TUGAS AKHIR – TM184835

PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN ASAM SULFAT (H_2SO_4) TERHADAP LAJU KOROSI BAJA ASTM A213 T12

MUHAMMAD NASHIR
0211144000101

Dosen Pembimbing:
Suwarno, S.T, M.Sc, Ph.D.
198005202005011003

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – TM184835

PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN ASAM SULFAT (H_2SO_4) TERHADAP LAJU KOROSI BAJA ASTM A213 T12

MUHAMMAD NASHIR
0211144000101

Dosen Pembimbing:
Suwarno, S.T, M.Sc, Ph.D.
198005202005011003

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

FINAL PROJECT – TM184835

EFFECT OF SULFURIC ACID CONCENTRATION ON THE CORROSION RATE OF ASTM A213- T12 STEEL

MUHAMMAD NASHIR
0211144000101

Dosen Pembimbing:
Suwarno, S.T, M.Sc, Ph.D.
198005202005011003

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN ASAM SULFAT (H_2SO_4) TERHADAP LAJU KOROSI BAJA ASTM A213 T12

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :

MUHAMMAD NASHIR
NRP. 02111440000101

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. **Suwarno, ST, MSc, Ph.D.** (Pembimbing)
   NIP. 198005202005011003
2. **Fahmi Mubarok S.T., M.Sc., Ph.D** (Penguji I)
   NIP. 197801152003121002
3. **Putu Suwarta, S.T., M.Sc., Ph.D** (Penguji II)
   NIP. 198203032009121007
4. **Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T** (Penguji III)
   NIP. 197407032000031001

SURABAYA
Januari 2020

PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN ASAM SULFAT (H_2SO_4) TERHADAP LAJU KOROSI BAJA ASTM A213 T12.

Nama Mahasiswa	**: Muhammad Nashir**
NRP	**: 02111440000101**
Departemen	**: Teknik Mesin FTI-ITS**
Dosen Pembimbing	**: Suwarno ST.,MSc.,Ph.D.**

Abstrak

Alloy steel merupakan salah satu material yang sering digunakan pada dunia perindustrian, dalam dunia industri banyak diaplikasikan karna sifat mekanik yang dimilikinya cukup baik, harganya yang relative murah dan mudah dalam proses fabrikasinya. Akan tetapi dalam jangka waktu tertentu, material berbahan dasar baja karbon rentan mengalami penurunan kualitas akibat pengotor yang berada pada permukaan baja, pengotor tersebut berupa endapan sulfur yang muncul dikarenakan perbedaan temperatur pada gas buang. Dalam upaya mengatasi masalah tersebut perlu diketahui besaran laju korosi akibat pengaruh keasaman sulfur yang terlarut. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh konsentrasi larutan asam terhadap nilai laju korosi baja, Sehingga pemilian material air preheater yang tepat bisa dilakukan untuk mengurangi kerugian pada pipa yang terkorosi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap nilai laju korosi baja ASTM A213 T12 dengan konsentrasi larutan 0,01M – 0,05 H_2SO_4 sebagai asumsi lingkungan asam. Laju korosi didapatkan mengunakan potensiostat dengan bantuan software NOVA 1.8. Dilakukan pula

uji imersi sebagai pembanding uji polarisasi sedangkan untuk pengujian kekerasan mengunakan micro hardness dan untuk pengamatan struktur mikro mengunakan Scannig Electron microscope.

Dari eksperimen yang dilakukan diperoleh hasil yaitu dengan bertambahnya konsentrasi larutan asam sulfat, nilai laju korosi cenderung meningkat. Terdapat pada pengujian polarisasi potensiostat didapatkan Hasil pengujian pada spesimen baja ASTM A213 T12 fosfor rendah (0.008%) rata-rata laju korosi terendah yaitu 1.421mm/y pada konsentrasi 0.01M H_2SO_4 dan rata-rata laju korosi tertinggi yaitu 3.698mm/y pada konsentrasi 0.05M H_2SO_4. Dari data tersebut semakin tinggi konsentrasi asam sulfat maka baja akan semakin banyak melepaskan electron, sehingga kecepatan laju korosi akan semakin meningkat. Pada spesimen baja ASTM A213 T12 fosfor tinggi (0.834%) dengan konsentrasi 0.05M H_2SO_4 laju korosi rata-rata yaitu 7.211 mm/y dikarenakan semakin tinggi kandungan fosfor membuat rata-rata laju korosi meningkat dikarenakan adanya reduksi lebih dari hipofosfor (H_3PO_2) dan asam pospat (H_3PO_4) sehingga menghasilkan aktifitas hydrogen yang lebih pada permukaan baja.

Kata kunci : alloy steel, asam sulfat, laju korosi

EFFECT OF SULFURIC ACID CONCENTRATION ON THE CORROSION RATE OF ASTM A213- T12 STEEL

Nama Mahasiswa	**: Muhammad Nashir**
NRP	**: 02111440000101**
Departemen	**: Teknik Mesin FTI-ITS**
Dosen Pembimbing	**: Suwarno ST.,MSc.,Ph.D.**

Abstract

Alloy steel is one of the materials that is often used in the industrial world, is widely applied because its mechanical properties are quite good, the price is relatively cheap and easy in the fabrication process. However, in a certain period, carbon steel-based materials are prone to quality degradation due to impurities that are on the surface of the steel, impurities in the form of sulfur deposits that arise due to differences in temperature in the exhaust gas. To overcome these problems, it is necessary to know the magnitude of the corrosion rate due to the effect of dissolved sulfur acidity. This study aims to determine the effect of the concentration of the acid solution on the value of the steel corrosion rate so that the selection of the right preheater water material can be done to reduce losses on corroded pipes.

This study was conducted to determine the effect of sulfuric acid concentration on the corrosion rate of ASTM A213 T12 steel with a concentration of 0.01M - 0.05 H_2SO_4 as an assumption of the acid environment. The corrosion rate is obtained using a potentiostat with the help of NOVA 1.8 software. Immersion test is also performed as a comparison of the polarization test while for

hardness testing using microhardness and for microstructure observation using the Scanning Electron microscope.

From the experiments carried out the results obtained by increasing the concentration of the sulfuric acid solution, the value of the corrosion rate tends to increase. Found on the potentiostat polarization test, the results of the test on ASTM A213 T12 low phosphorus steel specimens (0.008%) the lowest average corrosion rate is 1.421mm / y at 0.01M H_2SO_4 concentration and the highest average corrosion rate is 3.698mm / y at concentrations 0.05M H_2SO_4. From these data the higher the concentration of sulfuric acid the more steel will release electrons, so the corrosion rate will increase. In ASTM A213 T12 steel phosphorus specimens are high (0.834%) with a concentration of 0.05M H_2SO_4 the average corrosion rate is 7,211 mm / y because the higher the phosphorus content makes the average corrosion rate increases due to the reduction of more than hypophosphorous (H_3PO_2) and acid pospat (H_3PO_4) so it produces more hydrogen activity on the steel surface.

Key words : alloy steel, Sulfuric acid, corrosion rate

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar-besarnya penulis panjatkan atas kehadirat dan rahmat Allah SWT yang telah melimpahkan kasih, pertolongan, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul : "**Effect Of Sulfuric Acid Concentration On The Corrosion Rate Of ASTM A213-T12 Steel**" Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana Teknik S-1 di Departemen Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Sistem rekayasa, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam kesempatan ini, secara khusus penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala anugerah dan ridho kepada penulis hingga di tahap ini. Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi panutan hidup bagi seluruh makhluk di semesta alam.
2. Abi anis badres dan Umi luluk baatwah, yang selalu sayang, sabar, merawat, mendidik, dan mendengarkan cerita-cerita penulis baik senang maupun sedih.
3. Bapak Suwarno S.T, M.Sc, Ph.D, selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terima kasih atas segala saran dan bimbingan untuk laporan tugas akhir saya dan arahan untuk melanjutkan kehidupan pasca perkuliahan..
4. Bapak Dr. Eng Sutikno S.T, M.T, Bapak Fahmi Mubarrok S.T, M.Sc., Ph.D dan Bapak Putu Swarta S.T, M.Sc., Ph.D selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran untuk menyempurnakan penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Eng Unggul wasiwitono ST,M.Sc Selaku dosen wali penulis yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Teknik Mesin ITS. Terima kasih yang tidak terkira.
7. Safira Amalianda Badres, yang selalu menemani dan membantu perkuliahan hingga penulis bisa menyelesaikannya hingga tuntas.

8. M-57. Angkatan penulis yang Uber Alles
9. Ajih maga, rakha zakarsha, Novriansyah, zahir sentot. Yang selalu menghibur dan menemani sepanjang waktu dari kecil hingga saat ini, terimakasih untuk canda tawanya.
10. Rekan-rekan squad GANTENG, trimakasih sudah mau direpotin dan menemani dan mengajak mengerjakan tugas akhir tanpa rasa lelah.
11. Fauzi, kfucha, rozinah. Yang selalu menemani penulis mulai dari masuk himpunan Teknik mesin dan masuk didepartemen umum. trimakasih uda banyak crita berorganisasi.
12. Sobat metal Wira Hamadri, Amanda, enggra, handi, ryan, firman Edwin, fitri, fikri, novandita, tya, Kalian sudah menjadi keluarga kecil di lab dan detik trakir massa-massa perjuangan.
13. Abang-abang, angkatan M51, M52, M53, M54, M55, M56 terutama untuk telah membantu penulis untuk berkembang di kampus merah Teknik Mesin ini, Terima kasih.

Surabaya, 28 januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak ..... **ii**

Abstract ..... **iv**

KATA PENGANTAR ..... **vi**

DAFTAR GAMBAR ..... **xi**

DAFTAR TABEL ..... **xiii**

BAB 1 PENDAHULUAN **1**

1.1 latar belakang 1

1.2 Rumusan masalah 2

1.3 Tujuan 2

1.4 Batasan Masalah 2

1.5 Manfaat Penelitian 3

BAB II DASAR TEORI **5**

2.2 Klasifikasi baja 9

2.3 Korosi 10

2.4 Jenis – jenis Korosi 12

2.5 Asam Sulfat 15

2.6 Faktor yang mempengaruhi korosi 16

2.7 Perhitungan Laju korosi 19

2.9 Penelitian terdahulu 25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN **29**

3.1 Alur Proses Penelitian 29

3.2 Spesimen Uji 30
3.3 Pembuatan media korosif 30
3.4 Alat-Alat yang Digunakan 32
3.5 Pengujian Kehilngan Berat (Weight loss) 39
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 43
4.1 Hasil Komposisi Kimia 43
4.2 Pengujian kekerasan 44
4.3 Pengujian Pengurangan Berat (weight loss) 47
4.4 Pengujian polarisasi 50
4.5 Pembahasan 55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 61
5.1 Kesimpulan 61
5.2 Saran 61
DAFTAR PUSAKA 63
LAMPIRAN 65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 proses terjadinya korosi secara elektrokimia... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 2. 2 Skema penyerangan uniform corrosion [Roberge, Pierre. 2000]..... 12
Gambar 2. 3 Skema penyerangan crevice corrosion [Roberge, Pierre. 2000]..... 13
Gambar 2. 4 Skema Penyerangan pitting corrosion [Roberge, Pierre. 2000]..... 15
Gambar 2. 5 Skema penyerangan erosion corrosion..... 14
Gambar 2. 6 Pengaruh konsentrasi larutan korosif terhadap laju korosi [6]..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 2. 7 Pengaruh temperatur pada laju korosi [6:26] 18
Gambar 2. 8 Potensial vs Logi untuk elektroda campuran [3] 21
Gambar 2. 9 Sel tiga Electroda [9] 24
Gambar 2. 10 grafik extrapolasi tafel dan tabel nilai laju korosi. [1]..... 26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Proses Penelitian 29
Gambar 3. 2 Baja ASTM A-213 grade T12 sebagai specimen awal (material A) dan specimen yang sudah digunakan pada air preheter (material B). 30
Gambar 3. 3 Alat Potong Spesimen (a) Gerinda Tangan dan (b) Gergaji Mesin..... 32
Gambar 3. 4 Mesin Grinding dan Polishing 33
Gambar 3. 5 Microhardness tools Si-Madzu 35
Gambar 3. 6 Alat Uji Korosi Potensiostatik 36
Gambar 3. 7 Design specimen potensiostat 37
Gambar 3. 8 Benda Uji Korosi sebagai Elektroda Kerja 37
Gambar 3.9 (a) Elektroda Pembantu (Counter Electrode), (b) Elektroda Acuan..... 38

Gambar 3.10 Pemasangan rangkaian pengujian ; WE (merah), RE (biru), dan CE (hitam). 39
Gambar 3.11 Alat Pengukuran Berat Sample 40
Gambar 3.12 Pengujian weight loss 41
gambar 4.1 Grafik pengujian microhardness vickers 46
gambar 4. 2 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap nilai laju korosi baja ASTM A213T12 48
gambar 4.3 grafik weight loss terhadap waktu perendaman specimen A dengan konsentrasi 0.01M H_2SO_4 – 0.05M H_2SO_4. 49
gambar 4. 4 Kurva polarisasi potensiostat specimen A dalam variasi molaritas larutan H_2S0_4 51
gambar 4. 5 Kurva polarisasi potensiostat spesimen B dalam variasi molaritas larutan H_2S0_4 52
gambar 4. 6 grafik laju korosi spesimen A dan spesimen B terhadap molaritas asam sulfat (H_2SO_4) 53
gambar 4.7 Perbandingan hasil laju korosi pada spesimen A dengan metode ekstrapolasi tafel dan metoda weight loss. 54
gambar 4. 8, Hasil pengujian SEM Spesimen A pada larutan 0.05M H_2SO_4 (a) and 0.01M H_2SO_4 (b) dengan perbesaran 500x. 57
gambar 4. 9 Hasil pengujian SEM Spesimen A pada larutan 0.05M H_2SO_4 (c) and 0.01M H_2SO_4 (d) dengan perbesaran 10000x. 58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Besaran konstanta faktor yang digunakan berdasarkan satuan [7] 19
Tabel 2. 2 Konversi beberapa satuan dalam perhitungan laju korosi [11] 20
Tabel 2. 3 Hubungan laju korosi dan ketahanan [8] 21

Tabel 3. 1 Parameter Pengujian Polarisasi 35
Tabel 4.1 Hasil Uj Komposisi Kimia Material 43
Tabel 4.2 hasil pengujian microhardness vickers 45
Tabel 4.3 hasil pengujian weight loss baja ASTM A213. 47
Tabel 4.4 Hasil pengujian polarisasi potensiostat baja ASTM A213 grade 12 pada larutan asam sulfat dengan variasi molaritas. 50

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 latar belakang

Kemajuan industri di Indonesia sangat pesat, hal ini membuat teknologi semakin maju. Namun tidak bisa di pungkiri tiap-tiap industri pasti mempunya permasalahan yang tidak sedikit. Masalah yang selalu ada yaitu korosi. Korosi menyerang di semua material di perindustrian tanpa pandang bulu.

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Korosi merupakan peristiwa yang pasti terjadi dan tidak dapat dihentikan akan tetapi dapat diperlambat laju pembentukannya. Ada dua aspek penting yang mempengaruhi proses korosi yaitu logam dan lingkungannya. Dari sisi logam yang mempengaruhi adalah komposisi kimia dan elektroda yang digunakan. Sedangkan dari segi lingkungan, beberapa aspek yang berpengaruh diantaranya adalah PH dan temperatur. Larutan asam dari asam sulfat (H_2SO_4) memiliki aplikasi industri yang luas, di bidang pengawetan asam dan pada pembersihan industri. Perilaku korosi baja dalam larutan asam sangat penting mengingat aplikasi yang luas, yaitu, dalam campuran untuk gas buang. Larutan asam sering digunakan dalam penghapusan karat dan skala yang dikembangkan dalam proses industri[12].

Alloy steel merupakan salah satu material yang digunakan pada *tube air preheater*, dalam dunia industri banyak diaplikasikan karena sifat mekanik yang dimilikinya cukup baik, harganya yang relatif murah dan mudah dalam proses fabrikasinya. Akan tetapi dalam jangka waktu tertentu, material berbahan dasar baja rentan mengalami penurunan kualitas akibat pengotor yang berada pada permukaannya. Pengotor tersebut dapat berupa sulfur oksida yang muncul dikarekan perbedaan temperatur sehingga sulfur tersebut

menjadi endapan atau menjadi korosi dengan hal tersebut korosi merupakan masalah yang sangat penting[2].

Penelitian tugas ini dilakukan untuk mengukur laju korosi yang terjadi pada material *tube air preheater*, ada dua material yaitu tube preheater yang sudah terkorosi dan yang belum terkorosi. Dan larutan asam untuk mengetahui ketahanan korosi yang ditunjukan dengan laju korosinya. Pada penelitian ini akan difokuskan pada pengaruh larutan 0,01M – 0,05 H_2SO_4 sebagai asumsi lingkungan asam pada gas buang CFB boiler pada pembangkit Unit dua PLTU Amurang.

1.2 Rumusan masalah

Adapun permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh komposisi kimia kususnya paduan fosfor terhadap laju korosi dan pengaruh konsentrasi larutan *sulfuric acid* (H_2SO_4) terhadap laju korosi baja.

1.3 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi larutan H_2SO_4 terhadap laju korosi baja ASTM A213 T12.
2. Mengetahui pengaruh komposisi fosfor pada material baja ASTM A213 T12 terhadap nilai laju korosi.

1.4 Batasan Masalah

Supaya penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah, serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan, diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Spesiman diambil dari *air preheater* CFB Boiler Unit 2 PLTU Amurang.
2. Lingkungan korosif yang digunakan adalah larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 0,01M – 0,05M H_2SO_4 sebagai asumsi lingkungan asam.
3. Pengujian dilakukan pada temperatur kamar (25^{o}C)
4. Dimensi pemotongan dan permukaan material dianggap homogen.

5. Temperatur, tekanan dan kelembaban udara dianggap konstan selama penelitian berlangsung.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi dunia industri, manfaat dari hasil penelitian ini adalah sbb:

1. Menambah pengetauhan tentang pengujian laju korosi baja terhadap *sulfuric acid.*
2. Dapat digunakan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya dalam bidang korosi.
3. Sebagai pertimbangan pemilihan bahan untuk material *tube air preheater* CFB Boiler Unit 2 PLTU Amurang.

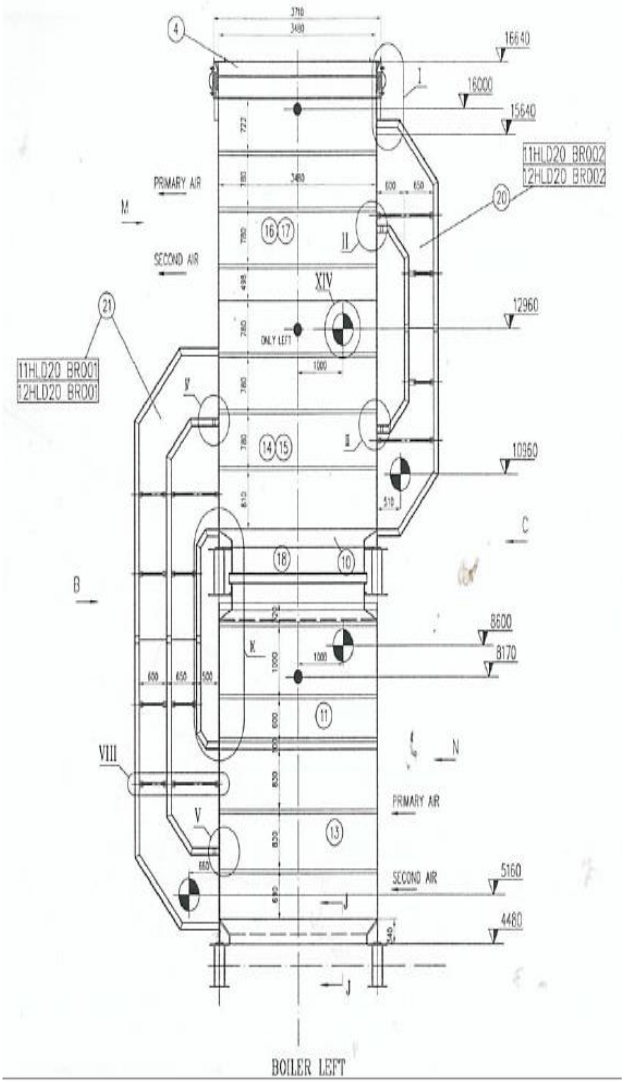
BAB II

DASAR TEORI

2.1. *Air Preheater*

Air Preheater merupakan suatu komponen yang dirancang untuk menaikkan temperatur udara yang akan digunakan pada proses pembakaran. Saat ini, ada dua jenis *air preheater* yang sering digunakan pada boiler yaitu *tube air preheater* dan *rotary air preheater*. *Tube air preheater* biasa digunakan pada pembangkit yang kapasitasnya lebih rendah dari 200 MW, sedangkan *rotary air preheater* digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 200 MW atau lebih. Fungsi *air heater* adalah untuk memanfaatkan panas dari *flue gas* yang ada di boiler yang nantinya akan meningkatkan effisiensi boiler dengan mengurangi panas pada gas buang. Dan nantinya *flue gas* akan dibuang melalui cerobong asap pada temperatur yang jauh lebih rendah dari temperatur awal *flue gas*. Salah satu jenis *air heater* yang digunakan pada pembangkit termal yaitu *tube air heater* yang dibangun ke dalam saluran *flue gas* boiler atau *heat recovery area* [18].

Boiler yang ada di PLTU Amurang Unit 2 menggunakan tipe *tube air preheater* yang cara kerjanya dibantu dengan *Primary Air Fan* dan *secondary Air Fan* yang berfungsi untuk menyerap udara yang ada di lingkungan. Udara tersebut lalu kemudian dialirkan melewati *tube air preheater* untuk dinaikan suhunya dengan memanfaatkan sisa kalor dari *flue gas* kemudian dialirkan menuju ruang pembakaran (*furnace*) yang ditunjukan pada gambar 2.1.



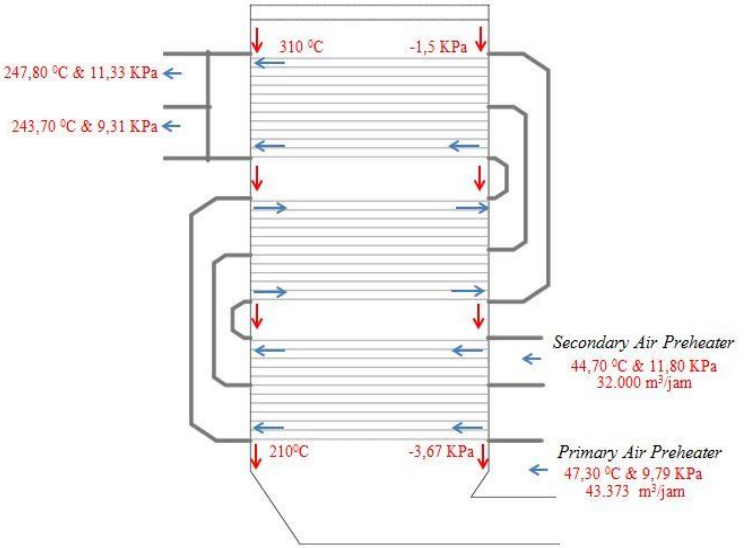
Gambar 2.1 *General Arrangement* of *air preheater* 1 of 2 PLTU Amurang[2]

Tabel 2.1 Spesifikasi *air preheater* yang digunakan pada PLTU Amuranng berdasarkan *performance test* 19 Februari 2017[2]

Air Preheater			
Ukuran *Air preheater*		*length x width x height* (m)	5,935 x 3,48 x 10,7
No	Komponen		
1	*Tube box*	*length x width* (m)	2,5 x 2,6
2	*Front Crossover Box*		
3	*Rear Crossover Box*		
4	*Tube Sheet*	*length x width*	2,28 x 3,48
5	*Manhole*		
6	*Air Preheater*		
	Primary Air Preheater		
	Primary Air Preheater	total	1886
	Input Air Preheater Temperature	C	48,6
	Input Air Preheater Temperature	Kpa	9,61
	Output Air Preheater Temperature	C	265,7
	Output Air Preheater Pressure	Kpa	9,23
	PA Fan A Flow	m3/h	19043
	PA Fan B Flow	m3/h	16791
	Secondary Air Preheater		
	Secondary Air preheater	total	1312
	Input Air Preheater Temperature	C	44,7
	Input Air Preheater Temperature	Kpa	11,33
	Output Air Preheater Temperature	C	264,8
	Output Air Preheater Pressure	Kpa	10,81
	Flow	m^3/h	32000

Pada Gambar 2.1 udara primer berasal dari udara luar yang masuk ke dalam *primary air fan* kemudian udara dihembuskan menuju ke *tube primary air heater* tempat dimana pertukaran panas antara udara primer dan flue gas terjadi. Udara primer yang akan masuk menuju *tube primary air heater* masuk dengan temperatur $47{,}30^0$C. Setelah melewati *tube primary air heater* temperatur

udara primer menjadi 243,70 ^{0}C kemudian udara primer yang telah panas masuk ke dalam bagian bawah furnace dan akan dihembuskan melalui *nozzle-nozzle* yang terletak dibagian bawah *furnace* yang berfungsi menjaga temperatur di *furnace* stabil dan sebagai udara pembakaran .



Gambar 2.2 Spesifikasi *air preheater* berdasarkan *performance test* 19 Februari 2017[2]

Udara sekunder berasal dari udara luar yang masuk ke dalam *secondary air fan* kemudian udara dihembuskan menuju ke *tube secondary air heater* tempat dimana pertukaran panas antara udara primer dan flue gas terjadi. Udara sekunder yang akan masuk menuju *tube secondary air heater* masuk dengan temperatur 44,7^{0}C. Setelah melewati *tube secondary air heater* temperatur udara primer menjadi 246,80 ^{0}C kemudian udara sekunder yang telah panas masuk ke dalam bagian bawah furnace dan akan dihembuskan melalui *nozzle-nozzle* yang terletak dibagian bawah

furnace yang berfungsi pada saat *startup burner* dengan menggunakan HSD.

Tabel 2.2 Spesifikasi *Tube Primary Air preheater* dari *General Arrangement* of *air preheater* 2 of 2 PLTU Amurang[2]

Primary Air Preheater		
Outside Diameter	mm	42,4
Inside Diameter	mm	35,4
Thickness	mm	3,5

2.2 Klasifikasi baja

Baja merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi dan karbon 0.2 % - 2.1 %. Selain itu juga mengandung unsur – unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), Silikon (Si), Mangan (Mn), dan sebagainya. Namun unsur – unsur ini hanya dalam presentase kecil. Sifat baja karbon dipengaruhi oleh presentase karbon dan struktur mikro. Sedangkan struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan campuran unsur lain dalam baja dapat meningkatkan nilai kekerasan, tahan gores dan tahan suhu. Unsur utama paduan baja adalah karbon, dengan ini baja dapat digolongkan menjadi tiga yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi [12].

Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Baja karbon rendah

   Baja karbon rendah (low carbon steel) mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0.3 % C. Baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

2. Baja karbon menengah

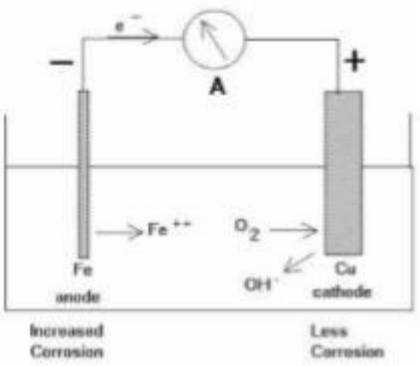
Baja karbon menengah(medium carbon steel) mengandung karbon 0.3 %C – 0.7 %C. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai. Baja ini lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon lebih dari 0.7 %C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya martensit. [12]

2.3 Korosi

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi kimia dan elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Oleh karena itu korosi tidak dapat dihentikan, namun dapat dikendalikan.



Gambar 2. 3 proses terjadinya korosi secara elektrokimia [3]

Menurut jenis reaksinya korosi dibagi menjadi dua, yaitu korosi kimia dan korosi elektrokimia. Korosi kimia adalah korosi yang terjadi melalui reaksi kimia secara murni, tanpa adanya elektrolit biasanya terjadi pada temperatur tinggi atau pada

lingkungan yang kering tanpa adanya kandungan uap air sehingga sering disebut dengan korosi kering. Korosi elektrokimia terjadi apabila reaksi yang berlangsung melibatkan larutan elektolit sehingga bisa dikenal sebagai korosi basah (*wet corrosion*).

Korosi yang terjadi akibat reaksi elektrokimia, melibatkan dua reaksi yaitu reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Reaksi oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron yang berakibat ion-ion positif. Sedangkan reaksi reduksi adalah reaksi penangkapan electron. reaksi yang terjadi pada baja secara umum adalah :

reaksi anoda : $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

reaksi katoda : $O_2 + H_2O + e^- \rightarrow OH^-$

Pada saat terjadi korosi maka kedua reaksi oksidasi dan reaksi reduksi akan terjadi secara bersamaan. Elektron-elektron yang terbentuk pada reaksi oksidasi akan mengalir menuju katoda. Pada katoda akan terjadi reaksi katodik, yaitu reaksi penagkapan electron-elektron yang dilepas oleh oleh anoda.

Anoda adalah bagian permukaan logam yang terkorosi. Merupakan elektroda yang memiliki potensial lebih rendah pada sebuah sel galvanik. Anoda mengalirkan elektronnya melalui konduktor menuju katoda, lalu electron bereaksi dengan ion positif pada permukaan katoda. Anoda akan kelebihan muatan positif yang akan beraksi dengan ion negatif larutan elektrolit dan membentuk produk korosi.[3] Secara umum ada 4 syarat yang harus dipenuhi untuk terjadinya sebuah korosi basah, yaitu:

1. Anoda
    - Elektoda tempat terjadinya reaksi oksidasi (pelepasan elektron)

- Elektroda yang menyerap anion dari elektrolit

2. Katoda
   - Elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi (penangkapan elektron)
   - Elektroda yang menangkap kation dari elektrolit

3. Larutan Elektrolit
   Elektrolit adalah larutan yang memiliki ion-ion yang dapat bereaksi dengan elektroda.
4. Konduktor
   Suatu media yang dapat menghantarkan aliran elektron.

2.4 Jenis – jenis Korosi

2.4.1 *Uniform* Corrosion

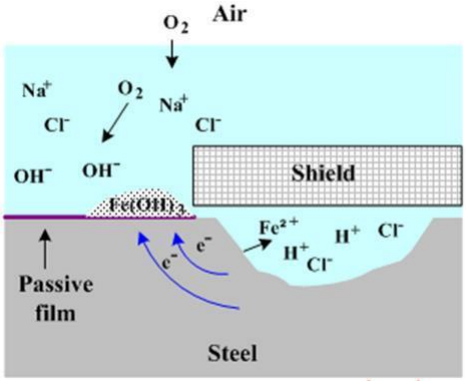
Uniform corrosion atau *uniform attack* adalah jenis penyerangan korosi suatu logam yang seluruh permukaannya mengalami kontak langsung dengan media korosifnya. Dalam uniform corrosion ini, seluruh permukaan logam harus kontak langsung dengan media korosifnya dan dari aspek metalurgi dan komposisi dari logam tersebut harus uniform. Penipisan pada uniform corrosion memiliki laju yang sama pada seluruh permukaan logam yang mengalami kontak langsung dengan media korosif seperti pada Gambar 2.4.

Gambar 2. 4 Skema penyerangan uniform corrosion [10]

Uniform corrosion memiliki penyerangan yang paling ideal dibandingkan yang lainnya, karena kondisi peralatan dan lingkungan kerja yang uniform jarang terjadi pada kehidupan nyata. Namun, penyerangan jenis ini dapat terlihat hanya dengan visual inspection dan mudah diprediksikan dibandingkan penyerangan lokal. Sebagai contoh adalah korosi yang terjadi pada baja dalam larutan asam dengan tekanan atmosfer.

2.4.2 *Crevice Corrosion* atau Korosi Celah

Crevice corrosion atau korosi celah adalah salah satu jenis penyerangan lokal yang terjadi pada suatu logam yang diakibatkan oleh adanya celah yang terbentuk akibat penyambungan dua material yang tidak sempurna. Celah pada *crevice corrosion* mengakibatkan media korosif masuk ke celah, sehingga permukaan logam yang terdapat pada celah mengalami korosi seperti pada Gambar 2.5.



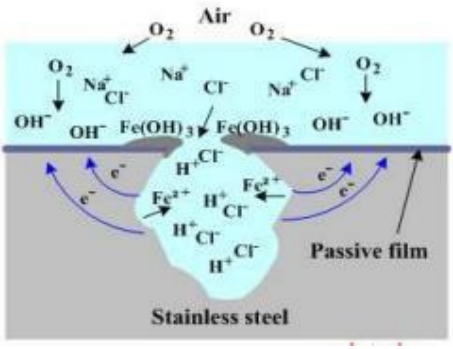
Gambar 2. 5 Skema penyerangan crevice corrosion [10]

Mekanisme terjadinya korosi celah yaitu terjadinya korosi merata. Kemudian ada celah yang memungkinkan untuk masuknya fluida. Didalam celah terjadi stagnasi fluida dan terjadi korosi merata yang memiliki reaksi anoda : $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ dan reaksi katoda : $O_2 + H_2O + e^- \rightarrow OH^-$ kemudian terjadi defisit atau kekurangan oksigen pada daerah celah sehingga terjadi penipisan oksigen yang menyebabkan pembentukan OH- terhambat.

Akibatnya terjadi kekurangan ion negatif sehingga kelebihan ion positif Fe^{2+} yang menarik ion negatif dari luar celah (Cl^-) berdifusi masuk kedalam celah untuk menyeimbangkan muatan $2Cl^- + 2Fe^{2+} \rightarrow 2FeCl$. Kemudian 2FeCl bereaksi dengan air : $FeCl + 2H_2O \rightarrow HCl + Fe(OH)_3$ dimana $Fe(OH)_3$ merupakan produk korosi. HCl dalam air teruarai menjadi H^+ dan Cl^- yang kemudian ion Cl^- kembali mengikat Fe^{2+} kembali.

2.4.3 *Pitting Corrossion* atau korosi sumuran

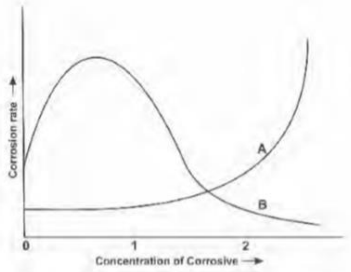
Pitting Corrosion atau korosi sumuran merupakan korosi lokal yang terjadi pada suatu logam akibat penyerangan pada lapisan oksida yang merupakan produk korosi dari suatu logam yang melidungi logam tersebut. Lapisan oksida memiliki *properties* yang berbeda dengan logamnya. Jika dilihat dari sisi kerapatannya, lapisan oksida memiliki kerapatan yang lebih kecil dibandingkan dengan logamnya. Selain itu beberapa lapisan okdisa memili ciri-ciri yang berpori. Dengan lapisan oksida yang berpori, logam tersebut memiliki kerentanan terdapat *pitting corrosion*. Jika suatu media korosif mengalir dan terjebak dalam pori-pori lapisan oksida tersebut maka hal tersebut dapat memulai proses *pitting corrosion* seperti Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Skema Penyerangan pitting corrosion [10]

2.5 Asam Sulfat

Asam sulfat adalah bahan kimia yang banyak diproduksi di dunia. Asam sulfat biasanya digunakan untuk kebutuhan produksi asam klorida, pickling baja dan logam, larutan, obat-obatan, pigmen, deterjen buatan, pemurnian bahan bakar, baterai, hingga produksi karet. Konsumsi asam sulfat seperti produksi baja



Kurva A:
1 : Ni dalam NaOH
18Cr-8Ni dalam HNO_3
Hasteloy 8 dalam HCl
1-2: Monel in HCl
Pb in H_2SO_4
Kurva B:
Al dalam asam asetat
18Cr-8Ni dalam H_2SO_4
Fe dalam H_2SO_4

Gambar 2. 7 Pengaruh konsentrasi larutan korosif terhadap laju korosi [6]

atau listrik. Gambar 2.7 merupakan gambar yang menunjukan pengaruh konsentrasi larutan korosif terhadap laju korosi suatu logam. Logam baja yang dicelupkan ke dalam larutan H_2SO_4 ditunjukkan oleh kurva B. Pada awalnya seiring dengan

pertambahan konsentrasi larutan laju korosi meningkat. Hal ini disebabkan oleh jumlah ion hidrogen yang meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi larutan asam sulfat. Pada batas tertentu, terdapat batas dimana laju korosi berada pada posisi maksimum. Pada konsentrasi asam yang semakin tinggi mengakibatkan ionisasi asam berkurang.[5] dari penelitian yang sudah dilakukan menyatakan bahwa laju korosi pada baja meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi H_2SO_4.

Dari semua asam anorganik, asam sulfat (H_2SO_4) digunakan dalam volume terbesar dan umumnya dianggap menjadi salah satu bahan kimia yang paling penting dalam industri. Banyak bahan logam dan paduan yang terkorosi oleh asam sulfat karena pH yang rendah. Dalam rentang tengah asam sulfat pekat memiliki konsentrasi tertinggi dari ion H^+, sehingga korosi yang kuat (0,5% H_2SO_4 dengan pH = 2.1, 5% H_2SO_4 dengan pH = 1.2, 50% H_2SO_4 dengan pH = 0,3). Tergantung pada konsentrasi dan suhu asam sulfat dapat berupa asam atau mengurangi asam pengoksidasi. Jejak kotoran, misalnya udara oksigen, $Fe3^+$ garam, SO_3 dll, benar-benar dapat mengubah karakter asam sulfat, mengubah mengurangi solusi dalam oksidasi. %. dari penelitian yang sudah dilakukan menyatakan bahwa laju korosi pada baja meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi H_2SO_4.[5]

2.6 Faktor yang mempengaruhi korosi

Korosi pada permukaan suatu logam dapat di percepat oleh beberapa

faktor, antara lain:

2.6.1 Kontak langsung dengan H_2O dan O_2.

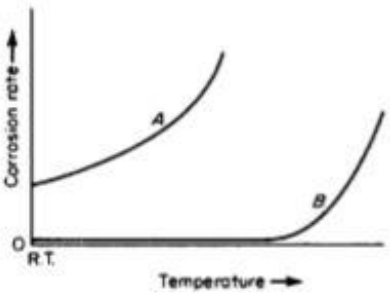
Suatu material yang berada pada lingkungan yang memiliki kandungan oksigen lebih tinggi akan bersifat katodik terhadap bagian lain yang memiliki kandungan oksigen lebih rendah dan bersifat katodik. Efek pada penambahan oksidasi atau kehadiran oksigen pada laju korosi tergantung pada keduanya yaitu

media dan logam yang di libatkan korosi pada permukaan logam merupakan proses yang menggandung reaksi redoks. Reaksi yang terjadi ini merupakan sel volta mini, sebagai contoh, korosi bersih terjadi apa bila ada oksigen (O_2)dan air(H_2O). Logam besi tidaklah murni, melainkan mengandung campuran karbon yang menyebar secara tidak merata dengan logam tersebut. Akibatnya menimbulkan perbedaan potensial listrik antara atom logam dengan atom karbon(c). Atom logam besi (Fe) bertindak sebagai anoda dan atom C sebagai katoda.

Oksigen yang larut dalam air akan tereduksi, sedangkan air sendiri berfungsi sebagai media tempat berlangsungnya reaksi redoks pada peristiwa korosi. Semakin banyak jumlah O_2 dan H_2O yang mengalami kontak dengan permukaan logam, maka semakin cepat berlangsungnya korosi pada permukaan logam tersebut [6].

2.6.2 Pengaruh Dari Temperatur.

Metal yang berada pada elektrolit yang sama tetapi temperaturnya berbeda maka metal yang berada pada temperatur yang bersuhu rendah akan bersifat sebagai anoda dan yang berada pada suhu yang lebih tinggi akan bersifat katoda, efek temperatur di ikuti oleh kenaikan laju korosi pada temperatur lebih tinggi. Dengan terjadinya kenaikan temperatur maka akan meningkatkan tenaga oksidasinya hal ini menyebabkan peningkatan laju korosi pada materialnya. Kenaikan temperatur tidak asing pada semua reaksi kimia temperatur pada laju korosi memberikan penjelasan dua pengamatan umum pengaruh temperatur pada laju korosi logam. Kurva (A) menunjukan peningkatan yang sangat cepat pada laju korosi bersamaan dengan meningkatnya temperatur, pada kurva (B) peningkatan laju korosi akan cepat jika dalam keadaan temperatur tinggi. Laju korosi pada temperatur rendah akan berjalan lambat dan akan meningkat secara eksponennsial pada harga temperatur tertentu seperti di tunjukkan oleh kurva (B) [6].



Gambar 2. 8 Pengaruh temperatur pada laju korosi [6]

2.6.3 Pengaruh P H.

Korosi juga terjadi bila suatu besi di celupkan dalam larutan aqueous (larutan berair/ mengandung elektrolit), kemudian terjadi dua lokasi yang disebut anoda dan katoda. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi (besi terkorosi menghasilkan elektron) dan pada katoda terjadi reaksi reduksi (larutan air dan ion H^+ menerima elektron dan terurai menghasilkan ion hidroksida), dan reaksi redoks ini akan berlansung terus menerus (hingga besi habis terkorosi), bila tidak terbentuk lapisan penghalang di permukaan besi/baja tersebut. Keberadaan ion-ion dan elektron- elektron ini menjadikan korosi selalu berlangsung. Karena PH berbanding lurus dengan kosentrasi ion (H^+ dan OH^-) maka laju korosi bergantung pada PH lingkunganya, di lingkungan aqueous dan PH netral (PH=7) atau agak basa (PH>7), seperti halnya kondisi di alam terbuka di bumi ini pada umumnya, bila melihat potensial korosinya, maka besi dan bajalah yang selalu siap terkorosi. Peristiwa korosi ada kondisi asam, yakni pada kondisi (PH<7) akan semakin besar, karena adanya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katoda yaitu:

$$2H^+(aq)+2e-$$

Adanya reaksi reduksi tambahan pada katoda penyebab lebih banyak atom logam yang teroksidasi sehingga laju korosi pada permukaan logam semakin besar.[6]

2.7 Perhitungan Laju korosi

2.7.1 Metode kehilangan berat (weight loss)

Salah satu kegiatan dari corrosion monitoring adalah mengetahui laju korosi pada suatu logam, sehingga dapat memprediksi kapan dan berapa lama logam tersebut mampu bertahan dari proses korosi. Untuk mengetahui laju korosi maka perlu menggunakan metode wight loss atau pengurangan berat awal dengan berat akhir setelah pengujian. Menurut ASTM G31-72 setelah memperoleh berat akhir pada proses percobaan maka untuk memperoleh laju korosi maka menggunakan rumus berikut :

Laju Korosi = (K x W) / (D x A x t)……..(2.1)

Dimana : K = konstanta

W = berat yang hilang, (g, mg)

D = density benda uji korosi, (g / cm^3)

A = luas permukaan, (cm^2, mm^2, in^2)

t = waktu, (jam)

Dari rumus laju korosi (2.1) diatas Untuk memilih besaran konstanta yang digunakan bisa diliat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Besaran konstanta faktor yang digunakan berdasarkan satuan [7]

Corrosion Rate Units Desired	Constan (K) in Corrosion rate Equation
Mils per year (mpy)	3.45×10^6
inches per year	3.45×10^3
inches per month	2.83×10^2
milimetres per year mm/y)	8.76×10^4
micro metres per year (µm/y)	8.76×10^7
picometres per second (pm/s)	2.78×10^6
gram per square decimetre per hour (g / m^2.h)	$1.00 \times 10^4 \times D$
milligram per square decimetre per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D$

konversi masing-masing satuan yang biasa digunakan dalam perhitungan laju korosi ditunjukkan oleh tabel 2.4 seperti berikut.

Tabel 2. 4 Konversi beberapa satuan dalam perhitungan laju korosi [11]

d is metal density in grams per cubic centimeter (g/cm^3)

Unit	Factor for conversion to					
	mdd	**g/m^2/d**	**µm/yr**	**mm/yr**	**mils/yr**	**in./yr**
Milligrams per square decimeter per day (mdd)	1	0.1	36.5/*d*	0.0365/*d*	1.144/*d*	0.00144/*d*
Grams per square meter per day (g/m^2/d	10	1	365/*d*	0.365/*d*	14.4/*d*	0.0144/*d*
Microns per year (µm/yr)	0.0274*d*	0.00274*d*	1	0.001	0.0394	0.0000394
Millimeters per year (mm/yr)	27.4*d*	2.74*d*	1000	1	39.4	0.0394
Mils per year (mils/yr)	0.696*d*	0.0696*d*	25.4	0.0254	1	0.001
Inches per year (in./yr)	696*d*	69.6*d*	25,400	25.4	1000	1

Perhitungan laju korosi suatu logam dapat ditentukan dengan metode konvensional (weight loss) dan elektrokimia seperti Linear Polarization Resistance (LPR) dan Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS).

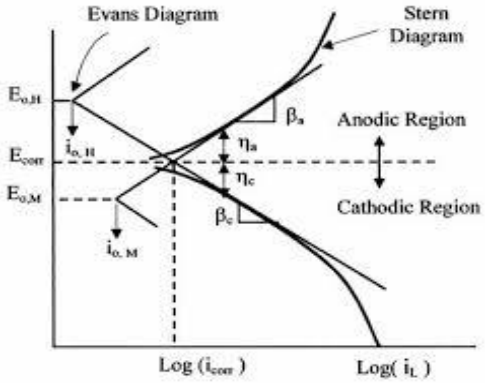
Tabel 2. 5 Hubungan laju korosi dan ketahanan [5]

Ketahanan korosi	laju korosi				
Relatif	Mpy	Mm/yr	µm/yr	Nm/yr	Pm/s
Sangat baik	<1	<0,02	<25	<2	<1
Baik	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Cukup	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	20-50
Kurang	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
Buruk	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200

Menggunakan metoda LPR untuk menentukan laju korosi pada baja. Berdasarkan ketahanan suatu logam terhadap korosi, tabel 2.5 berikut ini merupakan pengkategorian hubungan laju korosi terhadap ketahanan korosi[5].

2.7.2 Metode elektrokimia

Sebagian besar proses korosi melibatkan proses elektrokimia. Oleh sebab itu kelajuan reaksi korosi (laju korosi) bisa di tentukan dengan metode elektrokimia.



Gambar 2.9 Potensial vs Logi untuk elektroda campuran [3]

sebuah system elektrokimia tersusun atas katoda dan anoda yang mempunyai hubungan potensial dan arus. dinyatakan pada Gambar 2.9 Rapat arus sebanding dengan laju korosi, karena arus yang sama bila terkonsentrasi pada luas permukaan yang lebih kecil menghasilkan laju korosi yang lebih besar. Dengan anggapan bahwa korosi berlangsung seragam, atau merata pada seluruh permukaan logam, laju penetrasi korosi persatuan waktu dapat dinyatakan dalam mm/year. Kinetika elektrokimia pada sebuah metal yang terkosi dapat dikarakteristikan dengan penentuan kurang lebih 2 parameter berikut mengarah ke penentuan polarization resistence (RP) dan Corrosion rate (CR).

Dengan menggunakan persamaan faraday, maka laju korosi dari suatu logam dalam sistem potensiostat dapat dicari.

$$Q = \frac{n.F.W}{M} \quad \text{.....(2.2)}$$

Dimana:

Q : muatan listrik (C)
n : jumlah elektron yang bereaksi
W : berat spesimen (gram)
M : berat molekul (gram)
F : konstanta faraday

Persamaan selanjutnya menjadi:

$$W = \frac{i.t.EW}{F} \quad \text{.....(2.3)}$$

Dimana :

I :Arus
t : Waktu (second)
EW : Equivalent weight.

Laju korosi (CR) dinyatakan sebagai jumlah massa yang hilang per waktu, sehingga dapat dinyatakan seperti:

$$CR = \frac{W}{t} = \frac{i.EW}{dFA} \quad \text{.....(2.4)}$$

$$CR = \frac{i.EW \times 31{,}6 \times 106 \times 6 \times 103}{dFA \times 2{,}5 \times 106} \quad \text{.....(2.5)}$$

$$CR = \frac{0{,}13.icorr.EW}{\rho} \quad \text{.....(2.6)}$$

Dengan mengkonversikan CR dengan satuan mpy ke CR dengan satuan mmpy, maka persamaan 11 berubah menjadi:

$$CR = \frac{KI.icorr.EW}{\rho} \quad \text{.....(2.7)}$$

Dimana :CR : Laju Korosi (mm/year) untuk Icorr (μA/cm^2).

K1 : 3,27 x 10^{-3} mm g/ μA cm.

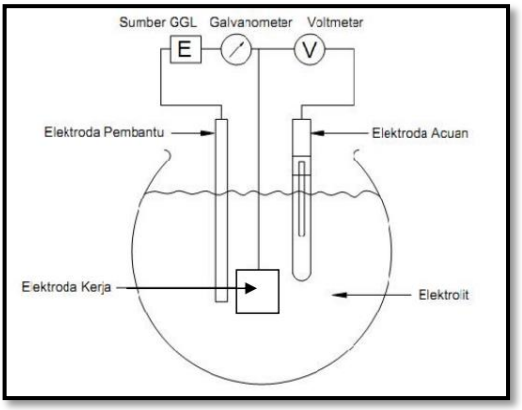
icorr : Rapat arus saat Ecorr μA/cm^2 (exchange current density).

ρ : massa jenis (g/ cm^3).

EW : Equivalent Weight (berat ekivalen)[5]

2.8 Potensiostat

Potensiostat dengan tiga elektroda merupakan perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan yang merupakan kesempurnaan dari sel korosi basah [9]. Ini merupakan versi yang disempurnakan dari sel korosi basah. Secara umum sel tiga elektroda tersusun electrode kerja, elektroda acuan, elektroda pembantu yang dihubungkan dengan sumber potensial.



Gambar 2.10 Sel tiga Electroda [9]

Gambar 2.10 menunjukkan contoh rangkaian pada peralatan tersebut. Tiga elektroda yang bekerja dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Elektroda Kerja (Working Electrode)
   Elektoda kerja merupakan istilah yang dipakai untuk menggantikan elektroda yang sedang diteliti. Elektroda kerja dapat disiapkan dengan cara memasang sebuah spesimen dalam resin, dan disambung dengan kawat tembaga untuk menghubungkan arus listrik.
2. Elektroda Pembantu (Counter Electrode)
   Elektroda pembantu berfungsi untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian, akan tetapi elektroda pembantu tidak dapat digunakan untuk pengukuran potensial. Bahan dari elektroda pembantu ini biasanya menggunakan batang karbon, selain batang karbon bisa juga menggunakan platina dan emas.
3. Elektroda Acuan (Reference Electrode)
   Elektroda acuan merupakan titik dasar untuk mengacu pengukuran elektroda kerja. Arus yang menggalir melalui elektroda ini harus kecil bila tidak bila tidak elektroda ini

akan ikut dalam reaksi sel, sehingga potensialnya tidak lagi konstan.

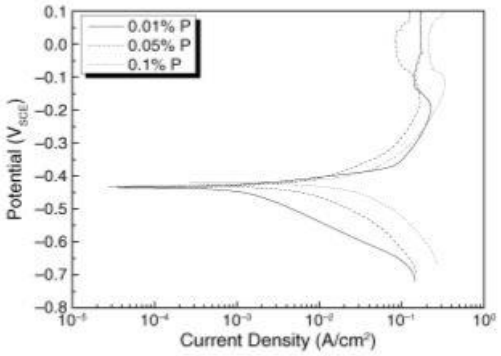
2.9 Penelitian terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Berikut ini penelitian yang digunakan sebagai acuan:

- Pada penelitian Dinar Setiawidiani [4] dengan judul "*Study korosivitas dan morfologi permukaan baja karbon API 5L GR-B yang dilapisin polmer hybrid pada lingkungan air laut dan gas H2S pada kondisi jenuh CO_2".* Uji korosi dilakukan dalam lingkungan air laut, gas H_2S , jenuh CO_2 dengan mengunakan metode polarisasi potensiodinamik dan pemeriksaan morfologi mengunakan Scanning Electron Microscope. Dengan hasil yang didapatkan menunjukan laju korosi baja karbon tanpa pelapis pada kondisi kritis adalah 1,643 mm/tahun. Setelah dilapisi polimer hybrid dengan laju korosi menjadi 0,903 mm/tahun. Laju korosi tersebut berkurang menjadi 0,74 mm/tahun. Hasil tersebut didukung oleh data morfolologi permukaan yang menunjukan korosi tidak merata pada permukaan baja karbon setelah dilapisi oleh polimer hybrid.
- Pada penelitian Yolanda Vivina Mithaya Sumartono [2] "Analisa kegagalan *air preheater* pada *circulating fluidized bed boiler*" . Dari penelitian ini analisa kegagalan ini diketahui kegagalan pada *tube air preheater* disebabkan oleh mekanisme *sulfuric acid dew point corrosion.* Mekanisme *sulfuric acid dew point corrosion* terjadi ketika sulfur berikatan dengan oksigen serta uap air membentuk gas H_2SO_4. Dikarenakan gas H_2SO_4 terkondensasi pada temperatur 153,12 ^{0}C dan berubah menjadi asam sulfat, sedangkan temperatur dipermukaan luar *tube* adalah 116,5 ^{0}C maka terbentuklah produk

korosi. Produk korosi ini terbentuk dikarenakan adanya reaksi antara asam sulfat, uap air dan logam. Produk korosi yang terbentuk pada permukaan luar tube yaitu *magnetite* atau Fe_3O_4. Korosi yang terjadi secara kontinu dan progresif menyebabkan ketebalan *tube* hanya 0,73 milimeter diseluruh permukaan melebihi batas toleransi sebesar 1,35 milimeter. Sedangkan produk korosi yang terbentuk antara permukaan dalam *tube* dengan udara yaitu *hematite* atau Fe_2O_3.

- penelitian M.J Kim [1] dengan judul " effect pospor pada perilaku korosi baja karbon dalam asam sulfat". Penelitian ini menguji penambahan poshpor pada ketahanan korosi baja karbon untuk system flue gas disulfuration (FGD) dengan mengunakan pengujian elektrokimia yaitu polarisasi potensiodinamik dalam larutan 10% H_2SO_4 pada suhu kamar.Hasil eksperimen menegaskan bahwa fosfor memiliki efek merusak pada ketahanan korosi baja karbon dalam larutan H_2SO_4. Oleh karena itu korosi memperbesar area permukaan dan kerapatan arus semakin meningkat dengan meningkatnya kandungan fosfor.



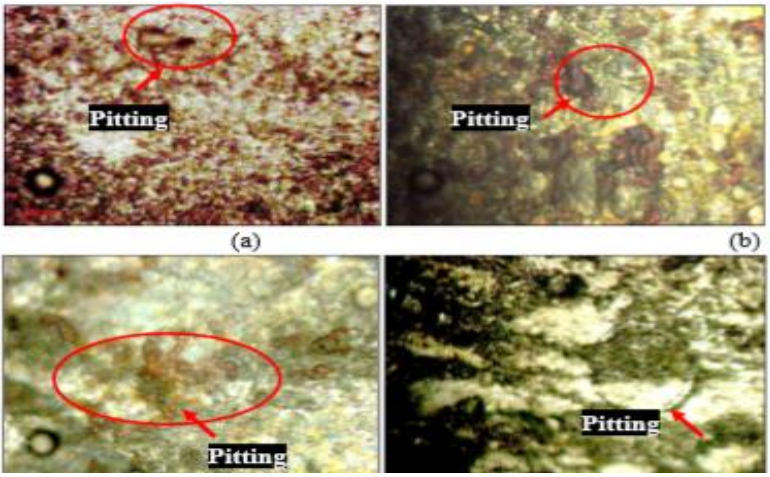
Gambar 2. 11 grafik extrapolasi tafel dan tabel nilai laju korosi. [1]

Tabel 2. 1 hasil polarisasi potensiodinamik 10%w H_2SO_4

Electrochemical Parameters of the Potentiodynamic Polarization Measurements in 10 wt% H_2SO_4 Solution at 25°C

Specimen	E_{corr} (V)	i_{corr} (mA/cm²)	$i_{0,H^+/H_2}$ (mA/cm²)	β_a (V/decade)	β_c (V/decade)	Corrosion Rate (mm/y)
0.01 P steel	–0.441	2.98	0.046	0.3	0.11	34.3
0.05 P steel	–0.413	6.11	0.225	0.035	0.12	70.3
0.10 P steel	–0.410	13.33	0.521	0.03	0.12	153

- Pada penelitan mohd asyadi Azam [14] "*Corrosion Analisis of Carbon Steel Pipeline Effect of Different Sulfuric Acid Conditions" dari penelitian* ini adalah untuk mempelajari pengaruh konsentrasi elektrolit asam sulfat (H_2SO_4) terhadap perilaku korosi permukaan internal pipa gas bumi dengan menggunakan metode ekstrapolasi Tafel. Morfologi permukaan sampel dipelajari dengan mikroskop optic dan mikroskop electron. Hasilnya laju korosi meningkat dengan konsentrasi H_2SO_4 yang lebih tinggi. Analisis mikroskopis juga mengkonfirmasi adanya korosi



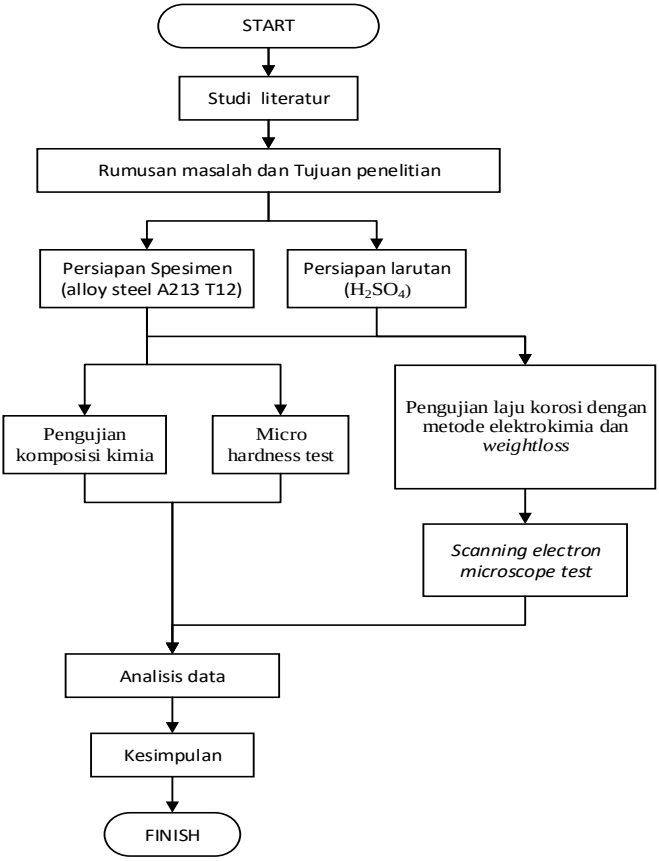
Gambar 2. 12 pengamatan korosi pitting setelah uji korosi ((a) 1 M, (b) 0.5 M, (c) 0.1 M, and (d) 0.01 M H2SO4. (dengan perbesaran 50x

pitting, dan ketebalan micrometer produk korosi dikembangkan di permukaan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Proses Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Proses Penelitian

3.2 Spesimen Uji

Pada penelitian ini mengunakan dua material yaitu baja dengan tipe ASTM A-213 grade T12 sebagai specimen awal (material A) dan specimen yang sudah digunakan pada *air preheter* (material B). Nantinya benda kerja tersebut akan digunakan sebagai spesimen uji.

Gambar 3. 2 Baja ASTM A-213 grade T12 sebagai specimen awal (material A) dan specimen yang sudah digunakan pada *air preheter* (material B).

3.3 Pembuatan media korosif

Media korosif merupakan larutan yang menyebabkan terjadinya korosi. Dalam penelitian ini digunakan elektrolit berupa larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 0.01 M – 0.05 M. Variasi penelitian ini didapatkan dari pengujian *Atomic absorption spechtrometry* (AAS) salah satu metode analisis ini yang dapat digunakan untuk mengukur unsur dalam suatu bahan dengan kepekaan dan ketelitian yang sangat tinggi. Penyusun unsur terbesar dari produk korosi atau kerak yang menjadi sempel pengujian AAS pada specimen B yaitu sulfur dengan 0.5%w. Sulfur semakin diperkaya karena endapan abu yang menempel pada tube dibagian bawah air preheater. Hal ini menyebabkan kenaikan senyawa H_2SO_4 dan membuat lingkungan kerja air

preheater menjadi lingkungan asam.[2] Pembuatan larutan H_2SO_4 dilakukan dengan cara mencairkan larutan dengan air aquades. Diketahui bahwa asam sulfat dengan kadar 98% memiliki molaritas 18.4 M.

3.3.1 Proses pembuatan Elektrolit

1. Untuk membuat larutan asam sulfat 0.01M H_2SO_4 maka akan dimasukan 0.27 ml larutan asam sulfat ke dalam gelas ukur kemudian diencerkan dengan aquades hingga 500 ml. Dan diapatkan PH : 1.7

2. Untuk membuat larutan asam sulfat 0.02M H_2SO_4 maka akan dimasukan 0.54 ml larutan asam sulfat ke dalam gelas ukur kemudian diencerkan dengan aquades hingga 500 ml. Dan dipatkan PH : 1.4

3. Untuk membuat larutan asam sulfat 0.03M H_2SO_4 maka akan dimasukan 0.81 ml larutan asam sulfat ke dalam gelas ukur kemudian diencerkan dengan aquades hingga 500 ml. Dan didapatkan PH :1.2

4. Untuk membuat larutan asam sulfat 0.04M H_2SO_4 maka akan dimasukan 1.08 ml larutan asam sulfat ke dalam gelas ukur kemudian diencerkan dengan aquades hingga 500 ml. Dan didapatkan PH: 1.1

5. Untuk membuat larutan asam sulfat 0.05M H_2SO_4 maka akan dimasukan 1.36 ml larutan asam sulfat ke dalam gelas ukur kemudian diencerkan dengan aquades hingga 500 ml. Dan didapatkan PH: 1

3.4 Alat-Alat yang Digunakan

3.4.1 Peralatan Potong

Peralatan yang digunakan untuk menyediakan spesimen uji adalah gergaji mesin, *cutting wheel*, gerinda tangan, dan gerinda duduk milik Laboratorium Metallurgi Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.

(a) **(b)**

Gambar 3. 3 Alat Potong Spesimen (a) Gerinda Tangan dan (b) Gergaji Mesin

3.4.2 Mesin *Grinding* dan *Polishing*

Mesin *grinding* digunakan untuk menghaluskan atau meratakan permukaan spesimen yang nanti akan di celupkan ke larutan korosif dan untuk pengamatan struktur mikro. Proses ini berlangsung secara bertahap menggunakan kertas gosok dengan tingkat grid dari terkecil ke grid yang besar dan dialiri air sampai permukaan spesimen tersebut halus.

Sedangkan mesin *polishing* menggunakan kain wol yang ditaburi bubuk alumina atau *metal polishing* dan dialiri air sampai permukaan spesimen menjadi halus dan mengkilap.

Gambar 3. 4 Mesin Grinding dan Polishing

3.4.3 Pengujian SEM

SEM merupakan jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai sinar elektron yang difokuskan. Elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel, untuk memproduksi berbagai sinyal yang dapat dideteksi dan yang mengandung informasi tentang morfologi permukaan, dengan melakukan pengujian ini, perbedaan morfologi dari material yang belum mengalami perlakuan Uji polarisasi dengan material yang sudah mengalami perlakuan uji polarisasi dapat diketahui. Skema alat SEM dapat dilihat pada Gambar 3.12.

Pengamatan SEM dilakukan di laboratorium metalurgi Teknik mesin ITS dimana mengunakan mesin INSPECT S50 . Pengujian Sem dilakukan setelah pengujian polarisasi. Terdapat 5 sampel yang dilakukan uji morfologi permukaan ini, yaitu diambil dari specimen A dan specimen B sesuai dengan variasi konsentrasi yang uda ditentukan. Dengan demikia didapatkan pengaruh konsentrasi larutan terhadap morfologi permukaan baja ASTM A213 *grade* T12. Pada pengujian SEM ini dimensi yang digunakan dimensi specimen yang dipakai mengikuti dimensi uji polarisasi potensiostat dengan Panjang 10mm dan lebar 10mm. penampang yang dituju yaitu permukaan baja yang terpapar dengan larutan asam sulfat.

Adapun langkah – langkah untuk melakukan uji SEM sebagai berikut:

1. Lakukan langkah-langkah 1 – 3 untuk spesimen sebelum proses pengujian laju korosi dan sesudah pengujian laju korosi.
2. *Grinding*, specimen dihaluskan kembali dengan mesin grinding dengan kekasaran dari kertas amplas sebesar 600 - 1500.
3. *Polishing*, specimen uji dipoles dengan *metal polishing* dan kain bludru hingga permukaan material yang dipoles mengkilap tanpa goresan.
4. Spesimen diamati morfologi yang terjadi menggunakan mikroskop elektron dengan perbesaran 100X, 500X, 1000X
5. Ulangi langkah 1 – 5 untuk setiap variasi konsentrasi larutan.

3.4.5 Peralatan Uji Kekerasan Mikro

Merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kekerasan secara mikro . alat ini mampu membantu untuk memetakan kekerasan pada permukaan benda kerja.

Pengujian kekerasan dengan skala mikro dilakukan pada permukaan benda kerja. Setelah indentor dan benda kerja diatur posisinya , pembebanan di atur pada alat uji. Setelah itu barulah proses indentasi dapat berlangsung. Pengambilan data dilakukan pada titik yang berbeda guna untuk mengetahui kekerasan permukaan pada masing masing titik. Hasil uji ini dapat berupa tabel ataupun diagram. Hasil ini nantinya dapat menentukan daerah mana yang mempunyai penipisan ketebalan paling signifikan.

Gambar 3. 5 Microhardness tools Si-Madzu

3.4.6 Peralatan Uji Laju Korosi

Alat uji yang digunakan untuk pengujian polarisasi adalah jenis Autolab PGSTAT302N. Pengujian dilakukan untuk mengetahui secara langsung laju korosi dari suatu logam. Hasil pengukuran polarisasi berupa kurva polarisasi yang menyatakan hubungan potensial dan arus setiap saat. Selanjutnya kurva tersebut diekstrapolasi dengan teknik tafel untuk memperoleh yang berkaitan dengan korosi pada baja karbon, parameter yang didapat dari hasil pengujian ini adalah potensial korosi (Ecorr), rapat arus (Icorr) dan laju korosi. Parameter yang digunakan pada pengujian polarisasi ditunjukkan oleh Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Parameter Pengujian Polarisasi

Elektroda Kerja	Baja ASTM A213 T12
Equivalent Weight (g/mol)	27,92
Densitas (g/cm^3)	7.75
Luasan terekspos	0.9 - 1 cm
Counter electrode	Platina

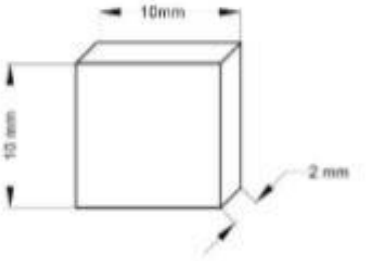
Refference electrode	Ag/AgCl
Scan rate	0.001
Start Potential	-0.01 vs OCP
Finish Potential	0.01 vs OCP

Pengujian laju korosi dilakukan dengan menggunakan sel tiga elektroda yang dilengkapi dengan perangkat *software* NOVA 1.8. Sel tiga elektroda berupa Elektroda Kerja (Working Electrode), Elektroda Pembantu (Counter Electrode), dan Elektroda Acuan (Refrence Electrode). Pengujian menggunakan potensiostat dilakukan untuk mendapatkan data kerapatan arus (I_{corr}) dan potensial (E_{corr}). Pengujian laju korosi pada penelitian ini dilakukan pada permukaan yang terkena proses.

Gambar 3. 6 Alat Uji Korosi Potensiostatik

Berikut merupakan langkah-langkah awal proses hingga menggunakan alat uji korosi Potensiostatik:

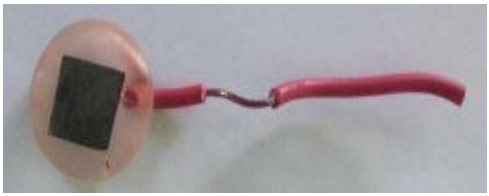
1. Material yang digunakan dengan dimensi awal diameter tube 42mm sepanjang 50mm. Kemudian dipotong dengan ukuran 10mm x 10mm untuk



pengujian menggunakan potensiostat.

Gambar 3. 7 Design specimen potensiostat

2. Spesimen yang akan diuji disambung kawat tembaga, kemudian di *mounting* dengan menggunakan resin supaya pada saat pengujian hanya permukaan material yang bereaksi.



Gambar 3. 8 Benda Uji Korosi sebagai Elektroda Kerja

3. Menghaluskan permukaan spesimen uji dengan kertas gosok dengan tingkat kekasaran 600, 800, 1000 dan 1500. Hal ini berlaku untuk semua spesimen yang akan diuji karena perlakuan yang dilakukan haruslah sama.

4. Membuka aplikasi Nova 1.8.
5. Memasang rangkaian pegujian yaitu material uji sebagai elektoda kerja (working elektrode), elektroda pembantu (counter electrode), dan elektroda acuan (refrence electrode) pada tempat yang ditentukan dan dicelupakan pada gelas ukur yang telah di isi larutan H_2SO_4.
6. Membuat prosedur baru pada program autolab yaitu *linear polarization*.
7. Jalankan aplikasi hingga proses selesai, kemudian lihat view analysis dan memasukkan parameter yang akan digunakan yaitu massa jenis material, *equivalent weight*, dan luasan area yang akan diuji.
8. Memperkirakan nilai dari b_a (anodic) dan b_c (catodic) sebagai syarat untuk mendapatkan nilai E_{corr} Calc. dan E_{corr} Obs. dengan selisih min 0,1. Hal tersebut berpengaruh pada keakuratan nilai i_{corr} dan *corrosion rate* (mm/year) yang di dapat.

Gambar 3.9 (a) Elektroda Pembantu (Counter Electrode), (b) Elektroda Acuan.

Gambar 3.10 Pemasangan rangkaian pengujian ; WE (merah), RE (biru), dan CE (hitam).

3.5 Pengujian Kehilngan Berat (Weight loss)

Pengujian weight loss dilakukan untuk menghitung laju korosi dari data berat awal specimen dengan meengunakan timbangan digital dan berat akhir specimen setelah mengalami perlakuan selama waktu tertentu, dari data tersebut didapatkan perbedaan berat awal dan berat akhir yang kemudian di konversi menjadi laju korosi (mm/y) dari material tersebut. Pengujian weight los dilakukan di laboratorium korosi, Teknikmesin FTI ITS.

Adapun langkah – langkah pengujian weight loss yang dilakukan yaitu :

a. Material yang digunakan dengan dimensi awal diameter tube 42mm sepanjang 50mm. Kemudian dipotong dengan ukuran Panjang 10mm sebanyak lima sampel sesuai dengan variasi konsentrasi yang dibuat.
b. Membersihkan material sample dengan NaCl , sehingga specimen bersih dari dari korosi yang ada di seluruh permukaannya.
c. Menyiapkan larutan asam sulfat dengan konsentrasi 0.01M-0.05M H_2SO_4 sebanyak 1000ml
d. Menimbang dan mengukur sample awal sebanyak tiga kali dengan jangka sorong dan timbangan digital.

e. Mengisi toples sebanyak 500ml untuk masing – masing konsentrasi.

Gambar 3.11 Alat Pengukuran Berat Mettler AB204-S dengan ketelitian (0,00001 gr)

f. Memasukan sample ke dalam toples dan kemudian toples di tutup.
g. Menunggu proses perendaman selama waktu yang ditentukan.
h. Mengangkat setiap sampel dan membersikan produk korosi yang terbentuk tiap 2 jam sekali
i. Menimbang sampel sesuai dengan label yang sudah di tentukan
j. Mencatat perubahan berat dan melakukan perhitungan laju korosi yang di hasilkan.
k. Mencatat hasil perhitungan di dalam tabel eksperimen.

Gambar 3.12 Pengujian weight los

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Komposisi Kimia

Sebelum melakukan penelitian, material yang digunakan akan dilakukan pengujian komposisi kimia. Mesin uji yang digunakan untuk pengujian komposisi kimia addalah mesin uji spectrometer. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan standard ASTM A213 grade T12 yang ditunjukan pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Uj Komposisi Kimia Material

Unsur-Unsur Penyusun	%		
	ASTM A 213 Grade T12	Spesimen A	Spesimen B
C	0,05 - 0,15	0.103	0.096
Si	0.5	0.219	0.367
Mn	0,30 - 0,61	0.447	0.412
P	0,025 max	0.008	0.834
S	0,045 max	0.008	0.311
Cr	0,80 - 1,25	0.112	0.467
Mo	0,44 - 0,65	0.034	0.0097

Pada tabel 4.1 berikut merupakan hasil pengujian komposisi kimia pada spesimen awal (spesimen A) dan spesimen bekas pemakaian tube air preheater (spesimen B).Setelah dibandingkan dengan komposisi kimia standard ASTM A213 grade T12, spesimen A yang belum mengalami kegagalan

memiliki komposisi kimia yang sesuai dengan ASTM A213 grade T12. Sedangkan spesimen B tidak memiliki komposisi kimia yang sesuai dengan standard ASTM A213 grade T12. Dari Hasil pengujian optical emission spectromrtry (OES) (tabel 4.1) menunjukan kususnya pada unsur paduan phosphor specimen A (low phosphor) dan specimen B (high phosphor). peningkatan kandungan phosphor pada specimen B dikarenakan adanya peningkatan aktivitas hydrogen pada permukaan baja(1).

Baja ASTM A213 grade T12 ini sangat luas aplikasinya pada dunia pembangkit listrik dan gas alam, salah satunya sebagai flow line dan pipe line penyalur udara, cara kerjanya di bantu *primary air fan dan secondary air fan* yang berfungsi untuk menyerap udara yang ada di lingkungan. Udara tersebut lalu kemudian dialirkan melewati *tube air preheater* untuk dinaikan suhunya dengan memanfaatkan sisa kalor dari *flue gas* kemudian dialirkan menuju ruang pembakaran (*furnace*).

4.2 Pengujian kekerasan

Pada pengujian kekerasan ini dilakukan di laboratorium metalurgi, Teknik mesin ITS, Institut teknologi sepuluh nopember.

Gambar 4.1 Titik pengambilan data mikrohardness

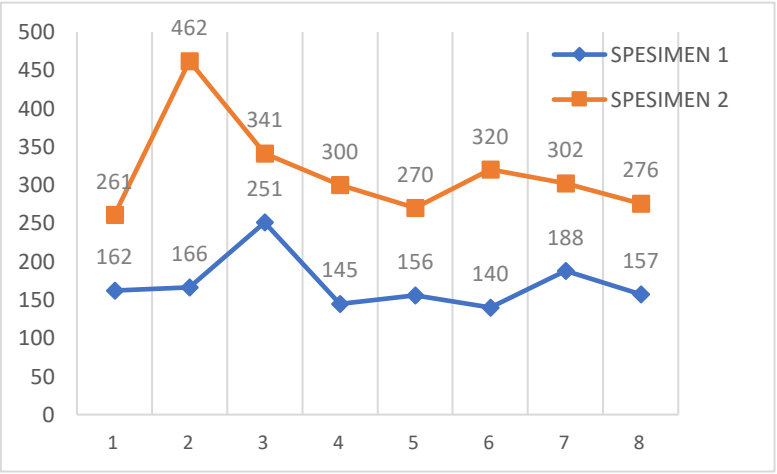
Pengujian ini mengunakan alat uji microhardness Vickers dengan pengambilan sebanyak 8 titik sesuai pada Gambar 4.1 tujuan dari pengujian kekerasan ini

adalah untuk mengetahui dan membandingkan berapa nilai kekerasan dari spesimen A dan spesimen B tersebut. Pengujian microhardness ini dilakukan sebelum specimen mengalami pengujian polarisasi potensiostat. Sebelum melakukan pengujian ini spesimen di polishing terlebih dahulu hingga permukaan terhindar dari lapisan coating. Dan harus dipastikan permukaan halus dan rata agar mendapatkan hasil yang akurat. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 hasil pengujian microhardness vickers

NO	Spesimen A	Spesimen B
1	162	261
2	166	462
3	251	341
4	145	300
5	156	270
6	140	320
7	188	302
8	157	276
rata-rata	170.6	316.5
SD	35.6	64.5

adapun grafik pengujian mickrohardness Vickers dari kedua spesimen dengan pengambilan sebanyak 8 titik yang ditunjukan pada Gambar 4.1



Gambar 4.2 Grafik pengujian microhardness vickers

Grafik pada Gambar 4.2 Dapat di ketahui bahwa angka rata-rata kekerasan dari spesimen B paling tinggi yaitu 316,62 HV kemudian diikuti oleh spesimen A dengan rata-rata yaitu 170,62 HV.

Pada kedua baja tersebut spesimen B memiliki kekerasan yang paling tinggi. Jika dilihat pada standard ASTM A213 T12 , mempunyai kekerasan yaitu 170 HV jika dibandingkan dengan hasil pengujian kekerasa pada spesimen A yaitu 170.6 HV, nilai pada spesimen A sesuai dengan nilai kekerasan pada standard material ASTM A213 T12. Pada spesimen B mempunyai hasil pengujian yang lebih tinggi yaitu 316.5 HV, jika dibandingkan dengan nilai kekerasan yang diperolehdari standard ASTM A 213 T12 yaitu 170 HV specimen fosfor tinggi (spesimen B) mempunyai nilai yang lebih tinggi. Analisis dari permukaan baja menunjukkan

bahwa kekasaran permukaan meningkat dengan meningkatnya kandungan fosfor.[1] semakin besar nilai kekerasan yang didapat semakin besar pula nilai laju korosinya hal ini memudahkan terjadinya korosi pada permukaan baja sebab kutub-kutub yang bermuatan dan berperan sebagai anoda katoda dalam korosi lebih muda terbentuk.[17]

Sifat mekanik, terutama kekerasan dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu komposisi unsur, proses pembuatan serta proses perlakuan panas. Dari segi uji unsur paduan denga OES Spektrometer, terdeteksi adanya unsur yang mampu terlarut didalam ferrite seperti Si dan Mn. Kedua unsur tersebut tersebut pada intinya membentuk larutan padat pada ferrit sehingga akan menaikan kekerasan dan kekuatan ferrit. Namun, pengaruh unsur paduan terhadap kekuatan dan kekerasan baja secara keseluruan hamper tidak berarti apabila tidak terjadi perubahan struktur. Oleh karena itu faktor selain yang dipertimbangkan adalahperoses pengerjaan dan perlakuan panas sehingga memperoleh struktur mikro yang diinginkan.

4.3 Pengujian Pengurangan Berat (weight loss)

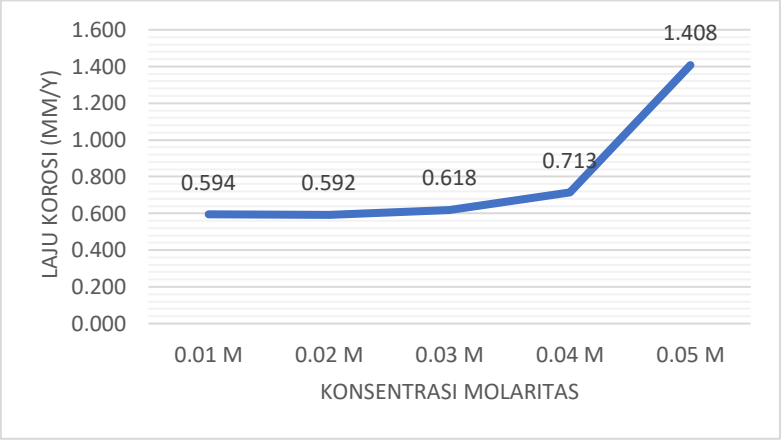
Berikut merupakan tabel hasil pengujian weight loss baja ASTM A213 terhadap konsentrasi dengan variasi 0.01M-0.05M dengan waktu pencelupan selama 8 jam dalam larutan asam sulfat.

Tabel 4.3 hasil pengujian weight loss baja ASTM A213.

Material	Konsentrasi	massa awal (g)	massa akhir (g)	awal - akhir (g)	luasan (cm2)	laju korosi (mm/y)	rata - rata laju korosi (mm/y)
A	0.01 M	31.980	31.730	0.250	330.962	1.067	0.594
	0.02 M	30.610	30.380	0.230	305.530	1.064	0.592
	0.03 M	31.300	31.060	0.240	305.530	1.110	0.618
	0.04 M	31.760	31.460	0.300	330.962	1.281	0.713
	0.05 M	31.420	30.880	0.540	330.962	2.305	1.408

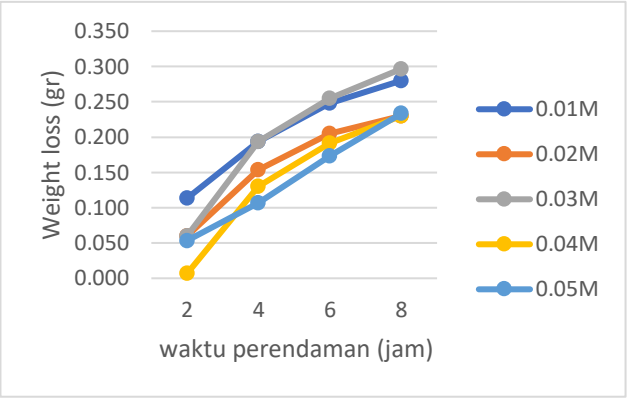
Dari hasil pengujian didapatkan hubungan antara meningkatya molaritas larutan dan lamanya pencelupan, dalam variasi molaritas maka menyebabkan meningkatnya laju korosi. Tabel 4.7 menunjukan bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada konsentrasi molaritas 0.05M pada specimen A yaitu sebesar 1.407 mm/y kemudian pada waktu yang sama dengan konsentrasi molaritas 0.04M dengan laju korosi sebesar 0.712mm/y dan pada konsentrasi 0.03M mencapai 0.617 mm/y namun pada konsentrasi molaritas 0.02M mengalami penurunan pada laju korosi sebesar 0.0591mm/y dan untuk konsentrasi molaritas pada variasi terkecil yaitu 0.01M nilai laju korosi melebihi konsentrasi 0.02M didapatkan laju korosi yang hampir sama yaitu 0.531 mm/y.dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya kepekatan larutan, maka nilai laju korosi juga bertambah.

Adapun grafik pengaruh konsentrasi molaritas terhadap nilai laju korosi baja ASTM A213 grade T12 dalam asam sulfat dengan metoda weight loss ditunjukan oleh Gambar 4.2



Gambar 4. 3 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap nilai laju korosi baja ASTM A213T12

Dari Gambar 4.3 grafik tersebut terjadi kecenderungan kenaikan laju korosi seiring bertambahnya konsentrasi molaritas. Hal ini disebabkan kepekatan larutan asam sulfat, yang mempengaruh terjadinya korosi pada permukaan material.



Gambar 4.4 grafik weight loss terhadap waktu perendaman specimen A dengan konsentrasi 0.01M H_2SO_4 – 0.05M H_2SO_4.

Dari Gambar 4.4 terjadi fenomena dimana seiring bertambahnya waktu perendaman, maka berat yang hilang dari specimen A juga semakin meningkat. Didapatkan bahwa kehilangan berat terbesar terjadi pada konsentrasi 0.03M H_2SO_4 dengan waktu pencelupan 8 jam dengan rata-rata yaitu 0.042gr kehilangan berat terkecil pada waktu perendaman 8 jam juga terjadi

pada konsentrasi 0.05M H_2SO_4 dengan rata-rata yaitu 0.039gr. Pada waktu perendaman 2 jam awal kehilangan terbesar terjadi pada konsentrasi 0.01M H_2SO_4 dengan rata-rata yaitu 0.113gr dan kehilangan berat terkecil terjadi pada 0.04M H_2SO_4 dengan rata-rata yaitu 0.007gr.

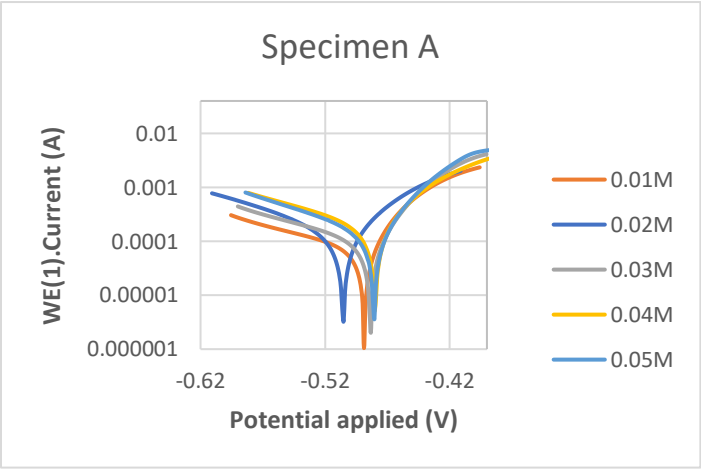
4.4 Pengujian polarisasi

Untuk mengetahui nilai laju korosi pada kedua spesimen A dan B berdasarkan pengaruh konsentrasi dilakukan pengujian polarisasi. Pengujian ini dilakukan dengan variasi konsentrasi molaritas yaitu 0.01M H_2SO_4-0.05M H_2SO_4. Dari hasil pengujian polarisasi potensiostat terhadap variasi larutan H_2SO_4 didapatkan hasil seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.4 Hasil pengujian polarisasi potensiostat baja ASTM A213 grade 12 pada larutan asam sulfat dengan variasi molaritas.

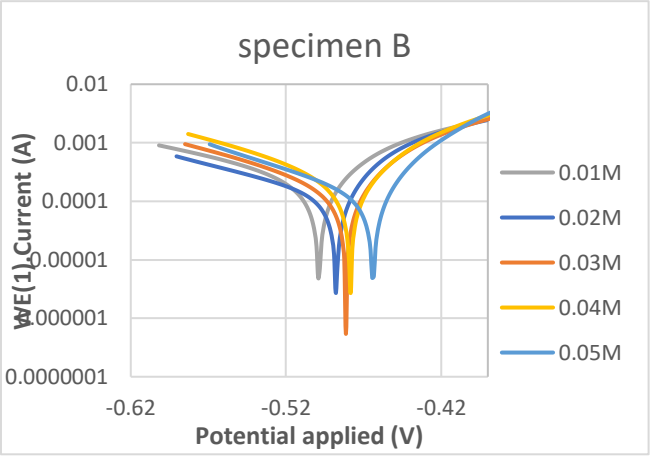
material	sample	Konsotrasi (H_2SO_4)	I_{corr}	E_{corr}	laju korosi (mm/y)	rata - rata laju korosi (mm/y)
A	1	0.01 M	143.918	-488.230	1.158	(±) 1.421
	2		97.7217	-494.180	1.175	
	3		160.616	-506.500	1.931	
	4	0.02 M	167.455	-505.473	2.192	(±) 2.177
	5		144.343	-504.935	1.889	
	6		187.245	-507.146	2.450	
	7	0.03 M	171.526	-483.535	2.105	(±) 2.321
	8		190.894	-491.356	2.342	
	9		205.143	-495.857	2.517	
	10	0.04 M	266.085	-479.924	3.135	(±) 3.231
	11		279.124	-488.942	3.288	
	12		277.665	-488.697	3.270	
	13	0.05 M	251.085	475.925	2.958	(±) 3.697
	14		280.222	485.874	3.301	
	15		277.622	-488.696	4.834	
B	16	0.01 M	144.342	-504.937	1.712	(±) 1.719
	17		145.422	-504.840	1.719	
	18		144.342	-504.930	1.728	
	19	0.02 M	206.780	-486.606	2.700	(±) 3.334
	20		306.190	-488.030	3.144	
	21		507.522	-491.877	4.158	
	22	0.03 M	156,050	-480.280	2.036	(±) 3.629
	23		285.812	-476.655	3.367	
	24		465,480	-476.464	5.484	
	25	0.04 M	235.492	-478.594	2.774	(±) 5.245
	26		492,040	-472.111	5.797	
	27		564.062	-468.484	7.165	
	28	0.05 M	382.922	-483.073	4.511	(±) 7.210
	29		481.030	-452.275	5.248	
	30		482.546	-469.636	11.873	

Berdasarkan tabel 4.3 hasil pengujian polarisasi ppotensiostat didapatkan bahwa semakin tinggi asam sulfat yang terlarut menunjukan bahwa semakin naik juga nilai laju korosi. Laju korosi terendah diketahui keseluruan terdapat pada larutan 0.01M H_2SO_4 , dimana laju korosi terendah teradapat pada spesimen A yaitu 1.421 mm/yr kemudian spesimen B yaitu 1.719 mm/yr. Untuk laju korosi tertinggi secara keseluruan terdapat pada larutan 0.05M H_2SO_4 dimana laju korosi tertinggi terdapat pada spesimen B yaitu 7.210 mm/y, kemudian spesimen A yaitu 3.697 mm/yr.



Gambar 4. 5 Kurva polarisasi potensiostat specimen A dalam variasi molaritas larutan H_2S0_4

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 merupakan hasil dari pengujian polarisasi berbentuk kurva potential (V) vs log current density (A/cm^2) dari seluruh variasi molaritas. Untuk mempermudah melakukan perbandingan maka masing-masing kurva polarisasi ditampilkan bersama dengan warna yang berbeda.

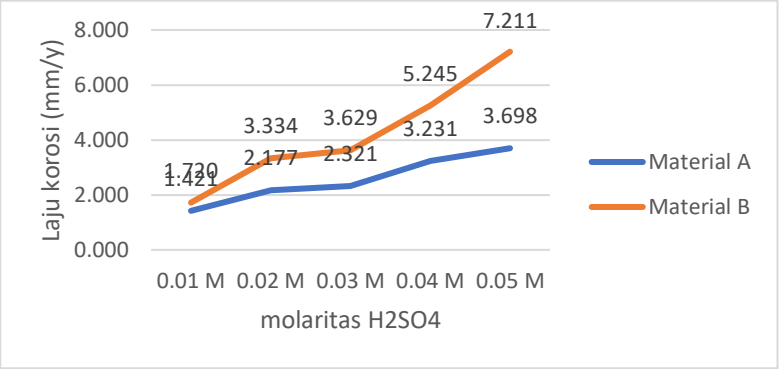


Gambar 4. 6 Kurva polarisasi potensiostat spesimen B dalam variasi molaritas larutan H_2S0_4

Gambar 4.6 menunjukan pengaruh variasi konsentrasi molaritas larutan H_2SO_4 terhadap kurva polarisasi potensiostat dari spesimen A. Masing – masing sampel diberikan potensial mulai dari -0.01 dan menghasilkan rapat arus yang cukup besar. Peningkatan linier potensial kearah positif menyebabkan terjadinya penurunan rapat arus hingga mencapai satu titik potensial dimana rapat arus menyapai nilai terendah. Titik ini yang biasanya disebut dengan potensial korosi bebas / Ecorr.

Gambar 4.7 menunjukan Daerah yang mencakup antara potensial minimum sampai dengan Ecorr disebut dengan daerah katodik.Pada daerah ini terjadi reduksi atau juga disebut reaksi katodik. Yang memberi informasi bahwa akibat naiknya konsentrasi molaritas yang mendekati netral membuat kurva naik keatas atau reaksi elektrokimia yang terjadi antara permukaan material dengan larutan asam sulfat menjadi anodik. Pada daerah Ini terjadi reaksi oksidasi atau reaksi anodic dimana material mengalami korosi.Grafik tersebut menunjukan bahwa semakin

tinggi molaritas membuat kurva bergeser ke kanan dimana menunjukan kenaikan nilai laju korosi terhadap variasi konsentrasi molaritas.

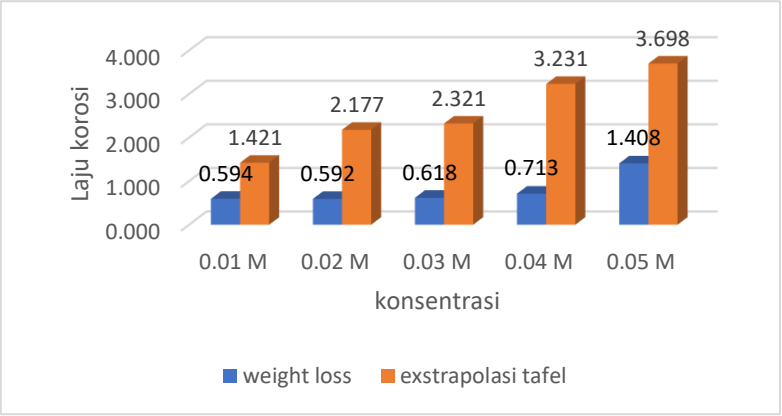


Gambar 4. 7 grafik laju korosi spesimen A dan spesimen B terhadap molaritas asam sulfat (H_2SO_4)

Dari keseluruan eksperimen pengujian polarisasi dapat diketahui bahwa semakin pekat larutan H_2SO_4 maka semakin tinggi juga laju korosi yang didapat pada setiap material. Pada pengujian polarisasi potensiostat ini diketahui molaritas larutan 0.05M H_2SO_4 memiliki rata-rata tertinggi dibanding dengan variasi larutan lainnya. Dimana nilai laju korosi pada spesimen A yaitu 3.698 mm/yr kemudian spesimen B yaitu 7.211 mm/yr dengan waktu polarisasi 60 detik.

Di liat dari pengujian komposisi mengunakan OES unsur-unsur yang terkandung dalam kedua spesimen tersebut memenuhi kriteria dari standard ASTM A213 grade T12, Kecuali pada komposisi phosphor specimen A yaitu 0.008% dan pada specimen B yaitu 0.834%, perbedaan nilai komposisi phosphor mempengaruhi besar kecilnya nilai laju korosi. Semakin tinggi nilai phosphor semakin tinggi juga nilai laju korosi yang di dapat.

Apabila dilakukan pebandingan laju korosi pada pengujian polarisasi dengan metode extrapolasi tafel dan pengujian pengurangan berat (weight loss) pada specimen A. karena pengaruh molaritas larutan laju korosi meningkat seiring dengan bertambahnya molaritas asam sulfat. Hal ini ditunjukan oleh Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Perbandingan hasil laju korosi pada spesimen A dengan metode ekstrapolasi tafel dan metoda weight loss.

Gambar 4.8 menunjukan kecenderungan laju korosi pada kondisi awal lebih rendah dari pada kondisi variasi konsentrasi trakhir. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan ukuran seberapa banyak larutan asam sulfat yang terlarut tiap konsentrasi yang divariasikan. Nilai laju korosi pada pengujian weight loss cenderung lebih rendah dari pada mengunakan metoda ekstrapolasi tafel. Baik pengujian weight loss maupun pengujian poalrisasi menunjukan laju korosi yang semakin tinggi seiring dengan kenaikan konsentrasi molaritas asam sulfat seperti pada Gambar 4.8.

4.5 Pembahasan

Hasil laju korosi dilakukan dengan pengujian weight loss dan extrapolasi tafel. Laju korosi cenderung meningkat dengan bertambahnya konsentrasi larutan asam sulfat. Hal ini dibuktikan oleh pengujian weight loss dan polarisasi potensiostat yang dibuktikan pada Gambar 4.3 dan 4.5. penelitian lainnya dilakukan oleh didapatkan bahwa semakin meningkatnya kosentrasi larutan maka semakin tinggi pula laju laju korosi yang terjadi baik pada pengujian poalrisasi ataupun weight loss hal ini dikarenakan sifat asam sulfat ebagai oksidator yang uat mengoksidasi Fe menjadi Fe^{2+}.[3]

Pengaruh konsentrasi molaritas ditunjukan pada Gambar 4.6. Laju korosi menigkat dengan naiknya konsaentrasi molaritas. Hal ini ditunjukan laju korosi yang lebih tinggi dengan konsentrasi yang sama dimiliki oleh spesimen B. dibuktikan dengan nilai laju korosi pada konsentrasi 0.05M H_2SO_4 untuk spesimen A yaitu 3.698 mm/y dan untuk spesimen B yaitu 7.211 mm/y. dengan ini didapatkan perbedaan hasil laju korosi dari specimen A dan specimen B. Perbedaan nilai laju korosi bisa dikarenakan adanya unsur-unsur paduan pada material yang berbeda, dari pengujian OES didapatkan adanya dua unsur pada specimen B yang tidak masuk dalam standard ASTM A213 grade T12. Salah satu unsur paduan yaitu pada persentase komposisi phosphor (P) mencapai 0.834% (*high phosphor)*. Peningkatan senyawa phosphor di permukaan baja, fosfor dalam air bergabung dengan hidrogen dan oksigen membentuk senyawa seperti hipofosfor (H_3PO_2) asam fosfat (H_3PO_3) dan asam pospat (H_3PO_4) diketahui asam hipofosfor dan asam fosfor adalah zat preduksi. Ini berarti fosfor dalam baja membentuk asam fosfat, jika $FeSO_4$ diterapkan di reaksi dapat di tulis :

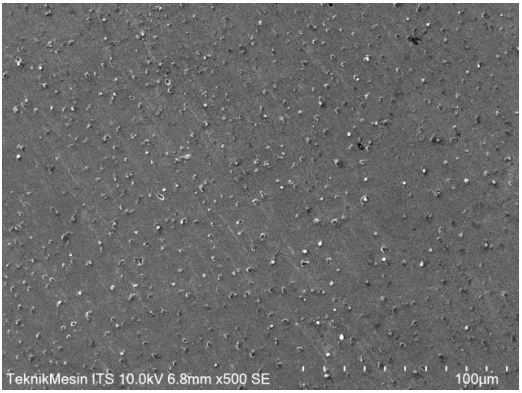
$$PO_4^{3-} + FeSO_4 \rightarrow FePO_4 + SO_4 + e^-$$

Diketahui pada permukaan baja bahwa kekerasan meningkat dengan meningkatnya kandungan fosfor, dikarenakan adanya reduksi lebih dari zat preduksi sehingga menghasilkan aktifi→tas hydrogen yang lebih pada permukaan baja. Yang ditangkap oleh elektroda pembantu (platina) dan berdampak meningkatnya kerapatan arus akan membuat nilai laju korosi semakin tinggi. Nilai laju korosi pada baja dalam larutan asam sulfat semakin tinggi dengan meningkatnya konsentrasi asam sulfat. Hal ini disebabkan oleh sifat asam sulfat sebagai oksidator kuat yang mengoksidasi Fe menjadi Fe^{2+} dengan reaksi sebagai berikut :

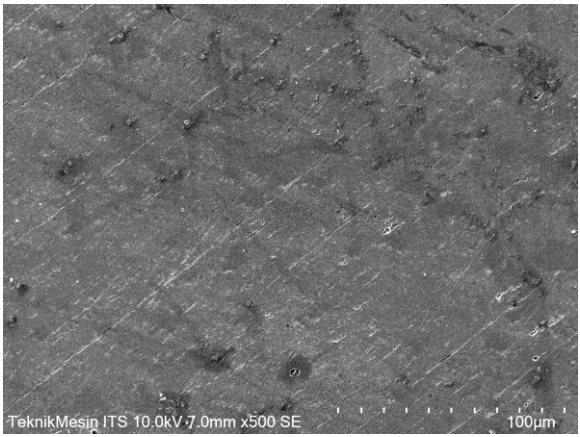
$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-} \text{ (oksidasi)}$$

$$2H^{+} + 2e \rightarrow H_2 \text{ (reduksi)}$$

Dari reaksi ini dapat dijelaskan bahwa semakin besar konsentrasi asam sulfat maka baja akan semakin banyak melepaskan elektron, sehingga nilai laju korosi akan semakin meningkat. Dari dua reaksi diatas dapat dijelaskan bahwa semakin besar konsentrasi sulfat (SO_4^{2-}) dan ion hydrogen dalam larutan maka ikatan antara atom-atom logam dalam baja akan semakin lemah, sehingga nilai laju korosi pada baja akan semakin meningkat.[16]



(a)

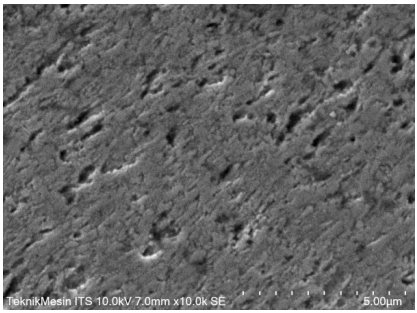


Gambar 4. 9, Hasil pengujian SEM Spesimen A pada larutan 0.05M H_2SO_4 (a) and 0.01M H_2SO_4 (b) dengan perbesaran 500x.

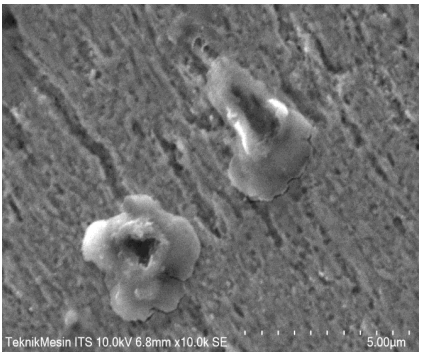
Pada material specimen A (*low phosphor*) dilakukan pengujian SEM untuk mengetahui morfologi permukaan specimen yang berkontak langsung dengan larutan H_2SO_4 dan mengetahi produk korosi pada specimen, pengujian SEM dilakukan sesudah material mengalami pengujian extrapoloasi tafel dengan konsentrasi 0.01M H_2SO_4 dan 0.05M H_2SO_4.Pada Gambar 4.9 menunjukan hasil pengujian SEM specimen A bahwa adanya goresan-goresan yang dihasilkan merupakan dari proses grinding. Untuk spesimen A dalam larutan 0.01M H_2SO_4 dengan perbesaran 10000x menunjukan adanya proses oksidasi pada baja.

Produk korosi larut pada permukaan baja yang mengarah pada pembubaran besi Fe^{2+}. Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa semakin tinggi molaritas yang terlarut, semakin bayak produk korosi yang melekat pada permukaan sampel. Karena kehadiran ion ion akan mengahasilkan korosi sumuran. Untuk mengetahui

produk korosi pada permukaan sampel dilakukan pengujian komposisi kimia dengan EDS dan didapatkan hasil pada perbesaran 1000x pada sampel 0.05M H_2SO_4 diketahui adanya senyawa Fe dengan oksigen dan sulfur terbentuk yaitu $FeSO_4$. Pada tahap ini korosi pitting dapat terjadi pada permukaan tertentu, dan serangan penetrasi ini akan mengikis permukaan sampel, dan akhirnya akan membentuk pitt pada permukaan dan melemahkan sifat mekanik pada sampel tersebut.



(c)



(d)

Gambar 4. 10 Hasil pengujian SEM Spesimen A pada larutan 0.05M H_2SO_4 (c) and 0.01M H_2SO_4 (d) dengan perbesaran 10000x.

Korosi yang terjadi pada permukaan spesimen berupa korosi sumuran, hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang mengatakan bahwa aktifias larutan *sulfuric acid* akan menyebabkan korosi sumuran pada permukaan spesimen. Dengan konsentrasi SO_4^{2-} yang lebih tinggi menyebabkan permukaan pipa baja terkorosi lebih serius.[14] korosi sumuran yang terjadi akan menyebabkan spesimen mengalami pengurangan ketebalan, akan tetapi dikarenakan waktu pengujian yang terlalu singkat sehingga tidak bisa menunjukan hasil yang signifikan, adapun massa sempel yang tidak mengalami pengurangan hal ini dikarenakan massa deposit atau endpan produk korosi (Gambar 4b) yang menempel pada permukaan sempel lebih dari pengurangan massa sempel yang diakibatkan dari proses korosi sumuran.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap lajukorosi baja dapat di tarik beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Didapatkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi larutan H_2SO_4 maka semakin tingi pula laju korosi yang terjadi. pada pengujian polarisasi potensiostat didapatkan Hasil pengujian pada specimen A rata-rata laju korosi terendah yaitu 1.421mm/y pada konsentrasi 0.01M H_2SO_4 dan rata-rata laju korosi tertinggi yaitu 3.698mm/y pada konsentrasi 0.05M H_2SO_4. Dari data tersebut semakin tinggi konsentrasi asam sulfat maka baja akan semakin banyak melepaskan elektron, sehingga kecepatan laju korosi akan semakin meningkat.
2. Pada konsentrasi 0.05M didapatkan rata-rata laju korosi pada spesimen A (3.698mm/y) dan pada spesimen B (7.211mm/y) diketahui dari permukaan baja semakin tinggi kandungan fosfor membuat rata-rata laju korosi meningkat dikarenakan adanya reduksi lebih dari hipofosfor (H_3PO_2) dan asam pospat (H_3PO_4) sehingga menghasilkan aktifitas hidrogen yang lebih pada permukaan baja.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian pengaruh konsentrasi larutan terhadap laju korosi baja ASTM A213 grade 12 :

1. .dilakukan pengujian laju korosi dengan waktu pencelupan lebih atau kurang dari 8jam untuk melengkapi referensi tentang korosi pada baja ASTM A213 grade 12 menggunakan metoda weight loss.
2. Pengukuran polarisasi dilakukan dengan laju penambahan potensial yang lebih pelan untuk menghindari pembacaan yang kurang benar.
3. Menambah variasi konsentrasi terutama dengan molaritas diatas 0.05M H_2SO_4 untuk mendapatkan karakteristik nilai laju korosi pada lingkungan asam sulfat yang lebih akurat.

DAFTAR PUSAKA

[1] MJ.Kim, S.H. Lee, J.G. Kim, *effect of phosphorus on the corrosion behavior of carbon steel in sulfuric acid, corrosion science section*, 2010

[2] Yolanda Vivina MS, Analisa Kegagalan Air Preheater Pada circulating Fluidized Bed, Jurusan Teknik Mesin ITS, 2019.

[3] Abdul Latif dan sulistijono, pengaruh konsentrasi larutan garam tehadap laju korosi dengan metoda polarisasi dan uji kekerasan serta uji tekuk pada plat mobil, 2011

[4] Dinar Setiawidiani, Studi Korosivitas Morfologi Permukaan Baja Karbon API 5L GR-B Yang Dilapisi Polimer Hibrid, 2014

[5] Mohammad Fajar R, Pengaruh PH Dan Kecepatan Putaran terhadap Karakteristik Korosi Baja Karbon Rendah Pada Larutan Asam Sulfat, 2016

[6] *M. Fontana Corrosion Engineering, New York Mc Graw and Hill and book Co*, 1987

[7*] Standard Practice for Laboratory Immersion corrosion Testing of Metals. Im* ASTM G-31-72. ASTM International

[8] Callister, D. William, *Material Science and Engineering an Introduction. New York: John Willey and Sons, Inc*. 2010.

[9] Trethwey K.R, dan Chamberlain, korosi untuk mahasiswa sains dan rekayasa, PT Gramedia utama : Jakarta , 1991

[10] M. Autolab , Nova *Manual Hand Book, Metrohm Autolab*, 2011.

[11] ASM Hand book volume 13A : *Corrosion Fundamental testing protecsion. ASM international*, 2004

[12] Dito Iandiano, Study laju korosi Baja Carbon untuk pipa penyalur proses produksi gas alam yang mengandung gas CO_2 pada lingkungan NaCl, 2011

[13] V.B. Singh* and Monali Ray, *Effect of H2SO4 addition on the corrosion behaviour of AISI 304 austenitic stainless steel in methanol-HCl solution*, 1 April 2007

[14] Mohd Asyadi Azam,a, Mohd Fuad Ibrahim, *Corrosion Analysis of Carbon Steel Pipeline: Effect of Different Sulfuric Acid Concentrations*, 2014

[15] Samar S. Hussein, Naseer A. Ali and Basim O. Hasan, Corrosion of carbon steel in flowing Sulfuric acid, Feb 2016

[16] Samsul Bahri, Penghambatan Korosi Baja Beton dalam Larutan Garam dan Asam dengan Menggunakan Campuran Senyawa Butilamina dan Oktilamina, Des 2006

[17] Ahmed S. Alshamsi and Afra AlBlooshi. Hasan, *Effect of Surface Roughness on the Corrosion Behavior of Pure Iron in Acidic Solutions*,10 mey 2019

[18] Yungang Wang, Peiyuan Pan, *Corrosion and Viscous Ash Deposition of a Rotary air preheater*,3 November 2016

LAMPIRAN

Lampiran A hasil uji spectrometer Spesimen A

Sample 1

Cont.
Group: LA STEEL AN=131 TAN=26562 Thursday, 1 March 2018 15:55
PT. BARATA INDONESIA Common Group:
Sample No. [ ] [YOLANDA PLTU 00] [FIRMAN]

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
N=1	.10320	.21912	.44695	.00781	.00809	.09830	.11246
Ave.	.10320	.21912	.44695	.00781	.00809	.09830	.11246
	Mo	Cu	Co	Al	Pb	W	Ti
N=1	.03408	.11674	.00968	.02223	.00035	.00000	.01909
Ave.	.03408	.11674	.00968	.02223	.00035	.00000	.01909
	V	Sn	Nb	B	Ca	As	Sb
N=1	.00276	.01040	.00000	.00056	.00175	.00651	.01817
Ave.	.00276	.01040	.00000	.00056	.00175	.00651	.01817
	Fe						
N=1	5.6358						
Ave.	5.6358						

MANAGER QC

(RIBUT SETIAWAN, ST)

INSPECTOR

(FIRMANSYAH)

Lampiran B hasil uji spectrometer spesimen B

Sampel II

Cont.
Group:

LA STEEL
PT. BARATA INDONESIA
Sample No. [ ][YOLANDA.PLTU 01][FIRMAN]

AN=130 TAN=25551
Common Group:

Thursday, 1 March 2018 15:54

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
N=1	.09593	.36719	.41159	.08363	.03114	.13242	.46680
Ave.	.09593	.36719	.41159	.08363	.03114	.13242	.46680
	Mo	Cu	Co	Al	Pb	W	Ti
N=1	.00970	.27221	.01393	.00773	.00421	.00000	.00273
Ave.	.00970	.27221	.01393	.00773	.00421	.00000	.00273
	V	Sn	Nb	B	Ca	As	Sb
N=1	.00729	.01106	.02327	.00082	.00059	.01043	.02589
Ave.	.00729	.01106	.02327	.00082	.00059	.01043	.02589
	Fe						
N=1	5.2140						
Ave.	5.2140						

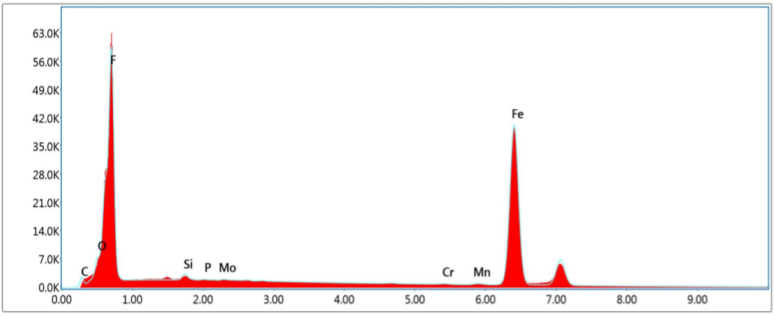
MANAGER QC

(INDUT SETIAWAN, ST)

INSPECTOR

(FIRMANSYAH)

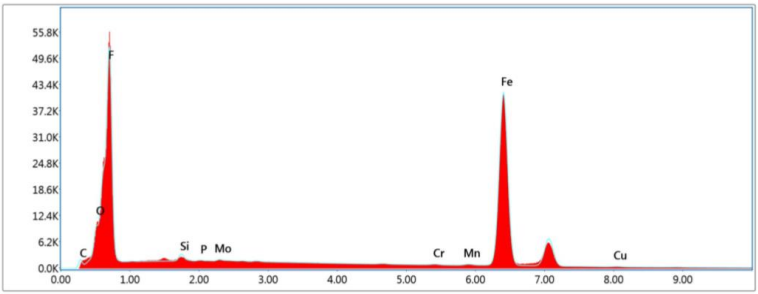
Lampiran C hasil EDS Spesimen A dengan konsentrasi 0.01M H_2SO_4 Perbesaran 1000x



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
C K	2.37	8.90	154.39	10.07	0.0072	1.3238	0.2289	1.0000
O K	1.80	5.08	391.92	99.99	0.0114	1.2669	0.5003	1.0000
F K	5.07	12.07	1554.02	5.29	0.0377	1.1776	0.6308	1.0000
SiK	0.60	0.96	140.54	8.39	0.0039	1.1523	0.5599	1.0028
P K	0.08	0.11	16.48	36.70	0.0006	1.1069	0.6712	1.0049
MoL	0.22	0.10	25.20	23.05	0.0017	0.8630	0.8956	1.0013
CrK	0.21	0.18	21.95	21.91	0.0023	0.9775	0.9942	1.1510
MnK	0.40	0.33	34.94	11.06	0.0043	0.9568	0.9985	1.1368
FeK	89.27	72.26	5841.64	2.33	0.9689	0.9716	1.0009	1.0008

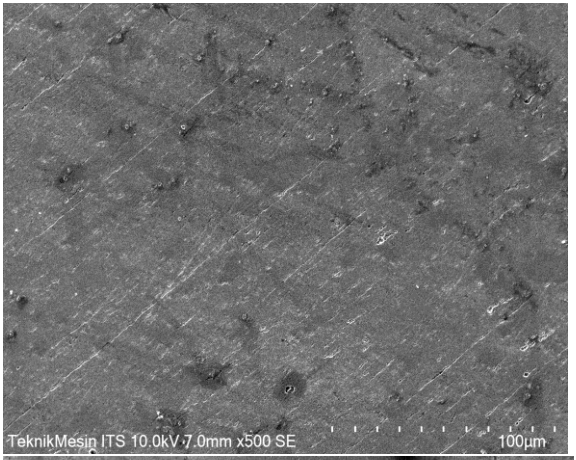
Lampiran C hasil EDS Spesimen A dengan konsentrasi 0.05M H_2SO_4 Perbesaran 1000x

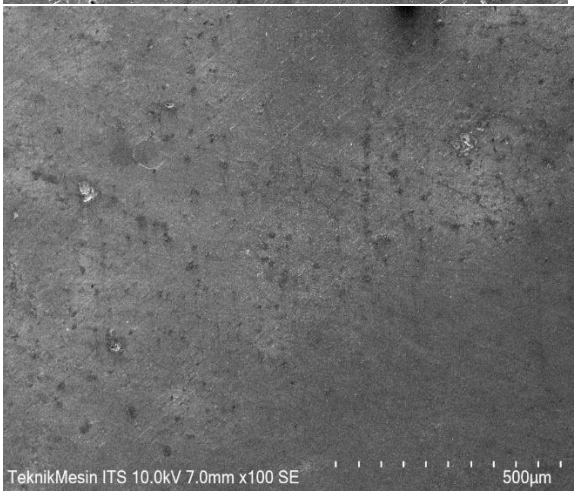


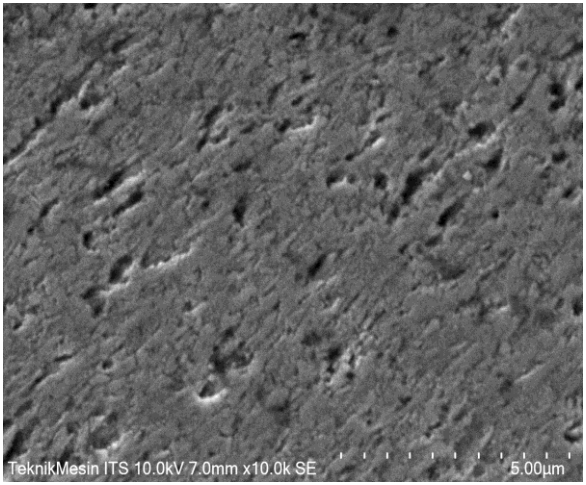
Smart Quant Results

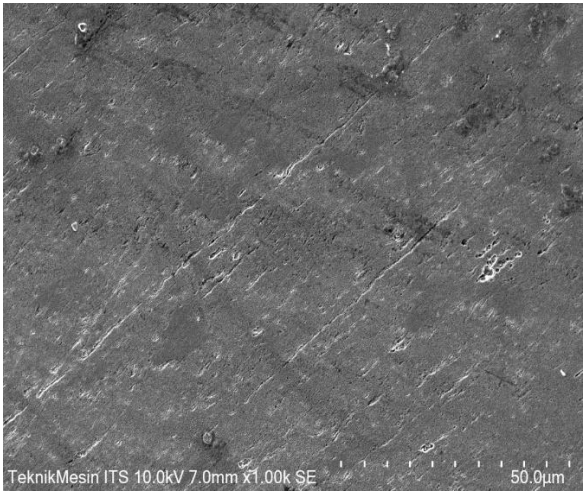
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
C K	1.86	7.02	125.98	10.34	0.0056	1.3237	0.2282	1.0000
O K	2.80	7.94	641.47	9.33	0.0179	1.2668	0.5041	1.0000
F K	4.66	11.11	1451.02	5.45	0.0338	1.1775	0.6156	1.0000
SiK	0.60	0.96	146.14	7.83	0.0039	1.1522	0.5590	1.0028
P K	0.09	0.14	20.80	29.67	0.0007	1.1068	0.6704	1.0049
MoL	0.33	0.16	40.58	14.22	0.0026	0.8629	0.8950	1.0013
CrK	0.22	0.19	23.76	19.28	0.0024	0.9774	0.9940	1.1500
MnK	0.34	0.28	30.95	11.14	0.0037	0.9567	0.9983	1.1366
FeK	88.63	71.88	6045.44	2.32	0.8629	0.9716	1.0008	1.0013
CuK	0.46	0.33	15.31	36.88	0.0041	0.9294	0.9468	1.0107

Lampiran D hasil SEM Spesimen A dengan konsentrasi 0.01M H_2SO_4

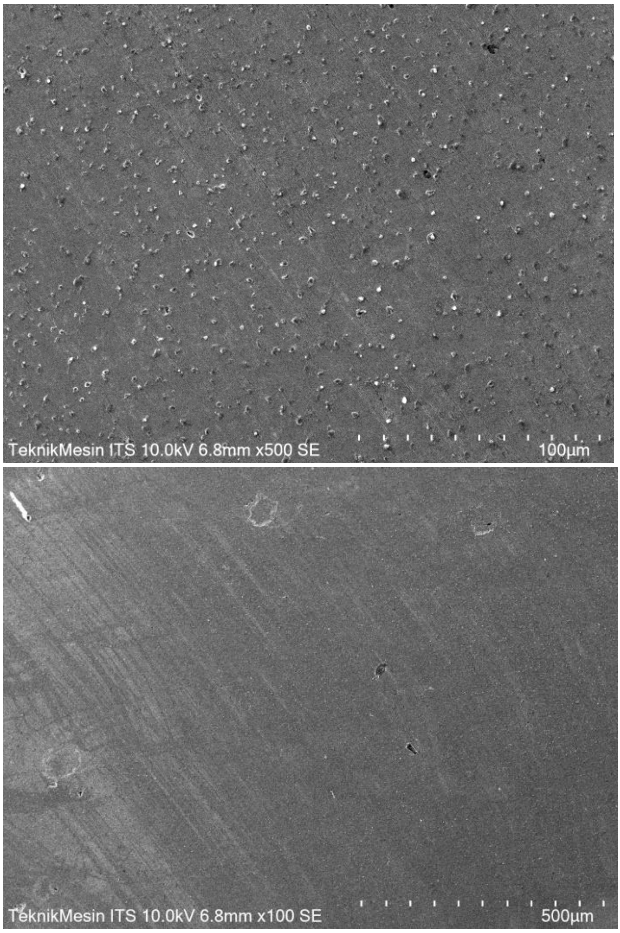


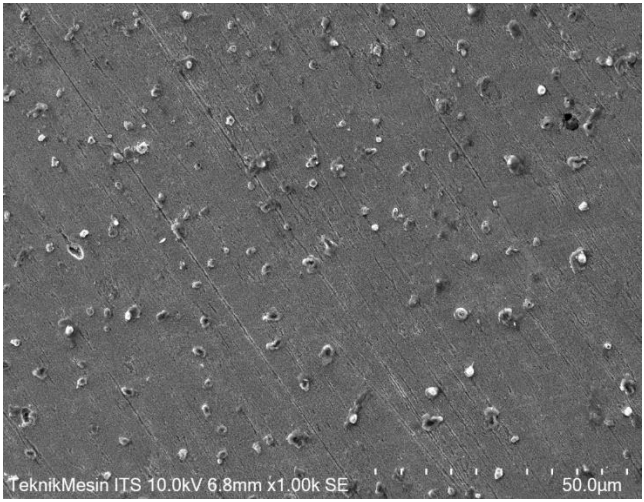


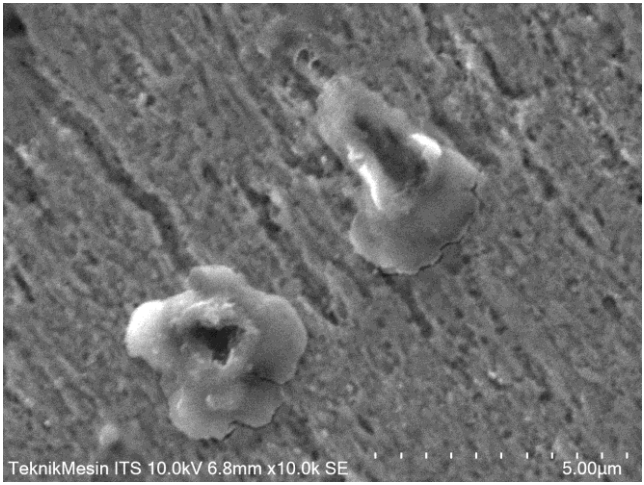

TeknikMesin ITS 10.0kV 7.0mm x10.0k SE
5.00µm


TeknikMesin ITS 10.0kV 7.0mm x1.00k SE
50.0µm

Lampiran E hasil SEM Spesimen A dengan konsentrasi 0.05M H_2SO_4




TeknikMesin ITS 10.0kV 6.8mm x1.00k SE
50.0µm


TeknikMesin ITS 10.0kV 6.8mm x10.0k SE
5.00µm

BIODATA PENULIS

Muhammad Nashir, lahir pada tanggal 05 februari 1996 di kota Surabaya merupakan anak ketiga dari pasangan Anis Badres dan Luluk Baatwah. Penulis memulai pendidikan di TK Indasari (1998 – 2000), SD TAKMIRIYAH (2002 - 2008), SMP Negeri 7 Surabaya (2008 – 2011), SMA Negeri 8 Surabaya (2011 - 2014), dan melanjutkan bangku kuliah dengan mengambil Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menyelesaikan masa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Mesin sebagai staff departemen dalam negri periode 2015/2016 dan kepala event internal pada periode 2016/2017. Selain itu, penulis pernah dipercaya untuk menjadi asisten praktikum dan Grader mata kulia di laboratorium metalurgi.