Grade 2 dengan konsentrasi larutan paraquat dichloride sebesar 15%. Dari kurva diatas dapat dijelaskan, ketika arus dialirkan pada sel polarisasi pada *cathodic branch* terjadi penurunan arus kemudian arus mengalami kenaikan pada *anodic branch*, arus perpotongan antara *anodic branch* dan *catodic branch* sampai dengan maksimum kenaikan arus pada *anodic branch* disebut juga dengan daerah “Aktif” sepanjang zona A. pada zona aktif ini terjadi proses korosi, dalam hal ini Titanium Grade 2 yang dijadikan sebagai Anoda mengalami reaksi oksidasi (pelepasan elektron $\text{Ti} \rightarrow \text{Ti}^{2+} + 2 e^-$). Pada daerah “Aktif”. korosi yang terjadi adalah korosi merata (*general corrosion*) dengan rapat arus korosi sebesar $0.07 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ serta *corrosion rate* yang terjadi sebesar 0.0484 mpy .

Ketika arus terus dinaikan terbentuk lapisan pasif (sepanjang zona B) pada permukaan logam, lapisan pasif ini terjadi karena didalam Titanium Grade 2 terkandung unsur Ti. unsur tersebut merupakan salah satu unsur yang membentuk lapisan pasif. Sepanjang zona B ini tidak terjadi proses korosi dan arus yang diberikan juga tidak mengalami kenaikan. Zona B ini disebut juga dengan daerah “Pasif”. pada material Titanium Grade 2, daerah pasif yang terbentuk lebih lebar dibandingkan dengan Stainless Steel SUS 316L. hal ini disebabkan oleh kandungan unsur yang membentuk lapisan pasif ini, khususnya Ti sangat tinggi lebih dari 90 %

Ketika arus terus dinaikan pada material Titanium Grade 2, tidak terjadi kenaikan arus, dan pada batas maksimum potensial yang diberikan arus mengalami penurunan, lebih kecil dibanding dengan arus pada lapisan pasif yang terbentuk. material tidak memiliki zona *transpassive*, zona ini terbentuk pada material Carbon Steel API 5L grade B dan Stainless Steel SUS 316L Austenit

Gambar 4.7 adalah memperlihatkan kurva hasil uji polarisasi anodik *cyclic* pada material Titanium Grade 2 pada berbagai kondisi konsentrasi larutan paraquat dichloride.



Gambar 4.7. Kurva uji polarisasi anodik *cyclic* material Titanium Grade 2 pada konsentrasi paraquat dichloride (a). 5%, (b). 10%, (c). 15%, (d). 20%, (e). 25% dan (f). 30%

4.2.2 Analisa Pengaruh Konsentrasi Paraquat Dichloride dan pH Larutan terhadap Nilai Potensial Pitting (E_{pit}), Potensial Proteksi (E_{prot}), Rapat Arus Korosi (I_{corr}) dan Laju Korosi (mpy)

Pengujian polarisasi anodik *cyclic* diperoleh data tentang kurva E vs $\log I$, dari kurva tersebut diperoleh nilai potensial pitting (E_{pit}), rapat arus pitting (I_{pit}) potensial proteksi (E_{prot}) serta I_{corr} untuk mengetahui laju korosi *rate* dari sampel metal yang dilakukan pengujian.

Pembentukan kurva polarisasi anodik *cyclic* ini dilakukan pada konsentrasi paraquat dichloride dan material yang berbeda. waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan kurva polarisasi anodik *cyclic* untuk masing-masing sampel membutuhkan waktu sekitar 1.5 ~ 2 jam.

Dari kurva polarisasi yang diperoleh dapat dihitung kecepatan korosi material Carbon Steel API 5L grade B, Stainless Steel SUS 316L, Titanium Grade 2 dan dalam bentuk mpy (miles per year, 1 mil = 0.001 inchi), kecepatan korosi ini dihitung berdasarkan persamaan empiris ⁽¹⁴⁾ dibawah ini :

$$mpy = 0,129 \times \frac{I_{corr} \times M}{D} \quad (2.25)$$

Keterangan : D = berat jenis material (g/cm^3)

$$D_{SUS316L} = 7.98 \text{ gr/cm}^3;$$

$$D_{Titanium} = 4.54 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_{Carbon Steel} = 7.86 \text{ gr/cm}^3$$

I_{corr} = rapat arus korosi ($\mu A/cm^2$);

M = berat ekivalen ($g/mol.equ$)

$$M_{SUS316L} = 25.50 \text{ gr/mol}$$

$$M_{Titanium} = 23.95 \text{ gr/mol}$$

$$M_{Carbon Steel} = 27.78 \text{ gr/mol}$$

Persamaan diatas mengasumsikan, laju korosi *rate* yang dihitung adalah korosi umum (*general corrosion*), sedangkan korosi pitting yang terjadi tidak diperhitungkan.

Standar kategori laju korosi menurut NACE dapat dilihat pada Table 4.5 dibawah ini:

Tabel 4.5 Kategori Korosi Menurut NACE ⁽¹⁶⁾

Kategori	Laju korosi (mpy)	Laju Korosi (mm/tahun)
Outstanding	< 1	< 0.02
Excelent	1 – 5	0.02 – 0.1
Good	5 – 20	0.1 – 0.5
Fair	20 - 50	0.5 – 1
Poor	50 - 200	1 – 5
Unacceptable	> 200	> 5

Hasil uji polarisasi anodik cyclic pada material Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Data Hasil Uji Polarisasi Anodik Cyclic pada material

(a) Carbon Steel API 5L; (b) Stainless Steel SUS 316L (c) Titanium Grade 2

(a)

No	Konsentrasi Paraquat Dichloride	E_{pit} (mV)	E_{prot} (mV)	ΔE (mV)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	Corr.Rate (mpy)	Kategori Corr. Rate
1	5%	-	-	-	1669.74	767.1900	Unacceptable
2	10%	-	-	-	2822.86	1297.0100	Unacceptable
3	15%	-	-	-	3075.85	1413.2500	Unacceptable
4	20%	-	-	-	4010.01	1842.4600	Unacceptable
5	25%	-	-	-	4152.39	1907.8800	Unacceptable
6	30%	-	-	-	4522.69	2078.0200	Unacceptable

(b)

No	Konsentrasi Paraquat Dichloride	E_{pit} (mV)	E_{prot} (mV)	ΔE (mV)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	Corr.Rate (mpy)	Kategori Corr. Rate
1	5%	395	-134	529	0.16	0.0651	Out Standing
2	10%	326	-163	489	0.55	0.2305	Out Standing
3	15%	319	-166	485	1.01	0.4212	Out Standing
4	20%	311	-170	481	1.13	0.4699	Out Standing
5	25%	303	-191	477	1.069	0.4407	Out Standing
6	30%	297	-160	457	5.03	2.0882	Excellent

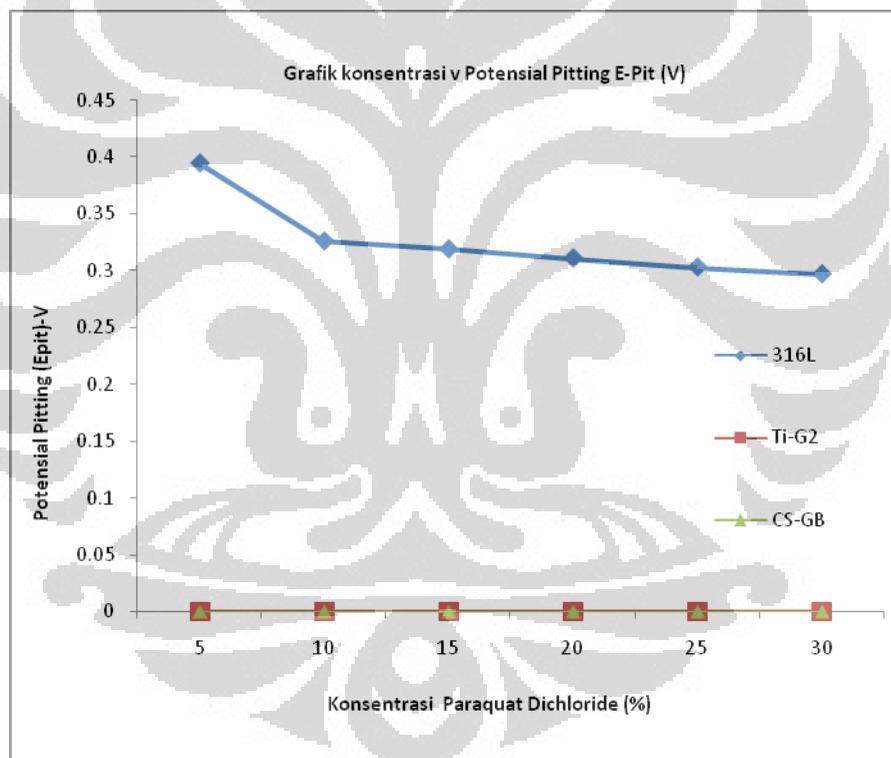
(c)

No	Konsentrasi Paraquat Dichloride	E_{pit} (mV)	E_{prot} (mV)	ΔE (mV)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	Corr.Rate (mpy)	Kategori Corr. Rate
1	5%	-	-	-	0.030	0.0208	Out Standing
2	10%	-	-	-	0.060	0.0400	Out Standing
3	15%	-	-	-	0.070	0.0489	Out Standing
4	20%	-	-	-	0.070	0.0484	Out Standing
5	25%	-	-	-	0.190	0.1258	Out Standing
6	30%	-	-	-	0.350	0.2374	Out Standing

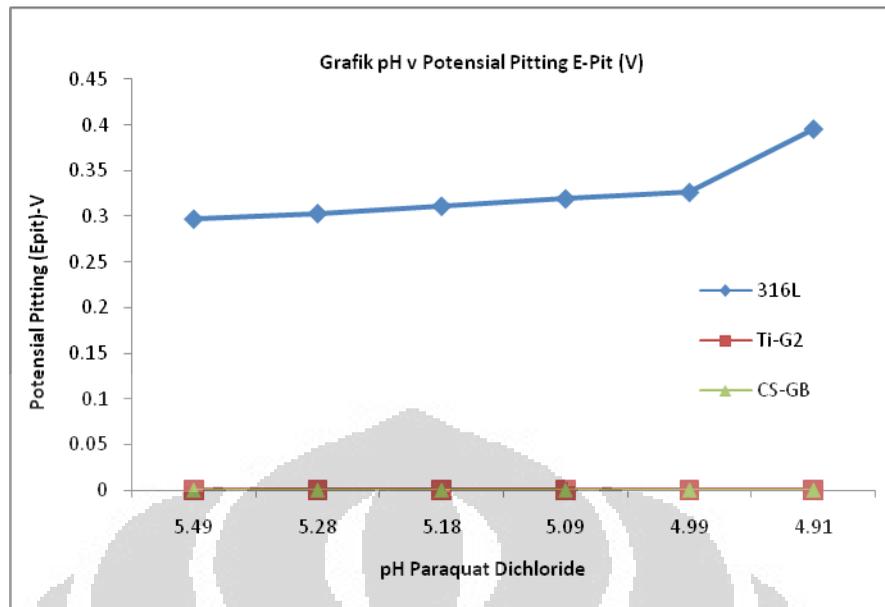
Perhitungan *corrosion rate* menggunakan metode polarisasi anodik *cyclic* mengasumsikan korosi yang terjadi merupakan *general* korosi, begitu pula dengan pengkategorian *corrosion rate* menurut standar NACE berlaku hal yang sama.

Table 4.6 menjelaskan bahwa korosi yang terjadi pada material yang dilakukan uji korosi polarisasi anodik *cyclic* berbeda-beda. Pada material Carbon Steel API 5L Grade B korosi yang terjadi adalah korosi umum (*general corrosion*) dengan laju korosi yang sangat besar. Material Stainless Steels SUS 316L mengalami korosi umum (*general corrosion*) yang disertai dengan korosi pitting dengan laju korosi yang relatif rendah. Selanjutnya pada material Titanium Grade 2 mengalami korosi umum (*general corrosion*) tapi tidak disertai dengan korosi pitting dan laju korosinya lebih rendah dibandingkan dengan material Stainless Steel SUS 316L.

Gambar 4.2. memperlihatkan perbandingan nilai potensial pitting (E_{pit}) pada berbagai material uji (Carbon Steel API 5L grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2) dengan perubahan konsentrasi paraquat dichloride. Potensial pitting ini menunjukkan ketahanan material terhadap korosi pitting. Dari kurva ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya kenaikan konsentrasi paraquat dichloride mengakibatkan ketahanan korosi pitting menjadi turun pada material stainless steel SUS 316L, bertolak belakang dengan kenaikan pH mengakibatkan ketahanan korosi pitting menjadi naik. Sedangkan untuk material Carbon Steel API 5L grade B dan Titanium Grade 2 nilai potensial pitting tidak terdeteksi karena tidak terjadinya korosi pitting, jadi perubahan konsentrasi paraquat dichloride dan pH tidak berpengaruh terhadap potensial pitting pada material tersebut.



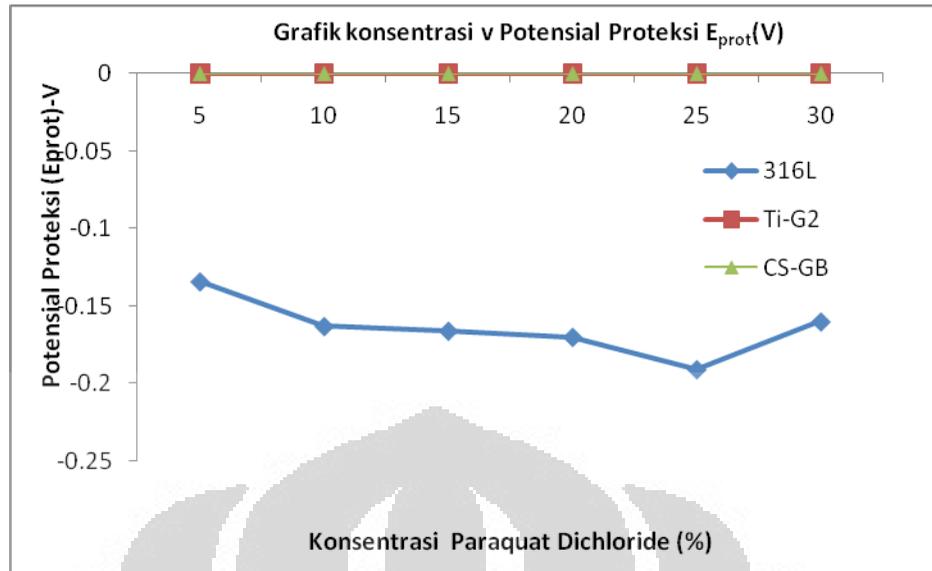
(a)



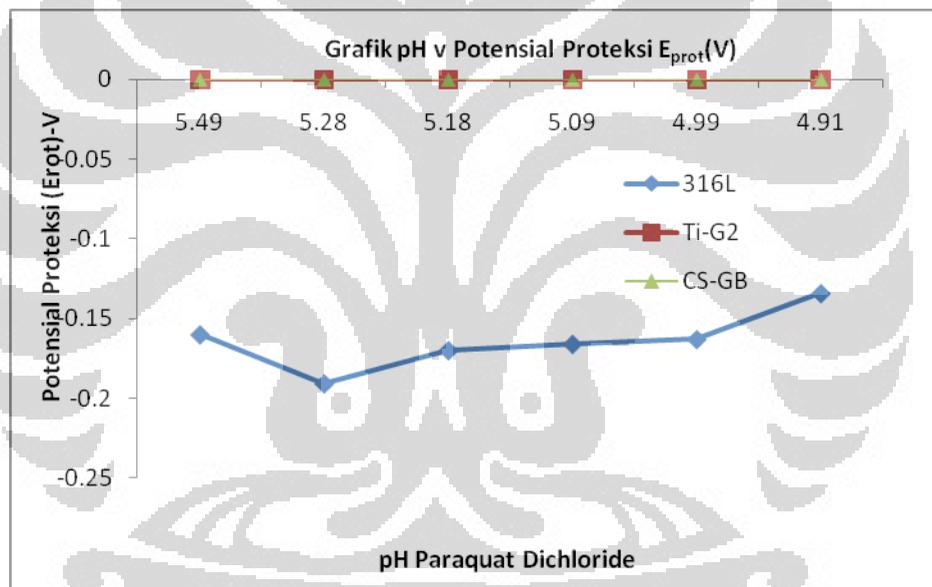
(b)

Gambar 4.8. Nilai potensial *pitting* (E_{pit}) Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 terhadap
(a) perubahan konsentrasi paraquat dichloride (b) perubahan pH

Gambar 4.3. memperlihatkan perbandingan nilai potensial proteksi (E_{prot}) pada berbagai material uji (Carbon Steel API 5L grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2) dengan perubahan konsentrasi paraquat dichloride. Potensial proteksi menunjukkan bahwa semakin kecil nilai potensial proteksi (E_{prot}) maka material tersebut akan semakin sulit untuk dilakukan proteksi terhadap korosinya. Dari kurva ini dapat disimpulkan pada material Stainless Steel SUS 316L kenaikan konsentrasi paraquat dichloride, potensial proteksi material tersebut mengalami penurunan kecuali pada konsentrasi 30% menaikkan E_{prot} , kenaikan pH larutan dapat menaikkan E_{prot} kecuali pada pH 5.28 E_{prot} mengalami penurunan. Sedangkan untuk material Carbon Steel API 5L grade B dan Titanium Grade 2 nilai potensial proteksi tidak terdeteksi karena tidak terjadinya korosi pitting, jadi perubahan konsentrasi paraquat dichloride dan pH tidak berpengaruh terhadap potensial proteksi pada material tersebut.



(a)

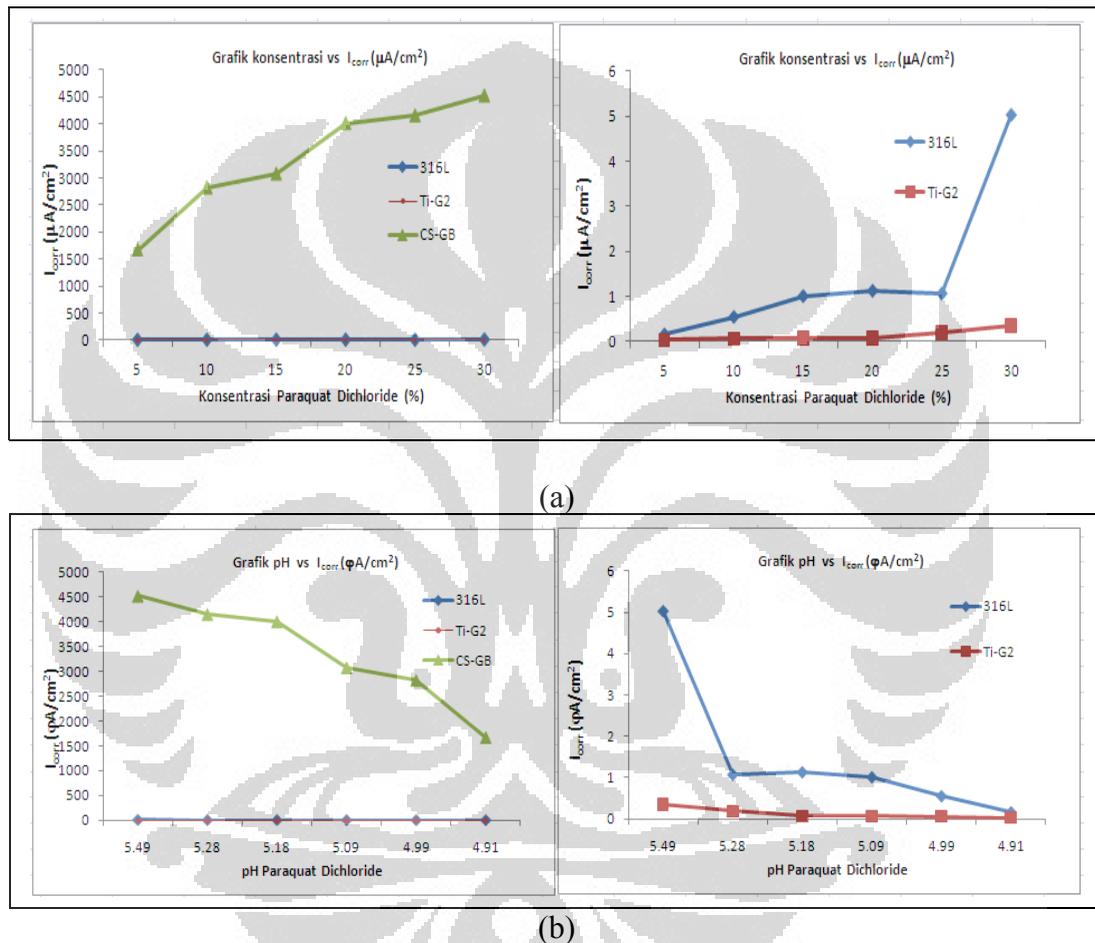


(b)

Gambar 4.9. Nilai potensial proteksi (E_{prot}) Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 terhadap
 (a) perubahan konsentrasi paraquat dichloride (b) perubahan pH

Gambar 4.4. memperlihatkan perbandingan nilai rapat arus korosi (I_{corr}) pada berbagai material uji (Carbon Steel API 5L grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2) dengan perubahan konsentrasi paraquat dichloride dan pH larutan. Rapat arus korosi (I_{corr}) menunjukkan semakin besar nilai rapat arus

korosinya, maka material tersebut semakin mudah terkorosi. Dari kurva ini dapat disimpulkan pada material Carbon Steel API 5L grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 kenaikan konsentrasi paraquat dichloride menyebabkan rapat arus korosinya mengalami kenaikan hal ini berakibat material semakin mudah terkorosi. Kenaikan pH menyebabkan arus korosinya mengalami penurunan, hal ini meperlambat terjadinya korosi pada material.

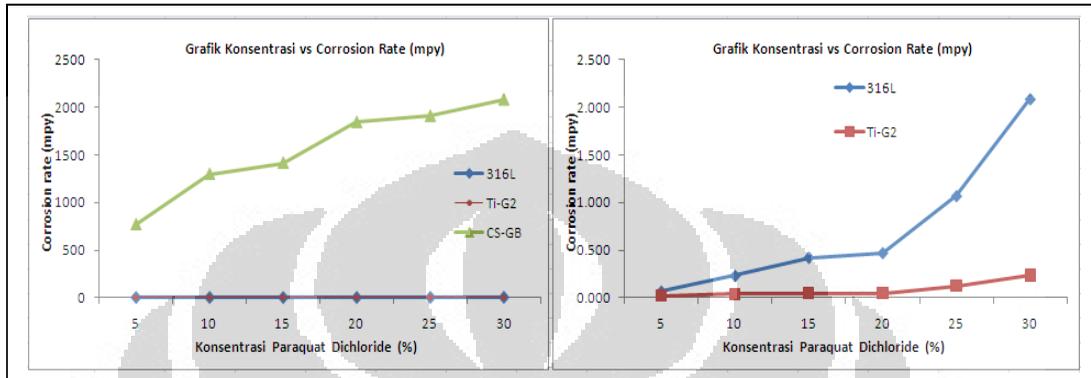


Gambar 4.10. Nilai rapat arus korosi (I_{corr}) Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 terhadap

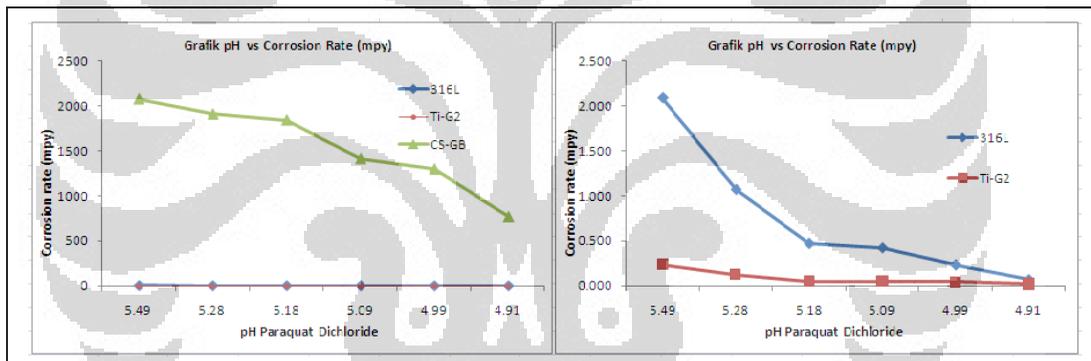
(a) perubahan konsentrasi paraquat dichloride (b) perubahan pH

Gambar 4.5. memperlihatkan perbandingan nilai nilai *corrosion rate* (*mpy*) pada berbagai material uji (Carbon Steel API 5L grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2) dengan perubahan konsentrasi paraquat dichloride dan pH larutan. Nilai *corrosion rate* (*mpy*) yang menunjukkan bahwa semakin besar *corrosion rate* (*mpy*), maka material tersebut semakin mudah terkorosi. Dari kurva

ini dapat disimpulkan pada material Carbon Steel API 5L grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 kenaikan konsentrasi paraquat dichloride menyebabkan *corrosion rate*-nya mengalami kenaikan hal ini berakibat material semakin mudah terkorosi. Kenaikan pH menyebabkan arus korosinya mengalami penurunan, hal ini meperlambat terjadinya korosi pada material.



(a)



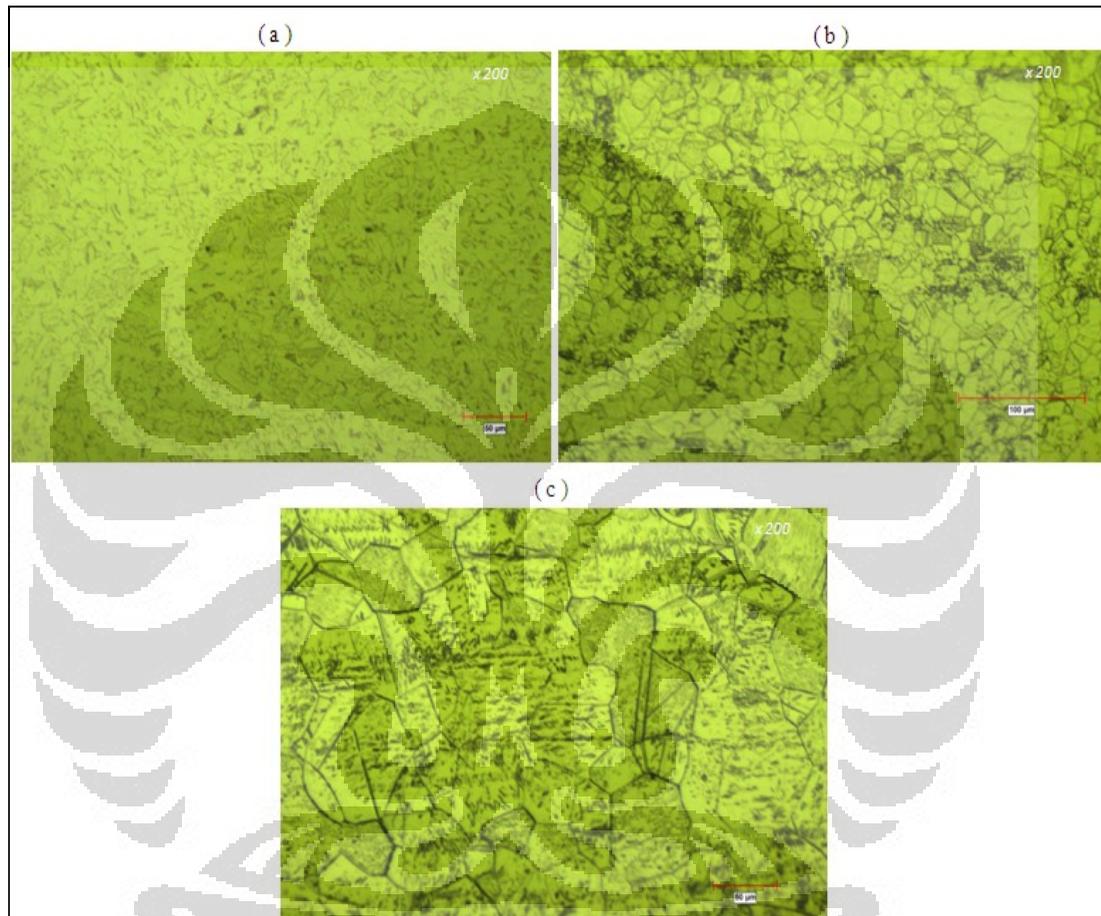
(b)

Gambar 4.11. Nilai *corrosion rate* (mpy) pada material Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L dan Titanium Grade 2 terhadap (a) perubahan konsentrasi paraquat dichloride (b) perubahan pH

4.3 Analisa Morfologi Permukaan Korosi

4.3.1 Analisa Morfologi Permukaan Material Sebelum Proses Korosi

Pengamatan morfologi permukaan material Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L Austenit dan Titanium Grade 2 dilakukan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 200 x.

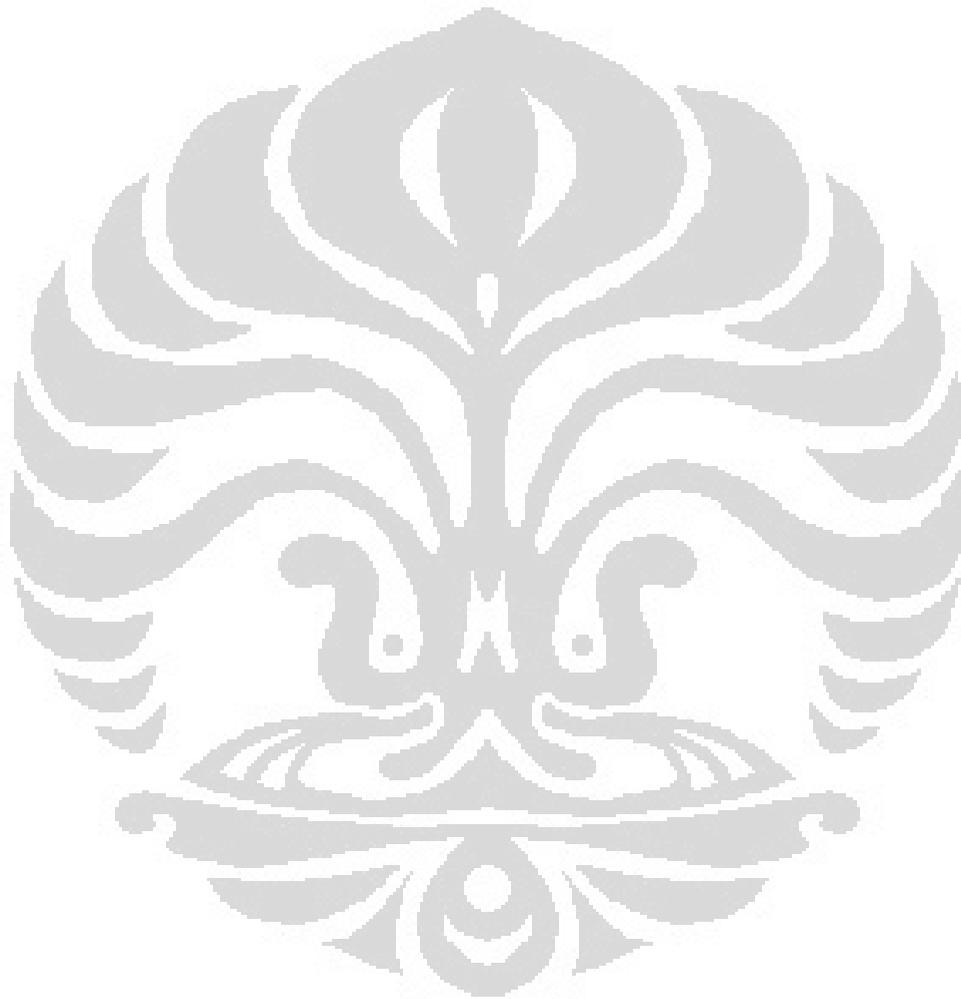


Gambar 4.12 Morfologi permukaan material (a) Carbon Steel API 5L Grade B (b) Stainless Steel SUS 316L (c) Titanium Grade 2, sebelum dilakukan uji korosi polarisasi anodik *cyclic*

Gambar 4.12 diatas memperlihatkan struktur morfologi permukaan batas butir pada material Carbon Steel API 5L Grade B, Stainless Steel SUS 316L Austenit dan Titanium Grade 2. Morfologi permukaan dengan memperlihatkan batas butir masing-masing material dilakukan dengan cara melakukan proses Etsa pada material tersebut, proses Etsa dilakukan dengan mereaksikan permukaan material dengan bahan kimia yang diformulakan sehingga terjadi reaksi korosi pada batas butir

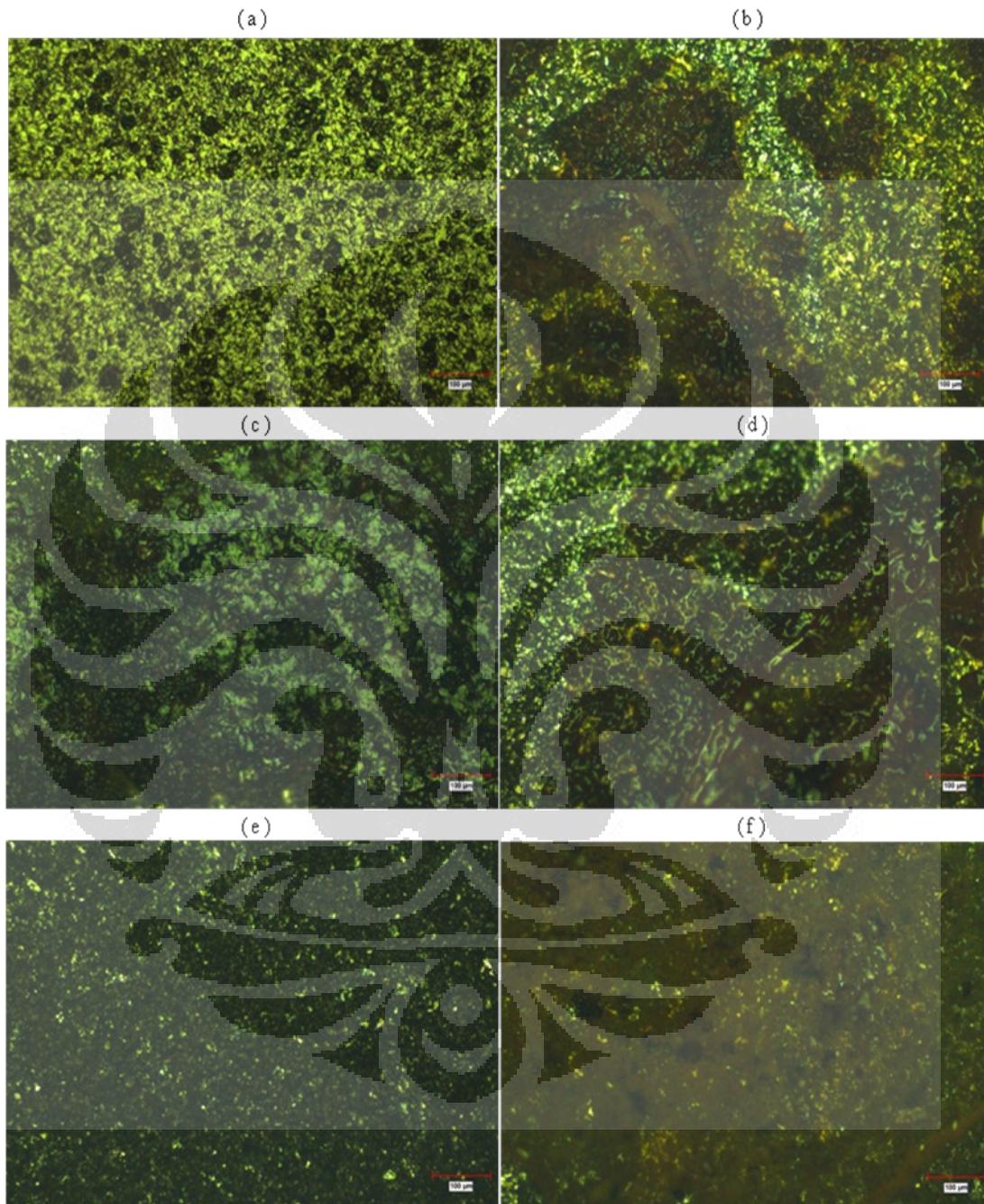
material, Secara teoritis batas butir material adalah daerah yang riskan terjadinya korosi karena daerah tersebut merupakan daerah yang tidak stabil.

Material Carbon Steel API 5L Grade B memiliki butir (*grain*) kristal yang lebih kecil dibandingkan dengan Stainless Steel SUS 316L, Material Titanium Grade 2 memiliki butir Kristal yang lebih besar dibandingkan dengan material Stainless Steel SUS 316L.



4.3.2 Analisa Morfologi Permukaan Material Setelah Proses Korosi

4.3.2.1 Analisis Morfologi Permukaan pada Material Carbon Steel API 5L Grade B



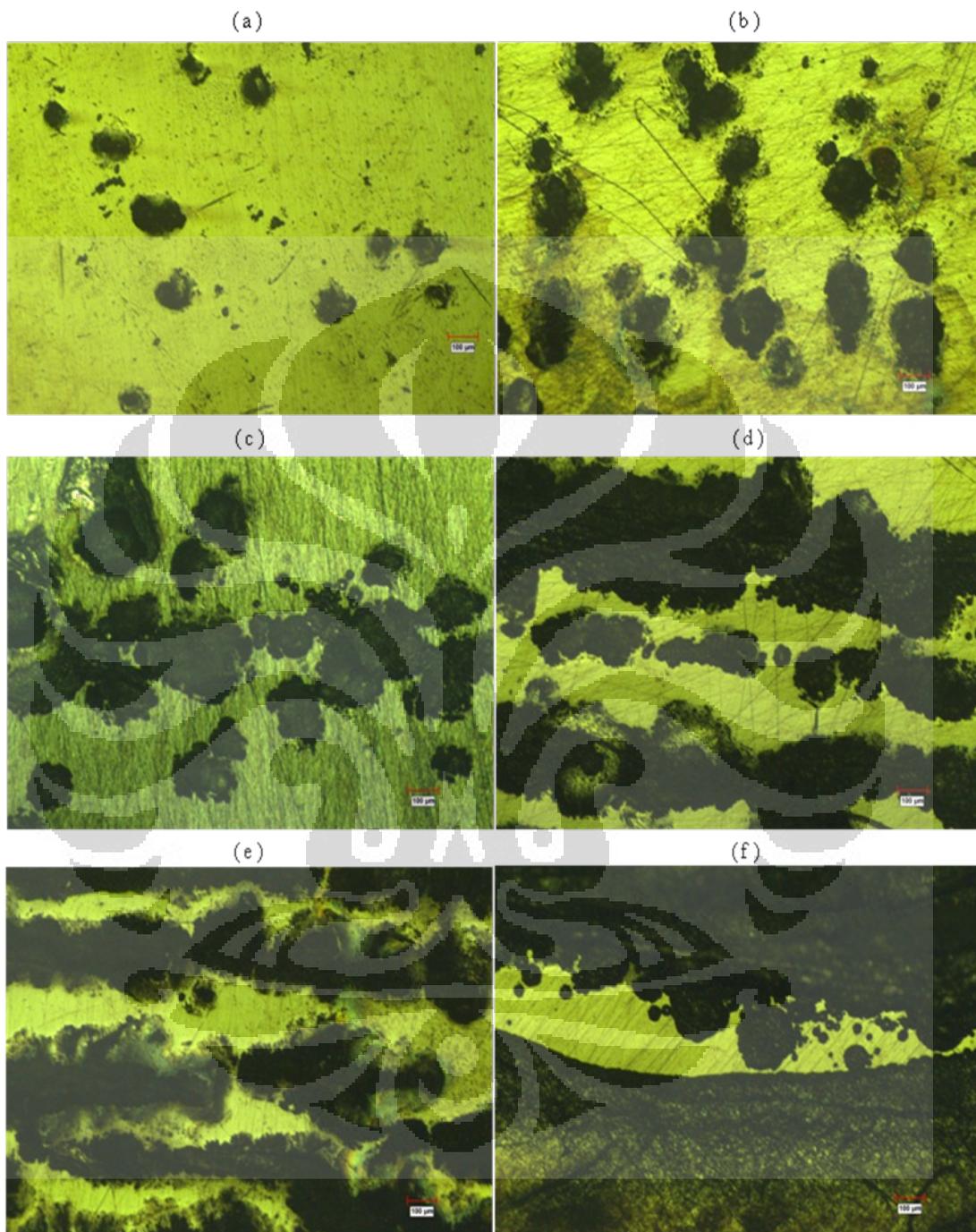
Gambar 4.13. Morfologi permukaan korosi pada Carbon Steel API 5L Grade B, pada konsentrasi paraquat dichloride (a) 5 %, (b) 10 %, (c) 15 %, (d) 20 %, (e) 25 % dan (f) 30 %

Gambar 4.13 memperlihatkan morfologi permukaan yang terkorosi pada material carbon steel API 5L grade B hasil uji polarisasi anodik *cyclic* pada berbagai macam konsentrasi paraquat dichloride. Dari gambar terlihat korosi merata yang cukup parah. Korosi terjadi dari konsentrasi paraquat dichloride terendah 5% sampai dengan konsentrasi tertinggi 30%, secara visual terlihat semakin tinggi konsentrasi paraquat dichloride maka semakin parah kerusakan pada permukaan material sebagai akibat dari reaksi korosi yang terjadi pada permukaan material.

Dari Tabel 4.6.a dan Gambar 4.11.a dijelaskan bahwa kenaikan konsentrasi paraquat dichloride menyebabkan laju korosi bertambah naik, hal ini dapat dibandingkan dengan pengamatan secara visual morfologi permukaan korosi pada carbon steel API 5L Grade B, laju korosi naik kerusakan permukaan akibat reaksi korosi bertambah parah.

Ketahanan korosi suatu material ditentukan oleh beberapa factor antara lain : kandungan kimia dan sifat fisika material, sifat metalurgi bahan, elektrokimia dan termodinamika material. Seperti yang diketahui bahwa kandungan kimia dari carbon steel API 5L Grade lebih dari 98 % adalah unsur besi (Fe) yang mudah teroksidasi dalam lingkungan yang asam membentuk produk korosi, sedangkan ditinjau dari sifat metalurgi bahan pada Gambar 4.12 dapat dilihat pada morfologi permukaan bahan bahwa butiran material ini lebih kecil dibandingkan dengan butiran material stainless steel dan titanium disamping itu area batas butir bahan sangat luas, batas butir merupakan daerah yang tidak stabil dan proses korosi pertama kali terjadi pada daerah batas butir, jika area batas butir semakin luas maka potensi terjadinya korosi pada material ini semakin besar hal ini dapat dibuktikan dengan semua permukaan bahan terkorosi.

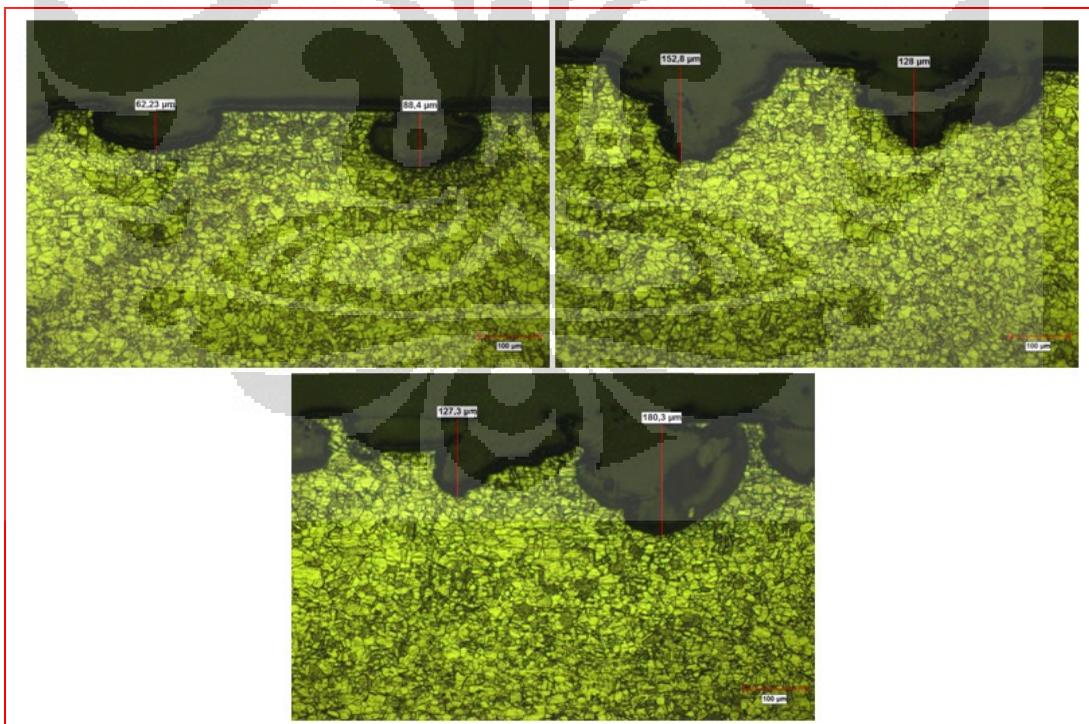
4.3.2.2 Analisis Morfologi Permukaan pada Material Stainless Steel SUS 316L Austenit



Gambar 4.14. Morfologi permukaan korosi pada Stainless Steel SUS 316L Austenit, pada konsentrasi paraquat dichloride (a) 5 %, (b) 10 %, (c) 15 %, (d) 20 %, (e) 25 % dan (f) 30 %

Gambar 4.14 memperlihatkan morfologi permukaan yang terkorosi pada material stainless steel SUS 316L austenit hasil uji polarisasi anodik *cyclic* pada berbagai macam konsentrasi paraquat dichloride. Pengambilan gambar morfologi permukaan SUS 316L sebelum dan setelah dilakukan proses uji korosi dengan metode anodik cyclic pada perbesaran 200x– 300x. dari gambar dapat dilihat dengan naiknya konsentrasi paraquat dichloride luas area yang terkorosi pada plat SUS 316L semakin meningkat. Pada konsentrasi paraquat dichloride 5% sampai dengan 15% terlihat terjadi pitting pada permukaan material dengan diameter pitting yang semakin membesar. hal ini disebabkan oleh semakin besarnya jumlah ion chlor didalam larutan sehingga kerusakan lapisan pasif semakin bertambah ketika proses korosi terjadi. pada konsentrasi ini pitting memiliki orientasi kearah horizontal.

Pada konsentrasi yang lebih tinggi yaitu 20%, 25% dan 30% kondisi pitting sudah mulai tidak kelihatan, dimana pitting-pitting yang terbentuk mulai menyatu dengan orientasi horizontal, korosi pitting seperti menuju kearah korosi celah (*crevice corrosion*). Jika sampel uji korosi dipotong melintang sebenarnya pitting yang terjadi masih terlihat. hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.15 dibawah ini:



Gambar 4.15 Morfologi permukaan material SUS 316L dipotong melintang setelah dilakukan uji korosi polarisasi anodik *cyclic* pada konsentrasi paraquat dichloride 30 %

Dari Gambar 4.15 dapat dilihat secara visual bahwa kedalaman korosi pitting yang terbentuk berkisar antara 100 – 200 μm

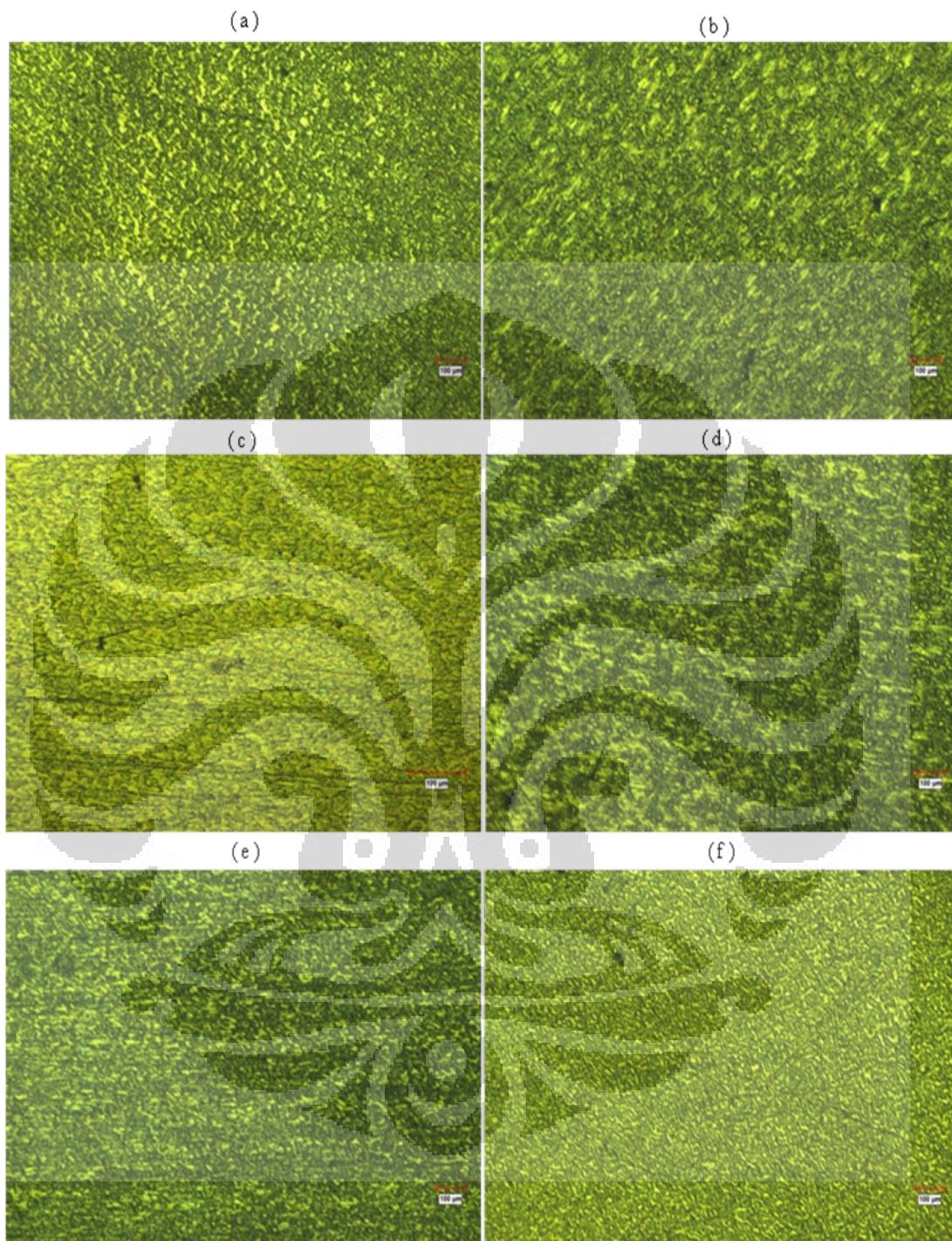
Hasil uji polarisasi anodik *cyclic* yang ditunjukkan pada Table 4.6.b dan Gambar 4.11.b menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi paraquat dichloride menyebabkan laju korosi bertambah naik, dalam hal ini yang dimaksud adalah laju korosi merata (*uniform corrosion*). Secara visual laju korosi merata pada material stainless steel tidak terlihat karena proses korosi yang terjadi sangat kecil tapi yang terlihat pada material ini adalah korosi pitting yang sangat nyata

Tabel 4.7 memperlihatkan diameter pitting yang terjadi pada material stainless steel SUS 316L austenite yang diperoleh dari pengukuran menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 200 – 300 kali

Table 4.7 Data morfologi luasan pitting pada akhir uji polarisasi anodik *cyclic* dan kategori luasannya menurut ASTM G46-94 ⁽¹¹⁾

Konsentrasi Paraquat Dichloride (%)	Diameter Pitting rata-rata (μm)	Luas Pitting (mm)	Kategori Luasan Pitting menurut ASTM G46
5	115	0.0103	B1
10	201.4	0.0318	B1
15	215.2	0.0364	B1
20	-	-	-
25	-	-	-
30	-	-	-

4.3.2.3 Analisis Morfologi Permukaan pada Material Titanium Grade 2



Gambar 4.16. Morfologi permukaan korosi pada Titanium Grade 2, pada konsentrasi paraquat dichloride (a) 5 %, (b) 10 %, (c) 15 %, (d) 20 %, (e) 25 % dan (f) 30 %

Gambar 4.16 memperlihatkan morfologi permukaan yang terkorosi pada material Titanium Grade 2 hasil uji polarisasi anodik *cyclic* pada berbagai macam konsentrasi paraquat dichloride. Pengambilan gambar morfologi permukaan Titanium grade 2 sebelum dan setelah dilakukan proses uji korosi dengan metode anodik *cyclic* pada perbesaran 200x– 300x. Secara visual tidak terlihat korosi pada material Titanium Grade 2, akan tetapi pada Tabel 4.6.c dan Gambar 4.11.c dari hasil uji polarisasi anodik *cyclic* menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi paraquat dichloride menyebabkan laju korosi meningkat, laju korosi yang terjadi sangat kecil sehingga secara visual tidak terlihat pada pengamatan morfologi permukaan yang terkorosi. Korosi pitting juga tidak terjadi pada material Titanium Grade 2, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.17 specimen yang sudah dikorosikan pada uji polarisasi anodik *cyclic* dipotong secara melintang hasil pengamatan tidak menunjukkan adanya pitting pada material ini.



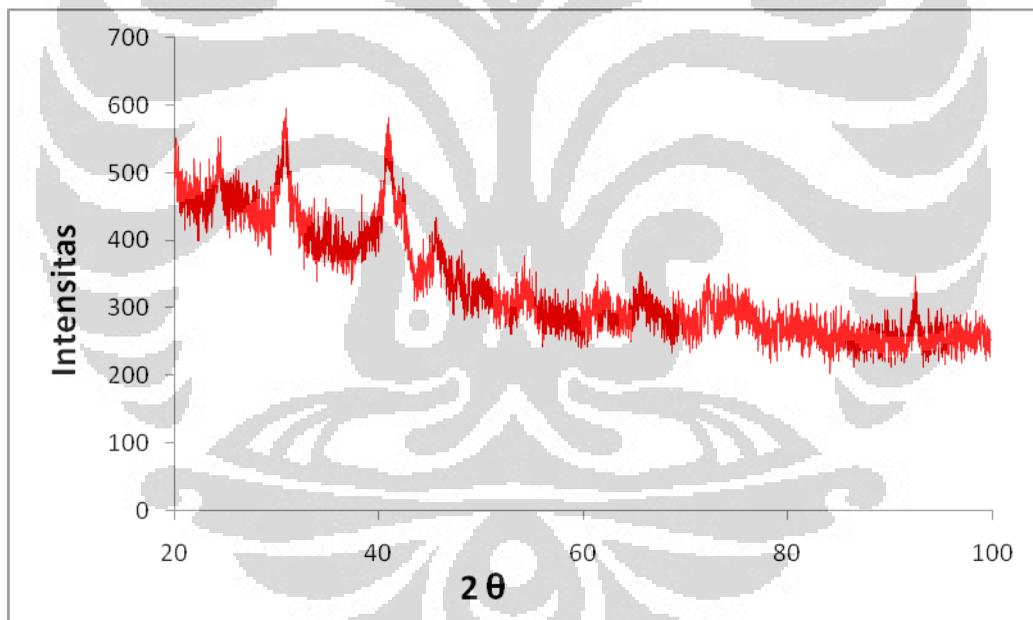
Gambar 4.17 Morfologi permukaan material Titanium Grade 2 dipotong melintang setelah dilakukan uji korosi polarisasi anodik *cyclic* pada konsentrasi paraquat dichloride 30 %

4.4 Hasil dan Analisis Produk Korosi Paraquat Dichloride pada Stainless Steel SUS 316L Austenit

4.4.1 Hasil dan Analisis Karakterisasi Difraksi Sinar X

Analisa produk korosi yang dilakukan pada material stainless steel SUS 316L austenit, merupakan analisa kegagalan yang terjadi pada material stainless steel SUS 316L dilapangan, produk korosi bukan berasal dari produk korosi hasil uji polarisasi anodik *cyclic*, karena produk korosi yang terbentuk larut didalam paraquat dichloride sehingga tidak dapat dilakukan pengujian, sebagai pendekatan analisa kegagalan dilakukan dengan mengambil produk korosi yang sudah terbentuk di vessel dan tangki yang mewakili dalam uji korosi pada penelitian ini.

Pada Gambar 4.18 memperlihatkan hasil pengukuran difraksi sinar-x produk korosi paraquat dichloride pada material Stainless Steel SUS 316L



Gambar 4.18. Pola Difraksi Sinar-X Produk Korosi Paraquat Dichloride pada material Stainless Steel SUS 316L

4.4.2 Analisis Rietveld

Hasil analisis menggunakan program *General Structure Analysis System* (GSAS) produk korosi yang terjadi akibat material paraquat dichloride pada Stainless Steel 316L terbentuknya senyawa kimia baru antara lain:

a. Akaganeite ($\text{Fe}_4\text{O}_8\text{Cl}_{0.675}$)

Space group I 1 2 / m 1
 Sistem kristal Monoclinic
 Parameter kisi $a = 10.6271 \text{ \AA}$; $b = 3.0213 \text{ \AA}$; $c = 10.4842 \text{ \AA}$
 $\alpha = 90.000^\circ$; $\beta = 90.6059^\circ$; $\gamma = 90,0000^\circ$

Table 4.8 Posisi Atom untuk Fe, O dan Cl Dalam Paduan $\text{Fe}_4\text{O}_8\text{Cl}_{0.675}$

Atom	Occupation factor	x	y	z
Fe (1)	1.0000	0.858	0.000	0.341
Fe (2)	1.0000	0.339	0.000	0.141
O (1)	1.0000	0.663	0.000	0.290
O (2)	1.0000	0.657	0.000	0.030
O (3)	1.0000	0.293	0.000	0.357
O (4)	1.0000	0.039	0.000	0.332
Cl	0.6750	0.000	0.000	0.000

b. Geothite (FeHOO)

Space group P n m a
 Sistem kristal Orthorhombic
 Parameter kisi $a = 10.3587 \text{ \AA}$; $b = 3.1010 \text{ \AA}$; $c = 4.5769 \text{ \AA}$
 $\alpha = 90.000^\circ$; $\beta = 90.0000^\circ$; $\gamma = 90,0000^\circ$

Table 4.9 Posisi Atom untuk Fe, O dan H Dalam Paduan FeOOH

Atom	Occupation factor	x	Y	z
Fe	1.0000	0.146	0.250	-0.049
H	1.0000	-0.101	0.250	-0.399
O (1)	1.0000	-0.199	0.250	0.285
O (2)	1.0000	-0.052	0.250	-0.196

c. Hematit (Fe_2O_3)

Space group R -3 c
 Sistem kristal Rhombohedral
 Parameter kisi $a = 5.1949 \text{ \AA}$; $b = 5.1949 \text{ \AA}$; $c = 5.5016 \text{ \AA}$
 $\alpha = 90.000^\circ$; $\beta = 90.000$; $\gamma = 120,000^\circ$

Table 4.10 Posisi Atom untuk Fe dan O Dalam Paduan Fe_2O_3

Atom	Occupation factor	x	y	z
Fe	1.0000	0.355	0.355	0.355
O	1.0000	0.542	-0.042	0.250

d. Bracewellite (CrO_2H)

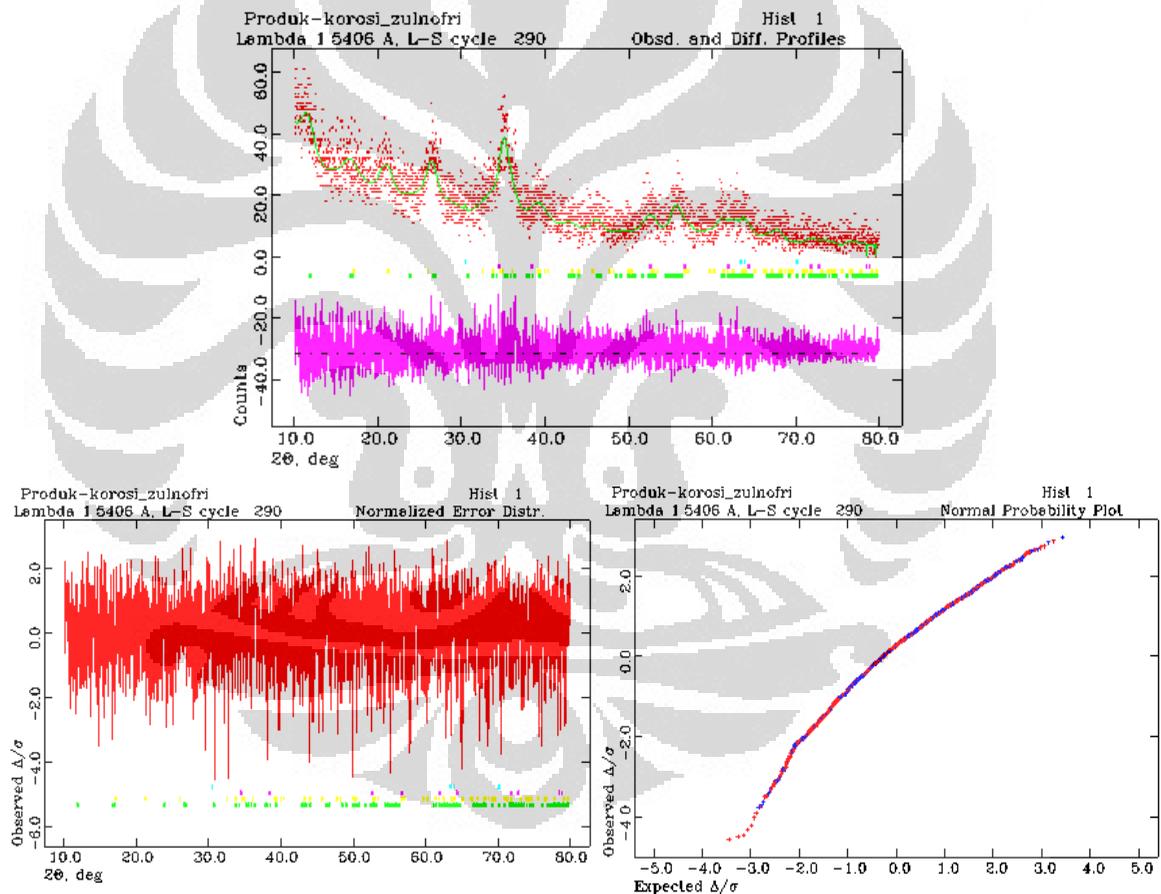
Space group P b n m

Sistem kristal Orthorhombic
 Parameter kisi $a = 1.5081 \text{ \AA}$; $b = 5.8741 \text{ \AA}$; $c = 0.6165 \text{ \AA}$
 $\alpha = 90.000^\circ$; $\beta = 90.000^\circ$; $\gamma = 90.000^\circ$

Table 4.11 Posisi Atom untuk Cr, O dan H Dalam Paduan CrO₂H

Atom	Occupation factor	x	y	z
Cr	1.0000	-0.052	0.145	0.250
O (1)	1.0000	0.301	-0.197	0.250
O (2)	1.0000	-0.198	0.054	0.250

Hasil analisis penghalusan *Rietveld* menggunakan program *General Structure Analysis System* (GSAS) ditunjukkan oleh Gambar 4.19



Gambar 4.19 *Refinement* Pola Difraksi Sinar-x Sampel Produk Korosi

Gambar 4.19 memperlihatkan hasil *refinement* GSAS menghasilkan kualitas *fitting* yang baik dengan data input yang diberikan, menurut Hikam kriteria numeris yang digunakan untuk menentukan hasil *fitting* terbaik adalah nilai χ -factor 1.0 sampai 1.3 ⁽¹⁷⁾. Dari data pada Tabel 4.12 menunjukkan nilai χ -factor yang

diperoleh pada penelitian ini di bawah 1.3, sehingga dapat dikatakan bahwa produk korosi yang terbentuk sesuai fasa yang diperkirakan.

Tabel 4.12 Produk Korosi Hasil *Refinement* GSAS

Fasa terbentuk	χ -factor	wRp	% Fasa	<i>Space group</i>	Struktur kristal
$\text{Fe}_4\text{O}_8\text{Cl}_{0.675}$	1,122	25,55	38.41	<i>I 1 2 / m 1</i>	Monoclinic
FeOOH			55.81	<i>P n m a</i>	Orthorhombic
Fe_2O_3			0.04	<i>R -3 c</i>	Rhombohedral
CrOOH			0.02	<i>P b n m</i>	Orthorhombic

Total fasa yang terbentuk hasil refinement yang ditunjukkan pada Tabel 4.12 tidak mencapai 100 %, hal ini disebabkan oleh sampel yang dilakukan uji X-Ray Diffraction kemungkinan tidak semua berupa senyawa kimia yang berbentuk Kristal, kemungkinan sebagian masih berbentuk senyawa amorf.

4.5 Pemilihan Material yang Tepat untuk Bahan Paraquat Dichloride

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam melakukan pemilihan material dalam perancangan suatu peralatan dalam suatu kegiatan antara lain: ketersediannya, ketahanan korosinya, biaya material, kekuatan, kemudahan untuk difabrikasi dan penampilan fisik.

Dalam kasus penelitian ini merupakan pemecahan masalah yang terjadi dilapangan, dimana dalam hal ini ditemukan korosi pitting yang cukup parah pada material Stainless Steel SUS 316L type austenit.

Dari tiga material uji yang dilakukan pada carbon steel API 5L Grade B sebagai material dasar yang umum digunakan dalam industri kimia memiliki kekuatan bahan yang kuat, mudah difabrikasi, harga relatif lebih murah tapi memiliki ketahanan korosi yang sangat jelek, terbukti dari pengujian laju korosinya memiliki status “Unacceptable” menurut criteria NACE, dengan arti kata bahwa material tersebut tidak dapat digunakan untuk larutan paraquat dichloride. Stainless steel SUS 316L austenite memiliki laju korosi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan carbon steel dan menurut kriteria NACE material ini masuk kategori “Outstanding” dan “Excellent” pada konsentrasi paraquat dichloride 30%, sebenarnya material ini

masuk kriteria material yang cukup baik digunakan, akan tetapi material memiliki korosi pitting yang cukup parah, hal ini dapat dilihat secara visual baik menggunakan mikroskop optic maupun visual dengan mata biasa, material ini tidak dapat digunakan untuk bahan paraquat dichloride.

Menurut standar NACE material Titanium Grade 2 memiliki kategori material “Outstanding” untuk semua konsentrasi paraquat dichloride, mulai dari konsentrasi 5 % sampai konsentrasi 30%, tidak terjadi korosi yang signifikan dan korosi pitting juga tidak terlihat dari pengamatan secara visual maupun menggunakan mikroskop optik.

Dari ketiga material diatas Titanium Grade 2 adalah material yang memenuhi persyaratan untuk dapat kontak dengan bahan paraquat dichloride karena dari sisi ketahanan korosinya memenuhi kriteria untuk pemilihan bahan.

Titanium memiliki harga yang cukup mahal dibandingkan dengan kedua material lainnya, akan tetapi perlu dipertimbangkan secara manajemen ekonominya. Untuk mendapatkan harga yang optimal dan kompetitif di dunia industri saat ini kombinasi material Titanium dan Carbon Steel sudah umum digunakan, kombinasi ini dilakukan dengan cara Titanium di lining ke carbon steel dengan teknologi penyambungan yang mutakhir, penyambungan ini dikenal dengan istilah “*cladding*”, dengan kombinasi ini akan diperoleh perancangan yang tingkat ke-ekonomiannya lebih murah akan tetapi memiliki kualitas bahan yang sesuai dengan peruntukannya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari data-data hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Material yang digunakan pada penelitian uji ketahanan korosi *pitting* ini memiliki respon yang berbeda-beda terhadap lingkungan korosif larutan *Paraquat Dichloride*. *Carbon Steel API 5L Grade B* memiliki ketahanan korosi yang paling jelek, pada material ini tidak terlihat korosi *pitting*, akan tetapi korosi yang terjadi adalah korosi merata yang sangat parah. Pada material *Stainless Steel SUS 316L Austenite* terjadi korosi *pitting*, sedangkan pada material *Titanium Grade 2* tidak terjadi korosi merata maupun korosi *pitting*.
2. Kenaikan konsentrasi *paraquat dichloride* menyebabkan potensial korosi *pitting* (E_{pit}) dan potensial proteksi (E_{prot}) pada material *Stainless Steel SUS 316L* mengalami penurunan. Hal ini berbanding terbalik dengan pH larutan naiknya pH larutan menyebabkan ketahanan korosi *pitting*nya mengalami kenaikan. Hal ini tidak terjadi pada material *Carbon Steel API 5L Grade B* dan *Titanium Grade 2*, karena material ini tidak mengalami korosi *pitting*.
3. Kenaikan konsentrasi *paraquat dichloride* menyebabkan arus korosi (I_{cor}) mengalami kenaikan, hal ini mengakibatkan laju korosi juga mengalami kenaikan. Peristiwa ini terjadi pada ketiga material yang dilakukan uji korosi. Laju korosi untuk material *Carbon Steel API 5L Grade B* pada konsentrasi *paraquat dichloride* 30% = 2078.02 mpy. Laju korosi untuk material *Stainless Steel SUS 316L* pada konsentrasi *paraquat dichloride* 30% = 2.0882 mpy. Laju korosi untuk material *Titanium Grade 2* pada konsentrasi *paraquat dichloride* 30% = 0.2374 mpy. Ketahanan korosi material *Titanium Grade 2* lebih baik dibandingkan dengan material *Stainless Steel SUS 316L* dan ketahanan korosi *Stainless Steel SUS 316L* lebih baik dibandingkan dengan *Carbon Steel API 5L Grade B*.

4. Proses korosi yang terjadi pada material Stainless Steel SUS 316L Austenit maupun Carbon Steel API 5L Grade B disebabkan oleh reaksi kimia. Produk korosi yang terbentuk pada material Stainless Steel SUS 316L Austenit berupa Kristal $\text{Fe}_4\text{O}_8\text{Cl}_{0,675}$, FeOOH , CrOOH , Fe_2O_3

5. Berdasarkan standar NACE dan hasil pengamatan secara visual terhadap morfologi permukaan material yang terkorosi, material yang tepat digunakan untuk bahan paraquat dichloride adalah Titanium Grade 2, secara ekonomis Titanium Grade 2 dapat dilining dengan Carbon Steel API 5L Grade B dengan bantuan teknologi mutakhir

5.2. Saran

Dari kesimpulan diatas penulis menyarankan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh larutan paraquat dichloride terhadap korosi material Titanium Grade 2 pada temperatur yang lebih tinggi dan konsentrasi paraquat dichloride yang lebih tinggi. Aplikasi lapangan pada proses reaksi dan formulasi pembuatan paraquat dichloride technical dilakukan pada temperatur lebih tinggi dan konsentrasi yang lebih tinggi. Dengan demikian kerusakan material yang disebabkan oleh larutan korosif paraquat dichloride dapat dicegah sehingga manufaktur yang memproduksi bahan ini dapat merencanakan proses produksi dengan tingkat ke ekonomian yang optimal dengan program *preventive maintenance* yang lebih baik.

DAFTAR REFERENSI

1. Erwin Ermawan, Pengaruh Bromide Solution Terhadap Ketahanan Korosi Pitting Pada SUS 316L dan SUS 317L Austenite Stainless Steel, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia, 2007
2. Bastian Maier and G.S. Frankel, *Pitting Corrosion of Bare Stainless Steel 304 under Chloride Solution Droplets*, Journal of The Electrochemical Society, Vol 157 (10), Page C302-C312, 2010
3. Bengt Wallén, *Corrosion of Duplex Stainless Steel in Seawater*, Avesta Sheffield, Research & Development, SE-774 80 Avesta, Sweden, 1998
4. S.A.M. Refaey, F.Taha and A.M. Abd El-Malak, *Corrosion and Inhibition of 316L Stainless Steel in Neutral medium by 2-Mercaptobenzimidazole*, International Journal Electrochemical Science, Vol.1, Page 80-91, 2006
5. LU Guocheng, CHENG Haidong, XU Chunchun and HE Zonghu, *Effect of Strain and Chloride Concentration on Pitting Susceptibility for Type 304 Austenitic Stainless Steel*, Chinese Journal of Chemical Engineering, Vol 16 (2), page 314-319, 2008
6. Herbert H. Uhlig, dan R. Winston Revie, *Corrosion and Corrosion Control*, editio 4th, John Willey and Sons, Inc, New York, 2008
7. Kirk Othmer, *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*, Vol 54, Marcel Dekker Inc, New York , 1979
8. Mars G. Fontana, *Corrosion Engineer*, Edition 3th, McGraw Hill Internation Edition
9. D. A Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York, 1992
10. www.wikipedia.com

11. Annual Book of ASTM Standards, Section 3 Metal Test Methods and Analytical Procedures, Volume 03.03 Wear and Erosion; Metal Corrosion , 2004
12. Japan Geothermal Corporation (1994), JGC Technical Book for TPA, Vol. M1~M10
13. API Specification 5L, *Specification for Line Pipe*, Forty-Third Edition, API Publishing Service, Washington DC, 2004
14. Annual Book of ASTM A-276, *Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes*, 2004
15. Annual Book of ASTM B-265 *Standard Specification for Titanium and Titanium Alloy Strip, Sheet, and Plate*, 2004
16. NACE, *An Introduction of Corrosion Basics*, 1994
17. M. Hikam, *Catatan Kuliah Kristalografi dan Teknik Difraksi. Program Studi Ilmu Material*. Departemen fisika FMIPA. Universitas Indonesia, 2007

Lampiran – 1. Peralatan yang digunakan pada penelitian



Mesin Gerinda (mesin pemotong bahan)



Mesin Penggosok (meratakan permukaan bahan)



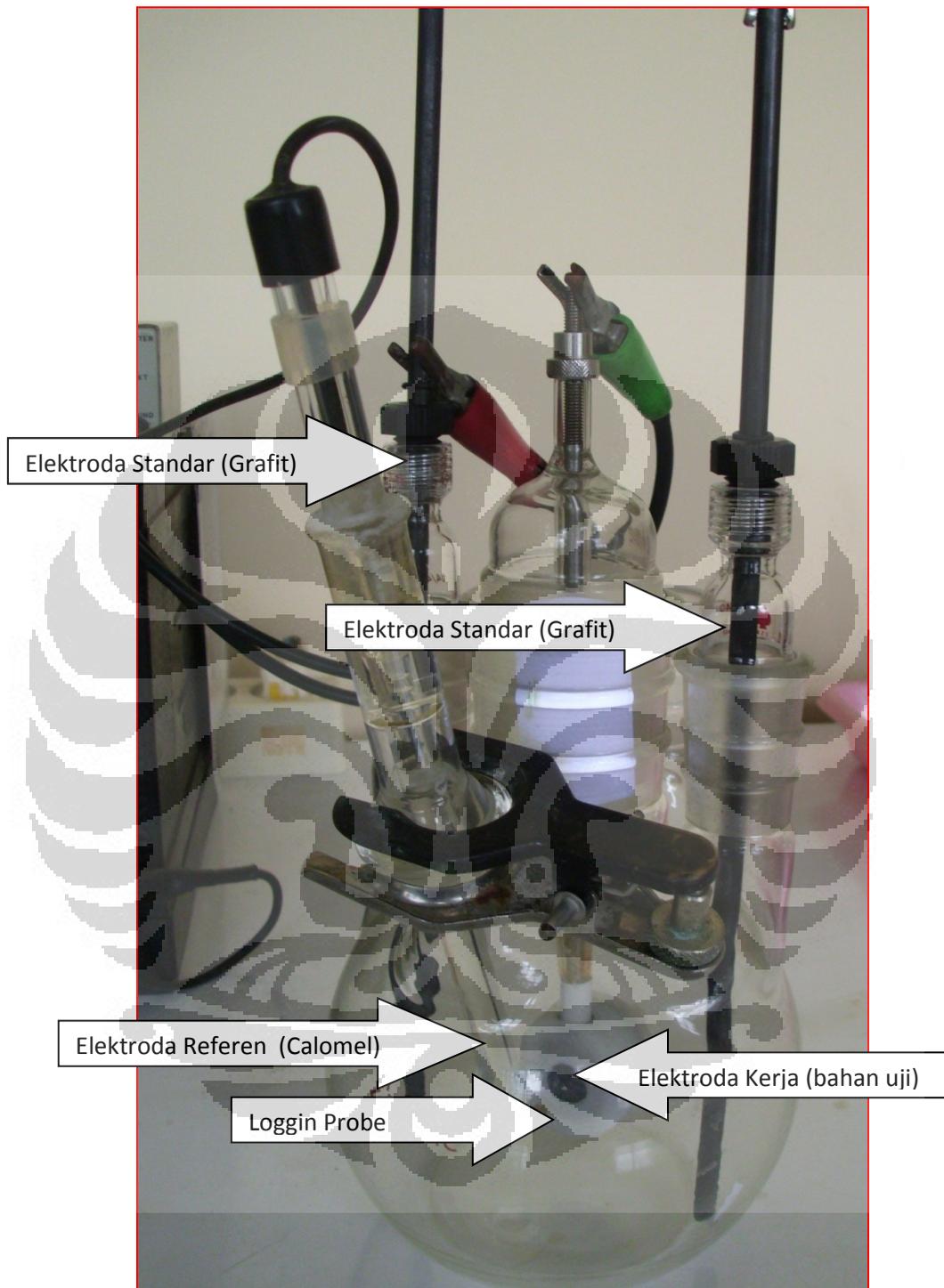
Peralatan untuk persiapan larutan uji Paraquat Dichloride



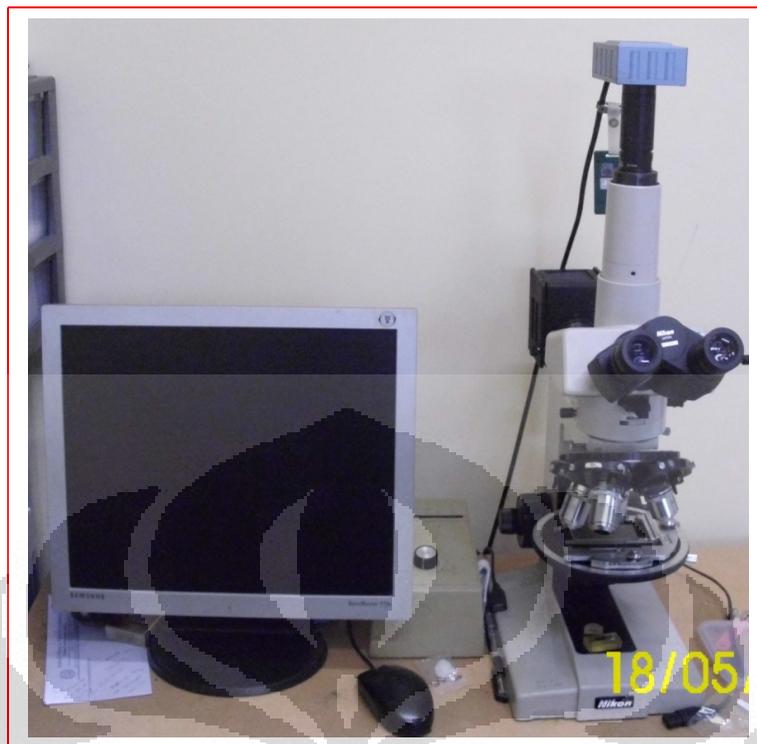
Peralatan untuk mengukur konsentrasi dan pH larutan uji Paraquat Dichloride



Rangkaian alat pengujian (Komputer, Potensiostat dan Sel Polarisasi) untuk uji polarisasi anodik *Cyclic*



Rangkaian alat pengujian Sel Polarisasi untuk uji polarisasi anodik *Cyclic*



Mikroskop Optik



Peralatan *X-Ray Diffraction* (XRD)

Lampiran – 2. Certificate Material Uji Korosi

PT KRAKATAU STEEL (PERSERO)

MILL CERTIFICATE

PURCHASER : KHI PIPE INDUSTRIES, PT.
WISMA BAJA LANTAI VII
JL. GATOT SUBROTO KAV. 54
JAKARTA SELATAN

COMMODITY : PRIME NEWLY PRODUCED HOT ROLLED
STEEL IN COIL CUTEDGE

SPECIFICATION : API 5L GRB N

LC. NO. : J/A BUMI KAYA STEEL PT BPI
CERTIFICATE NO. : BE00007345/MCP/KIV11
DATE : APRIL 04, 2011
LOT NO :
SHIPPING INSTRUCTION :
SALES ORDER / ITEM : 6000003471 / 000010

RS/HS04/029, ISSUE NO : 03

<NOTE> DSN <DIVISION> C: CHECK ANALYSIS L: LADLE ANALYSIS PCM = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B
DIR (DIRECTION) L: LONGITUDINAL T: TRANSVERSAL D: DIAGONAL GL: GAUGE-LENGTH(L/D) A = 50 mm B = 200 mm C = 50.80 ± 0.13 mm D =
BEND (BEND TEST) G: GOOD IMPACT °C (TEMPERATURE) A = AMBIEN; B = 0°C; C = -10°C; D = -20°C; E = -40°C
CEQ (CARBON-EQUIVALENT) = C + Mn/6 + Cr/5 + Mo/6 + V/14 + Ni/15 + Cu/15 CHEMICAL COMPOSITION: B < 5 PPM

WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL DESCRIBED ABOVE HAS BEEN TESTED AND COMPLIES WITH THE TERMS OF THE ORDER CONTRACT

HEAT NO.	SLAB NO	COIL AND PACKING NO	TEST-NO	DIMENSION (mm)	QTY (N)	D S N	CHEMICAL COMPOSITION (%)														TENSILE TEST				IMPACT TEST		PCM YIELD RATIO							
							C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo	Ni	V	Cu	Nb	Ti	N	B	Ca	Coq	Dir	Gl	Ys		Ts	El	%	Dir	Energy	Temp	
83848T	1110	934060 01	937054	T x W x L 8.18 x 678 x COIL	1	L	17	19	64	9	2	42	12	2	B	3	16	1	3	36	1	11	0.28	T	C	341	472	40	G	T	143	B	0.21	72

RS/HS04/029, ISSUE NO : 03

<NOTE> DSN <DIVISION> C: CHECK ANALYSIS L: LADLE ANALYSIS PCM = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B
DIR (DIRECTION) L: LONGITUDINAL T: TRANSVERSAL D: DIAGONAL GL: GAUGE-LENGTH(L/D) A = 50 mm B = 200 mm C = 50.80 ± 0.13 mm D =
BEND (BEND TEST) G: GOOD IMPACT °C (TEMPERATURE) A = AMBIEN; B = 0°C; C = -10°C; D = -20°C; E = -40°C
CEQ (CARBON-EQUIVALENT) = C + Mn/6 + Cr/5 + Mo/6 + V/14 + Ni/15 + Cu/15 CHEMICAL COMPOSITION: B < 5 PPM

WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL DESCRIBED ABOVE HAS BEEN TESTED AND COMPLIES WITH THE TERMS OF THE ORDER CONTRACT



CY: RAJA GARUDA MAS (0224) 288 857

VIRAJ PROFILES LTD

VIRAJ[®]

10 Imperial Chambers, 1st Floor,
Wilson Road, Mumbai 400 038
INDIA

TEST CERTIFICATE

CUSTOMER PT SUTINDO RAYA MULIA DUPAK 135, SURABAYA 60172, INDONESIA.	ORDER NO MN-1D1872	PACKING LIST NO IMP/906042/9	INSPECTION NO 100000272970	DATE 09.11.2009
			GRADE AISI 316L	HEAT No 18489
BUNDLE NO : 5137662				

DESCRIPTION
STAINLESS STEEL BRIGHT BARS

COLD DRAWN GROUND & POLISHED

SIZE	SHAPE	TOLERANCE	LENGTH	PIECES	WEIGHT
19.050 MM	ROUND	H9	6.00(+50MM)	68	0.926 TO

CHEMICAL ANALYSIS

%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Cr	%Ni	%Cu	%Mo	%Co	%N2
0.0210	1.460	0.450	0.0200	0.0400	16.700	10.060	0.500	2.030	0.190	0.0690

TEST RESULTS

0.2% yield strength MPa	Tensile Strength MPa	Elongation %	Reduction Of Area %	Hardness BHN
503.0	655.0	46.0	70.0	191.0

SPECIFICATION:

MATERIAL CONFIRMS TO ASTM A 276-06 COND A,
IGC SATISFACTORY AS PER ASTM A262-02a PRACTICE E
CERTIFIED AS PER EN 10204-3.1

REMARKS

MATERIAL IS FREE FROM MERCURY CONTAMINATION FROM WELD OR WELD REPAIRS

WE CONFIRM THAT THE MATERIAL HAS BEEN TESTED AND FOUND TO BE FREE FROM RADIOACTIVE CONTAMINATION

We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of order/contract.

THIS IS TO VERIFY
THAT THE CERTIFICATE
SUPPLIED IS A TRUE
COPY OF THE ORIGINAL

Suvarna
WORKS INSPECTOR
S.SUVARNA

3.1.B

MILL MATERIAL CERTIFICATE

ACC. TO EN10204 3.1.B

NO.: 2007KING0124

PURCHASER : WILGRO PTE LTD

DATE : 12-03-2011

PRODUCER : TITANIUM TECHNIQUES 2001 LTD.

STANDARD/SPECIFICATION: ASTM B265-95 for sheets GR2

TEST RESULT:

(1) DIMENSION AND MECHANICAL:

No	Heat No	Form	Size	Lot No	Tensile	Yield	Elongation	Temper
1	0903-14	sheets	2 x 1000 x 1000	9941101	345	320	26	Anneal

(2) CHEMICAL ANALYSIS:

No	Ti	Fe	C	N	H	O	Al	V	Residuals	
									Each	Total
1	Rest	0.12	0.01	0.01	0.008	0.09	-----	-----	<0.1	≤0.4

Note: Used for cutting and drill holes to size: 2mm x 165mm x 205mm

ORIGIN OF MATERIAL : USA

SIGNED DATE : 2011.03.12

RED SUN GROUP CORPORATION

红太阳集团有限公司

ADDRESS: 269 BAOTA ROAD, GAOCHUN COUNTY, NANJING, 211300, P.R.CHINA

地址: 江苏省南京市高淳县宝塔路 269 号, 211300

TEL.: 86-25-84785858 FAX: 86-25-84730078

CERTIFICATE OF ANALYSIS

DATE: 2010-10-14

PRODUCT: PARAQUAT 42% TECH. (0.08% EMETIC)

QUANTITY: 17600KGS

MANUFACTURING DATE: Oct 5, 2010

EXPIRY DATE: Oct 5, 2012

We hereby certify that the above mentioned goods have been inspected as follows:

ITEMS	SPECIFICATIONS	TEST RESULT/BATCH NO.
		20101005
Appearance	Dark blue to green homogeneous liquid	Qualified
Active ingredient	$\geq 42\%$	42.1%
PH	4.0-6.0	4.7
Insoluble in water	$\leq 0.5\%$	0.1%
Emetic	0.08%	0.08%
CONCLUSION: QUALIFIED		

TD: 87

PA: A. 2136

TD: Pa ze