

**PENGARUH KONSENTRASI ASAM SULFAT TERHADAP LAJU
KOROSI MATERIAL AUSTENITIC STAINLESS STEEL**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**AKHMAD ZAENI
NIM. 0910620026-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH KONSENTRASI ASAM SULFAT TERHADAP LAJU KOROSI
MATERIAL AUSTENITIC STAINLESS STEEL**

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

AKHMAD ZAENI
NIM. 0910620026-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

Dosen Pembimbing II

Femiana Gapsari M. F., ST., MT.
NIP. 19820704 200812 2 002

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KONSENTRASI ASAM SULFAT TERHADAP LAJU KOROSI
MATERIAL AUSTENITIC STAINLESS STEEL**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**AKHMAD ZAENI
NIM. 0910620026-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 24 Juli 2013

Penguji I

Penguji II

Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.

NIP. 19740121 199903 1 001

Ir. Hastono Wijaya, MT.

NIP. 19601204 198601 1 002

Penguji Komprehensif

Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT.
NIP. 19461110 198103 1 001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “**Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat terhadap Laju Korosi Material Austenitic Stainless Steel**” sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian Skripsi ini. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
2. Bapak Dr.Eng. Anindito P., ST., M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
3. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan Skripsi ini
4. Ibu Femiana Gapsari M. F., ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan Skripsi ini
5. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. ; Ir. Hastono Wijaya, MT. ; Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT. selaku Dosen Penguji Skripsi yang telah membantu dalam penyelesaian Skripsi ini
6. Bapak Ir. Agustinus Ariseno, MT. selaku Dosen Wali yang telah memberikan bimbingan akademik selama studi di Teknik Mesin Universitas Brawijaya
7. Dosen-dosen, Staff Recording dan seluruh Keluarga Besar Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah mendukung selama kegiatan perkuliahan
8. Kedua orang tua (Abdul Rochman dan Rochmah) dan seluruh anggota keluarga (Mas Ndut, Mas Thet, Mbak Anita, Zaeni, Syidi, Fahmi, Amri dan Ali) yang telah memberikan banyak dukungan material maupun non-material hingga terselesaiannya penulisan Skripsi ini



9. Keluarga Besar Beastudi Etos Wilayah Malang (Pak Korwil, Pendamping Etos dan seluruh Etoser Malang) yang telah banyak berperan dalam mendukung dan memotivasi selama kegiatan perkuliahan di Universitas Brawijaya
10. Teman-teman Jurusan Mesin (terutama Angkatan 2009) dan semua pihak yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian hingga terselesaiannya laporan tugas akhir ini
11. Teman-teman seperjuangan ‘Geng Saramet’, Rissa Lestari, Husni Awali dan Sumawan yang telah banyak membantu dan saling mendukung demi terselesaikannya Skripsi ini
12. Etoser Malang Angkatan 2009 (Tanti, Yanti, Risa, Ria, Muna, Enik, Wahyu, Icha, Dina, Samsul, Wildan, Arbil, Umam, Malik dan Mufid) yang selalu memberi dukungan dan motivasi mulai awal perkuliahan di Universitas Brawijaya
13. Saudara dan teman-teman semua yang terus memberi dukungannya selama ini

Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Malang, 24 Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Definisi Korosi	4
2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi	5
2.4 Deret Elektrokimia (Deret Volta)	6
2.5 Reaksi Elektrokimia	7
2.6 Macam-macam Korosi	9
2.7 Menghitung Laju Korosi	10
2.7.1 Metode Kehilangan Massa (<i>Mass Loss</i>)	10
2.7.2 Metode Elektrokimia	11
2.8 Asam Sulfat (H_2SO_4)	12
2.9 Baja Tahan Karat (<i>Stainless Steel</i>)	13
2.10 <i>Austenitic Stainless Steel</i>	15
2.11 <i>High Silicon Stainless Steel</i>	16
2.12 Unsur-unsur Paduan Baja	16
2.13 Hipotesa	17
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 19
3.1 Metode Penelitian	19



3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.3 Variabel Penelitian	19
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	20
3.4.1 Alat Penelitian	20
3.4.2 Bahan Penelitian	21
3.5 Prosedur Penelitian	22
3.5.1 Pengujian Laju Korosi Metode Kehilangan Massa (<i>Mass Loss</i>)	22
3.5.2 Pengujian Laju Korosi Metode Elektrokimia	23
3.5.3 Pengujian Foto Mikrostruktur	24
3.6 Diagram Alir Penelitian	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Hasil Uji Metode Kehilangan Massa (<i>Mass Loss</i>)	26
4.2 Analisa Statistik	27
4.3 Analisa Data dan Pembahasan	30
4.3.1 Laju Korosi SS 304 dalam Asam Sulfat	30
4.3.2 Laju Korosi SS 316L dalam Asam Sulfat	31
4.3.3 Laju Korosi Saramet dalam Asam Sulfat	32
4.3.4 Laju Korosi <i>Austenitic SS</i> dalam Asam Sulfat	34
4.4 Hasil Uji Metode Elektrokimia	36
4.5 Hasil Uji Foto Mikrostruktur	37
BAB V PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Potensial Oksidasi-Reduksi Standar	7
Tabel 2.2	Tingkatan Ketahanan Korosi Berdasarkan Nilai Laju Korosi	12
Tabel 2.3	Spesifikasi Klasifikasi <i>Stainless Steel</i>	14
Tabel 2.4	Komposisi Standar <i>Austenitic Stainless Steel</i>	15
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Laju Korosi <i>Austenitic SS</i> dalam Asam Sulfat	27
Tabel 4.2	Data Laju Korosi <i>Austenitic SS</i>	27
Tabel 4.3	Hasil Analisa Varian Dua Arah (<i>Two-Way ANOVA</i>)	28



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
	Gambar 2.1 Reaksi elektrokimia besi dalam asam hidroklorik	8
	Gambar 3.1 Rangkaian alat uji potensiostat	21
	Gambar 3.2 Pengujian laju korosi dengan metode kehilangan massa (<i>mass loss</i>)	23
	Gambar 3.3 Diagram alir penelitian	25
	Gambar 4.1 Dimensi spesimen uji	26
	Gambar 4.2 Daerah penolakan distribusi F	28
	Gambar 4.3 Daerah penolakan distribusi F	29
	Gambar 4.4 Daerah penolakan distribusi F	29
	Gambar 4.5 Laju korosi SS 304 dalam variasi konsentrasi asam sulfat	30
	Gambar 4.6 Laju korosi SS 316L dalam variasi konsentrasi asam sulfat	32
	Gambar 4.7 Laju korosi saramet dalam variasi konsentrasi asam sulfat	33
	Gambar 4.8 Laju korosi <i>austenitic</i> SS dalam asam sulfat	34
	Gambar 4.9 Laju korosi <i>austenitic</i> SS dalam asam sulfat dan tanpa perlakuan	35
	Gambar 4.10 Kurva polarisasi tafel SS 304 tanpa perlakuan	36
	Gambar 4.11 Kurva polarisasi tafel SS 316L tanpa perlakuan	36
	Gambar 4.12 Kurva polarisasi tafel Saramet tanpa perlakuan	37
	Gambar 4.13 Foto mikrostruktur hasil pengujian SS 304	38
	Gambar 4.14 Foto mikrostruktur hasil pengujian SS 316L	39
	Gambar 4.15 Foto mikrostruktur hasil pengujian Saramet	40



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Table of F-statistics P = 0.05*

Lampiran 2 *Data Sheet SS 304/304L*

Lampiran 3 *Data Sheet SS 316/316L*

Lampiran 4 *Data Sheet Sandvik 253 MA*



RINGKASAN

Akhmad Zaeni, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, *Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat terhadap Laju Korosi Material Austenitic Stainless Steel*, Dosen Pembimbing: Slamet Wahyudi dan Femiana Gapsari M. F.

Korosi merupakan penurunan mutu material (umumnya logam) akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan sekitarnya. Korosi atau perkaratan merupakan masalah yang serius dalam perindustrian, terutama dalam penggunaan material logam. Baja austenit dari tipe SS 304 dan SS 316 merupakan yang paling banyak digunakan dalam perindustrian karena sifat tahan korosinya yang baik. Namun, material ini rentan korosi dalam lingkungan asam sulfat yang merupakan senyawa kimia yang banyak digunakan dalam dunia industri. Oleh karena itu, saat ini mulai digunakan material saramet yang diketahui memiliki resistensi yang baik dalam lingkungan asam sulfat dengan konsentrasi dan temperatur tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi asam sulfat terhadap laju korosi *austenitic stainless steel* (tipe SS 304, SS 316L dan Saramet).

Dalam penelitian ini digunakan material *austenitic SS* dari tipe SS 304, SS 316L dan saramet (Sandvik 253 MA). Pengujian laju korosi dilakukan dengan menggunakan metode *mass loss* dan elektrokimia. Selain itu, juga dilakukan uji mikrostruktur dari setiap spesimen, sebelum dan setelah pengujian untuk mengetahui kerusakan pada permukaan logam setelah pengujian.

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi *austenitic SS* dalam asam sulfat cenderung lebih tinggi dibanding dalam lingkungan udara bebas (atmosfer). Pada konsentrasi asam sulfat antara 75% hingga 95%, laju korosi SS 304 dan SS 316L cenderung meningkat dengan semakin bertambahnya konsentrasi asam sulfat, terutama pada konsentrasi di atas 85%. Hal ini karena semakin tinggi konsentrasi asam, maka ion H⁺ yang mengoksidasi logam akan semakin banyak sehingga korosi meningkat. Sedangkan laju korosi saramet semakin menurun dengan semakin bertambahnya konsentrasi asam sulfat. Hal ini karena kandungan Si yang lebih dari 1,5% pada saramet yang dapat membentuk lapisan SiO₂ yang menjadikan material ini resisten terhadap korosi asam sulfat pada konsentrasi tinggi. Saramet lebih efisien untuk aplikasi asam sulfat dalam berbagai konsentrasi antara 75% hingga 95%, terutama pada konsentrasi di atas 90%. Tingkat korosi *austenitic stainless steel* cukup rendah pada konsentrasi asam sulfat 75% - 95% karena kandungan Cr > 16% dalam paduannya dapat membentuk lapisan oksida pasif (Cr₂O₃) yang menghambat proses korosi pada permukaan logam.

Kata kunci: laju korosi, *austenitic stainless steel*, asam sulfat



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada dunia industri sering terjadi permasalahan yang ditimbulkan akibat adanya korosi, terutama pada komponen-komponen yang terbuat dari logam. Tingginya biaya perawatan akibat korosi membuat banyak perusahaan melakukan penelitian untuk mencari solusi guna menekan biaya pengendalian korosi. Upaya pengendalian dan perawatan terhadap korosi sangatlah penting untuk mengurangi kerugian-kerugian yang ditimbulkannya. Perawatan terhadap korosi dapat dilakukan dengan penggunaan bahan yang tepat sebagai pengganti material yang terkorosi, penggunaan lapisan pelindung dan metode proteksi elektrik. Selain itu, pemantauan terhadap lingkungan juga harus dilakukan, terutama lingkungan asam yang dapat mempercepat terjadinya korosi. Korosi merupakan penurunan mutu material (umumnya logam) akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan sekitarnya (Trethewey & Chamberlain, 1991). Korosi atau perkaratan merupakan masalah yang serius dalam kehidupan manusia, terutama yang berhubungan dengan penggunaan material logam.

Asam sulfat merupakan senyawa kimia yang banyak digunakan dalam berbagai proses perindustrian, terutama untuk produksi asam hidroklorik, senyawa lain dan turunannya; proses *pickling* baja dan logam lainnya; produksi pupuk, bahan celup, obat-obatan, zat pewarna, bahan peledak, deterjen sintetis, rayon dan bahan tekstil lainnya; penyulingan minyak; pemurnian logam; dan produksi karet (Fontana, 1987). Asam sulfat (H_2SO_4) merupakan golongan asam mineral (anorganik) yang kuat dan bersifat sangat korosif pada logam. Sifat inilah yang menyebabkan perlu adanya pengendalian korosi yang lebih terhadap penggunaan asam sulfat di dunia industri.

Austenitic stainless steel merupakan salah satu tipe material baja tahan karat. Tipe ini sering digunakan dalam berbagai industri makanan, minuman dan pengolahan susu dimana adanya kontaminasi warna dan rasa harus dihindari. Selain itu, digunakan juga untuk *boiler* dan *heat exchanger* dari pembangkit energi berbahan bakar fosil dan nuklir untuk mencegah kebocoran komponen. Bahan *austenitic stainless steel* yang digunakan dalam industri umumnya adalah dari tipe 304 dan 316 karena sifat resistensinya yang baik terhadap korosi. Namun material ini kurang resisten dalam lingkungan asam sulfat. Selain 304 dan 316, saramet juga termasuk dalam tipe material *austenitic stainless steel* yang masih tergolong baru. Saramet ini diketahui sangat



resisten dalam lingkungan asam dan temperatur tinggi, terutama asam sulfat (H_2SO_4). Saramet termasuk dalam tipe *austenitic stainless steel* yang mengalami penambahan hingga 5,8% unsur silikon dalam paduannya. Silikon inilah yang menjadikan saramet lebih resisten terhadap lingkungan asam sulfat. Penggunaan asam sulfat yang meluas dalam bidang industri menjadikan saramet kini mulai banyak digunakan sejak dua tahun terakhir. Saramet telah digunakan sebagai *recuperator* di PT. Krakatau Steel, *pyrometer tube* di industri logam dan *burner* di *Power Plant Boiler*. Saramet biasanya digunakan pada temperatur tinggi.

Berdasarkan alasan di atas, perlu dilakukan penelitian untuk membandingkan bagaimana laju korosi saramet, 304 dan 316L. Hal ini dilakukan agar diketahui apakah aplikasi performansi saramet hanya dapat digunakan pada temperatur tinggi saja atau juga efisien untuk aplikasi pada temperatur rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh variasi konsentrasi larutan asam sulfat terhadap laju korosi material *austenitic stainless steel* dari tipe SS 304, SS 316L dan saramet.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mengarahkan pembahasan dari perumusan masalah, maka dalam penelitian ini perlu diberikan beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Material *austenitic stainless steel* yang digunakan yaitu tipe SS 304, SS 316L dan saramet
2. Pengujian laju korosi menggunakan larutan asam sulfat dengan konsentrasi yang divariasikan, yaitu 75%, 85% dan 95%
3. Hal yang diamati dalam penelitian ini yaitu laju korosi yang terjadi pada material *austenitic stainless steel* tanpa membahas jenis korosi yang terjadi pada material tersebut
4. Faktor yang mempengaruhi proses korosi diasumsikan hanya karena variasi material *austenitic stainless steel* dan konsentrasi asam sulfat
5. Dimensi spesimen uji diasumsikan sama, yaitu $24\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 5\text{ mm}$
6. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi laju korosi dianggap konstan dalam setiap pengujian, yaitu pada tekanan 1 atm dan temperatur ruang

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari kegiatan penelitian ini yaitu untuk menganalisa dan mengetahui pengaruh konsentrasi larutan asam sulfat terhadap laju korosi material *austenitic stainless steel* dari tipe 304, 316L dan saramet.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Menjadikan saramet sebagai alternatif untuk menggantikan fungsi 304 dan 316L dalam bidang industri
2. Sebagai solusi dalam menekan biaya perawatan korosi akibat asam sulfat
3. Sebagai referensi tambahan untuk penelitian selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian Francis (2009) yang berjudul "*The performance of stainless steels in concentrated sulphuric acid*", menyebutkan bahwa material *austenitic stainless steel* dengan kadar silikon tinggi memiliki ketahanan korosi yang baik dalam konsentrasi asam sulfur panas dan lebih baik dibanding material 310 dalam asam yang lebih lemah. Silikon memberikan paduan ini resistensi yang baik terhadap asam sulfur pada kecepatan alir yang tinggi.

Loto, *et al.* (2012) dalam penelitiannya, "*Corrosion resistance of austenitic stainless steel in sulphuric acid*", mengamati tentang ketahanan korosi baja austenit tipe 304 dalam larutan asam sulfat yang juga divariasikan dengan penambahan NaCl. Disimpulkan bahwa *austenitic stainless steel* (tipe 304) rentan terhadap lingkungan asam sulfur, dengan korosi lubang (*pitting corrosion*) yang signifikan dan kerusakan yang luas pada permukaan topografi. Namun, baja cenderung lebih resisten pada konsentrasi asam yang tinggi dibanding konsentrasi yang lebih rendah.

Febrianto (2010) melakukan penelitian yang berjudul "Analisis laju korosi material bejana tekan PWR dalam berbagai konsentrasi H_2SO_4 dan temperatur". PWR merupakan jenis reaktor PLTN yang dibuat dari material SS 304. Dari penelitian ini, disimpulkan bahwa konsentrasi H_2SO_4 dan temperatur berpengaruh terhadap laju korosi material SS 304. Semakin besar konsentrasi H_2SO_4 dan temperatur, semakin tinggi laju korosi yang terjadi. Korosi SS 304 dalam media yang mengandung H_2SO_4 cukup rendah disebabkan tingginya kandungan Cr dan rendahnya kandungan C.

2.2 Definisi Korosi

Davis (2000) mendefinisikan korosi sebagai reaksi kimia atau elektrokimia antara material (umumnya logam) dengan lingkungannya yang menyebabkan kerusakan pada material dan sifat-sifatnya. Ditinjau dari interaksi yang terjadi, korosi adalah proses transfer elektron dari logam ke lingkungannya. Logam bertindak sebagai sel yang memberikan elektron (anoda) dan lingkungan bertindak sebagai penerima elektron (katoda). Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Contoh korosi yang paling umum adalah perkaratan pada besi. Karat logam umumnya adalah berupa oksida atau karbonat. Rumus kimia karat besi adalah $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, suatu zat padat yang

berwarna coklat-merah. Sedangkan penurunan mutu logam yang diakibatkan interaksi secara fisik bukan disebut korosi, namun biasa dikenal sebagai erosi dan keausan.

Korosi dapat menyebabkan sebagian logam hilang dan menjadi suatu senyawa yang lebih stabil. Di alam, logam pada umumnya berupa senyawa, karena itu peristiwa korosi juga dapat dianggap sebagai siklus kembalinya logam ke bentuknya sebagaimana terdapat di alam. Hal ini merupakan kebalikan dari proses *extractive metallurgy* yang memurnikan logam dari senyawanya. Dalam hal ini korosi mengakibatkan kerugian karena hilangnya sebagian hasil usaha manusia memurnikan logam. Korosi merupakan suatu proses alamiah yang tidak bisa dicegah tetapi hanya bisa dikendalikan, yaitu dengan memperlambat laju korosinya.

2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi

Korosi dapat disebabkan karena adanya tiga faktor utama, yaitu material, lingkungan dan reaksi elektrokimia. Korosi terjadi akibat material (umumnya logam) yang bereaksi dengan lingkungan sekitarnya (udara dan air) secara elektrokimia membentuk material baru yang umumnya merugikan. Karena itulah sebisa mungkin proses korosi harus dihindari.

Cepat lambatnya suatu logam mengalami korosi dinyatakan sebagai laju korosi yang dipengaruhi oleh perubahan-perubahan faktor sebagai berikut:

1. Kontak dengan O_2 dan H_2O

Semakin banyak jumlah O_2 dan H_2O yang mengalami kontak dengan permukaan logam, maka korosi pada permukaan logam tersebut semakin cepat. Oksigen dari udara yang larut dalam air akan tereduksi, sedangkan air berfungsi sebagai media tempat berlangsungnya reaksi redoks pada peristiwa korosi.

2. Kontak dengan elektrolit

Adanya elektrolit, seperti garam dalam air laut dapat mempercepat laju korosi karena terjadi reaksi tambahan. Konsentrasi elektrolit yang besar dapat mempercepat laju aliran elektron sehingga korosi meningkat.

3. Temperatur

Secara umum, semakin tinggi temperatur maka laju korosi logam semakin cepat. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya temperatur maka meningkat pula energi kinetik partikel sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan efektif pada reaksi redoks semakin besar.

4. Kelembaban relatif

Lingkungan yang lembab akan semakin mempercepat terjadinya korosi.

5. pH

Korosi pada kondisi asam ($\text{pH} < 7$) akan semakin besar, karena adanya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katode, yaitu:



Adanya reaksi ini menyebabkan lebih banyak atom logam yang teroksidasi sehingga laju korosi pada permukaan logam semakin besar.

6. Bahan pengotor padat atau terlarut

Zat pengotor di permukaan logam dapat menyebabkan terjadinya reaksi reduksi tambahan sehingga lebih banyak atom logam yang teroksidasi. Misalnya, debu karbon hasil pembakaran BBM pada permukaan logam.

7. Kekasaran permukaan

Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial dan memiliki kecenderungan untuk menjadi anode yang terkorosi.

8. Efek *Galvanic Coupling*

Kemurnian logam yang rendah mengindikasikan banyaknya atom-atom unsur lain yang terdapat pada logam tersebut sehingga memicu terjadinya efek *Galvanic Coupling*, yakni timbulnya perbedaan potensial pada permukaan logam akibat perbedaan E° antara atom-atom unsur logam yang berbeda. Efek ini memicu korosi pada permukaan logam melalui peningkatan reaksi oksidasi pada daerah anode.

9. Letak logam dalam deret volta

Logam dengan potensial elektrode yang semakin negatif akan semakin reaktif dan mudah melepas elektron, sehingga mudah mengalami oksidasi.

2.4 Deret Elektrokimia (Deret Volta)

Deret elektrokimia atau yang disebut juga deret volta merupakan urutan logam-logam yang didasarkan pada kenaikan potensial elektrode standarnya dengan hidrogen sebagai acuannya. Deret volta beserta nilai potensial oksidasi-reduksinya ditunjukkan seperti pada Tabel 2.1 yang menjelaskan bahwa:

Semakin ke bawah kedudukan suatu logam dalam deret volta, maka:

- Logam semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron)
- Logam merupakan reduktor yang semakin kuat (semakin mudah mengalami oksidasi)

Sebaliknya, semakin ke atas kedudukan suatu logam dalam deret volta, maka:

- Logam semakin kurang reaktif (semakin sulit melepas elektron)
- Logam merupakan oksidator yang semakin kuat (semakin mudah mengalami reduksi)

Tabel 2.1 Potensial Oksidasi-Reduksi Standar

Redox Reaction	Oxidation-Reduction Potensial
$\text{Au} \rightleftharpoons \text{Au}^{3+} + 3\text{e}^-$	+1,498
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
$\text{Pt} \rightleftharpoons \text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^-$	+1,200
$\text{Pd} \rightleftharpoons \text{Pd}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,987
$\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	+0,799
$2\text{Hg} \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,788
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	+0,771
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$	+0,401
$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0,337
$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}$	+0,150
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	0,000
$\text{Pb} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,126
$\text{Sn} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,136
$\text{Ni} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,250
$\text{Co} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,277
$\text{Cd} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,403
$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,440
$\text{Cr} \rightleftharpoons \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$	-0,744
$\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,763
$\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	-1,662
$\text{Mg} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	-2,363
$\text{Na} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{e}^-$	-2,714
$\text{K} \rightleftharpoons \text{K}^+ + \text{e}^-$	-2,925

Sumber: Schweitzer (2010: 8)

2.5 Reaksi Elektrokimia

Trethewey (1991) menyebutkan bahwa ada empat proses dasar yang terjadi dalam korosi sebuah logam, yaitu:

1. Reaksi anoda
2. Reaksi katoda
3. Penghantaran ion melalui elektrolit
4. Penghantaran elektron melalui logam

Oksidasi atau reaksi anodik ditandai dengan peningkatan valensi atau pelepasan elektron. Penurunan valensi atau penangkapan elektron menandakan proses reduksi atau reaksi katodik. Selama proses korosi logam, laju oksidasi sebanding dengan laju reduksi

(Fontana, 1987). Reaksi anodik dalam setiap reaksi korosi merupakan oksidasi logam menjadi ion.



Sifat elektrokimia korosi ditunjukkan oleh serangan asam klorida pada besi. Ketika besi ditempatkan dalam asam klorida encer, akan terbentuk gas hidrogen dan besi terlarut membentuk larutan besi klorida. Reaksi yang terjadi:



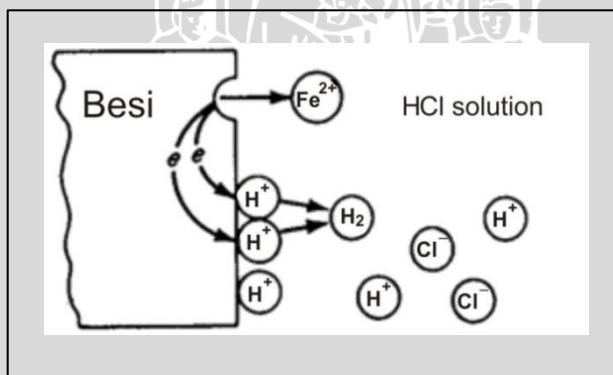
Ion klorida tidak terlibat dalam reaksi ini, sehingga reaksi dapat disederhanakan menjadi:



Dari reaksi di atas, dapat dilihat bahwa selama reaksi, besi dioksidasi menjadi ion besi dan ion hidrogen direduksi menjadi hidrogen. Jadi reaksi dapat dengan mudah dibagi menjadi dua reaksi, oksidasi besi dan reduksi ion hidrogen.

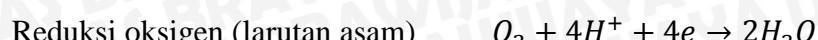


Korosi besi dalam asam klorida merupakan proses elektrokimia. Artinya, setiap reaksi yang dapat dibagi menjadi dua (atau lebih) reaksi parsial dari oksidasi dan reduksi disebut elektrokimia. Peristiwa reaksi elektrokimia besi dalam asam klorida ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.1.



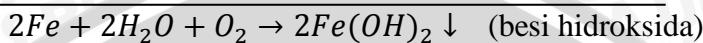
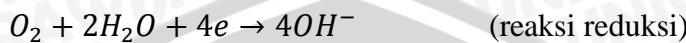
Gambar 2.1 Reaksi elektrokimia besi dalam asam hidroklorik.

Dalam beberapa hal, jumlah elektron sama dengan valensi ion. Terdapat beberapa reaksi katodik yang berbeda yang sering ditemui dalam korosi logam, yaitu sebagai berikut:

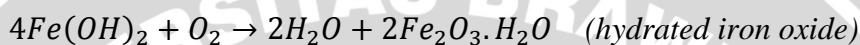




Sebagai contoh yang paling umum yaitu proses perkaratan pada besi. Pada logam besi yang dimasukkan dalam air atau air laut yang terkena atmosfer, maka akan mengalami korosi. Reaksi yang terjadi yaitu:



Besi hidroksida mengendap dari larutan. Komponen ini tidak stabil dalam larutan yang mengandung oksigen, sehingga akan terjadi reaksi:



Produk akhir inilah yang dikenal sebagai karat besi yang berwarna coklat kemerahan.

2.6 Macam-macam Korosi

Ditinjau dari bentuk dan prosesnya maka korosi dapat dibedakan menjadi:

1. Korosi merata (*uniform corrosion*)

Korosi merata adalah korosi yang terjadi pada seluruh permukaan logam yang kontak dengan elektrolit dengan intensitas sama.

2. Korosi galvanik (*galvanic corrosion*)

Korosi galvanik adalah korosi yang terjadi bila dua logam berbeda jenis berada pada lingkungan korosif dan saling kontak, akibatnya terjadi perbedaan beda potensial yang menghasilkan aliran elektron. Logam yang lebih anodik akan terkorosi sementara logam lainnya yang lebih katodik akan terlindungi.

3. Korosi celah (*crevice corrosion*)

Korosi celah adalah korosi lokal yang terjadi pada celah antara dua komponen baik logam dengan non-logam maupun logam dengan logam akibat perbedaan konsentrasi oksigen. Pada celah, kadar oksigen lebih rendah daripada lingkungannya sehingga elektron akan berpindah menuju kadar oksigen yang tinggi, akibatnya di dalam celah terjadi korosi.

4. Korosi sumuran (*pitting corrosion*)

Korosi sumuran adalah korosi yang terjadi karena adanya cacat pada permukaan material, seperti celah atau lubang kecil yang berakibat rusaknya lapisan pasif. Pada daerah cacat ini akan lebih anodik dibandingkan permukaan material

lainnya sehingga korosi akan menuju bagian dalam material. Korosi sumuran ini sangat berbahaya karena lokasi terjadinya sangat kecil tetapi dalam, sehingga dapat menyebabkan peralatan (struktur) patah mendadak.

5. Korosi batas butir (*intergranular corrosion*)

Korosi batas butir adalah korosi yang terjadi pada atau di sepanjang batas butir, dimana batas butir bersifat anodik dan bagian tengah butir bersifat katodik. Korosi intergranular terjadi pada *austenitic stainless steel* saat *heat treatment* pada temperatur 425 hingga 815°C (800 hingga 1500°F), dimana terjadi pengosongan batas butir dari kromium akibat presipitasi kromium karbida (Cr₂₃C₆) sehingga batas butir kehilangan resistensinya dan mengalami korosi. Proses terbentuknya presipitat karbida karbon disebut sensitasi.

6. Korosi erosi (*erosion corrosion*)

Korosi erosi adalah korosi yang disebabkan oleh erosi yang mengikis lapisan pelindung material, zat erosi itu dapat berupa fluida yang mengandung material abrasif. Korosi tipe ini sering ditemui pada pipa-pipa minyak.

7. Korosi retak tegang (*stress cracking corrosion*)

Korosi retak tegang terjadi karena kombinasi beban regang (*tensile stress*) dan lingkungan yang korosif sehingga dapat menimbulkan kerusakan awal yang kemudian menyebabkan *fracture* dalam logam.

2.7 Menghitung Laju Korosi

Laju korosi merupakan suatu besaran yang menyatakan cepat atau lambat suatu material bereaksi dengan lingkungannya dan mengalami korosi. Menurut Fontana (1987) dalam bukunya “*Corrosion Engineering*”, laju korosi dapat didefinisikan dalam berbagai macam, seperti persentase kehilangan massa, miligram per sentimeter persegi per hari dan gram per inci persegi per jam. Selain itu, juga digunakan *mils per year (mpy)* yang menyatakan laju penetrasi serangan korosi terhadap logam. Untuk mengetahui laju korosi suatu material umumnya digunakan dua metode, yaitu metode kehilangan massa (*mass loss*) dan metode elektrokimia.

2.7.1 Metode Kehilangan Massa (*Mass Loss*)

Metode kehilangan massa (*mass loss*) ini didasarkan pada selisih massa awal sebelum pengujian korosi dengan massa akhir setelah pengujian korosi. Laju korosi biasanya dinyatakan dalam *mils per year (mpy)*. Perhitungan laju korosi atas dasar

kehilangan massa logam selama pengujian dirumuskan sesuai standar ASTM G1 seperti pada persamaan 2-1.

$$CR = \frac{K \times W}{A \times t \times D} \quad (2 - 1)$$

Keterangan:

CR = laju korosi [mpy]

K = konstanta laju korosi = $3,45 \times 10^6$ [mpy/mmpy]

W = massa yang hilang [g]

A = luas permukaan spesimen [cm^2]

t = waktu perendaman [jam]

D = densitas spesimen [g/cm^3]

2.7.2 Metode Elektrokimia

Metode elektrokimia adalah metode untuk mengukur laju korosi yang ditentukan dengan polarisasi linear dan teknik elektrokimia lain yang dinyatakan dalam persamaan densitas arus. Persamaan ini bisa diubah ke dalam laju penetrasi korosi yang didasarkan pada hukum Farady dan dirumuskan berdasarkan standar ASTM G1.02 seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2-2.

$$CR = K \frac{I_{corr} EW}{\rho} \quad (2 - 2)$$

Keterangan:

CR = laju korosi [mmpy] untuk I_{corr} [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]

K = konstanta laju korosi = $3,27 \times 10^{-3}$ [$\text{mm g}/\mu\text{A cm yr}$]

I_{corr} = rapat arus saat E_{corr}

ρ = densitas spesimen [g/cm^3]

EW = equivalent weight

Konversi :

$$1 \text{ mpy} = 0,0245 \text{ mm/yr} = 25,4 \text{ } \mu\text{m/yr} = 2,90 \text{ nm/hr} = 0,805 \text{ pm/sec}$$

Berdasarkan nilai laju korosinya, tingkat ketahanan korosi (*relative corrosion resistance*) suatu material digolongkan menjadi 6 tingkatan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2. Material dengan kategori ‘outstanding’ merupakan material yang memiliki tingkat resistensi korosi yang paling baik. Sebaliknya, material dengan kategori ‘unacceptable’ merupakan material yang memiliki tingkat resistensi korosi yang paling buruk sehingga sangat mudah terkorosi.

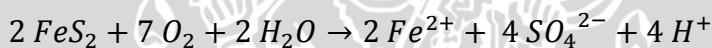
Tabel 2.2 Tingkatan Ketahanan Korosi Berdasarkan Nilai Laju Korosi

Relative Corrosion Resistance	mpy	mm/yr	$\mu\text{m}/\text{yr}$	nm/hr	pm/sec
Outstanding	<1	<0,02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

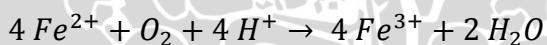
Sumber: Fontana (1987: 172)

2.8 Asam Sulfat (H_2SO_4)

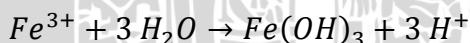
Asam sulfat yang memiliki rumus kimia H_2SO_4 merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan. Asam sulfat terbentuk secara alami melalui oksidasi mineral sulfida, misalnya besi sulfida. Air yang dihasilkan dari oksidasi ini sangat asam dan disebut sebagai air asam tambang. Air asam ini mampu melarutkan logam-logam yang ada dalam bijih sulfida, yang akan menghasilkan uap berwarna cerah yang beracun. Oksidasi besi sulfida pirit oleh oksigen molekuler menghasilkan besi (II), atau Fe^{2+} :



Fe^{2+} dapat kemudian dioksidasi lebih lanjut menjadi Fe^{3+} :



Fe^{3+} yang dihasilkan dapat diendapkan sebagai hidroksida:



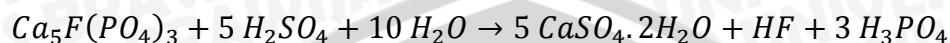
Asam sulfat merupakan salah satu produk utama industri kimia dan banyak digunakan dalam berbagai proses perindustrian, misalnya untuk produksi asam hidroklorik, senyawa lain dan turunannya; proses *pickling* baja dan logam lainnya; produksi pupuk, bahan celup, obat-obatan, zat pewarna, bahan peledak, deterjen sintetis, rayon dan bahan tekstil lainnya; penyulingan minyak; pemurnian logam; dan produksi karet (Fontana, 1987). Namun, H_2SO_4 sangat korosif terhadap logam. Oleh karena itu, perlu penanganan yang hati-hati dalam penggunaannya.

Asam sulfat bereaksi dengan kebanyakan logam melalui reaksi penggantian tunggal, menghasilkan gas hidrogen dan logam sulfat. H_2SO_4 encer menyerang besi, aluminium, seng, mangan, magnesium dan nikel. Reaksi antara asam sulfat dengan logam biasanya akan menghasilkan hidrogen seperti pada persamaan berikut ini.





Kegunaan utama (60% dari total produksi di seluruh dunia) asam sulfat adalah dalam metode basah produksi asam fosfat, yang digunakan untuk membuat pupuk fosfat dan juga trinatrium fosfat untuk deterjen. Pemberian 93% asam sulfat pada bahan baku fluorapatit menghasilkan kalsium sulfat, hidrogenfluorida (HF), dan asam fosfat. HF dipisahkan sebagai asam fluorida. Keseluruhan prosesnya dapat dituliskan:



2.9 Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Stainless steel (SS) merupakan paduan besi dan kromium dengan atau tanpa penambahan unsur lain. Meningkatnya kandungan krom dan adanya unsur tambahan, seperti karbon, fosfor, silikon, nikel, molibdenum, mangan dan lain-lain, menjadikan *stainless steel* mampu memberikan sifat tahan korosi yang baik.

Stainless steel dengan kadar kromium yang tidak kurang dari 10,5 % membentuk *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap krom yang terjadi secara spontan. Hal ini menjadikan material ini tahan terhadap korosi di lingkungan yang mengandung air (*aqueous media*) dimana terdapat zat organik dan zat mineral yang agresif, khususnya tahan terhadap korosi atmosfer. Sifat istimewa dari *stainless steel* yang lain adalah tahan terhadap temperatur tinggi di lingkungan gas.

Berdasarkan struktur metalurginya, *stainless steel* diklasifikasikan menjadi 5 golongan, yaitu *austenitic*, *ferritic*, *martensitic*, *duplex* dan *precipitation hardening steel* dengan komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

1. *Austenitic Stainless Steel*

Mengandung sedikitnya 16% krom dan 6% nikel (*grade* standar untuk 304). *Molybdenum* (*Mo*), *titanium* (*Ti*) dan *copper* (*Co*) berfungsi meningkatkan ketahanan terhadap temperatur serta korosi. *Austenitic* juga cocok untuk aplikasi temperatur rendah, disebabkan unsur nikel membuat SS tidak menjadi rapuh pada temperatur rendah.

2. *Ferritic Stainless Steel*

Kadar krom bervariasi antara 10,5 - 18 % seperti *grade* 430 dan 409. Ketahanan korosi tidak begitu istimewa dan relatif lebih sulit untuk difabrikasi/*machining*. Tetapi kekurangan ini telah diperbaiki pada *grade* 434 dan 444 dan secara khusus pada *grade* 3Cr12.



3. Martensitic Stainless Steel

Material ini memiliki unsur utama krom antara 11,5 – 18% dan kadar karbon relatif tinggi, misal *grade* 410 dan 416. Bersifat magnetik, *hardenable* dapat di-*cold working* terutama pada kadar karbon rendah. Daya tahan korosinya tidak sebaik *ferritic SS* dan *austenitic SS*.

4. Duplex Stainless Steel

Duplex SS yang mengandung hingga 28% kromium dan 6% nikel, memiliki bentuk mikrostruktur campuran *austenitic* dan *ferritic*. *Duplex ferritic-austenitic* memiliki kombinasi sifat tahan korosi dan temperatur relatif tinggi atau secara khusus tahan terhadap *stress corrosion cracking*.

5. Precipitation Hardening Steel

Paduan Fe – Cr yang mengandung Ni kurang dari 8% ini merupakan baja yang keras dan kuat akibat dari dibentuknya suatu presipitat (endapan) dalam struktur mikro logam. Hal ini disebabkan oleh penambahan unsur tembaga, titanium, niobium dan alumunium. Proses penguatan umumnya terjadi pada saat dilakukan penggerjaan dingin (*cold work*).

Tabel 2.3 Spesifikasi Klasifikasi *Stainless Steel*

Designation	Type	Composition weight-%						Others
		Cr	Ni	Mo	C	Mn	Si	
AISI 300 Series:								
AISI 304	Austenitic	18-20	8-10.5	-	<0.08	2	1	-
AISI 304L	Austenitic	18-20	8-12	-	<0.03	2	1	-
AISI 321	Austenitic	18-20	8-10.5	-	<0.08	2	1	Ti = 5 × wt-%C
AISI 347	Austenitic	18-20	8-10.5	-	<0.08	2	1	Nb = 10 × wt-%C
AISI 316	Austenitic	16-18	10-14	2.0-3.0	<0.08	2	1	-
AISI 316L	Austenitic	16-18	10-14	2.0-3.0	<0.02	2	1	-
AISI 317	Austenitic	18-20	11-15	3.0-4.0	<0.08	2	1	-
AISI 317L	Austenitic	18-20	11-15	3.0-4.0	<0.03	2	1	-
AISI 310	Austenitic	24-26	19-22	-	<0.25	2	1.5	-
AISI 330	Austenitic	17-20	34-37	-	<0.08	2	1.5	-
AISI 200 Series:								
AISI 201	Austenitic	16-18	3.5-5.5	-	0.15	5.5-7.5	1	+0.25 N
AISI 202	Austenitic	17-19	4-6	-	0.15	7.5-10	1	+0.25 N
AISI 400 Series:								
AISI 409	Ferritic	10.5-11.7	<1	-	<0.08	1	1	-
AISI 430	Ferritic	16-18	<1	-	<0.08	1	1	-
AISI 434	Ferritic	16-18	<1	0.8-1.2	<0.08	1	1	-
AISI 410	Martensitic	11.5-13.5	<1	-	0.15	1	1	-
AISI 431	Martensitic	15-17	1.2-2.5	-	0.20	1	1	-
Duplex Steels:								
Steel 1	Duplex	25	6.0	3.0	<0.08	-	-	1.5 Cu + 0.25 N
Steel 2	Duplex	25	5.5	3.0	<0.08	-	-	-
Precipitation-Hardening Steels:								
Steel 1	Precipitation	16	4.2	-	0.04	0.5	0.5	3.5 Cu
Steel 2	Precipitation	15	4.5	-	0.04	0.3	0.4	3.5 Cu + Nb
<i>Note: All steels %P < 0.04%, %S < 0.03%</i>								

Sumber: Talbot (1998)

2.10 Austenitic Stainless Steel

Austenitic stainless steel merupakan golongan *stainless steel* yang paling umum dan diproduksi dalam jumlah yang lebih besar dari paduan lainnya. *Austenitic stainless steel* merupakan paduan dasar dari besi yang mengandung sekitar 19% kromium dan 9% nikel. Komposisi kimianya bisa bervariasi, misalnya penurunan kandungan karbon dan penambahan titanium, niobium atau tantalum untuk mencegah pembentukan karbida. Selain itu, penambahan molibdenum dapat meningkatkan resistensi terhadap korosi.

Austenitic stainless steels diketahui bersifat non-magnetik dan banyak digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk struktur penyangga dan penahanan, bidang arsitektur, peralatan dapur dan produk kesehatan. Material ini banyak digunakan bukan hanya karena resistensinya pada korosi, namun juga karena sangat mudah dibentuk, mudah pembuatannya dan tahan lama. Beberapa golongan paduan tinggi dapat digunakan pada temperatur tinggi hingga 1000°C seperti pada *heat-treating baskets*.

Austenitic stainless steel ini terdiri dari berbagai jenis dan komposisi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4. Namun dalam penggunaannya, seri 300 merupakan yang paling banyak digunakan. Sebagian besar mengandung 18% Cr dan 8% Ni, dengan penambahan unsur paduan atau modifikasi untuk memberikan sifat yang baik. Tipe 304 adalah dasar dari seri paduan ini dan 304L merupakan golongan yang paling sering dipilih. Tipe 316 dengan 2% Mo dan Cr berguna untuk meningkatkan resistensi terhadap korosi lubang (*pitting corrosion*).

Tabel 2.4 Komposisi Standar *Austenitic Stainless Steel*

Type	Composition (wt %)*									
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N	Other
201	0.15	5.5-7.5	0.06	0.03	1.0	16.0-18.0	3.5-5.5	-	0.25	-
302	0.15	2.0	0.045	0.03	1.0	17.0-19.0	8.0-10.0	-	-	-
304	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	18.0-20.0	8.0-10.5	-	-	-
304L	0.03	2.0	0.045	0.03	1.0	18.0-20.0	8.0-12.0	-	-	-
304H	0.04-0.1	2.0	0.045	0.03	1.0	18.0-20.0	8.0-10.5	-	-	-
308	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	19.0-21.0	10.0-12.0	-	-	-
309	0.20	2.0	0.045	0.03	1.0	22.0-24.0	12.0-15.0	-	-	-
310	0.25	2.0	0.045	0.03	1.0	24.0-26.0	19.0-22.0	-	-	-
316	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-	-
316L	0.03	2.0	0.045	0.03	1.0	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-	-
317	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	18.0-20.0	11.0-15.0	3.0-4.0	-	-
321	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	17.0-19.0	9.0-12.0	-	-	Ti: 5xC-0.70
330	0.10	2.0	0.045	0.03	0.75-1.5	17.0-20.0	34.0-37.0	-	-	-
347	0.08	2.0	0.045	0.03	1.0	17.0-19.0	9.0-13.0	-	-	Nb: 10xC-1.00

*A single value is a maximum

Sumber: Talbot (1998)



2.11 High Silicon Stainless Steel

Adanya kandungan silikon pada baja dapat memperbaiki sifat kimia dari baja tersebut. Silikon merupakan unsur paduan logam yang penting dalam meningkatkan ketahanan korosi terutama akibat serangan asam sulfur, seperti H_2SO_4 . Saramet (*Sulphuric Acid Resistance Alloyed Metal*) merupakan *stainless steel* pertama yang mengandung silikon yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi peralatan yang bekerja dalam konsentrasi asam sulfur panas. Saramet merupakan golongan *austenitic stainless steel* dengan penambahan silikon hingga 5,8% sehingga sangat resisten dalam lingkungan asam sulfur dibanding baja austenit lainnya. Kandungan silikon $\geq 1,5\%$ dapat membentuk lapisan oksida pelindung berupa SiO_2 yang dapat menghambat serangan korosi asam sulfat. Penggunaan asam sulfat yang meluas dalam bidang industri menjadikan saramet kini mulai banyak digunakan sejak dua tahun terakhir. Saramet telah digunakan sebagai *recuperator* di PT. Krakatau Steel, *pyrometer tube* di industri logam dan *burner* di *Power Plant Boiler*.

2.12 Unsur-unsur Paduan Baja

Unsur-unsur yang umumnya ditambahkan dalam paduan baja antara lain:

1. Kromium (Cr)

Tujuan utama dari penambahan kromium adalah untuk melindungi baja dari korosi. Dalam kondisi oksidasi, kromium dan oksida akan membentuk $(Fe,Cr)_2O_3$ pada permukaan baja. Persentase kromium dapat meningkatkan kestabilan oksida karena memiliki afinitas terhadap oksigen yang lebih tinggi dibandingkan besi. Kandungan kromium dalam baja akan berpengaruh pada ketahanannya terhadap korosi. Baja dengan kromium lebih dari 12% akan menjadikannya tahan karat dalam berbagai lingkungan. Kromium juga diketahui sebagai pembentuk karbida yang kuat. Karbida krom yang paling umum adalah $M_{23}C_6$, dimana "M" sebagian besar adalah kromium tapi bisa juga berupa fraksi dari Fe dan Mo. Karbida ini bisa ditemukan pada hampir semua *stainless steel*. Selain itu, terdapat juga bentuk karbida Cr_7C_3 . Kromium juga dapat membentuk nitrida, seperti CrN_2 yang dapat ditemukan dalam kelompok *ferritic* dan *duplex*, namun tidak pada *austenitic*.

2. Nikel (Ni)

Dalam jumlah yang cukup akan menstabilkan struktur austenit, mempertinggi sifat mekanik dan fabrikasi. Nikel juga berguna untuk ketahanan korosi yang

disebabkan asam mineral. Meningkatnya kadar nikel sebesar 8 – 10% akan menurunkan resistensi terhadap *stress corrosion cracking (SCC)*, tetapi kenaikan lebih lanjut akan memulihkan ketahanan terhadap *SSC*.

3. Mangan (Mn)

Berfungsi sebagai penstabil struktur austenit. Interaksi antara mangan dengan sulfur dalam baja tahan karat akan membentuk mangan sulfida. Morfologi dan komposisi sulfida ini mempunyai efek dasar pada ketahanan korosi, terutama pada *pitting corrosion*.

4. Molibdenum (Mo)

Kombinasi Mo dengan Cr sangat efektif untuk menstabilkan lapisan film karena klorida. Molibdenum sangat efektif menaikkan resistensi terhadap *pitting* dan *crevice corrosion*.

5. Silikon (Si)

Silikon terdapat hanya sebagian kecil dalam kebanyakan paduan dasar nikel. Akan tetapi, paduan silikon banyak digunakan untuk meningkatkan resistensi nikel pada konsentrasi H_2SO_4 temperatur tinggi. Paduan silikon dapat membentuk *protective layer* berupa SiO_2 yang menjadikan logam resisten terhadap serangan korosi.

2.13 Hipotesa

Pada material *austenitic stainless steel* (SS 304, SS 316L dan saramet) yang direndam dalam larutan asam sulfat, maka akan terjadi reaksi elektrokimia antara material logam dengan asam sulfat (H_2SO_4). Ion logam akan bertindak sebagai anode (mengalami oksidasi) dan ion H^+ dari H_2SO_4 sebagai katode (mengalami reduksi), sehingga material logam akan mengalami korosi.

Dalam reaksi kimia, kenaikan konsentrasi reaktan akan meningkatkan laju reaksi. Dalam hal ini, jika konsentrasi H_2SO_4 semakin tinggi maka akan semakin banyak H^+ yang mengalami reduksi, sehingga laju oksidasi logam juga semakin meningkat. Hal ini karena laju reduksi sebanding dengan laju oksidasi. Dengan demikian, kenaikan konsentrasi H_2SO_4 akan dapat meningkatkan laju korosi *austenitic stainless steel*.

Unsur silikon merupakan unsur paduan yang berperan penting dalam ketahanan korosi material baja dalam lingkungan asam sulfat. Paduan silikon dapat meningkatkan resistensi baja terhadap korosi akibat asam sulfat, terutama pada konsentrasi dan

temperatur tinggi. Material *austenitic stainless steel* dengan paduan silikon lebih tinggi, memungkinkan memiliki resistensi yang baik dalam lingkungan asam sulfat.

Berdasarkan alasan di atas, maka dapat diperoleh hipotesa atau dugaan sementara dari penelitian bahwa jika konsentrasi asam sulfat semakin meningkat, maka:

- Laju korosi SS 304 dan SS 316L akan semakin meningkat
- Laju korosi saramet akan semakin menurun



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan asam sulfat (H_2SO_4) terhadap laju korosi material *austenitic stainless steel*. Variabel lain dalam penelitian ini dianggap konstan. Pengkajian literatur dari berbagai sumber berupa buku, jurnal penelitian maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap laju korosi material *austenitic stainless steel* ini dilaksanakan mulai bulan Maret 2013 sampai Juni 2013, meliputi tahap konsultasi judul, penelitian di laboratorium, sampai dengan analisa data. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektrokimia ITS, Laboratorium Pengujian Bahan dan Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya bebas dan ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu:

- Variasi konsentrasi asam sulfat yaitu 75%, 85% dan 95%
- Variasi material *austenitic stainless steel* yaitu tipe SS 304, SS 316L dan saramet (Sandvik 253 MA)

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas.

Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah laju korosi dari material *austenitic stainless steel* tipe SS 304, SS 316L dan saramet.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti dan nilainya dibuat konstan. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah:



- a. Waktu perendaman material yaitu selama 10 hari (240 jam) dalam larutan asam sulfat
- b. Volume asam sulfat yaitu 100 ml untuk setiap pengujian
- c. Temperatur pengujian yaitu pada temperatur ruang pada tekanan 1 atm

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Gelas beker

Digunakan sebagai tempat larutan asam sulfat dan perendaman spesimen dengan konsentrasi yang sudah ditentukan. Gelas beker yang digunakan berkapasitas 250 ml dan tahan hingga temperatur 200°C.

2. Timbagan digital

Digunakan untuk menimbang berat spesimen sebelum dan sesudah direndam dalam asam sulfat. Timbagan yang digunakan yaitu merk Mettler Toledo dengan ketelitian hingga 0,0001 gram.

3. *Centrifugal sandpaper*

Digunakan untuk menggosok dan memoles permukaan spesimen uji. *Centrifugal sandpaper* yang digunakan yaitu dari merk Saphir buatan Jerman dengan kecepatan putar roda kerja hingga 600 rpm. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan kertas gosok mulai dari *grade* 100, 220, 500, 800 hingga 1000. Terakhir digosok dengan menggunakan kain flanel dan pasta poles.

4. Mikroskop logam

Digunakan untuk mengambil foto mikrostruktur dari spesimen uji. Mikroskop yang digunakan yaitu merk Nikon buatan Jepang.

5. Sarung tangan

Digunakan untuk melindungi tangan dari larutan asam sulfat.

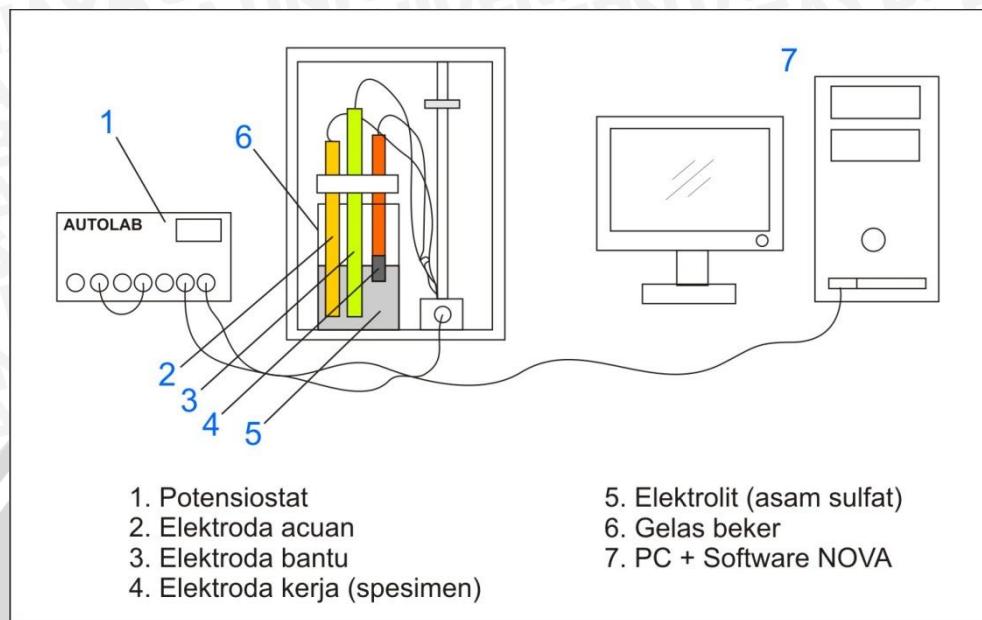
6. Oven listrik

Digunakan untuk memanaskan dan mengeringkan spesimen. Pada penelitian ini menggunakan oven listrik merk Open Ban Hotmn tipe E/90 buatan Austria dengan suhu maksimal 950°C.

7. Potensiostat

Digunakan dalam pengujian metode elektrokimia untuk mengetahui laju korosi spesimen tanpa perlakuan. Dalam pengujian ini menggunakan tiga elektroda,

yaitu spesimen uji (elektroda kerja), platina (elektroda bantu) dan Ag/AgCl (elektroda acuan). Selain itu, digunakan asam sulfat sebagai media elektrolit. Rangkaian alat uji potensiostat ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Rangkaian alat uji potensiostat.

3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Material *austenitic stainless steel* tipe 304, 316L dan Saramet dengan dimensi $24\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 5\text{ mm}$.
2. Material SS 304 (UNS S30400) memiliki densitas $8,03\text{ g/cm}^3$ dengan komposisi kimia sebagai berikut:

- Karbon (C)	: 0,08 %	(maks.)
- Mangan (Mn)	: 2,00 %	(maks.)
- Kromium (Cr)	: 18 – 20 %	
- Nikel (Ni)	: 8 – 12 %	
- Silikon (Si)	: 0,75 %	(maks.)
- Besi dan paduan lain	: diseimbangkan	
3. Material SS 316L (UNS S31603) memiliki densitas $7,99\text{ g/cm}^3$ dengan komposisi kimia sebagai berikut:

- Karbon (C)	: 0,03 %	(maks.)
- Mangan (Mn)	: 2,00 %	(maks.)
- Kromium (Cr)	: 16 - 18 %	



- Nikel (Ni) : 10 - 14 %
 - Molibdenum (Mo) : 2 – 3 %
 - Silikon : 0,75 % (maks.)
 - Besi dan paduan lain : diseimbangkan
4. Material saramet yang digunakan yaitu Sandvik 253 MA (UNS S30815) dengan densitas $7,8 \text{ g/cm}^3$ dan komposisi kimia sebagai berikut:
- Karbon (C) : 0,08 %
 - Mangan (Mn) : 0,8 % (maks.)
 - Kromium (Cr) : 21 %
 - Nikel (Ni) : 11 %
 - Silikon : 1,6 %
 - Besi dan paduan lain : diseimbangkan
5. Larutan asam sulfat dengan konsentrasi 75%, 85% dan 95%

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pengujian Laju Korosi Metode Kehilangan Massa (*Mass Loss*)

Pengujian laju korosi dengan metode *mass loss* dilakukan untuk mengetahui laju korosi spesimen setelah dilakukan pengujian. Perhitungan metode ini didasarkan pada selisih massa spesimen sebelum dan sesudah pengujian. Prosedur kerja dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan peralatan dan bahan (SS 304, SS 316L dan saramet)
2. Bersihkan dan haluskan permukaan spesimen dengan menggunakan ampelas
3. Spesimen dicuci dengan air suling dan bersihkan dengan kain
4. Spesimen dikeringkan dengan dipanaskan menggunakan oven listrik pada suhu 110°C selama 1 jam
5. Timbang setiap spesimen menggunakan timbangan digital dengan tingkat ketelitian hingga 0,0001 gram dan catat sebagai massa awal (W_1)
6. Pisahkan dan tandai setiap spesimen berdasarkan perlakuan yang akan diberikan, yaitu direndam pada asam sulfat 75%, 85% maupun 95%
7. Rendam masing-masing spesimen dalam gelas beker yang berisi 100 ml larutan asam sulfat yang telah ditentukan (variasi konsentrasi 75%, 85% dan 95%) selama 10 hari (240 jam)
8. Angkat dan keringkan spesimen dengan dipanaskan pada suhu 110°C selama 1 jam

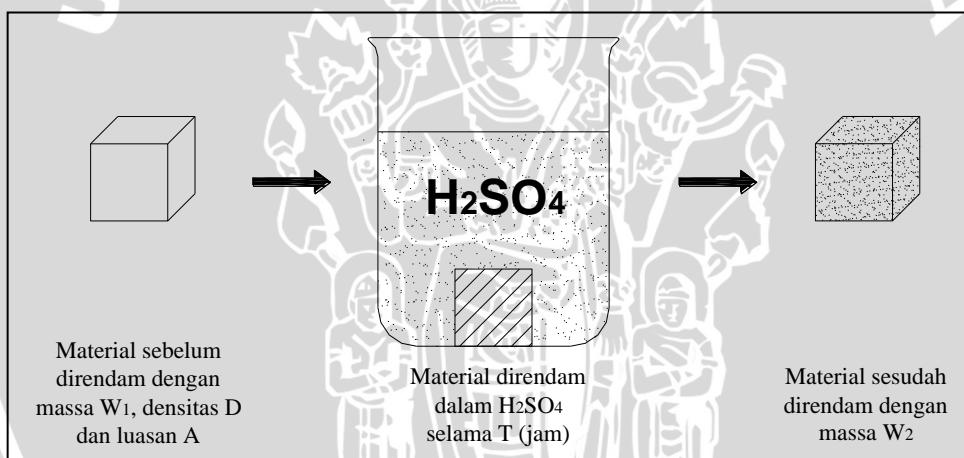
9. Timbang setiap spesimen dan catat sebagai massa akhir (W_2) dari tiap spesimen
10. Selanjutnya, perhitungan laju korosi metode kehilangan massa logam selama pengujian menggunakan Persamaan 3-1.

$$CR = \frac{K \times W}{A \times t \times D} \quad (3-1)$$

Keterangan:

- | | |
|------|---|
| CR | = laju korosi [mpy] |
| K | = konstanta laju korosi = $3,45 \times 10^6$ [mpy/mmpy] |
| W | = $W_2 - W_1$ = massa yang hilang [g] |
| A | = luas permukaan spesimen [cm^2] |
| t | = waktu perendaman [jam] |
| D | = densitas spesimen [g/cm^3] |

Secara sederhana, pengujian laju korosi material dengan metode kehilangan massa (*mass loss*) dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengujian laju korosi dengan metode kehilangan massa (*mass loss*).

3.5.2 Pengujian Laju Korosi Metode Elektrokimia

Pengujian elektrokimia dilakukan untuk mengetahui laju korosi spesimen (SS 304, SS 316L dan saramet) tanpa perlakuan, sebagai pembanding dengan spesimen setelah pengujian. Pengujian ini menggunakan alat potensiostat AUTOLAB dengan teknik polarisasi tafel. Dalam instalasinya digunakan tiga sel elektroda, yaitu spesimen uji sebagai elektroda kerja, platina sebagai *counter electrode* (elektroda bantu) dan Ag/AgCl sebagai *reference electrode* (elektroda acuan). Dalam hal ini, *counter electrode* berfungsi mengalirkan arus ke elektroda kerja dan *reference electrode* berfungsi sebagai acuan untuk mengukur potensial elektroda kerja. Ketiga elektroda

diletakkan dalam gelas beker yang berisi 0,1 M asam sulfat sebagai media elektrolit dengan menggunakan penjepit sehingga menjadi rangkaian siap uji seperti pada Gambar 3.1. Setiap elektroda dihubungkan dengan sumber potensial, yaitu AUTOLAB melalui kabel-kabel. Dalam pengujian ini digunakan sumber potensial sebesar 40 mV. Pengujian dijalankan dengan menggunakan program komputer, yaitu *software* NOVA.

Hasil yang diperoleh dari pengujian ini berupa kurva polarisasi tafel dengan potensial E sebagai absis dan rapat arus I sebagai ordinat. Dari kurva ini dapat diketahui harga potensial dimana material dapat terkorosi dan mendapatkan nilai laju korosinya berdasarkan I_{corr} . Perhitungan laju korosi metode elektrokimia ini menggunakan Persamaan 3-2.

$$CR = K \frac{I_{corr} EW}{\rho} \quad (3-2)$$

Keterangan:

CR = laju korosi [mmpy] untuk I_{corr} [$\mu A/cm^2$]

K = konstanta laju korosi = $3,27 \times 10^{-3}$ [mm g/ μA cm yr]

I_{corr} = rapat arus saat E_{corr}

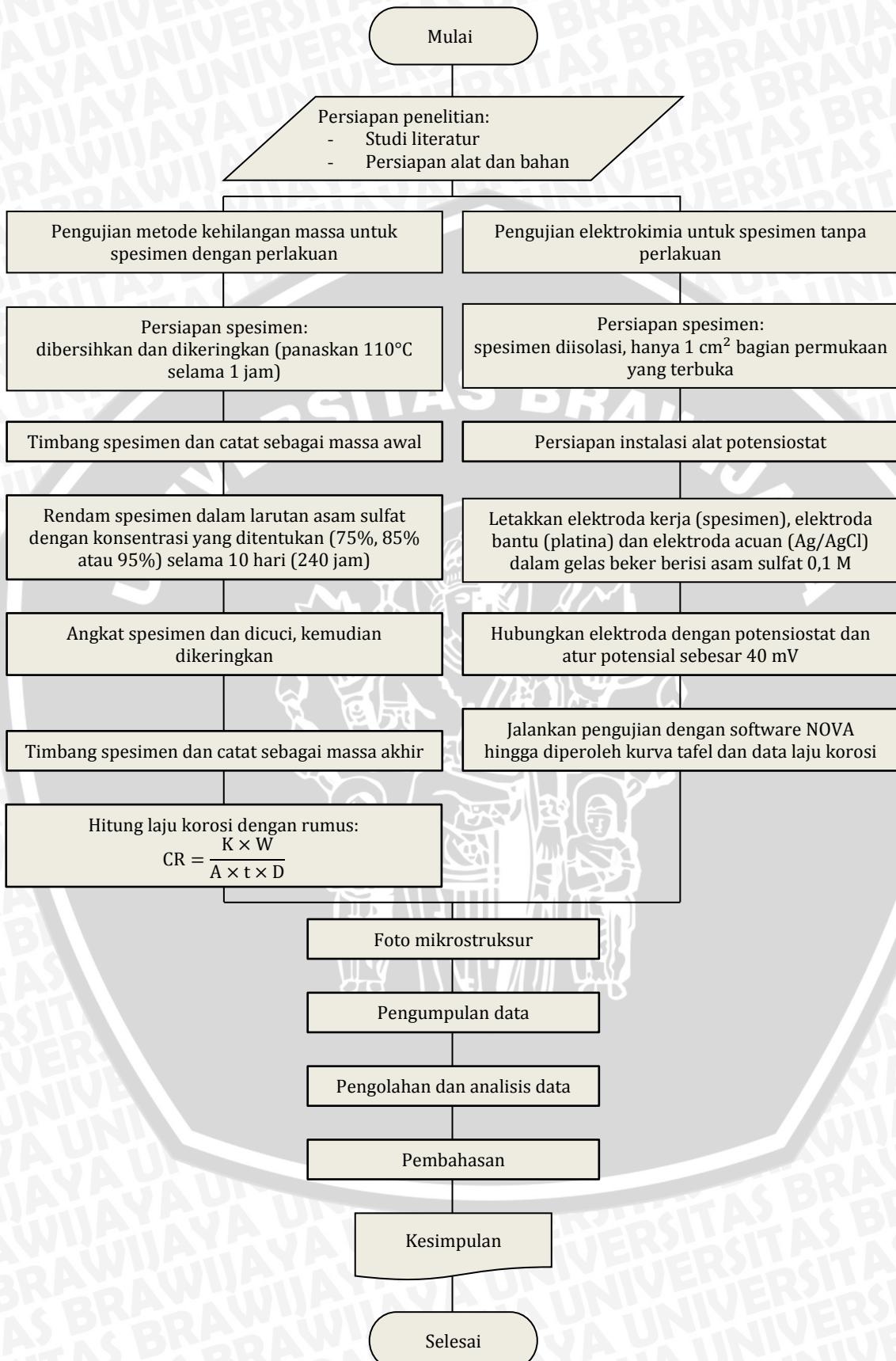
ρ = densitas spesimen [g/cm^3]

EW = equivalent weight

3.5.3 Pengujian Foto Mikrostruktur

Pengujian ini digunakan untuk memperoleh gambaran mikrostruktur permukaan spesimen uji sebelum dan sesudah pengujian sehingga bisa diketahui seberapa besar kerusakan akibat korosi asam sulfat pada material tersebut. Sebelum dilakukan pengujian, permukaan spesimen dibersihkan dan digosok menggunakan *centrifugal sandpaper* dengan ampelas mulai *grade* 100, 220, 500, 800 dan 1000. Kemudian digosok dengan kain flanel dan pasta poles hingga mengkilat. Foto mikrostruktur menggunakan mikroskop logam dilakukan dengan perbesaran 400 kali.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

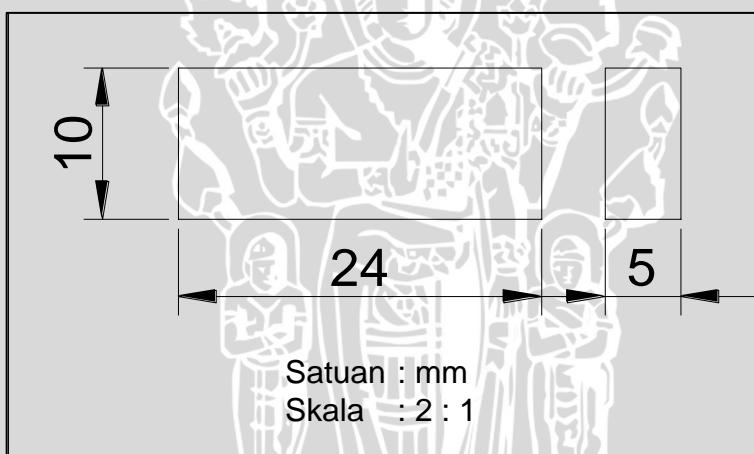
4.1 Hasil Uji Metode Kehilangan Massa (*Mass Loss*)

Data laju korosi diperoleh dari perhitungan rumus metode kehilangan massa dengan standar ASTM G1 sebagai berikut:

$$CR = \frac{K \times W}{A \times t \times D}$$

Keterangan:

- CR = laju korosi [mpy]
- K = konstanta laju korosi = $3,45 \times 10^6$ [mpy/mmpy]
- W = massa yang hilang [g]
- A = luas permukaan spesimen [cm^2]
- t = waktu perendaman [jam]
- D = densitas spesimen [g/cm^3]



Gambar 4.1 Dimensi spesimen uji.

Contoh perhitungan laju korosi SS 304 (spesimen 1) yang direndam dalam konsentrasi asam sulfat 75% selama 240 jam dengan dimensi spesimen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} CR &= \frac{K \times W}{A \times t \times D} \\ &= \frac{3,45 \times 10^6 \times 0,0011 [\text{g}]}{8,20 [\text{cm}^2] \times 240 [\text{jam}] \times 8,03 [\text{g}/\text{cm}^3]} \\ &= 0,240 [\text{mpy}] \end{aligned}$$

Data hasil pengujian laju korosi *austenitic stainless steel* (SS 304, SS 316L dan Saramet) dalam variasi konsentrasi asam sulfat ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Laju Korosi Austenitic SS dalam Asam Sulfat

Material	Konsentrasi Asam Sulfat (%)	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Massa Hilang (g)	Laju Korosi (mpy)
SS 304	75	1,5192	1,5181	0,0011	0,240
		1,6112	1,6103	0,0009	0,196
		Rata-rata			0,218
	85	1,6229	1,6216	0,0013	0,284
		1,6364	1,6347	0,0017	0,371
		Rata-rata			0,327
	95	1,6313	1,6262	0,0051	1,113
		1,5336	1,5279	0,0057	1,244
		Rata-rata			1,179
SS 316L	75	4,4332	4,4310	0,0022	0,483
		4,2057	4,2042	0,0015	0,329
		Rata-rata			0,406
	85	4,3384	4,3374	0,0010	0,219
		4,2167	4,2154	0,0013	0,285
		Rata-rata			0,252
	95	4,2927	4,2885	0,0042	0,922
		4,0063	4,0015	0,0048	1,053
		Rata-rata			0,987
SARAMET	75	7,7547	7,7523	0,0024	0,539
		7,8913	7,8887	0,0026	0,584
		Rata-rata			0,562
	85	7,0678	7,0658	0,0020	0,449
		7,3216	7,3196	0,0020	0,449
		Rata-rata			0,449
	95	7,7590	7,7578	0,0012	0,270
		7,5275	7,5267	0,0008	0,180
		Rata-rata			0,225

4.2 Analisa Statistik

Analisa statistik data menggunakan software Minitab 16 dengan analisa varian dua arah (*Two-way ANOVA*) dengan data laju korosi austenitic SS seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Laju Korosi Austenitic SS

Material	Konsentrasi Asam Sulfat (%)		
	75	85	95
SS 304	0,240	0,284	1,113
	0,196	0,371	1,244
SS 316L	0,483	0,219	0,922
	0,329	0,285	1,053
SARAMET	0,539	0,449	0,270
	0,584	0,449	0,180

Tabel 4.3 Hasil Analisa Varian Dua Arah (*Two-Way ANOVA*)

Two-way ANOVA: Laju Korosi versus Material; Konsentrasi					
Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (DK)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Rata-rata (KR)	F _{hitung}	F _{tabel}
Material	2	0,09168	0,045840	10,06	4,26
Konsentrasi	2	0,74010	0,370052	81,19	4,26
Interaksi	4	1,08536	0,271341	59,53	3,63
Kesalahan	9	0,04102	0,004558		
Total	17	1,95817			
$S = 0,06751 \quad R\text{-kuadrat} = 97,91\%$					

Tabel 4.3 menunjukkan output analisa varian dua arah (*two-way ANOVA*). Dalam hal ini, terdapat 2 faktor dan 1 interaksi sehingga ada 3 hipotesis yang harus dirumuskan, yaitu:

- Pengaruh faktor material terhadap laju korosi *austenitic SS*

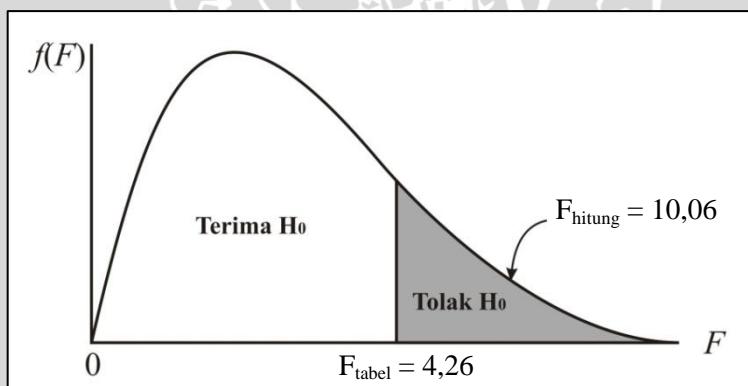
Hipotesa:

H_0 = tidak ada pengaruh tipe material terhadap laju korosi *austenitic SS*

H_1 = ada pengaruh tipe material terhadap laju korosi *austenitic SS*

$F_{\text{hitung}} = 10,06$

$F_{\text{tabel}} = F_{0,05; 2; 9} = 4,26$ (dengan $\alpha = 5\%$)



Gambar 4.2 Daerah penolakan distribusi F.

Keputusan:

Dari Gambar 4.2 diketahui bahwa $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, sehingga H_0 ditolak. Artinya, ada pengaruh tipe material terhadap laju korosi *austenitic SS*.

- Pengaruh faktor konsentrasi terhadap laju korosi *austenitic SS*

Hipotesa:

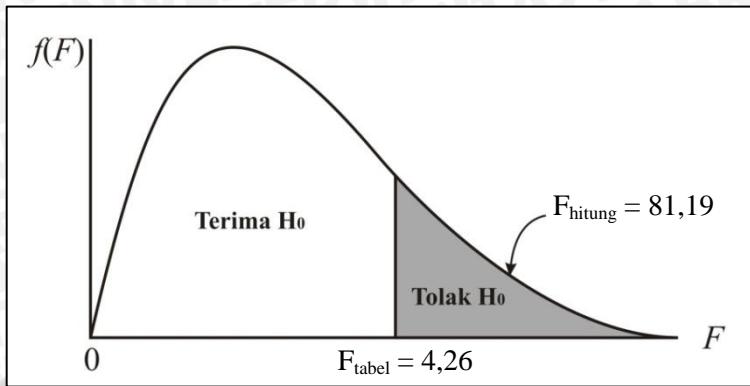
H_0 = tidak ada pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi *austenitic SS*

H_1 = ada pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi *austenitic SS*



$$F_{\text{hitung}} = 81,19$$

$$F_{\text{tabel}} = F_{0,05; 2; 9} = 4,26 \quad (\text{dengan } \alpha = 5\%)$$



Gambar 4.3 Daerah penolakan distribusi F.

Keputusan:

Dari Gambar 4.3 diketahui bahwa $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, sehingga H_0 ditolak. Artinya, ada pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi austenitic SS.

3. Pengaruh interaksi antarfaktor terhadap laju korosi austenitic SS

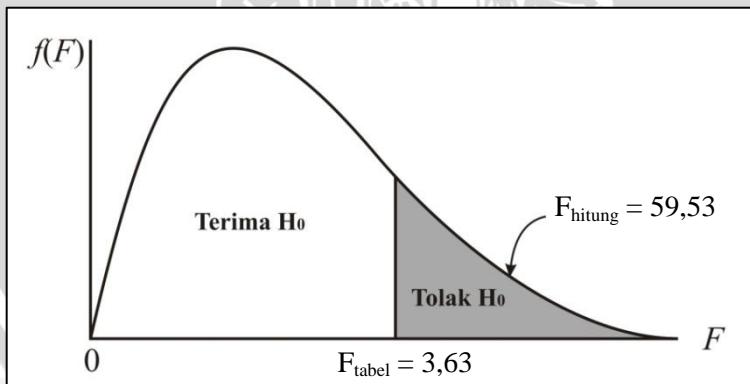
Hipotesa:

H_0 = tidak ada pengaruh interaksi antarfaktor terhadap laju korosi austenitic SS

H_1 = ada pengaruh interaksi antarfaktor terhadap laju korosi austenitic SS

$$F_{\text{hitung}} = 59,53$$

$$F_{\text{tabel}} = F_{0,05; 4; 9} = 3,63 \quad (\text{dengan } \alpha = 5\%)$$



Gambar 4.4 Daerah penolakan distribusi F.

Keputusan:

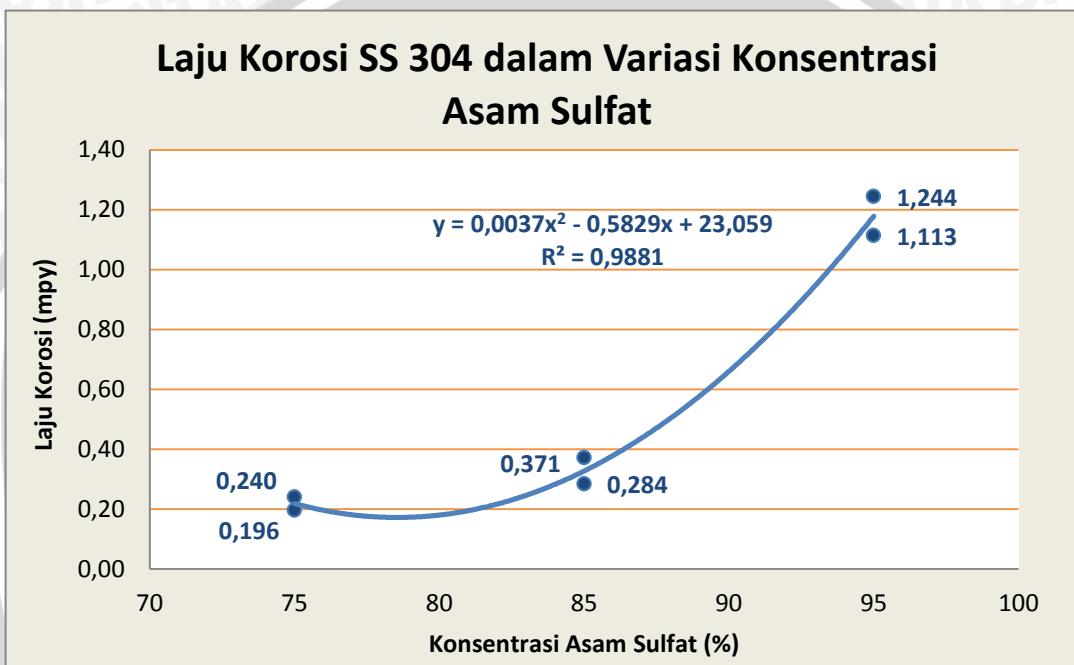
Dari Gambar 4.4 diketahui bahwa $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, sehingga H_0 ditolak. Artinya, ada pengaruh interaksi antarfaktor (tipe material dan konsentrasi) terhadap laju korosi austenitic SS yang cukup signifikan.



4.3 Analisa Data dan Pembahasan

4.3.1 Laju Korosi SS 304 dalam Asam Sulfat

Pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap laju korosi SS 304 ditunjukkan seperti pada Gambar 4.5. Ketika material logam (SS 304) direndam dan mengalami kontak langsung dengan larutan elektrolit seperti asam sulfat, maka akan memicu terjadinya reaksi elektrokimia. Ion logam akan bertindak sebagai anode (mengalami oksidasi) dan ion H⁺ dari asam sulfat (H₂SO₄) sebagai katode (mengalami reduksi), sehingga logam akan mengalami korosi.



Gambar 4.5 Laju korosi SS 304 dalam variasi konsentrasi asam sulfat.

Gambar 4.5 menjelaskan hubungan antara konsentrasi asam sulfat dengan laju korosi SS 304 secara grafis. Pada konsentrasi asam sulfat 75%, laju korosi SS 304 yaitu sekitar 0,196 hingga 0,240 mpy dan pada konsentrasi 85% antara 0,284 hingga 0,371 mpy. Dalam kondisi 75% - 85% asam sulfat, laju korosi SS 304 cenderung mengalami kenaikan yang cukup lambat, yaitu kurang dari 1 mpy sehingga menjadikan material ini memiliki tingkat resistensi korosi dengan kategori ‘outstanding’ (berdasarkan Tabel 2.2). Sedangkan laju korosi SS 304 pada konsentrasi asam sulfat 95% sekitar 1,113 hingga 1,244 mpy, sehingga mengalami kenaikan yang sangat signifikan dari konsentrasi 85% - 95% yang membentuk gradien grafik yang lebih besar dibanding pada konsentrasi 75% - 85%. Hal ini menunjukkan bahwa asam sulfat pada konsentrasi 85% - 95% sangat korosif pada SS 304. Meskipun demikian, korosi SS 304 pada

kondisi ini tergolong cukup rendah dan tingkat resistensinya masih tergolong kategori ‘*excellent*’ (1 – 5 mpy).

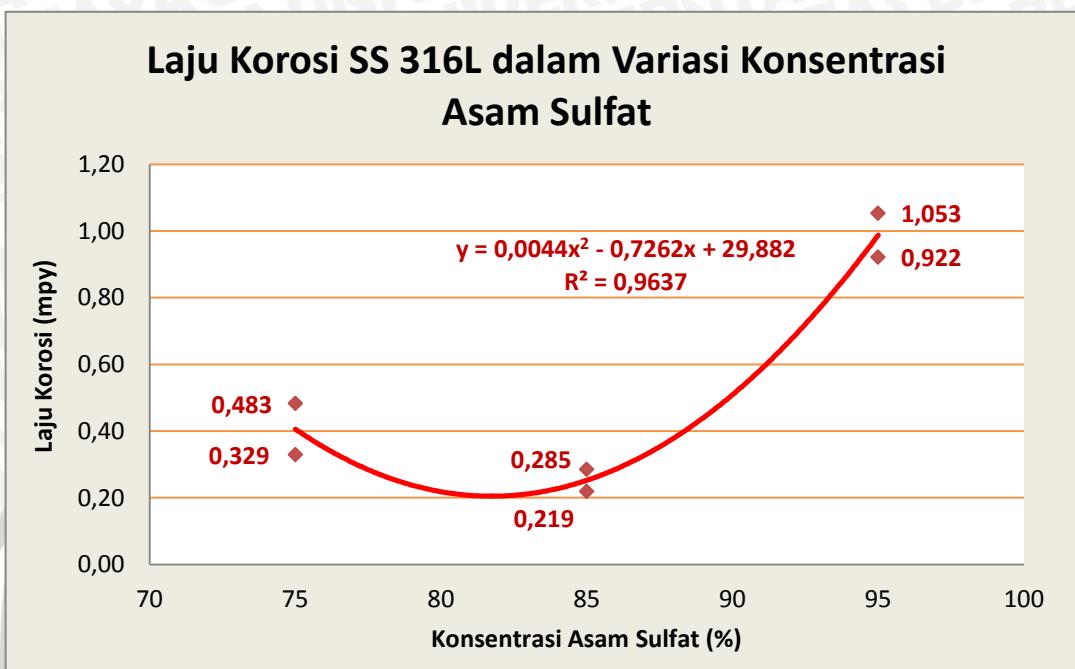
Tingkat korosi yang cukup rendah pada SS 304 dikarenakan material ini mengandung 18 – 20% unsur kromium dalam paduannya yang berperan untuk meningkatkan resistensi terhadap korosi. Baja dengan kromium lebih dari 12% akan menjadikannya tahan karat dalam berbagai lingkungan. Pada kondisi oksidasi, kromium akan membentuk lapisan oksida Cr_2O_3 pada permukaan baja. Adanya lapisan oksida ini akan menghambat laju serangan korosi dan mencegah terjadinya oksidasi lebih lanjut pada baja. Kromium juga dapat meningkatkan kestabilan oksida karena memiliki afinitas terhadap oksigen yang lebih tinggi dibandingkan besi. Selain itu, paduan nikel pada SS 304 dapat menstabilkan struktur austenit serta meningkatkan resistensi korosi, sehingga korosi akibat asam sulfat pada SS 304 cukup rendah.

Pada Gambar 4.5 menunjukkan kecenderungan laju korosi SS 304 yang semakin meningkat dengan semakin bertambahnya konsentrasi asam sulfat, terutama pada konsentrasi tinggi ($> 85\%$) dimana laju korosi SS 304 meningkat secara drastis. Hal ini karena semakin tinggi konsentrasi asam sulfat, maka semakin banyak ion H^+ dari asam sulfat yang ikut bereaksi dan mengalami reduksi. Akibatnya, semakin banyak pula ion logam yang mengalami oksidasi sehingga mempercepat proses korosi. Hal ini karena selama proses korosi logam, laju oksidasi sebanding dengan laju reduksi (Fontana, 1987).

4.3.2 Laju Korosi SS 316L dalam Asam Sulfat

Hubungan antara konsentrasi asam sulfat dengan laju korosi SS 316L secara grafis ditunjukkan seperti pada Gambar 4.6. Pada konsentrasi asam sulfat sebesar 75%, laju korosi SS 316L yaitu antara 0,329 dan 0,483 mpy. Kemudian mengalami penurunan pada konsentrasi 85% menjadi 0,219 hingga 0,285 mpy yang mengindikasikan bahwa material SS 316L menjadi lebih stabil pada kondisi ini. Sedangkan pada konsentrasi asam sulfat yang lebih tinggi (85% - 95%), laju korosi SS 316L mengalami kenaikan yang signifikan, yaitu hingga 0,922 dan 1,053 mpy pada konsentrasi 95% yang membentuk gradien grafik yang lebih besar dibanding pada konsentrasi 75% - 85%. Hal ini menunjukkan bahwa SS 316L lebih rentan korosi pada konsentrasi asam sulfat di atas 85%. Meskipun demikian, tingkat korosi SS 316L pada konsentrasi 75% hingga 95% tergolong cukup rendah dan resistensinya masih termasuk kategori ‘*excellent*’ hingga ‘*outstanding*’ (< 1 mpy). Hal ini karena adanya unsur

kromium hingga 18% dalam paduannya yang berperan untuk meningkatkan resistensi korosi seperti halnya pada SS 304. Saat terjadi oksidasi, kromium ini akan membentuk lapisan oksida pasif Cr_2O_3 pada permukaan baja yang dapat menghambat proses korosi.

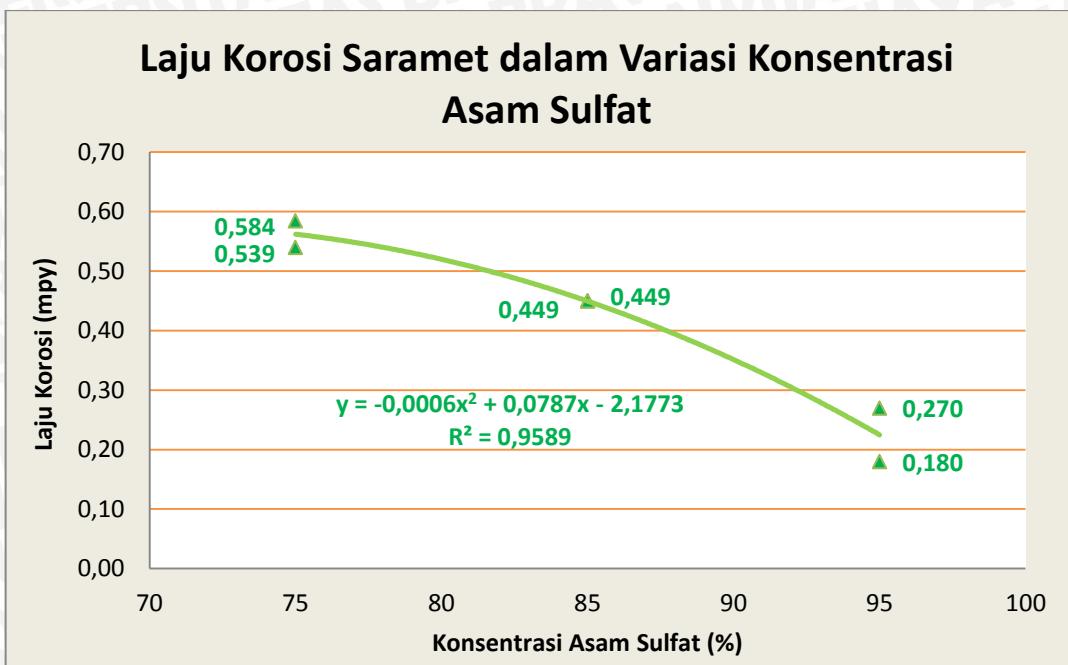


Gambar 4.6 Laju korosi SS 316L dalam variasi konsentrasi asam sulfat.

Pada Gambar 4.6 menunjukkan kecenderungan laju korosi SS 316L yang mengalami penurunan pada konsentrasi asam sulfat mendekati 85%. Hal ini bisa dikarenakan adanya kandungan 2 – 3% Mo yang berperan dalam menstabilkan lapisan film pada permukaan logam yang menyebabkan material ini kehilangan reaktifitasnya terhadap korosi sehingga laju korosi menurun, dengan demikian material SS 316L menunjukkan daerah passivasinya dalam kondisi asam sulfat mendekati 85%. Sedangkan laju korosi SS 316L mengalami peningkatan secara drastis pada konsentrasi yang lebih tinggi ($> 85\%$). Hal ini karena pada konsentrasi asam yang lebih tinggi, lingkungan menjadi lebih agresif yang bisa menyebabkan larutnya lapisan pasif pada permukaan logam sehingga korosi meningkat. Selain itu, semakin tinggi konsentrasi asam sulfat, maka semakin banyak ion H^+ dari asam sulfat yang ikut bereaksi dan mengalami reduksi. Akibatnya, semakin banyak pula ion logam yang mengalami oksidasi sehingga mempercepat proses korosi.

4.3.3 Laju Korosi Saramet dalam Asam Sulfat

Pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap laju korosi saramet (Sandvik 253 MA) ditunjukkan seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Laju korosi saramet dalam variasi konsentrasi asam sulfat.

Gambar 4.7 menjelaskan hubungan antara konsentrasi asam sulfat dengan laju korosi saramet secara grafis. Pada konsentrasi asam sulfat sebesar 75%, laju korosi saramet yaitu antara 0,539 dan 0,584 mpy. Kemudian mengalami penurunan pada konsentrasi 85% menjadi 0,449 mpy yang mengindikasikan bahwa material saramet menjadi lebih stabil pada kondisi ini. Demikian juga pada konsentrasi asam sulfat yang lebih tinggi (85% - 95%), laju korosi saramet mengalami penurunan menjadi sekitar 0,180 hingga 0,270 mpy. Hal ini menunjukkan bahwa saramet cenderung lebih resisten pada konsentrasi asam sulfat yang lebih tinggi.

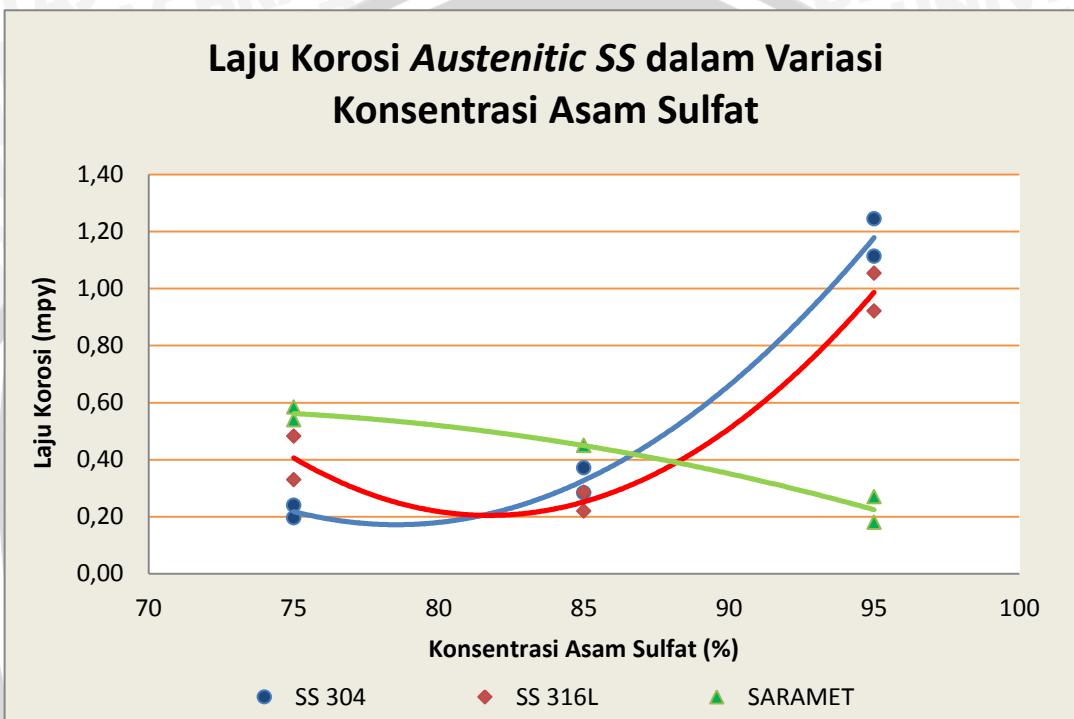
Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa laju korosi saramet paling tinggi terdapat pada konsentrasi asam sulfat 75%, yaitu antara 0,539 dan 0,584 mpy. Meskipun demikian, laju korosi saramet dalam kondisi ini masih tergolong cukup rendah dengan kategori tingkat resistensi '*outstanding*' (< 1 mpy). Tingkat korosi yang rendah pada saramet dikarenakan adanya 21% unsur kromium dalam paduannya yang berperan untuk meningkatkan resistensi korosi seperti halnya pada SS 304 dan SS 316L. Kromium ini akan membentuk lapisan oksida pasif (Cr_2O_3) pada permukaan baja yang dapat menghambat proses korosi.

Selain kromium, paduan 1,6% unsur silikon pada saramet (tipe Sandvik 253 MA) juga dapat membentuk lapisan oksida pelindung berupa SiO_2 pada permukaan logam yang berperan dalam meningkatkan resistensi terhadap serangan korosi akibat asam sulfat. Saat terjadi oksidasi, SiO_2 bersama dengan Cr_2O_3 akan menjadi lapisan

yang dapat melindungi logam dari proses oksidasi lebih lanjut, sehingga dapat menghambat terjadinya korosi. Dari Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa laju korosi saramet akan semakin menurun dengan semakin bertambahnya konsentrasi asam sulfat.

4.3.4 Laju Korosi Austenitic SS dalam Asam Sulfat

Perbandingan laju korosi *austenitic stainless steel* tipe SS 304, SS 316L dan saramet ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut.

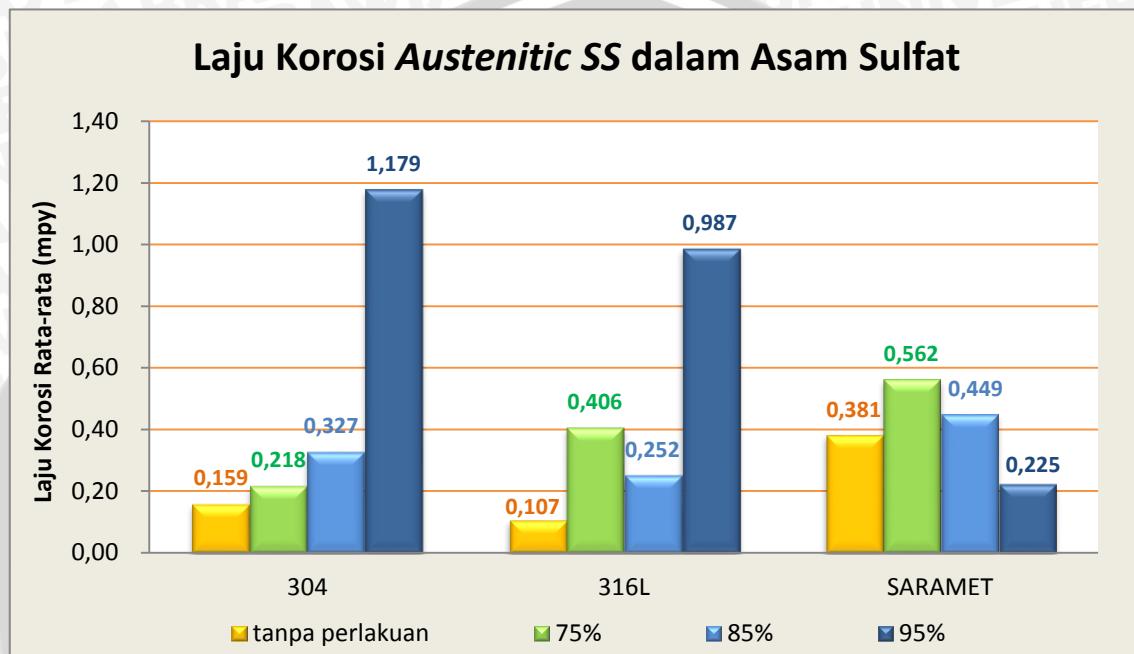


Gambar 4.8 Laju korosi *austenitic SS* dalam asam sulfat.

Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan laju korosi antara material SS 304, SS 316L dan saramet (Sandvik 253 MA) pada konsentrasi asam sulfat 75%, 85% dan 95%. Grafik laju korosi SS 304 dan 316L menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat pada konsentrasi asam sulfat yang semakin tinggi, terutama pada konsentrasi asam sulfat di atas 85%, dimana keduanya mengalami kenaikan laju korosi secara drastis. Berbeda halnya pada material saramet, dimana laju korosinya akan semakin menurun dengan semakin tingginya konsentrasi asam sulfat.

Berdasarkan Gambar 4.8, dalam lingkungan asam sulfat konsentrasi lebih rendah (75% - 85%), korosi pada SS 304 dan SS 316L cukup rendah dibandingkan saramet. Sedangkan pada konsentrasi tinggi (sekitar 90% - 95%), tingkat korosi pada saramet merupakan yang paling rendah. Dalam kondisi asam sulfat 75%, SS 304 memiliki performa yang paling baik dan saramet merupakan yang paling rentan. Pada

konsentrasi asam sulfat 85%, SS 316L memiliki performa yang paling baik dibanding lainnya dan saramet merupakan yang paling rentan. Sedangkan pada konsentrasi asam sulfat 95%, saramet memiliki performa yang paling baik dengan korosi pada SS 304 yang paling signifikan. Oleh karena itu, aplikasi saramet dalam lingkungan asam sulfat konsentrasi tinggi ($> 90\%$) juga sangat efisien pada temperatur rendah, selain aplikasi performansinya pada temperatur tinggi.

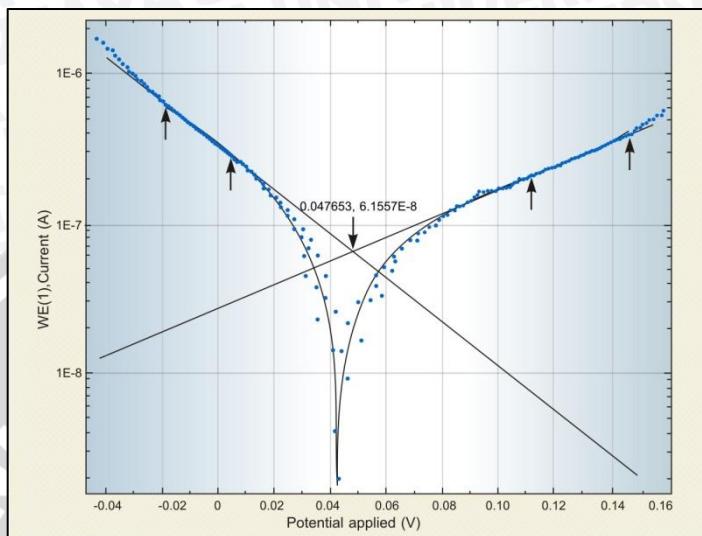


Gambar 4.9 Laju korosi austenitic SS dalam asam sulfat dan tanpa perlakuan.

Gambar 4.9 menunjukkan histogram laju korosi dari material SS 304, SS 316L dan saramet tanpa perlakuan (lingkungan atmosfer) dan pada konsentrasi asam sulfat antara 75% hingga 95%. Dalam lingkungan atmosfer, laju korosi cenderung lebih rendah dibanding pada lingkungan asam sulfat dengan laju korosi saramet yang paling signifikan dibanding SS 304 dan SS 316L dalam kondisi ini. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi SS 316L dan SS 304 lebih efisien dibanding saramet dalam lingkungan udara bebas. Sedangkan dalam lingkungan asam sulfat, laju korosi SS 304 dan 316L pada konsentrasi 75% dan 85% lebih rendah dibanding saramet. Namun pada konsentrasi 95%, laju korosi SS 304 dan SS 316L meningkat drastis hingga 1,179 dan 0,987 mpy. Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa laju korosi saramet cukup rendah pada masing-masing konsentrasi, yaitu kurang dari 0,6 mpy. Hal ini menunjukkan bahwa saramet lebih stabil dan efisien dibanding SS 316L dan SS 304 untuk aplikasi asam sulfat dalam berbagai konsentrasi antara 75% hingga 95%.

4.4 Hasil Uji Metode Elektrokimia

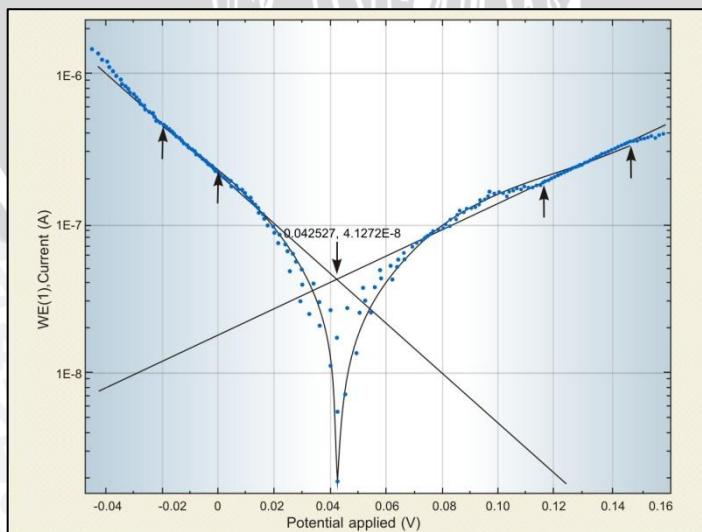
Pengujian metode elektrokimia dilakukan untuk memperoleh nilai laju korosi spesimen SS 304, SS 316 dan saramet tanpa perlakuan (dalam lingkungan atmosfer). Berikut ini adalah hasil pengujian laju korosi dengan metode elektrokimia:



Gambar 4.10 Kurva polarisasi tafel SS 304 tanpa perlakuan.

Hasil Tafel SS 304

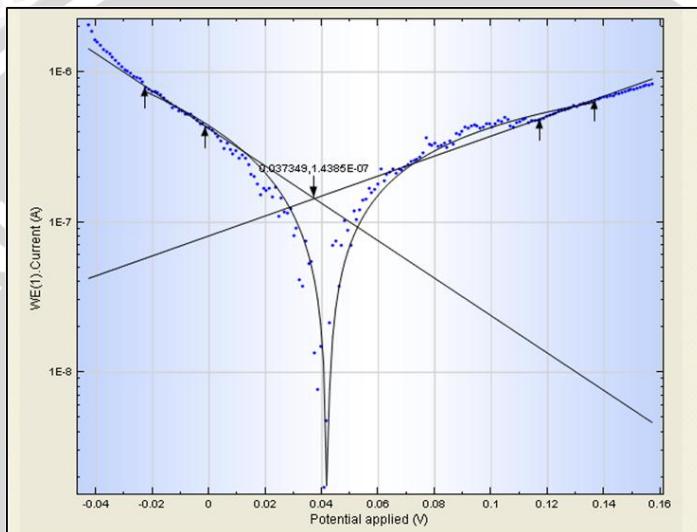
Ecorr, Calc (V)	= 47.6530 mV
Ecorr, Obs (V)	= 42.2343 mV
icorr (A/cm^2)	= 348.580 nA/cm^2
icorr (A)	= 348.580 nA
Corrosion rate	= 0.003964 (mm/year)
E Begin (V)	= -21.3720 mV
E End (V)	= 142.970 mV



Gambar 4.11 Kurva polarisasi tafel SS 316L tanpa perlakuan.

Hasil Tafel SS 316L

Ecorr, Calc (V)	= 42.5270 mV
Ecorr, Obs (V)	= 43.2710 mV
icorr (A/cm^2)	= 233.710 nA/cm ²
icorr (A)	= 233.710 nA
Corrosion rate	= 0.002671 (mm/year)
E Begin (V)	= -20.5430 mV
E End (V)	= 143.050 mV



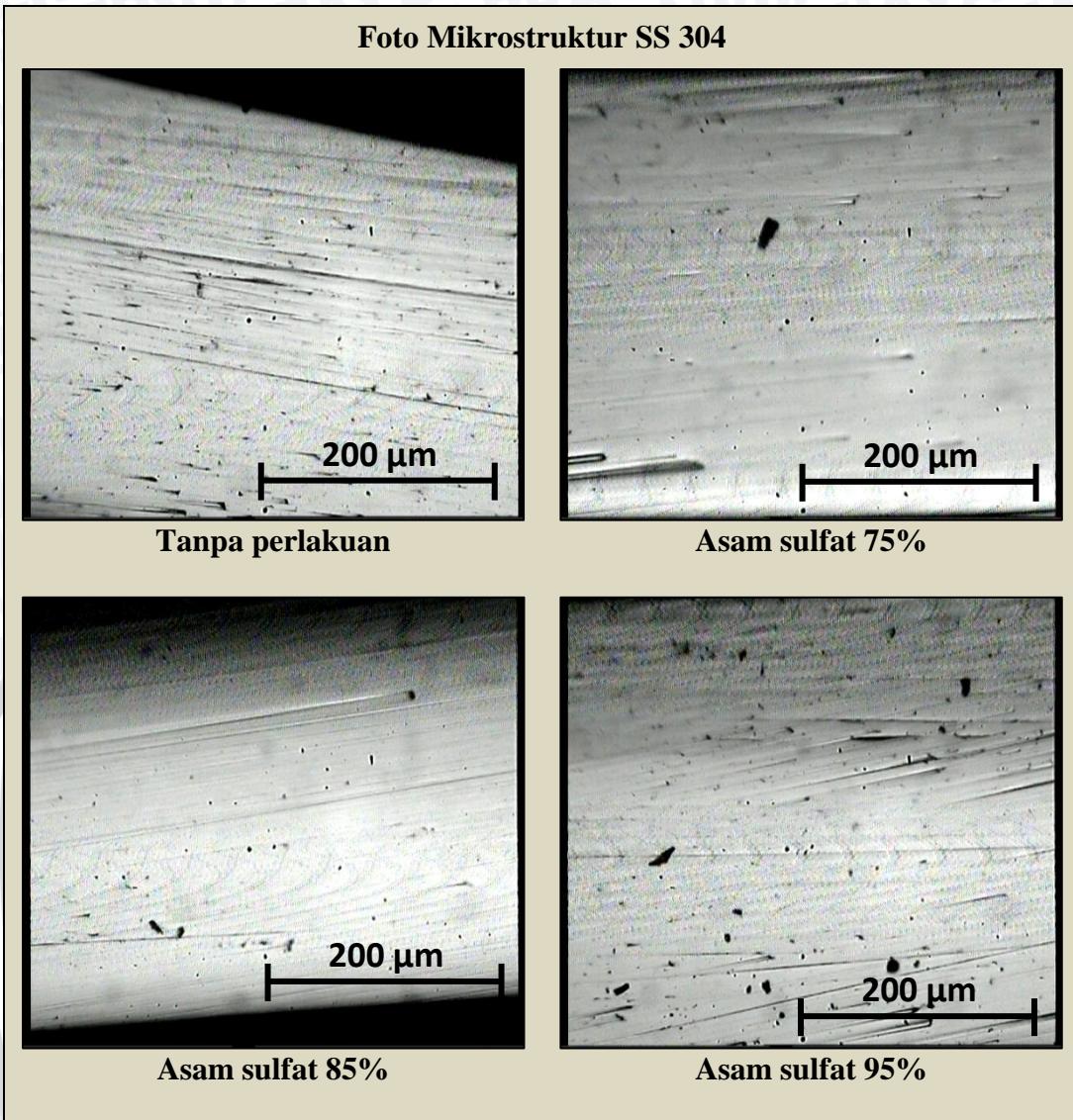
Gambar 4.12 Kurva polarisasi tafel Saramet tanpa perlakuan.

Hasil Tafel Saramet

Ecorr, Calc (V)	= 37.3490 mV
Ecorr, Obs (V)	= 41.8530 mV
icorr (A/cm^2)	= 814.580 nA/cm ²
icorr (A)	= 814.580 nA
Corrosion rate	= 0.0094654 (mm/year)
E Begin (V)	= -22.4300 mV
E End (V)	= 136.720 mV

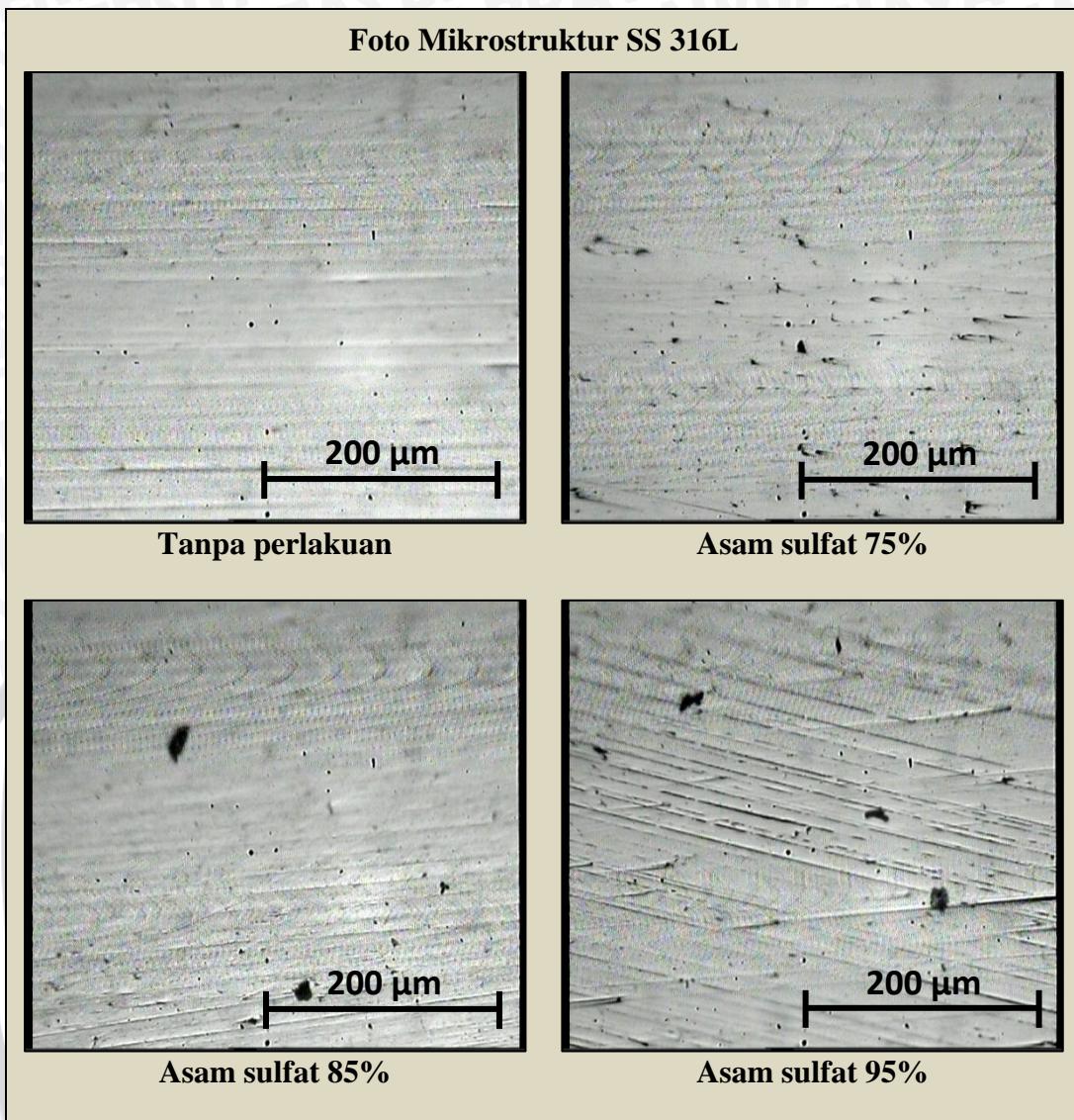
4.5 Hasil Uji Foto Mikrostruktur

Foto mikrostruktur digunakan untuk mengetahui perubahan mikrostruktur spesimen sebelum dan sesudah dilakukan pengujian, serta untuk mengetahui seberapa besar kerusakan pada permukaan logam akibat serangan korosi asam sulfat. Foto mikrostruktur ini dilakukan dengan perbesaran 400 kali.



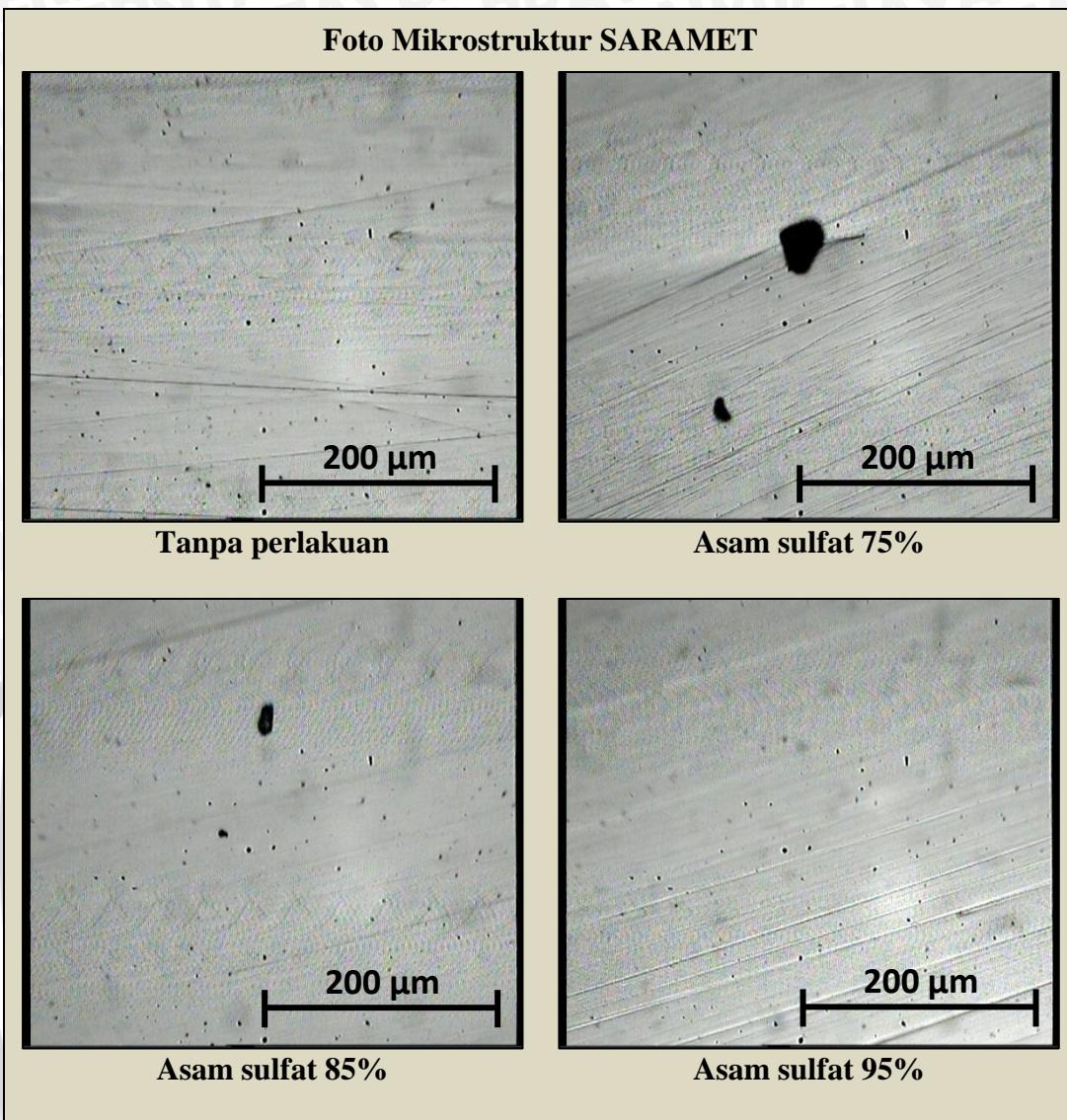
Gambar 4.13 Foto mikrostruktur hasil pengujian SS 304.

Dari hasil foto mikrostruktur SS 304 pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa kerusakan pada permukaan material SS 304 semakin banyak dengan semakin meningkatnya konsentrasi asam sulfat. Kerusakan yang ditunjukkan berupa lubang yang mengindikasikan bahwa korosi yang dialami yaitu tipe *pitting corrosion* (*korosi lubang*). Pada konsentrasi 95% terdapat lubang-lubang kecil yang relatif lebih banyak dibanding pada konsentrasi 75% dan 85%.



Gambar 4.14 Foto mikrostruktur hasil pengujian SS 316L.

Seperti halnya material SS 304, hasil foto mikrostruktur SS 316L pada Gambar 4.14 menunjukkan bahwa kerusakan pada material ini cenderung semakin banyak dengan semakin bertambahnya konsentrasi asam sulfat. Pada konsentrasi 95%, lubang yang terbentuk relatif lebih besar dan banyak dibanding pada konsentrasi 75% dan 85%. Hal ini menunjukkan bahwa material ini lebih rentan korosi pada asam sulfat konsentrasi tinggi.



Gambar 4.15 Foto mikrostruktur hasil pengujian Saramet.

Hasil foto mikrostruktur material saramet pada Gambar 4.15 menunjukkan bahwa pada material ini lebih mudah terkorosi pada konsentrasi asam sulfat yang lebih rendah. Pada konsentrasi asam sulfat 75%, terlihat jelas lubang pada permukaan logam yang diakibatkan korosi asam sulfat. Pada konsentrasi 85%, lubang yang terbentuk lebih kecil dibanding pada konsentrasi 75%. Sedangkan pada konsentrasi 95%, tidak terlihat adanya kerusakan pada logam dan foto permukaan yang ditunjukkan hampir sama seperti pada saramet tanpa perlakuan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian laju korosi *austenitic stainless steel* (tipe SS 304, SS 316L dan saramet) diperoleh kesimpulan bahwa variasi konsentrasi asam sulfat berpengaruh terhadap laju korosi baja austenit. Pada konsentrasi antara 75% hingga 95% menunjukkan bahwa laju korosi SS 304 dan SS 316L cenderung mengalami kenaikan dengan semakin meningkatnya konsentrasi asam sulfat, terutama pada konsentrasi di atas 85%. Hal ini karena pada konsentrasi asam sulfat yang semakin tinggi, maka ion H⁺ yang mengoksidasi logam akan semakin banyak. Sedangkan laju korosi saramet (Sandvik 253 MA) semakin menurun dengan semakin meningkatnya konsentrasi asam sulfat. Laju korosi rata-rata saramet pada kondisi ini lebih rendah dibandingkan SS 304 dan SS 316L. Hal ini mengindikasikan bahwa saramet lebih efisien untuk aplikasi asam sulfat dalam konsentrasi antara 75% hingga 95%, terutama pada konsentrasi di atas 90%. Namun, secara keseluruhan tingkat korosi *austenitic stainless steel* tergolong cukup rendah pada konsentrasi asam sulfat 75% - 95%. Hal ini karena material *austenitic stainless steel* mengandung lebih dari 16% Cr dalam paduannya yang dapat membentuk lapisan oksida pasif (Cr₂O₃) yang berperan dalam menghambat proses korosi logam. Selain itu, kandungan Si yang lebih dari 1,5% pada saramet juga dapat membentuk lapisan SiO₂ yang menjadikan material ini resisten terhadap korosi asam sulfat pada konsentrasi tinggi.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perbandingan laju korosi *austenitic stainless steel* dalam berbagai konsentrasi asam sulfat bertemperatur tinggi
2. Perlu dilakukan analisa pengaruh berbagai parameter (temperatur, konsentrasi, waktu, kekasaran permukaan dan lain-lain) terhadap korosi *austenitic stainless steel* terutama pada material saramet



DAFTAR PUSTAKA

- AK Steel Corporation. 2007. *304/304L Stainless Steel Data Sheet*. www.aksteel.com.
- AK Steel Corporation. 2007. *316/316L Stainless Steel Data Sheet*. www.aksteel.com.
- Davis, J. R. et al. 2000. *Corrosion: Understanding the Basic*. ASM International, Materials Park, Ohio, USA.
- Febrianto. 2010. "Analisis Laju Korosi Material Bejana Tekan PWR dalam Berbagai Konsentrasi H_2SO_4 dan Temperatur". Sigma Epsilon ISSN 0853-9103 Vol. 4 (1), 10 – 13.
- Felicia, D. M. 2007. *Analisis Karakterisasi Lapisan Pasif Korosi Implant Commercial Pure Titanium Grade 2 dengan Variasi Kekasaran Permukaan pada Cairan Tubuh Buatan*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fontana, M. G. 1987. *Corrosion Engineering (Third Edition)*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Francis, R. 2009. "The Performance of Stainless Steels in Concentrated Sulphuric Acid". *Stainless Steel World*, 1 – 4.
- Iriawan, N. dan Astuti, S. P. 2006. *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Yogyakarta: ANDI OFFSET.
- Jones, D. A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. *Faktor Yang Mempengaruhi Korosi*. <http://belajar.kemdiknas.go.id/index5.php?display=view&mod=script&cmd=Bahan%20Belajar/Materi%20Pokok/SMA/view&id=370&uniq=3310>. (diakses 06 Maret 2013).
- Loto, R. T., et al. 2012. "Corrosion Resistance of Austenitic Stainless Steel in Sulphuric Acid". *International Journal of Physical Sciences* Vol. 7(10), 1677 – 1688.
- NACE International. 2002. *NACE Corrosion Engineer's Reference Book (Third Edition)*. Texas: NACE Press.
- Nimmo, B. dan Hinds, G. 2003. *Beginners Guide to Corrosion*. NPL's Corrosion Group.
- Nugroho, D. 2008. *Himpunan Pemuda Pengcoran Logam Indonesia: Klasifikasi Stainless Steel*. www.andesteknik.com. (diakses 23 Februari 2013).
- Priyantoro, F. et al. 2012. "Analisa Pengaruh Luasan Scratch Permukaan terhadap Laju Korosi pada Pelat Baja A36 dengan Variasi Sistem Pengelasan". *Jurnal Teknik ITS* Vol. 1, No. 1 ISSN: 2301-9271.
- Priyotomo, G. 2012. *Penggunaan Baja Tahan Karat (Stainless Steel) di Aplikasi Industri Makanan dan Minuman*. <http://gadang-e-bookformaterialscience.blogspot.com/2012/02/penggunaan-baja-tahan-karat-stainless.html>. (dikases 23 Februari 2013).
- Ramadhani, A. R. 2012. *Planet Kimia – Media Kimia Indonesia: Korosi*. <http://www.planetkimia.com/2012/11/korosi/>. (diakses 10 Maret 2013).

- Revie, R. W. dan Uhlig, H. H. 2008. *Corrosion and Corrosion Control – An Introduction to Corrosion Science and Engineering 4th Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Roberge, P. R. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Sandvik Material Technology. 2005. *SEAMLESS TUBE Austenitic Stainless Steel Sandvik 253 MA, datasheet S-1743-ENG* (www.smt.sandvik.com).
- Schweitzer, P. A. 2010. *Fundamentals of Corrosion – Mechanisms, Causes and Preventative Methods*. Boca Raton: CRC Press.
- Setiawati, A. R. K. 2007. *Pengaruh Pengerolan Dingin dan Temperatur Annealing Terhadap Ketahanan Korosi Intergranular pada Austenitic Stainless Steel Tipe 304*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Noverember.
- Talbot, D. dan Talbot, J. 1998. *Corrosion Science and Technology*. CRC Press LLC, USA.
- Trethewey, K. R. dan Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasa*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Wibowo, W. 2012. *Korosi (Pengkaratan)*. <http://wiwinwibowo.wordpress.com/2012/03/13/korosi-pengkaratan/>, (diakses 10 Maret 2013)



Table of F-statistics P=0.05

t-Statistics
F-statistics with other P-values: P=0.01 | P=0.001
Chi-square statistics

df2\df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	45	50	60	70	80	100	200	500	1000	>1000	df1\df2
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.83	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.69	8.68	8.67	8.66	8.65	8.64	8.63	8.62	8.60	8.59	8.59	8.58	8.57	8.57	8.54	8.53	8.53	8.54	8.54	3								
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.80	5.79	5.77	5.76	5.75	5.73	5.72	5.71	5.70	5.69	5.67	5.66	5.65	5.64	5.63	4								
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.65	4.64	4.62	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56	4.54	4.53	4.52	4.50	4.50	4.48	4.46	4.45	4.44	4.43	4.42	4.42	4.41	4.41	4.39	4.37	4.37	4.36	5				
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.95	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.84	3.83	3.82	3.81	3.79	3.77	3.75	3.74	3.73	3.72	3.71	3.69	3.68	3.67	3.67	6						
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.49	3.48	3.47	3.46	3.44	3.43	3.41	3.40	3.39	3.38	3.36	3.34	3.33	3.32	3.30	3.29	3.29	3.29	3.24	3.23	7							
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15	3.13	3.12	3.10	3.09	3.08	3.06	3.04	3.03	3.02	3.01	2.99	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93	2.93	2.92	2.93	2.92	8		
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94	2.92	2.90	2.89	2.87	2.86	2.84	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.76	2.73	2.72	2.71	2.71	2.71	2.71	9				
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.75	2.74	2.72	2.71	2.70	2.68	2.66	2.65	2.64	2.62	2.61	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54	2.54	10					
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.70	2.69	2.67	2.66	2.65	2.63	2.61	2.59	2.58	2.57	2.55	2.53	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.46	2.43	2.42	2.41	2.41	2.41	2.41	11			
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.57	2.56	2.54	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.44	2.43	2.41	2.40	2.38	2.37	2.36	2.35	2.32	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	12			
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.51	2.50	2.48	2.47	2.46	2.44	2.42	2.41	2.39	2.38	2.36	2.34	2.33	2.31	2.30	2.28	2.27	2.26	2.23	2.22	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	13		
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.40	2.39	2.37	2.35	2.33	2.32	2.31	2.28	2.27	2.25	2.24	2.22	2.21	2.20	2.19	2.16	2.14	2.14	14						
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.25	2.22	2.20	2.19	2.18	2.16	2.15	2.14	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	2.07	15				
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.45	2.42	2.40	2.37	2.35	2.33	2.32	2.30	2.29	2.28	2.25	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17	2.15	2.14	2.12	2.11	2.10	2.09	2.08	2.07	2.07	2.07	16						
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.23	2.21	2.19	2.17	2.16	2.15	2.12	2.10	2.09	2.08	2.06	2.05	2.04	2.02	2.02	2.01	2.01	2.01	17					
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.20	2.19	2.17	2.15	2.13	2.12	2.11	2.08	2.06	2.05	2.04	2.02	2.01	2.00	1.99	1.98	1.97	1.96	17							
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.43	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17	2.16	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.02	2.01	2.00	1.98	1.97	1.96	1.95	1.94	1.93	1.92	1.92	1.92	18				
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.23	2.20	2.18	2.17	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	2.05	2.04	2.01	1.99	1.98	1.97	1.96	1.95	1.94	1.93	1.92	1.91	1.91	19						
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.65	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96	1.94	1.92	1.91	1.90	1.89	1.88	1.86	1.85	1.84	20							
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.03	2.00	1.98	1.97	1.95	1.94	1.91	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.80	1.79	1.78	24					
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	2.05	2.03	2.02	2.00	1.99	1.97	1.95	1.93	1.90	1.87	1.85	1.84	1.82	1.80	1.79	1.78	1.77	1.76	1.75	1.74	1.73	1.71	1.70	1.69	26			
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	2.02	2.00	1.99	1.97	1.96	1.93	1.91	1.90	1.88	1.87	1.84	1.82	1.80	1.79	1.77	1.75	1.74	1.73	1.72	1.71	1.70	1.69	1.66	28				
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.99	1.96	1.95	1.93	1.91	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.71	1.70	1.69	1.68	1.67	30							
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.08	2.04	2.01	1.99	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88	1.85	1.83	1.81	1.80	1.78	1.76	1.74	1.73	1.72	1.70	1.68	1.66	1.65	1.63	1.60	1.57	1.56	35					
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.90	1.89	1.87	1.86	1.84	1.82	1.81	1.79	1.77	1.75	1.74	1.72	1.70	1.68	1.66	1.64	1.63	1.60	1.58	1.56	1.54	1.52	1.50	40				
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89	1.87	1.86	1.84	1.82	1.81	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.68	1.66	1.64	1.63	1.60	1.58	1.56	1.54	1.52	1.50	45							
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.30	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87	1.85	1.83	1.81	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.68	1.66	1.64	1.63	1.60	1.58	1.56	1.54	1.52	1.50	44									
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.89	1.87	1.86	1.84	1.82	1.80	1.78	1.76	1.75	1.74	1.72	1.70	1.68	1.66	1.65	1.63	1.60	1.58	1.56	1.54	1.52	1.50	60						
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.69	1.67	1.65	1.63	1.60	1.58	1.56	1.54	1.52	1.50	1.49	1.47	1.45	1.43	1.41	1.39	1.37	1.36	1.35	70</td			

304/304L

STAINLESS STEEL

UNS S30400/UNS S30403



AK Steel Type 304 is a variation of the basic 18-8 grade, Type 302, with a higher chromium and lower carbon content. Lower carbon minimizes chromium carbide precipitation due to welding and its susceptibility to intergranular corrosion. In many instances, it can be used in the "as-welded" condition, while Type 302 must be annealed in order to retain adequate corrosion resistance.

Type 304L is an extra low-carbon variation of Type 304 with a 0.03% maximum carbon content that eliminates carbide precipitation due to welding. As a result, this alloy can be used in the "as-welded" condition, even in severe corrosive conditions. It often eliminates the necessity of annealing weldments except for applications specifying stress relief. It has slightly lower mechanical properties than Type 304.

Typical uses include architectural mouldings and trim, kitchen equipment, welded components of chemical, textile, paper, pharmaceutical and chemical industry processing equipment.

AVAILABLE FORMS

AK Steel produces Type 304 Stainless Steel in thicknesses from 0.01" to 0.25" (0.025 to 6.35 mm) max. and widths up to 48" (1219 mm). For other thicknesses and widths, inquire.

COMPOSITION

	Type 304 %	Type 304L %
Carbon	0.08 max.	0.03 max.
Manganese	2.00 max.	2.00 max.
Phosphorus	0.045 max.	0.045 max.
Sulfur	0.030 max.	0.030 max.
Silicon	0.75 max.	0.75 max.
Chromium	18.00-20.00	18.0-20.0
Nickel	8.00-12.00	8.0-12.0
Nitrogen	0.10 max.	0.10 max.
Iron	Balance	Balance

SPECIFICATIONS

AK Steel Types 304 and 304L Stainless Steels are covered by the following specifications:

Type 304	Type 304L
AMS 5513	AMS 5511
ASTM A 240	ASTM A 240
ASTM A 666	ASTM A 666

MECHANICAL PROPERTIES

Typical Room Temperature Mechanical Properties

	UTS ksi (MPa)	0.2% YS ksi (MPa)	Elongation % in 2" (50.8 mm)	Hardness Rockwell
Type 304L	85 (586)	35 (241)	55	B80
Type 304	90 (621)	42 (290)	55	B82

PHYSICAL PROPERTIES

Density, 0.29 lbs/in³
8.03 g/cm³

Electrical Resistivity, microhm-in
(microhm-cm)
68°F (20°C) – 28.4 (72)
1200°F (659°C) – 45.8 (116)

Specific Heat, BTU/lb/F (kJ/kg•K)
32 - 212°F (0 - 100°C) – 0.12 (0.50)

Thermal Conductivity, BTU/hr/ft²/ft°F
(W/m•K)
at 212°F (100°C) – 9.4 (16.2)
at 932°F (500°C) – 12.4 (21.4)

Mean Coefficient of Thermal Expansion,
in/in/F (μm/m•K)
32- 212°F (0 - 100°C) – 9.4 × 10⁻⁶(16.9)
32- 600°F (0 - 315°C) – 9.6 × 10⁻⁶(17.3)
32-1000°F (0 - 538°C) – 10.2 × 10⁻⁶(18.4)
32-1200°F (0 - 649°C) – 10.4 × 10⁻⁶(18.7)

Magnetic Permeability, H = 200
Oersteds, Annealed - 1.02 max.

Modulus of Elasticity, ksi (MPa)
28.0 × 10³ (193 × 10³) in tension
11.2 × 10³ (78 × 10³) in torsion

Melting Range, °F (°C) – 2550 - 2650
(1399 - 1454)

CORROSION RESISTANCE

These steels exhibit excellent resistance to a wide range of atmospheric, chemical, textile, petroleum and food industry exposures.



Customer Service 800-331-5050

AK Steel Corporation
9227 Centre Pointe Drive
West Chester, OH 45069

www.aksteel.com

OXIDATION RESISTANCE

The maximum temperature to which Types 304 and 304L can be exposed continuously without appreciable scaling is about 1650°F (899°C). For intermittent exposure, the maximum exposure temperature is about 1500°F (816°C).

HEAT TREATMENTS

Type 304 is non-hardenable by heat treatment. Annealing: Heat to 1900 - 2050°F (1038 - 1121°C), then cool rapidly. Thin strip sections may be air cooled, but heavy sections should be water quenched to minimize exposure in the carbide precipitation region.

Stress Relief Annealing: Cold worked parts should be stress relieved at 750°F (399°C) for 1/2 to 2 hours.

FORMABILITY

Types 304 and 304L have very good drawability. Their combination of low yield strength and high elongation permits successful forming of complex shapes. However, these grades work harden rapidly. To relieve stresses produced in severe forming or spinning, parts should be full annealed or stress-relief annealed as soon as possible after forming.

WELDABILITY

The austenitic class of stainless steels is generally considered to be weldable by the common fusion and resistance

techniques. Special consideration is required to avoid weld "hot cracking" by assuring formation of ferrite in the weld deposit. Types 304 and 304L are generally considered to be the most common alloys of this stainless class. When a weld filler is needed, AWS E/ER 308, 308L or 347 are most often specified. Types 304 and 304L Stainless Steels are well known in reference literature and more information can be obtained in this way.

METRIC CONVERSION

Data in this publication are presented in U.S. customary units. Approximate metric equivalents may be obtained by performing the following calculations:

Length (inches to millimeters) –
Multiply by 25.4

Strength (ksi to megapascals or meganewtons per square meter) –
Multiply by 6.8948

Temperature (Fahrenheit to Celsius) –
(°Fahrenheit - 32) Multiply by 0.5556

Density (pounds per cubic inch to kilograms per cubic meter) –
Multiply by 27,670

The information and data in this product data sheet are accurate to the best of our knowledge and belief, but are intended for general information only. Applications suggested for the materials are described only to help readers make their own evaluations and decisions, and are neither guarantees nor to be construed as express or implied warranties of suitability for these or other applications.

Data referring to mechanical properties and chemical analyses are the result of tests performed on specimens obtained from specific locations with prescribed sampling procedures; any warranty thereof is limited to the values obtained at such locations and by such procedures. There is no warranty with respect to values of the materials at other locations.

AK Steel and the AK Steel logo are registered trademarks of AK Steel Corporation.



316/316L

STAINLESS STEEL

UNS S31600 AND UNS S31603



Type 316 is an austenitic chromium-nickel stainless steel containing molybdenum. This addition increases general corrosion resistance, improves resistance to pitting from chloride ion solutions, and provides increased strength at elevated temperatures. Properties are similar to those of Type 304 except that this alloy is somewhat stronger at elevated temperatures. Corrosion resistance is improved, particularly against sulfuric, hydrochloric, acetic, formic and tartaric acids; acid sulfates and alkaline chlorides.

Type 316L is an extra-low carbon version of Type 316 that minimizes harmful carbide precipitation due to welding.

Typical uses include exhaust manifolds, furnace parts, heat exchangers, jet engine parts, pharmaceutical and photographic equipment, valve and pump trim, chemical equipment, digesters, tanks, evaporators, pulp, paper and textile processing equipment, parts exposed to marine atmospheres and tubing. Type 316L is used extensively for weldments where its immunity to carbide precipitation due to welding assures optimum corrosion resistance.

COMPOSITION

	Type 316 %	Type 316L %
Carbon	0.08 max.	0.03 max.
Manganese	2.00 max.	2.00 max.
Phosphorus	0.045 max.	0.045 max.
Sulfur	0.030 max.	0.03 max.
Silicon	0.75 max.	0.75 max.
Chromium	16.00 - 18.00	16.00 - 18.00
Nickel	10.00 - 14.00	10.00 - 14.00
Molybdenum	2.00 - 3.00	2.00 - 3.00
Nitrogen	0.10 max.	0.10 max.
Iron	Balance	Balance

AVAILABLE FORMS

AK Steel produces Types 316 and 316L Stainless Steels in thicknesses from 0.01" to 0.25" (0.25 to 6.35 mm) max. and widths up to 48" (1219 mm). For other thicknesses and widths, inquire.

MECHANICAL PROPERTIES

Typical Room Temperature Properties

	UTS ksi (MPa)	0.2% YS ksi (MPa)	Elongation % in 2" (50.8 mm)	Hardness Rockwell
Type 316	84 (579)	42 (290)	50	B79
Type 316L	81 (558)	42 (290)	50	B79

SPECIFICATIONS

Types 316 and 316L Stainless Steel sheet and strip are covered by the following specifications:

Type 316	Type 316L
AMS 5524	AMS 5507
ASTM A 240	ASTM A 240
ASTM A 666	ASTM A 666

PHYSICAL PROPERTIES

Density, 0.29 lbs/in³
7.99 g/cm³

Electrical Resistivity, microhm-in
(microhm-cm) 68°F (20°C) – 29.4 (74)

Specific Heat, BTU/lb/°F (kJ/kg•K)
32 - 212°F (0-100°C) – 0.12 (0.50)

Thermal Conductivity, BTU/hr/ft²/ft/°F
(W/m•K)
at 212°F (100°C) – 9.4 (16.2)
at 932°F (500°C) – 12.4 (21.4)

Modulus of Elasticity, ksi (MPa)
28.0 x 10³ (193 x 10³) in tension
11.2 x 10³ (77 x 10³) in torsion

Mean Coefficient of Thermal Expansion,
in/in/°F (μm/m•K)
32 - 212°F (0 - 100°C) – 8.9 x 10⁻⁶(16.0)
32 - 600°F (0 - 315°C) – 9.0 x 10⁻⁶(16.2)
32 - 1000°F (0 - 538°C) – 9.7 x 10⁻⁶(17.5)
32 - 1200°F (0 - 649°C) – 10.3 x 10⁻⁶(18.5)
32 - 1500°F (0 - 871°C) – 11.1 x 10⁻⁶(19.9)

Magnetic Permeability, H = 200
Oersteds, Annealed – 1.02 max.

Melting Range, °F (°C) – 2500 - 2550
(1371 - 1399)

CORROSION RESISTANCE

Types 316 and 316L Stainless Steels exhibit better corrosion resistance than Type 304. They provide excellent pitting resistance and good resistance to most chemicals involved in the paper, textile and photographic industries.

HEAT TREATMENTS

Types 316 and 316L are non-hardenable by heat treatment.

Annealing: Heat to 1900 - 2100°F (1038 - 1149°C), then rapidly quench.

FORMABILITY

Types 316 and 316L can be readily formed and drawn.

WELDABILITY

The austenitic class of stainless steels is generally considered to be weldable by the common fusion and resistance techniques. Special consideration is required to avoid weld "hot cracking" by assuring formation of ferrite in the weld deposit. These particular alloys are generally considered to have poorer weldability than Types 304 and 304L. A major difference is the higher nickel con-

tent for these alloys which requires slower arc welding speed and more care to avoid hot cracking. When a weld filler is needed, AWS E/ER 316L and 16-8-2 are most often specified. Types 316 and its low-carbon "L" version are well known in reference literature and more information can be obtained in this way.

METRIC CONVERSION

Data in this publication are presented in U.S. customary units. Approximate metric equivalents may be obtained by performing the following calculations:

Length (inches to millimeters) –
Multiply by 25.4

Strength (ksi to megapascals or
meganeewtons per square meter) –
Multiply by 6.8948

The information and data in this product data sheet are accurate to the best of our knowledge and belief, but are intended for general information only. Applications suggested for the materials are described only to help readers make their own evaluations and decisions, and are neither guarantees nor to be construed as express or implied warranties of suitability for these or other applications.

Data referring to mechanical properties and chemical analyses are the result of tests performed on specimens obtained from specific locations with prescribed sampling procedures; any warranty thereof is limited to the values obtained at such locations and by such procedures. There is no warranty with respect to values of the materials at other locations.

AK Steel and the AK Steel logo are registered trademarks of AK Steel Corporation.



Customer Service 800-331-5050

AK Steel Corporation
9227 Centre Pointe Drive
West Chester, OH 45069

www.aksteel.com

SEAMLESS TUBE
Austenitic stainless steel
Sandvik 253 MA

SANDVIK

DATASHEET S-1743-ENG. JUNE 2005

Sandvik 253 MA™ is an austenitic chromium-nickel steel alloyed with nitrogen and rare earth metals. The grade is characterised by:

- high creep strength
- very good resistance to isothermal and, particularly, cyclic oxidation

- very good resistance to combustion gases
- good structural stability at high temperatures
- good weldability
- the grade can be used at temperatures up to about 1150°C (2100°F)

CHEMICAL COMPOSITION (NOMINAL) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	Ce*
max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
0.08	1.6	0.8	0.040	0.030	21	11	0.17	0.05

* To cerium should be added the quantity of other rare earth metals, since the additive takes the form of misch metal containing about 50% Ce.

The forms of supply below can be supplied on request:

- Welded tube and pipe
- Strip
- Covered electrodes
- Wire, drawn or ground
- Bar steel
- Plate, sheet and wide strip

STANDARDS

Type of steel

Sandvik. Grade	253 MA
UNS	S30815
EN	1.4835*
W.Nr	(1.4893), (1.4828mod)
SS	2368

* According to EN10095, which comprises semi-finished products, hot or cold rolled sheet/ plate and strip, hot or cold formed bar, rod and sections (not for pressure purposes).

Product standards

ASTM A213, A312
SS 14 23 68

Approvals

Approved for use in ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, div. 1 and Section I, Code Case 2033-2 ASME B31.1, Case 162

FORMS OF SUPPLY

Seamless tube and pipe – finishes and dimensions

Seamless tube and pipe in Sandvik 253 MA is supplied in dimensions up to 260 mm outside diameter in the solution annealed and white-pickled condition or in the bright annealed condition.

Stock sizes

Sandvik 253 MA is stocked in schedule sizes ranging from outside diameter 3/8" to 6" outside diameter. Additional data concerning sizes and finishes is available on request from your nearest Sandvik office.

Other forms of supply

- Fittings
- Covered electrodes

Welding consumables

Welding wire and wire electrodes, grade Sandyik 22.12.HT: 0.80, 1.20, 2.00, 2.40 and 3.20 mm diameters.

Covered electrodes, grade Sandvik 22.12.HTR: 2.5, 3.25 and 4.0 mm (3/22, 1/8 and 5/32 inch) diameters.

MECHANICAL PROPERTIES

At 20°C

Metric units

Proof strength R _{p0.2} ¹⁾ MPa min.	Tensile strength R _m MPa min.	Elong. A ²⁾ %	Elong. A _{2"} %	Hardness Vickers. approx.
310	345	650-850	40	35

At 68°F

Imperial units

Proof strength R _{p0.2} ¹⁾ ksi min.	Tensile strength R _m ksi min.	Elong. A ²⁾ %	Elong. A _{2"} %	Hardness Vickers. approx.
45	50	94-123	40	35

1 MPa = 1 N/mm²

¹⁾ R_{p0.2} and R_{p1.0} correspond to 0.2% offset and 1.0% offset yield strength, respectively.

²⁾ Based on L₀ = 5.65 √S₀ where L₀ is the original gauge length and S₀ the original cross-sectional area.

At high temperatures

Metric units

Temperature, °C	Proof strength R _{p0.2} MPa min.	Tensile strength R _m MPa min.
100	225	265
200	180	215
300	170	200
400	160	190
500	150	180
600	140	165



SEAMLESS TUBE **Sandvik 253 MA****Imperial units**

Temperature, °F min.	Proof strength		Tensile strength
	R _{p0.2} ksi	R _{p1.0} ksi	R _m ksi
200	33.5	39.0	80.5
400	26.0	31.0	68.5
600	24.5	28.5	63.6
800	23.0	27.5	61.0
1000	21.0	25.5	55.0
1200	19.5	23.0	46.5

Creep strength

The creep and creep rupture strength values correspond to values evaluated by the Swedish Institute for Metals Research for inclusion in the Swedish Standard. The evaluation is based on data submitted by AB Sandvik Materials Technology and Outokumpu Stainless and tests made by the Swedish Institute for Metals Research. The values apply to tube, pipe, sheet, plate and bar steel. The higher values given in parentheses apply to Sandvik seamless tube and pipe only. The basic values have been determined by testing at intervals of 100 degrees Celcius and at 750°C (1380°F), under uniaxial stress and with a constant load. The mean values in the tables below have been evaluated from the test results with the aid of linear regression of the logarithmic relationship between stress and time. This evaluation has also provided the basis of interpolation and extrapolation of temperatures and times. The temperature above which design calculations are based on creep rupture strength instead of Rp0.2 proof strength, can be read off from Fig. 1. For Sandvik 253 MA this temperature is about 550°C (1020°F). Fig. 2 shows the relationship between nominal stress and minimum creep rate, measured during testing under constant load.

Metric units

Temperature, °C min.	Creep strength		Creep rupture strength	
	1%		100 000 h	100 000 h
	MPa	MPa	MPa	MPa
525	-	-	-	162
550	-	-	-	128
575	-	-	167	102
600	117	70	138	82
625	93	55	112	64
650	75	42	94	52
675	59	32	76	43
700	46	25	62	33
725	37	20	50	27
750	31	16	41	22
775	25	13	33	18
800	20	11	27(28)	15(16)
825	17	9.4	22(23)	12(14)
850	14	8.0	18(20)	10(12)
875	12	6.7	15(17)	8.8(10)
900	10	5.7	13(14)	7.5(8.4)
925	8.5	4.8	11(12)	6.6(7.2)
950	7.3	4.0	9.6(10.5)	5.7(6.3)
975	6.3	3.5	8.2(9.0)	5.0(5.8)
1000	5.4	3.0	7.0(7.8)	4.3(4.9)
1025	-	-	6.2(6.6)	3.8
1050	-	-	5.5(5.7)	3.3
1075	-	-	4.9	3.0
1100	-	-	4.3	2.6

Imperial units

Temperature, °F min.	Creep strength		Creep rupture strength	
	10000 h ksi	100000 h ksi	100000 h ksi	100000 h ksi
1000	-	-	-	-
1050	-	-	-	-
1100	-	-	-	21.2
1150	13.9	8.3	17.1	9.7
1200	10.9	6.1	13.8	7.5
1250	8.4	4.5	10.7	5.9
1300	6.5	3.5	8.6	4.6
1350	5.1	2.8	6.8	3.8
1400	4.1	2.2	5.5	2.9
1450	3.2	1.7	4.3(4.4)	2.5
1500	2.6	1.42	3.4(3.6)	1.9(2.1)
1550	2.2	1.19	2.7(3.0)	1.5(1.8)
1600	1.7	0.99	2.2(2.5)	1.25(1.5)
1650	1.45	0.81	1.9(2.0)	1.07(1.26)
1700	1.23	0.68	1.6(1.7)	0.93(1.04)
1750	1.04	0.58	1.33(1.46)	0.80(0.88)
1800	0.87	0.49	1.13(1.03)	0.70(0.75)
1850	-	-	0.96(1.03)	0.59(0.68)
1900	-	-	0.84(0.88)	0.51
1950	-	-	0.75(0.77)	0.45
2000	-	-	0.67	0.39

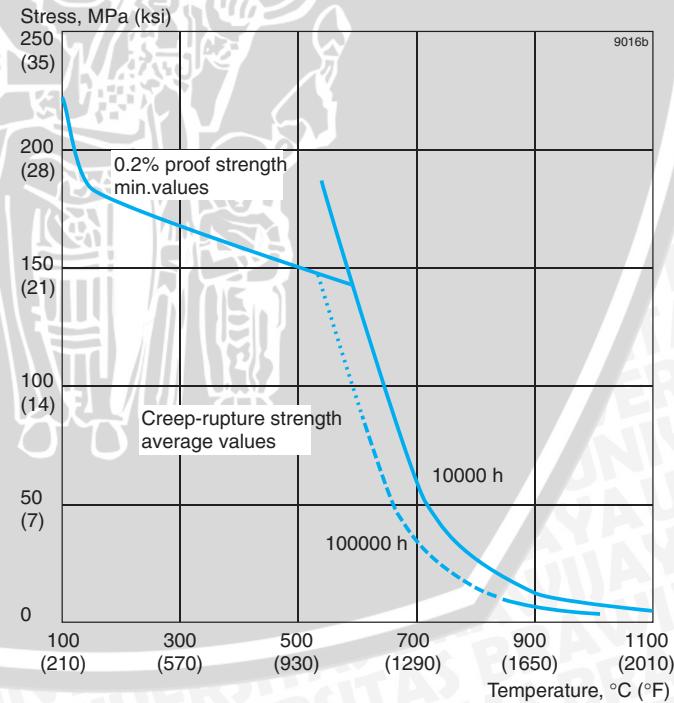


Fig. 1. Proof strength R_{p0.2} and creep tupture strength at 10 000 and 100 000 h.

SEAMLESS TUBE Sandvik 253 MA

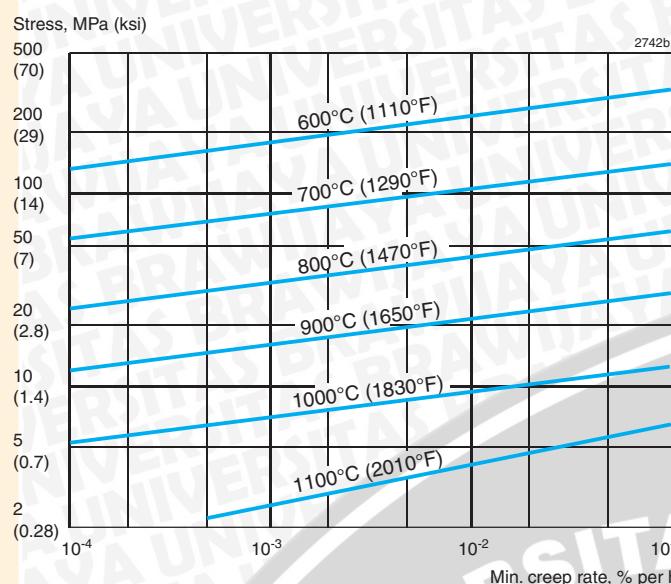


Fig. 2 Relationship between nominal stress and minimum creep rate at 600–1100°C (1110–2010°F).

PHYSICAL PROPERTIES

Density

7.8 g/cm³, 0.28 lb/in³

Thermal conductivity

Temperature, °C	W/m °C	Temperature, °F	Btu/ft h °F
20	13	68	7.5
100	14	200	8.5
200	16	400	9.5
300	18	600	10.5
400	20	800	11.5
500	21	1000	12.5
600	23	1200	13.5
700	24	1400	14.5
800	25	1600	15
900	26	1800	16
1000	28	2000	17
1100	29		

Specific heat capacity

Temperature, °C	J/kg °C	Temperature, °F	Btu/lb °F
20	490	68	0.12
100	515	200	0.12
200	540	400	0.13
300	565	600	0.14
400	580	800	0.14
500	600	1000	0.15
600	615	1200	0.15
700	630	1400	0.15
800	645	1600	0.16
900	655	1800	0.16
1000	665	2000	0.16
1100	680		

Thermal expansion, mean values in temperature ranges (x10⁻⁶)

Temperature, °C	Per °C	Temperature, °F	Per °F
30-100	16.5	86-200	9.5
30-200	17	86-400	9.5
30-300	17	86-600	9.5
30-400	17.5	86-800	10
30-500	18	86-1000	10
30-600	18	86-1200	10
30-700	18.5	86-1400	10.5
30-800	19	86-1600	10.5
30-900	19	86-1800	11
30-1000	19.5		

Resistivity

Temperature, °C	μΩm	Temperature, °F	μΩinch
20	0.84	68	33.2
100	0.91	200	35.4
200	0.97	400	38.1
300	1.02	600	40.3
400	1.07	800	42.3
500	1.11	1000	44.1
600	1.15	1200	45.7
700	1.18	1400	47.1
800	1.21	1600	48.2
900	1.23	1800	49.2
1000	1.26	2000	50.5
1100	1.29		

Modulus of elasticity (x10³)

Temperature, °C	MPa	Temperature, °F	ksi
20	200	68	28.5
200	185	400	27.0
400	170	800	24.0
600	155	1200	21.5
800	135	1400	20.0
1000	120	1800	17.5

CORROSION RESISTANCE

Air

Sandvik 253 MA has very high resistance to oxidation, especially at cyclically varying temperatures. See Figs. 3 and 4. The service temperature in air should not exceed about 1150°C (2100°F).

Isothermal oxidation at 1150°C (2100°F) for 100 h results in a corrosion rate of about 0.3 mm/year (13 mpy), and exposure at the same temperature for 1000 h causes about 0.2 mm/year (9 mpy).

Cyclic oxidation at 1150°C for 5 x 24 h, with cooling to room temperature every 24 hours gives a corrosion rate of less than 1.1 mm/year (43 mpy), which is only marginally greater than the corrosion rate at 1000°C (1830°F).

Cyclic oxidation testing for 1000 h (15 min. at the testing temperature and 5 min. at room temperature, making a total of 3000 cycles) places heavy demands on the elasticity and adhesive capacity of the oxide. The test results in Fig. 4 show that the resistance of Sandvik 253 MA in such difficult conditions is superior to that of both AISI 310 and W.-Nr. 1.4828 (AISI 309). The very good properties of this grade in cyclic conditions have been achieved by adding rare earth metals and silicon.

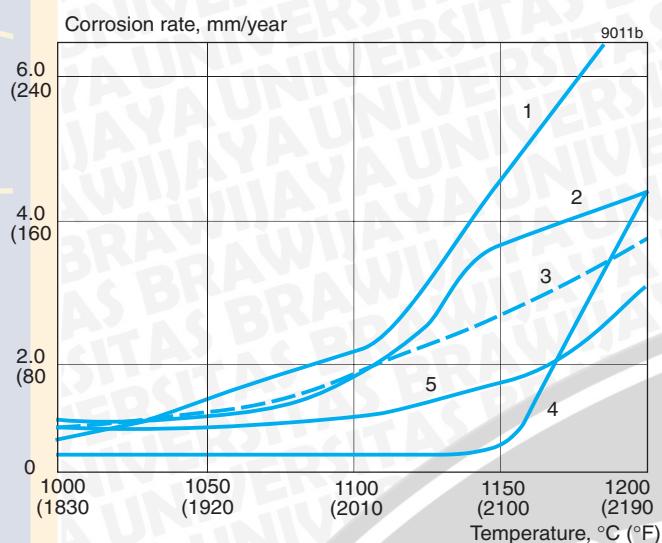


Figure 3. Oxidation in air during cyclic testing 5x24 h with cooling to room temperature every 24 h. Comparison of Sandvik 253 MA with four other high temperature materials.

- 1 = W.-Nr. 1.4828 (AISI 309)
- 2 = AISI 446
- 3 = AISI 310
- 4 = Sandvik 253 MA
- 5 = Alloy 800 H

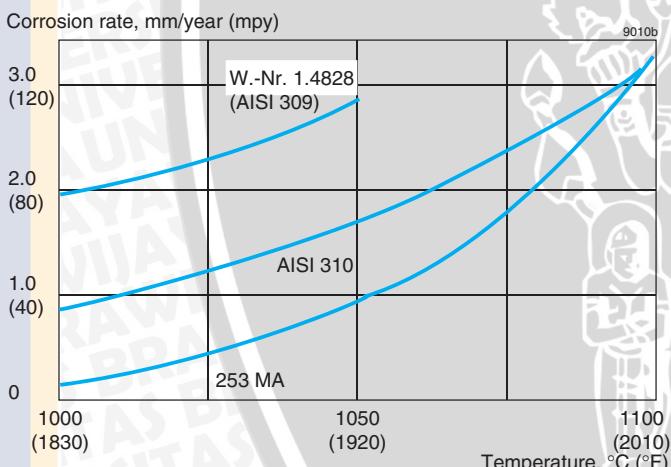


Figure 4. Oxidation in air during 1000 h cyclic exposure. The cycles comprise 15 min. at the testing temperature and 5 min at room temperature. The curves represent averages.

Carburizing atmosphere

Carburization can occur when a material comes into contact with hot gases with high carbon activity, e.g. hydrocarbons. The degree of carburization depends on the composition of the material and on the carbon and oxygen contents of the gas.

Thanks to the relatively high chromium content and the addition of silicon and rare earth metals, a protective oxide is easily formed on the surface of Sandvik 253 MA material. Carburization resistance is, therefore, good. Fig. 5 shows carburization after 500 h at different temperatures, in a mixture of about 10% methane and about 90% argon containing 0.5% oxygen. As can be seen, Sandvik 253 MA is less prone to carburization at high temperatures in these conditions than AISI 310 and Alloy 800H.

In alternately oxidizing and carburizing atmospheres and carburizing slags, Sandvik 253 MA is slightly more prone to carburization than steels of higher chromium and/or nickel content.

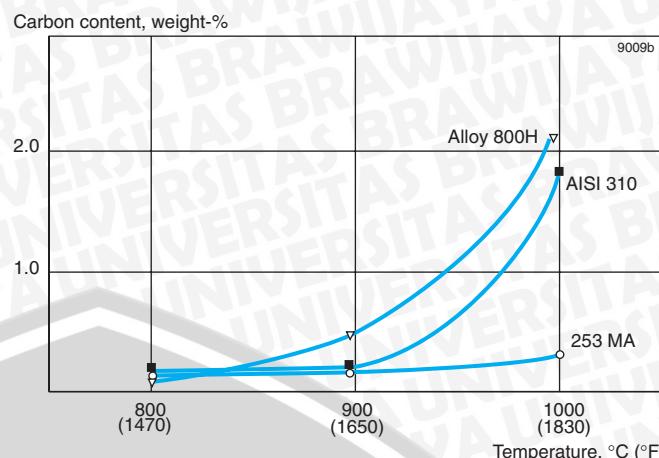


Figure 5. Carburization of a cylindrical test piece at 0.5 mm (0.02 inch) distance from the surface after testing for 500 h at different temperatures in about 10% CH_4 + about 90% Ar + 0.5% O_2 .

Other gaseous atmospheres

In addition to its very good oxidation resistance in air, Sandvik 253 MA is also highly resistant to other atmospheres. The highly protective oxide layer makes it possible for this steel to be used at high temperatures in atmospheres containing sulphur and other aggressive compounds. Sandvik 253 MA is more resistant than the higher alloyed 25Cr/20Ni steels to combustion gas attacks in cyclic conditions. It has an equivalent resistance, compared to the same grades, in conditions which are virtually isothermal. Sandvik 253 MA can also be used in nitrogen-containing atmospheres provided that the gas contains enough oxygen to form a protective oxide layer. In gas shields containing little or no oxygen the resistance of Sandvik 253 MA is inferior to that of Alloy 800H and 25Cr/20Ni steels as illustrated in Fig. 6. Thus, the grade is not recommended for use in muffle tubes using cracked ammonia gas.

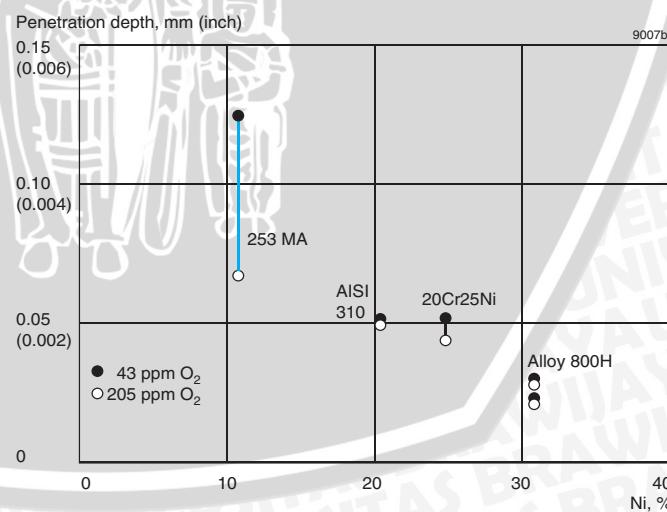


Figure 6. Testing for 400 h at 825°C (1515°F) in nitrogen containing 43 and 205 ppm O_2 , respectively.

Salt and metal melts

Compared with ordinary austenitic stainless steels, Sandvik 253 MA has good resistance to cyanide melts and neutral salt melts and also to metal melts, e.g. lead, at high temperatures. Its resistance to metal melts is to a great extent determined by the oxygen content of the melt. As with other alloyed steels, corrosion is greatest at the surface of the metal bath.

SEAMLESS TUBE **Sandvik 253 MA**

Wet corrosion

Sandvik 253 MA is not generally used in conditions requiring great resistance to wet corrosion. The steel is, however, slightly more resistant than AISI 304 to stress corrosion cracking in chloride bearing aqueous solutions. Its resistance is more or less the same as that of AISI 316.

STRUCTURAL STABILITY

Because Sandvik 253 MA contains less chromium, and because of the addition of nitrogen it is less prone to sigma phase embrittlement than 25Cr/20Ni steels. See Fig. 7.

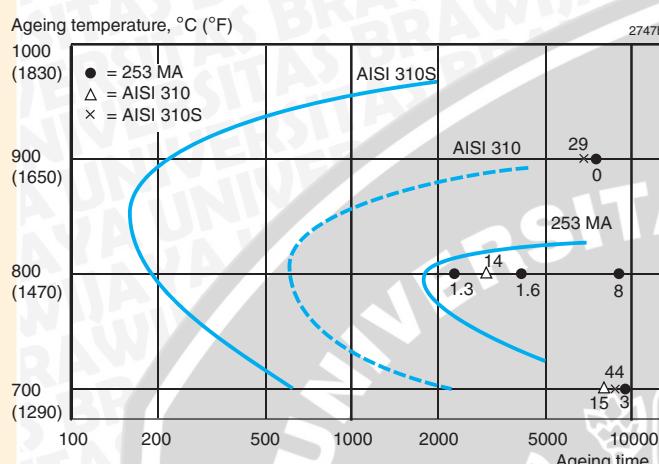


Figure 7. Time-Temperature- Transformation (TTT) diagram showing 1% sigma phase formation curves. The figures at the measuring points refer to sigma phase percentages by volume.

HEAT TREATMENT

Tubes are delivered in the heat treated condition. If another heat treatment is needed after further processing, the following is recommended:

Stress relieving

850-950°C (1560-1740°F), 10-15 minutes, cooling in air.

Solution annealing

1050-1150°C (1920-2100°F), 5-20 minutes, rapid cooling in air or water.

WELDING

The weldability of Sandvik 253MA is good. Suitable welding methods are manual metal-arc welding with covered electrodes and gas shielded arc welding with the TIG and MIG methods as first choice. Preheating and post-weld heat treatment are not normally necessary. Since the material has low thermal conductivity and high thermal expansion, welding should be carried out with a low heat input and with welding plans well thought out in advance, so that deformation of the welded joint can be kept under control. If, despite these precautions, it is foreseen that the residual stresses might impair the function of the weldment, we recommend that the entire structure is stress relieved.

As filler metal for *gas shielded arc welding* we recommend Sandvik 22.12.HT wire electrodes and rods. When using gas metal-arc welding (MIG/MAG), pulsed arc and an inert shielding gas like pure argon or an argon helium mix is suggested. In *manual metal-arc welding*, Sandvik 22.12.HTR covered electrodes are recommended. The composition of these filler metals is designed to yield a weld metal whose creep strength and oxidation resistance will correspond to those of the parent metal.

Data concerning the creep strength of weld metal and welds is available on request.

BENDING

Annealing after cold bending is not normally necessary, but this should be reviewed depending on the degree of bending and the operating conditions. If cold bending has exceeded 10-20%, we recommend solution annealing for tubes that are to be used at temperatures above about 800°C (1450°F), and when the highest possible creep strength is required in the bent tube.

Hot bending should be carried out at 1100-850°C (2050-1560°F) and should be followed by solution annealing.

APPLICATIONS

The high creep strength of Sandvik 253 MA, coupled with its excellent oxidation resistance and its good resistance to carburization in constantly carburizing gas, makes it a very suitable material for end uses in which 18/8 steels lack the necessary resistance to oxidation and carburization. Stainless chromium steels have insufficient creep strength and structural stability. Furthermore, Sandvik 253 MA can very well take the place of higher alloyed materials such as 25Cr/20Ni steels and Alloy 800H, or even Alloy 600 in certain cases.

Sandvik 253 MA has come to be used extensively in the metallurgical, petrochemical and power industries. Applications include the following:

- tubes in waste heat recovery systems in the metallurgical industry, e.g. recuperators
- tubes in heat treatment furnaces, e.g. radiation tubes, thermocouple protection tubes, burner components, furnace rollers
- tubes for injection of pulverized coal in blast furnaces
- tubing for fluidized-bed combustion plants
- furnace tubes for mud incineration plants
- tubes for carbon black process gas coolers/air heaters
- tubes for the glass and cement industries
- styrene reactor tubes
- EDC cracking tubes
- convection tubes in ethylene cracking
- air preheater tubes in sulphuric acid gas converters
- muffle tubes in continuous wire annealing furnaces

FURTHER INFORMATION

The following printed matter can be ordered via our website (www.smt.sandvik.com) or from your nearest Sandvik office.

S-130-ENG Sandvik stainless high temperature grades

S-110-ENG Pipe-tube-hollow bar & bar, seamless standard programme in stainless.

Sandvik is a trademark owned by Sandvik AB

Recommendations are for guidance only, and the suitability of a material for a specific application can be confirmed only when we know the actual service conditions. Continuous development may necessitate changes in technical data without notice.

This data sheet is only valid for Sandvik material. Other material, covering the same international specifications, does not necessarily comply with the mechanical and corrosion properties presented in this datasheet.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



SANDVIK

Sandvik Materials Technology
SE-811 81 Sandviken, Sweden, Phone +46 26 26 30 00
www.smt.sandvik.com