PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L DALAM LARUTAN ASAM, BASA, DAN GARAM

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh

M. RIZKY ICHWANI
NIM. 0910620082-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2014

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L DALAM LARUTAN ASAM, BASA, DAN GARAM

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh

M. RIZKY ICHWANI
NIM. 0910620082-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Purnami ST.,MT	**Femiana Gapsari M. F. ST.,MT**
NIP. 19770707 200812 1 005	**NIP. 19820704 200812 2 002**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L DALAM LARUTAN ASAM, BASA, DAN GARAM

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :
M. RIZKY ICHWANI
NIM. 0910620082-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
Pada tanggal 22 Mei 2014

Dosen Penguji

Skripsi I

Prof.Dr.Ir. Rudy Soenoko,M.Eng.Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

Skripsi II

Dr.Eng Yudy Surya Irawan, ST.,M.Eng.
NIP. 19750710 199903 1 004

Skripsi III

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT
NIP. 19750802 199903 2 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT
NIP. 19750802 199903 2 002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nyalah penyusunan skripsi dengan judul ”Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan Asam, Basa, dan Garam” ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu guna memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan tak lepas dari bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak B.M.H. Amudi. S dan Ibu Nikmatul Lailah, beserta keluarga atas doa dan dukungannya.
2. Bapak Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
3. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk, motivasi dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Femiana Gapsari M. F. ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk, motivasi dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang bersedia berbagi ilmunya.
6. Seluruh Civitas Recording yang telah membantu selama kegiatan akademis maupun kelancaran selama penyusunan skripsi ini.
7. Saudara Chandra Susilo Putro selaku asisten Laboratorium Proses Produksi I yang telah banyak memberikan petunjuk dan bantuan dalam proses penyelesaian penelitian ini.
8. Teman-teman asisten Laboratorium Metrologi Industri yang telah banyak memberikan petunjuk, saran dan bantuan dalam proses penyelesaian penelitian ini.
9. Teman-teman asisten Laboratorium Pengujian Bahan yang telah banyak memberikan petunjuk, saran dan bantuan dalam proses penyelesaian penelitian ini.

10. Saudara Vicky Zulfikar, Dekrit Halim Akbar, Dimas Dwi Setyo, dan saudari Andita Nataria teman seperjuangan skripsi yang selalu membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya khususnya angkatan tahun 2009 (Black Mamba) yang secara langsung maupun tidak langsung membantu dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan skipsi ini.
12. Mas Harun, mas Temon, mas Bajul, mas Hendek yang selalu menyempatkan waktunya di himpunan untuk berdiskusi dan membantu serta memotivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak memungkinkan penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan masukan, saran dan kritik dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan juga bagi pembaca pada umumya.

Malang, Mei 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI iii
DAFTAR GAMBAR v
DAFTAR TABEL vii
DAFTAR LAMPIRAN viii
RINGKASAN ix

BAB I PENDAHULUAN
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
2.1 Penelitian Sebelumnya 4
2.2 Korosi 5
2.2.1 Teori Korosi Bedasarkan Reaksi Elektrokimia 5
2.2.2 Diagram *Pourbaix* 7
2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi 8
a. Material 8
b. Lingkungan 9
2.3 Macam-Macam Korosi 14
2.4 Asam Sulfat 17
2.5 Air Laut 18
2.6 Amonia 18
2.7 Menghitung Laju Korosi 19
2.8 Kekasaran Permukaan 21
2.9 Hipotesa 24

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian 25
3.2 Variabel Penelitian 25
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 26
3.3.1 Alat Penelitian 26
3.3.2 Bahan Penelitian 30
3.4 Instalasi Penelitian 31
3.5 Prosedur Penelitian 32
3.6.1 Prosedur Penyiapan Spesimen 32
3.6.2 Prosedur Pembuatan Larutan dengan Konsentrasi 1M (Molaritas) 32
3.6.3 Prosedur Penelitian Uji *Weight Loss* 33
3.6.4 Prosedur Pengambilan dan Pengolahan Data 33
3.6 Diagram Alir Penelitian 34

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan 35
4.2 Data Hasil Pengujian *Weight Loss* 36
4.3 Analisa Grafik dan Pembahasan 38
4.3.1 Laju Korosi Baja API 5L *Grade* B *Schedule* 80 dalam Larutan Asam Sulfat 38
4.3.2 Laju Korosi Baja API 5L *Grade* B *Schedule* 80 dalam Larutan NaCl 39
4.3.3 Laju Korosi Baja API 5L *Grade* B *Schedule* 80 dalam Larutan Amonia 41
4.3.4 Perbandingan Laju Korosi Baja API 5L *Grade* B *Schedule* 80 dalam Larutan Asam, Basa, dan Garam 42

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan 46
5.2. Saran 46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram *Pourbaix Baja*	7
Gambar 2.2	Kondisi Logam pada Diagram *Pourbaix*	8
Gambar 2.3	Korosi kontak langsung logam dengan H_2O dan O_2	9
Gambar 2.4	Zat Pengotor	10
Gambar 2.5	Kapal Tenggelam yang Terkorosi Kontak dengan Elektrolit	10
Gambar 2.6	Knalpot Kendaraan Bermotor yang Mudah Terkorosi Akibat Temperatur Tinggi	11
Gambar 2.7	Korosi Pada Kondisi Asam Lebih Cepat Terjadi (atas). Logam Besi yang Belum Terkorosi Pada Kondisi Netral (bawah)	12
Gambar 2.8	Permukaan Logam yang Kasar Cenderung Mengalami Korosi	13
Gambar 2.9	Korosi *Galvanic*	13
Gambar 2.10	Korosi Pada Permukaan Logam yang Disebabkan oleh Mikroba	14
Gambar 2.11	Korosi Merata (*uniform corrosion*)	14
Gambar 2.12	Korosi Galvanik (*galvanic corrosion*)	15
Gambar 2.13	Korosi Celah (*crevice corrosion*)	15
Gambar 2.14	Korosi Sumuran (*pitting corrosion*)	16
Gambar 2.15	Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*)	16
Gambar 2.16	Korosi Erosi (*errosion corrosion*)	17
Gambar 2.17	Korosi Retak Tegang (*stress cracking corrosion*)	17
Gambar 2.18	Pengujian Laju Korosi dengan Metode Kehilangan Berat	21
Gambar 2.19	Penyimpangan Rata–Rata Aritmetik dari Garis Rata–Rata Profil	22
Gambar 2.20	Ketinggian Sepuluh Titik (R_z) dari Ketidakrataan	23
Gambar 2.21	Ketinggian Maksimum ($R_{maksimum}$) dari Ketidakrataan	24
Gambar 3.1	*Power Hacksaw*	26
Gambar 3.2	Gelas Beker	27
Gambar 3.3	Timbangan Elektrik	28
Gambar 3.4	*Centrifugal Sandpaper Machine*	29
Gambar 3.5	*Portable Surface Roughness Tester*	29
Gambar 3.6	Dimensi Spesimen	31

Gambar 3.7	Model Penelitian Korosi	31
Gambar 3.8	Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 4.1	Dimensi Spesimen	36
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan Asam Sulfat	38
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan NaCl	40
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan Amonia	41
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan Asam Sulfat, NaCl, dan Amonia	43

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Konstanta Laju Korosi sesuai ASTM G1	20
Tabel 2.2	Tingkatan Ketahanan Korosi Berdasarkan Nilai Laju Korosi	21
Tabel 4.1	Tingkat Kekasaran Permukaan	35
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Laju Korosi Baja API 5L *grade* B *schedule* 80	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Uji Kekasaran Permukaan Dengan *Portable Surface Roughness Tester*

Lampiran 2 Sertifikat Bahan Pengujian

Lampiran 3 *Pipe Specification* API 5L

Lampiran 4 ASTM A53 *Grade* B *Standard Pipe*

Lampiran 5 ASTM G1 *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens*

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

M. Rizky Ichwani, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2014, Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan Asam, Basa, dan Garam. Dosen Pembimbing : Purnami dan Femiana Gapsari M.F.

Korosi pada logam menimbulkan kerugian yang cukup banyak. Karena itu, upaya pengendalian dan perawatan terhadap korosi sangatlah penting untuk mengurangi kerugian-kerugian yang ditimbulkannya Penggunaan material berupa logam paduan banyak diterapkan pada dunia industri. Salah satu contohnya yaitu baja API 5L. Perbedaan lingkungan akan mempengaruhi laju korosi. Karena lingkungan yang sangat korosif pada aplikasi penggunaannya, perlu adanya pengendalian laju korosi terhadap baja API 5L. Kekasaran permukaan dari benda kerja mempengaruhi serangan korosif yang terjadi. Benda kerja yang lebih kasar akan mudah mengalami korosi dibandingkan dengan logam yang permukaannya halus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kekasaran permukaan terhadap laju korosi baja API 5L *grade* B *schedule* 80 dalam larutan asam, basa, dan garam.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode eksperimental nyata (*true experiment research*) yang langsung digunakan ke obyek yang akan diuji. Variasi kekasaran permukaan spesimen uji didapatkan dari proses pengamplasan menggunakan kertas gosok dengan grid amplas 220, 600, dan 1000. Kekasaran permukaan yang didapatkan setelah proses pengamplasan adalah 0,74 µm untuk grid amplas 220, 0,65 µm untuk grid amplas 600, dan 0,60 µm untuk grid amplas 1000. Larutan yang digunakan yaitu asam sulfat (asam), NaCl (garam), dan amonia (basa) dengan konsentrasi larutan 1M (Molaritas), yaitu satuan konsentrasi larutan yang menyatakan banyaknya mol zat terlarut dalam 1 liter larutan. Pengujian laju korosi menggunakan metode weight loss dengan lama waktu perendaman 168 jam dalam setiap larutan.

Dari penelitian didapatkan bahwa kekasaran permukaan berpengaruh terhadap laju korosi dari baja API 5L *grade* B *schedule* 80. Dimana semakin besar nilai kekasaran permukaan dari baja API 5L maka semakin besar pula laju korosinya. Hasil terbaik (laju korosi terendah) yang didapatkan dari penelitian adalah pada kekasaran permukaan 0,60 µm untuk masing-masing larutan (asam sulfat, NaCl, dan amonia). Semakin besar nilai kekasaran permukaan dari baja API 5L *grade* B *schedule* 80 maka semakin besar pula laju korosinya karena semakin kasar permukaan suatu logam menyebabkan ketidak homogenan pada permukaan (permukaan tidak rata), hal ini memudahkan terjadinya korosi sebab kutub-kutub muatan yang berperan sebagai anoda dan katoda dalam korosi akan mudah terbentuk di permukaan yang kasar.

Kata Kunci : Laju korosi, kekasaran permukaan, baja API 5L, asam sulfat, NaCl, amonia, *weight loss*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi pada logam menimbulkan kerugian yang cukup banyak. Tingginya biaya perawatan akibat korosi membuat banyak perusahaan melakukan penelitian untuk mencari solusi guna menekan biaya tersebut. Negara-negara yang berada di kawasan tropis seperti Indonesia menderita banyak kerugian akibat korosi, tetapi tidak ada data yang jelas di negara-negara tersebut tentang jumlah kerugian setiap tahunnya. Pada dunia industri sering terjadi permasalahan yang diakibatkan adanya korosi, terutama pada komponen-komponen yang terbuat dari logam. Karena itu, 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. Selain itu, pemantauan terhadap lingkungan juga harus dilakukan, terutama lingkungan yang bersifat asam karena dapat mempercepat terjadinya korosi.

Korosi adalah proses terjadinya penurunan mutu material akibat reaksi kimia dengan lingkungannya (Fontana, 1987). Dalam bahasa sehari-hari, korosi biasanya dikenal dengan perkaratan. Korosi atau perkaratan secara umum terjadi pada besi. Besi merupakan logam yang mudah berkarat. Karat besi merupakan zat yang dihasilkan pada peristiwa korosi, yaitu berupa zat padat dengan warna coklat kemerahan yang bersifat rapuh serta berpori. Bila dibiarkan, lama kelamaan besi akan habis menjadi karat. Pada umumnya korosi tidak dapat dicegah, kita hanya dapat berupaya mengendalikannya sehingga struktur atau komponen mempunyai masa pakai lebih lama (Chamberlain, 1991).

Penggunaan material berupa logam paduan banyak diterapkan pada dunia industri. Hal ini dikarenakan logam paduan tersebut memiliki kualitas yang lebih baik daripada logam non paduan karena mempunyai sifat-sifat yang merupakan kombinasi dari unsur-unsur penyusunnya. Salah satu contohnya yaitu baja API 5L. Baja ini biasanya digunakan di banyak industri, seperti minyak bumi,

pembangkit listrik, gas alam, bahan kimia, galangan kapal, pembuatan kertas, dan metalurgi.

Perbedaan lingkungan akan mempengaruhi laju korosi. Lingkungan yang berbeda-beda memiliki laju korosi yang berbeda pula. Karena lingkungan yang sangat korosif pada aplikasi penggunaannya, perlu adanya pengendalian laju korosi terhadap baja API 5L.

Kekasaran permukaan dari benda kerja mempengaruhi serangan korosif yang terjadi. Benda kerja yang lebih kasar akan mudah mengalami korosi dibandingkan dengan logam yang permukaannya halus. Parameter proses permesinan akan mempengaruhi kekasaran permukaan dari suatu benda kerja. Kekasaran permukaan merupakan parameter kualitas produk dari suatu bahan.

Berdasarkan penjelasan di atas, digunakan benda kerja dengan berbagai variasi kekasaran permukaan hasil proses pengamplasan guna mengamati laju korosi pada senyawa yang berbeda-beda. Senyawa yang berbeda antara lain asam sulfat, garam, dan amonia diteliti laju korosinya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kekasaran permukan terhadap laju korosi baja API 5L dalam larutan asam, basa, dan garam. Diharapkan dengan penelitian ini dapat membantu menanggulangi permasalahan korosi yang ada di dunia industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh kekasaran permukan terhadap laju korosi baja API 5L dalam larutan asam, basa, dan garam?
2. Berapakah nilai kekasaran permukaan yang menghasilkan laju korosi dengan nilai paling rendah?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembahasan difokuskan pada laju korosi yang terjadi tanpa membahas jenis korosi yang terjadi pada material tersebut
2. Material yang digunakan yaitu baja API 5L *grade* B *schedule* 80
3. Dimensi spesimen dijaga konstan
4. Faktor-faktor lain yang memperngaruhi korosi dianggap konstan (tetap) dalam setiap pengujian

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh kekasaran permukan terhadap laju korosi baja API 5L dalam larutan asam, basa, dan garam.
2. Mengetahui nilai kekasaran permukaan yang menghasilkan laju korosi dengan nilai paling rendah.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai sarana untuk mengoptimalkan baja API 5L agar memiliki sifat tahan korosi yang lebih baik.
2. Untuk mengetahui pengaruh kekasaran permukan dan lingkungan yang berbeda-beda terhadap laju korosi, sehingga dapat dijadikan rujukan lingkungan yang tepat pada penggunaan baja API 5L.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Prasetya (2011) meneliti tentang pengaruh pH lingkungan terhadap perilaku korosi stainless steel AISI 304 dan AISI 316. Tingkat keasaman atau pH lingkungan merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya korosi. Perubahan pH lingkungan terjadi pula selama proses produksi minyak dan gas bumi sehingga diperlukan pemilihan material yang tepat sebagai salah satu langkah pengendalian korosi supaya tercapai optimasi proses dan ketahanan peralatan. Asam asetat dan amonia merupakan komponen penyebab korosi dalam lingkungan tersebut. Dalam penelitian ini, digunakan stainless steel AISI 304 dan AISI 316 dengan variasi pH lingkungan asam asetat dan amonia sebesar 4; 5; 5,5; 6; 7; 8; 8,5; 9 dan 10. Perhitungan laju korosi dilakukan dengan metode Polarisasi Potensiodinamik. Dari penelitian diperoleh bahwa terjadi penurunan laju korosi pada kedua stainless steel dalam media asam asetat dan amonia dengan kenaikan nilai pH.

Setyarini, dkk (2011) meneliti tentang optimasi proses *sand blasting* terhadap laju korosi hasil pengecatan baja Aisi 430. Hasil penelitian menunjukkan adanya kecenderungan bahwa semakin besar tekanan dan sudut penyemprotan, maka laju korosi semakin kecil. Hal ini dikarenakan tekanan dan sudut penyemprotan dalam proses sand blasting akan menyebabkan permukaan yang terbentuk semakin kasar. Permukaan yang lebih kasar menyebabkan peluang lebih besar dalam bereaksi dengan cat, sehingga lapisan yang terbentuk semakin tebal. Dengan lapisan cat yang tebal akan menurunkan laju korosi. Hal ini disebabkan karena elektron akan sulit menembus poripori lapisan sehingga reaksi korosi sulit terjadi.

Siahaan (2013) telah meneliti tentang potensi inhibisi senyawa campuran ekstrak tanaman rempah Andaliman (*Zanthoxylum acanthapodiumDC*) terhadap korosi baja karbon API 5L dalam media NaCl 1% dengan kendali PH buffer asetat jenuh CO_2, menggunakan metode EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) dan Tafel. Berdasarkan skrinning fitokimia, andaliman mengandung sejumlah senyawa organik seperti terpenoid, flavonoid, serta senyawa aromatik lain yang mengandung molekul nitrogen, oksigen, asam amino, sulfur, atau ikatan rangkap. Berdasarkan hasil uji impedansi (EIS), konsentrasi maksimum ekstrak andaliman sebesar 250 ppm memiliki efisiensi inhibitor korosi paling besar mencapai 92,02 % pada suhu kamar. Hasil pengukuran polarisasi (Tafel) menunjukkan senyawa inhibitor dalam andaliman berperan sebagai inhibitor anodik.

Suryo (2010) meneliti tentang laju korosi dan angka kekerasan logam dasar pipa baja API 5L X65 sebelum dan sesudah proses normalizing. Proses normalizing dilaksanakan pada temperatur 900 oC dan waktu tahan 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit. Perlakuan korosi dilaksanakan dengan air laut sebagai media korosi. Hasil penelitian ini adalah metalografi, laju korosi dan angka kekerasan, masing-masing dilaksanakan sebelum dan sesudah proses normalizing. Laju pengurangan massa dan korosi benda uji yang dinormalizing menurun dengan naiknya waktu penahanan.

2.2 Korosi

Korosi (*corrosion*) biasanya diartikan sama dengan istilah karat (*rust*), kedua istilah ini selalu berhubungan satu sama lain. Korosi adalah kerusakan material khususnya logam secara umum akibat reaksi dengan lingkungan sekitarnya, sedangkan arti karat dikhususkan pada logam *ferrous* (besi). Hasil dari proses kerusakan berupa berbagai produk korosi misalnya berbagai macam oksida logam, kerusakan permukaan logam secara morfologi, perubahan sifat mekanis dan perubahan sifat kimia (Priyatomo, 2008). Korosi adalah penurunan mutu material akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan sekitar (Trethewey, 1991). Definisi lain dari korosi adalah perusakan atau penurunan mutu dari material akibat bereaksi dengan lingkungan (Fontana, 1987). Korosi tidak dapat dicegah, tetapi dapat dikendalikan untuk mengurangi kecepatannya. Laju korosi bisa terjadi cepat ataupun lambat, hal ini tergantung dari lingkungan yang ada disekelilingnya. Kondisi alam Indonesia yang beriklim tropis, dengan tingkat populasi penduduk yang padat dan dekat dengan laut adalah faktor yang dapat mempercepat proses korosi.

Dalam kehidupan sehari-hari, korosi sering dijumpai pada bangunan atau peralatan yang menggunakan komponen logam seperti seng, tembaga, baja dan sebagainya. Dampak dari peristiwa korosi bersifat sangat merugikan. Contohnya adalah keroposnya jembatan, bodi mobil atau berbagai konstruksi dan peralatan dari besi.

2.2.1 Teori Korosi Berdasarkan Reaksi Elektrokimia

Mekanisme korosi tidak lepas dari reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Mekanisme korosi melalui reaksi elektrokimia melibatkan reaksi anodik di daerah anoda. Reaksi anodik (oksidasi) diindikasikan dengan peningkatan valensi atau produk elektron-elektron. Reaksi anodik yang terjadi pada proses korosi logam yaitu :

$$M \rightarrow Mn^{+} + ne$$

Proses korosi dari logam M adalah proses oksidasi logam menjadi satu ion (n^+) dalam pelepasan n elektron. Harga dari n bergantung dari sifat logam sebagai contoh besi :

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$$

Reaksi katodik juga berlangsung di proses korosi. Reaksi katodik (reduksi) diindikasikan melalui penurunan nilai valensi atau konsumsi elektron-elektron yang dihasilkan dari reaksi anodik. Reaksi katodik terletak di daerah katoda. Beberapa jenis reaksi katodik yang terjadi selama proses korosi logam yaitu :

- Reduksi O_2 menjadi H_2O (dalam kondisi asam)

  $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
- Reduksi O_2 menjadi ion OH^- (dalam kondisi netral atau basa)

  $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
- Evolusi atau pembentukan gas H_2

  $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
- Reduksi ion logam

  $Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$
- Pengendapan logam

  $3Na^+ + 3e^- \rightarrow 3Na$

Reaksi katodik dimana oksigen dari udara akan larut dalam larutan terbuka. Reaksi korosi tersebut sebagai berikut :

$Fe^{3+} + O^{2-} \rightarrow Fe_2O_3$

Peristiwa korosi pada struktur pipa, harus melibatkan syarat-syarat di atas. Peristiwa korosi pada struktur pipa memiliki reaksi anoda dan katoda :

- Reaksi anodik : $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$
- Reaksi katodik : $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
- Reaksi keseluruhan : $2Fe + O_2 + 2H_2O \rightarrow Fe2^+ + 4OH^- = 2Fe(OH)_2$

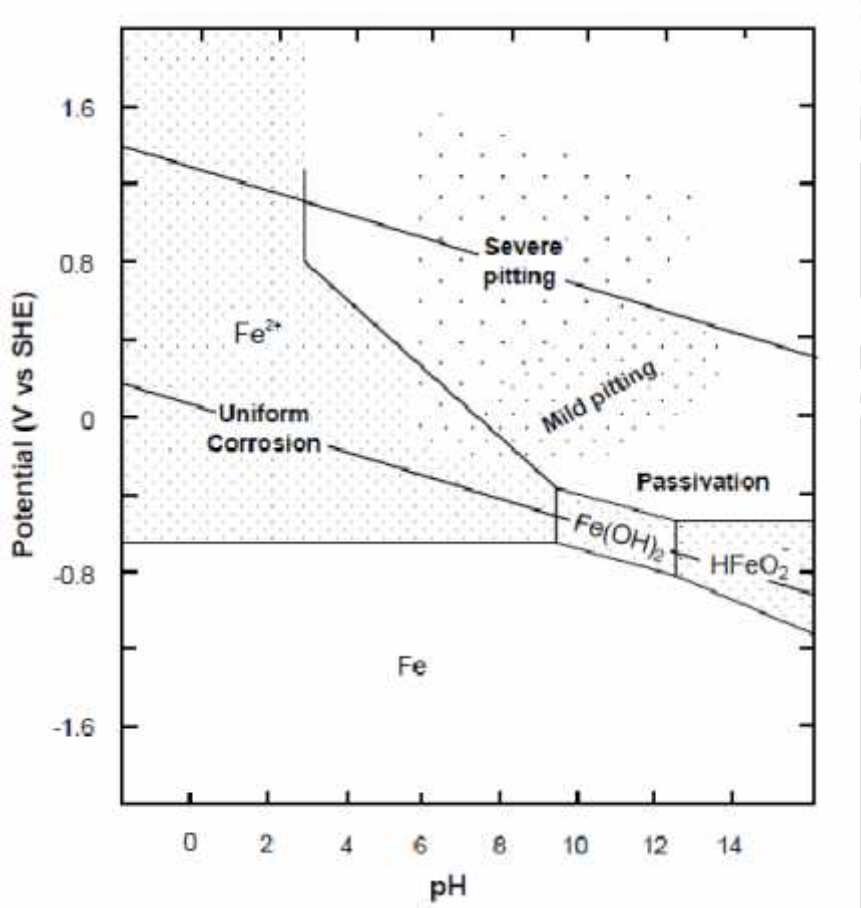
Pada kondisi netral atau basa, ion Fe^{2+} dan OH^- selanjutnya membentuk endapan $Fe(OH)_2$. Di udara, $Fe(OH)_2$ tidak stabil dan membentuk $Fe_2O_3\ xH_2O$. Inilah yang disebut karat. Pada kondisi asam, banyaknya ion H^+ memicu terjadinya reaksi reduksi lainnya yang juga berlangsung, yakni evolusi atau pembentukan hidrogen menurut persamaan reaksi:

$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

Adanya 2 reaksi di katode pada kondisi asam menyebabkan lebih banyak logam besi yang teroksidasi. Hal ini menjelaskan mengapa korosi logam pada kondisi asam lebih besar daripada korosi dalam kondisi netral atau basa.

2.2.2 Diagram *Pourbaix*

Diagram *Pourbaix* adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara pH dengan potensial reaksi, yang digunakan untuk mengetahui aspek termodinamika suatu reaksi elektrokimia atau reaksi korosi dan juga untuk memprediksi reaksi dan produk korosi suatu material pada lingkungan dengan derajat keasaman tertentu. Contoh diagram *Pourbaix* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram *Pourbaix Baja*
Sumber : Roberge, Piere R (2000:19)

Berdasarkan termodinamikanya, keadaan suatu logam pada diagram *Pourbaix* terbagi menjadi tiga yaitu:

1. *Imune*

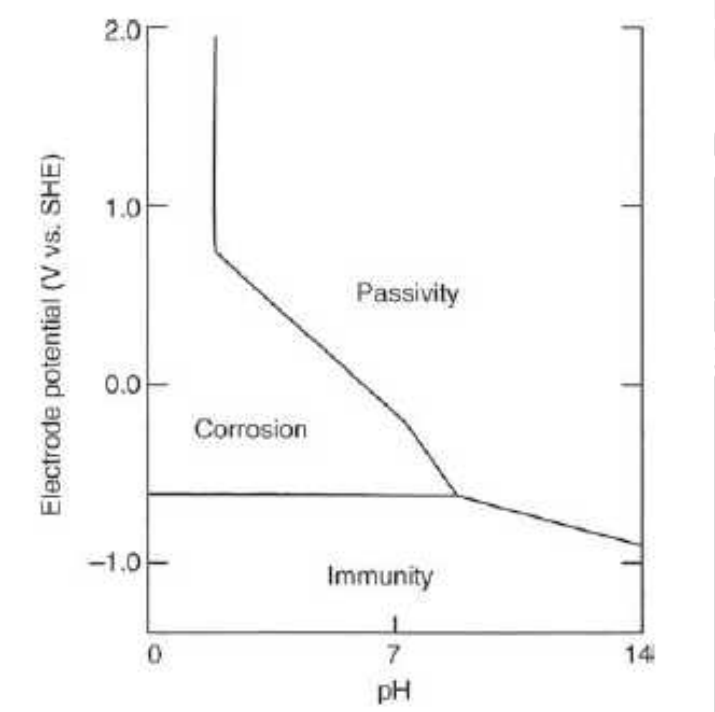
   Imune adalah daerah dimana logam berada dalam keadaan aman atau terlindung dari korosi.

2. *Passive*

   Passive adalah daerah dimana logam akan membentuk suatu lapisan pasif pada permukaanny dan terlindung dari peristiwa korosi.

3. *Corrosion*

   Corrosion adalah daerah dimana logam akan mengalami peristiwa korosi.



Gambar 2.2 Kondisi Logam pada Diagram *Pourbaix*
Sumber : V.S. Sastri (2011:43)

2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi

a. Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja API (*American Petroleum Institute*) 5L *grade B schedule 80*. Material tersebut mempunyai nama material API 5L dengan *grade* B yang menunjukkan nilai kekuatan dan komposisi kimianya (bisa dilihat pada lampiran 2-4). Unsur paduan yang ada dalam material ini berpengaruh terhadap ketahanan korosinya. Dengan kandungan Cr, Ni, dan Si yang terbilang rendah, menjadikan API 5L memiliki ketahanan korosi yang rendah pada lingkungan yang korosif. Pipa tersebut mempunyai dimensi 2 inci untuk diameternya, 6 meter untuk dimensi panjangnya, dan *schedule* 80 untuk menunjukkan dimensi ketebalan materialnya.

Pipa ini sering digunakan sebagai alat transportasi gas dan minyak dari suatu tempat ketempat lain. Sehingga pengaruh lingkungan menjadi perhatian utama, terlebih lagi jika digunakan untuk transportasi dilingkungan yang korosif seperti dalam air laut yang juga sering dilakukan.

b. Lingkungan

Selain faktor material, faktor lingkungan juga mempengaruhi korosi, antara lain:

1. Kontak langsung logam dengan H_2O dan O_2

   Korosi pada permukaan logam merupakan proses yang mengandung reaksi redoks. Reaksi yang terjadi ini merupakan sel volta mini. Sebagai contoh, korosi besi terjadi apabila ada oksigen (O_2) dan air (H_2O). Logam besi tidaklah murni, melainkan mengandung campuran karbon yang menyebar secara tidak merata dalam logam tersebut. Hal tersebut menimbulkan perbedaan potensial listrik antara atom logam dengan atom karbon (C). Atom logam besi (Fe) bertindak sebagai anode dan atom C sebagai katode. Oksigen dari udara yang larut dalam air akan tereduksi, sedangkan air sendiri berfungsi sebagai media tempat berlangsungnya reaksi redoks pada peristiwa korosi. Jika jumlah O_2 dan H_2O yang mengalami kontak dengan permukaan logam semakin banyak, maka semakin cepat berlangsungnya korosi pada permukaan logam tersebut.

Gambar 2.3 Korosi kontak langsung logam dengan H_2O dan O_2
Sumber : Al-Fatir, 2013

2. Keberadaan Zat Pengotor

   Zat Pengotor di permukaan logam dapat menyebabkan terjadinya reaksi reduksi tambahan sehingga lebih banyak atom logam yang teroksidasi. Sebagai contoh, adanya tumpukan debu karbon dari hasil pembakaran BBM pada

permukaan logam mampu mempercepat reaksi reduksi gas oksigen pada permukaan logam yang mengakibatkan proses korosi semakin cepat pula.

Gambar 2.4 Zat Pengotor

Sumber : Ahmad Fathonah, 2012

3. Kontak dengan Elektrolit

Keberadaan elektrolit, seperti garam dalam air laut dapat mempercepat laju korosi dengan menambah terjadinya reaksi tambahan. Konsentrasi elektrolit yang besar dapat meningkatkan laju aliran elektron sehingga laju korosi meningkat.

Gambar 2.5 Kapal Tenggelam yang Terkorosi Kontak dengan Elektrolit

Sumber : Ahmad Fathonah, 2012

4. Temperatur

Temperatur mempengaruhi kecepatan reaksi redoks pada peristiwa korosi. Secara umum, semakin tinggi temperatur maka semakin cepat terjadinya korosi. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya temperatur maka meningkat pula energi kinetik partikel sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan efektif pada reaksi redoks semakin besar dan laju korosi pada logam semakin meningkat. Efek korosi yang disebabkan oleh pengaruh temperatur dapat dilihat pada perkakas-perkakas atau mesin-mesin yang dalam pemakaiannya menimbulkan panas akibat gesekan

(seperti *cutting tools*) atau dikenai panas secara langsung (seperti mesin kendaraan bermotor).

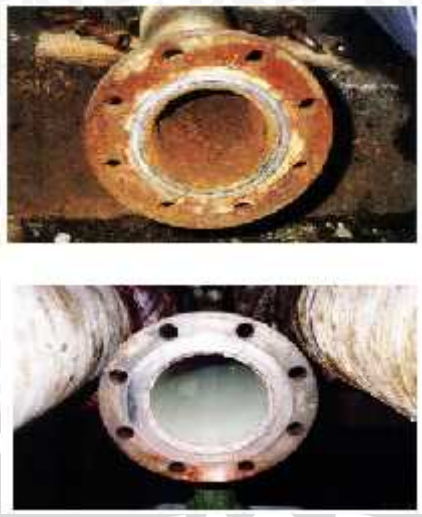
Gambar 2.6 Knalpot Kendaraan Bermotor yang Mudah Terkorosi Akibat Temperatur Tinggi
Sumber : Ahmad Fathonah, 2012

5. pH

pH lingkungan merupakan derajat keasaman dari lingkungan yang mengindikasi konsentrasi H^+ dalam lingkungan tersebut. Peristiwa korosi pada kondisi asam, yakni pada kondisi pH < 7. Semakin rendah nilai pH maka laju korosi akan semakin meningkat, karena adanya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katode yaitu:

$2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_2$

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



Gambar 2.7 Korosi Pada Kondisi Asam Lebih Cepat Terjadi (atas). Logam Besi yang Belum Terkorosi Pada Kondisi Netral (bawah)

Sumber : Ahmad Fathonah, 2012

6. Metalurgi

- Permukaan logam

Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial dan memiliki kecenderungan untuk menjadi anode yang terkorosi. Semakin kasar permukaan suatu logam menyebabkan ketidak homogenan pada permukaan (permukaan tidak rata), hal ini memudahkan terjadinya korosi. Permukaan logam yang tidak rata akan memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan (kutub positif dan negatif), yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda pada reaksi elektrokimia. Dengan adanya perubahan potensial elektroda maka akan meningkatkan laju reaksi elektrokimia yang mana berpengaruh terhadap laju korosinya. Permukaan logam yang halus dan bersih akan menyebabkan korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anoda dan katoda . Maka dari itu laju korosi akan semakin meningkat seiring bertambah kasarnya permukaan logam. (Ahmad Fathonah, 2012)

Gambar 2.8 Permukaan Logam yang Kasar Cenderung Mengalami Korosi
Sumber : Ahmad Fathonah, 2012

- Efek *Galvanic Coupling*

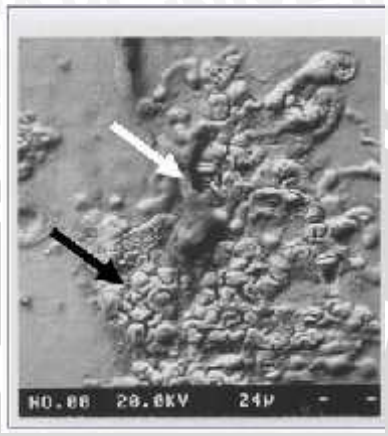
  Kemurnian logam yang rendah mengindikasikan banyaknya atom-atom unsur lain yang terdapat pada logam tersebut sehingga memicu terjadinya efek *Galvanic Coupling* , yakni timbulnya perbedaan potensial pada permukaan logam akibat perbedaan $E°$ antara atom-atom unsur logam yang berbeda dan terdapat pada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

Gambar 2.9 Korosi *Galvanic*
Sumber : Arsip Penelitian Gadang Priyatomo, Jakarta (2008)

7. Mikroba

   Adanya koloni mikroba pada permukaan logam dapat menyebabkan peningkatan korosi pada logam. Hal ini disebabkan karena mikroba tersebut mampu mendegradasi logam melalui reaksi redoks untuk memperoleh energi bagi

keberlangsungan hidupnya. Mikroba yang mampu menyebabkan korosi, antara lain: protozoa, bakteri besi mangan oksida, bakteri reduksi sulfat, dan bakteri oksidasi sulfur-sulfida. *Thiobacillus thiooxidans Thiobacillus ferroxidans*.



Gambar 2.10 Korosi Pada Permukaan Logam yang Disebabkan oleh Mikroba
Sumber : Ahmad Fathonah, 2012

2.3 Macam-Macam Korosi

Ditinjau dari proses dan bentuknya 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.

Gambar 2.11 Korosi Merata (*uniform corrosion*)
Sumber : Arsip Penelitian Gadang Priyatomo, Jakarta (2008)

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.

Gambar 2.12 Korosi Galvanik (*galvanic corrosion*)
Sumber : Arsip Penelitian Gadang Priyatomo, Jakarta (2008)

3. Korosi celah (*crevice corrosion*)

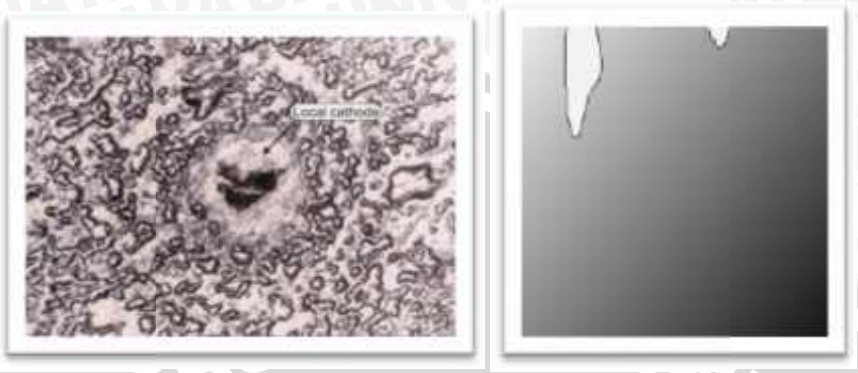
Korosi celah adalah korosi lokal yang terjadi pada celah antara dua komponen baik logam dengan non-logam maupun logam dengan logam akibat perbedaan konsentrasi oksigen. Pada celah, kadar oksigen lebih rendah daripada lingkungannya sehingga elektron akan berpindah menuju kadar oksigen yang tinggi, akibatnya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

Gambar 2.13 Korosi Celah (*crevice corrosion*)
Sumber : Arsip Penelitian Gadang Priyatomo, Jakarta (2008)

4. Korosi sumuran (*pitting corrosion*)

Korosi sumuran adalah korosi yang terjadi karenaa danya 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.



Gambar 2.14 Korosi Sumuran (*pitting corrosion*)

Sumber : Arsip Penelitian Gadang Priyatomo, Jakarta (2008)

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 ($Cr_{23}C_6$) sehingga batas butir kehilangan resistensinya dan mengalami korosi. Proses terbentuknya presipitat karbida karbon disebut sensitisasi.

Gambar 2.15 Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*)

Sumber : Arsip Penelitian Gadang Priyatomo, Jakarta (2008)

6. Korosi erosi (*errosion 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.

Gambar 2.16 Korosi Erosi (*errosion corrosion*)
Sumber : Arsip Penelitian Gadang Priyatomo, Jakarta (2008)

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.

Gambar 2.17 Korosi Retak Tegang (*stress cracking corrosion*)
Sumber : Arsip Penelitian Gadang Priyatomo, Jakarta (2008)

2.4 Asam Sulfat

Asam sulfat memiliki rumus kimia H_2SO_4. Asam sulfat merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan. Asam sulfat mempunyai banyak kegunaan dan merupakan salah satu produk utama industri kimia. Kegunaan utamanya termasuk untuk pemrosesan bijih mineral, sintesis kimia, pemrosesan air limbah, pengilangan minyak, produksi pupuk, obat-obatan, zat pewarna, bahan peledak, deterjen sintetis, pemurnian logam, dan produksi karet (Fontana, 1987).

Pengenceran asam sulfat pekat dilakukan dengan cara menambahkan asam sulfat pada aquades bukan sebaliknya. Hal ini disebabkan perbedaan massa jenis kedua zat, sehingga air akan mengapung di atas asam sulfat karena massa jenisnya lebih rendah. Oleh sebab itu jika

pengenceran di lakukan dengan cara menambahkan aqudes pada asam sulfat maka akan terjadi reaksi yang keras atau mendidih, sama seperti air yang jatuh ke dalam minyak panas.

2.5 Air Laut

Air laut adalah air dari laut atau samudera. Air laut memiliki kadar garam rata-rata 3,5%. Artinya dalam 1 liter (1000 mL) air laut terdapat 35 gram garam (terutama, namun tidak seluruhnya, garam dapur / NaCl). Walaupun kebanyakan air laut di dunia memiliki kadar garam sekitar 3,5 %, air laut juga berbeda-beda kandungan garamnya. Kadar garam di beberapa danau dapat lebih tinggi lagi. Air laut memiliki kadar garam karena bumi dipenuhi dengan garam mineral yang terdapat di dalam batu-batuan dan tanah. Contohnya natrium, kalium, dan kalsium. Apabila air sungai mengalir ke lautan, air tersebut membawa garam. Ombak laut yang memukul pantai juga dapat menghasilkan garam yang terdapat pada batu-batuan. Lama-kelamaan air laut menjadi asin karena banyak mengandung garam.

2.6 Amonia

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH_3. Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas (disebut bau amonia). Walaupun amonia memiliki sumbangan penting bagi keberadaan nutrisi di bumi, amonia sendiri adalah senyawa yang dapat merusak kesehatan.

Amonia dapat terjadi secara alami atau diproduksi secara sintetis. Amonia yang terdapat di alam (di atmosfer) berasal dari dekomposisi bahan organik. Produksi amonia buatan melibatkan serangkaian proses kimia untuk menggabungkan ion nitrogen dan hidrogen. Nilai pH atau '*potentiometric hydrogen*' pada dasarnya merupakan indikator untuk mengukur kadar keasaman suatu larutan. Nilai pH suatu larutan diukur dalam skala logaritmik dengan nilai 0,0 sebagai ukuran paling asam dan 14,0 sebagai nilai paling basa. Larutan dengan pH 7,0 dianggap sebagai larutan netral. Oleh karena itu untuk mengetahui apakah suatu larutan asam, basa, atau netral, nilai pH larutan tersebut harus diketahui. Saat mengukur nilai pH suatu larutan, pada dasarnya kita menghitung jumlah ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksil (OH^-) yang terdapat dalam sampel. Peningkatan ion hidrogen berarti larutan akan semakin asam, sementara pengurangan ion hidrogen (H^+) dan penambahan ion hidroksil (OH^-) akan membuat larutan semakin basa. pH amonia sekitar 11,5 yang artinya bersifat basa. Amonia memiliki kemampuan menetralisir asam dan saat dilarutkan dalam air akan membentuk amonium bermuatan positif ($NH4^+$) dan ion hidroksida bermuatan negatif (OH^-). Reaksi kimia korosi logam dengan amonia adalah sebagai berikut :

- Reaksi anodik : $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$
- Reaksi katodik (basa) : $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
- Reaksi keseluruhan : $2Fe + O_2 + 2H_2O \rightarrow Fe2^+ + 4OH^- = 2Fe(OH)_2$

Amonium hidroksida adalah larutan NH_3 dalam air. Amonia yang berada di rumah biasanya memiliki konsentrasi 5 hingga 10 persen berat amonia. Amonia umumnya bersifat basa, namun dapat juga bertindak sebagai asam yang amat lemah.

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. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui laju korosi suatu material adalah metode kehilangan berat (*weight loss*) .

Metode kehilangan berat *(weight loss)* ini didasarkan pada selisih berat awal sebelum pengujian korosi dengan berat akhir setelah pengujian korosi. Laju korosi biasanya dinyatakan dalam *mils per year (mpy).* Perhitungan laju korosi atas dasar kehilangan berat logam selama pengujian dirumuskan sesuai standar ASTM G1 seperti pada persamaan dibawah ini :

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

Keterangan :

CR = laju korosi [mpy]
K = konstanta laju korosi = $3{,}45 \times 10^6$ [sesuai Tabel 2.1]
W = massa yang hilang [g]
A = luas permukaan spesimen [cm^2]
t = waktu perendaman [jam]
D = densitas spesimen [g/cm^3]

Konversi :

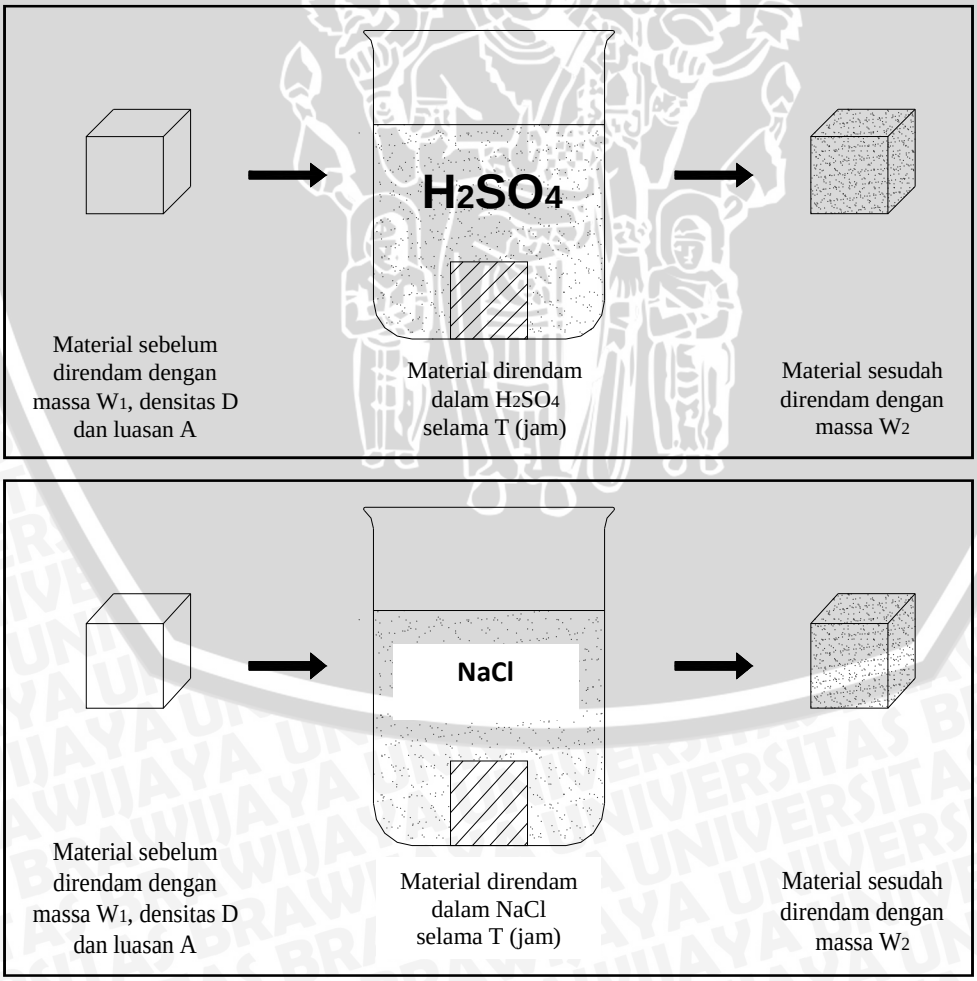
1 *mpy* = 0,0245 *mm/yr* = 25,4 μ*m/yr* = 2,90 *nm/hr* = 0,805 *pm/sec*

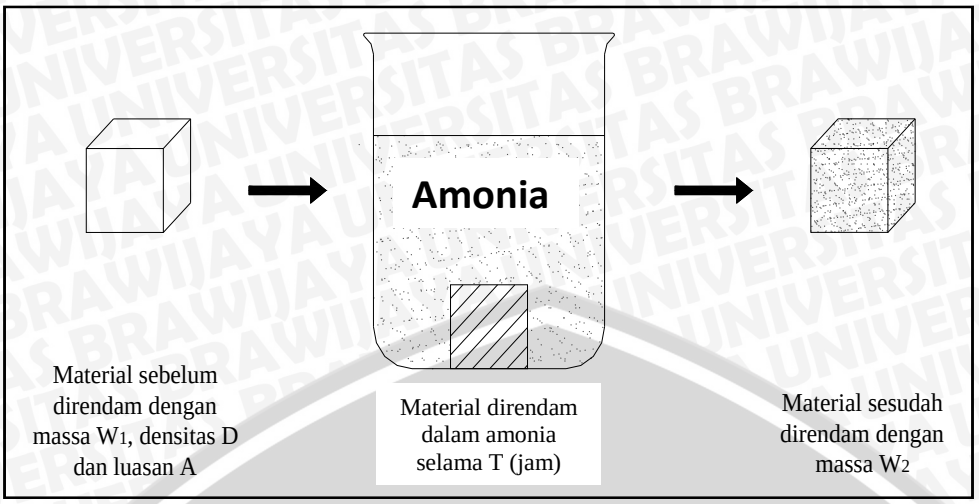
Tabel 2.1 Konstanta Laju Korosi sesuai ASTM G1

Variasi unit laju korosi	Konstanta (K)
Mils per year (mpy)	3.45×10^6
Inches per year (ipy)	3.45×10^3
Inches per month (ipm)	3.45×10^2
Millimeters per year (mm/y)	2.87×10^4
Micrometers per second (pm/s)	8.76×10^7
Picometers per second (pm/s)	2.78×10^6
Grams per square meter per hour ($g/m^2 h$)	$1.00 \times 10^4 \times D$
Micrograms per square meter per second ($\mu g/m^2.s$)	$2.78 \times 10^6 \times D$

Sumber : ASTM G1

Pengujian laju korosi suatu material berdasarkan perhitungan kehilangn berat diilustrasikan seperti dalam gambar 2.18 berikut :





Gambar 2.18 Pengujian Laju Korosi dengan Metode Kehilangan Berat

Berdasarkan nilai laju korosinya, tingkat ketahanan korosi (*relative corrosion resistance*) suatu material digolongkan menjadi 6 tingkatan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. 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*	*µm/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 Kekasaran Permukaan

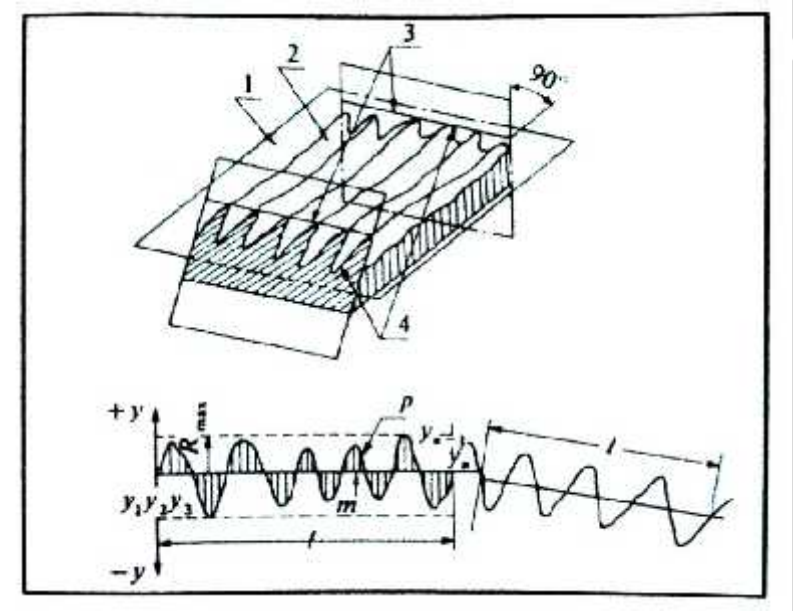
Kekasaran permukaan adalah salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi pemotongan dari proses permesinan. Oleh karena itu, untuk memperoleh produk bermutu berupa tingkat kepresisian yang tinggi serta kekasaran permukaan yang baik, perlu didukung

oleh proses permesinan yang tepat. Karakteristik kekasaran permukaan dipengaruhi oleh faktor kondisi pemotongan.

Untuk menentukan kekasaran permukaan hasil pemotongan suatu material, ada beberapa cara yang umum digunakan dalam penentuan tingkat kekasaran permukaan antara lain :

1. Penyimpangan rata – rata aritmetik (Ra)

   Adalah harga rata – rata dari titik ordinat – ordinat profil efektif garis rata – ratanya. Profil efektif berarti garis yang terbentuk dari potongan permukaan efektif oleh sebuah bidang yang telah ditentukan secara konvensional terhadap permukaan geometris seperti terlihat pada gambar 2.19. Ordinat – ordinat (y_1, y_2 ,y_3,..., y_n) dijumlahkan tanpa memperhitungkan tandanya.



Gambar 2.19 Penyimpangan Rata–Rata Aritmetik dari Garis Rata–Rata Profil
Sumber : Sato (1996 : 182)

Keterangan :

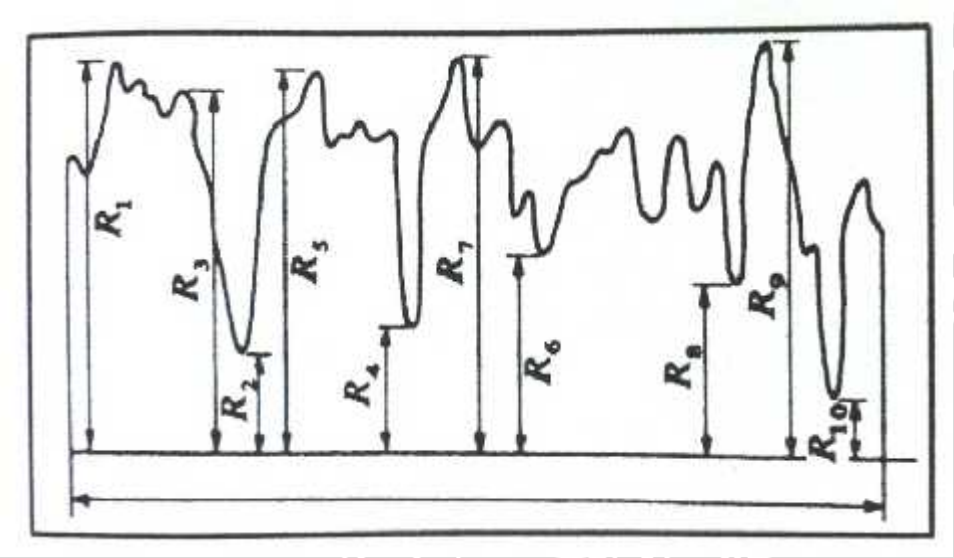
1 = Permukaan geometris	P = Profil efektif
2 = Permukaan efektif	*l* = Panjang contoh
3 = Profil geometris	m = Garis rata - rata
4 = Profil efektif	

Dimana *l* adalah panjang contoh yang telah ditentukan, yaitu panjang dari profil efektif yang diperlukan untuk menentukan kekasaran permukaan dari permukaan yang diteliti.

2. Ketidakrataan ketinggian sepuluh titik (R_z)

Ketidakrataan ketinggian sepuluh titik (R_z) merupakan jarak rata – rata antara lima puncak tertinggi dan lima lembah terdalam pada jarak tertentu, yang diukur dari garis sejajar dengan garis rata – rata dan tidak memotong profil tersebut. Berikut contoh profil ketidakrataan ketinggian sepuluh titik (R_z) dapat dilihat pada gambar 2.20. nilai R_z dapat dihitung berdasarkan rumus :

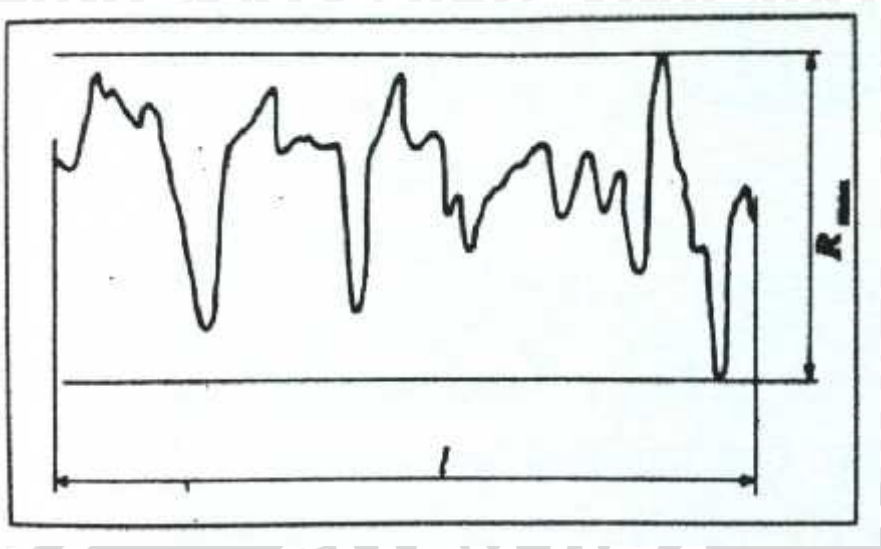
$$R_z = \frac{(R + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5}$$



Gambar 2.20 Ketinggian Sepuluh Titik (R_z) dari Ketidakrataan
Sumber : Sato (1996 : 182)

3. Ketidakrataan ketinggian maksimum ($R_{maksimum}$)

Ketidakrataan ketinggian maksimum ($R_{maksimum}$) merupakan jarak antara pucak tertinggi dengan lembah terendah. ($R_{maksimum}$) dapat disebut juga dengan R_t. Berikut contoh profil ketidakrataan ketinggian maksimum ($R_{maksimum}$) dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Ketinggian Maksimum ($R_{maksimum}$) dari Ketidakrataan
Sumber : Sato (1996 : 182)

Untuk memperoleh profil suatu permukaan, digunakan suatu alat ukur yang disebut *surface tester*. Dimana jarum peraba dari alat ukur bergerak mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan disebut dengan panjang pengukuran sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti, maka secara elektronis alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang diperoleh dari jarum peraba. Bagian dari panjang ukuran yang dianalisa dari profil permukaan disebut sebagai panjang sampel.

2.9 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka yang ada, maka dapat diambil hipotesa (dugaan sementara) sebagai berikut: Permukaan logam yang tidak rata akan memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan (kutub positif dan negatif), yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda pada reaksi elektrokimia. Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial dan memiliki kecenderungan untuk menjadi anode yang terkorosi. Dengan adanya perubahan potensial elektroda maka akan meningkatkan laju reaksi elektrokimia. Olek karena itu semakin kasar permukaan maka semakin besar laju korosi yang terjadi.

BAB III
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penelitian eksperimental nyata *(true experimental research)* yang bertujuan mengetahui pengaruh kekasaran permukan terhadap laju korosi baja API 5L dalam larutan asam, basa, dan garam. Pengkajian literatur dari berbagai sumber baik berupa buku, jurnal penelitian maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari 2014 - Maret 2014. Penelitian uji *weight loss* dilakukan di Laboratorium Proses Produksi I, Laboratorium Pengujian Bahan dan Laboratorium Metrologi Industri, jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan adalah:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Variasi kekasaran permukaan (µm) dengan perbedaan grid kertas amplas : 220, 600, dan 1000.
b. Variasi larutan: larutan asam sulfat, larutan NaCl, dan larutan amonia.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya yaitu laju korosi.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dibuat konstan dalam suatu penelitian. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah :

a. Konsentrasi larutan asam sulfat, NaCl, dan amonia : 1M
b. Volume tiap larutan : 100 mL
c. Dimensi spesimen uji yaitu 25 mm × 20 mm × 5 mm
d. Waktu perendaman selama 7 hari (168 jam)
e. Temperatur lingkungan dianggap konstan selama perendaman berlangsung

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Power Hacksaw*

   Alat ini digunakan untuk memotong spesimen.

   Spesifikasi :

   - Tegangan : 220 V
   - Frekuensi : 50-60 Hz
   - Daya : 2.34 Kw

Gambar 3.1 *Power Hacksaw*

Sumber : Laboratorium Proses Produksi I Universitas Brawijaya

2. Gelas beker

   Digunakan sebagai tempat larutan asam sulfat, air garam, amonia dan perendaman spesimen dengan konsentrasi yang sudah ditentukan.

   Spesifikasi :

   - Merk : Duran
   - Buatan : Jerman
   - Kapasitas : 250 ml
   - Tahan pada : ± 200°C

Gambar 3.2 Gelas Beker
Sumber : Makmur Sejati

3. Timbagan digital

   Digunakan untuk menimbang berat spesimen sebelum dan sesudah direndam dalam larutan yang telah ditentukan. Timbangan yang digunakan yaitu merk Mettler Toledo dengan ketelitian hingga 0,0001 gram.

   Spesifikasi :

   - Merk : Mettler Toledo
   - Tipe : AL 204
   - Tegangan : 220 V
   - Frekuensi : 50-60 Hz
   - Arus : 0,3 A
   - Daya : 10 Watt
   - Ketelitian : 0,0001 gram

Gambar 3.3 Timbangan Elektrik

Sumber : Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya

4. *Centrifugal Sandpaper Machine*

   Digunakan untuk menggosok atau mengamplas permukaan spesimen uji.

   Spesifikasi :

   - Merk : Saphir
   - Buatan : Jerman
   - Roda kerja : 200-250 mm
   - Daya : 1.5 kVa
   - Tegangan : 230 V
   - Frekuensi : 50-60 Hz
   - Kecepatan putar roda kerja hingga 600 rpm

Gambar 3.4 *Centrifugal Sandpaper Machine*

Sumber : Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya

5. *Portable Surface Roughness Tester*

   Alat ini digunakan untuk menentukan nilai kekasaran permukaan setelah melalui proses pengamplasan.

   - Merk : Mitutoyo
   - Tipe : SJ-301

Gambar 3.5 *Portable Surface Roughness Tester*

Sumber : Laboratorium Metrologi Industri Universitas Brawijaya

6. Kertas Gosok (Amplas)

   Digunakan untuk membersihkan dan menghaluskan permukaan spesimen pada *Centrifugal Sandpaper Machine*. Jenis amplas yang digunakan adalah amplas besi *open coat* dalam bentuk lembaran. Amplas jenis *open coat* ini cocok untuk pengamplasan pada bahan finishing. Grid yang digunakan adalah 220, 600, dan 1000.

7. Sarung Tangan

   Digunakan untuk melindungi tangan dari larutan asam sulfat, air laut, dan amonia.

8. Penjepit

   Untuk mengangkat spesimen setelah direndam dalam gelas beker.

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Material

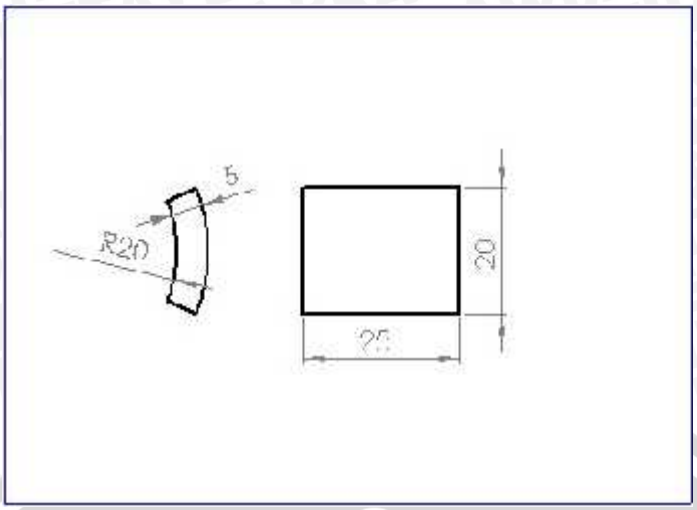
   Material atau spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja API (*American Petroleum Institute*) 5L *grade* B *schedule* 80. Material tersebut mempunyai nama material API 5L dengan *grade* B yang menunjukkan nilai kekuatan dan komposisi kimianya. *Schedule* 80 untuk menunjukkan dimensi ketebalan materialnya dan material ini memiliki densitas 7,85 g/cm^3 dengan komposisi kimia sebagai berikut :

   - Karbon (C) : 0,20 %
   - Mangan (Mn) : 0,55 %
   - Sulfur (S) : 0,011 %
   - Fosfor (P) : 0,007 %
   - Kromium (Cr) : 0,03 %
   - Nikel (Ni) : 0,05 %
   - Silikon (Si) : 0,22 %
   - Tembaga (Cu) : 0,10 %
   - Besi (Fe) : 98,83 %

2. Dimensi Spesimen

   Dimensi dari spesimen baja API 5L *grade* B *schedule* 80 adalah sebagai berikut :

   - Panjang : 25 mm
   - Lebar : 20 mm
   - Tebal : 5 mm
   - Luas permukaan : 1450 mm^2 = 14,5 cm^2



Gambar 3.6 Dimensi Spesimen

3. Larutan

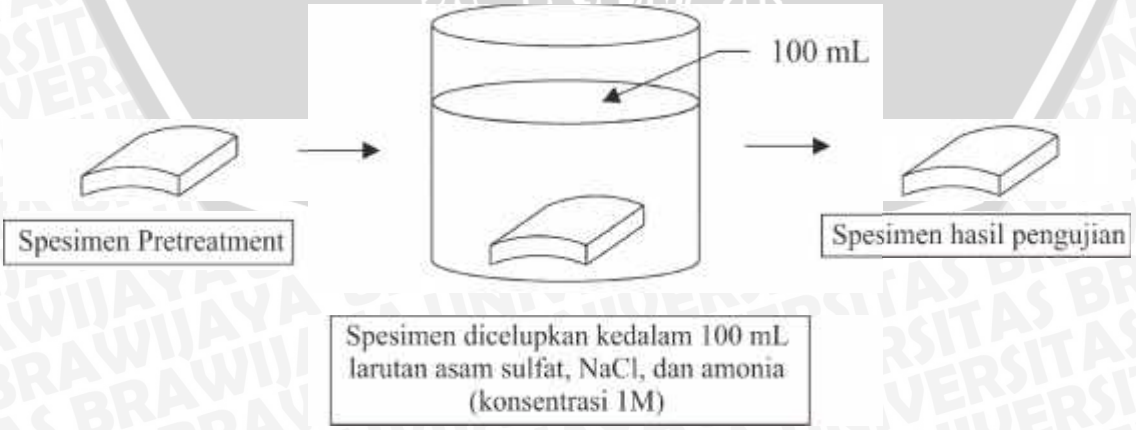
   Larutan asam sulfat, NaCl, dan amonia yang digunakan dalam penelitian ini dengan volume 100 mL dan konsentrasi 1M (Molaritas), yaitu satuan konsentrasi larutan yang menyatakan banyaknya mol zat terlarut dalam 1 liter larutan.

4. Aquades

   Aquades digunakan untuk mencuci spesimen setelah dilakukan perendaman dalam larutan asam sulfat, air laut, dan amonia.

3.4 Instalasi Penelitian

Berikut disajikan gambar 3.7 menjelaskan model penelitian untuk menguji laju korosi dengan metode *weight loss* :



Gambar 3.7 Model Penelitian Korosi

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Prosedur Penyiapan Spesimen

1. Potong pipa baja API 5L *grade* B *schedule* 80 dengan ukuran 25 mm x 20 mm x 5 mm.
2. Bersihkan kotoran–kotoran yang menempel pada spesimen uji.
3. Gosok spesimen dengan grid amplas 220, 600, dan 1000 masing-masing selama ± 10 menit.
4. Mencuci spesimen dengan aquades lalu dikeringkan.
5. Mengukur tingkat kekasaran permukaan dengan alat *Portable Surface Roughness Tester*.
6. Setelah didapatkan nilai kekasaran permukaan pada spesimen, kemudian akan dilakukan pengujian laju korosi dengan metode *weight loss*.

3.5.2 Prosedur Pembuatan Larutan dengan Konsentrasi 1M (Molaritas)

Berikut ini adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan larutan asam sulfat (H_2SO_4) dengan konsentrasi 1M :

1. Persiapkan gelas beker, aquades, dan larutan asam sulfat (diketahui : konsentrasi 98% dan volume 500 mL)
2. Menghitung massa larutan :
   Volume x Massa jenis larutan
   = 500 mL x 1,84 gr/mL = 920 gr
3. Menghitung massa asam sulfat :
   % asam sulfat x massa larutan
   = 98% x 920 gr = 901,6 gr
4. Menghitung mol asam sulfat :
   Massa / Mr (massa relatif)
   = 901,6 gr / 98 = 9,2 mol
5. Menghitung konsentrasi dalam molar larutan asam sulfat pekat :
   Mol asam sulfat / volume larutan
   = 9,2 mol / 0,5 L = 18,4 Molar
6. Karena konsentrasi asam sulfat pekat sudah diketahui maka untuk mencari berapa banyak asam sulfat yang diperlukan untuk membuat larutan asam sulfat 1 M sebanyak 100 mL adalah :

M x Volume asam sulfat pekat = M x Volume asam sulfat 1M

18.4 x Volume asam sulfat pekat = 1 x 0,1 liter

V asam sulfat pekat = 0,054 L = 5,4 mL

7. Jadi untuk membuat 100 mL larutan asam sulfat 1M dari asam sulfat pekat 98% adalah dengnan memipet 5,4 mL asam sulfat pekat kemudian diencerkan dengan aquades hingga volumenya 100 mL.
8. Untuk membuat 100 mL larutan NaCl dan amonia digunakan cara yang sama seperti langkah 1-7. Yang membedakan hanyalah Mr (massa relatif), massa jenis, dan konsentrasi (%) larutan masing-masing senyawa.

3.5.3 Prosedur Penelitian Uji *Weight Loss*

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian metode *weight loss* adalah:

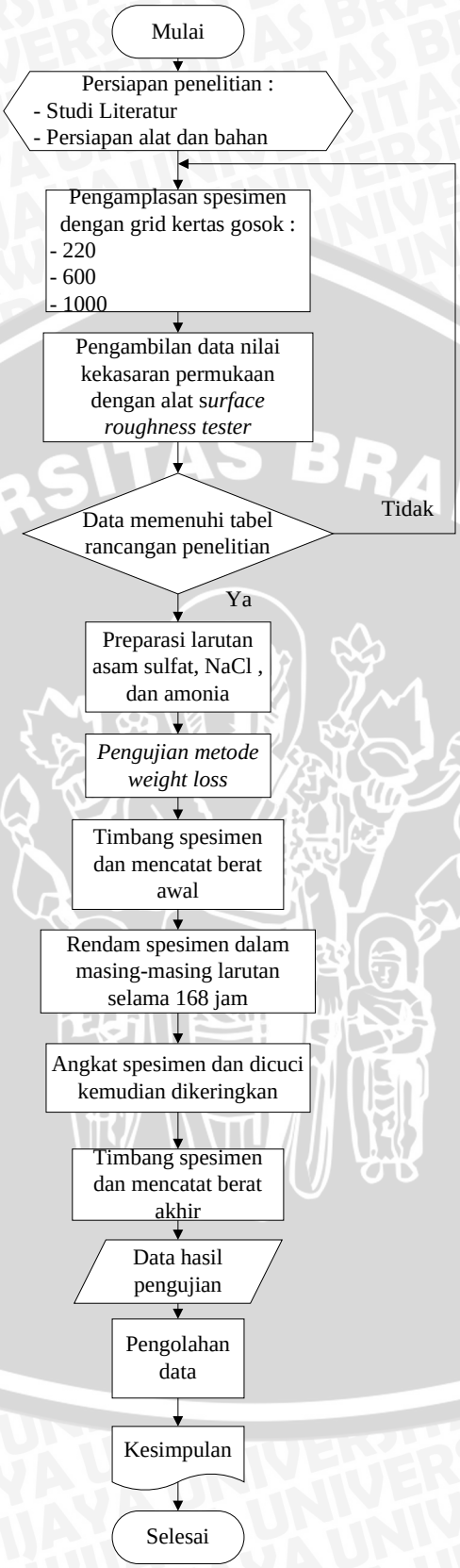
1. Persiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan
2. Bersihkan dan haluskan permukaan spesimen dengan menggunakan grid amplas sesuai dengan yang terlah ditentukan.
3. Spesimen dicuci dengan aquades dan dibersihkan dengan kain
4. Timbang berat awal setiap spesimen
5. Masukkan spesimen ke dalam gelas beker yang sudah berisi 100 mL larutan asam sulfat, NaCl, dan amonia (konsentrasi 1M)
6. Saat tepat 7 hari (168 jam), angkat semua spesimen lalu dicuci dengan aquades dan dikeringkan.
7. Setelah kering, spesimen kemudian ditimbang untuk memperoleh berat akhir.

3.5.4 Prosedur Pengambilan dan Pengolahan Data

Langkah – langkah yang dilakukan untuk mengetahui besar laju korosi dengan uji *weight loss* yaitu :

1. Mencatat berat awal spesimen dan berat akhir setelah perendaman dengan 100 mL larutan asam sulfat, NaCl, dan amonia (konsentrasi 1M)
2. Menghitung berat yang hilang dengan cara berat awal dikurangi dengan berat akhir setelah perendaman dengan larutan yang telah ditentukan.
3. Berat yang hilang digunakan untuk menghitung besar laju korosi

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian ini dilakukan unuk mengetahui nilai kekasaran permukaan dari spesimen setelah proses pengamplasan. Untuk memperoleh profil suatu permukaan, dalam percobaan ini digunakan suatu alat ukur yang disebut *Portable Surface Roughness Tester*. Dimana jarum peraba dari alat ukur bergerak mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang ditentukan terlebih dahulu, yaitu 4 mm. Panjang lintasan disebut dengan panjang pengukuran sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti, maka secara elektronis alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang diperoleh dari jarum peraba.

Tingkat kekasaran permukaan spesimen setelah melalui proses pengamplasan dengan grid amplas 220, 600, dan 1000 ditunjukkan dalam Tabel 4.1, dengan toleransi nilai kekasaran permukaan ± 0,02 µm untuk masing-masing grid amplas.

Tabel 4.1 Tingkat Kekasaran Permukaan

Kertas gosok (grid amplas)	Kekasaran permukaan (µm)	Rata-rata kekasaran permukaan (µm)
220	0,75	0,7433
	0,74	
	0,74	
600	0,66	0,6533
	0,65	
	0,65	
1000	0,59	0,6033
	0,61	
	0,61	

Dari tabel 4.1 dapat dijelaskan bahwa semakin besar nilai dari grid amplas maka kekasaran permukaan yang didapatkan akan semakin kecil. Grid amplas ini akan mentukan kehalusan dari permukaan yang dihasilkan dari proses pengamplasan. Semakin tinggi grid

amplas maka semakin halus amplas tersebut, dengan kata lain daya kikisnya akan semakin berkurang dan semakin halus pula permukaan yang diamplasnya. Sebaliknya semakin rendah grid amplas, maka semakin kasar amplas tersebut, semakin kuat daya kikisnya dan semakin kasar permukaan yang dihasilkannya.

4.2 Data Hasil Pengujian *Weight Loss*

Data laju korosi diperoleh dari rumus perhitungan *weight loss* sesuai dengan persamaan 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]

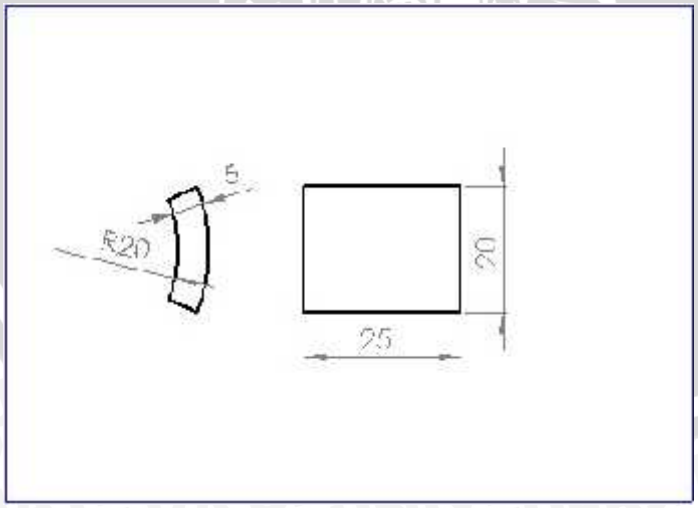
W = massa yang hilang [gram]

A = luas permukaan spesimen [cm^2]

t = waktu perendaman [jam]

D = densitas spesimen [g/cm^3]

Dimensi spesimen :



Gambar 4.1 Dimensi Spesimen

Contoh perhitungan laju korosi baja API 5L *grade* B *schedule* 80 yang direndam dalam larutan asam sulfat 1M dengan waktu perendaman 168 jam dan dengan kekasaran permukaan spesimen 0,74 µm (grid amplas 220) :

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

$$CR = \frac{3{,}45 \times 10^6 \times 3{,}094\ gr}{14{,}5\ cm^2 \times 168\ jam \times 7{,}85\ gr/cm^3}$$

$$CR = \frac{10675335}{19122{,}6}$$

$$CR = 558{,}2575068 \text{ mpy}$$

Data hasil pengujian laju korosi baja API 5L *grade* B *schedule* 80 dalam variasi larutan dan kekasaran permukaan ditunjukkan pada Tabel 4.2

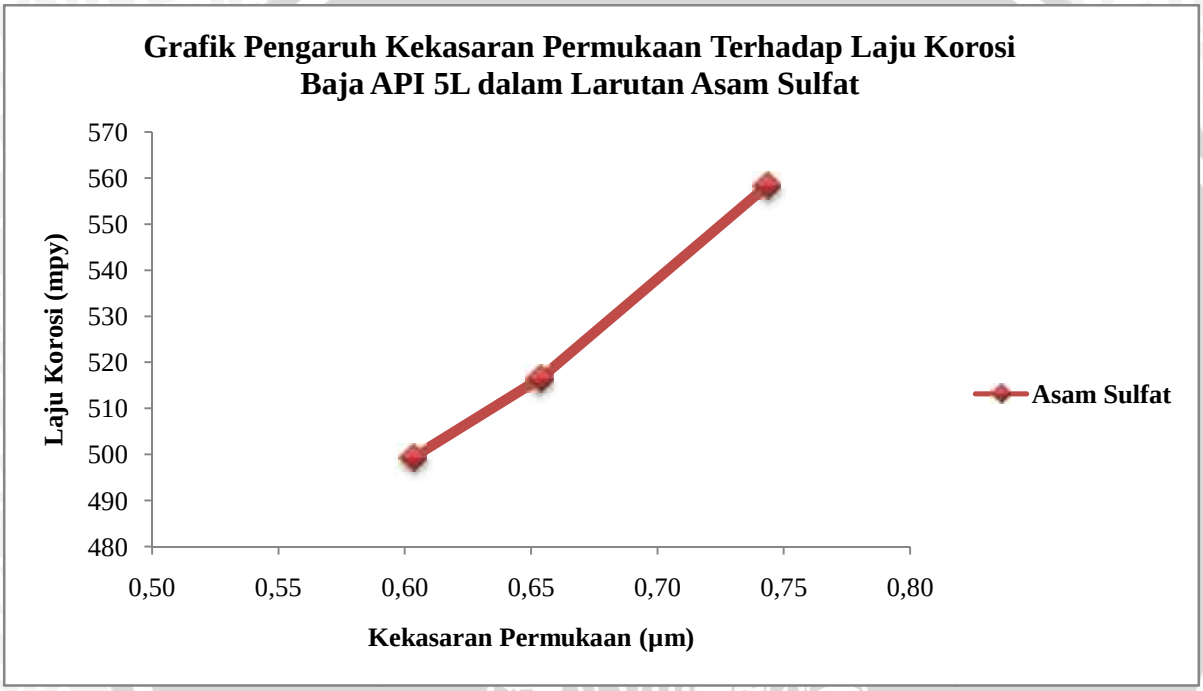
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Laju Korosi Baja API 5L *grade* B *schedule* 80

No.	Jenis Larutan	Kekasaran Permukaan (µm)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Berat Hilang (gram)	Laju Korosi (mpy)
1	Asam sulfat	0,74	13,9696	10,8753	3,0943	558,2575068
2		0,65	17,0983	14,2362	2,8621	516,3651909
3		0,60	18,397	15,6293	2,7677	499,3340341
4	NaCl	0,74	14,9208	14,8982	0,0226	4,077374416
5		0,65	14,5601	14,5426	0,0175	3,15725895
6		0,60	18,5542	18,5441	0,0101	1,822189451
7	Amonia	0,74	16,7000	16,6999	0,0001	0,01804148
8		0,65	16,5854	16,5854	0,0000	0
9		0,60	16,4217	16,4217	0,0000	0

4.3 Analisa Grafik dan Pembahasan

4.3.1 Laju Korosi Baja API 5L *Grade* B *Schedule* 80 dalam Larutan Asam Sulfat

Pengaruh kekasaran permukaan terhadap laju korosi baja API 5L dalam larutan asam sulfat ditunjukkan seperti pada Gambar 4.2. Asam sulfat merupakan asam yang kuat, sehingga asam sulfat memiliki nilai pH < 7. Semakin rendah nilai pH maka laju korosi akan semakin meningkat, karena adanya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katoda. Adanya reaksi reduksi tambahan pada katoda menyebabkan lebih banyak atom logam yang teroksidasi sehingga laju korosi pada permukaan logam semakin besar.



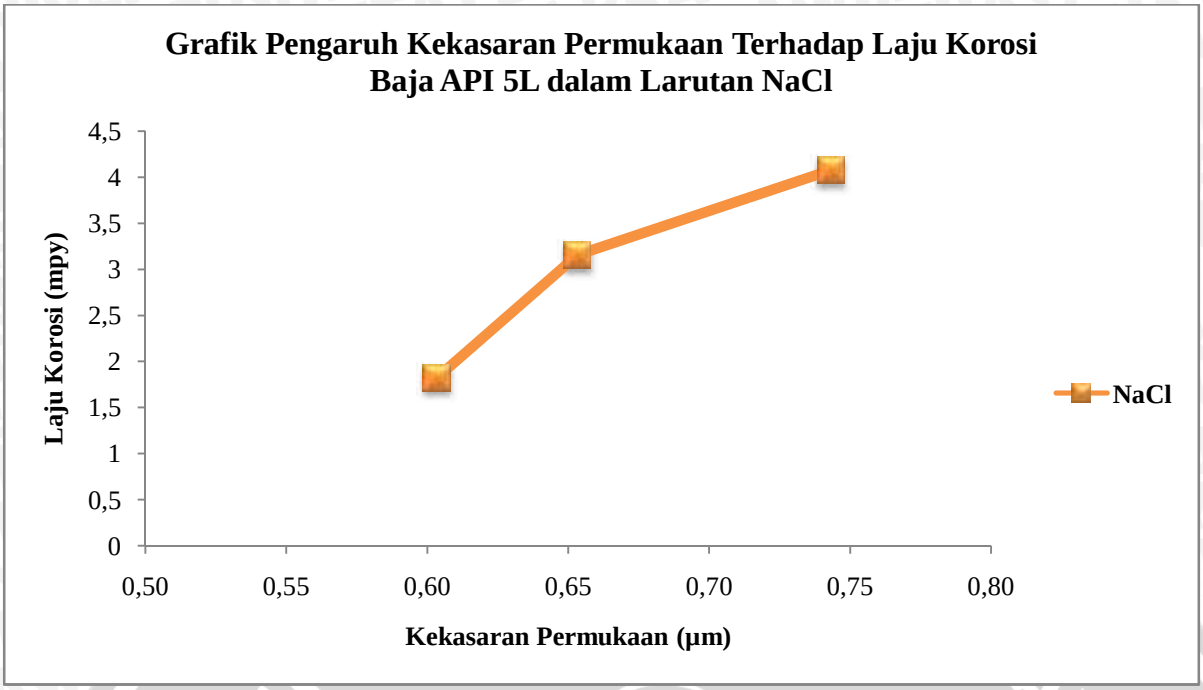
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan Asam Sulfat

Gambar 4.2 menjelaskan hubungan antara kekasaran permukaan dengan laju korosi baja API 5L dalam larutan asam sulfat secara grafis. Pada kekasaran permukaan 0,60 µm, laju korosi baja API 5L yaitu 499,334 mpy, pada kekasaran permukaan 0,65 µm laju korosinya 516,365 mpy, dan pada kekasaran permukaan 0,74 µm laju korosi baja API 5L adalah 558,258 mpy. Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial pada permukaan, semakin kasar maka semakin tinggi beda potensial antar permukaan tersebut, hal ini menyebabkan permukaan tersebut memiliki kecenderungan untuk menjadi anoda yang terkorosi. Semakin kasar permukaan suatu logam menyebabkan ketidak homogenan pada permukaan (permukaan tidak rata), hal ini memudahkan terjadinya korosi.

Permukaan logam yang tidak rata akan memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda. Permukaan logam yang halus dan bersih akan menyebabkan korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anoda dan katoda . Maka dari itu laju korosi akan semakin meningkat seiring bertambah kasarnya permukaan logam. Dari gambar 4.2 juga dapat dilihat bahwa hasil terbaik (laju korosi terendah) yang didapatkan ada pada kekasaran permukaan 0,60 µm, yaitu dengan laju korosi 499,334 mpy. Sedangkan kenaikan laju korosi paling signifikan terdapat pada rentang kekasaran permukaan 0,65 – 0,74 µm. Dengan nilai laju korosi > 200 mpy, menjadikan baja API 5L dalam larutan asam sulfat memiliki tingkat resistensi korosi dengan kategori '*unacceptable*' (berdasarkan Tabel 2.1). Material dalam kategori ini merupakan material yang memiliki tingkat resistensi korosi yang paling buruk sehingga sangat mudah terkorosi. Berdasarkan hal tersebut, material baja API 5L tidak cocok digunakan dalam lingkungan asam sulfat.

4.3.2 Laju Korosi Baja API 5L *Grade* B *Schedule* 80 dalam Larutan NaCl

Pengaruh kekasaran permukaan terhadap laju korosi baja API 5L dalam larutan NaCl (garam) ditunjukkan dalam Gambar 4.3. Ketika material logam direndam dan mengalami kontak secara langsung dengan larutan elektrolit seperti halnya NaCl, maka akan memicu terjadinya reaksi elektrokimia. Keberadaan elektrolit, seperti garam dalam larutan NaCl dapat mempercepat laju korosi dengan menambah terjadinya reaksi tambahan. Ada beberapa kandungan garam-garaman yang mempengaruhi tingkat korosifitas seperti ion klorida dan ion sulfat. Ion klorida sangat berbahaya dalam peristiwa korosi sebab klorida dapat mempercepat korosi pada logam. Ion-ion yang ada dalam garam berperan penting sebagai alat transportasi elektron. Konsentrasi elektrolit yang besar dapat meningkatkan laju aliran elektron sehingga laju korosi meningkat. Jika semakin banyak kandungan garam maka semakin banyak pula alat transportasi untuk menghantarkan elektron. Saat semakin banyak elektron karena alat transportasinya semakin banyak yang dapat dihantarkan mengakibatkan semakin memudahkan elektron bergerak dalam arus listrik.



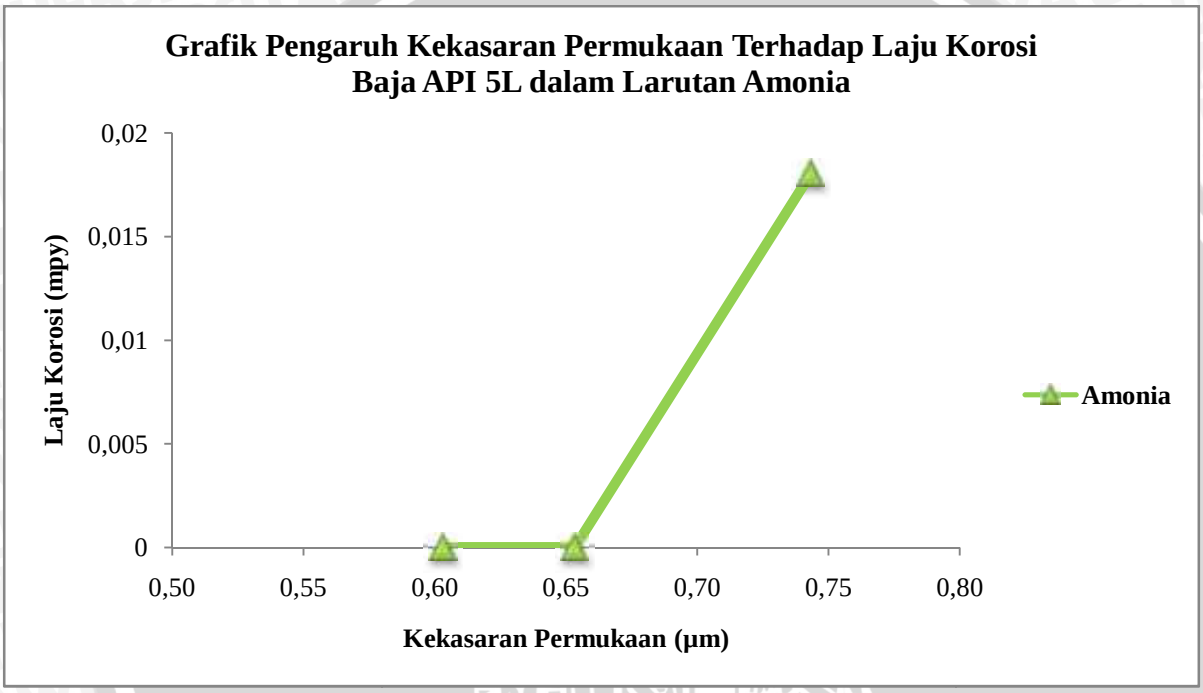
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan NaCl

Gambar 4.3 menjelaskan hubungan antara kekasaran permukaan dengan laju korosi baja API 5L dalam larutan NaCl secara grafis. Pada kekasaran permukaan 0,60 µm, laju korosi baja API 5L yaitu 1,822 mpy, pada kekasaran permukaan 0,65 µm laju korosinya 3,157 mpy, dan pada kekasaran permukaan 0,74 µm laju korosi baja API 5L adalah 4,077 mpy. Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial pada permukaan, semakin kasar maka semakin tinggi beda potensial antar permukaan tersebut, hal ini menyebabkan permukaan tersebut memiliki kecenderungan untuk menjadi anoda yang terkorosi. Semakin kasar permukaan suatu logam menyebabkan ketidak homogenan pada permukaan (permukaan tidak rata), hal ini memudahkan terjadinya korosi. Permukaan logam yang tidak rata akan memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda. Permukaan logam yang halus dan bersih akan menyebabkan korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anoda dan katoda . Maka dari itu laju korosi akan semakin meningkat seiring bertambah kasarnya permukaan logam. Dari gambar 4.3 juga dapat dilihat bahwa hasil terbaik (laju korosi terendah) yang didapatkan ada pada kekasaran permukaan 0,60 µm, yaitu dengan laju korosi 1,822 mpy. Sedangkan kenaikan laju korosi paling signifikan terdapat pada rentang kekasaran permukaan 0,65 – 0,74 µm. Dengan nilai laju korosi antara 1-5 mpy, menjadikan baja API 5L dalam larutan NaCl memiliki tingkat resistensi korosi dengan

kategori '*excellent*'. Material dalam kategori ini merupakan material yang memiliki tingkat resistensi korosi yang sangat baik. Maka dari itu, baja API 5L merupakan material yang sangat baik digunakan dalam lingkungan garam seperti halnya air laut.

4.3.3 Laju Korosi Baja API 5L *Grade* B *Schedule* 80 dalam Larutan Amonia

Pengaruh kekasaran permukaan terhadap laju korosi baja API 5L dalam larutan amonia ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



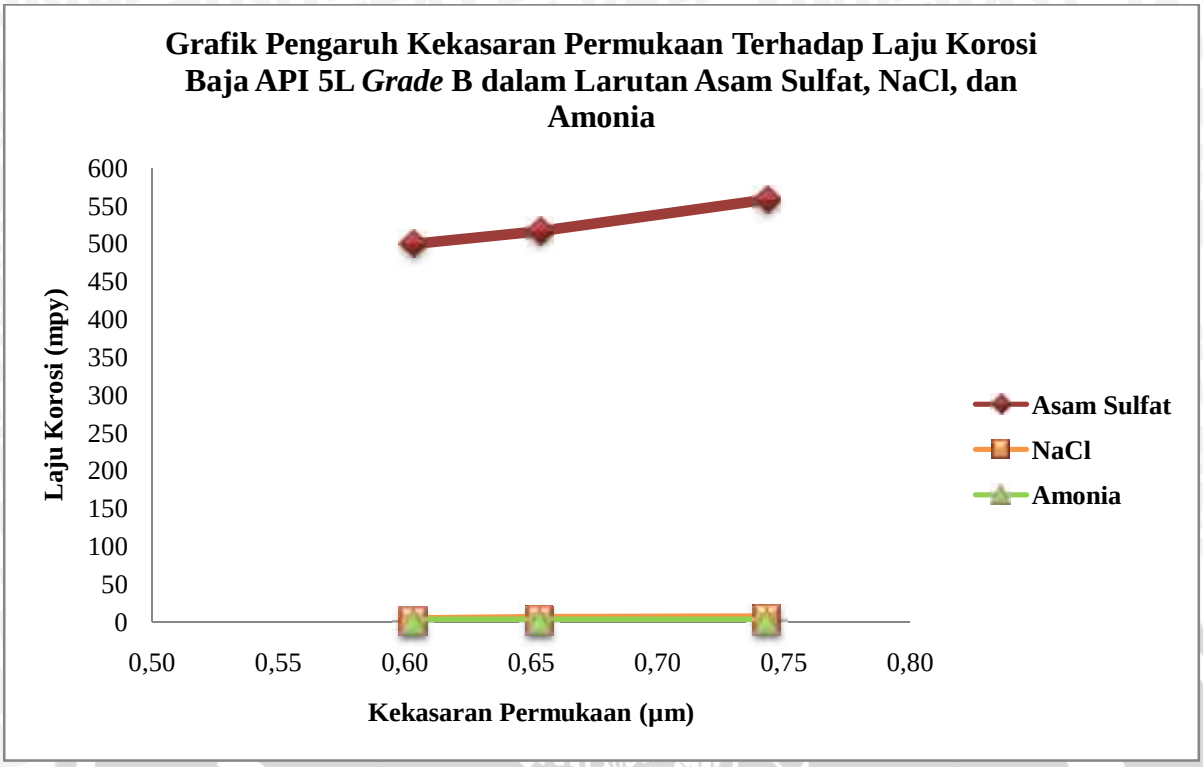
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan Amonia

Gambar 4.4 menjelaskan hubungan antara kekasaran permukaan dengan laju korosi baja API 5L dalam larutan amonia secara grafis. Pada kekasaran permukaan 0,60 µm laju korosi baja API 5L yaitu 0 mpy, pada kekasaran permukaan 0,65 µm laju korosinya juga 0 mpy, dan pada kekasaran permukaan 0,74 µm laju korosinya adalah 0,018 mpy. Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial pada permukaan, semakin kasar maka semakin tinggi beda potensial antar permukaan tersebut, hal ini menyebabkan permukaan tersebut memiliki kecenderungan untuk menjadi anoda yang terkorosi. Semakin kasar permukaan suatu logam menyebabkan ketidak homogenan pada permukaan (permukaan tidak rata), hal ini memudahkan terjadinya korosi. Permukaan logam yang tidak rata akan memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai

anoda dan katoda. Permukaan logam yang halus dan bersih akan menyebabkan korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anoda dan katoda. Maka dari itu laju korosi akan semakin meningkat seiring bertambah kasarnya permukaan logam. Namun dari hasil yang didapatkan pada kekasaran permukaan 0,61 µm dan 0,65 µm tidak terjadi perubahan berat sebelum dan setelah perendaman dalam larutan amonia, jadi dapat dikatakan bahwa material tersebut belum terkorosi (laju korosi 0 mpy). Sedangkan pada kekasaran permukaan 0,74 µm terjadi pengurangan berat setelah perendaman yaitu sebesar 0,0001 gram dari berat awalnya (sebelum direndam). Hal ini dikarenakan larutan amonia adalah larutan yang bersifat basa. Dalam larutan basa material akan sulit terkorosi karena tidak adanya reaksi reduksi tambahan (seperti pada larutan asam dan garam) yang berlangsung pada katoda yang menyebabkan lebih sedikit atom logam yang teroksidasi, sehingga laju korosi pada permukaan logam pada kekasaran permukaan 0,61 µm dan 0,65 µm adalah 0 mpy. Perlu waktu perendaman yang lebih lama untuk melihat besarnya laju korosi pada tingkat kekasaran permukaan 0,61 µm dan 0,65 µm. Dari gambar 4.4 juga dapat dilihat bahwa hasil terbaik (laju korosi terendah) yang didapatkan ada pada kekasaran permukaan 0,60 µm dan 0,65 µm, yaitu dengan laju korosi 0 mpy. Sedangkan kenaikan laju korosi paling signifikan terdapat pada rentang kekasaran permukaan 0,65 – 0,74 µm. Dengan nilai laju korosi < 1 mpy, menjadikan baja API 5L dalam larutan amonia memiliki tingkat resistensi korosi dengan kategori '*outstanding*'. Material dalam kategori ini merupakan material yang memiliki tingkat resistensi korosi yang paling baik (berdasarkan Tabel 2.1).

4.3.4 Perbandingan Laju Korosi Baja API 5L *Grade* B *Schedule* 80 dalam Larutan Asam, Basa, dan Garam

Pengaruh kekasaran permukaan terhadap laju korosi baja API 5L dalam larutan asam (asam sulfat), basa (amonia), dan garam (NaCl) ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L dalam Larutan Asam Sulfat, NaCl, dan Amonia

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat perbandingan laju korosi baja API 5L dalam larutan asam (asam sulfat), basa (amonia), dan garam (NaCl). Laju korosi tertinggi ada pada larutan asam sulfat, kemudian larutan NaCl dan yang terendah laju korosinya adalah larutan amonia. Korosi merupakan reaksi elektrokimia. Secara umum korosi logam melibatkan beberapa reaksi sebagai berikut :

1. Reaksi oksidasi logam pada anoda :

   $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

2. Reaksi reduksi pada katoda :

   - Reduksi O_2 menjadi H_2O (dalam kondisi asam)

     $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

   - Reduksi O_2 menjadi ion OH^- (dalam kondisi netral atau basa)

     $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

   - Evolusi atau pembentukan gas H_2

     $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

   - Reduksi ion logam

     $Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$

- Pengendapan logam

$3Na^{+} + 3e^{-} \rightarrow 3Na$

Reaksi katodik dimana oksigen dari udara akan larut dalam larutan terbuka. Reaksi korosi tersebut sebagai berikut :

$Fe^{3+} + O^{2-} \rightarrow Fe_2O_3$

Peristiwa korosi pada struktur pipa, harus melibatkan syarat-syarat di atas. Peristiwa korosi pada struktur pipa memiliki reaksi anoda dan katoda :

- Reaksi anodik : $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$
- Reaksi katodik : $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$
- Reaksi keseluruhan : $2Fe + O_2 + 2H_2O \rightarrow Fe2^{+} + 4OH^{-} = 2Fe(OH)_2$

Pada kondisi netral (NaCl) atau basa (amonia), ion Fe^{2+} dan OH^{-} selanjutnya membentuk endapan $Fe(OH)_2$. Di udara, $Fe(OH)_2$ tidak stabil dan membentuk $Fe_2O_3\ xH_2O$. Inilah yang disebut karat. Asam sulfat memiliki nilai laju korosi yang paling tinggi, hal ini terjadi karena pengaruh pH lingkungan yang merupakan derajat keasaman dari lingkungan yang mengindikasi konsentrasi H^{+} dalam lingkungan tersebut. Pada kondisi asam, banyaknya ion H^{+} memicu terjadinya reaksi reduksi lainnya yang juga berlangsung, yakni evolusi atau pembentukan hidrogen menurut persamaan reaksi:

$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$

Adanya 2 reaksi di katode pada kondisi asam menyebabkan lebih banyak logam besi yang teroksidasi. Hal ini menjelaskan mengapa korosi logam pada kondisi asam lebih besar daripada korosi dalam kondisi netral (NaCl) atau basa (amonia).

. Peristiwa korosi pada kondisi asam, yakni pada kondisi pH < 7 dan peristiwa korosi pada kondisi basa dengan pH > 7. Semakin rendah nilai pH maka laju korosi akan semakin meningkat, hal ini sesuai dengan diagram *Pourbaix* yang menggambarkan hubungan antara pH dengan potensial reaksi, yang digunakan untuk mengetahui aspek termodinamika suatu reaksi elektrokimia atau reaksi korosi dan juga untuk memprediksi reaksi dan produk korosi suatu material pada lingkungan dengan derajat keasaman tertentu. Dalam diagram ini semakin rendah pH maka material akan berada dalam daerah dimana logam akan mengalami korosi.

Sedangkan pada larutan NaCl, ketika material logam direndam dan mengalami kontak secara langsung dengan larutan elektrolit seperti halnya NaCl, maka akan memicu

terjadinya reaksi elektrokimia. Keberadaan elektrolit, seperti garam dalam larutan NaCl dapat mempercepat laju korosi dengan menambah terjadinya reaksi tambahan. Ada beberapa kandungan garam-garaman yang mempengaruhi tingkat korosifitas seperti ion klorida dan ion sulfat. Ion klorida sangat berbahaya dalam peristiwa korosi sebab klorida dapat mempercepat korosi pada logam. Ion-ion yang ada dalam garam berperan penting sebagai alat transportasi elektron. Konsentrasi elektrolit yang besar dapat meningkatkan laju aliran elektron sehingga laju korosi meningkat. Jika semakin banyak kandungan garam maka semakin banyak pula alat transportasi untuk menghantarkan elektron. Saat semakin banyak elektron karena alat transportasinya semakin banyak yang dapat dihantarkan mengakibatkan semakin memudahkan elektron bergerak dalam arus listrik. Maka dari itu laju korosi dalam larutan NaCl lebih besar ketimbang dalam larutan amonia yang bersifat basa.

Dari gambar 4.5 juga dapat dilihat bahwa dimana saat nilai kekasaran permukaan bertambah besar, maka laju korosi juga akan semakin besar (berbanding lurus). Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial pada permukaan, semakin kasar maka semakin tinggi beda potensial antar permukaan tersebut, hal ini menyebabkan permukaan tersebut memiliki kecenderungan untuk menjadi anoda yang terkorosi. Semakin kasar permukaan suatu logam menyebabkan ketidak homogenan pada permukaan (permukaan tidak rata), hal ini memudahkan terjadinya korosi. Permukaan logam yang tidak rata akan memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda. Permukaan logam yang halus dan bersih akan menyebabkan korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anoda dan katoda. Maka dari itu laju korosi akan semakin meningkat seiring bertambah kasarnya permukaan logam.

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian ini kekasaran permukaan berpengaruh terhadap laju korosi dari baja API 5L, dimana semakin bertambahnya nilai kekasaran permukaan maka semakin besar pula laju korosinya. Dan hasil terbaik (laju korosi terendah) yang didapatkan ada pada kekasaran permukaan 0,60 µm untuk masing-masing larutan pada penelitian ini.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan perhitungan data diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Kekasaran permukaan berpengaruh terhadap laju korosi dari baja API 5L *grade* B *schedule* 80. Dimana semakin besar nilai kekasaran permukaan dari baja API 5L maka semakin besar pula laju korosinya.
2. Hasil terbaik (laju korosi terendah) yang didapatkan dari penelitian adalah pada kekasaran permukaan 0,60 µm untuk masing-masing larutan (asam sulfat, NaCl, dan amonia).

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kekasaran permukaan dengan variasi waktu perendaman dan penggunaan metode yang lebih modern dan akurat untuk menentukan besarnya laju korosi yang terjadi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan jenis material yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM G1. *Standard practice for preparing, cleaning, and evaluation corrosion test speciments. ASTM international*. 1999.

Chodijah, Siti, 2008. *Efek Penggunaan Pelapis Epoksi Terhadap Ketahanan Korosi terhadap Pipa Baja ASTM A53 di Dalam Tanah*. Skripsi. Depok : Universitas Indonesia.

Fathonah, Ahmad. 2012. Pengenalan Korosi dan Penyebab-Penyebab Korosi (Part 1). http://mechanicalengboy.wordpress.com/2012/12/23/pengenalan-korosi-dan-penyebab-penyebab-korosi-part-1/ (diakses 7 Desember 2013)

Al-Fatir, Zikrul, 2013. Pengertian dan Faktor yang Mempengaruhi Korosi. http://ziloli.blogspot.com/2014/02/pengertian-dan-faktor-yang-mempengaruhi.html (diakses 7 Desember 2013)

Fontana, Mars G., 1987. *Corrosion Engineering (Third Edition)*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.

Prasetya, Hendra., 2011. *Pengaruh pH Lingkungan Terhadap Perilaku Korosi Stainless Steel Aisi 304 dan Aisi 316*. Jurnal. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

Priyotomo, Gadang. 2008. Kamus Saku Korosi Material. http://id.scribd.com/doc/127397713/logam-korosi. (diakses 7 Desember 2013)

Roberge, P. R. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill.

Sastri, V.S. 2011. *Green Corrosion Inhibitors – Theory and Practice*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication.

Sato, T. Hartanto, N S. 1981. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta : PT. Dainippon Gitakarya Printing.

Setyarini, Hadi, dkk. 2011. *Optimasi Proses Sand Blasting Terhadap Laju Korosi Baja Aisi 430*. Jurnal. Malang: Universitsa Brawijaya

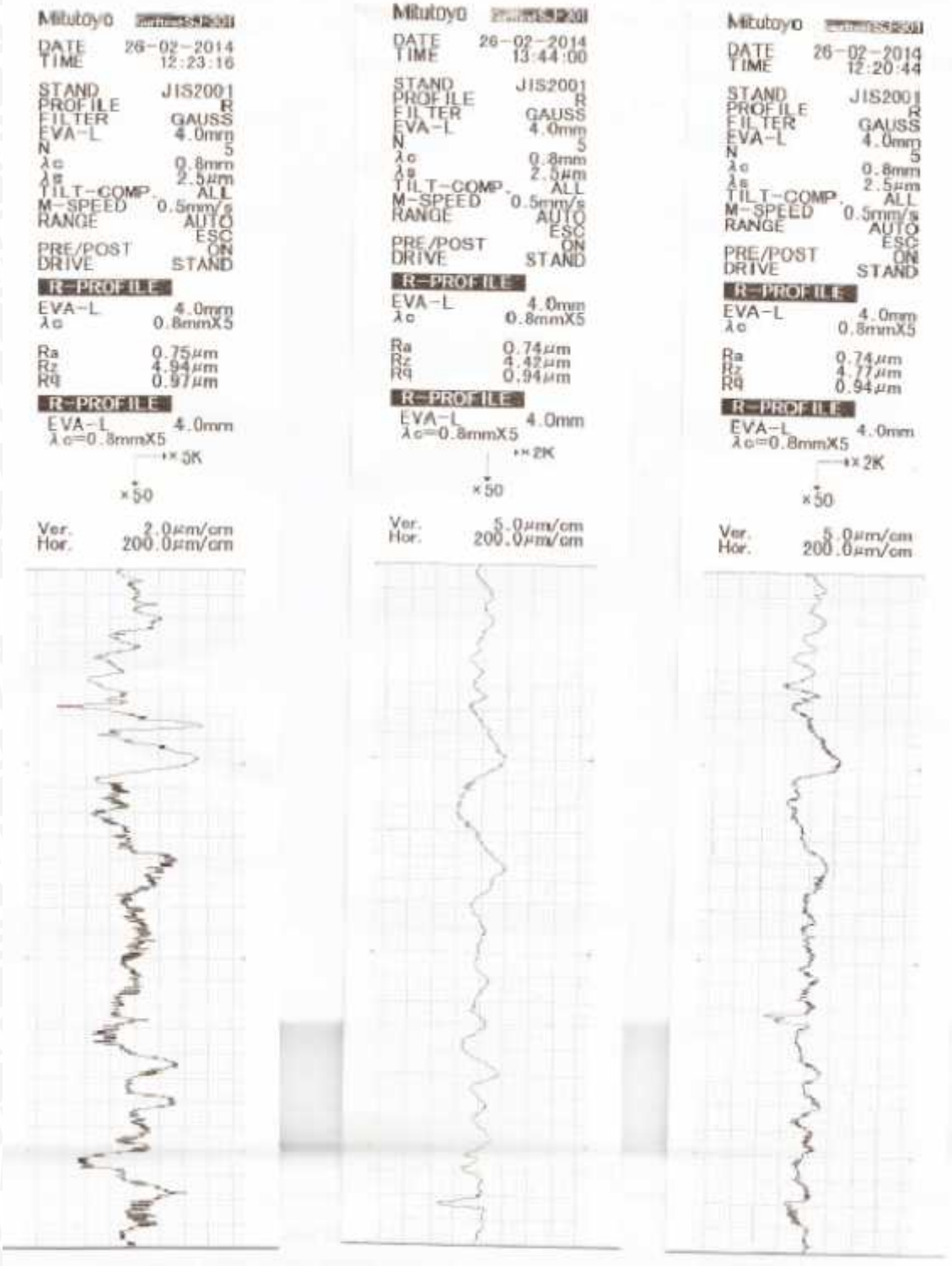
Siahaan, Tiurma, 2013. *Potensi Ekstrak Andaliman Zanthoxylum acanthapodium DC sebagai Alternatif Inhibitor Korosi Baja API-5L pada Media yang sesuai dengan kondisi Pipa Sumur Minyak Bumi*. Skripsi. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia

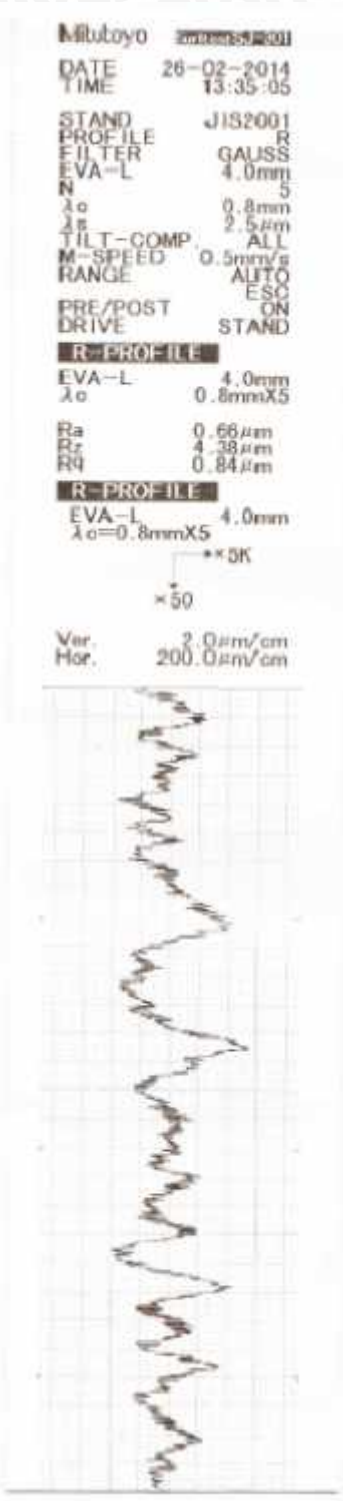
Suryo, Hadi, 2010. *Laju Korosi dan Kekerasan Pipa Baja API 5L X65 Setelah Normalizing*. Jurnal. Semarang: Universitas Diponegoro

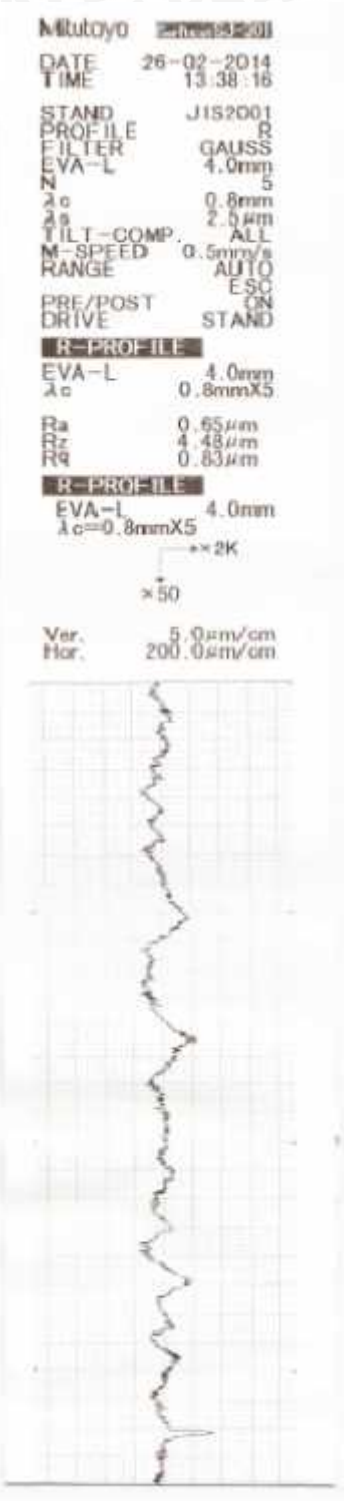
Trethewey, K. R. dan Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia

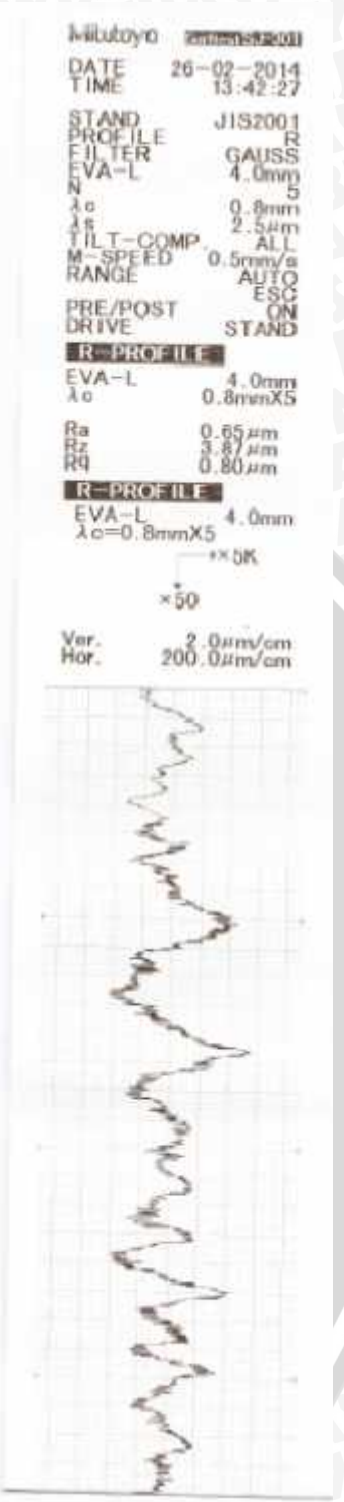
LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji Kekasaran Permukaan Dengan *Portable Surface Roughness Tester*




Mitutoyo SURFTEST SJ-201
DATE 26-02-2014
TIME 13:35:05
STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
λc 0.8mm
λs 2.5μm
TILT-COMP. ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
ESC
PRE/POST ON
DRIVE STAND
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc 0.8mmX5
Ra 0.66μm
Rz 4.38μm
Rq 0.84μm
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc=0.8mmX5
×5K
×50
Ver. 2.0μm/cm
Hor. 200.0μm/cm


Mitutoyo SURFTEST SJ-201
DATE 26-02-2014
TIME 13:38:16
STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
λc 0.8mm
λs 2.5μm
TILT-COMP. ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
ESC
PRE/POST ON
DRIVE STAND
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc 0.8mmX5
Ra 0.65μm
Rz 4.48μm
Rq 0.83μm
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc=0.8mmX5
×2K
×50
Ver. 5.0μm/cm
Hor. 200.0μm/cm


Mitutoyo SURFTEST SJ-201
DATE 26-02-2014
TIME 13:42:27
STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
λc 0.8mm
λs 2.5μm
TILT-COMP. ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
ESC
PRE/POST ON
DRIVE STAND
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc 0.8mmX5
Ra 0.65μm
Rz 3.87μm
Rq 0.80μm
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc=0.8mmX5
×5K
×50
Ver. 2.0μm/cm
Hor. 200.0μm/cm

Mitutoyo
DATE 26-02-2014
TIME 12:18:50
STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
λc 0.8mm
λs 2.5μm
TILT-COMP. ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
ESC
PRE/POST ON
DRIVE STAND
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc 0.8mmX5
Ra 0.59μm
Rz 3.66μm
Rq 0.75μm
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc=0.8mmX5
×5K
×50
Ver. 2.0μm/cm
Hor. 200.0μm/cm
Mitutoyo
DATE 26-02-2014
TIME 13:57:25
STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
λc 0.8mm
λs 2.5μm
TILT-COMP. ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
ESC
PRE/POST ON
DRIVE STAND
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc 0.8mmX5
Ra 0.61μm
Rz 3.81μm
Rq 0.76μm
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc=0.8mmX5
×5K
×50
Ver. 2.0μm/cm
Hor. 200.0μm/cm
Mitutoyo
DATE 26-02-2014
TIME 14:10:30
STAND JIS2001
PROFILE R
FILTER GAUSS
EVA-L 4.0mm
N 5
λc 0.8mm
λs 2.5μm
TILT-COMP. ALL
M-SPEED 0.5mm/s
RANGE AUTO
ESC
PRE/POST ON
DRIVE STAND
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc 0.8mmX5
Ra 0.61μm
Rz 3.84μm
Rq 0.76μm
R-PROFILE
EVA-L 4.0mm
λc=0.8mmX5
×5K
×50
Ver. 2.0μm/cm
Hor. 200.0μm/cm

Lampiran 2. Sertifikat Bahan Pengujian

MILL TEST CERTIFICATE (EN10204/3.1.B)

CUSTOMER:
PRODUCT: CARBON STEEL SEAMLESS PIPE

SPEC: ASTM A106 GR.B/ASTM A53 GR.B/API 5L GR.B

INVOICE NO.: SY061213
CERT. NO.: 701-112

PACKING IN BUNDLES

NO.	HEAT NO. 炉号	BATCH NO. 批号	STEEL GRADE 钢号	SIZE Mm 尺寸	PIECES 支数	WEIGHT kg 重量	C	Mn	S	P	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	V
1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1-1/2"*SCH80*6000MM	366	11210	0.20	0.55	0.011	0.007	0.22	0.03	0.05	0.10	-	-
2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2"*SCH40*6000MM	1647	52100	0.19	0.50	0.008	0.013	0.21	0.03	0.05	0.07	-	-
3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2"*SCH80*6000MM	463	20230	0.18	0.34	0.007	0.006	0.20	0.05	0.03	[illegible]	-	-
4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2-1/2"*SCH40*6000MM	555	27410	0.23	0.50	0.007	0.015	0.25	0.01	0.02	[illegible]	-	-
5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2-1/2"*SCH80*6000MM	283	19380	0.22	0.51	0.010	0.011	0.21	0.03	0.02	0.05	-	-

NO.	MECHANICAL PROPERTIES 机械性能: YIELD POINT σ_s MPa 屈服	TENSION σ_b MPa 抗拉	ELONGATION δ,% 延伸	IMPACT TEST	HARDNESS HRB	TECHNOLOGICAL PROPERTIES 技术性能: REVERSE FLATTENING TEST	FLATTENING TEST 压扁	FLARING TEST 扩口	NONDESTRUCTIVE TEST 无损探伤: 100% E.T. 涡流探伤	H.T. 水压	SURFACE QUALITY 表面质量: IN 内部	OUT 外部	DIMENSION TOLERANCE 尺寸公差: O.D/W.T/L.G 外径/壁厚/长度
1	320/325	475/480	33/34	--	--	--	GOOD	GOOD	GOOD	--	GOOD	GOOD	GOOD
2	325/320	475/480	34/33	--	--	--	GOOD	GOOD	GOOD	--	GOOD	GOOD	GOOD
3	315/320	465/470	33/34	--	--	--	GOOD	GOOD	GOOD	--	GOOD	GOOD	GOOD
4	335/330	485/480	32/32	--	--	--	GOOD	GOOD	GOOD	--	GOOD	GOOD	GOOD
5	320/325	475/480	33/32	--	--	--	GOOD	GOOD	GOOD	--	GOOD	GOOD	GOOD

REMARKS:

Lampiran 3. *Pipe Specification* API 5L

INDEPENDENT Pipe and Supply Corp.

Pipe Specification API 5L

Specification	**API 5L** NPS 1/8 – 26					
Scope	Covers WELDED and SEAMLESS pipe suitable for use in conveying gas, water, and oil in both the oil and natural gas industries.					
Kinds of Steel Permitted For Pipe Material	Open-hearth Basic-oxygen Electric-furnace					
Hot-Dipped Galvanizing	May be ordered galvanized.					
Permissible Variations in Wall Thickness					Grade A, B, A25	X42 through X80
	NPS 2 1/2 and smaller – Seamless and welded, %				+20 – 12.5	+15 – 12.5
	NPS 3 – Seamless and welded, %				+18 – 12.5	+15 – 12.5
	NPS 4 through 18 – Seamless and welded, %				+15 – 12.5	+15 – 12.5
	NPS 20 and larger – Welded, %				+17.5 – 10.0	+19.5 – 8.0
	NPS 20 and larger – Seamless, %				+15.0 – 12.5	+17.5 – 10.0
Chemical Requirements		C max %	Mn max %	P max %	S max %	
	Seamless or ERW					
	Grade A	0.25	0.95	0.05	0.06	
	Grade B	0.30	1.20	0.05	0.06	
	Continuous-weld	-	-	0.08	0.06	
Tensile Requirements	Lists minimum yield and tensile strength for all grads as well as a maximum tensile strength for X80. Maximum yield-to-tensile ratios outlined for cold-expanded pipe--may be waived when a fracture toughness requirement is specified.					
Hydrostatic Testing	Lists hydrostatic inspection test pressures for all sizes and grades covered by the specification.				Test Pressures are held for not less than: Seamless (all sizes) – 5 seconds Welded (NPS 18 and smaller) – 5 seconds (NPS 20 and larger) – 10 seconds	
Permissible Variations in Weights per Foot	For each length of Standard Weight, Regular Weight, Extra Strong, and Double Extra Strong – Not more than plus 10% minus 3.5%.				For Special Plain End – Not more than plus 10% minus 5%. For Carload Lots – Not more than minus 1.75%.	
Permissible Variations in Outside Diameter	Outside Diameter at any point shall not vary from standard specified more than:				**Sizes**	**Over** / **Under**
					NPS 1 1/2 and smaller	1/64" / 1/32"
					NPS 2 through 4	1% / 1% (Buttweld Only)
					NPS 2 through 18	.75% / .75%
					NPS 20 through 26 Non-expanded	1% / 1%
Mechanical Tests Specified	**Tensile Test** Seamless and Buttwelded – All Sizes – Longitudinal Specimens Electric Weld – NPS 6 and smaller – Longitudinal NPS 8 and Larger – Transverse				**Bending Test** (Cold) – 2" and smaller Buttweld.	**Degree of Bend** / **Diameter of Mandrel**
					For all API Uses	90 / 12 x OD of pipe
Number of Tests Required		**NPS**		**On One Length From Each Lot of**	**Flattening**	
	Tensile	5 and smaller		40 or less	Non-Expanded Electric-Weld for single lengths crop ends from each length. For multiple lengths, crop ends from each length, plus 2 intermediate rings.	
		6 through 12		200 or less		
		14 and larger		100 or less		
		2 and smaller (Buttweld)		25 tons or less		
	Bending	1 1/2 and smaller (Buttweld)		50 tons or less		
Lengths	**Threaded & Coupled Pipe**	**Shortest Length In Entire Shipment**	**Shortest Length in 95% of Entire Shipment**	**Minimum Average Length of Entire Shipment**		
	Single Random	16' 0"	18' 0"	–		
	Double Random	22' 0"	–	35' 0"		
Required Markings on Each Length (On Tags attached to each Bundle in case of Bundled Pipe)	Paint Stenciled or Die Stamped (by agreement). Manufacturer's name or mark. Spec 5L, size, weight per foot, grade, process of manufacture, type of steel, length (NPS 4 and larger only). Test pressure when higher than tabulated(NPS 2 and larger only). Heat treat symbols, as applicable – HN, HS, HA or HQ.					
General Information	**Supplementary Requirements available when specified.** SR5–Charpy Impact Testing–Welded Pipe 20" & larger–Grade X52 or higher. SR3 – Color Identification. SR6 – Drop Weight Tear Testing–Welded Pipe 20" & larger–Grade X52 or higher. SR4 – Nondestructive Inspection of Seamless Pipe. SR8 – Fracture Tough ness Testing of Line Pipe.					

Lampiran 4. ASTM A53 *Grade* B *Standard Pipe*

ASTM A53 GRADE B STANDARD PIPE

Schedule 40 Specifications

Pipe Size (NPS)	Nominal I.D. OD	Nominal I.D. Inches	Wall	Wt./Ft. Pounds	Pieces Bundle	Footage 21' Bundle	Wt./Bdl. Pounds
2	2.375	2.067	0.154	3.650	29	609	2,223
2-1/2	2.875	2.469	0.203	5.800	16	336	1,949
3	3.500	3.068	0.216	7.580	13	273	2,069
3-1/2	4.000	3.548	0.226	9.120	10	210	1,915
4	4.500	4.026	0.237	10.800	10	210	2,268
5	5.563	5.047	0.258	14.630	7	147	2,151
6	6.625	6.065	0.280	18.990	7	147	2,792

Schedule 80 Specifications

2	2.375	1.939	0.218	5.030	29	609	3,064
2-1/2	2.875	2.323	0.276	7.660	16	336	2,574
3	3.500	2.900	0.300	10.260	13	273	2,801
3-1/2	4.000	3.364	0.318	12.510	10	210	2,628
4	4.500	3.826	0.337	15.000	10	210	3,150
5	5.563	4.813	0.375	20.780	7	147	3,055

Non-Schedule Specifications

6	6.625	6.249	0.188	12.940	7	147	1,902
6	6.625	6.125	0.250	17.040	7	147	2,505

Valid for 21' random length bundles

Chemical Composition – Maximum Percentage

Grade	C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
A53B									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.50	0.40	0.40	0.15	0.08
Grade B	0.30	1.20	0.05	0.045	0.50	0.40	0.40	0.15	0.08

Yield and Tensile Strength

Grade	Tensile Strength, min, psi	Yield Strength, min, psi
Grade A	48,000	30,000
Grade B	60,000	35,000

DESCRIPTION	DIMENSION AND TOLERANCE –STANDARD PIPE Specified Diameter	Tolerance
Outside Diameter	OD>=2.375 in	+ or - 1.0%
	OD<2.375 in	+ or - 1/64 in
Wall Thickness	All Diameters - A53	-12.5%
Weight	Standard A53	Tolerance + or - 10.0%
Length (Foot) Capabilities	Minimum 20	Maximum 44
Straightness	Outside Diameter All OD's	Tolerance 1" 40' 1/2" 20'
End Preparation	Wall Thickness W.T. <=0.500 in	Finish Plain end Bevel. To 30 degrees, + 5 degrees, -0 degrees

Minimum Test Pressures

Pipe Size (NPS)	O.D.	Schd 40 Grade A	Schd 40 Grade B	Schd 80 Grade A	Schd 80 Grade B
2	2.375	2300	2500	2500	2500
2-1/2	2.875	2500	2500	2500	2500
3	3.500	2220	2500	2500	2500
3-1/2	4.000	2030	2370	2800	2800
4	4.500	1900	2210	2700	2800
5	5.563	1670	1950	2430	2800
6	6.625	1520	1780		

revised 01/2012

Lampiran 5. ASTM G1 *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens*

ASTM G1

Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens

repository.ub.ac.id

Designation: G 1 – 90 (Reapproved 1999)ε1

Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens[1]

This standard is issued under the fixed designation G 1; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

ε1 NOTE—Editorial corrections were made throughout in January 1999.

1. Scope

1.1 This practice covers suggested procedures for preparing bare, solid metal specimens for tests, for removing corrosion products after the test has been completed, and for evaluating the corrosion damage that has occurred. Emphasis is placed on procedures related to the evaluation of corrosion by mass loss and pitting measurements.

NOTE 1—**Caution:** In many cases the corrosion product on the reactive metals titanium and zirconium is a hard and tightly bonded oxide that defies removal by chemical or ordinary mechanical means. In many such cases, corrosion rates are established by mass gain rather than mass loss.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* For specific precautionary statements, see Note 1 and Note 6.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

A 262 Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels[2]

D 1193 Specification for Reagent Water[3]

D 1384 Test Method for Corrosion Test for Engine Coolants in Glassware[4]

D 2776 Test Methods for Corrosivity of Water in the Absence of Heat Transfer (Electrical Methods)[5]

G 15 Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing[6]

G 16 Guide for Applying Statistics to Analysis of Corrosion Data[6]

G 31 Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals[6]

G 33 Practice for Recording Data from Atmospheric Corrosion Tests of Metallic-Coated Steel Specimens[6]

G 46 Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion[6]

G 50 Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals[5]

G 78 Guide for Crevice Corrosion Testing of Iron Base and Nickel Base Stainless Alloys in Seawater and Other Chloride-Containing Aqueous Environments[6]

3. Terminology

3.1 See Terminology G 15 for terms used in this practice.

4. Significance and Use

4.1 The procedures given are designed to remove corrosion products without significant removal of base metal. This allows an accurate determination of the mass loss of the metal or alloy that occurred during exposure to the corrosive environment.

4.2 These procedures, in some cases, may apply to metal coatings. However, possible effects from the substrate must be considered.

5. Reagents and Materials

5.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society where such specifications are available.[7] Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

5.2 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean reagent water as defined by Type IV of Specification D 1193.

---

[1] This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G-1 on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of Subcommittee G01.05 on Laboratory Corrosion Tests.

Current edition approved March 30, 1990. Published May 1990. Originally published as G 1 – 67. Last previous edition G 1 – 88.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

[3] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.01.

[4] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.05.

[5] *Discontinued*—Replaced by Guide G 96. See *1990 Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

[6] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

[7] *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications*, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analar Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmacopeial Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

6. Methods for Preparing Specimens for Test

6.1 For laboratory corrosion tests that simulate exposure to service environments, a commercial surface, closely resembling the one that would be used in service, will yield the most meaningful results.

6.2 It is desirable to mark specimens used in corrosion tests with a unique designation during preparation. Several techniques may be used depending on the type of specimen and test.

6.2.1 *Stencil or Stamp*—Most metallic specimens may be marked by stenciling, that is, imprinting the designation code into the metal surface using hardened steel stencil stamps hit with a hammer. The resulting imprint will be visible even after substantial corrosion has occurred. However, this procedure introduces localized strained regions and the possibility of superficial iron contamination in the marked area.

6.2.2 Electric engraving by means of a vibratory marking tool may be used when the extent of corrosion damage is known to be small. However, this approach to marking is much more susceptible to having the marks lost as a result of corrosion damage during testing.

6.2.3 Edge notching is especially applicable when extensive corrosion and accumulation of corrosion products is anticipated. Long term atmospheric tests and sea water immersion tests on steel alloys are examples where this approach is applicable. It is necessary to develop a code system when using edge notches.

6.2.4 Drilled holes may also be used to identify specimens when extensive metal loss, accumulation of corrosion products, or heavy scaling is anticipated. Drilled holes may be simpler and less costly than edge notching. A code system must be developed when using drilled holes. Punched holes should not be used as they introduce residual strain.

6.2.5 When it is undesirable to deform the surface of specimens after preparation procedures, for example, when testing coated surfaces, tags may be used for specimen identification. A metal or plastic wire can be used to attach the tag to the specimen and the specimen identification can be stamped on the tag. It is important to ensure that neither the tag nor the wire will corrode or degrade in the test environment. It is also important to be sure that there are no galvanic interactions between the tag, wire, and specimen.

6.3 For more searching tests of either the metal or the environment, standard surface finishes may be preferred. A suitable procedure might be:

6.3.1 Degrease in an organic solvent or hot alkaline cleaner. (See also Practice G 31.)

NOTE 2—Hot alkalies and chlorinated solvents may attack some metals.

NOTE 3—Ultrasonic cleaning may be beneficial in both pre-test and post-test cleaning procedures.

6.3.2 Pickle in an appropriate solution if oxides or tarnish are present. In some cases the chemical cleaners described in Section 6 will suffice.

NOTE 4—Pickling may cause localized corrosion on some materials.

6.3.3 Abrade with a slurry of an appropriate abrasive or with an abrasive paper (see Practices A 262 and Test Method D 1384). The edges as well as the faces of the specimens should be abraded to remove burrs.

6.3.4 Rinse thoroughly, hot air dry, and store in desiccator.

6.4 When specimen preparation changes the metallurgical condition of the metal, other methods should be chosen or the metallurgical condition must be corrected by subsequent treatment. For example, shearing a specimen to size will cold work and may possibly fracture the edges. Edges should be machined.

6.5 The clean, dry specimens should be measured and weighed. Dimensions determined to the third significant figure and mass determined to the fifth significant figure are suggested. When more significant figures are available on the measuring instruments, they should be recorded.

7. Methods for Cleaning After Testing

7.1 Corrosion product removal procedures can be divided into three general categories: mechanical, chemical, and electrolytic.

7.1.1 An ideal procedure should remove only corrosion products and not result in removal of any base metal. To determine the mass loss of the base metal when removing corrosion products, replicate uncorroded control specimens should be cleaned by the same procedure being used on the test specimen. By weighing the control specimen before and after cleaning, the extent of metal loss resulting from cleaning can be utilized to correct the corrosion mass loss.

NOTE 5—It is desirable to scrape samples of corrosion products before using any chemical techniques to remove them. These scrapings can then be subjected to various forms of analyses, including perhaps X-ray diffraction to determine crystal forms as well as chemical analyses to look for specific corrodants, such as chlorides. All of the chemical techniques that are discussed in Section 7 tend to destroy the corrosion products and thereby lose the information contained in these corrosion products. Care may be required so that uncorroded metal is not removed with the corrosion products.

7.1.2 The procedure given in 7.1.1 may not be reliable when heavily corroded specimens are to be cleaned. The application of replicate cleaning procedures to specimens with corroded surfaces will often, even in the absence of corrosion products, result in continuing mass losses. This is because a corroded surface, particularly of a multiphase alloy, is often more susceptible than a freshly machined or polished surface to corrosion by the cleaning procedure. In such cases, the following method of determining the mass loss due to the cleaning procedure is preferred.

7.1.2.1 The cleaning procedure should be repeated on specimens several times. The mass loss should be determined after each cleaning by weighing the specimen.

7.1.2.2 The mass loss should be graphed as a function of the number of equal cleaning cycles as shown in Fig. 1. Two lines will be obtained: AB and BC. The latter will correspond to corrosion of the metal after removal of corrosion products. The mass loss due to corrosion will correspond approximately to point B.

7.1.2.3 To minimize uncertainty associated with corrosion of the metal by the cleaning method, a method should be chosen to provide the lowest slope (near to horizontal) of line BC.

7.1.3 Repeated treatment may be required for complete

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

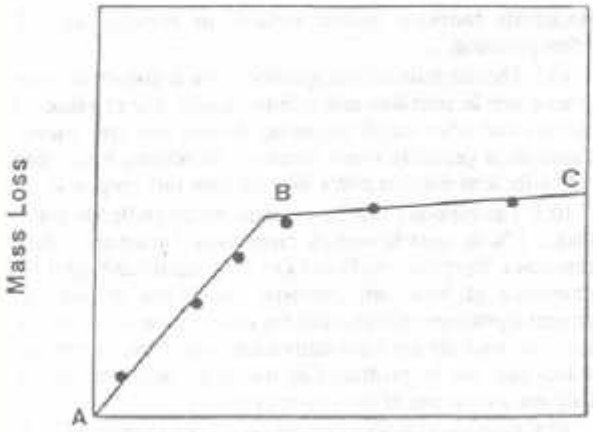


FIG. 1 Mass Loss of Corroded Specimens Resulting from Repetitive Cleaning Cycles

removal of corrosion products. Removal can often be confirmed by examination with a low power microscope (for example, 7× to 30×). This is particularly useful with pitted surfaces when corrosion products may accumulate in pits. This repeated treatment may also be necessary because of the requirements of 7.1.2.1. Following the final treatment, the specimens should be thoroughly rinsed and immediately dried.

7.1.4 All cleaning solutions shall be prepared with water and reagent grade chemicals.

7.2 Chemical procedures involve immersion of the corrosion test specimen in a specific solution that is designed to remove the corrosion products with minimal dissolution of any base metal. Several procedures are listed in Table A1.1. The choice of chemical procedure to be used is partly a matter of trial and error to establish the most effective method for a specific metal and type of corrosion product scale.

NOTE 6—**Caution:** These methods may be hazardous to personnel.

7.2.1 Chemical cleaning is often preceded by light brushing (non metallic bristle) or ultrasonic cleaning of the test specimen to remove loose, bulky corrosion products.

7.2.2 Intermittent removal of specimens from the cleaning solution for light brushing or ultrasonic cleaning can often facilitate the removal of tightly adherent corrosion products.

7.2.3 Chemical cleaning is often followed by light brushing or ultrasonic cleaning in reagent water to remove loose products.

7.3 Electrolytic cleaning can also be utilized for removal of corrosion products. Several useful methods for corrosion test specimens of iron, cast iron, or steel are given in Table A2.1.

7.3.1 Electrolytic cleaning should be preceded by brushing or ultrasonic cleaning of the test specimen to remove loose, bulky corrosion products. Brushing or ultrasonic cleaning should also follow the electrolytic cleaning to remove any loose slime or deposits. This will help to minimize any redeposition of metal from reducible corrosion products that would reduce the apparent mass loss.

7.4 Mechanical procedures can include scraping, scrubbing, brushing, ultrasonic cleaning, mechanical shocking, and impact blasting (for example, grit blasting, water-jet blasting, and so forth). These methods are often utilized to remove heavily encrusted corrosion products. Scrubbing with a nonmetallic bristle brush and a mild abrasive-distilled water slurry can also be used to remove corrosion products.

7.4.1 Vigorous mechanical cleaning may result in the removal of some base metal; therefore, care should be exercised. These should be used only when other methods fail to provide adequate removal of corrosion products. As with other methods, correction for metal loss due to the cleaning method is recommended. The mechanical forces used in cleaning should be held as nearly constant as possible.

8. Assessment of Corrosion Damage

8.1 The initial total surface area of the specimen (making corrections for the areas associated with mounting holes) and the mass lost during the test are determined. The average corrosion rate may then be obtained as follows:

$$\text{Corrosion Rate} = (K \times W)/(A \times T \times D) \quad (1)$$

where:

K = a constant (see 8.1.2),
T = time of exposure in hours,
A = area in cm^2,
W = mass loss in grams, and
D = density in g/cm^3 (see Appendix X1).

8.1.1 Corrosion rates are not necessarily constant with time of exposure. See Practice G 31 for further guidance.

8.1.2 Many different units are used to express corrosion rates. Using the units in 7.1 for T, A, W, and D, the corrosion rate can be calculated in a variety of units with the following appropriate value of K:

Corrosion Rate Units Desired	Constant (K) in Corrosion Rate Equation
mils per year (mpy)	3.45×10^6
inches per year (ipy)	3.45×10^3
inches per month (ipm)	2.87×10^2
millimeters per year (mm/y)	8.76×10^4
micrometers per year (um/y)	8.76×10^7
picometers per second (pm/s)	2.78×10^6
grams per square meter per hour (g/m^2-h)	$1.00 \times 10^4 \times D$
milligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D$
micrograms per square meter per second ($\mu g/m^2$-s)	$2.78 \times 10^6 \times D$

NOTE 7—If desired, these constants may also be used to convert corrosion rates from one set of units to another. To convert a corrosion rate in units X to a rate in units Y, multiply by K_Y/K_X; for example:

$$15 \text{ mpy} = 15 \times (2.78 \times 10^6)/(3.45 \times 10^6) \text{ pm/s} \quad (2)$$

8.2 Corrosion rates calculated from mass losses can be misleading when deterioration is highly localized, as in pitting or crevice corrosion. If corrosion is in the form of pitting, it may be measured with a depth gage or micrometer calipers with pointed anvils (see Guide G 46). Microscopical methods will determine pit depth by focusing from top to bottom of the pit when it is viewed from above (using a calibrated focusing knob) or by examining a section that has been mounted and metallographically polished. The pitting factor is the ratio of the deepest metal penetration to the average metal penetration (as measured by mass loss).

NOTE 8—See Guide G 46 for guidance in evaluating depths of pitting.
NOTE 9—See Guide G 78 for guidance in evaluating crevice corrosion.

8.3 Other methods of assessing corrosion damage are:

8.3.1 *Appearance*—The degradation of appearance by rusting, tarnishing, or oxidation. (See Practice G 33.)

8.3.2 *Mechanical Properties*—An apparent loss in tensile strength will result if the cross-sectional area of the specimen (measured before exposure to the corrosive environment) is reduced by corrosion. (See Practice G 50.) Loss in tensile strength will result if a compositional change, such as dealloying taking place. Loss in tensile strength and elongation will result from localized attack, such as cracking or intergranular corrosion.

8.3.3 *Electrical Properties*—Loss in electrical conductivity can be measured when metal loss results from uniform corrosion. (See Test Methods D 2776.)

8.3.4 *Microscopical Examination*—Dealloying, exfoliation, cracking, or intergranular attack may be detected by metallographic examination of suitably prepared sections.

9. Report

9.1 The report should include the compositions and sizes of specimens, their metallurgical conditions, surface preparations, and cleaning methods as well as measures of corrosion damage, such as corrosion rates (calculated from mass losses), maximum depths of pitting, or losses in mechanical properties.

10. Precision and Bias

10.1 The factors that can produce errors in mass loss measurement include improper balance calibration and standardization. Generally, modern analytical balances can determine mass values to ±0.2 mg with ease and balances are available that can obtain mass values to ±0.02 mg. In general, mass measurements are not the limiting factor. However, inadequate corrosion product removal or overcleaning will affect precision.

10.2 The determination of specimen area is usually the least precise step in corrosion rate determinations. The precision of calipers and other length measuring devices can vary widely. However, it generally is not necessary to achieve better than ±1 % for area measurements for corrosion rate purposes.

10.3 The exposure time can usually be controlled to better than ± 1 % in most laboratory procedures. However, in field exposures, corrosive conditions can vary significantly and the estimation of how long corrosive conditions existed can present significant opportunities for error. Furthermore, corrosion processes are not necessarily linear with time, so that rate values may not be predictive of the future deterioration, but only are indications of the past exposure.

10.4 Regression analysis on results, as are shown in Fig. 1, can be used to obtain specific information on precision. See Guide G 16 for more information on statistical analysis.

10.5 Bias can result from inadequate corrosion product removal or metal removal caused by overcleaning. The use of repetitive cleaning steps, as shown in Fig. 1, can minimize both of these errors.

10.5.1 Corrosion penetration estimations based on mass loss can seriously underestimate the corrosion penetration caused by localized processes, such as pitting, cracking, crevice corrosion, and so forth.

11. Keywords

11.1 cleaning; corrosion product removal; evaluation; mass loss; metals; preparation; specimens

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. CHEMICAL CLEANING PROCEDURES

TABLE A1.1 CHEMICAL CLEANING PROCEDURES FOR REMOVAL OF CORROSION PRODUCTS

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
C.1.1	Aluminum and Aluminum Alloys	50 mL phosphoric acid (H_3PO_4, sp gr 1.69) 20 g chromium trioxide (CrO_3) Reagent water to make 1000 mL	5 to 10 min	90°C to Boiling	If corrosion product films remain, rinse, then follow with nitric acid procedure (C.1.2).
C.1.2		Nitric acid (HNO_3, sp gr 1.42)	1 to 5 min	20 to 25°C	Remove extraneous deposits and bulky corrosion products to avoid reactions that may result in excessive removal of base metal.
C.2.1	Copper and Copper Alloys	500 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	Deaeration of solution with purified nitrogen will minimize base metal removal.
C.2.2		4.9 g sodium cyanide (NaCN) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	Removes copper sulfide corrosion products that may not be removed by hydrochloric acid treatment (C.2.1).
C.2.3		100 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) Reagent water to make 1000 mL	1 to 2 min	20 to 25°C	Remove bulky corrosion products before treatment to minimize copper redeposition on specimen surface.
C.2.4		120 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) 30 g sodium dichromate ($Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$) Reagent water to make 1000 mL	5 to 10 s	20 to 25°C	Removes redeposited copper resulting from sulfuric acid treatment.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

TABLE A1.1 *Continued*

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
C.2.5		54 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) Reagent water to make 1000 mL	30 to 60 min	40 to 50°C	Deaerate solution with nitrogen. Brushing of test specimens to remove corrosion products followed by re-immersion for 3 to 4 s is recommended.
C.3.1	Iron and Steel	1000 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) 20 g antimony trioxide (Sb_2O_3) 50 g stannous chloride ($SnCl_2$)	1 to 25 min	20 to 25°C	Solution should be vigorously stirred or specimen should be brushed. Longer times may be required in certain instances.
C.3.2		50 g sodium hydroxide (NaOH) 200 g granulated zinc or zinc chips Reagent water to make 1000 mL	30 to 40 min	80 to 90°C	Caution should be exercised in the use of any zinc dust since spontaneous ignition upon exposure to air can occur.
C.3.3		200 g sodium hydroxide (NaOH) 20 g granulated zinc or zinc chips Reagent water to make 1000 mL	30 to 40 min	80 to 90°C	Caution should be exercised in the use of any zinc dust since spontaneous ignition upon exposure to air can occur.
C.3.4		200 g diammonium citrate ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Reagent water to make 1000 mL	20 min	75 to 90°C	Depending upon the composition of the corrosion product, attack of base metal may occur.
C.3.5		500 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) 3.5 g hexamethylene tetramine Reagent water to make 1000 mL	10 min	20 to 25°C	Longer times may be required in certain instances.
C.3.6		Molten caustic soda (NaOH) with 1.5–2.0 % sodium hydride (NaH)	1 to 20 min	370°C	For details refer to Technical Information Bulletin SP29-370, "DuPont Sodium Hydride Descaling Process Operating Instructions."
C.4.1	Lead and Lead Alloys	10 mL acetic acid (CH_3COOH) Reagent water to make 1000 mL	5 min	Boiling	...
C.4.2		50 g ammonium acetate (CH_3COONH_4) Reagent water to make 1000 mL	10 min	60 to 70°C	...
C.4.3		250 g ammonium acetate (CH_3COONH_4) Reagent water to make 1000 mL	5 min	60 to 70°C	...
C.5.1	Magnesium and Magnesium Alloys	150 g chromium trioxide (CrO_3) 10 g silver chromate (Ag_2CrO_4) Reagent water to make 1000 mL	1 min	Boiling	The silver salt is present to precipitate chloride.
C.5.2		200 g chromium trioxide (CrO_3) 10 g silver nitrate ($AgNO_3$) 20 g barium nitrate ($Ba(NO_3)_2$) Reagent water to make 1000 mL	1 min	20 to 25°C	The barium salt is present to precipitate sulfate.
C.6.1	Nickel and Nickel Alloys	150 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	...
C.6.2		100 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	...
C.7.1	Stainless Steels	100 mL nitric acid (HNO_3, sp gr 1.42) Reagent water to make 1000 mL	20 min	60°C	...
C.7.2		150 g diammonium citrate ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Reagent water to make 1000 mL	10 to 60 min	70°C	...
C.7.3		100 g citric acid ($C_6H_8O_7$) 50 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) 2 g inhibitor (*o*-orthotolyl thiourea or quinoline ethyliodide or betanaphthol quinoline) Reagent water to make 1000 mL	5 min	60°C	...
C.7.4		200 g sodium hydroxide (NaOH) 30 g potassium permanganate ($KMnO_4$) Reagent water to make 1000 mL *followed by* 100 g diammonium citrate ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Reagent water to make 1000 mL	5 min	Boiling	...
C.7.5		100 mL nitric acid (HNO_3, sp gr 1.42) 20 mL hydrofluoric acid (HF, sp gr 1.196–48 %) Reagent water to make 1000 mL	5 to 20 min	20 to 25°C	...
C.7.6		200 g sodium hydroxide (NaOH) 50 g zinc powder Reagent water to make 1000 mL	20 min	Boiling	Caution should be exercised in the use of any zinc dust since spontaneous ignition upon exposure to air can occur.
C.8.1	Tin and Tin Alloys	150 g trisodium phosphate ($Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$) Reagent water to make 1000 mL	10 min	Boiling	...
C.8.2		50 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) Reagent water to make 1000 mL	10 min	20°C	...

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

TABLE A1.1 *Continued*

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
C.9.1	Zinc and Zinc Alloys	150 mL ammonium hydroxide (NH_4OH, sp gr 0.90) Reagent water to make 1000 mL *followed by* 50 g chromium trioxide (CrO_3) 10 g silver nitrate ($AgNO_3$) Reagent water to make 1000 mL	5 min 15 to 20 s	20 to 25°C Boiling	... The silver nitrate should be dissolved in water and added to the boiling chromic acid to prevent excessive crystallization of silver chromate. The chromic acid must be sulfate free to avoid attack of the zinc base metal.
C.9.2		100 g ammonium chloride (NH_4Cl) Reagent water to make 1000 mL	2 to 5 min	70°C	...
C.9.3		200 g chromium trioxide (CrO_3) Reagent water to make 1000 mL	1 min	80°C	Chloride contamination of the chromic acid from corrosion products formed in salt environments should be avoided to prevent attack of the zinc base metal.
C.9.4		85 mL hydriodic acid (HI, sp gr 1.5) Reagent water to make 1000 mL	15 s	20 to 25°C	Some zinc base metal may be removed. A control specimen (3.1.1) should be employed.
C.9.5		100 g ammonium persulfate ($(NH_4)_2S_2O_8$) Reagent water to make 1000 mL	5 min	20 to 25°C	Particularly recommended for galvanized steel.
C.9.6		100 g ammonium acetate (CH_3CONH_4) Reagent water to make 1000 mL	2 to 5 min	70°C	...

A2. ELECTROLYTIC CLEANING PROCEDURES

TABLE A2.1 ELECTROLYTIC CLEANING PROCEDURES FOR REMOVAL OF CORROSION PRODUCTS

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
E.1.1	Iron, Cast Iron, Steel	75 g sodium hydroxide (NaOH) 25 g sodium sulfate (Na_2SO_4) 75 g sodium carbonate (Na_2CO_3) Reagent water to make 1000 mL	20 to 40 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 to 200 A/m^2 current density. Use carbon, platinum or stainless steel anode.
E.1.2		28 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) 0.5 g inhibitor (diorthotolyl thiourea or quinoline ethyliodide or betanaphthol quinoline) Reagent water to make 1000 mL	3 min	75°C	Cathodic treatment with 2000 A/m^2 current density. Use carbon, platinum or lead anode.
E.1.3		100 g diammonium citrate ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Reagent water to make 1000 mL	5 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 A/m^2 current density. Use carbon or platinum anode.
E.2.1	Lead and Lead Alloys	28 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) 0.5 g inhibitor (diorthotolyl thiourea or quinoline ethyliodide or betanaphthol quinoline) Reagent water to make 1000 mL	3 min	75°C	Cathodic treatment with 2000 A/m^2 current density. Use carbon, platinum or lead anode.
E.3.1	Copper and Copper Alloys	7.5 g potassium chloride (KCl) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 A/m^2 current density. Use carbon or platinum anode.
E.4.1	Zinc and Cadmium	50 g dibasic sodium phosphate (Na_2HPO_4) Reagent water to make 1000 mL	5 min	70°C	Cathodic treatment with 110 A/m^2 current density. Specimen must be energized prior to immersion. Use carbon, platinum or stainless steel anode.
E.4.2		100 g sodium hydroxide (NaOH) Reagent water to make 1000 mL	1 to 2 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 A/m^2 current density. Specimen must be energized prior to immersion. Use carbon, platinum or stainless steel anode.
E.5.1	General (excluding Aluminum, Magnesium and Tin Alloys)	20 g sodium hydroxide (NaOH) Reagent water to make 1000 mL	5 to 10 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 300 A/m^2 current density. A S31600 stainless steel anode may be used.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. DENSITIES FOR A VARIETY OF METALS AND ALLOYS

TABLE X1.1 DENSITIES FOR A VARIETY OF METALS AND ALLOYS

NOTE 1—All UNS numbers that include the letter X indicate a series of numbers under one category.

NOTE 2—An asterisk indicates that a UNS number not available.

UNS Number	Alloy	Density g/cm³
	Aluminum Alloys	
A91100	1100	2.71
A91199	1199	2.70
A92024	2024	2.78
A92219	2219	2.84
A93003	3003	2.73
A93004	3004	2.72
A95005	5005	2.70
A95050	5050	2.69
A95052	5052	2.68
A95083	5083	2.66
A95086	5086	2.66
A95154	5154	2.66
A95357	5357	2.69
A95454	5454	2.69
A95456	5456	2.66
A96061	6061	2.70
*	6062	2.70
A96070	6070	2.71
A96101	6101	2.70
A97075	7075	2.81
A97079	7079	2.75
A97178	7178	2.83
	Stainless Steels	
S20100	Type 201	7.94
S20200	Type 202	7.94
S30200	Type 302	7.94
S30400	Type 304	7.94
S30403	Type 304L	7.94
S30900	Type 309	7.98
S31000	Type 310	7.98
S31100	Type 311	7.98
S31600	Type 316	7.98
S31603	Type 316L	7.98
S31700	Type 317	7.98
S32100	Type 321	7.94
S32900	Type 329	7.98
N08330	Type 330	7.98
S34700	Type 347	8.03
S41000	Type 410	7.70
S43000	Type 430	7.72
S44600	Type 446	7.65
S50200	Type 502	7.82
	Other Ferrous Metals	
F1XXXX	Gray cast iron	7.20
GXXXXX–KXXXXX	Carbon steel	7.86
*	Silicon iron	7.00
KXXXXX	Low alloy steels	7.85
	Copper Alloys	
C38600	Copper	8.94
C23000	Red brass 230	8.75
C26000	Cartridge brass 260	8.52
C28000	Muntz metal 280	8.39
*	Admiralty 442	8.52
C44300	Admiralty 443	8.52
C44400	Admiralty 444	8.52
C44500	Admiralty 445	8.52
C68700	Aluminum brass 687	8.33
C22000	Commercial bronze 220	8.80
C60800	Aluminum bronze, 5 % 608	8.16
*	Aluminum bronze, 8 % 612	7.78
*	Composition M	8.45
*	Composition G	8.77
C51000	Phosphor bronze, 5 % 510	8.86
C52400	Phosphor bronze, 10 % 524	8.77
*	85-5-5-5	8.80
C65500	Silicon bronze 655	8.52
C70600	Copper nickel 706	8.94
C71000	Copper nickel 710	8.94
C71500	Copper nickel 715	8.94
C75200	Nickel silver 752	8.75
	Lead	
L53305–53405	Antimonial	10.80
L5XXXX	Chemical	11.33
	Nickel Alloys	
N02200	Nickel 200	8.89
N04400	Nickel copper 400	8.84
N06600	Nickel chromium iron alloy 600	8.51
N06625	Nickel chromium molybdenum alloy 625	8.14
N08825	Iron nickel chromium alloy 825	8.14
N08020	Iron nickel chromium alloy 20 Cb-3	8.08
*	Iron nickel chromium cast alloy 20	8.02
N10665	Nickel molybdenum alloy B2	9.2
N10276	Nickel chromium molybdenum alloy C-276	8.8
N06985	Nickel chromium molybdenum alloy G-3	8.3
	Other Metals	
M1XXXX	Magnesium	1.74
R03600	Molybdenum	10.22
P04980	Platinum	21.45
P07016	Silver	10.49
R05200	Tantalum	16.60
L13002	Tin	7.30
R50250	Titanium	4.54
Z13001	Zinc	7.13
R60001	Zirconium	6.53

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.