



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KETAHANAN KOROSI MATERIAL SUS 316L, SUS
317L, SUS 329J DAN HC-276 DALAM LARUTAN ASAM
ASETAT YANG MENGANDUNG ION BROMIDA**

TESIS

**DANDI PANGGIH TRIHARTO
07 06 17 38 05**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
KEKHUSUSAN KOROSI DAN PROTEKSI
DEPOK
MEI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KETAHANAN KOROSI MATERIAL SUS 316L, SUS
317L, SUS 329J DAN HC-276 DALAM LARUTAN ASAM
ASETAT YANG MENGANDUNG ION BROMIDA**

TESIS

Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar magister teknik

DANDI PANGGIH TRIHARTO

07 06 17 38 05

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
KEKHUSUSAN KOROSI DAN PROTEKSI
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dandi Panggih Triharto

NPM : 0706173805

Tanda Tangan :

Tanggal : 2 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Dandi Panggih Triharto
NPM : 0706173805
Program Studi : Korosi dan Proteksi
Judul Tesis : Studi ketahanan korosi material SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan HC-276 dalam larutan asam asetat yang mengandung ion Bromida.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Korosi dan Proteksi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir Johnny Wahyuadi S., M.DEA ()
Pembimbing : Ir. Rini Riastuti, M.Sc ()
Penguji : Dra. Sari Katili, MS ()
Penguji : Ir. Yuanita Sadeli, M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2-Juli-2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji bagi Allah, Tuhan semesta alam, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk mencapai gelar magister teknik Jurusan Korosi dan Proteksi pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

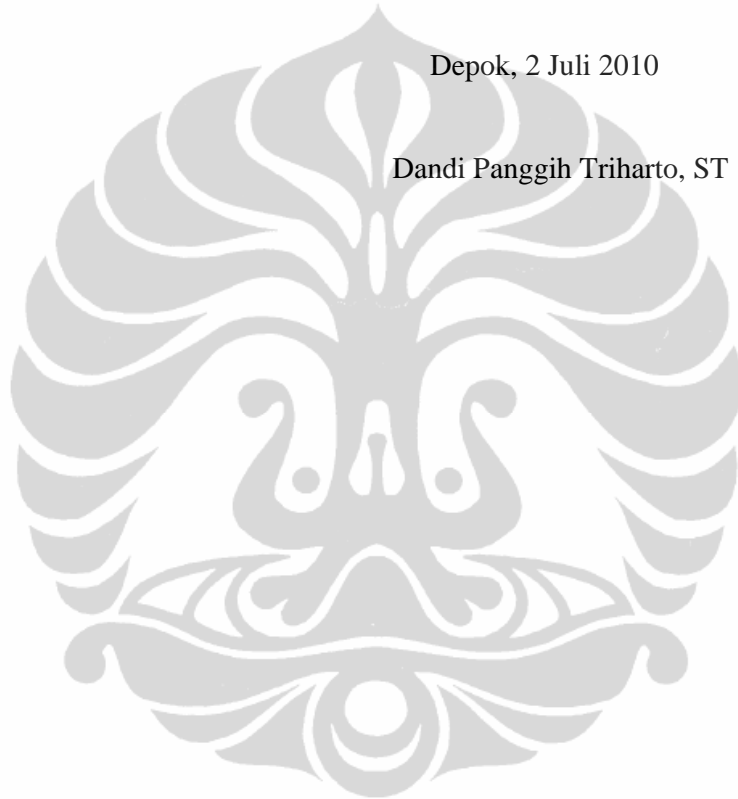
1. Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi Soedarsono, DEA yang telah memberikan ide dan pengarahan dalam pembuatan tesis ini
2. Ir. Rini Riastuti, M.Sc yang telah banyak memberikan bimbingan dalam melakukan penelitian dan bimbingan dalam penulisan sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya.
3. Ir. Jauharsyah Pane dan Ir. Dadang HK atas ijin yang telah diberikan untuk melakukan penelitian di dalam lingkungan pabrik dan seluruh rekan-rekan *process TPA* yang telah banyak membantu dalam persiapan peralatan di plant, pengambilan sample liquid dan lain-lain yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.
4. Drs. Didit Aditya, Hefil Herdiman, S.Si dan seluruh rekan-rekan *Quality Inspection and Marketing Technical Service Section* yang telah banyak membantu dalam penyediaan berbagai peralatan laboratorium dan bantuan teknis dalam pengukuran dan analisis selama penelitian dilakukan.
5. Ir. Erwin Ermawan, M.Si, Ir. Syamsul Hadi, Khairul Umam ST, Triasmoro ST, Suseno ST dan seluruh rekan-rekan *mechanical section* yang telah banyak membantu dalam penyediaan material, *man power*, alat-alat dan pembuatan *speciment* yang digunakan dalam penelitian ini.
6. Winda Ratnasari, SP atas bantuan tiada henti dalam seluruh proses penelitian dan input seluruh data potensial uji celup yang dilakukan.

7. Ir. Andi Rustandi, MT, Aduy, ST. MT, Syarif dan seluruh rekan-rekan laboratorium korosi-Metalurgi yang telah membantu penulis dalam melakukan uji polarisasi.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan memberikan limpahan pahala atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dan semoga tesis ini bisa bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan teknologi di Indonesia.

Depok, 2 Juli 2010

Dandi Panggih Triharto, ST



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Dandi Panggih triharto
NPM : 0706173805
Program Studi : Korosi dan Proteksi
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
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:

**STUDI KETAHANAN KOROSI MATERIAL SUS 316L, SUS 317L, SUS
329J DAN HC-276 DALAM LARUTAN ASAM ASETAT YANG
MENGANDUNG ION BROMIDA**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihkan media/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 pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 2-Juli-2010
Yang Menyatakan

(Dandi Panggih Triharto)

ABSTRAK

Nama : Dandi Panggih Triharto, ST
Program Studi : Teknik Korosi dan Proteksi
Judul : Studi Ketahanan Korosi SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan Hastelloy C-276 dalam asam asetat yang mengandung Ion Bromida

Penggunaan material austenitik *stainless steel* 316L untuk asam asetat yang mengandung ion bromida pada pabrik *terephthalic acid* mengalami kebocoran yang disebabkan terjadinya korosi sumuran pada pipa. Untuk mengatasinya dilakukan penggantian dengan material yang lebih tahan korosi. Material yang dipilih adalah SUS 317L karena material ini memiliki kandungan molibdenum yang lebih tinggi. Studi ketahanan korosi sumuran SUS 317L harus dilakukan untuk dapat mengevaluasi efektivitas penggantian material dari SUS 316L menjadi SUS 317L.

Studi alternatif material lain selain SUS 317L juga dilakukan dan material yang diujicobakan adalah material yang memiliki nilai *pitting resistance number* yang lebih besar dari SUS 317L yaitu SUS 329J dan hastelloy C-276. Hasil studi menunjukkan SUS 317L masih akan mengalami korosi sumuran seperti halnya SUS 316L dalam lingkungan asam asetat yang mengandung ion bromida. SUS 329J tidak mengalami korosi sumuran sedangkan hastelloy C-276 memiliki ketahanan korosi sumuran yang paling baik. Lapisan pasif yang terbentuk pada Hastelloy C-276 stabil dan didapatkan logam ini tidak mengalami korosi pada lingkungan asam asetat yang mengandung ion bromida.

Kata kunci : korosi sumuran, asam asetat, larutan bromide, SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J, hastelloy C-276, *Austenite Stainless Steel*, *duplex stainless steel*.

ABSTRACT

Name : Dandi Panggih Triharto, ST
Study Program : Corrosion and Protection
Judul : Study of SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J and Hastelloy C-276
Corrosion Resistance in acetic acid solution with bromide ion

Utilization of austenitic stainless steel SUS 316L for acetic acid solution with bromide solution that have been applied for terephthalic acid plant was leakage due to pitting corrosion. To handle this problem replacement of SUS 316L with SUS 317L was conducted. Higher molybdenum content compare with SUS 316L, SUS 317L supposed to more resistant for pitting corrosion. To evaluate the effectiveness of replacement SUS 316L with SUS 317L, study of pitting corrosion for SUS 316L and SUS 317L have been conducted.

Alternative material for SUS 316L replacement also have been conducted by higher pitting resistant number material compare with SUS 317L. SUS 329J, and hastelloy C-276 was selected. Result of this study shown that SUS 317L still object of pitting corrosion same as SUS 317L under acetic acid with bromide ion environment. SUS 329J had better pitting corrosion resistance due to higher molibdenum content, pitting corrosion not happen for this material. Hastelloy C-276 is the best for pitting corrosion resistant with highest molibdenum content, this material very superior compare with SUS 316L, SUS 317L ans SUS 329J.

Keywords : pitting corrosion, acetic acid, bromide solution, SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J, hastelloy C-276, Austenite Stainless Steel, duplex stainless steel.

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN THESIS	iii
PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Aplikasi Penelitian	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Asam Asetat	5
2.2 Asam Bromida	7
2.3 Baja Tahan Karat Austenitik	7
2.3.1 Baja Tahan Karat SUS 316L	8
2.3.2 Baja Tahan Karat 317L	10
2.4 Baja Tahan Karat SUS 329J	10
2.5 Hastelloy C-276	12
2.6 Korosi Sumuran	13
2.6.1 Tipe Korosi Sumuran	14
2.6.2 Mekanisme Korosi Sumuran	15
2.6.2.1 Inisiasi Korosi Sumuran	16
2.6.2.2 Propagasi Korosi Sumuran	17
2.6.2.3 Terminasi Korosi <i>Pitting</i>	17
2.6.3 <i>Pitting Resistance Equivalent Number (PREN)</i>	17
2.6.4 Evaluasi Korosi Sumuran	18
2.7 Pengujian Korosi Secara Elektrokimia	19
2.7.1 Kurva Polarisasi dan Faktor-faktor yang Mempengaruhinya	22
2.7.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi <i>Pitting</i>	23
2.8 Pencegahan Korosi	29
2.9 Perhitungan Laju Korosi	29
2.10 Potensial-pH Diagram Pourbaix	31
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Skema Kerja Penelitian	33
3.2 Uji Celup Logam	34

3.2.1	Persiapan Uji Celup	34
3.2.2	Uji Celup Spesimen SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan HC-276	36
3.3	Test Korosi dengan Polarisasi Anodik	37
3.3.1	Persiapan Sampel untuk Test Polarisasi Anodik	37
3.3.2	Pengujian dan Evaluasi Sampel Test Korosi dengan Polarisasi Anodik	38
BAB IV HASIL PENELITIAN		40
4.1	Uji Komposisi Logam dan Larutan	40
4.2	Uji Celup Baja Austenitik 316L	42
4.3	Uji Celup Baja Austenitik 317L	46
4.4	Uji Celup Baja Duplex 329J	50
4.5	Uji Celup Hastelloy C-276	53
4.6	Uji Polarisasi Siklik Anodik	56
BAB V PEMBAHASAN		63
5.1	Ketahanan Korosi SUS 316L	63
5.1.1	Uji Celup SUS 316L	63
5.1.2	Uji Polarisasi Siklik SUS 316L	66
5.2	Ketahanan Korosi SUS 317L	67
5.2.1	Uji Celup SUS 317L	67
5.2.2	Uji Polarisasi Siklik SUS 317L	70
5.3	Ketahanan Korosi SUS 329J	71
5.3.1	Uji Celup SUS 329J	71
5.3.2	Uji Polarisasi Siklik SUS 329J	73
5.4	Ketahanan Korosi Hasteloy C-276	74
5.4.1	Uji Celup Hasteloy C-276	74
5.4.2	Uji Polarisasi Siklik Hasteloy C-276	76
5.5	Pengaruh Komposisi Logam Terhadap Ketahanan Korosi SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J DAN HC-276	76
BAB VI KESIMPULAN		83
6.1	Kesimpulan	83

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Reaksi disosiasi asam asetat dalam air ^[3]	5
Gambar 2.2 Terdisosiasi carboxilic acid membentuk H ⁺ dan bukan OH ⁻ sehingga tergolong sebagai asam dan bukan basa ^[3]	6
Gambar 2.3 Perbandingan kekuatan asam golongan halogen dalam tabel periodik ^[3]	7
Gambar 2.4 Efek kandungan kromium pada paduan besi-kromium dalam larutan 50% H ₂ SO ₄ dengan Fe ₂ (SO ₄) ₃ pada titik ^[6] .	11
Gambar 2.5 <i>Schematic pitting factor</i> ^[6]	14
Gambar 2.6 Berbagai bentuk <i>cross section</i> dari <i>pitting</i> ^[6]	15
Gambar 2.7 Skematik terjadinya <i>pitting</i> korosi pada logam	16
Gambar 2.8 Metode evaluasi korosi <i>pitting</i> ^[6]	18
Gambar 2.9 Percobaan elektrokimia korosi (a) instrumentasi yang digunakan dalam elektrokimia korosi (b) <i>wiring diagram</i> percobaan elektrokimia korosi ^[8]	20
Gambar 2.10 Diagram polarisasi untuk logam yang memiliki aktif-pasif ^[7]	21
Gambar 2.11 Kurva polarisasi dari typical logam stainless steel akibat dari terbentuknya lapisan pasif film pada permukaan logam ^[7]	23
Gambar 2.12 Pengaruh konsentrasi ion klorida terhadap kurva polarisasi	24
Gambar 2.13 Pengaruh penambahan unsur paduan logam (a) pengaruh penambahan molybdenum (b) pengaruh penambahan kromium ^[7]	24
Gambar 2.14 Perilaku korosi SUS 316L potensial waktu dalam asetat 70% dan 90% dengan konsentrasi Br ⁻ dan Na ⁺ 200 ppm pada temperatur 90°C ^[1]	26
Gambar 2.15 Pengaruh temperatur terhadap ketahanan korosi satu logam ^[7]	27
Gambar 2.16 Pengaruh velocity terhadap korosi ^[7]	28
Gambar 2.17 Hipotesis Diagram Polarisasi Anodik dan Katodik (ASTM G.3) ^[9]	31
Gambar 2.18 Potensial-pH diagram pourbaix untuk kromium ^[10]	32
Gambar 3.1 Skema penelitian	33
Gambar 3.2 Dimensi spesimen untuk uji tes celup	34
Gambar 3.3 Alat yang digunakan untuk uji celup	36
Gambar 3.4 Skema uji polarisasi siklik	39
Gambar 3.5 Alat yang digunakan untuk uji polarisasi siklik	39
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara <i>weight loss</i> material SUS 316L dengan lamanya waktu pencelupan	42
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara lama pencelupan dengan laju korosi untuk material SUS 316L	44
Gambar 4.3 Potensial SUS 316L diukur dengan elektroda standar Ag/AgCl (1M) (a) pengukuran selama 24 jam (b) pengukuran selama 72 jam (c) pengukuran selama 157 jam	45
Gambar 4.4 Foto permukaan logam SUS 316L setelah dilakukan uji celup dengan 100x perbesaran (a) 1 hari pencelupan (b) 2 hari	

	pencelupan (c) 7 hari pencelupan	46
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara <i>weight loss</i> material SUS 317L dengan lamanya waktu pencelupan	47
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara lama pencelupan dengan laju korosi untuk material SUS 317L	48
Gambar 4.7	Potensial SUS 317L diukur dengan elektroda standar Ag/AgCl (1M) selama uji celup yang dilakukan selama 168 jam	49
Gambar 4.8	Foto mikro permukaan logam SUS 317L setelah dilakukan uji celup dengan 100x perbesaran (a) 1 hari pencelupan (b) 2 hari pencelupan (c) 7 hari pencelupan	50
Gambar 4.9	Grafik hubungan antara <i>weight loss</i> material SUS 329J dengan lamanya waktu pencelupan	51
Gambar 4.10	Grafik hubungan antara lama pencelupan dengan laju korosi untuk material SUS 329J	51
Gambar 4.11	Potensial SUS 317L diukur dengan elektroda standar Ag/AgCl (1M) selama uji celup yang dilakukan selama 168 jam	52
Gambar 4.12	Foto permukaan logam SUS 329J setelah dilakukan uji celup dengan 100x perbesaran (a) 1 hari pencelupan (b) 2 hari pencelupan (c) 7 hari pencelupan	53
Gambar 4.13	Grafik hubungan antara <i>weight loss</i> material HC-276 dengan lamanya waktu pencelupan	54
Gambar 4.14	Grafik hubungan antara lama pencelupan dengan laju korosi untuk material HC-276	54
Gambar 4.15	Potensial HC-276 diukur dengan elektroda standar Ag/AgCl (1M) selama uji celup yang dilakukan selama 168 jam	55
Gambar 4.16	Foto permukaan logam HC-276 setelah dilakukan uji celup dengan 100x perbesaran (a) 1 hari pencelupan (b) 2 hari pencelupan (c) 7 hari pencelupan	56
Gambar 4.17	Kurva polarisasi siklik SUS 316L	57
Gambar 4.18	Kurva polarisasi siklik SUS 317L	58
Gambar 4.19	Kurva polarisasi siklik SUS 329J	58
Gambar 4.20	Kurva polarisasi siklik HC-276	59
Gambar 4.21	Grafik hubungan antara PREN dan laju korosi	61
Gambar 4.22	Grafik hubungan antara PREN dan laju kehilangan berat	62
Gambar 5.1	Grafik hubungan antara waktu celup dan potensial logam (<i>standard hydrogen electrode</i>) untuk material SUS 316L	64
Gambar 5.2	Posisi SUS 316L pada diagram potensial-pH pourbaix gabungan dari kromium, molybdenum dan nikel	65
Gambar 5.3	Kurva polarisasi siklik SUS 316L	67
Gambar 5.4	Grafik hubungan antara waktu celup dan potensial logam (<i>standard hydrogen electrode</i>) untuk material SUS 317L	68
Gambar 5.5	Posisi SUS 317L pada potensial-pH diagram dari Molibdenum digabungkan dengan Cromium saat dilakukan uji celup.	69
Gambar 5.6	Kurva polarisasi siklik SUS 317L	71

Gambar 5.7	Grafik hubungan antara waktu celup dan potensial logam dengan menggunakan elektroda standar Ag/AgCl (1M KCl) untuk material SUS 316L dan SUS 329J	72
Gambar 5.8	Posisi SUS 329J pada potensial-pH diagram dari Molibdenum digabungkan dengan Kromium saat dilakukan uji celup.	73
Gambar 5.9	Kurva polarisasi siklik SUS 329J	74
Gambar 5.10	Grafik hubungan antara waktu celup dan potensial logam HC-276	75
Gambar 5.11	Posisi HC-276 pada potensial-pH diagram dari Molibdenum digabungkan dengan Nikel saat dilakukan uji celup.	75
Gambar 5.12	Kurva polarisasi siklik HC-276	76
Gambar 5.13	Grafik hubungan antara nilai PREN dan laju korosi	78
Gambar 5.14	Grafik hubungan antara laju korosi dengan kandungan molibdenum	78
Gambar 5.15	Grafik hubungan antara laju korosi dengan kandungan kromium	79
Gambar 5.16	Grafik potensial logam SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan HC-276 selama uji celup	80
Gambar 5.17	Plot potensial SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan HC-276 dalam potensial-pH diagram pourbaix	81
Gambar 5.18	Foto struktur mikro logam setelah dilakukan uji celup selama 7 hari (a) SUS 316L (b) SUS 317L (c) SUS 329J dan (d) HC-276	82

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik dari <i>Carboxylic acid</i> ^[3]	6
Tabel 2.2 Komposisi berbagai jenis baja tahan austenitic 316L ^[4]	9
Tabel 2.3 <i>Properties austenitic stainless steel</i> 316L ^[5]	9
Tabel 2.4 Laju korosi material <i>stainless steel</i> 316 dan 317 ^[5]	10
Tabel 2.5 Komposisi berbagai jenis baja tahan karat austenitik SUS 317 ^[4]	10
Tabel 2.6 Komposisi berbagai jenis baja tahan karat SUS 329 ^[4]	11
Tabel 2.7 Komposisi Hastelloy C-276 ^[4]	12
Tabel 2.8 Pengaruh unsur paduan pada ketahanan korosi Nikel ^[5]	13
Tabel 2.9 Pengaruh unsur paduan pada ketahanan korosi Nikel ^[5]	13
Tabel 2.10 Metode untuk mengukur kedalaman <i>pitting</i> korosi ^[2]	19
Tabel 4.1 Hasil uji komposisi spesimen dengan menggunakan Xmet3000TX	40
Tabel 4.2 Hasil kalkulasi nilai PREN ($PREN = \%Cr + 3.3\%Mo + \%N$)	40
Tabel 4.3 Hasil analisis larutan <i>mother liquor</i> dengan <i>gas chromatography</i>	41
Tabel 4.4 Hasil uji pengecekan larutan dengan <i>gas chromatography</i>	41
Tabel 4.5 Berat jenis material yang dilakukan uji celup (ASTM G1-90)	42
Tabel 4.6 Hasil perhitungan laju korosi untuk SUS 316L	43
Tabel 4.7 Hasil perhitungan laju korosi untuk SUS 317L	47
Tabel 4.8 Hasil perhitungan laju korosi untuk SUS 329J	51
Tabel 4.9 Hasil perhitungan laju korosi untuk HC-276	54
Tabel 4.10 Hasil perhitungan <i>equivalent weight</i>	60
Tabel 4.11 Hasil perhitungan laju korosi berdasarkan uji polarisasi	60
Tabel 4.12 Hasil perhitungan <i>mass loss rate</i> berdasarkan uji polarisasi	61
Tabel 5.1 Komposisi logam SUS 316L, SUS 317L, SUS 329J dan HC-276	77

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran-1.** ASTM G1-03 (Reapproved 1999) *Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Speciment.*
- Lampiran-2.** ASTM G5-94 *Standard Reference Test Methode for Making Potensiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement*
- Lampiran-3.** ASTM G61-86 *Standard Test Methode for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurement for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt Base Alloy*
- Lampiran-3.** ASTM G102-89 *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurement.*

