



TUGAS AKHIR- TL141584

PENGARUH pH DAN LAJU ALIRAN FLUIDA PADA *FLOW LOOP SYSTEM* TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON RENDAH DI LINGKUNGAN CH_3COOH

RIZQI ILMAL YAQIN

NRP. 2712 100 029

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Wikan Jatimurti, S.T.,M.Sc

Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh November

Surabaya 2016



FINAL PROJECT- TL141584

**THE EFFECT OF pH AND FLOW RATE OF FLUID ON
FLOW LOOP SYSTEM TO CHARACTERISTICS
CORROSION OF LOW CARBON STEEL IN CH₃COOH
ENVIRONMENT**

RIZQI ILMAL YAQIN

NRP. 2712 100 029

Advisor

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Wikan Jatimurti, S.T.,M.Sc

Department Of Material And Metallurgical Engineering

Faculty Of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute Of Technology

Surabaya 2016

**PENGARUH pH DAN LAJU ALIRAN FLUIDA PADA
FLOW LOOP SYSTEM TERHADAP
KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON
RENDAH DI LINGKUNGAN CH₃COOH**

TUGAS AKHIR

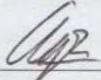
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi
Pada

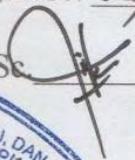
Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Rizqi Ilmal Yaqin
NRP. 2712 100 029

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Budi Agung Kurniawan, ST.,M.Sc.  Pembimbing 1

Wikan Jatimurti, ST.,M.Sc.  Pembimbing 2



**PENGARUH pH DAN LAJU ALIRAN FLUIDA PADA
FLOW LOOP SYSTEM TERHADAP
KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON
RENDAH DI LINGKUNGAN CH₃COOH**

Nama Mahasiswa : Rizqi Ilmal Yaqin
NRP : 2712 100 029
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

Abstrak

Fenomena korosi adalah proses alami yang selalu terjadi pada logam, khususnya baja sebagai bahan utama untuk komponen dan peralatan industri. Pipeline merupakan salah satu komponen yang diserang oleh elektrolit atau media korosif, seperti minyak mentah, gas atau cairan lainnya. Selain media korosif, laju alir mempengaruhi tingkat korosi serta pH elektrolit. Laju korosi dapat diukur dengan banyak metode. Salah satu metode adalah Weightloss dan Tafel. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh pH dan tingkat laju alir terhadap karakteristik korosi baja karbon rendah dalam lingkungan CH₃COOH dengan simulasi flow loop. Penelitian ini menggunakan baja karbon rendah sebagai kupon ujinya dengan variasi pH 5,6,7 dan kecepatan aliran fluida 0 m/s, 0.645 m/s ,1.328 m/s. Berdasarkan pengujian Tafel dan weight loss selama 5 dan 10 hari ditemukan bahwa laju korosi meningkat dengan peningkatan laju aliran dan penurunan nilai pH. Laju korosi tertinggi didapat pada pH 5 dan kecepatan 1.328 m/s sebesar 0,6716 mm/year untuk hasil weight loss selama 5 hari , dan

nilai 0,5998 mm/year untuk metode Tafel. Hasil pengujian XRD hanya ditemukan senyawa tunggal Fe namun tidak ditemukan senyawa hasil produk korosi di karenakan adanya gerusan yang di sebabkan oleh aliran fluida. Morfologi permukaan baja hasil pengujian SEM menunjukkan gerusan dan permukaan yang kasar yang disebabkan oleh aliran fluida.

Kata Kunci: Korosi, Laju aliran Fluida , pH , Flow Loop

THE EFFECT OF pH AND FLOW RATE OF FLUID ON FLOW LOOP SYSTEM TO CHARACTERISTICS CORROSION OF LOW CARBON STEEL IN CH₃COOH ENVIRONMENT

Student Name : Rizqi Ilmal Yaqin
NRP : 2712 100 029
Department : Material And Metallurgical Engineering
Advisor : Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T.,M.Sc

Abstract

Corrosion phenomenon is a natural process that will always occurs on metals, particularly steel as major material for industrial components and equipment. Pipeline is one of component which attacked by the electrolyte or corrosive media, such as crude oil, gas or other liquids. Beside of corrosive media, the flow rate and pH affects rate of corrosion. The corrosion rate can be measured by several methods. The example are weightloss and Tafel method. The purpose of this study was to analyze the effect of pH and flow rate of electrolyte to the corrosion characteristics of low carbon steel in a simulated environment CH₃COOH with flow loop. This study used a low-carbon steel as a test coupon with pH variation of 5,6,7 and fluid flow velocity of 0 m / s, 0645 m / s, 1328 m / s. Based on Tafel and weight loss testing for 5 and 10 days. It was found that the corrosion rate increases with increasing flow rate and a decrease in the pH value. The highest corrosion rate obtained at pH 5 and the speed of 1,328 m / s of 0.6716 mm / year for the results of weight loss for 5 days, and a value of 0.5998 mm / year for the Tafel method. The XRD examination performed only single

crystal Fe but there wasn't any other Fe compound's phase because the corrosion products were scours by the fluid flow. The morphology of Steel surface examined using SEM test. The result showed a scours and a rough surface that could be caused by the fluid flow

Keywords: Corrosion, Flow Rate of Fluid, pH, Flow Loop

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang berjudul:

“PENGARUH pH DAN LAJU ALIRAN FLUIDA PADA FLOW LOOP SYSTEM TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON RENDAH DI LINGKUNGAN CH₃COOH”

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua penulis, Bapak Ainul Yaqin dan Ibu Parjiyem S.Pd yang selalu mendukung penulis, memberikan berupa moral dan material.
3. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan, wawasan serta materil kepada penulis.
4. Bapak Wikan Jatimurti, ST. M.Sc. selaku dosen co-pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan saat menulis Tugas akhir ini.

5. Bapak Sutarsis, ST.,M.Sc. selaku Dosen Wali penulis pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
7. Saudara Hufal Azhar Fadli dan Ali yafi yang telah membantu penulis dalam pembuatan alat serta membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
8. Teman Teman SPRA42 yang telah memberikan semangat secara moral kepada penulis.
9. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
10. Teman-teman MT 14 yang selalu membantu penulis dengan baik.
11. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Januari 2016

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I. PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah	2
I.4 Tujuan Penelitian	2
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Definisi Korosi	5
II.2 Mekanisme Korosi.....	5
II.3 Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi	9
II.3.1 Pola Aliran Fluida	12
II.3.2 Pengaruh pH terhadap Korosi Baja.....	15
II.3.3 Asam Lemah	18
II.4 Perhitungan Laju Korosi.....	19
II.4.1 Metode Kehilangan Berat (<i>Weight Loss</i>).....	19
II.4.2 Metode Ekstrapolasi Tafel.....	22
II.5 Korosi Pada Baja Karbon	27
II.6 Penelitian Sebelumnya	27
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Diagram Alir Percobaan.....	31

III.2	Prosedur Penelitian.....	32
III.2.1	Metode Penelitian.....	32
III.2.2	Alat.....	32
III.2.3	Bahan.....	33
III.2.4	Preparasi Alat.....	34
III.2.5	Prosedur Penelitian.....	35
III.2.6	Preparasi Uji Weight loss.....	36
III.2.7	Preparasi Uji Tafel.....	37
III.2.8	Preparasi Elektrolit.....	38
III.3	Pengujian-pengujian.....	39
III.3.1	Pengujian <i>Spektrometri</i>	39
III.3.2	Pengujian <i>weight loss</i>	40
III.3.3	Pengujian Tafel.....	43
III.3.4	Pengujian Analisa Difraksi Sinar X (XRD).....	45
III.3.5	Pengujian Scaning Electron Microscope (SEM).....	46
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		
IV.1	Hasil Penelitian.....	49
IV.1.1	Hasil Pengujian Spektrometri.....	49
IV.1.2	Hasil Pengamatan Visual.....	50
IV.1.1	Hasil Pengujian Elektrokima Tafel.....	52
IV.1.3	Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i>	57
IV.1.4	Perbandingan Laju Korosi Hasil Uji Tafel dengan Uji Weight Loss.....	64
IV.1.5	Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM).....	68
IV.1.6	Hasil Pengujian Analisa Difraksi Sinar-X (XRD).....	72
IV.2	Pembahasan.....	74
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		

V.1 Kesimpulan.....	77
V.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	xxi
LAMPIRAN	77
BIOGRAFI PENULIS	107

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme Korosi	6
Gambar 2.2	Syarat Terjadinya Reaksi Korosi	8
Gambar 2.3	Pengaruh pH pada korosi baja.....	16
Gambar 2.4	Salah satu bentuk kupon analisa <i>weight loss</i>	20
Gambar 2.5	Kupon yang telah terkorosi	21
Gambar 2.6	Alur Kurva Tafel.....	24
Gambar 3.1	Diagram Alir	31
Gambar 3.2	Rancangan alat Flow Loop 3D.....	34
Gambar 3.3	Rancangan alat Flow Loop 2D.....	35
Gambar 3.4	Spesimen <i>Weight Loss Immerse</i>	37
Gambar 3.5	Spesimen pada setiap pipa <i>test section</i>	37
Gambar 3.6	Spesimen Tafel.....	38
Gambar 3.7	Pengukuran elektrolit dengan pH meter.....	39
Gambar 3.8	Uji <i>Weight Loss</i>	40
Gambar 3.9	Skema Alat Pengujian Polarisasi	43
Gambar 3.10	Rangkaian Alat Pengujian Polarisasi	44
Gambar 3.11	Mesin XRD Pan Analytical.....	45
Gambar 3.12	Mesin SEM	47
Gambar 4.1	Foto Makro Baja JIS G3131 SPHC. Dari Kiri ke Kanan pH 5, pH 6, dan pH 7.....	51
Gambar 4.2	Kurva Polarisasi E <i>versus</i> Log I Spesimen Baja Komersil JIS G3131 SPHC dalam asam asetat pH 5	53
Gambar 4.3	Kurva Polarisasi E <i>versus</i> Log I Spesimen Baja Komersil JIS G3131 SPHC dalam asam asetat pH 6	54
Gambar 4.4	Kurva Polarisasi E <i>versus</i> Log I Spesimen Baja Komersil JIS G3131 SPHC dalam asam asetat pH 7	56
Gambar 4.5	Grafik pengaruh waktu pencelupan terhadap laju korosi dalam asam asetat pH 5.....	59

Gambar 4.6	Grafik pengaruh waktu pencelupan terhadap laju korosi dalam asam asetat pH 6.....	61
Gambar 4.7	Grafik pengaruh waktu pencelupan terhadap laju korosi dalam asam asetat pH 7.....	64
Gambar 4.8	Grafik perbandingan weight loss dengan tafel terhadap laju korosi dalam asam asetat pH 5....	65
Gambar 4.9	Grafik perbandingan weight loss dengan tafel terhadap laju korosi dalam asam asetat pH 6....	65
Gambar 4.10	Grafik perbandingan weight loss dengan tafel terhadap laju korosi dalam asam asetat pH 7....	66
Gambar 4.11	Grafik distribusi laju korosi hasil pengujian tafel (0 hari), weight loss (5 hari) dan weight loss (10 hari)	67
Gambar 4.12	Hasil Uji SEM komersil JIS G3131 SPHC Kondisi awal (a) 100x; (b) 500x (c) 2500x	69
Gambar 4.13	Hasil Uji SEM komersil JIS G3131 SPHC Kondisi Pengujian <i>Weight Loss</i> (a) pH 7 ; 0 m/s ;100x; (b) pH 7 ; 0 m/s ; 1000x (c) pH 5 ; 0 m/s ; 100x; (d) pH 5 ; 0 m/s ; 1000x.....	70
Gambar 4.14	Hasil Uji SEM komersil JIS G3131 SPHC Kondisi Pengujian <i>Weight Loss</i> (a) pH 7 ; 1.328 m/s ; 500x; (b) pH 7 ; 1.328 m/s ;2000x (c) pH 5 ; 1.328 m/s ; 400x; (d) pH 5 ; 1.328 m/s ;2000x.....	71
Gambar 4.15	Hasil XRD Baja komersil JIS G3131 SPHC pada kecepatan aliran 1.328 m/s dengan pH 5 dan pH 7	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Reaksi Katoda yang Terjadi pada Logam	7
Tabel 2.2	Hubungan Laju korosi dengan faktor konstantanya	22
Tabel 2.3	Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi	27
Tabel 3.1	Komposisi kimia spesimen baja JIS G3131 SPHC	33
Tabel 3.2	Rancangan Percobaan Pengujian <i>Weight Loss Immerse</i>	40
Tabel 3.3	Parameter Pengujian Tafel	43
Tabel 3.4	Rancangan Percobaan Pengujian Polarisasi dengan Metode Tafel	45
Tabel 4.1	Hasil Pengujian <i>Optical Emission Spectrometer</i> (OES) JIS G3131 SPHC	49
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Laju Korosi Metode Tafel	52
Tabel 4.3	Hasil Uji Weight loss pada pH 5 dengan variasi laju aliran	57
Tabel 4.4	Hasil Uji Weight loss pada pH 6 dengan variasi laju aliran	60
Tabel 4.5	Hasil Uji Weight loss pada pH 7 dengan variasi laju aliran	62

(Halaman ini sengaja di kosongkan)



BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Peristiwa korosi dalam kehidupan sehari-hari menjadikan suatu masalah tersendiri bagi suatu industri. Kebanyakan fenomena korosi sendiri adalah reaksi elektrokimia yang terjadi secara alami antara logam atau logam paduannya dengan lingkungan (Marcus, 2002). Sehingga fenomena korosi menjadikan hal yang terpenting yang harus di perhatikan. Korosi sendiri dapat membuat kerugian secara finansial pada industri yang pada akhirnya menjadikan fenomena korosi sebagai masalah yang umum bagi suatu industri. Contohnya tingkat kegagalan pada industri perpipaan di wilayah eropa saja adalah sebesar 0.575 per 1000km per tahunnya.(Morgan.1995).

Baja pada dunia industri sangat umum digunakan. Umumnya baja karbon pada sistem perpipaan digunakan untuk mengangkut minyak dan dari satu tempat ke tempat lain. Hal tersebut di karenakan baja karbon yang memiliki sifat mekanik yang baik dan memiliki keuletan yang baik selain itu juga harga dari baja karbon sangat murah. Namun di sisi lain baja karbon sendiri memiliki beberapa kelemahan, yang salah satunya yaitu tidak tahan terhadap korosi. (Ostovari dkk.2009)

Proses transportasi pada industri minyak dan gas menimbulkan proses kimia karena adanya kontak dari logam terhadap bahan kimianya baik berupa liquid atau gas. Zat zat yang terkandung di dalamnya sebagian besar adalah zat yang sangat korosif secara kimia contoh kandungan tersebut adalah H_2S , CO_2 , O_2 , H_2 , SRB dan zat lain yang abrasif. Di tambah adanya aliran fluida dari zat tersebut saat proses transportasi berlangsung menyebabkan peningkatan korosi. Salah satu faktor terjadinya korosi pada perpipaan adalah laju aliran fluida yang ada didalamnya. (Scheers.1992). selain laju aliran faktor lain dari adanya korosi adalah adanya pH pada zat zat yang di angkut



maupun lingkungannya. Sehingga hal tersebut mempengaruhi adanya laju korosi.

Berdasarkan hal yang sudah di jelaskan di atas, maka dilakukan penelitian yang membahas flow loop dengan cara simulasi berbagai laju aliran fluida pada karakteristik korosi di baja karbon rendah dengan beberapa variasi nilai pH dan menggunakan larutan CH_3COOH sebagai media fluidanya.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahasan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh pH dan kecepatan aliran fluida terhadap karakteristik korosi pada baja karbon rendah ?
2. Bagaimana morfologi permukaan baja karbon rendah hasil proses korosi sebagai akibat dari variasi pH dan kecepatan aliran fluida ?

1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan dari penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Kondisi permukaan tiap-tiap baja karbon rendah dianggap homogen dan bebas cacat.
2. Kecepatan aliran dianggap konstan selama pengujian.
3. Dianggap tidak ada perubahan terjadi pada temperature dan volume larutan selama pengujian.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

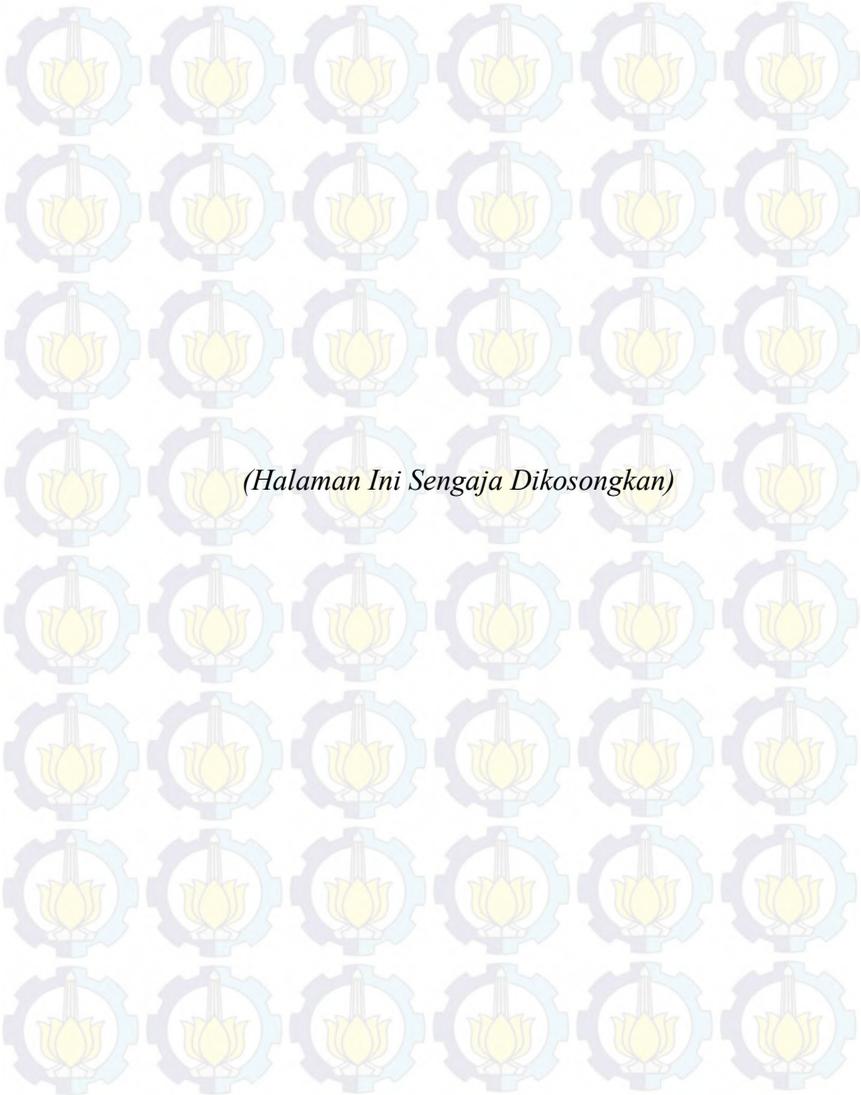
1. Menganalisa pengaruh pH dan kecepatan aliran fluida terhadap laju korosi pada baja karbon rendah.
2. Menganalisa morfologi permukaan baja karbon rendah hasil proses korosi sebagai akibat dari pH dan kecepatan aliran fluida.



1.5. Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mempelajari pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi pada pipa baja yang biasa diaplikasikan pada perusahaan minyak dan gas.
2. Hasil dari penelitian dapat dijadikan sebagai informasi yang saling melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya mengenai laju korosi pada flow loop.
3. Mampu memberikan inspirasi dan motivasi bagi peneliti lain agar dapat terus mengembangkan potensi yang ada pada penggunaan alat flow loop.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Definisi Korosi

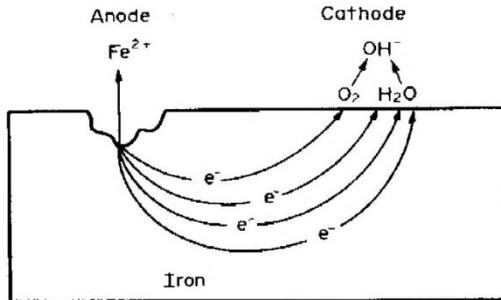
Definisi dari korosi yaitu penurunan kualitas atau kerusakan pada suatu material (logam) karena terjadinya reaksi dengan lingkungan (Fontana, 1997). Proses korosi ini terjadi secara alami dan proses korosi ini dapat disebut dengan proses elektrokimia karena adanya pergerakan elektron negative dari anoda ke katoda sehingga menimbulkan arus listrik. Penurunan kualitas disini dimasukkan karena adanya interaksi terus menerus antara material (logam) dengan lingkungannya. Hasil dari reaksi korosi ini yaitu suatu material atau logam akan mengalami perubahan (baik berupa fisik atau kimia) sifatnya ke arah lebih rendah atau bisa dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang (Alfin, 2011) Adanya korosi pada alam ini dapat didefinisikan sebagai fenomena yang tidak pernah tidur. Hal tersebut terjadi karena perusakan material yang memberikan dampak nyata pada degradasi pada suatu material dalam segala aspek kegiatan yang berada pada bumi ini.

II.2. Mekanisme Korosi

Mekanisme korosi pada umumnya terjadi pada suatu larutan berawal dari suatu logam yang teroksidasi dalam larutan elektrolit yang kemudian melepaskan elektron, sehingga perlu menyetimbangkan muatan yang berada pada logam itu sendiri. Logam yang akan melepaskan ion yang bermuatan positif di dalam elektrolit akan berikatan dengan ion bermuatan negative dari elektrolit tersebut. Hal tersebut akan menjadikan suatu endapan yang akan melekat pada permukaan logam tersebut yang disebut dengan produk korosi atau karat. Pada umumnya larutan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang terjadi yaitu pelepasan H_2 dan reduksi O_2 akibat ion H^+ dan H_2O yang tereduksi setelah terjadi reaksi tersebut. Reaksi yang terjadi dipermukaan logam tersebut akan terjadi secara terus menerus sampai terjadi kesetimbangan dinamis dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan



jumlah elektron diterima sehingga menyebabkan pengelupasan permukaan pada logam hingga akhirnya logam akan kehilangan massa karena adanya reaksi tersebut. Mekanisme korosi



selanjutnya akan digambarkan pada gambar 2.1.

Gambar 2.1 Mekanisme Korosi

Korosi menurut Jones adalah reaksi kimia yang dihasilkan dari reaksi setengah sel yang melibatkan elektron sehingga menghasilkan suatu reaksi elektrokimia. Dari dua reaksi setengah sel tersebut terdapat reaksi oksidasi dan reduksi secara berturut turut pada anoda dan katoda. Sedangkan proses korosi dapat terjadi jika ada tiga komponen utama dalam sel korosi, sebagai berikut : (Jones, 1992)

1. Logam atau Material

Didalam logam atau Material itu sendiri terdapat 2 komponen penting dalam penentuan terjadinya reaksi korosi, yaitu :

- Anoda

Yaitu tempat terjadinya reaksi oksidasi dimana ion negative terkumpul. Anoda sendiri dapat didefinisikan sebagai bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Anoda sendiri biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron dari atom atom logam netral untuk membentuk ion ion yang



bersangkutan. Pada anoda, logam terlarut dalam larutan kemudian melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut



Dengan banyaknya electron yang diambil dari masing masing atom yang ditentukan oleh valensi logam tersebut. Umumnya niali dari n adalah 1,2 atau 3.

- Katoda

Yaitu tempat terjadinya reaksi reduksi dimana ion positif berkumpul. Katoda dapat didefinisikan elektroda yang mengalami reaksi reduksi dengan menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anodapada katoda biasanya tidak mengalami korosi namun demikian mungkin dapat terjadi pada katoda, tergantung juga dengan ph larutan. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂.

Tabel 2.1 Reaksi Katoda yang Terjadi pada Logam

Nama Reaksi	Reaksi
Perubahan hidrogen (asam)	$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$ (2.2)
Reduksi air (netral/basa)	$H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH^{-}$ (2.3)
Reduksi oksigen (asam)	$O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O$ (2.4)
Reduksi oksigen (netral/basa)	$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$ (2.5)
Reduksi ion logam	$M^{3+} + e^{-} \rightarrow M^{2+}$ (2.6)



2. Elektrolit

Suatu reaksi reduksi dan oksidasi dapat terjadi apabila antara anoda dan katoda terdapat larutan elektrolit. Elektrolit berfungsi menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *electroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda antara lain lingkungan air, atmosfer, gas, mineral *acid*, tanah dan minyak.

3. Kontak Metallik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda

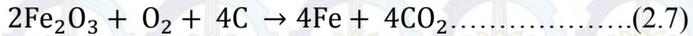


Gambar 2.2 Syarat Terjadinya Reaksi Korosi

Korosi pada baja sendiri terjadi karena adanya ketidakstabilan termodinamika (Marcellus,2010). Ketika proses pembuatan baja dengan mereduksi bijih besi seperti hematite (Fe_2O_3) didalam blast furnace dengan karbon yang berupa



kokas,hal ini ditunjukkan pada persamaan kimia sebagai berikut (2.7) :



Produk berupa baja yang dihasilkan sangatlah tidak stabil,karena energi yang dibutuhkan dalam memulai proses reduksi bijih besi sangatlah besar. Sehingga pada produk akhir berupa baja memiliki kecenderungan untuk kembali kedalam bentuk awalnya ketika mengalami kontak langsung dengan uap air,oksigen,atau air. Hal ini dapat ditunjukkan dalam persamaan kimia (2.8)



Senyawa hasil kontak langsung baja dengan lingkungan adalah $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ atau lebih dikenal dengan karat pada baja. Senyawa $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ memiliki kesaamaan dengan bijih besi hematite (Fe_2O_3),hal ini membantu menjelaskan kenapa baja cenderung berkarat ketika mengalami kontak langsung dengan lingkungan.

II.3. Faktor yang mempengaruhi Laju Korosi

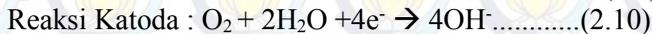
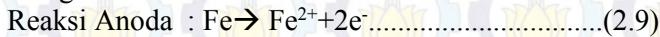
Umumnya problem korosi disebabkan oleh air, tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya:

a. Faktor Zat Terlarut

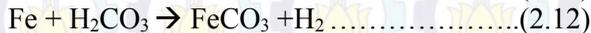
- CH_3COOH (Asam Asetat) , Asam asetat bersifat korosif terhadap banyak logam seperti besi, magnesium, dan seng, membentuk gas hidrogen dan garam-garam asetat (disebut logam asetat). Asam Asetat menghasilkan logam etanoat bila bereaksi dengan logam,dan menghasilkan logam etanoat, air, dan karbondioksida bila bereaksi dengan garam karbonat atau bikarbonat.
- Oksigen (O_2), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada



mild steel alloys akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm pada temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam kandungan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :



- Karbondioksida (CO₂), jika karbon dioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H₂CO₃) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:



FeCO₃ merupakan produk korosi yang dikenal sebagai *sweet corrosion*.

- Klorida (Cl), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, crevice corrosion, dan juga menyebabkan pecahnya alooys.
- Karbonat (CO₃), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.
- Sulfat (SO₄), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan,



dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.

b. Faktor Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

c. Faktor pH

pH netral adalah 7, sedangkan $pH < 7$ bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk $pH > 7$ bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada $pH < 7$ dan pada $pH > 13$.

d. Pertumbuhan Mikrobiologi

Secara teoritis apabila tidak terdapat zat asam, maka laju korosi pada baja relatif lambat, namun pada kondisi-kondisi tertentu ternyata laju korosinya justru tinggi sekali. Setelah diselidiki ternyata di daerah tersebut hidup sejenis bakteri anaerobic yang hanya bertahan dalam kondisi tanpa zat asam. Bakteri ini mengubah (reducing) garam sulfat menjadi asam yang reaktif dan menyebabkan korosi.

e. Faktor Padatan Terlarut

- Klorida (Cl^-), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, crevice corrosion dan juga menyebabkan pecahnya alloys. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif laju korosinya juga akan lebih tinggi.



- Karbonat (CO_3^{2-}), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.
- Sulfat (SO_4^{2-}), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfida yang korosif.

f. Aliran fluida

Aliran fluida yang tinggi diatas kecepatan kritisnya di dalam pipa berpotensi menimbulkan korosi. Kerusakan permukaan logam yang disebabkan oleh aliran fluida yang sangat deras itu yang disebut erosi. Bagian yang kasar dan tajam yang akan mudah terserang korosi dan bila ada gesekan akan menimbulkan abrasi lebih berat lagi. (Bayuseno, 2012). Proses erosi dipercepat oleh kandungan partikel padat dalam fluida yang mengalir tersebut atau oleh adanya gelembung-gelembung gas. Dengan rusaknya permukaan logam, rusak pula lapisan film pelindung sehingga memudahkan terjadinya korosi. Kalau hal ini terjadi maka proses ini disebut karat erosi.

Pada korosi CO_2 , aliran yang mempengaruhi proses korosi merupakan kombinasi antara efek mekanis dan elektrokimia. Dengan adanya putaran yang lebih akan membuat laju korosi semakin tinggi. Disamping itu, ada pengaruh gaya mekanis berupa adanya *wall shear stress* pada antarmuka elektrolit dengan permukaan material yang memicu terjadinya korosi lokal dan kerusakan pada permukaan material. (Mokhtar, 2010).

II.3.1 Pola Aliran Fluida

Fluida atau zat cair (termasuk uap air dan gas) dibedakan dari benda padat karena kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk



karena gesekan. Zat padat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, sekalipun suatu gaya yang besar diberikan pada zat padat tersebut, zat padat tidak mudah berubah bentuk maupun volumenya, sedangkan zat cair dan gas, zat cair tidak mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah hanya jika diberikan gaya yang sangat besar dan gas tidak mempunyai bentuk maupun volume yang tetap, gas akan berkembang mengisi seluruh wadah. Dengan demikian keduanya secara kolektif disebut sebagai fluida.

Berdasarkan nilai bilangan reynold (Re), Pola aliran fluida terbagi kedalam 3 kategori. Untuk aliran fluida di dalam pipa dengan bilangan reynold kurang dari 2000 dikategorikan sebagai aliran laminar, untuk kategori aliran transisi atau critical region mempunyai bilangan reynold sebesar $2000 < Re < 4000$. Sedangkan nilai reynold number lebih dari 4000 dikategorikan aliran turbulent. Katergori pola aliran dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Aliran Laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak secara teratur dengan semua partikel bergerak secara sejajar. Aliran dengan fluida yang bergerak dalam bentuk lapisan lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sehingga aliran laminar memenuhi hukum viskositas Newton yaitu:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \dots \dots \dots (2.13)$$

- Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar menuju aliran turbulen.

- Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran dimana pergerakan-pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena



mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

Kondisi pada penelitian dalam skala laboratorium hampir sama dengan kondisi agitasi dan pencampuran fluida. Keberadaan maupun ketidakhadiran dari turbulensi dapat dikorelasikan dengan *impeller Reynold Number*, N'_{Re} , yang dirumuskan dengan persamaan:

$$N'_{Re}=(D_a^2.N\rho)/\mu \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana D_a ialah diameter impeller (agitator) dalam satuan meter, N ialah kecepatan rotasi dalam satuan rev/s, ρ ialah densitas fluida dalam satuan kg/m^3 dan μ ialah viskositas dalam satuan $kg/m \cdot s$.

Untuk menghitung laju korosinya, digunakan korelasi Berger-Hau, satu yang paling banyak diterima korelasi perpindahan massa untuk perkembangan aliran turbulen dalam pipa halus, diberikan $\alpha = 0,0165$; $\beta = 0,86$ dan $\gamma = 0,33$. Berdasarkan korelasi diatas, laju korosi dapat dihitung menggunakan laju perpindahan massa dari kelarutan oksigen menuju lapisan bebas dinding pipa baja diberikan rumus:

$$CR=4923C_b(DO_2/d)Re^{0,86}Sc^{0,33} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana CR adalah laju korosi dalam mm/a, C_b ialah konsentrasi oksigen bulk dalam satuan mol/m^3 , Re adalah Reynold number, d adalah diameter pipa dalam meter dan Sc ialah Schmidt number. Dimana nilai Re sebanding dengan Laju putaran sesuai dengan rumus Reynold number dalam kondisi agitasi dan pencampuran fluida ditetapkan dengan rumus 2.15

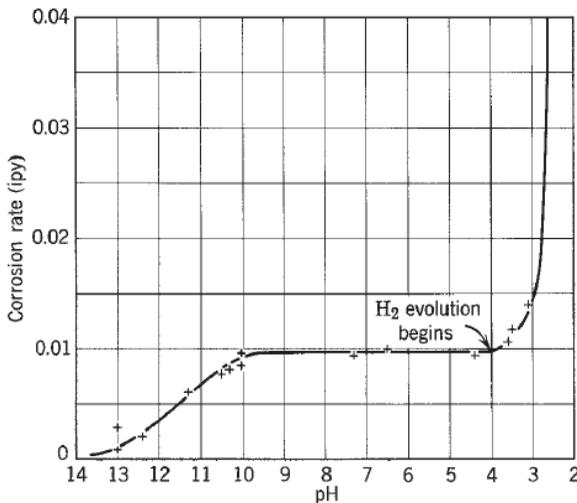
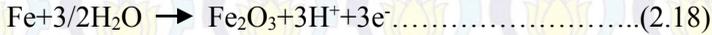
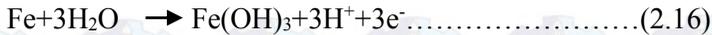
BAB II – TINJAUAN PUSTAKA



Dilihat dari kecepatan aliran, menurut Mr. Reynold dikategorikan aliran laminar bila aliran tersebut memiliki reynold number N'_{Re} kurang dari 10, untuk aliran transisi berada pada nilai N'_{Re} antara 10 sampai dengan 10^4 sedangkan aliran turbulen memiliki nilai reynold number N'_{Re} sebesar lebih dari 10^4 (Adzhani, 2014).

II.3.2 Pengaruh pH terhadap Korosi Baja

Seperti yang diketahui bahwa pada grafik pengaruh pH pada korosi baja (gambar 2.3) yang mempengaruhi proses korosi baja adalah tingkat keasaman (pH). Semakin rendah pH ($pH \leq 4$) maka kemungkinan logam tersebut untuk terkorosi semakin besar karena daerah logam terurai menjadi ion logam yang berada di lingkungan asam. Sedangkan pada daerah pH 4-10 laju korosi pada baja tidak tergantung dari pH, namun tergantung dari cepat lambatnya difusi oksigen ke permukaan logam. pada daerah asam ($pH \leq 4$) deposit besi oksida terlarut pH akan menurun, dan baja kontak langsung dengan larutan. Sedangkan pada pH diatas 10, laju korosi akan berkurang sebab baja membentuk lapisan pasif di permukaannya (ASM vol.13,2003) Biasanya nilai pH pada elektrolit dapat berbeda dengan pH actual di permukaan logam tergantung dari reaksi yang terjadi di permukaan. Reduksi oksigen akan menghasilkan ion OH^- yang dapat meningkatkan nilai pH, namun dibawah deposit produk korosi nilai pH dapat ditekan. Ketika pH elektrolit 4 atau < 4 amaka lapisan oksida protektif terlarut dan terekspos di permukaan metal. Korosi akan semakin cepat terjadi karena kadar oksigen terlarut berkurang pada permukaan logam di pH rendah. Kedua reaksi yaitu evolusi hydrogen dan reduksi oksigen menjadi reaksi katodik. Pada peningkatan pH diatas 4, besi oksida terprepitasi dari larutan ke bentuk deposit. Ketika korosi uniform tiba tiba menurun, dibawah deposit akan terbentuk Fe_2O_3 di permukaan bajanya. Reaksi anodiknya sebagai berikut (ASM vol.13,2003):



Gambar 2.3 Pengaruh pH pada korosi baja (ASM vol.13,2003)

Deposit tersebut bersifat sebagai penahan difusi oksigen ke permukaan logam. Pada peningkatan pH, deposit oksida besi berubah dari sedikit bersifat adherent di pH 6 menjadi keras dan kuat pada pH > 8

Pada kondisi asam kuat (pH < 5) baja karbon memperlihatkan ketergantungan kompleks laju korosi terhadap pH. Pada pH rendah, mekanisme korosi tidak hanya tergantung konsentrasi ion hydrogen tetapi juga kehadiran ion ion atau komponen larutan lainnya.

Mekanisme proses korosi berdasarkan variable pH untuk baja yaitu laju korosi meningkat pada pH yang sangat rendah, laju korosi tidak tergantung pH pada range pH netral, laju korosi menurun dengan peningkatan pH, dan akhirnya laju korosi



meningkat kembali pada pH yang sangat tinggi (ASM vol.13,2003)

Pengaruh pH terhadap korosi pada baja di lingkungan air teraerasi (Jones , 1997) terlihat pada gambar di 2.3 dengan reaksi anodic baja yaitu :



Berlaku untuk semua pH. Namun, laju korosi bervariasi dan cenderung berubah pada reaksi reduksi dikatodik. Pada intermediate range pH 4- 10, deposit besi oksida porous muncul di sekeliling permukaan dan dipertahankan sekitar pH 9.5. laju korosi mendekati konstan dan ditentukan dengan difusi pelarutan oksigen uniform melewati deposit pada intermediate range pH tersebut.pda permukaan metal dibawah deposit, oksigen direduksi secara katodik dengan reaksi di larutan asam sebagai berikut :



Difusi pelarutan oksigen mengontrol laju korosi pada level konstan di range pH 4-10. Dengan demikian, variable metalurgi yang mempengaruhi reaksi anodic baja karbon tidak memberikan dampak terhadap laju korosi. Hal ini tidak berlaku untuk pH<4 dimana reaksi katodik H⁺ (Jones, 1997).

Pada larutan yang lebih asam dengan pH < 4, oksida akan terlarut dan proses korosi akan meningkat, mengarah pada reduksi H⁺ sehingga reaksinya sebagai berikut :



Ketiadaan depositan di permukaan baja dapat meningkatkan akses pelarutan oksigen, sehingga menyebabkan laju korosi baja meningkat. Pelarutan oksigen merupakan reaksi reduksi katodik



dalam asam dengan penambahan oksigen terlarut berdasarkan reaksi berikut :



Sedangkan pada $\text{pH} > 10$, laju korosi rendah mengarah ke pembentukan film besi oksida dengan adanya pelarutan oksigen. Sedangkan pada pH diatas 14 tanpa adanya oksigen yang terlarut, laju korosi kemungkinan meningkat karena ion ferrite HFeO_2^- terbentuk (Jones, 1997)

Pada range pH 4-10 laju korosi tidak tergantung oleh pH yang dicontrol difusi oksigen. Sedangkan pada $\text{pH} < 4$ evolusi hydrogen merupakan faktor pengontrol laju korosi. Sedangkan pada $\text{pH} > 10$, laju korosi menurun karena pasivasi di permukaan yang disebabkan oleh adanya oksigen dan alkalis (Elsevier 2006)

Poin penting bahwa pengaruh pH terhadap korosi baja pada pH rendah bukan hal sederhana. Hal tersebut dikarenakan persamaan kinetic berhubungan dengan laju korosi. Jadi, pengaruh variable pH terhadap proses korosi sangatlah kompleks. (ASM vol 13, 2006)

II.3.3 Asam Lemah

Didalam minyak mentah terdapat banyak senyawa yang turut terlarut. Salah satunya adalah keberadaan asam lemah. Beberapa kandungan asam lemah yang paling banyak ditemukan adalah asam asetat, asam propionate, dan asam formid dalam jumlah 300-500 ppm. Asam asetat sendiri mendominasi jumlah asam lemah total dengan jumlah antara 50-90% kandungan asam lemah total. Adanya asam asetat mempunyai pengaruh pening terjadinya korosi dan telah diteliti selama 25 tahun yang lalu. Asam asetat akan terdisosiasi menurut reaksi sebagai berikut





Asam asetat dapat bereaksi dengan baja karbon membentuk besi(II)asetat. Reaksinya adalah seperti berikut



Asam asetat sendiri diyakini berpengaruh dalam proses korosi dalam dua cara. Pertama, asam asetat bertindak sebagai penyedia ion hydrogen dan memiliki efek terbatas pada pH (bertindak sebagai penyangga). Kedua, asam asetat bebas diyakini akan berkurang langsung pada permukaan logam dengan cara yang sama sebagai asam karbonat. Kontribusi terhadap pengurangan ion hydrogen menyebabkan peningkatan arus katodik. (Dewi.2012)

II.4. Perhitungan Laju Korosi

Salah satu kegiatan dari *corrosion monitoring* adalah mengetahui laju korosi pada suatu logam, sehingga dengan begitu dapat diprediksi kapan dan berapa lama logam tersebut dapat bertahan dari proses korosi (Jones,1992). Sedangkan metode yang digunakan untuk mengetahui laju korosi yaitu dengan metode weight loss dan extrapolasi Tafel yang dijelaskan sebagai berikut.

II.4.1 Metode Kehilangan Berat (Weight Loss)

Metode Kehilangan berat adalah metode perhitungan korosi dengan cara perhitungan selisih berat awal dengan berat akhir. Metode ini sering digunakan untuk menentukan laju korosi di dalam berbagai lingkungan. Metode ini juga dianut berdasarkan ASTM G1,G4,A90 dan NACE RP 0775. Korosi kupon atau sering disebut coupon test sering digunakan untuk pengukuran total kehilangan berat pada periode pencelupan. Hal ini menunjukkan korosi akan terjadi, sehingga sebuah kupon tunggal belum bisa digunakan untuk menentukan kecepatan korosi beragam atau berubah selama periode pencelupan tersebut. Informasi perubahan kecepatan korosi dapat ditentukan dengan beberapa



pemasangan kupon pada waktu dan evaluasi kupon pada waktu interval yang pendek.



Gambar 2.4 Salah satu bentuk kupon analisa *weight loss* (Chodijah.2008)

Interpretasi data pada kupon terdiri dari lokasi,waktu, pengukuran kedalaman, profil permukaan (pengerlembungan atau erosi) produk korosi dan atau komposisi sekala (produk yang berbentuk karena karena pencelupan pada larutan yang memeiliki pH yang berbeda) dan faktor operasi.

Dalam preparasi kupon, harus bersih dari semua kontaminan (debu, minyak dan produk karat), pengoperasian pengamplasan harus dilakukan dengan hati hati agar terhindar dari pengaruh temperature tinggi pada permukaan yang akan mempengaruhi microstruktur kupon tersebut. Untuk setiap sudut dari kupon tersebut harus sedikit dipoles agar menghindari adanya konsentrasi tegangan yang mengarah pada korosi karena retak tegangan. Karena jumlah kupon yang ditanam lebih dari satu sehingga pemberian nomor seri menjadi sangat penting dalam menganalisisan.

Setelah proses preparasi sampel, data berat, dimensi dan nomor serinya dicata dan juga penduplikasian foto permukaan menjadi sangat penting untuk data perbandingan setelah penanaman.Tipe kupon memiliki dimensi ukuran yang berbeda



beda tergantung alat yang digunakan atau keinginan pengguna dalam pengaplikasiannya.

Waktu pencelupan harus dipertimbangkan ketika penginterpretasi data dari test coupon tersebut. Pembagian waktu dibagi menjadi dua golongan yaitu golongan waktu pengetesan pendek dan pengetesan panjang. Pada pengetesan pendek dilakukan selama 15 hingga 45 hari untuk menunjukkan kecepatan korosi dari suatu logam sedangkan waktu pengetesan panjang dilakukan 60 sampai 90 hari untuk mendeteksi serangan pitting (NACE,2005).

Setelah proses pengetesan dilakukan dalam jangka yang sudah dilakukan, pembersihan dan penghilangan produk korosi dan semua yang terekspose di permukaan harus dilakukan dengan hati hati sebelum berat akhir diukur. Pembersihan dilakukan secara mekanika , kimia atau keduanya.



Gambar2.5 Kupon yang telah terkorosi (Chodijah.2008)

Untuk mengetahui laju korosi maka perlu menggunakan metode wight loss atau pengurangan berat awal dengan berat akhir setelah pengujian. Menurut ASTM G1-03 setelah memperoleh berat akhir pada proses percobaan maka untuk memperoleh laju korosi maka menggunakan rumus

$$\text{Corrosion Rate (CR)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

W : berat yang hilang (mg)

D : densitas dari sampel uji yang digunakan (g/cm^3)

A : luas area dari sampel uji yang digunakan (cm^2)

T : waktu ekspos (jam)



K : konstanta faktor

Dengan Pengkonversian unit satuan laju korosi sebagai berikut :

Tabel 2.2 Hubungan Laju korosi dengan faktor konstantanya (ASTM G1-03,2003)

Desired Corrosion Rate Unit (CR)	Area Unit (A)	K-Factor
mils/year(mpy)	In ²	5.34 x 10 ⁶
Mils/year(mpy)	cm ²	3.45 x 10 ⁶
Millimeters/year(mmy)	cm ²	8.75 x 10 ⁴

MPY adalah perhitungan kecepatan korosi yang paling populer di amerika seerikat, meskipun ditambahkan penggunaan metric units dibeberapa tahun belakangan ini. Konversi Ke Equivalent Metric Penetration Rate sebagai berikut:

$$1 \text{ mpy} = 0,0254 \text{ mm/yr} = 25,4 \mu\text{m/yr} = 2,90 \text{ mm/h} = 0,805 \text{ pm/yr}$$

II.4.2 Metode Ekstrapolasi Tafel

Ketika suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion ionnya, nilai potensial elektrodanya akan berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antara keduanya disebut polarisasi (Trethewey, 1991). Metode polarisasi dapat mengukur laju korosi yang memiliki keuntungan yang sangat baik. biasanya hanya beberapa menit yang dibutuhkan untuk menentukan kecepatan korosi dengan tahanan polarisasi, dimana pengukuran kehilangan secara konvensional yang membutuhkan beberapa hari atau lebih. Oleh karena itu, pengukuran semicontinuous pada korosi dapat dimasukkan dimana sangat berguna dalam pembelajaran kinetika atau untuk



mengawasi proses korosi di plant proses. Metode ini sangat sensitive dan membutuhkan faktor pemercepat seperti temperature tinggi untuk meningkatkan kecepatan di laboratorium. Pengukuran polarisasi adalah pengujian tidak merusak dan dapat dilakukan beberapa kali untuk mengukur kecepatan korosi secara beruntun pada elektroda yang sama.

Potensial polarisasi, η atau potensial lebih, adalah selisih antara potensial terapan terhadap potensial korosi logam pada keadaan kesetimbangan dengan ionnya dalam larutan (elektrolit). Parameter ini dapat digunakan untuk menyatakan laju pelarutan atau laju proses korosi logam yang bersangkutan, yang dikenal dengan persamaan Tafel sebagai berikut

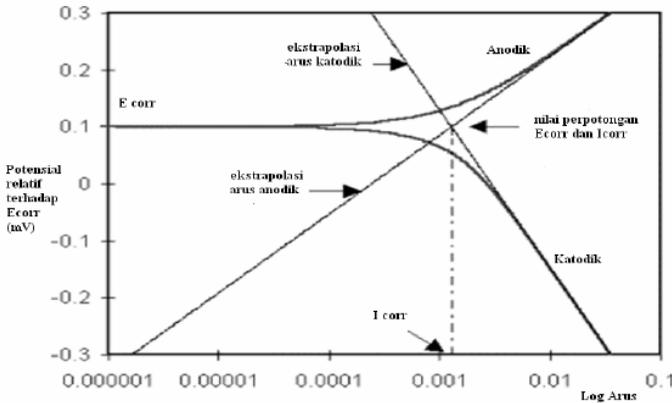
Untuk polarisasi anodik,

$$\eta_{\alpha} = \beta_{\alpha} \log i_{\alpha} - \beta_{\alpha} \log i_0$$

Untuk polarisasi katodik,

$$\eta_{k} = \beta_{k} \log i_{k} - \beta_{k} \log i_0$$

Dengan η_{α} , η_{k} , i_{α} , i_{k} dan i_0 berturut turut adalah potensial polarisasi anodik, potensial polarisasi katodik, rapat arus anodik, rapat arus katodik dan rapat arus korosi pada kesetimbangan. Sedangkan β_{α} dan β_{k} disebut sebagai tetapan tetapan Tafel atau beta anodic dan beta katodik. Ungkapan persamaan diatas menunjukkan bahwa aluran η terhadap $\log I$ baik pada proses anodic maupun proses katodik akan berupa suatu garis lurus dengan kemiringan sama dengan tetapan Tafel yang bersangkutan. Pada saat E_{corr} , $\eta = 0$ dan tetapan tetapan Tafel dinyatakan dalam besaran mV/decade. Tetapan ini digunakan untuk menentukan rapat arus korosi yang berbanding langsung dengan laju korosi. Kurva yang diperoleh dari pengukuran ini seperti pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Alur Kurva Tafel (Tretheway.2011)

Rapat arus sebanding dengan laju korosi, karena arus yang sama bila terkonsentrasi pada luas permukaan yang lebih kecil akan 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 3 parameter polarisasi seperti *Corrosion current density*, *corrosion potensial*, dan *Tafel Slopes*. Kemudian perilaku korosi dapat diperlihatkan oleh sebuah kurva polarisasi (E vs log i). evaluasi dari 3 parameter berikut mengarah ke penentuan polarization resistance (Rp) dan Corrosion rate (CR).

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

$$Q = \frac{n F.W}{M} \dots\dots\dots(2.25)$$

dimana:

BAB II – TINJAUAN PUSTAKA



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

Dengan mengolah persamaan 2.25 maka akan dihasilkan:

$$W = \frac{i tEW}{F} \dots\dots\dots (2.26)$$

- i = Arus
 t = Waktu (second)
 EW = Equivalent weight.

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

$$CR = \frac{W}{t} = \frac{iEW}{dF} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$CR = \frac{iEW \times 31.6 \times 106 \times 6 \times 10^3}{dFA \times 2.5 \times 106} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$CR = \frac{0.13 i_{corr}EW}{\rho} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan mengkonversikan CR dengan satuan mpy ke CR dengan satuan mmpy, maka persamaan 2.29 berubah menjadi:

$$CR = \frac{KI i_{corr}EW}{\rho} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana :

- CR : Laju Korosi (mm/year) untuk I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$).
 KI : $3,27 \times 10^{-3}$ mm g/ μA cm.
 i_{corr} : Rapat arus saat E_{corr} $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (*exchange current density*).
 ρ : density (g/ cm^3).
-



EW : *Equivalent Weight* (berat ekuivalen)

Ekstrapolasi tafel dikenal sebagai ilustrasi pengaplikasian mixed potential theory pada korosi. Ketetapan katodik ekstrapolasi tafel membutuhkan sebuah proses reduksi tunggal. Kondisi ini sering ditemukan pada dearasi larutan asam kuat dimana reaksi reduksi sebagai berikut :



Perilaku tafel yang baik dapat diamati pada dearasi elektrolit netral. Dengan adanya semua reaksi katodik lainnya. Polarisasi katodik akan dikontrol oleh air yang terhidrolisis.



Reaksi ini ekuivalen dengan reaksi 2.22 penambahan 2OH^- pada masing masing bagian reaksi tersebut menghasilkan 2.23 akan tetapi kinetika pada dua reaksu tersebut sangat berbeda. Kecepatan 2.22 relatif lebih tinggi karena adanya H^+ dikontrol oleh pH. Kecepatan 2.23 kurang karena dissociation molekul air sehingga kecepatannya lambat.

Setelah mengetahui laju korosi maka dapat mengklasifikasikan terhadap ketahanan korosi. Hubungan dari laju korosi dan ketahanan korosi dapat dikelompokkan sebagai berikut:



Tabel 2.3 Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi
(Calister,2000)

Ketahanan korosi	laju korosi				
	Mpy	Mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	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

II.5. Korosi Pada Baja Karbon

Baja karbon murni akan mengalami korosi di hampir semua lingkungan atmosfer bila kelembapan relative melebihi 60 % (Peabody ,1967) jika lapisan butir butir air terbentuk pada permukaan, laju korosi ditentukan oleh berbagai faktor lingkungan. Tetapi yang paling penting adalah adanya oksigen, pH dan hadirnya ion ion agresif terutama oksida belerang dan klorida.

Komposisi baja, kondisi permukaan dan sudut exposure-nya sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Penambahan karbon, mangan dan silikon cenderung mengurangi laju korosi.

II.6. Penelitian Sebelumnya

Pada tahun 1992 Scheers membandingkan sistem simulasi pipa antara RCE dengan *Flow loop* dengan kecepatan antara 0 sampai 220 cm/s pada media *minewater*(dengankandungan terbanyak NaCl). Adanya pengaruh kecepatan aliran dan pH menyebabkan tren peningkatan laju korosi juga berbeda setiap pH



nya. Pada pH 10 laju korosi paling kecil namun pada pH 3 trend nilai laju korosi mempunyai titik tertinggi pada kecepatan tertentu sehingga menghasilkan garis yang melengkung (eksponensial). Namun pada pH 6 dan 7 laju korosi meningkat dan pH 4 meningkat tajam. Pada pH dibawah 4 korosi meningkat dikarenakan evolusi hydrogen dan depolarisasi oksigen. Namun adanya tren laju korosi antara pH 4 dan pH 10 dikarenakan oksigen dengan cepat berdifusi ke permukaan logam pada setiap nilai pH nya. Sehingga berhubungan dengan adanya pembentukan lapisan produk korosi pada permukaan.

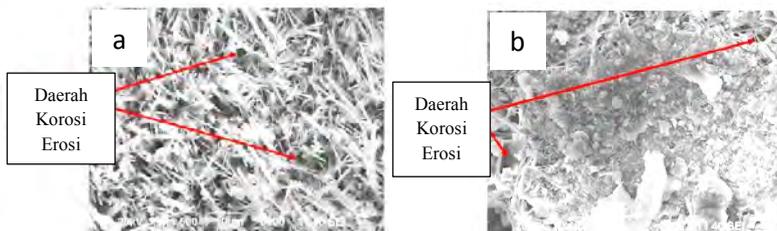
Pada penelitian lain, Chen dkk pada tahun 1999 membandingkan *system flow loop* dengan jenis aliran fluida slug pada kondisi tanpa pre-corrosion dan kondisi pre-corrosion. Dimana hasil yang didapatkan bahwa pada kondisi pre-corrosion pada pencelupan 3,5 jam didapatkan bahwa pada system flow loop memiliki laju korosi yang lebih besar dengan system RCE. Hal tersebut dikarenakan perubahan transfer resistansi pada flow loop lebih sedikit dari pada RCE sehingga dari tingginya tegangan geser dan turbulensi di system aliran khususnya pada aliran slug pada system flow loop mengakibatkan aliran slug jauh lebih tinggi laju korosinya dari sistem RCE. Untuk kondisi tanpa pre-corrosion pada keadaan aliran slug dengan Froude number 6 dan 9 serta keadaan aliran penuh dengan waktu pencelupan 0.5 jam menghasilkan plot Nyquist yang menampilkan perubahan transfer resistansi pada Froude 9 lebih kecil daripada pada nomor Froude 6 dan aliran penuh. Hal tersebut terjadi karena aliran slug pada nomor Froude 6 memiliki turbulensi yang lebih rendah dan gelembungnya tidak dapat menyentuh dinding pipa aliran. Sehingga dari keadaan tersebut dapat disimpulkan bahwa slug dinomor Froude lebih besar memiliki laju korosi yang lebih tinggi dari pada aliran slug dengan nomor Froude yang lebih kecil dan aliran penuh pipa.

Salma dan Brown, 2009, meneliti tentang baja API 5L X65 dan X60 ½% Cr. Sampel dikorosikan dengan menggunakan *mini flow loop* dengan skala laboratorium dengan kecepatan 0.6 m/s sampai 6.0 m/s pada media 0.5% berat NaCl. Pengaruh dari



waktu dan metode pengujian pada laju korosi yaitu Laju korosi meningkat seiring dengan meningkatnya waktu dan terjadi proses korosi seragam. Untuk pengaruh komposisi kimia pada baja bahwa $\frac{1}{2}\%Cr$ lebih tahan terhadap korosi CO_2 itu kurang benar karena pada pengujian di mini flow loop dan greene cell di temperature diatas 140 F tidak ada perbedaan antara baja $\frac{1}{2}\% Cr$ dan X65. Untuk Pengaruh kecepatan aliran yaitu Laju korosi meningkat dengan meningkatnya kecepatan aliran. Hal itu dikarenakan laju diffusi juga naik ketika laju aliran yang berubah reaksi perpindahannya.

Pada penelitian Bayuseno pada tahun 2012, membandingkan baja karbon terhadap karakteristik korosi erosi yang disebabkan adanya aliran fluida dengan material uji ST 40 dan ST 60. Metode yang digunakan yaitu mengalirkan air laut ke dalam pipa dan specimen agar specimen bergesekan dengan air laut. Adanya pengaruh tersebut menyebabkan baja dengan kadar karbon sangat rendah (ST 40) mengalami korosi sumuran dan korosi erosi yang sangat sedikit sampai tidak bisa terlihat saat diuji SEM. Sedangkan baja dengan kadar karbon menengah (ST 60) terlihat jelas korosi erosi yang terlihat bentuk terkikis ketika diuji dengan SEM.

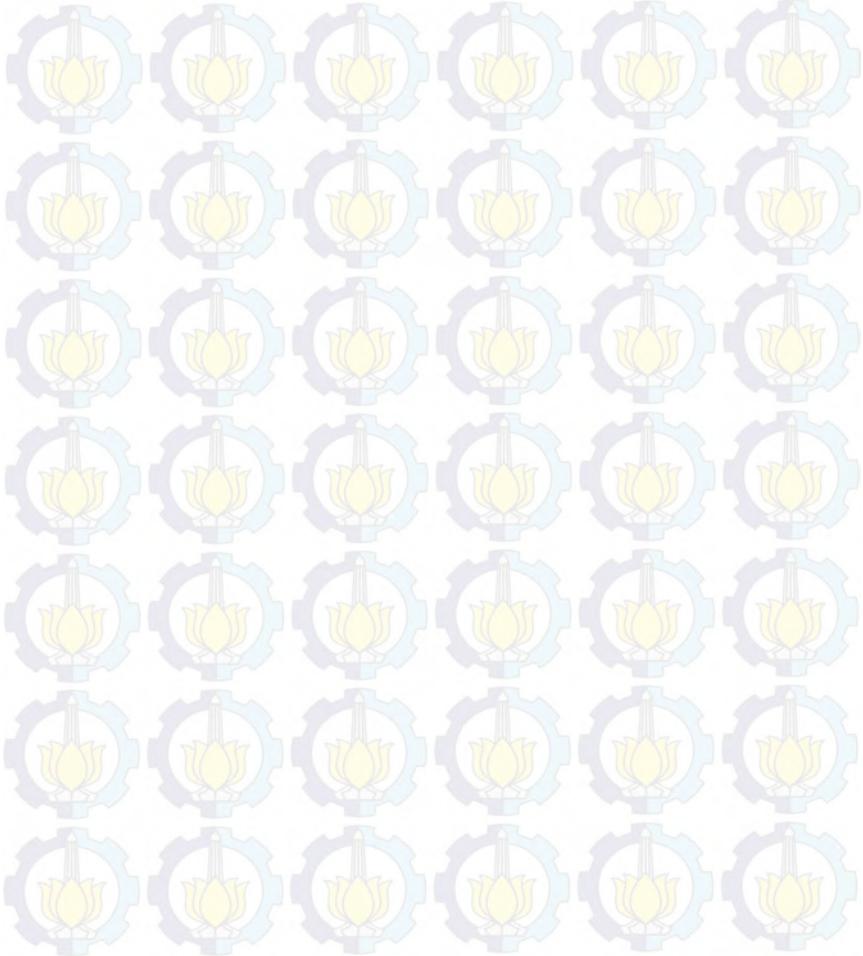


Gambar 2.7 Hasil Uji SEM proses korosi erosi pada (a) ST 60 (b) ST 40 (Bayuseno.2012)

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kuburi dkk dengan 4 kupon baja karbon pada larutan asam acetone (CH_3COCH_3) dengan waktu pencelupan 96 jam dengan



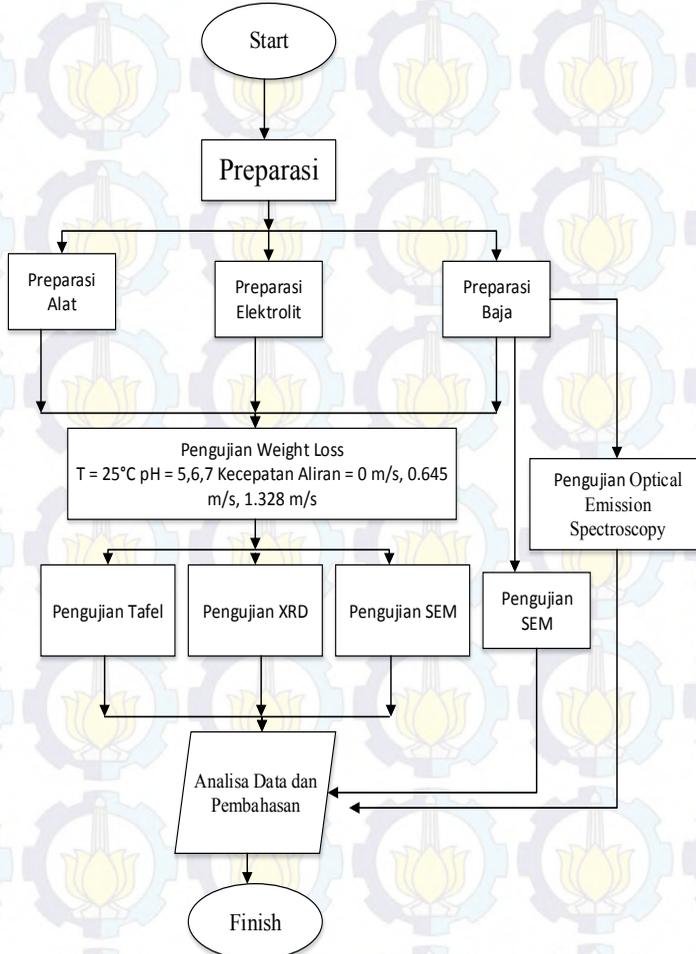
menggunakan flow loop dengan rentang reynold number antara 734 sampai 3705 menunjukkan hasil bahwa semakin meningkatnya nilai reynold number maka semakin tingginya laju korosi yang didapat. Dalam penelitian tersebut terbentuknya korosi erosi pada permukaan kupon tersebut. (kuburi dkk,2013).





**BAB III
METODELOGI PENELITIAN**

III.1. Diagram Alir Percobaan



Gambar 3.1 Diagram Alir



III.2. Prosedur Penelitian

III.2.1 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Metode ini menggunakan buku, jurnal, informasi dan penelitian dari situs industri sebagai acuan untuk mempelajari mengenai masalah perubahan laju aliran fluida dan pH pada baja karbon rendah terhadap laju korosi.

2. Diskusi dan *interview*

Metode ini bertujuan memberikan wawasan kepada penulis agar dapat memahami masalah dari penelitian. Hal ini dapat dilakukan dengan dosen pembimbing dan dosen mata kuliah yang ahli di bidang korosi.

3. Experimental

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan data langsung dari pengujian sesuai prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian dalam eksperimen ini yaitu : Spektrometri, foto visual, *weight loss corrosion*, Polarisasi, XRD dan SEM

III.2.2 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Pompa
 2. Timbangan Digital
 3. Bak 220 Liter
 4. Bak 20 Liter
 5. Pipa PVC 1" dan 1,5"
 6. Peralatan Uji Tafel
 7. Gelas Ukur
 8. Lem Tembak
 9. Alat Pemotong Sampel
 10. Pipet
 11. Kertas Amplas
-



12. Timbangan Digital
13. Indikator pH digital
14. Wadah Plastik (Aqua 1,5 L)
15. Kertas Label
16. Kabel Tembaga
17. Solder
18. Jangka Sorong
19. Peralatan Pengujian SEM
20. Peralatan Pengujian XRD
21. Peralatan Pengujian Tafel
22. Peralatan Pengujian Emission Spectrometer

III.2.3 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

:

1. Material

Material yang digunakan ialah Baja karbon rendah JIS G3131 SPHC dengan dimensi 20x10x3 mm permukaan logam diampelas dengan kertas gosok hingga terlihat bersih dari pengotor yang tidak diharapkan. Komposisi Baja karbon rendah JIS G3131 SPHC sebagai berikut:

Tabel 3.1 Komposisi kimia spesimen baja JIS G3131 SPHC

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)
0,299	0,345	0,411	0,021	0,039	0,496
Cr (%)	Mo (%)	Al (%)	Fe (%)	Ni (%)	
0,479	0,937	0,010	94,942	1,998	

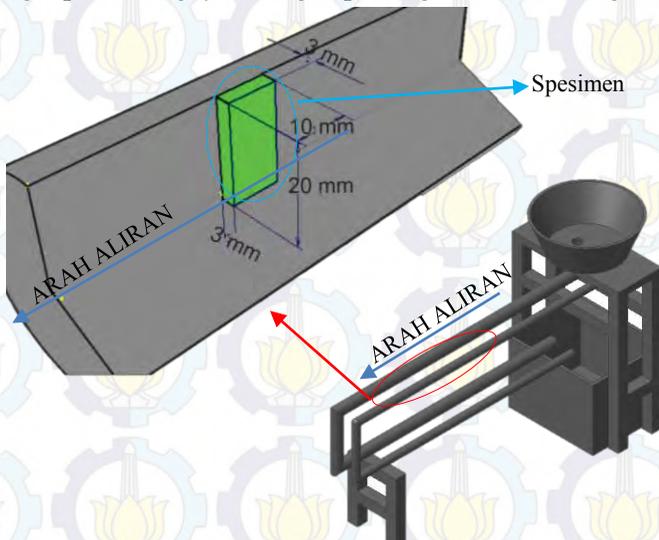
2. Elektrolit

Larutan elektrolit menggunakan CH_3COOH (Acetic Acid) yang diencerkan dengan aquades sampai pH 5, 6 dan 7 (Perhitungan di lampirkan)



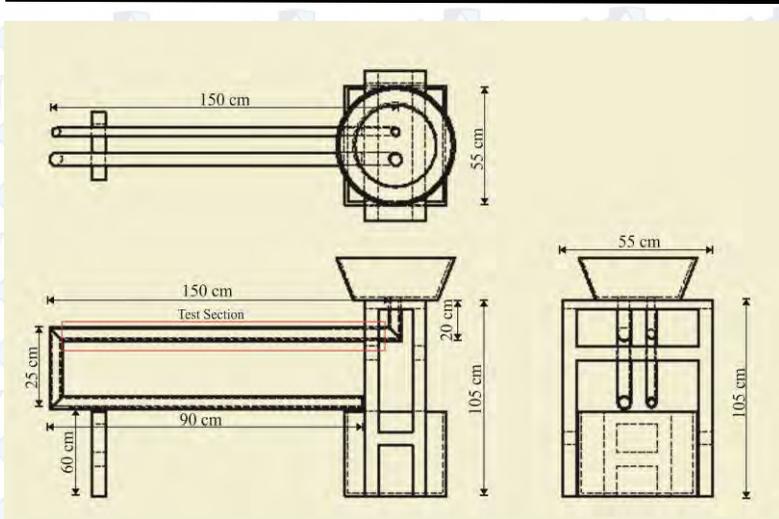
III.2.4 Preparasi Alat

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja JIS G3131 SPHC. Material yang diuji dibentuk menjadi plat tipis dengan ukuran $p \times l \times t$ berturut-turut 20 x 10 x 3 mm. Untuk alat yang digunakan yaitu flow loop dengan menyusun pipa pvc dan pompa sebagai pendorongnya. Yang dapat di gambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.2 Rancangan alat Flow Loop 3D

Pada alat flow loop ini dirangkai menggunakan pipa PVC dengan diameter 1" dan 1 1/2" sebagai daerah test (section test) yang nantinya test coupon akan di tanam pada daerah yang di tentukan dan di aliri elektrolit. Elektrolit yang mengalir di pipa pvc di tampung pada tangki kotak yang bervolume 220 liter. Dan di pompa dengan 3 pompa centrifugal dengan diameter keluar 3/4" menuju bak dengan volume 70 liter yang di atas susunan pipa tersebut. Aliran yang di hasilkan pada alat ini yaitu 1,328 m/s dan 0,645 m/s



Gambar 3.3 Rancangan alat Flow Loop 2D

III.2.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dengan dua jenis penelitian yaitu, untuk melihat laju korosi dan karakterisasi korosi. Pengujian korosi secara elektrokimia dilakukan untuk memperoleh data laju korosi pada variasi laju aliran 0 m/s, 0,645 m/s dan 1,328m/s pada temperatur kamar dengan larutan CH_3COOH (Asam Asetat) menggunakan metode *weight loss* selama 5 hari dan 10 hari. Pengujian karakteristik korosi pada permukaan baja JIS G3131 SPHC dilakukan dengan alat XRD dan SEM untuk mendapatkan lapisan produk dan pola korosi.

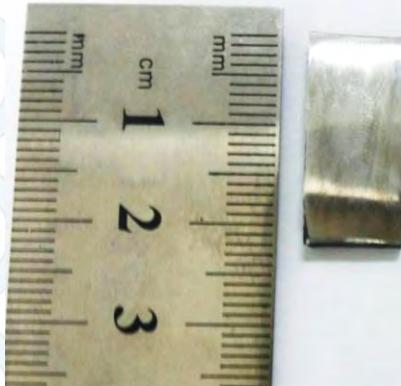
III.2.6 Preparasi Uji *Weight loss*

Pada pengujian ini, material yang digunakan adalah JIS G3131 SPHC yang berbentuk plat panjang dengan dimensi lebar 4 cm dan panjang 700 cm. Kemudian plat tersebut dibuat menjadi lempengan dan dipotong menjadi ukuran 1 cm x 2 cm x 0,3 cm sebanyak 72 spesimen. Ukuran spesimen disesuaikan dengan

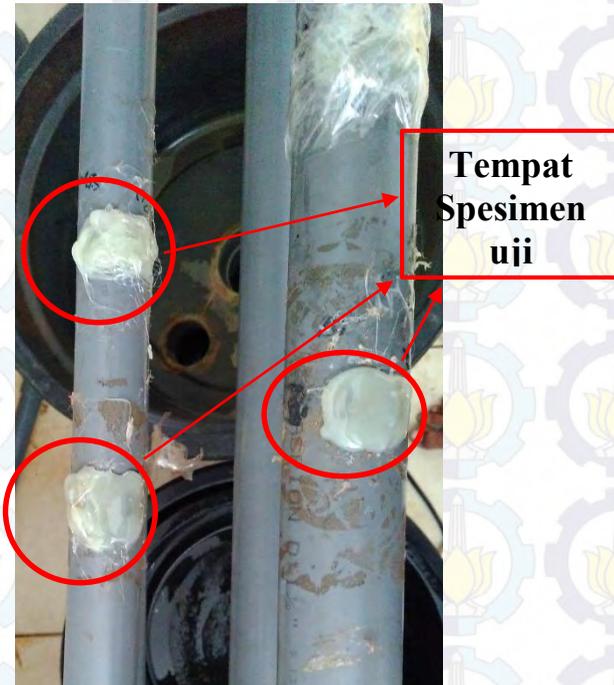


ukurannya dimana volume larutan minimal untuk merendam sebuah sample adalah sebanyak 0,4 kali luas permukaan sample.

1. Proses Picling
Pada proses ini sample di sikat dengan sikat gigi dengan HCL 5 M yang diencerkan lalu di cuci dengan air sabun. Proses ini bertujuan produk korosi yang ada di sample benar-benar bersih agar saat penimbangan berat awal berat yang terukur berat murni sample tanpa adanya produk korosi
2. Pengamplasan Sample
Setelah spesimen selesai di picking selanjutnya dilakukan dilakukan proses pengamplasan , dimana pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan produk korosi yang masih ada di permukaan sample setelah di picling. Pengamplasan menggunakan grade 80,120,320,400,600,800,1000.
3. Pengukuran berat awal sample
Kemudian setiap sample diukur berat awalnya dengan menggunakan timbangan digital sebagai data awal percobaan dan ditandai berat masing-masing sample dengan kertas label.
4. Menuangkan larutan asam CH_3COOH sesuai pH yang divariasikan kedalam Alat *Flow Loop*
5. Menempelkan dengan glue gun setiap spesimen kedalam pipa *test section* yang sudah di sediakan pada alat *Flow Loop*
6. Data pengurangan massa spesimen diukur tiap interval waktu 5 hari.



Gambar 3.4 Spesimen *Weight Loss Immerse*



Gambar 3.5 Spesimen pada setiap pipa *test section*



III.2.7 Preparasi Uji Tafel

1. Pada pengujian Tafel spesimen yang digunakan sama dengan spesimen *weight loss* dengan dimensi 20 mm x 10 mm x 3mm, Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5
2. Permukaan harus halus sehingga perlu pengamplasan dengan grade 80,120,320,400,600,800,1000.



Gambar 3.6 Spesimen Tafel

III.2.8 Preparasi Elektrolit

Elektrolit dibuat dengan mengencerkan asam asetat CH_3COOH dari Molaritas awal 17.448 M menjadi Molaritas yang menunjukkan pH 5,6 dan 7 dengan aquades. Dalam 40 Liter aquades ditambah dengan 318.4 mL CH_3COOH dengan konsentrasi 1M untuk mendapatkan pH 5. Sedangkan untuk pH 6 membutuhkan 108.8 mL dan untuk pH 7 membutuhkan 43.2 mL. Selanjutnya pH dihitung dengan menggunakan pH meter untuk mendapatkan pH 5.6 dan 7 yang akurat.



Gambar 3.7 Pengukuran elektrolit dengan pH meter

III.3. Pengujian-pengujian

III.3.1. Pengujian *Spektrometri*

Pengujian spektrometri bertujuan untuk mengetahui persentase komposisi kimia yang terkandung dalam spesimen uji. Pada penelitian ini pengujian spektrometri dilakukan di Balai Riset dan standarisasi dinas perdagangan – Surabaya. *Optical Emission Spectrometer* adalah salah satu teknik spektroskopi yang meneliti panjang gelombang foton yang dipancarkan oleh atom atau molekul selama transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan energi yang lebih rendah. Setiap elemen memancarkan karakteristik panjang gelombangnya tersendiri sesuai dengan struktur elektronnya. Dengan mengamati panjang gelombang tersebut, komposisi unsur dari sebuah material dapat ditentukan. Adapun prosedur pengujian spektrometri adalah :

1. Tahap preparasi benda uji
 - Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan gerinda perata jika permukaan belum rata.
2. Tahap pengujian
 - Memasang benda uji pada ruang penembakan
3. Tahap pengambilan data



III.3.2. Pengujian *weight loss*

Pengujian *weight loss* atau lebih dikenal dengan metode pengurangan berat adalah metode yang dilakukan untuk mengetahui besaran laju korosi (mpy) pada suatu material berdasarkan pengurangan berat awal dan berat akhir. Dalam metode ini, sample dengan berat tertentu akan dicelupkan dalam larutan atau lingkungan tertentu pada beberapa waktu yang berbeda. Dengan metode ini, berat hilang yang diakibatkan proses korosi ditentukan. Sehingga bisa diketahui laju korosi karena akibat dari pengaruh laju aliran dan pH.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Langkah-langkah pengujian *weight loss immerse* adalah sebagai berikut:

1. Pengisian *chamber weight loss immerse* dengan 40 liter larutan elektrolit CH_3COOH dengan pH 5
2. Siapkan 8 spesimen dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 3 mm pada setiap section test pipa yang berbeda ukuran.
3. Menghubungkan selang ke chamber ke section test pipa.
4. Spesimen pertama direndam selama 5 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
5. Spesimen kedua direndam selama 10 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
6. Ulangi langkah 1-4 untuk spesimen dengan pH 6 dan 7



Gambar 3.8 Uji *Weight Loss*

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan Pengujian *Weight Loss Immerse*

pH	Kecepatan (m/s)	Waktu (hari)	Spesime n	Berat spesime n awal (gr)	Berat spesime n akhir (gr)	Selisih berat (gr)
5	0	5	1			
			2			
			3			
			4			
		10	1			
			2			
			3			
			4			
	0,645	5	1			
			2			
			3			
			4			
10		1				
		2				
		3				
		4				
1,328	5	1				
		2				
		3				



6	0	10	4			
			1			
			2			
			3			
6	0	5	4			
			1			
			2			
			3			
6	0	10	4			
			1			
			2			
			3			
6	0,645	5	4			
			1			
			2			
			3			
6	0,645	10	4			
			1			
			2			
			3			
6	1,328	5	4			
			1			
			2			
			3			
6	1,328	10	4			
			1			
			2			
			3			
7	0	5	4			
			1			
			2			
			3			
7	0	10	4			
			1			
			2			
			3			
7	0,645	5	4			
			1			
			2			
			3			
7	0,645	10	4			
			1			
			2			
			3			
7	1,328	5	4			
			1			
			2			
			3			

BAB III – METODOLOGI PENELITIAN



			2			
			3			
			4			
		10	1			
			2			
			3			
			4			

III.3.3. Pengujian Tafel

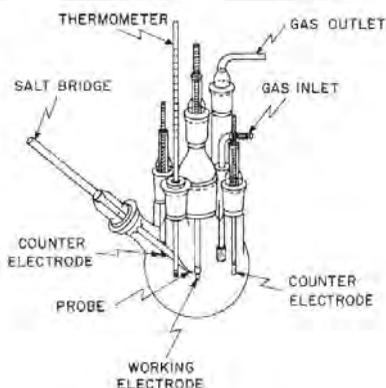
Pengukuran dilakukan dengan menggunakan Potentiodynamic Polarization dengan metode Tafel untuk mengetahui laju korosi. Untuk proses pengujian dan pengukuran polarisasi mengacu pada ASTM G5 (ASTM, 1999), *Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement*. Sebelum dilakukan pengukuran secara elektrokimia, sel elektrokimia dibiarkan selama 120 detik agar interaksi antarmuka baja JIS G3131 SPHC dengan larutan mencapai keadaan *steady state*. Tercapainya keadaan ini ditunjukkan oleh nilai *open circuit potential* (OCP) yang relatif. Spesimen yang diuji mempunyai ukuran 20 mm x 10 mm x 3 mm. Pengujian dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS dengan software Autolab. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi material pada larutan CH_3COOH dengan pH 5,6 dan 7 terhadap laju aliran 0, 0,645, dan 1,328 m/s. Selain itu untuk mengetahui kurva polarisasi potensial material yang digunakan. Berdasarkan kurva tersebut, dapat diperoleh nilai E_{corr} dan $\log I_{\text{corr}}$ yang didapatkan secara otomatis dengan menggunakan “tafel fit”.

Tabel 3.3 Parameter Pengujian Tafel

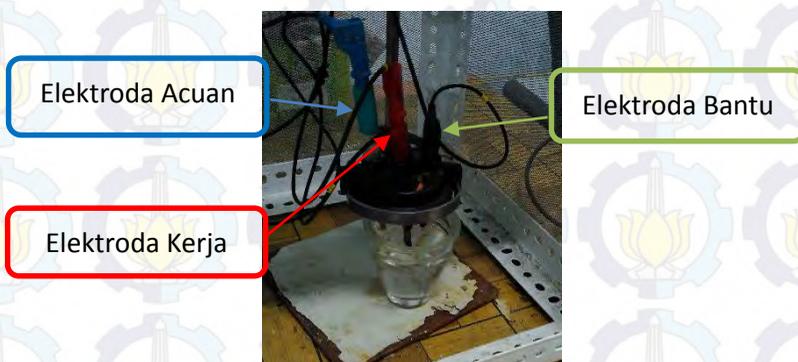
Elektrode Kerja	JIS G3131 SPHC
<i>Equivalent Weight</i> (g/mol)	27.92
Densitas (g/cm ³)	7.86
Luasan Terekspos	3.2



(cm ²)	
<i>Counter Electrode</i>	Platina
<i>Reference Electrode</i>	Ag/AgCl
<i>Scan Rate (V/s)</i>	0,001
<i>Start Potential (V)</i>	-0,05 vs OCP
<i>Finish Potential (V)</i>	+0,05 vs OCP



Gambar 3.9 Skema Alat Pengujian Polarisasi



**Gambar 3.10** Rangkaian Alat Pengujian Polarisasi**Tabel 3.4** Rancangan Percobaan Pengujian Polarisasi dengan Metode Tafel

Kecepatan (m/s)	pH	-Ecorr (V)	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (Mpy)	CR (mm/year)
0	5				
	6				
	7				
0,645	5				
	6				
	7				
1,328	5				
	6				
	7				

III.3.4. Pengujian Analisa Difraksi Sinar X (XRD)

Analisa difraksi sinar X dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada baja JIS G3131 SPHC yang telah mengalami pengujian korosi. Yakni dengan pengkorosian selama 5 dan 10 hari, dengan menggunakan mesin XRD dan dimensi spesimen adalah 20 mm x 10 mm x 3 mm. Karakterisasi XRD dilakukan menggunakan alat *Pan Analytical XRD* di Laboratorium Karakterisasi Teknik Material dan Metalurgi. Memakai spesimen yang di beri perlakuan dengan kecepatan 1,328 m/s untuk mewakili kondisi sebenarnya dan spesimen awal. Grafik dari pengujian XRD menggunakan *software Match!* Untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada lapisan spesimen

Pada pengujian XRD, sampel ditempatkan pada titik fokus hamburan sinar-X yaitu tepat di tengah-tengah *plate* yang digunakan sebagai tempat yaitu sebuah plat tipis yang berlubang di tengah berukuran sesuai dengan sampel (*plate*) dengan perekat pada sisi baliknya. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk



mencari produk korosi Baja dengan lingkungannya dengan variasi pH dan kecepatan aliran fluida.



Gambar 3.11 Mesin XRD Pan Analytical

III.3.5. Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) menggunakan mesin SEM menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan. Elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membentuk sampel menghasilkan sinyal yang berisi profil permukaan yang terkorosi, distribusi produk korosi, komposisi dan pertumbuhan korosi yang terbentuk pada spesimen baja JIS G3131 SPHC yang dikorosikan selama 5 hari dengan kecepatan 0 m/s dan 1,328 m/s. Dimensi spesimen pada pengujian SEM ini adalah 20 mm x 10 mm x 3 mm. Pengujian dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Menggunakan mesin SEM FEI INSPECT Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk melihat morfologi korosi dari permukaan baja JIS G3131 SPHC pengaruh pH dan Laju aliran fluida.

Adapun cara kerja dari SEM adalah *electron gun* memproduksi *electron beam*, anoda menangkap *electron beam*



untuk kemudian diarahkan ke sampel kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini dan menembakkan ke sampel, *scanner* membaca struktur permukaan sampel selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor dan dapat dicetak bila diperlukan.



Gambar 3.12 Mesin SEM



(halaman ini sengaja di kosongkan)



BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang mengacu pada prosedur penelitian pada bab 3 maka dihasilkan sejumlah data penelitian baik yang berupa foto, Gambar dan data numerik yang meliputi: Tabel hasil uji Spektrometer, Pengamatan visual, Laju korosi dari spesimen uji, Grafik pengujian Tafel, Grafik hasil uji *X-Ray Diffraction* (XRD) dan Gambar morfologi permukaan hasil uji *Scanning Electron Microscope* (SEM).

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Pengujian Spektrometri

Untuk mengetahui komposisi kimia baja JIS G3131 SPHC maka diperlukan pengujian *Optical Emission Spectrometer* (OES) dengan hasil pada tabel 4.1 sebagai berikut

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Optical Emission Spectrometer* (OES) JIS G3131 SPHC

<i>Komposisi (%)</i>	<i>Sample Uji</i>	<i>JIS G3131 SPHC</i>
<i>Fe</i>	94,942	-
<i>C</i>	0,299	0.15
<i>Si</i>	0,345	-
<i>Mn</i>	0,411	0.60 max
<i>P</i>	0,021	0.05 max
<i>S</i>	0,039	0.05 max



<i>Cr</i>	0,479	-
<i>Mo</i>	0,937	-
<i>Ni</i>	1,998	-
<i>Al</i>	0,010	-
<i>Cu</i>	0,496	-

Dari tabel 4.1 hasil menunjukkan bahwa kadar karbon pada spesimen uji baja dengan baja JIS G3131 SPHC memiliki kadar yang lebih tinggi yaitu sebesar 0.299 % Hal tersebut menunjukkan bahwa baja spesimen uji adalah baja karbon rendah dengan kandungan karbon kurang dari 0,300% (Nanulaitta dan Patty, 2011). Hasil dari pengujian ini menjadikan baja JIS G3131 SPHC ini sebagai spesimen uji.

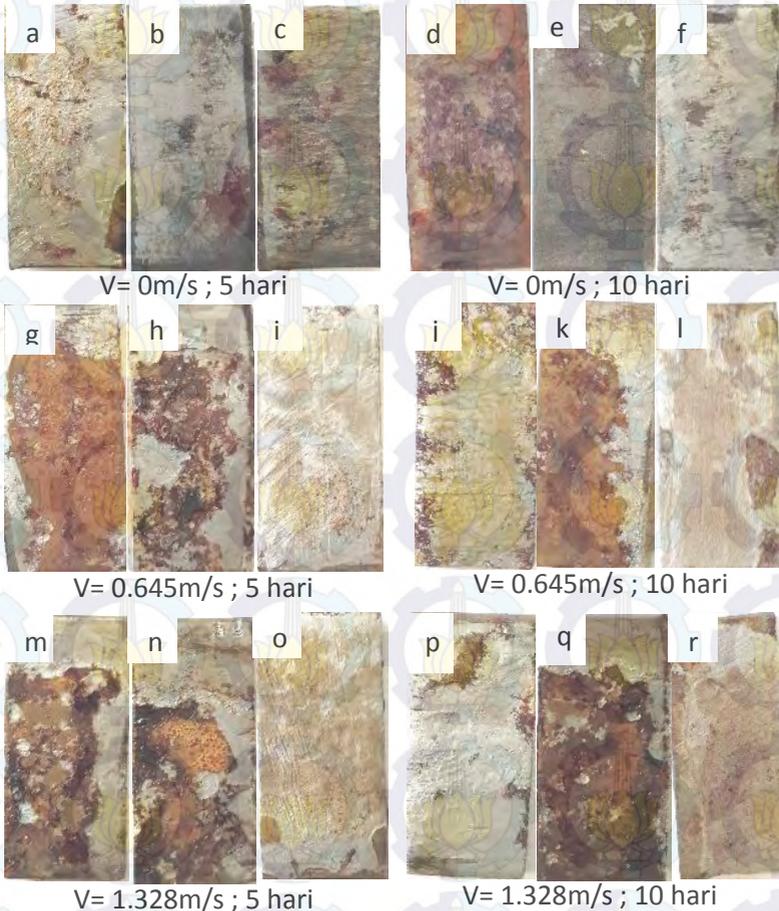
4.1.2 Hasil Pengamatan Visual

Setelah pengujian *weight loss*, dilakukan penimbangan untuk mendapatkan berat akhir dari hasil pengujian *weight loss*. Setelah penimbangan, dilakukan dokumentasi berupa foto makro dari spesimen baja. Berikut hasil foto makro dari baja hasil pengujian *weight loss*.

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat foto makro Baja JIS G3131 SPHC. Jika dibandingkan, Permukaan spesimen Baja JIS G3131 SPHC pH 5,6 dan 7, lebih banyak terkorosi pada pH 5. Hal ini dibuktikan dengan adanya perubahan warna dan adanya bercak-bercak hitam atau merah pada baja Baja JIS G3131 SPHC. Pada umumnya, baja dengan pH yang rendah lebih banyak bercak pada permukaan. Hal ini terdapat pada gambar 4.1a, 4.1d, 4.1g , 4.1j, 4.1m dan 4.1p . Pada gambar 4.1b,. Dari gambar 4.1 , jika dibandingkan dengan penambahan kecepatan lairan fluida terlihat



perubahan penekanan warna dan bercak hitam atau merah yang semakin merata.



Gambar 4.1 Foto Makro Baja JIS G3131 SPHC. Dari Kiri ke Kanan pH 5, pH 6, dan pH 7.



4.1.3 Hasil Pengujian Elektrokimia Tafel

Pengujian metode tafel dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa laju korosi pada keadaan awal yang terjadi pada baja JIS G3131 SPHC. Pengujian ini dilakukan dengan variasi laju aliran 0 m/s, 0,6 m/s dan 1,328 m/s dalam media CH_3COOH (asam asetat) pada pH 5,6 dan 7. Berikut hasil pengujian laju korosi metode tafel dalam tabel.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Laju Korosi Metode Tafel

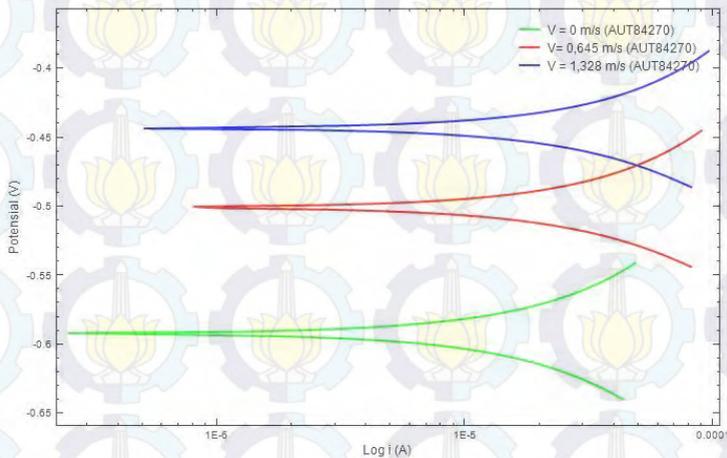
pH	Kecepatan (m/s)	-Ecorr (mV)	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (Mpy)	CR (mm/year)
5	0	542.310	10.290	4.7087	0.1196
	0.645	500.450	32.548	14.8898	0.3782
	1.328	433.370	51.614	23.6142	0.5998
6	0	527.430	3.653	1.6732	0.0425
	0.645	452.110	11.720	5.3622	0.1362
	1.328	438.470	16.170	7.3976	0.1879
7	0	276.150	0.897	0.4094	0.0104
	0.645	350.570	2.522	1.1535	0.0293
	1.328	325.090	5.195	2.3780	0.0604

Dari tabel 4.2 didapatkan nilai laju korosi baja JIS G3131 SPHC dalam CH_3COOH pH 5 dengan kecepatan 0 m/s, 0,645 m/s dan 1,328 m/s secara berturut turut adalah sebesar 0.1196 mm/year, 0.3782 mm/year, dan 0.5998 mm/year. Sedangkan untuk Laju korosi dalam CH_3COOH pH 6 dengan kecepatan 0 m/s, 0,645 m/s dan 1,328 m/s secara berturut turut adalah sebesar 0.0425 mm/year, 0.1362 mm/year, dan 0.1879 mm/year. Untuk laju korosi dalam CH_3COOH pH 7 dengan kecepatan 0 m/s, 0,645 m/s dan 1,328 m/s secara berturut turut adalah sebesar 0.0104 mm/year, 0.0293 mm/year, dan 0.0604 mm/year.

Dari tabel 4.2 memperlihatkan adanya perbedaan nilai laju korosi setiap adanya perbedaan pH dan kecepatan. Nilai laju korosi



terbesar terdapat pada pH 5 dengan kecepatan 1.328 m/s sebesar 0.5998 mm/year. Sedangkan nilai laju korosi terkecil terdapat pada pH 7 dengan kecepatan 0 m/s sebesar 0.0104 mm/year. Selain itu peningkatan kenaikan laju korosi (ΔCR) pada pH 5 menunjukkan angka sebesar 0.2 mm/year setiap kenaikan laju alirannya. Sedangkan pada pH 6 peningkatan laju korosi (ΔCR) menunjukkan angka berkisar 0.05 mm/year setiap kenaikan laju alirannya. Untuk pH 7 sendiri peningkatan laju korosi (ΔCR) menunjukkan angka berkisar 0.03 mm/year setiap kenaikan laju alirannya.

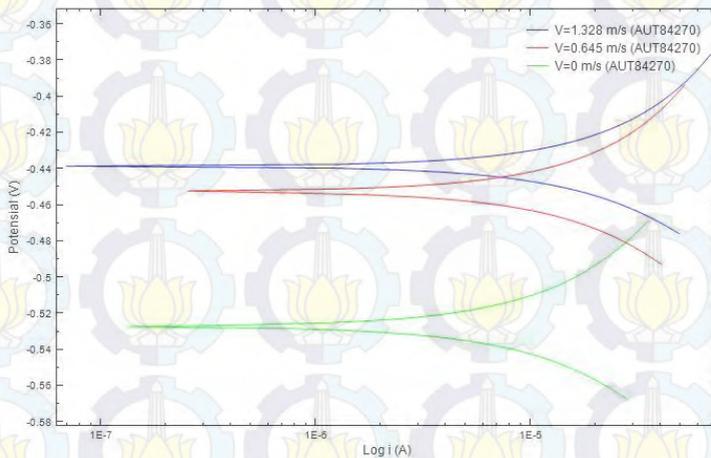


Gambar 4.2 Kurva Polarisasi *E versus Log I* Spesimen Baja JIS G3131 SPHC dalam CH_3COOH (asam asetat) pH 5

Kurva polarisasi *E versus log I* pada gambar 4.2 menggunakan spesimen baja JIS G3131 SPHC diperlakukan dalam CH_3COOH pH 5 dengan variasi kecepatan sebesar 0 m/s, 0.645 m/s dan 1.328 m/s. Pengaruh semakin besar laju aliran fluida maka menjadikan kurva bergeser ke arah kanan dan ke arah atas. Ketika kurva bergeser semakin ke kanan, I_{corr} menjadi semakin besar, dan menandakan laju korosi semakin besar juga. Begitu juga sebaliknya, apabila kurva bergeser semakin ke kiri, I_{corr} menjadi



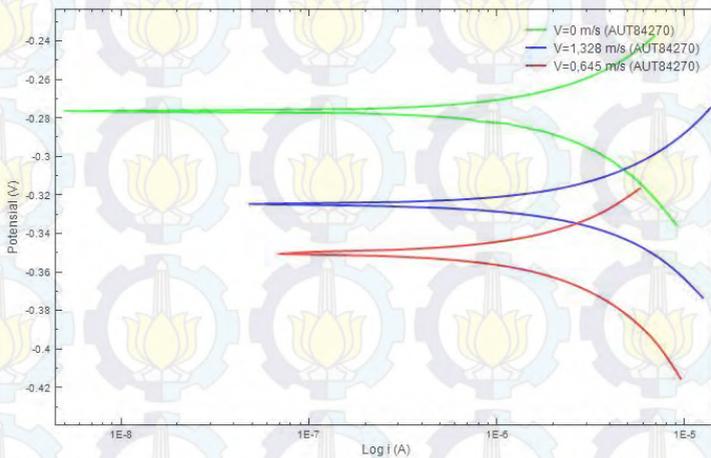
semakin kecil, dan menandakan laju korosi semakin menurun. Pada gambar kurva tafel 4.2 terlihat bahwa adanya laju aliran menggeser reaksi elektrokimia spesimen dengan elektrolitnya menjadi lebih anodik, artinya reaksi pada spesimen lebih dominan daripada reaksi pada elektrolitnya. Pada kurva tafel gambar 4.2 terlihat juga adanya rentang antar kurva sangat jauh setiap penambahan laju aliran fluida menandakan bahwa laju aliran fluida sendiri mempengaruhi reaksi korosi secara signifikan. Garis berwarna hijau mewakili spesimen dengan laju aliran 0 m/s dengan laju korosi sebesar 0.1196 mm/year. Garis berwarna merah mewakili spesimen dengan laju aliran fluidanya sebesar 0.645 m/s dengan laju korosi sebesar 0.3782 mm/year. Garis berwarna biru mewakili spesimen dengan laju aliran fluida 1.328 m/s dengan laju korosi sebesar 0.5998 mm/year.



Gambar 4.3 Kurva Polarisasi *E versus Log I* Spesimen Baja JIS G3131 SPHC dalam CH_3COOH (asam asetat) pH 6



Kurva polarisasi E *versus* log I pada gambar 4.3 menggunakan spesimen baja JIS G3131 SPHC diperlakukan dalam CH₃COOH pH 6 dengan variasi kecepatan sebesar 0 m/s , 0.645 m/s dan 1.328 m/s . Pengaruh semakin besar laju aliran fluida maka menjadikan menggeser kurva ke arah kanan dan ke arah atas. Ketika kurva bergeser semakin ke kanan, Icorr menjadi semakin besar, dan menandakan laju korosi semakin besar. Begitu juga sebaliknya, apabila kurva bergeser semakin ke kiri, Icorr menjadi semakin kecil, dan menandakan laju korosi semakin menurun. Pada gambar kurva tafel 4.3 terlihat bahwa pada laju aliran menggeser reaksi elektrokimia spesimen dengan elektrolitnya menjadi lebih anodik, artinya reaksi pada spesimen lebih dominan daripada reaksi pada elektrolitnya. Pada kurva tafel gambar 4.3 terlihat juga adanya rentang antar kurva dengan laju aliran 0 m/s dengan 0.645 m/s dan 1.328 m/s sangat jauh menandakan bahwa laju aliran fluida sendiri mempengaruhi reaksi korosi secara signifikan. Sedangkan jarak rentang antar kurva dengan laju aliran 0.645 m/s dengan 1.328 m/s sangat sempit, artinya pada reaksi korosi pada pH dengan penambahan aliran memiliki pengaruh yang tidak signifikan terhadap reaksi korosinya. Diidentifikasi yang mempengaruhi nilai laju korosinya adalah kecepatan aliran fluida. Garis berwarna hijau mewakili spesimen dengan laju aliran 0 m/s dengan laju korosi sebesar 0.0425 mm/year. Garis berwarna merah mewakili spesimen dengan laju aliran fluidanya sebesar 0.645 m/s dengan laju korosi sebesar 0.1362 mm/year. Garis berwarna biru mewakili spesimen dengan laju aliran fluida 1.328 m/s dengan laju korosi sebesar 0.1879 mm/year.



Gambar 4.4 Kurva Polarisasi *E versus* Log *I* Spesimen Baja JIS G3131 SPHC dalam CH_3COOH (asam asetat) pH 7

Kurva polarisasi *E versus* log *I* pada gambar 4.4 menggunakan spesimen baja JIS G3131 SPHC diperlakukan dalam CH_3COOH pH 7 dengan variasi kecepatan sebesar 0.645 m/s dan 1.328 m/s. Pengaruh semakin besar laju aliran fluida maka menjadikan menggeser kurva ke arah kanan dan ke arah bawah. Ketika kurva bergeser semakin ke kanan, I_{corr} menjadi semakin besar, dan menandakan laju korosi semakin besar. Begitu juga sebaliknya, apabila kurva bergeser semakin ke kiri, I_{corr} menjadi semakin kecil, dan menandakan laju korosi semakin menurun. Pada gambar kurva tafel 4.4 terlihat bahwa adanya variasi laju aliran menggeser reaksi elektrokimia spesimen dengan elektrolitnya menjadi lebih katodik, artinya reaksi pada elektrolit lebih dominan daripada reaksi pada spesimennya. Namun pada kurva tafel gambar 4.4 terlihat bahwa kecepatan aliran fluida 0.645 m/s lebih katodik dibandingkan pada kecepatan 1.328 m/s. Pada kurva tafel gambar 4.4 terlihat juga adanya rentang antar kurva



yang jauh setiap perbedaan laju aliran fluida menandakan bahwa perbedaan laju aliran fluida sendiri mempengaruhi reaksi korosi secara signifikan. Garis berwarna hijau mewakili spesimen dengan laju aliran 0 m/s dengan laju korosi sebesar 0.0104 mm/year. Garis berwarna merah mewakili spesimen dengan laju aliran fluidanya sebesar 0.645 m/s dengan laju korosi sebesar 0.0293 mm/year. Garis berwarna biru mewakili spesimen dengan laju aliran fluida 1.328 m/s dengan laju korosi sebesar 0.0604 mm/year.

4.1.4 Hasil Pengujian *Weight Loss*

Dari hasil uji *weight loss* dapat dilihat pengurangan berat yang terjadi pada spesimen yang di celup selama 5 hari dan 10 hari dengan laju aliran fluida 0 m/s, 0,645 m/s dan 1,328 m/s pada pH 5,6 dan 7. Dari tabel 4.3 dapat dilihat pengurangan selisih berat yang bertambah seiring dengan adanya penambahan laju aliran. Semakin lama spesimen uji yang terekspose pada lingkungan CH_3COOH , maka semakin banyak selisih berat yang terjadi pada spesimen tersebut. Laju korosi spesimen baja JIS G3131 SPHC pada immersi CH_3COOH dengan pH 5 terdapat pada tabel 4.3 hasil perhitungan laju korosi.

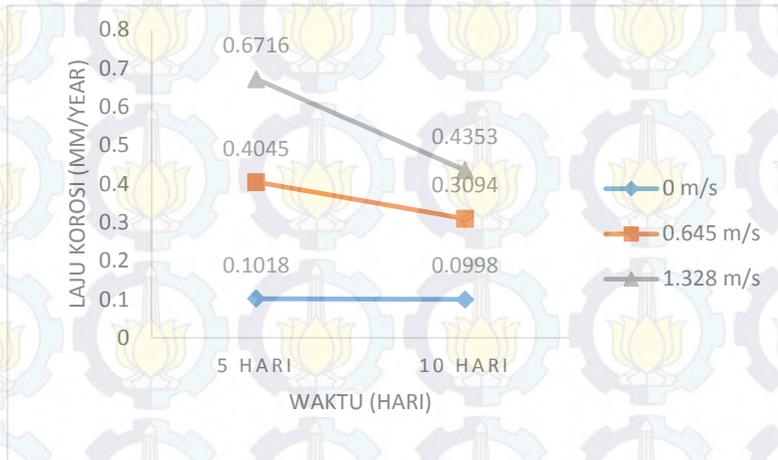
Hasil uji *weight loss* pada tabel 4.3 menunjukkan pengurangan berat yang terjadi pada spesimen yang di perlakukan pada CH_3COOH pH 5 pada laju aliran fluida 0 m/s, 0.645 m/s dan 1.328 m/s selama 5 hari dan 10 hari. Pada spesimen yang diperlakukan selama 5 hari didapatkan pada laju aliran fluida 0 m/s laju korosi rata-rata sebesar 0.1208 mm/year, sedangkan untuk laju aliran fluida 0.645 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.4045 mm/year, dan untuk laju aliran fluida 1.328 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.6716 mm/year. Untuk pencelupan selama 10 hari didapatkan pada laju aliran fluida 0 m/s laju korosi rata-rata sebesar 0.0998 mm/year, sedangkan untuk laju aliran fluida 0.645 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.3094 mm/year, dan untuk laju aliran fluida 1.328 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.4353 mm/year.



Tabel 4.3 Hasil Uji Weight loss pada pH 5 dengan variasi laju aliran

Kecepatan (m/s)	Waktu (hari)	Spesimen	Berat spesimen awal (gr)	Berat spesimen akhir (gr)	Selisih berat (gr)	Laju Korosi (mm/year)	Rata-rata Laju Korosi (mm/year)	
0	5	1	4.6958	4.6875	0.0083	0.1212	0.1208	
		2	4.6284	4.6201	0.0083	0.1217		
		3	4.8902	4.8817	0.0085	0.1203		
		4	5.0302	5.0216	0.0086	0.1199		
	10	1	5.3257	5.3121	0.0136	0.0939	0.0998	
		2	5.1666	5.153	0.0136	0.1012		
		3	5.1271	5.1134	0.0137	0.0995		
		4	4.9972	4.9833	0.0139	0.1047		
	0,645	5	1	4.7123	4.6923	0.02	0.3782	0.4045
			2	4.6949	4.6726	0.0223	0.3928	
			3	4.9157	4.8932	0.0225	0.3838	
			4	4.7932	4.7673	0.0259	0.4632	
10		1	4.9701	4.9313	0.0388	0.3539	0.3094	
		2	5.1354	5.0966	0.0388	0.3291		
		3	5.5132	5.4769	0.0363	0.2901		
		4	4.9953	4.9657	0.0296	0.2646		
1,328	5	1	4.6387	4.6095	0.0292	0.7067	0.6716	
		2	4.7301	4.6983	0.0318	0.648		
		3	4.7732	4.7414	0.0318	0.6892		
		4	4.7926	4.7611	0.0315	0.6426		
	10	1	5.0976	5.0452	0.0524	0.4769	0.4353	
		2	5.0385	4.9975	0.041	0.4170		
		3	5.0479	5.0004	0.0475	0.4383		
		4	5.1338	5.0933	0.0405	0.4088		

Dari hasil tabel 4.3 didapatkan grafik yang menggambarkan penurunan nilai rata-rata laju korosi seiring bertambahnya waktu pencelupan sebagai berikut



Gambar 4.5 Grafik pengaruh waktu pencelupan terhadap laju korosi dalam CH_3COOH (asam asetat) pH 5

Dari gambar 4.5 didapatkan kurva grafik yang semakin turun nilai rata-rata laju korosi dengan bertambahnya waktu pencelupan antara rentang 5 hari dengan 10 hari. Dari grafik hasil pencelupan selama 5 hari dan 10 hari terdapat penurunan nilai rata-rata laju korosi setiap bertambahnya waktu pada semua jenis laju aliran fluida baik 0 m/s, 0.645 m/s maupun 1.328 m/s yaitu secara berturut-turut berkisar 0.03 mm/year, 0.1 mm/year serta 0.25 mm/year.

Laju korosi spesimen baja JIS G3131 SPHC pada immersi CH_3COOH dengan pH 6 terdapat pada tabel 4.4 hasil perhitungan laju korosi.

Hasil uji weight loss pada tabel 4.4 menunjukkan pengurangan berat yang terjadi pada spesimen yang di perlakukan pada CH_3COOH pH 6 pada laju aliran fluida 0 m/s, 0.645 m/s dan 1.328 m/s selama 5 hari dan 10 hari. Pada spesimen yang diperlakukan selama 5 hari didapatkan pada laju aliran fluida 0 m/s laju korosi rata-rata sebesar 0.0699 mm/year, sedangkan untuk laju



Tabel 4.4 Hasil Uji Weight loss pada pH 6 dengan variasi laju aliran

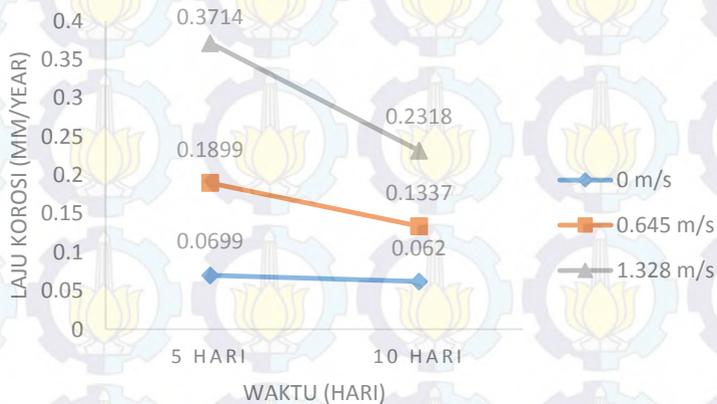
Kecepatan (m/s)	Waktu (hari)	Spesimen	Berat spesimen awal (gr)	Berat spesimen akhir (gr)	Selisih berat (gr)	Laju Korosi (mm/year)	Rata rata Laju Korosi (mm/year)	
0	5	1	4.9425	4.9375	0.005	0.0705	0.0699	
		2	4.7698	4.7656	0.0042	0.0611		
		3	4.7984	4.7936	0.0048	0.0696		
		4	4.882	4.8765	0.0055	0.0785		
	10	1	5.1294	5.1200	0.0094	0.0667	0.0620	
		2	4.9508	4.9429	0.0079	0.0583		
		3	4.8955	4.8867	0.0088	0.0665		
		4	4.9764	4.9689	0.0075	0.0567		
	0,645	5	1	4.6619	4.6506	0.0113	0.1910	0.1899
			2	4.8116	4.8006	0.011	0.1920	
			3	4.6283	4.6177	0.0106	0.1859	
			4	4.5713	4.5609	0.0104	0.1905	
10		1	5.1633	5.1492	0.0141	0.1267	0.1337	
		2	4.9692	4.9541	0.0151	0.1331		
		3	5.2273	5.211	0.0163	0.1523		
		4	5.1946	5.1797	0.0149	0.1227		
1,328	5	1	4.9576	4.9379	0.0197	0.3379	0.3714	
		2	4.9468	4.9267	0.0201	0.3872		
		3	4.7122	4.6919	0.0203	0.3959		
		4	4.7621	4.7424	0.0197	0.3647		
	10	1	5.0196	4.9923	0.0273	0.2649	0.2318	
		2	4.9932	4.9677	0.0255	0.2102		
		3	5.1984	5.1748	0.0236	0.2290		
		4	5.0123	4.9891	0.0232	0.2230		

aliran fluida 0.645 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.1899 mm/year, dan untuk laju aliran fluida 1.328 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.3714 mm/year. Untuk pencelupan selama 10 hari didapatkan pada laju aliran fluida 0 m/s laju korosi rata-rata sebesar 0.0620 mm/year, sedangkan untuk laju aliran fluida 0.645 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.1337



mm/year, dan untuk laju aliran fluida 1.328 m/s didapatkan rata-rata laju korosi sebesar 0.2318 mm/year.

Dari hasil tabel 4.4 didapatkan grafik yang menggambarkan penurunan nilai rata-rata laju korosi seiring bertambahnya waktu pencelupan.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh waktu pencelupan terhadap laju korosi dalam CH_3COOH (asam asetat) pH 6

Dari gambar 4.6 didapatkan kurva grafik yang semakin turun nilai rata-rata laju korosi dengan bertambahnya waktu pencelupan antara rentang 5 hari dengan 10 hari. Dari grafik hasil pencelupan selama 5 hari dan 10 hari terdapat penurunan nilai rata-rata laju korosi setiap bertambahnya waktu pada semua jenis laju aliran fluida baik 0 m/s, 0.645 m/s maupun 1.328 m/s yaitu secara berturut-turut berkisar 0.007 mm/year, 0.05 mm/year serta 0.15 mm/year.

Laju korosi spesimen baja JIS G3131 SPHC pada immersi CH_3COOH dengan pH 7 terdapat pada tabel 4.5 hasil perhitungan laju korosi.



Tabel 4.5 Hasil Uji Weight loss pada pH 7 dengan variasi laju aliran

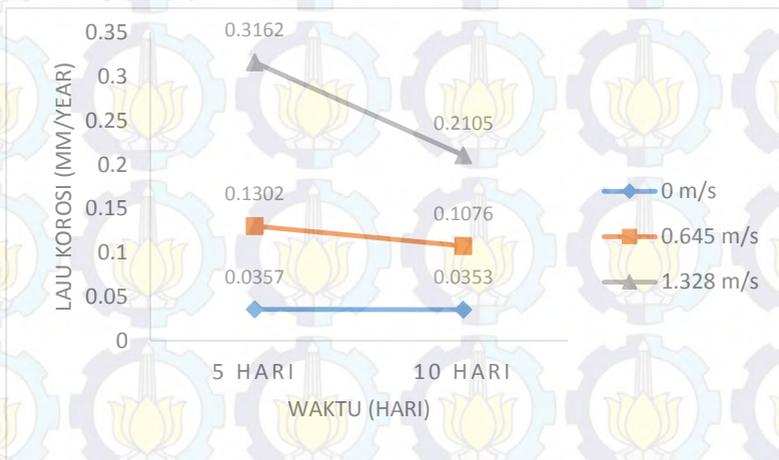
Kecepatan (m/s)	Waktu (hari)	Spesimen	Berat spesimen awal (gr)	Berat spesimen akhir (gr)	Selisih berat (gr)	Laju Korosi (mm/year)	Rata rata Laju Korosi (mm/year)	
0	5	1	4.8465	4.8439	0.0026	0.0376	0.0357	
		2	4.8471	4.8448	0.0028	0.0333		
		3	5.1528	5.1503	0.0036	0.0353		
		4	4.8255	4.8228	0.0027	0.0365		
	10	1	5.1162	5.1121	0.0041	0.0298	0.0353	
		2	5.0082	5.0039	0.0043	0.0322		
		3	5.023	5.0176	0.0054	0.0402		
		4	5.5013	5.4955	0.0058	0.0391		
	0,645	5	1	4.9776	4.9698	0.0078	0.1269	0.1302
			2	4.7561	4.7479	0.0082	0.1375	
			3	4.9581	4.9505	0.0076	0.1315	
			4	4.9827	4.9755	0.0072	0.1250	
10		1	5.1936	5.1811	0.0125	0.1081	0.1076	
		2	5.0029	4.9897	0.0132	0.1067		
		3	5.4808	5.4676	0.0132	0.1078		
		4	5.457	5.4437	0.0133	0.1075		
1,328		5	1	4.9281	4.9122	0.0159	0.3175	0.3162
			2	4.803	4.7865	0.0165	0.3165	
			3	4.837	4.8211	0.0159	0.3436	
			4	4.8928	4.8764	0.0164	0.2871	
	10	1	4.9168	4.8926	0.0242	0.2180	0.2105	
		2	5.1409	5.1155	0.0254	0.2050		
		3	5.4144	5.3892	0.0252	0.2049		
		4	5.3999	5.3745	0.0254	0.2142		

Hasil uji weight loss pada tabel 4.5 menunjukkan pengurangan berat yang terjadi pada spesimen yang di perlakukan pada CH_3COOH pH 7 pada laju aliran fluida 0 m/s, 0.645 m/s dan 1.328 m/s selama 5 hari dan 10 hari. Pada spesimen yang diperlakukan selama 5 hari didapatkan pada laju aliran fluida 0 m/s laju korosi rata-rata sebesar 0.0357 mm/year, sedangkan untuk laju



aliran fluida 0.645 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.1302 mm/year, dan untuk laju aliran fluida 1.328 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.3162 mm/year. Untuk pencelupan selama 10 hari didapatkan pada laju aliran fluida 0 m/s laju korosi rata-rata sebesar 0.0353 mm/year, sedangkan untuk laju aliran fluida 0.645 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.1076 mm/year, dan untuk laju aliran fluida 1.328 m/s didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0.2105 mm/year.

Dari hasil tabel 4.5 didapatkan grafik yang menggambarkan penurunan nilai rata rata laju korosi seiring bertambahnya waktu pencelupan sebagai berikut.



Gambar 4.7 Grafik pengaruh waktu pencelupan terhadap laju korosi dalam CH_3COOH (asam asetat) pH 7

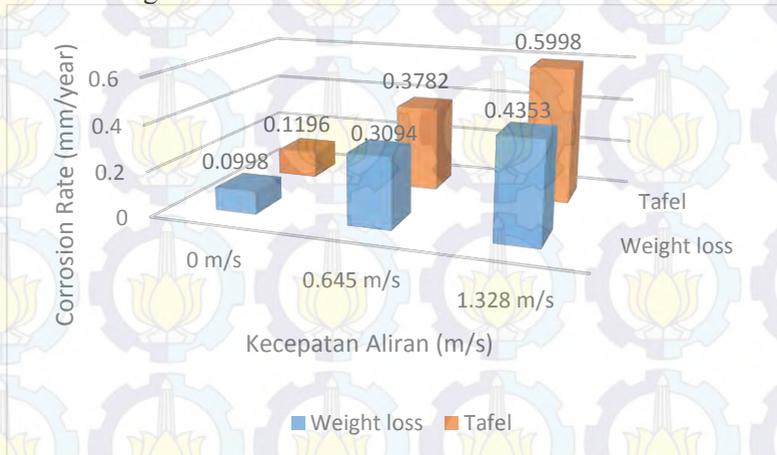
Dari gambar 4.7 didapatkan kurva grafik yang semakin turun nilai rata rata laju korosi dengan bertambahnya waktu pencelupan antara rentang 5 hari dengan 10 hari. Dari grafik hasil pencelupan selama 5 hari dan 10 hari terdapat penurunan nilai rata rata laju korosi setiap bertambahnya waktu pada semua jenis laju aliran fluida baik 0 m/s, 0.645 m/s maupun 1.328 m/s yaitu secara



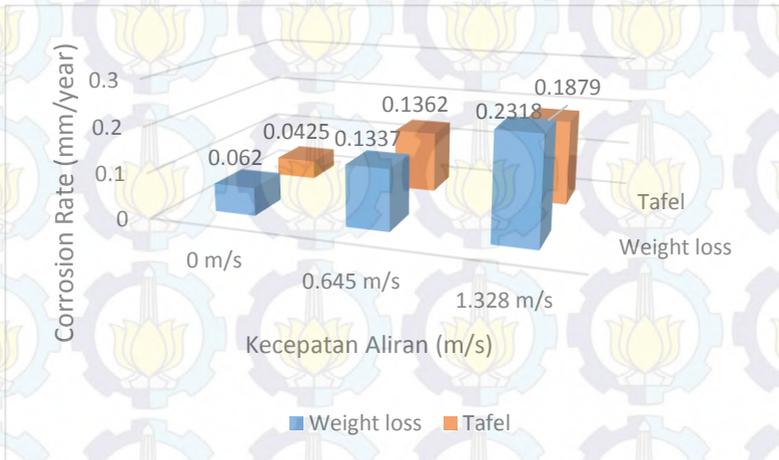
berturut turut berkisar 0.002 mm/year, 0.03 mm/year serta 0.1 mm/year.

4.1.5 Perbandingan Laju Korosi Hasil Uji Tafel dengan Uji Weight Loss

Setelah pengujian *weight loss* selesai, maka dapat diketahui laju korosi dengan satuan mm/year. Jika dibandingkan, maka laju korosi pada spesimen baja JIS G3131 SPHC untuk pengujian *weight loss immerse* selama 10 hari dan pengujian tafel adalah sebagai berikut.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan weight loss dengan tafel terhadap laju korosi dalam CH_3COOH (asam asetat) pH 5



Gambar 4.9 Grafik perbandingan weight loss dengan tafel terhadap laju korosi dalam CH_3COOH (asam asetat) pH 6



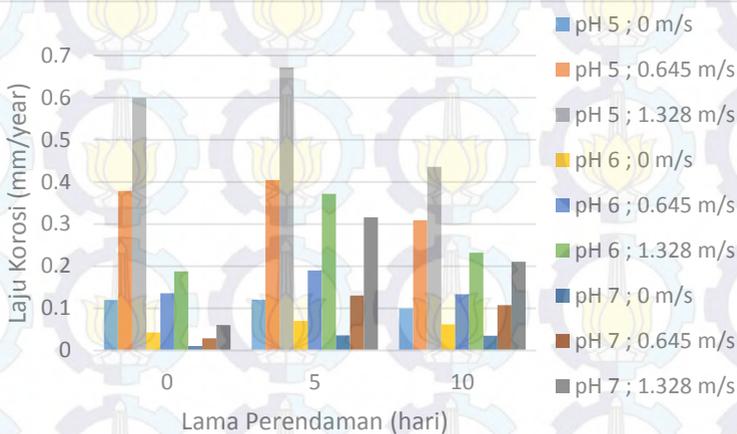
Gambar 4.10 Grafik perbandingan weight loss dengan tafel terhadap laju korosi dalam CH_3COOH (asam asetat) pH 7



Dari gambar 4.8, gambar 4.9 dan gambar 4.10 didapatkan bahwa adanya kenaikan laju aliran fluida juga mengakibatkan naiknya nilai laju korosi baik dari pengujian tafel dengan weight loss. Hal tersebut membuktikan bahwa laju aliran sangat mempengaruhi nilai dari laju korosi dari suatu logam. Sedangkan nilai laju korosi tertinggi di dapatkan pada keadaan pH 5 dengan laju aliran 1.328 m/s dengan pengujian tafel sebesar 0.5998 m/s. sedangkan nilai laju korosi terkecil di dapatkan pada keadaan pH 7 dengan laju aliran 0 m/s dengan pengujian tafel sebesar 0.0104 mm/year.

Dari hasil pengujian weight loss 5 hari, 10 hari dan pengujian tafel menunjukkan pola yang sama, dimana kenaikan laju aliran fluida dan penurunan pH menghasilkan kenaikan laju korosi pada baja JIS G3131 SPHC. Namun demikian hasil yang di peroleh pada tiap tiap parameter tidak identic atau sama persis. Hal ini di sebabkan faktor pengaruh waktu pengambilan data, dimana pengujian tafel dilakukan pada hari yang sama dengan awal pencelupan atau pada keadan *initial*. Sedangkan untuk pengujian weight loss sendiri proses pengujiannya memakan waktu 5 hari maupun 10 hari sebelum didapatkan laju korosinya. Hal tersebut dapat di jelaskan dengan gambar berikut.

Dari Gambar 4.11 menunjukkan nilai laju korosi pada 0 hari, 5 hari dan 10 hari, yang di dapat dari pengujian tafel dan pengujian weight los selama 5 hari dan 10 hari. Dari gambar tersebut nampak bahwa semua grafik pada berbagai jenis laju aliran dan pH diantara laju aliran 0 m/s, 0.645 m/s dan 1.328 m/s serta pada pH 5,6 dan 7 menunjukkan puncak pada weight loss 5 hari.



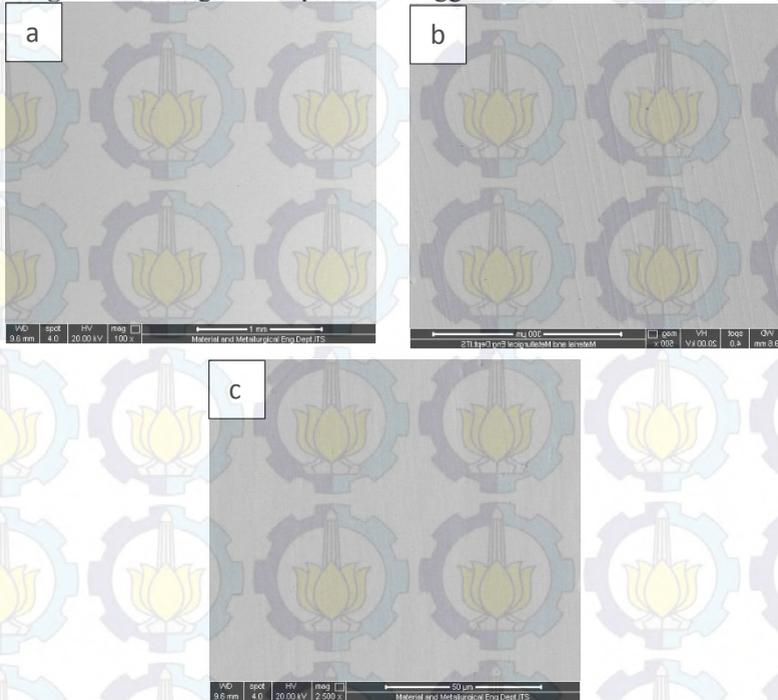
Gambar 4.11 Grafik distribusi laju korosi hasil pengujian tafel (0hari), weight loss (5 hari) dan weight loss (10 hari)

4.1.6 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) biasanya digunakan untuk meneliti morfologi permukaan suatu material. Sampel yang diuji SEM adalah baja JIS G3131 SPHC tanpa perlakuan, dengan perlakuan perendaman CH_3COOH dengan pH 5 dengan kecepatan laju aliran 0 m/s dan 1.328 m/s serta pada pH 7 dengan kecepatan laju aliran 0 m/s dan 1.328 m/s. Uji SEM ini dilakukan untuk membandingkan morfologi permukaan baja JIS G3131 SPHC sebelum pengujian, dengan kondisi diam dan dengan baja JIS G3131 SPHC yang telah dilakukan pengujian korosi dengan kondisi kecepatan laju aliran fluida yang maksimum serta dengan pH yang berbeda sehingga didapatkan morfologi permukaan sampel diam dan sampel yang terkorosi dengan pengaruh aliran. Gambar 4.12, Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan hasil uji SEM pada sampel baja sebelum pengujian,

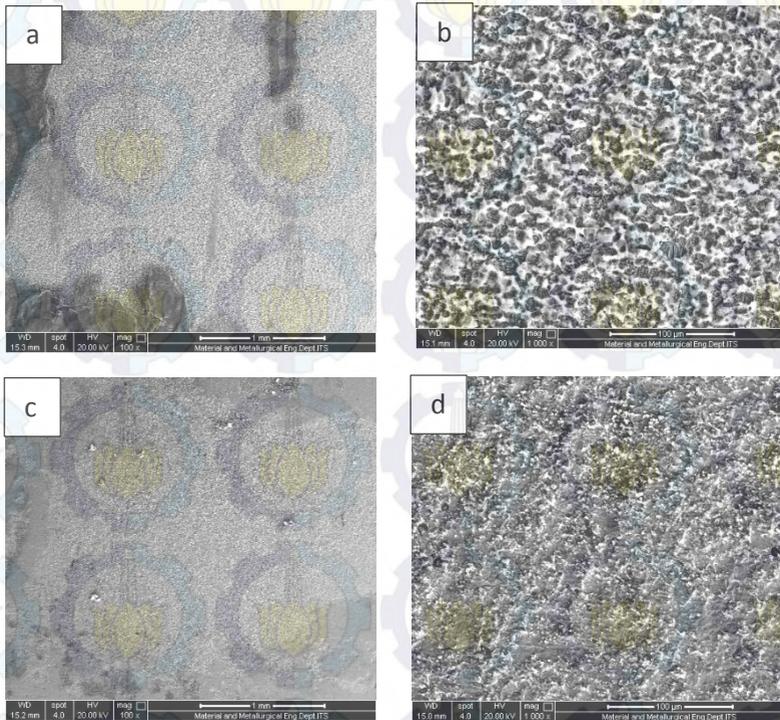


dengan kondisi diam pengujian *Weight Loss* dan setelah pengujian *Weight Loss* dengan kecepatan tertinggi.



Gambar 4.12 Hasil Uji SEM JIS G3131 SPHC Kondisi sebelum Pengujian *Weight Loss* perbesaran (a)100x; (b) 500x (c) 2500x

Dari Gambar 4.12 terlihat bahwa morfologi permukaan baja SPHC JIS G3131 terlihat halus di semua permukaan baja sebelum di lakukan pengujian weight loss. Adanya larutan CH_3COOH yang bertindak sebagai elektrolit korosif menjadikan perbedaan pada permukaan baja seperti pada gambar 4.13.



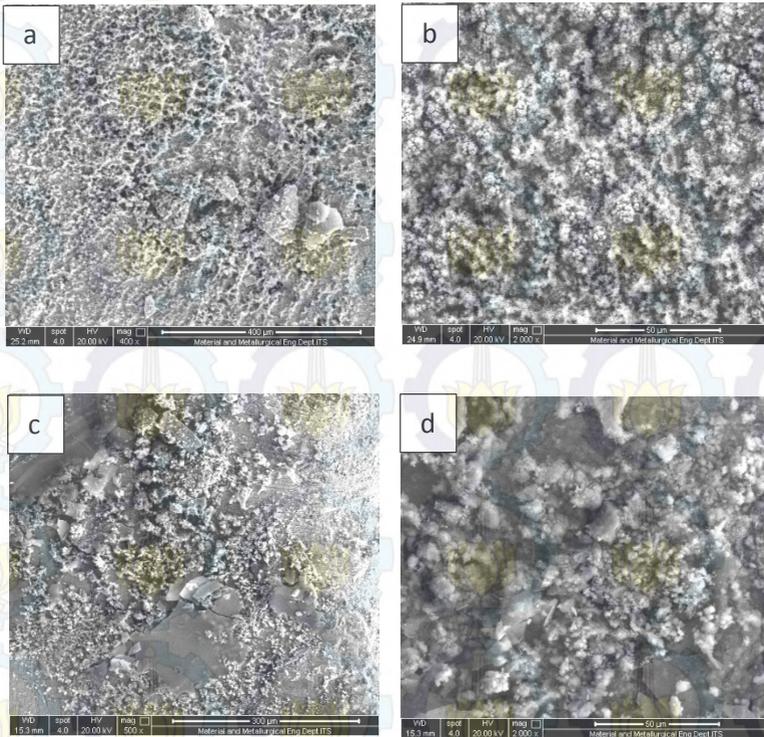
Gambar 4.13 Hasil Uji SEM JIS G3131 SPHC Kondisi Pengujian *Weight Loss* (a) pH 5; 0 m/s ;100x; (b) pH 5 ; 0 m/s ; 1000x (c) pH 7; 0 m/s; 100x; (d) pH 7; 0 m/s; 1000x

Dari gambar 4.13 a dan 4.13 c memperlihatkan bahwa pada morfologi permukaan logam yang terlihat merata dan terlihat halus. Namun ketika di perbesar seperti gambar 4.13 b dan 4.13 d ternyata terlihat gambar permukaan yang homogen namun berbentuk seperti bercak bercak kecil kecil yang diduga lapisan produk korosi karena pada gambar 4.13 d terlihat tidak begitu banyak bercaknya. Sedangkan pada gambar 4.13 b terlihat sangat



rekat setiap bercak kecilnya serta terlalu homogen bercak bercak kecil yang membentuknya. Hal tersebut dikarenakan pada gambar 4.13 b memiliki pH yang lebih rendah sehingga lapisan yang terjadi juga semakin banyak dan merata.

Dengan adanya pengaruh kecepatan laju aliran fluida menambah pengaruh pada morfologi permukaan baja yang dapat di gambarkan pada gambar 4.14



Gambar 4.14 Hasil Uji SEM JIS G3131 SPHC Kondisi Pengujian *Weight Loss* (a) pH 5 ; 1.328 m/s ; 500x; (b) pH 5 ; 1.328 m/s ; 2000x (c) pH 7 ; 1.328 m/s ; 400x; (d) pH 7 ; 1.328 m/s ; 2000x



Dari gambar 4.14 a dan 4.14 c memperlihatkan bahwa pada morfologi permukaan logam yang terlihat adanya gerusan yang tidak merata pada setiap daerahnya. Namun ketika di perbesar seperti gambar 4.14 b dan 4.14 d ternyata terlihat gambar gerusan pada permukaan yang terlihat semakin jelas dengan di tandai dengan adanya permukaan yang sangat kasar. Pada gambar 4.14 d terlihat bahwa masih adanya lapisan yang masih ada pada permukaan yang tidak tergerus oleh adanya aliran fluida. Sedangkan pada gambar 4.14 b terlihat sangat homogen hasil gerusan dari adanya aliran fluida sehingga terlihat seperti gambar permukaan yang adanya kekasaran secara merata dan permukaan yang terlihat sangat kasar. Hal tersebut dikarenakan pada gambar 4.14 b memiliki pH yang lebih rendah serta kecepatan aliran fluida yang lebih tinggi sehingga bercak yang terjadi juga semakin banyak dan merata serta banyaknya kekasaran dan bentuk gerusan permukaan baja yang lebih merata.

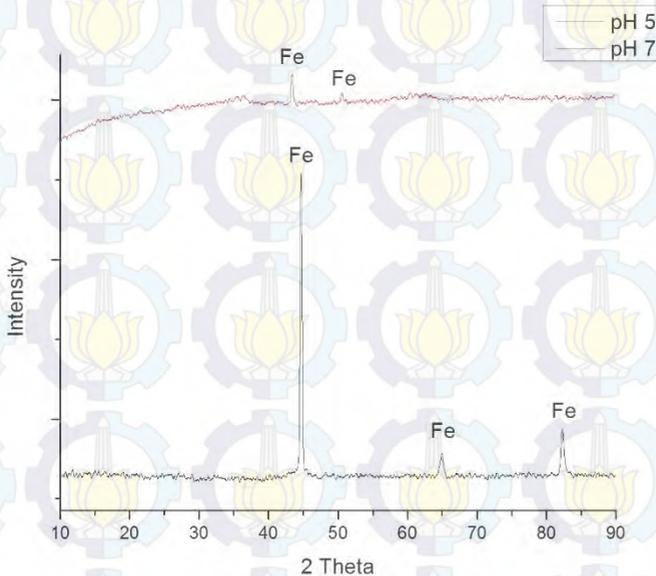
4.1.7 Hasil Pengujian Analisa Difaraksi Sinar – X (XRD)

Pengujian XRD dilakukan pada spesimen baja JIS G3131 SPHC perendaman pada uji *weight loss* dengan kecepatan laju aliran 1.328 m/s pada pH 5 dan pH 7. Dimana hasil pengujian XRD ditampilkan pada gambar 4.15. hasil pengujian di analisa menggunakan *software* Match dan pencocokan kartu ICDD untuk menentukan fasa apa yang terjadi pada spesimen tersebut. Untuk spesimen setelah perendaman dalam CH_3COOH selama 5 hari dihasilkan data XRD.

Gambar 4.15 adalah gambar hasil pengujian XRD dengan spesimen baja JIS G3131 SPHC pada pengujian *weight loss* selama 5 hari dengan kecepatan aliran 1.328 m/s dengan pH 5 dan pH 7. Garis merah adalah hasil XRD baja JIS G3131 SPHC dengan kecepatan aliran fluida 1.328 m/s dengan pH 7, sedangkan garis hitam adalah hasil XRD baja JIS G3131 SPHC dengan kecepatan aliran fluida 1.328 m/s dengan pH 5. Dari hasil



pengujian tersebut, dapat diketahui bahwa hasil analisa XRD baja JIS G3131 SPHC dengan kecepatan aliran fluida 1.328 m/s dengan pH 5 menunjukkan puncak tertinggi pertama dan kedua secara berturut turut pada posisi 2θ sebesar 43.35° dan 50.61° serta besar intensitas sebesar 100.0 dan 20.45 sehingga pada posisi tersebut menunjukkan bahwa senyawa yang teridentifikasi sesuai dengan kartu ICDD dengan kode 01-071-4649 adalah senyawa tunggal Fe. Sedangkan pada baja JIS G3131 SPHC dengan kecepatan aliran fluida 1.328 m/s dengan pH 7 menunjukkan.



Gambar 4.15 Hasil XRD Baja JIS G3131 SPHC pada kecepatan aliran 1.328 m/s dengan pH 5 dan pH 7

puncak tertinggi pertama, kedua dan ketiga dengan posisi 2θ secara berturut turut sebesar 44.67° , 82.32° , dan 64.96° serta besar intensitas sebesar 100, 14.13 dan 6.99 sehingga pada posisi tersebut menunjukkan bahwa senyawa yang teridentifikasi sesuai dengan



kartu ICDD dengan kode 03-065-4899 adalah senyawa tunggal Fe. Pada senyawa kedua ini memiliki bidang hkl yang membedakannya dari hasil pH 5 dan pH 7.

Pada senyawa tunggal Fe yang dimaksud adalah senyawa dari spesimen baja itu sendiri dan pada hasil pengujian XRD tidak ditemukan senyawa produk korosi karena senyawa produk korosi yang terbentuk konsentrasinya sangat sedikit sehingga tidak terlihat. Selain itu di duga produk korosi juga ikut terlarut oleh elektrolit karena pengaruh aliran fluida yang cukup tinggi. Hal tersebut sudah terlihat pada pengujian SEM yang memperlihatkan bahwa adanya kekeasaran permukaan yang di diduga produk korosi yang terlepas dari spesimen baja tersebut.

4.2 Pembahasan

Dalam penelitian kali ini bertujuan menganalisa pengaruh laju aliran fluida dan pH terhadap karakteristik laju korosi pada baja karbon rendah dengan menggunakan sistem flow loop di lingkungan CH_3COOH . Kecepatan aliran fluida yang digunakan yaitu 0 m/s, 0.645 m/s dan 1.328 m/s sementara variasi pH yang digunakan pada pada penelitian kali ini yaitu pH 5, 6 dan 7. Dari keseluruhan peletian yang telah di lakukan pengaruh dari peningkatan kecepatan laju aliran fluida maupun penurunan pH sangat berpengaruh meningkatkan tren dari laju korosi pada baja karbon rendah dengan di buktikan pada pengujian tafel dan weight loss pada tabel 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5 yang menunjukkan adanya kenaikan laju korosi dalam setiap kenaikan kecepatan laju aliran fluida serta penurunan pH seperti halnya pada penelitian (Scheer .1992). Pada pengujian tafel dengan adanya kenaikan nilai I_{corr} dari variasi aliran fluida terendah 0 m/s dengan pH 7 sampai tertinggi dengan kecepatan aliran fluida 1.328 m/s pada pH 5. Selain itu pada gambar 4.2 , 4.3 dan 4.4 pengujian tafel ini terlihat bahwa adanya pengaruh variasi kecepatan aliran fluida juga menggeser kurva tafel kearah kanan dan atas. Menurut penelitian Nor dkk



pada tahun 2011 dan Tran pada tahun 2013, pada keadaan itu dapat di artikan bahwa adanya variasi kecepatan laju aliran menggeser reaksi elektrokimia menjadi lebih anodik , artinya reaksi baja lebih dominan dibandingkan reaksi elektrolit. Namun hal tersebut tidak berlaku pada variasi kecepatan aliran fluida di pH 7 yang kurva tafelnya bergeser lebih kebawah. Artinya pada Keadaan tersebut variasi kecepatan laju aliran menggeser reaksi elektrokimia menjadi lebih katodik. Menurut Ridwanulaoah pada tahun 2011 hal tersebut dikarenakan pada pH 7, ion ion dari CH_3COO^- tersebut semakin sedikit sehingga yang bereaksi seperti persamaan 4.1



Sehingga yang bekerja adalah ion ion OH^- yang memiliki nilai K_a yang jauh lebih kecil daripada CH_3COO^- . Dimana ion ion hidrogen pada keadaan tersebut konsentrasinya akan menurun menjadi hidrogen sesuai dengan persamaan 4.2



Menurut El-Wahab pada tahun 2010 menyatakan turunnya konsentrasi ion hidrogen menyebabkan kurva bergeser ke katodik.

Dari hasil uji weight loss dan tafel yang di tunjukan pada gambar 4.5 hingga pada gambar 4.7 terlihat bahwa adanya peningkatan laju aliran fluida meningkatkan laju korosi pada baja karbon rendah. Pada penelitian salma dengan brown pada tahun 1999 adanya pengaruh aliran fluida menyebabkan meningkatnya laju korosi, hal tersebut di tambahkan pada penelitian yang dilakukan oleh kuburi dkk pada tahun 2013 penyebab kenaikan laju korrosi tersebut dikarenakan laju difusi juga naik seiring dengan laju aliran pada fluida yang berubah. Sedangkan menurut tabel 4.3 sampai tabel 4.5 di peroleh bahwa adanya penurunan pH menyebabkan laju korosi juga naik. Hal tersebut disebabkan keberadaan asam asetat (CH_3COOH) pada rentang pH 4-10 pengaruh pada laju korosi baja karbon (Fe) dikarenakan cepat lambatnya difusi oksigen ke permukaan logam (ASM. 2003). Secara sederhana fenomena tersebut dapat di jelaskan sebagai berikut. Pada penurunan pH di CH_3COOH mengakibatkan adanya



peningkatan konsentrasi proton (H^+), elektron (e^-) yang berasal dari reaksi sesuai persamaan 4.3



Yang berikatan dengan ion H^+ , sehingga jumlah Fe^{2+} yang dilepaskan untuk menyeimbangkan kelebihan muatan positif menjadi semakin tinggi. Hal ini menyebabkan meningkatnya arus batas katodik sehingga laju pelarutan Fe semakin tinggi. Ion asetat yang terbentuk dari disosiasi asetat dapat membentuk besi asetat yang memiliki kelarutan tinggi di dalam air seperti persamaan 4.4.



Sehingga adanya pelepasan ion H^+ menyebabkan ion H^+ itu sendiri berdifusi ke permukaan logam sehingga laju korosi menjadi naik. (Adiyanti.2011)

Dari hasil pengujian tafel dan weight loss di dapatkan tren nilai dari laju korosi itu sendiri yang di gambarkan pada gambar 4.11 terlihat bahwa adanya pengaruh waktu yang dapat menurunkan laju korosi seperti halnya yang di teliti Xiang pada tahun 2013. Pada kondisi awal logam bereaksi secara spontan namun setelah di 5 hari laju korosi menjadi semakin menurun. Maka terlihat grafik yang naik kemudian turun setiap bertambahnya interval waktu pencelupan.

Pada pengujian XRD dengan waktu pencelupan 5 hari pada kecepatan maksimum tidak nampak produk korosi hanya terlihat senyawa tunggal penyusun baja karbon itu sendiri (Fe). Menurut Wahyuningsih dkk pada tahun 2010 reaksi korosi pada baja dengan elektrolit asam asetat (CH_3COOH) yang terbentuk adalah besi asetat. Dimana besi asetat sendiri larut dalam media uji dengan reaksi sesuai persamaan 4.5. (Tran dkk.2013)



Hal tersebut di karenakan kelarutan dari produk korosi terhadap elektrolit yang di sebabkan adanya aliran fluida. Menurut Fajardo dkk pada tahun 2011 adanya tegangan geser yang ditimbulkan aliran fluida dengan permukaan baja dapat menggeruskan produk korosi. Sehingga produk korosi yang seharusnya nampak



permukaan harus hanyut bersama aliran fluida yang mengalir dan terlarut dengan larutan elektrolit tersebut. Dari hasil pengujian SEM memperkuat indikasi adanya gerusan yang di sebabkan adanya aliran fluida dengan gambar morfologi permukaan yang membandingkan morfologi permukaan baja dengan adanya pengaruh aliran fluida pada keadaan 0 m/s dengan 1.328 m/s sehingga. Dari gambar 4.14 terlihat begitu nampak morfologi yang kasar dari permukaan baja karbon hasil pengaruh aliran fluida seperti halnya pada penelitian yang di lakukan Tobon dkk pada tahun 2015. Sedangkan pada gambar 4.12 gambar permukaan baja karbon rendah yang nampak halus serta homogen (Sigh dkk. 2011). Hal tersebut menandakan selain pengaruh pH, korosi pada penelitian ini juga dapat dipengaruhi aliran fluida.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin tinggi kecepatan aliran fluida dan semakin menurunnya pH maka laju korosi pada baja karbon rendah semakin meningkat. Laju korosi tertinggi pada weight loss dicapai pada 5 hari dengan pH 5 dan kecepatan aliran 1.328 m/s sebesar 0.6716 mm/year.
2. Laju aliran dapat merubah morfologi permukaan baja karbon rendah yang mengakibatkan permukaan menjadi tergerus dan kasar.

V.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya variasi lingkungan pada pengujian selanjutnya untuk menambah referensi tentang korosi pada baja karbon rendah dengan menggunakan flow loop system.
2. Perlu adanya percobaan dengan menggunakan spesimen yang mendekati dengan spesifikasi penggunaan pipa pada kondisi real seperti API 5L



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

Skema Kerja

1. Pembuatan Elektroda Kerja

Baja Komersil JIS G3131 SPHC

- Potong spesimen hingga memiliki ukuran 20 mm x 10 mm dan tebal 3 mm.
- *Grinding* permukaan benda uji dengan kertas gosok ukuran 80, 100, 240,320, 400, 600, 800 dan 1000.

Elektroda Kerja

2. Pembuatan Spesimen Weight Loss

Baja Komersil JIS G3131 SPHC

- Potong spesimen dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 3 mm sebanyak 72 buah.
- kikir permukaan spesimen sehingga akan didapatkan permukaan yang bebas dari kotoran
- Grinding sampel dengan kertas gosok ukuran 80, 100, 240,320, 400, 600, 800 dan 1000 secara perlahan untuk menghilangkan produk korosi dan menghaluskan permukaan
- Setelah grinding, bilas dengan air.
- Timbang berat awal spesimen.
- Lem pada section test pada alat dengan Glue Gun.

Spesimen awal

3. Pembuatan Media Elektrolit

Larutan CH_3COOH pH 5

Larutan CH_3COOH pH 2.4

- Menuangkan aquades dalam gelas ukur sebanyak 40 Liter.
- Mentitrasi larutan CH_3COOH kedalam aquades sebanyak 5 pipet.
- Mengukur pH larutan

Larutan
 CH_3COOH pH 5

Larutan CH_3COOH pH 6

Larutan CH_3COOH pH 2.4

- Menuangkan aquades dalam gelas ukur sebanyak 40 Liter.
- Mentitrasi larutan CH_3COOH kedalam aquades sebanyak 2 pipet.
- Mengukur pH larutan

Larutan
 CH_3COOH pH 6

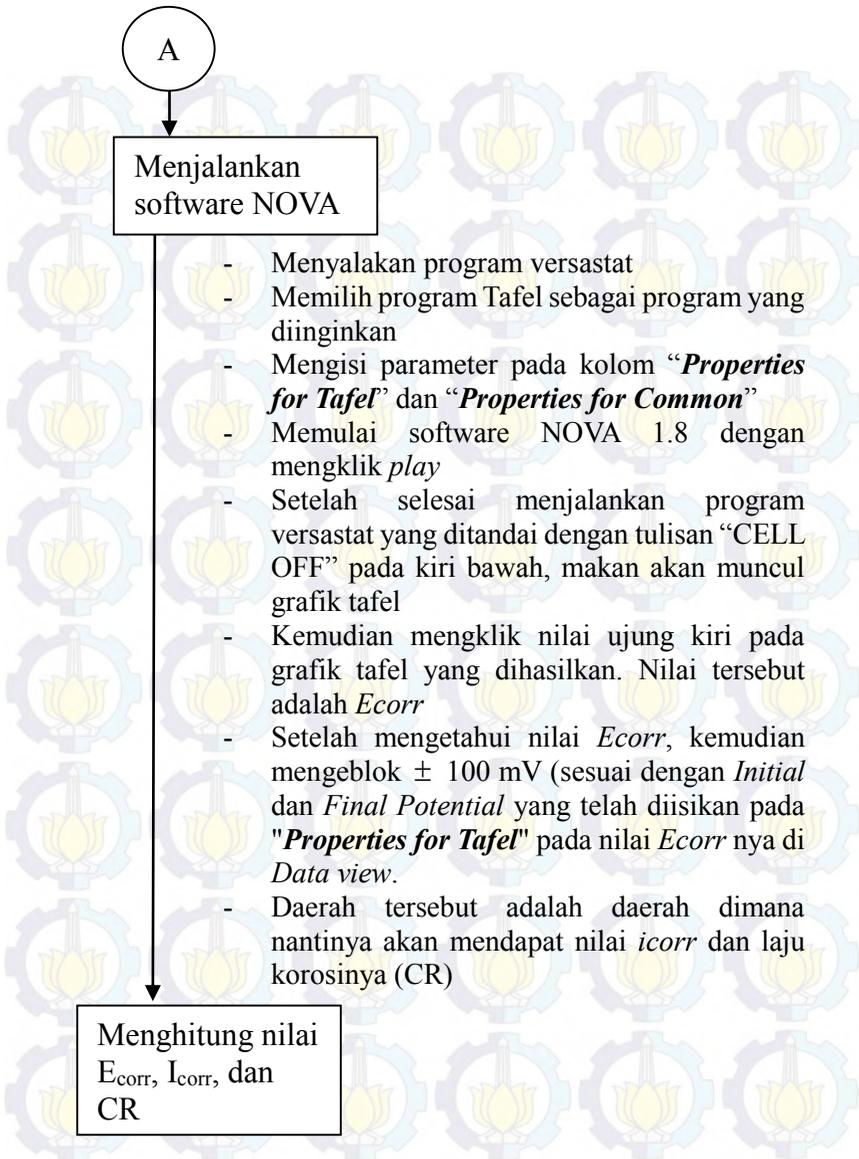
Larutan CH_3COOH pH 7Larutan CH_3COOH pH 2.4

- Menuangkan aquades dalam gelas ukur sebanyak 40 Liter.
- Mentitrasi larutan CH_3COOH kedalam aquades sebanyak 20 tetes.
- Mengukur pH larutan

Larutan
 CH_3COOH pH 7**4. Metode Tafel**Bahan
-Spesimen dan Media elektrolit

- Mencolokkan kabel monitor, CPU, Versastat 4
- Menyalakan CPU, monitor, versastat 4
- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektrode bantu, elektrode acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam media korosi
- Menyalakan sterer untuk menghasilkan aliran pada wadah spesimen
- Memasang kabel pada tiap electrode

A



5. Metode Uji Weight Loss

Bahan
-Spesimen
-Media Elektrolit

- Siapkan chamber weight loss immerse.
- Siapkan 4 spesimen baja komersil JIS G3131 SPHC dengan ukuran 10 mm x 20 mm x 3 mm.
- Masukkan larutan asam asetat ke dalam chamber.
- Rendam spesimen tanpa aliran ke dalam chamber.

Menunggu selama 5
dan 10 hari

- Pengambilan gambar, pencucian menggunakan metode brushing sesuai standar ASTM G1 dan penimbangan.
- Ulangi langkah diatas untuk spesimen dengan peningkatan kecepatan laju aliran 0.645 m/s dan 1.328 m/s

Mendapat Pengurangan
Berat

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN *CORROSION RATE* METODE WEIGHT LOSS

Perhitungan laju korosi pada pH 7 dan 0 m/s pada 5 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTxD}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75x10^4x0.0027}{6.6556x120x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \mathbf{0.0365}$$

Perhitungan laju korosi pada pH 7 dan 0 m/s pada 10 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTxD}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75x10^4x0.0054}{6.2298x240x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \mathbf{0.0402}$$

Perhitungan laju korosi pada pH 7 dan 0.645 m/s pada 5 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTxD}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75x10^4x0.0078}{5.6934x120x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \mathbf{0.1269}$$

Perhitungan laju korosi pada pH 7 dan 0.645 m/s pada 10 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTxD}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75x10^4x0.0132}{5.279x240x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \mathbf{0.1067}$$

Perhitungan laju korosi pada pH 7 dan 1.328 m/s pada 5 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTxD}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75x10^4x0.0165}{4.8296x120x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \mathbf{0.3165}$$

Perhitungan laju korosi pada pH 7 dan 1.328 m/s pada 10 hari

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{KxW}{AxTxD}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{8.75x10^4x0.0254}{5.4934x240x7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \mathbf{0.2124}$$

**PERHITUNGAN PERHITUNGAN *CORROSION RATE*
METODE TAFEL**

Perhitungan Laju Korosi pada pH 5 kecepatan laju aliran 0 m/s

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{K I x I_{\text{Corr}} x E W}{\rho}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{3.27 \times 10^{-3} \times 10.29 \times 27.925}{7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = 0.1196$$

Perhitungan Laju Korosi pada pH 5 kecepatan laju aliran 0.645 m/s

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{K I x I_{\text{Corr}} x E W}{\rho}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{3.27 \times 10^{-3} \times 32.548 \times 27.925}{7.87}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = 0.3782$$

Perhitungan Laju Korosi pada pH 5 kecepatan laju aliran 1.328 m/s

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{K I x I_{\text{Corr}} x E W}{\rho}$$

$$\text{Corrosion Rate (mm/year)} = \frac{3.27 \times 10^{-3} \times 51.641 \times 27.925}{7.87}$$

Corrosion Rate (mm/year) = **0.5998**

PERHITUNGAN KONVERSI *CORROSION RATE* (MM/YEAR KE MPY)

$$\text{Mpy} = \frac{0.1196 \text{ mm/year}}{0.0254} = 4.708661$$

$$\text{Mpy} = \frac{0.3782 \text{ mm/year}}{0.0254} = 14.88976$$

$$\text{Mpy} = \frac{0.5998 \text{ mm/year}}{0.0254} = 23.61417$$

$$\text{Mpy} = \frac{0.0425 \text{ mm/year}}{0.0254} = 1.673228$$

$$\text{Mpy} = \frac{0.1362 \text{ mm/year}}{0.0254} = 5.362205$$

$$\text{Mpy} = \frac{0.1879 \text{ mm/year}}{0.0254} = 7.397638$$

$$\text{Mpy} = \frac{0.0104 \text{ mm/year}}{0.0254} = 0.409449$$

$$\text{Mpy} = \frac{0.0293 \text{ mm/year}}{0.0254} = 1.153543$$

$$\text{Mpy} = \frac{0.0604 \text{ mm/year}}{0.0254} = 2.377953$$

PERHITUNGAN LAJU ALIRAN FLUIDA

Dari nilai Reynold Number menunjukkan untuk aliran eksternal bahwa :

$Re < 2000$ → Aliran Laminar

$2000 < Re < 4000$ → Aliran Transisi

$Re > 4000$ → Aliran Turbulen

Rumus untuk menghitung Reynold Number adalah :

$$Re = \frac{\rho v_{AVG} D}{\mu}$$

Keterangan : ρ = Massa jenis (kg/m^3)

v_{AVG} = Kecepatan rata-rata (m/s)

D = Diameter pipa (m)

μ = Viskositas dinamik (kg/m.s)

- Perhitungan *reynold number* pada 0 m/s :

$$Re = \frac{\rho v_{AVG} D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.049 \times 0 \times 0}{0.00891}$$

$$Re = 0$$

Termasuk Aliran Statis

- Perhitungan *reynold number* pada 0.645 m/s :

$$Re = \frac{\rho v_{AVG} D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.049 \times 64.5 \times 3.81}{0.00891}$$

$$Re = 28932.3$$

Termasuk Aliran Turbulen

- Perhitungan *reynold number* pada 1.328 m/s :

$$Re = \frac{\rho v_{AVG} D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.049 \times 132.8 \times 2.54}{0.00891}$$

$$Re = 29712.7$$

Termasuk Aliran Turbulen

Dengan hasil perhitungan di atas maka di dapatkan penggolongan aliran fluida sebagai berikut.

Laju Putaran (cm/s)	Reynold Number	Jenis Aliran
0	0	Statis
64.5	28932.3	Turbulen
132.8	29712.7	Turbulen

PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN ELEKTROLIT CH₃COOH

Pengenceran menggunakan campuran antara aquades dengan larutan acetic acid glacial dengan kandungan garam sebesar 99.8% Asam Asetat sebanyak 2.5 liter (2500 ml). Dengan komposisi berikut maka di dapatkan perhitungan pH nya sebagai berikut

$$\text{gram} = \frac{99.8}{100} \times 1.049 \times 2500 = 2617.255 \text{ gram}$$

$$\text{Molaritas} = \frac{2617.255}{60} \times \frac{1000}{2500} = 17.448 \text{ M}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$17.448 \times V_1 = 1 \times 500$$

$$V_1 = \frac{500}{17.448}$$

$$V_1 = 28.7 \text{ mL (pH 2.5)}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1 \times V_1 = 0.01 \times 500$$

$$V_1 = \frac{5}{1}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL (pH 4.4)}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$0.01 \times V_1 = 10^{-4} \times 500$$

$$V_1 = \frac{0.05}{0.01}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL (pH 6.8)}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10^{-4} \times V_1 = 10^{-7} \times 500$$

$$V_1 = \frac{5 \times 10^{-5}}{10^{-4}}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL (pH 7.3)}$$

Dari perhitungan tersebut maka didapatkan tabel sebagai berikut

No.	Molaritas (1 Liter)	pH
1	1	2.5
2	10^{-2}	4.4
3	10^{-4}	6.8
4	10^{-7}	7.3

Untuk mencari Molaritas pada pH tertentu menggunakan metode interpolasi sebagai berikut

$$\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{X - X_1}{X_2 - X_1}$$

$$\frac{Y - 10^{-2}}{10^{-7} - 10^{-2}} = \frac{X - 4.4}{7.3 - 4.4}$$

$$\frac{Y - 10^{-2}}{-9.99 \times 10^{-3}} = \frac{X - 4.4}{2.9}$$

$$Y - 10^{-2} = -3.44 \times 10^{-3} X + 15.16 \times 10^{-3}$$

$$Y = -3.44 \times 10^{-3} X + 25.16 \times 10^{-3}$$

Pada pH 5 didapatkan nilai

$$Y = -3.44 \times 10^{-3} X + 25.16 \times 10^{-3}$$

$$Y = -3.44 \cdot 10^{-3} (5) + 25.16 \cdot 10^{-3}$$

$$X = -17.2 \cdot 10^{-3} + 25.16 \cdot 10^{-3}$$

$$X = 7.96 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Pada keadaan 40 Liter maka didapatkan nilai pengencerannya dari konsentrasi 1 M

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1 \times V_1 = 7.96 \cdot 10^{-3} \times 40000$$

$$V_1 = \frac{318.4}{1}$$

$$V_1 = 318.4 \text{ mL}$$

Pada pH 6 didapatkan nilai

$$Y = -3.44 \cdot 10^{-3} X + 25.16 \cdot 10^{-3}$$

$$Y = -3.44 \cdot 10^{-3} (6) + 25.16 \cdot 10^{-3}$$

$$X = -20.64 \cdot 10^{-3} + 25.16 \cdot 10^{-3}$$

$$X = 4.52 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Pada keadaan 40 Liter maka didapatkan nilai pengencerannya dari konsentrasi 1 M

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1 \times V_1 = 4.52 \cdot 10^{-3} \times 40000$$

$$V_1 = \frac{180.8}{1}$$

$$V_1 = 180.8 \text{ mL}$$

Pada pH 7 didapatkan nilai

$$Y = -3.44 \cdot 10^{-3} X + 25.16 \cdot 10^{-3}$$

$$Y = -3.44 \cdot 10^{-3} (7) + 25.16 \cdot 10^{-3}$$

$$X = -24.08 \cdot 10^{-3} + 25.16 \cdot 10^{-3}$$

$$X = 1.08 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Pada keadaan 40 Liter maka didapatkan nilai pengencerannya dari konsentrasi 1 M

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1 \times V_1 = 1.08 \cdot 10^{-3} \times 40000$$

$$V_1 = \frac{43.2}{1}$$

$$V_1 = 43.2 \text{ mL}$$

PERHITUNGAN KECEPATAN ALIRAN MENGGUNAKAN METODE DEBIT AIR

Hasil Perhitungan waktu setiap luas penampang pipa

Waktu	1 1/2"	1"
	13.22	15.17
	13.46	14.85
	14.17	14.57

Didapatkan dari data tersebut

$$Q = \text{Kecepatan} \times \text{Luas dan } Q = \frac{\text{Volume}}{\text{Waktu}}$$

$$1 \frac{1}{2}'' \rightarrow Q_1 = \frac{10 \text{ liter}}{13.617 \text{ sekon}} = 0.73437 \text{ Liter/s}$$

$$1'' \rightarrow Q_2 = \frac{10 \text{ liter}}{14.863 \text{ sekon}} = 0.67281 \text{ Liter/s}$$

$$\text{Sehingga Kecepatan} = \frac{\text{Debit}}{\text{Luas}}$$

$$1 \frac{1}{2}'' \rightarrow V_1 = \frac{0.73437 \times 10^{-3}}{11.3951385 \times 10^{-4}} = 0.645 \text{ m/s}$$

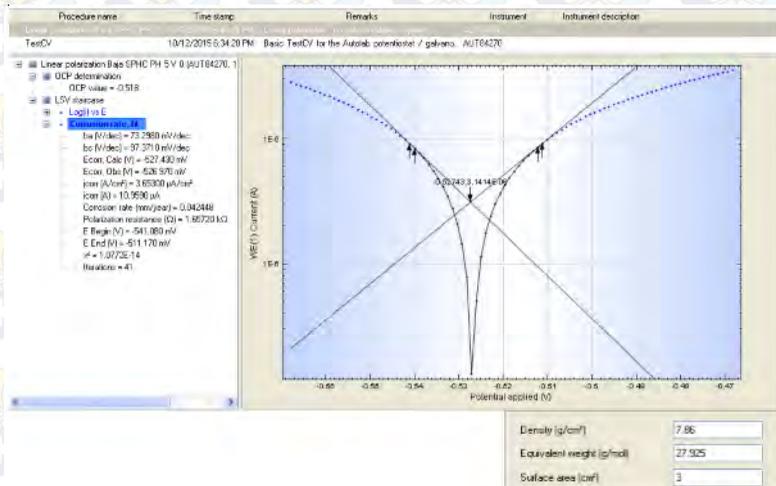
$$1'' \rightarrow V_2 = \frac{0.67281 \times 10^{-3}}{5.06406 \times 10^{-4}} = 1.328 \text{ m/s}$$

HASIL ANALISA POLARISASI TAFEL

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : Kecepatan 0 m/s

Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 6

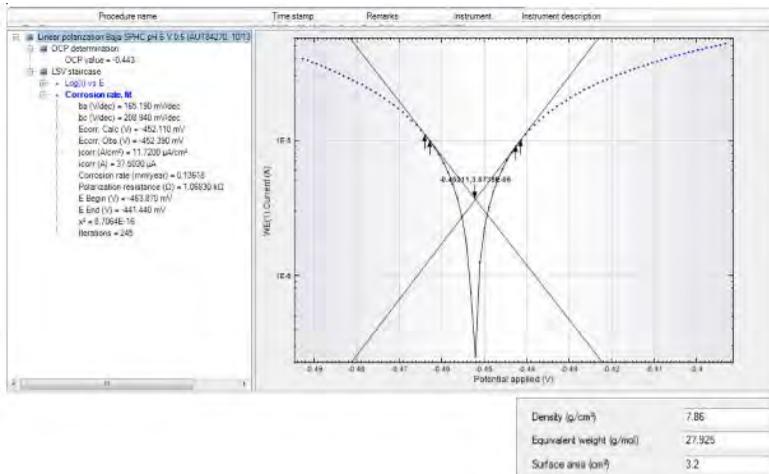


Gambar 1 Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 6 dengan Kecepatan 0 m/s

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : Kecepatan 0.645 m/s

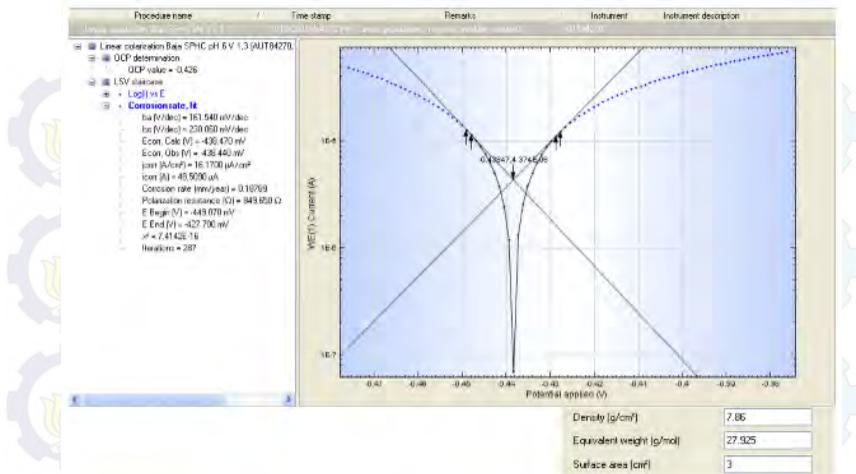
Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 6



Gambar 2 Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 6 dengan Kecepatan 0.645 m/s

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : Kecepatan 1.328 m/s
Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 6

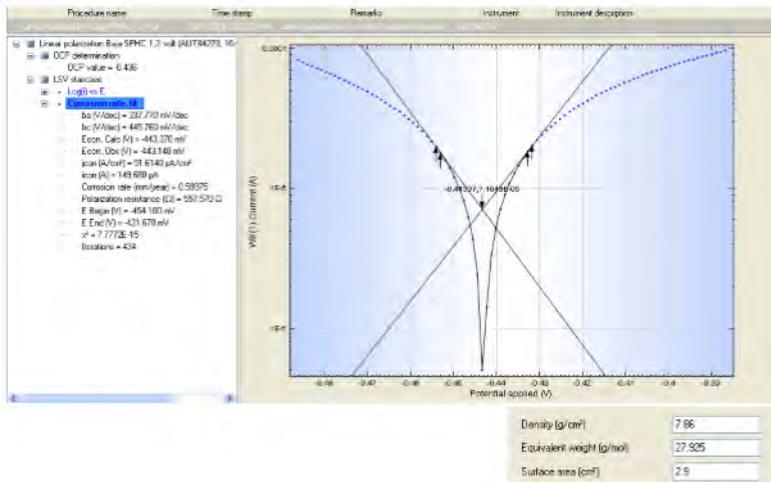


Gambar 3 Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat dengan pH 6
Kecepatan 1.328 m/s

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : Kecepatan 0 m/s

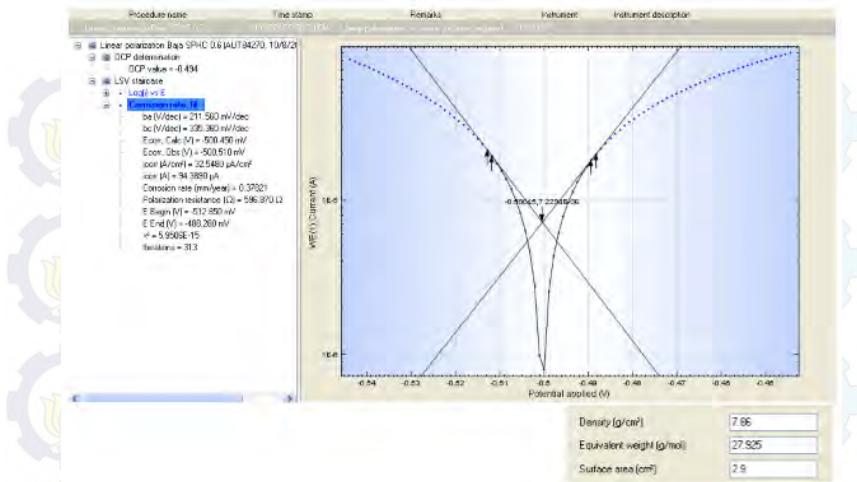
Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 5



Gambar 4 Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 5 dengan Kecepatan 0 m/s

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : Kecepatan 0.645 m/s
 Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 5

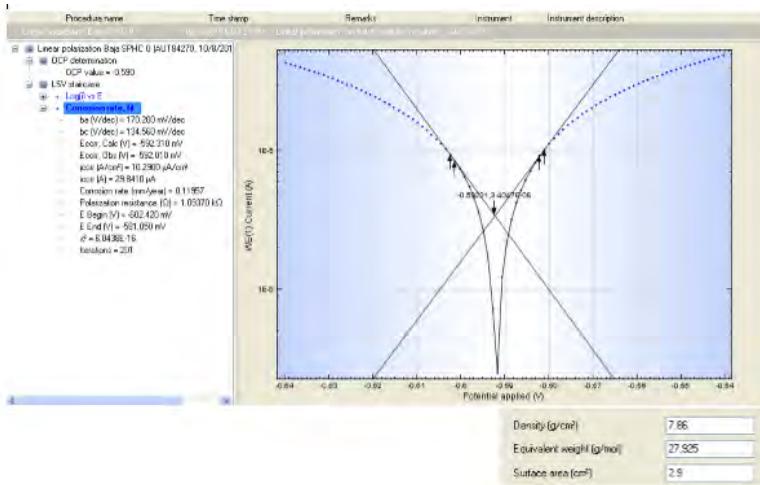


Gambar 5 Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 5 dengan Kecepatan 0.645 m/s

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : Kecepatan 1.328 m/s

Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 5

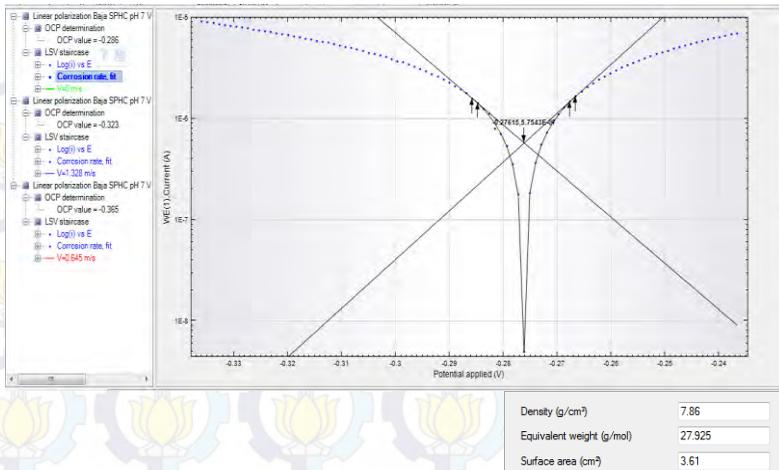


Gambar 6 Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 5 dengan Kecepatan 1.328 m/s

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : Kecepatan 0 m/s

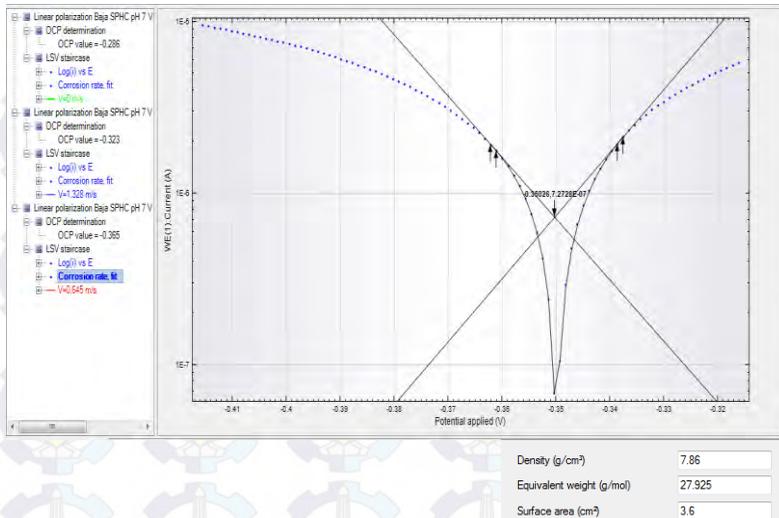
Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 7



Gambar 7 Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 7 dengan Kecepatan 0 m/s

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

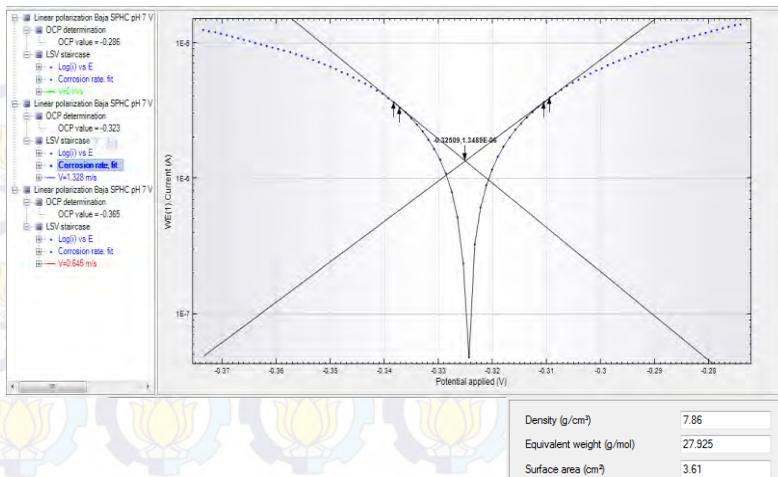
Nama Sampel : Kecepatan 0.645 m/s
 Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 7



Gambar 8 Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat dengan pH 7
Kecepatan 0.645 m/s

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : Kecepatan 1.328 m/s
Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 7

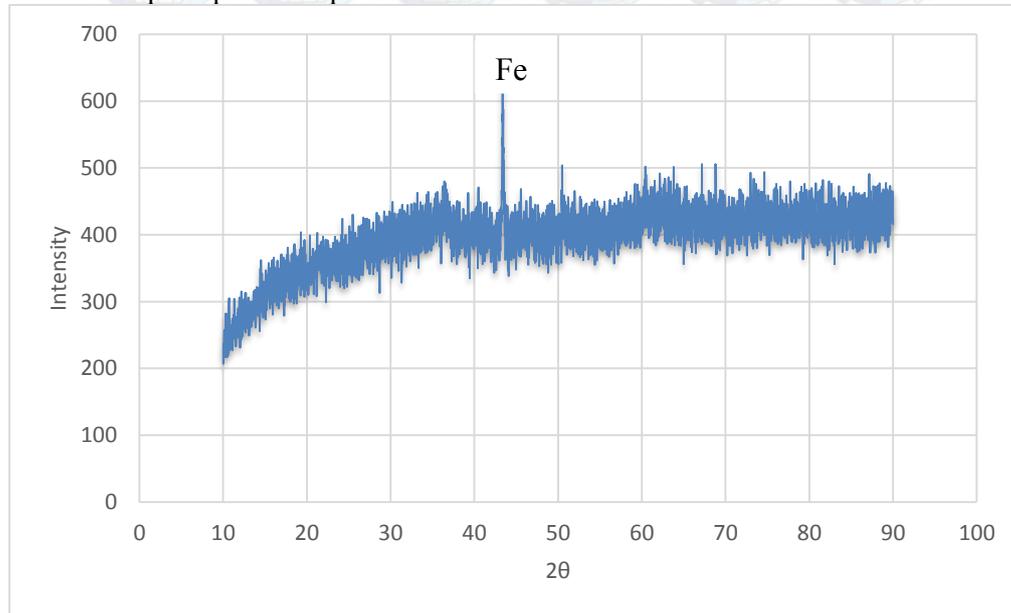


Gambar 9 Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 7 dengan Kecepatan 1.328 m/s

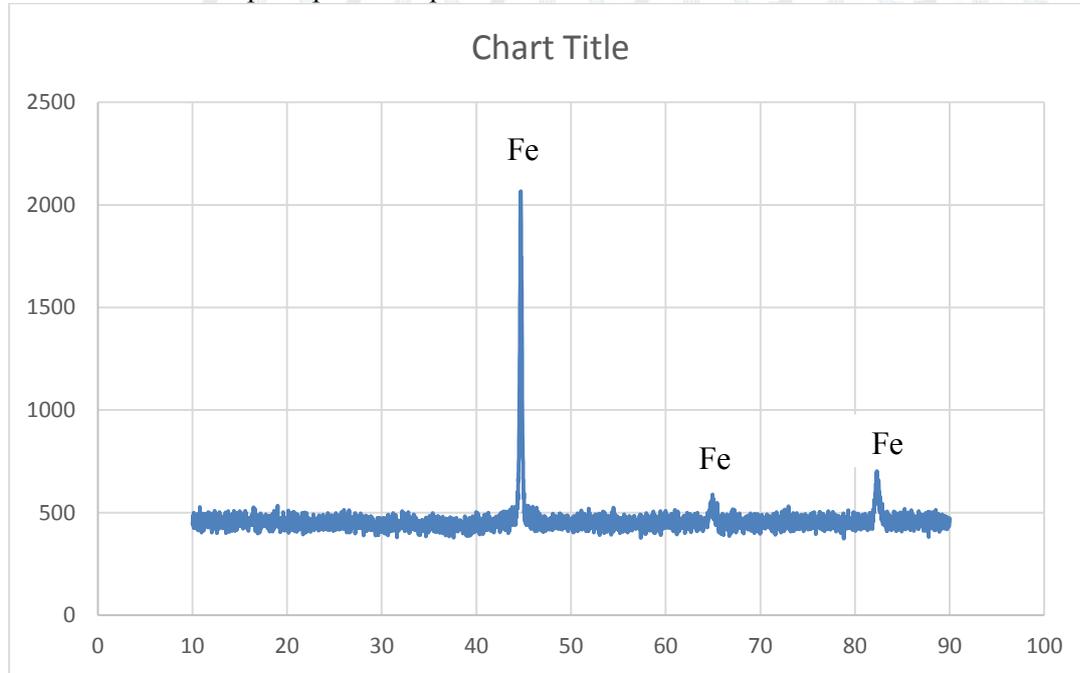
LAMPIRAN C

HASIL XRD

Media Asam Asetat pH 5 pada kecepatan aliran fluida 1.328 m/s



Media Asam Asetat pH 7 pada kecepatan aliran fluida 1.328 m/s



LAMPIRAN D

PDF CARD Fe 01-071-4649

Name and formula

Reference code:	01-071-4649
Compound name:	Iron
Empirical formula:	Fe
Chemical formula:	Fe

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	3.6100
b (Å):	3.6100
c (Å):	3.6100
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000

Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	47.05
Z:	4.00
RIR:	7.93

Status, subfiles and quality

Status:	Diffraction data collected at non ambient temperature Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic ICSD Pattern Inorganic
Quality:	Indexed (I)

Comments

ANX: N
 Creation Date: 11/20/2008
 Modification Date: 1/19/2011
 ANX: N
 Analysis: Fe1
 Formula from original source: Fe
 ICSD Collection Code: 53803
 Calculated Pattern Original Remarks: Stable between 1183 and 1663 K, m.p. 1808 K
 Cell at 1373 K: 3.64, at 1698 K: 3.69 (together with delta-form, 2nd reference).
 Temperature of Data Collection: 1273 K. Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. No R factors reported/abstracted. Wyckoff Sequence: a(FM3-M). Unit Cell Data Source: Single Crystal.

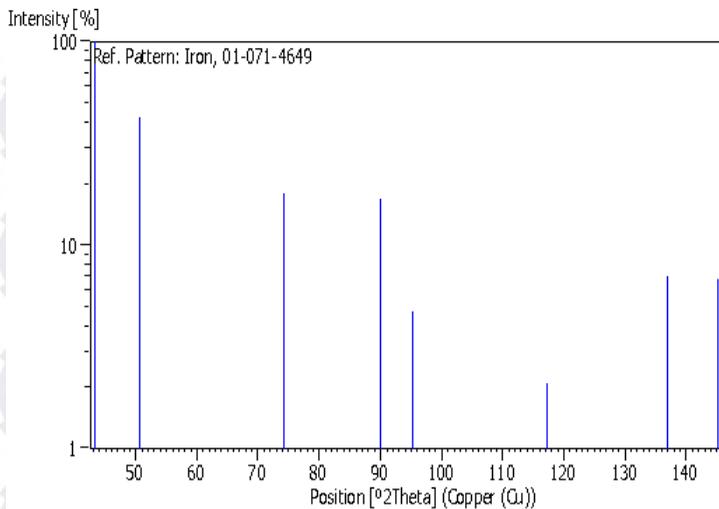
References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
 Structure: Westgren, A., Lindh, A.E., *Z. Phys. Chem. (Leipzig)*, **98**, 181, (1921)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.08420	43.381	100.0
2	2	0	0	1.80500	50.524	42.7
3	2	2	0	1.27630	74.248	18.0
4	3	1	1	1.08850	90.091	16.9
5	2	2	2	1.04210	95.323	4.7
6	4	0	0	0.90250	117.193	2.1
7	3	3	1	0.82820	136.898	7.0
8	4	2	0	0.80720	145.218	6.8

Stick Pattern



PDF CARD Fe 03-065-4899

Name and formula

Reference code: 03-065-4899

Compound name: Iron

Common name: α -Fe

Empirical formula: Fe

Chemical formula: Fe

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

Space group: Im-3m

Space group number: 229

a (Å): 2.8670

b (Å): 2.8670

c (Å): 2.8670

Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000

Volume of cell (10⁶ pm³): 23.57
 Z: 2.00

RIR: 10.77

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
 Common Phase
 Forensic
 Inorganic
 NIST Pattern
 Indexed (I)

Quality:

Comments

Creation Date: 2/11/2005
 Modification Date: 1/26/2011
 Additional Patterns: See PDF 01-087-0721
 NIST M&A collection code: L 27527 13520 0
 Sample Preparation: The sample is buel electrolytic iron powder, hydrogen annealed at 465C low-temperature phase stable below 1098 K

Calculated Pattern Original Remarks:

Temperature Factor: TF was not given, B set to 1.000 for calc
 25 C

Temperature of Data Collection: 25 C

Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. No Rfactor reported/abstracted

Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

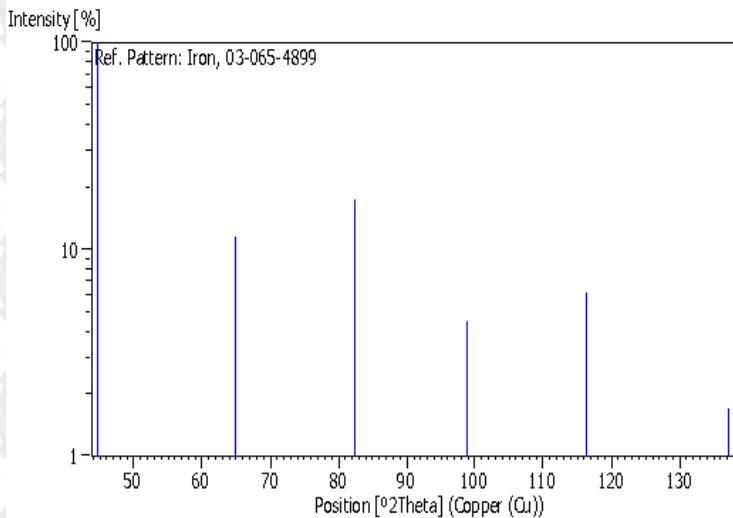
Primary reference: *Calculated from NIST using POWD-12++*

Structure: Gorton, A. T., Bitsianes, G., Joseph, T. L., *Trans. Met. Soc. AIME*, **233**, 1519,

(1965)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.02730	44.663	100.0
2	2	0	0	1.43350	65.008	11.6
3	2	1	1	1.17040	82.318	17.4
4	2	2	0	1.01360	98.922	4.5
5	3	1	0	0.90660	116.349	6.2
6	2	2	2	0.82760	137.108	1.7

Stick Pattern

DAFTAR PUSTAKA

Ardiyanti, Yuningtyas R. 2011. *“Pengaruh Temperatur dan pH terhadap karakteristik korosi baja BS 970 di lingkungan CO₂”*. **Skripsi Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Adzhani, Dinar R. 2014. *“Pengaruh Agitasi dan penambahan konsentrasi inhibitor sarang semut (Myrmecodia Pendans) terhadap laju korosi baja API 5 L Grade B di media larutan 1M HCL”*. **Skripsi Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Alfin, A. Hakim.2011. *“Pengaruh Inhibitor Korosi Berbasis Senyawa Fenolik Untuk Proteksi Pipa Baja Karbon pada Lingkungan 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 % NaCl yang Mengandung Gas CO₂”*. **Departemen Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.**

____ ASM Handbook Vol. 13.2003. **Corrosion : Fundamentals, Testing, and Protection.** ASM Internasional.

____ ASTM G1- 03 **Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.** ASTM Internasional

____ ASTM G4– 01. **Standard Guide of Conduction Corrosion Test in Field Application.** ASTM International

____ ASTM G31 – 72 **Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals.** ASTM Internasional

Bayuseno,A.P,Handoko E.D.2012.”*Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Aliran Air Laut*”. **Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro**

Chen, Yue, Chen,Huey J. dan Jepson, Paul W. 1999. “*Effect of Multiphase Flow on Corrosion Inhibitor*”. **NACE INTERNATIONAL CORROSION NO.12**

Chodijah, Siti. 2008. “*Efektifitas penggunaan pelapis epoksi terhadap ketahanan korosi pipa baja ASTM A53 didalam tanah*”. **Departemen Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.**

Callister Jr, William D.2009. ***Materials Science And Engineering An Introduction, 8th Edition***. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken

Dewi, Inti Sari P. 2012. “*Pengaruh variasi pH dan Konsentrasi asam asetat terhadap karakteristik korosi CO₂ pada baja BS970*”. **Skripsi Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.**

Elsevier science & Technology books. 2006. **Principle of Corrosion Engineering and Corrosion Control**. IChem Publisher

El-Wahab, E.A.Abd, dkk. 2010. “*Corrosion Behavior of Aluminium Electrode in Presence of Sodium Chloride at Different pH solution using Toludine as Inhibitor*”. **Journal of American Science**

Fajardo, Vanessa et all. 2008. “*The effect of acetic acid on the integrity of Protective iron carbonate layers in co₂ corrosion of mild steel*”. **NACE International Corrosion conference & expo.**

Fontana, M.G.1986. **Corrosion Engineering**, 3rd ed., New York: Mc Graw Hill Company

Jones, Denny.1992. **Principles and Prevention of Corrosion**. New York: Macmillan Publishing Company

Kuburi, L.S. et al. 2013. “*Investigation Of inhibitor performance on corrosion rate of low carbon steel under flow condition*”. **World science science research journals**

Marcus, Philippe. 2002. **Corrosion mechanisms In theory and practice**. Marcel dekker, inc., Printed in the united states of America

Marcellus ,Mario. 2010. “*Studi Penambahan beras ketan hitam sebagai Inhibitor Organik dengan konsentrasi 500 GPL pada baja SPCC pada lingkungan Air Tanah*”. **Depok. Skripsi Universitas Indonesia.**

Morgan, B. (1995).” *The Importance of Realistic Representation of Design Features in The Risk Assessment of High-pressure Gas Pipeline*”. **Proceedings 5th International Conference and Exhibition Pipeline Reliability, Houston, Texas.**

NACE RP 0775 – 2005. **Standard Recommended Practice Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations**. NACE Internasional

Nanulaita, Nevada J. M. dan Patty, Alexander.A. 2011. “*Analisa Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah (S35c) Dengan Pengaruh Waktu Penahanan (Holding Time) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing) Dengan Pemanfaatan Cangkang Kerang Sebagai Katalisator*”. **Jurnal Teknologi Vol. 8 Nomor 2**

Nor, A. Mohammed et al. “*Corrosion of carbon steel in High CO₂ Enviroment Flow Effect*”. **NACE International corrosion conference & expo.**

Ostovari, et al. 2009.” *Corrosion Inhibition of Mild Steel in 1 M HCl solution*” by **Henna Extract : A comparative study of the Inhibition by Henna and Its Constituents**

Peabody, A W. 1967. **Control of pipeline corrosion.** National Association of Corrosion Engineering press, Texas

Ridwanulaoh, Dadan. 2010. “*Potensi tanin sebagai inhibitor korosi baja karbon dalam laruta elektrolit jenuh udara atau karbondioksida*”. **Skripsi Pendidikan Kimia Universitas Pendidikan Indonesia**

Singh, S.K. et all. 2011. “*Corrosion behavior of mild steel in aqueous acetic acid solutions containing different amounts of formic acid* “. **Indian Journal of chemical technology vol.18**

Seheers, P.V .1992. “*The effects of flow velocity and pH on the corrosion rate of mild steel in a synthetic minewater* “. **Journal of the south african institute of mining and metallurgy vol.92 no 10**

Tran, Thu et all. 2013. “*Investigation of the Mechanism for Acetic Acid Corrosion of Mild Steel*”. **NACE International corrosion conference & expo.**

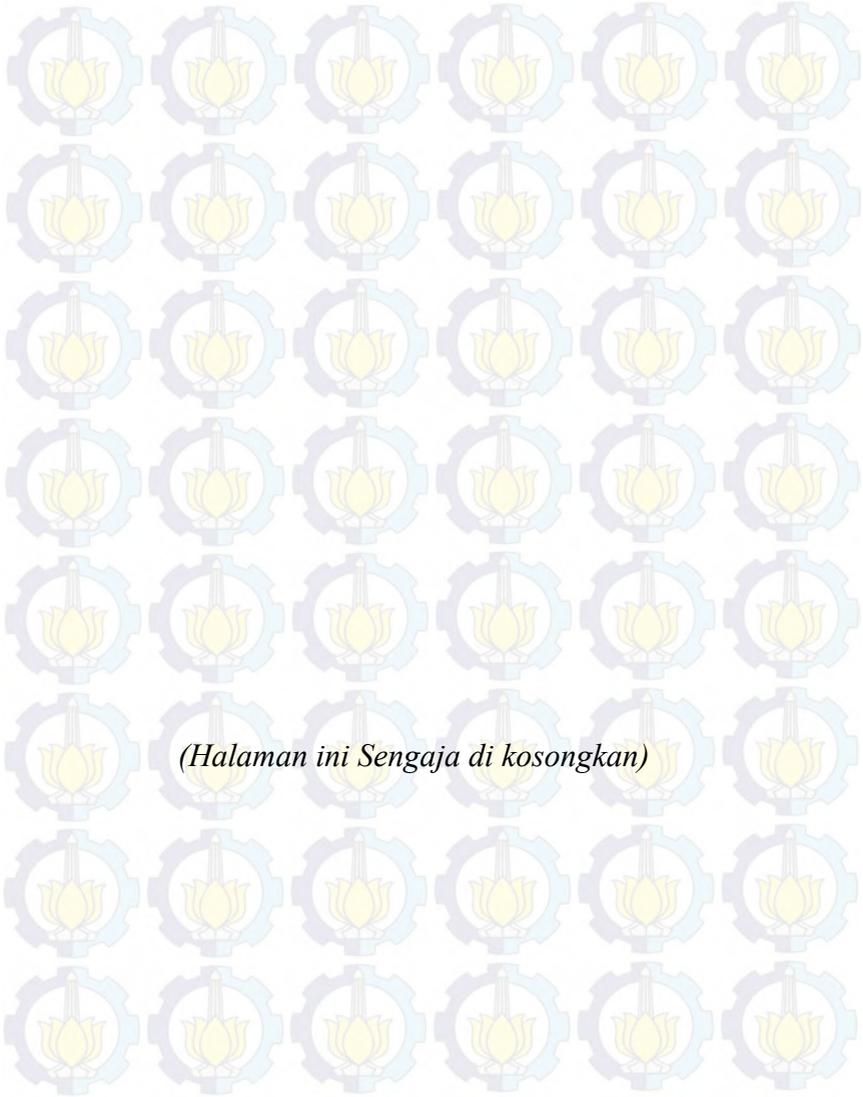
Tobon, A Cervantes et all. .2015. “*Effect of Flow Rate on the Corrosion Products Formed on Traditional and New Generation API 5L X-70 in a Sour Brine Environment*”. **International journal of Electrochemical Science. Vol.10**

Trethewey, K.R. terj Widharto. 1991. **Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan**. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.

Wahyuningsih, Asri dkk. 2010. “*Metenamina sebagai inhibitor korosi baja karbon dalam lingkungan sesuai kondisi pertambangan minyak bumi*”. **Jurnal Sains dan teknologi kimia**

Xiang, Y et all. 2013. “*Effect of Exposure Time on the corrosion rates of X70 steel in supercritical CO₂/ SO₂/ O₂/ H₂O Environment*”. **Corrosion Nace International vol 69**

Yuli, P. A., Mokhtar, C. I., (2010).” *Application of Response Surface Design to Characterize CO₂ Corrosion Mechanistically* “ .**Petromine Pipeliner**.



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Rizqi Ilmal Yaqin, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Ainul Yaqin dan Parjiyem yang lahir di Nganjuk 5 Oktober 1993. Memiliki Kakak Laki Laki bernama Azfandi Miftakhul Yaqin dan kakak perempuan bernama Aisah Latifah Rahmah Putri. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SDN Kauman 2 selama 3 tahun dan pindah ke SDN Unggulan Kec. Nganjuk , SMP Negeri 1 Nganjuk dan di SMA Negeri 2

Nganjuk. Kemudian melanjutkan studi S1 di Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri (FTI)- ITS pada tahun 2012.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS (2013-2014) dan Wakil 2 Kepala Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS (2014/2015). Penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Kimia Terapan, Asisten Laboratorium Inovasi Material dan Asisten Laboratorium Korosi dan Kegagalan Materia Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS (2012-2015). Dalam kegiatan akademik, penulis pernah Menjadi Finalis Call of paper yang dilaksanakan oleh NACE Student Chapter UI tahun 2015 serta menjadi pemakalah pada SEMINAR NASIONAL MATERIAL DAN METALURGI 8 yang di selenggarakan oleh Teknik Mesin UGM . Selain itu penulis pernah kerja praktek di JOB Pertamina- Petrochina EAST JAVA di Tuban, Jawa Timur . Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan.

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 081515931005 atau bisa hubungi di alamat email ilmal.yaqin29@gmail.com