



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI LAJU KOROSI BAJA KARBON UNTUK PIPA
PENYALUR PROSES PRODUKSI GAS ALAM YANG
MENGANDUNG GAS CO₂ PADA LINGKUNGAN
NaCl 0.5, 1.5, 2.5 dan 3.5 %**

SKRIPSI

DITO IANDIANO

0706268410

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI LAJU KOROSI BAJA KARBON UNTUK PIPA
PENYALUR PROSES PRODUKSI GAS ALAM YANG
MENGANDUNG GAS CO₂ PADA LINGKUNGAN
NaCl 0.5, 1.5, 2.5 DAN 3.5 %**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik**

DITO IANDIANO

0706268410

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JULI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dito Iandiano

NPM : 0706268410

Tanda Tangan : 

Tanggal : 5 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Dito Iandiano
NPM : 0706268410
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Studi Laju Korosi Baja Karbon untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5 dan 3.5 %

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Andi Rustandi, MT

()

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi M S, DEA

()

Penguji 2 : Ahmad Ivan Karayan, ST. M.Eng

()

Penguji 3 : Deni Ferdian, ST. MSc

()

Ditetapkan : Depok, Juli 2011

KATA PENGANTAR

Pertama-tama, penulis haturkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat restu, nikmat dan bimbingan-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik tanpa adanya hambatan yang cukup berarti dalam pengujian sampai akhirnya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka untuk memenuhi salah satu syarat untuk menggapai gelar Sarjana Teknik (ST) jurusan Metalurgi dan Material di Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan masa perkuliahan dan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Andi Rustandi, MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku Kepala Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI.
3. Dr. Ir. Muhammad Anis M.Met, selaku Pembimbing Akademis.
4. Ir. Ahmad Herman Yuwono, Phd, selaku Koordinator Mata Kuliah Spesial Departemen Metalurgi dan Material FTUI.
5. Semua dosen yang ada di Departemen Metalurgi dan Material FTUI, yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan selama 4 tahun masa perkuliahan.
6. Orang tua penulis, ayahanda Anhar, SE dan ibunda Ida Usmayarni, SE. M.Kes, serta adinda M. Rheza Ariano yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan materil hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Om Stovia dan Tante Memen, semua sanak keluarga dan sepupu-sepupu yang telah membantu selama menempuh masa perkuliahan dan kehidupan di Jakarta.
8. Andika, Riko, Ober, bang aduy, bang anton, dan rekan-rekan laboratorium korosi sebagai rekan seperjuangan dalam pengerjakan semua penelitian di laboratorium.

9. Rekan-rekan kerja praktek yang telah mengarungi lautan dan menerjang ganasnya ombak bersama: Cio, Farhan, dan Andhi, semoga semua yang kita lakukan dapat terwujud kembali di masa yang akan datang.
10. Kawan - kawan seperjuangan di Metalurgi dan Material angkatan 2007, semoga kita semua bisa sukses di hari esok. Semoga ikatan keluarga ini terus hingga tua nanti.
11. Teman-teman kosan Kemuning, Anggi, Roni, Fajar, Fariz, Andre, dan Ojik yang sama-sama berjuang dalam menyelesaikan masa perkuliahan dan skripsi ini, sukses untuk kita semua
12. Rekan-rekan tim futsal metaurgi dan material 2010 dan 2011, yang telah memberikan kesempatan merasakan dan menikmati indahny kemenangan di depan warga teknik, kita paling jago di teknik bro !, serta rekan-rekan di Kudahitam, kekeluargaan, keseriusan, dan play for fun membuat kita bisa sukses sebagai juara 3 EPC 2011
13. Serta senior dan junior yang banyak memberikan semangat.
14. Dan seluruh teman – teman penulis, sejak penulis dilahirkan, dibesarkan, dan menuntut ilmu di Padang dan Jakarta yang tidak bisa disebutkan semuanya, semoga yang masih sekolah dan kuliah diberikan kemudahan dan yang sudah bekerja diberikan kesuksesan.

Akhir kata, saya hanya bisa mengucapkan terima kasih sebesar – besarnya kepada semua pihak, baik yang telah disebut maupun tidak, saya hanya berharap Allah SWT akan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi dapat menjadi pertimbangan dalam pengeksplosian kekayaan gas alam di Indoesia yang sumber dayanya sangat berlimpah. Dapat terwujudnya suatu proses eksplorasi gas alam yang aman dan ramah lingkungan merupakan sesuatu yang sangat penulis harapkan dalam dunia industri migas Indonesia.

Depok, Juli 2011

Penulis

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

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

Nama : Dito Iandiano
NPM : 0706268410
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

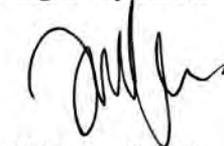
**Studi Laju Korosi Baja Karbon untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas
Alam yang Mengandung Gas CO₂ pada Lingkungan
NaCl 0.5, 1.5, 2.5 dan 3.5 %**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia atau formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 5 Juli 2011

Yang menyatakan



(Dito Iandiano)

ABSTRAK

Nama : Dito Iandiano
NPM : 0706268410
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Studi Laju Korosi Baja Karbon untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5 dan 3.5 %

Material baja karbon merupakan material yang umum dipakai sebagai pipa penyalur, baik *flowline* maupun *pipeline* proses produksi gas alam. Penggunaan material baja pada proses tersebut seringkali menghadapi masalah yang berkaitan dengan korosi yaitu terjadinya kebocoran akibat pengaruh adanya gas CO₂ yang terlarut dalam media air dan bersifat korosif (asam). Dalam upaya mengatasi masalah tersebut di atas, perlu diketahui besaran laju korosi material baja akibat pengaruh gas CO₂ terlarut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi laju korosi material baja yang digunakan pada proses produksi gas alam yang mengandung CO₂ dalam berbagai kondisi yang mewakili kondisi sesungguhnya di dalam aplikasi seperti pengaruh tekanan parsial CO₂, komposisi larutan, dan temperatur. Penelitian dilakukan dengan metoda uji polarisasi. Hasil dari penelitian ini akan merefleksikan besaran laju korosi yang terjadi pada pipa penyalur gas alam akibat pengaruh CO₂ terlarut. Laju korosi baja karbon pada lingkungan yang mengandung CO₂ berkisar antara 15 – 28 mpy. Laju korosi yang tinggi ini akan membahayakan *flowline* dan *pipeline* penyalur gas alam sehingga dibutuhkan suatu metode proteksi untuk mencegah terjadinya kegagalan akibat proses korosi yang terjadi. Hasil dari penelitian ini merupakan tahap awal, sebagai bahan masukan untuk melakukan upaya penanggulangan (proteksi) agar tidak terjadi kebocoran flowline dan pipeline akibat korosi CO₂ sesuai dengan umur pakai (*life time*) yang telah dirancang.

Kata kunci: Baja karbon, gas CO₂, laju korosi, *flowline*, *pipeline*

ABSTRACT

Name : Dito Iandiano
NPM : 0706268410
Major : Metallurgy and Material Engineering
Title : Study of Corrosion Rate of Carbon Steel as transmission pipe of production process of Natural Gas containing CO₂ on NaCl Environment with concentration 0.5, 1.5, 2.5 and 3.5% NaCl

Carbon steel is commonly used as flowline and pipeline in natural gas production process. However, the use of this steel often face problems related to corrosion, such as leakage due to effect of dissolved CO₂ in water that causes corrosive environment (acid). In order to overcome this problem, further study must be carried out about corrosion rate model of this steel in dissolved CO₂ condition. The aim of this research is to study corrosion rate of steel as flowline and pipeline in natural gas production process with CO₂ content and variety of conditions that represent the actual conditions in practice such as CO₂ partial pressure, solution composition, and temperature. Research conducted by polarization test. The result of this study will illustrate the level of corrosion rate occurred in natural gas pipelines due to the effect of dissolved CO₂. Corrosion rate of carbon steel in environments containing CO₂ ranged between 15-28 mpy. The high corrosion rate observed would damage natural gas transmission flowline and pipeline. Consequently, a protection method is required to prevent flowline and pipeline failure due to such corrosion. The result of this study is the first step, as an input for prevention efforts, to prevent leakage of flowline and pipeline due to corrosion of CO₂ appropriate with the lifetime that has been designed.

Keywords: Carbon steel, CO₂, corrosion rate, flowline, pipeline.

DAFTAR ISI

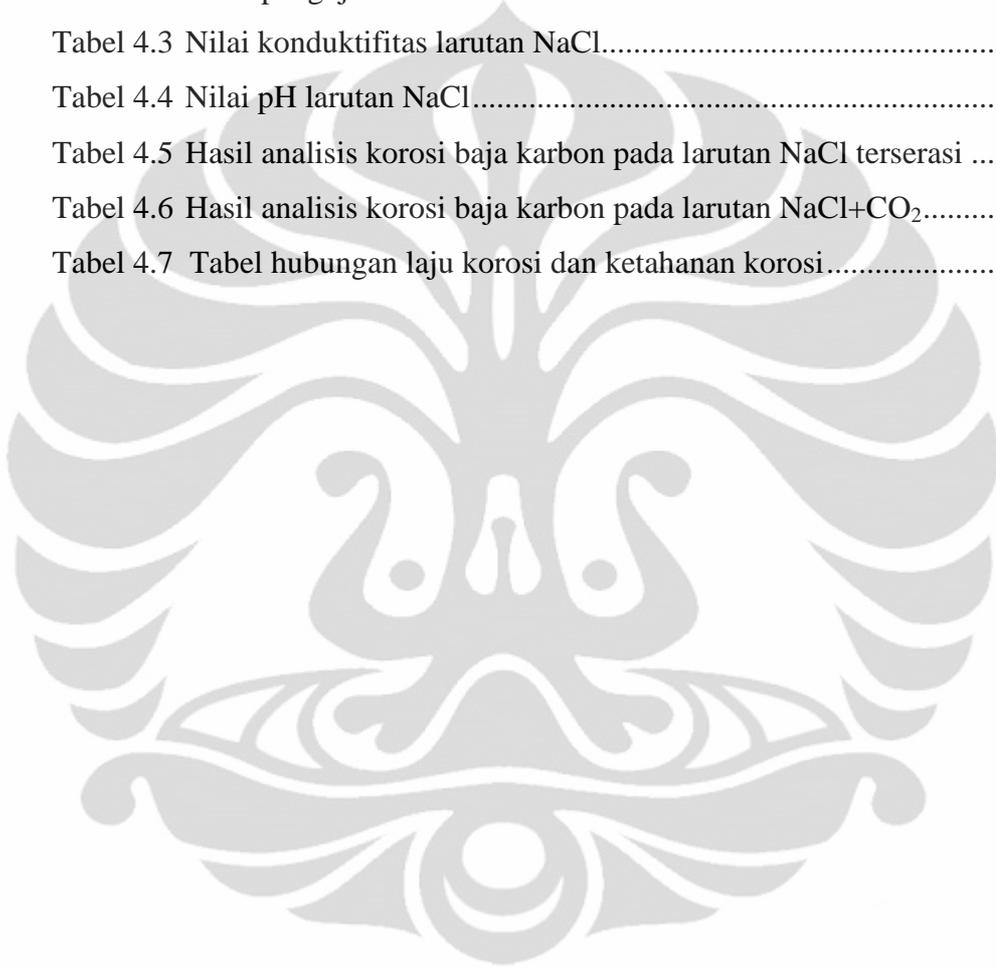
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TEORI PENUNJANG	6
2.1 Pengertian Korosi	6
2.2 Termodinamika Korosi.....	7
2.3 Laju Korosi.....	9
2.4 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi	9
2.5 Pengenalan Gas Alam	10
2.5.1 Gambaran Umum	10
2.5.2 Komposisi Gas Alam	11
2.5.3 Macam-macam Gas Alam.....	12
2.5.4 Sifat-sifat Fisik Gas Alam.....	12
2.5.5 Pengolahan Gas Alam	13

2.5.6 Transmisi Gas Alam.....	14
2.6 Korosi CO ₂	14
2.6.1 Mekanisme Korosi CO ₂	15
2.6.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi CO ₂	17
2.6.2.1 Parameter Lingkungan	17
2.6.2.2 Parameter Fisik.....	19
2.6.2.3 Parameter Metalurgi	21
2.7 Pengaruh Lapisan Korosi terhadap Laju Korosi CO ₂	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
3.2 Peralatan dan Bahan	25
3.2.1 Peralatan	25
3.2.2 Bahan.....	25
3.3 Prosedur Penelitian.....	26
3.3.1 Preparasi Sampel	26
3.3.2 Pembuatan Larutan Uji.....	27
3.3.3 Pengujian Komposisi Sampel.....	27
3.3.4 Pengujian pH Larutan.....	27
3.3.5 Pengujian Resistifitas Larutan.....	28
3.3.6 Pengujian Laju Korosi.....	29
3.3.6.1 Pengujian Laju Korosi Baja Karbon pada Lingkungan NaCl Teraerasi dengan Metode Polarisasi Analisis Tafel	30
3.3.6.2 Pengujian Laju Korosi Baja Karbon pada Lingkungan NaCl yang Mengandung CO ₂ Jenuh dengan Metode Polarisasi Analisis Tafel.....	31
3.3.7 Analisis Kurva Polarisasi	32
3.3.7.1 Analisis Menggunakan Software <i>Gamry Echem Analysis</i>	32
3.3.7.2 Analisis Manual.....	32

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Komposisi Sampel.....	33
4.2 Resistifitas dan Kondutifitas Larutan	33
4.3 pH Larutan.....	35
4.4 Analisis Tafel	37
4.4.1 Laju Korosi Baja Karbon pada Lingkungan NaCl Teraerasi	37
4.4.2 Laju korosi Baja Karbon pada Lingkungan NaCl yang mengandung CO ₂ jenuh	39
4.5 Perbandingan Laju Korosi Baja Karbon pada Lingkungan NaCl Teraerasi dan NaCl yang mengandung CO ₂ jenuh	44
4.6 Analisis Besaran Laju Korosi Baja Karbon pada Lingkungan NaCl yang Mengandung CO ₂ Jenuh	45
BAB 5 KESIMPULAN	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel hubungan laju korosi dan ketahanan korosi	9
Tabel 2.2 Perbandingan daya larut gas CO ₂ dan O ₂	15
Tabel 4.1 Komposisi sampel baja API 5L X-52.....	33
Tabel 4.2 Hasil pengujian resistifitas larutan NaCl.....	34
Tabel 4.3 Nilai konduktifitas larutan NaCl.....	34
Tabel 4.4 Nilai pH larutan NaCl.....	35
Tabel 4.5 Hasil analisis korosi baja karbon pada larutan NaCl terserasi	38
Tabel 4.6 Hasil analisis korosi baja karbon pada larutan NaCl+CO ₂	40
Tabel 4.7 Tabel hubungan laju korosi dan ketahanan korosi.....	46

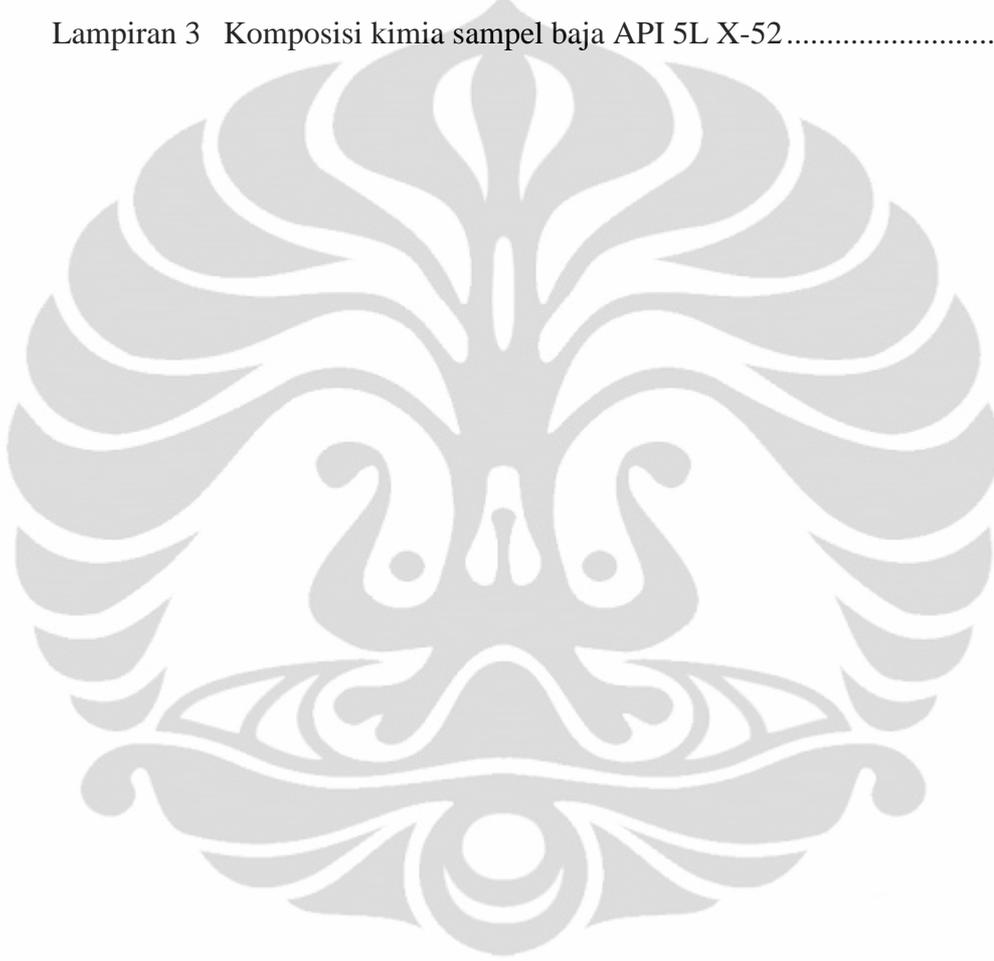


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Pourbaix Fe pada 25 °C	9
Gambar 2.2	Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi baja Karbon dalam larutan teraerasi	10
Gambar 2.3	Grafik pengaruh tekanan parsial CO ₂ terhadap laju Korosi baja karbon.....	18
Gambar 2.4	Grafik hubungan laju aliran dengan laju korosi CO ₂	20
Gambar 2.5	Grafik hubungan temperatur dengan laju korosi CO ₂	22
Gambar 2.6	Grafik pengaruh pH terhadap laju korosi CO ₂	23
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	24
Gambar 3.2	Penampang sampel uji	26
Gambar 3.3	<i>Soil Resistance Box</i>	29
Gambar 3.4	Rangkaian pengujian resistifitas larutan	29
Gambar 3.5	Skema pengujian polarisasi dalam NaCl teraerasi.....	30
Gambar 3.6	Skema pengujian polarisasi dalam NaCl yang mengandung CO ₂	31
Gambar 4.1	Grafik konduktifitas larutan NaCl	34
Gambar 4.2	Aktifitas ion dalam larutan NaCl, pCO ₂ 1 atm	36
Gambar 4.3	Grafik polarisasi baja karbon dalam larutan NaCl teraerasi pada 0.5-3.5 % wt NaCl	38
Gambar 4.4	Pengaruh kadar NaCl terhadap laju korosi baja.....	39
Gambar 4.5	Grafik polarisasi baja karbon dalam larutan NaCl 0.5-3.5 % yang mengandung CO ₂	40
Gambar 4.6	Grafik kelarutan CO ₂ dalam larutan NaCl, T = 25°C, pH 4, dan pCO ₂ = 0.97 bar.....	41
Gambar 4.7	Pengaruh kadar NaCl terhadap viskositas larutan	43
Gambar 4.8	Pengaruh kadar NaCl terhadap densitas larutan	43
Gambar 4.9	Grafik perbandingan nilai laju korosi baja dalam lingkungan NaCl teraerasi dan NaCl yang mengandung CO ₂	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Grafik hasil pengujian polarisasi baja karbon dalam larutan NaCl teraerasi	52
Lampiran 2	Grafik hasil pengujian polarisasi baja karbon dalam larutan NaCl teraerasi yang mengandung CO ₂	54
Lampiran 3	Komposisi kimia sampel baja API 5L X-52	56



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Gas alam merupakan salah satu energi alternatif yang sangat potensial. Gas alam dapat menjadi energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar minyak yang cadangannya semakin menipis. Saat ini, gas alam telah digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Energi yang dihasilkan gas alam lebih efisien dan biaya investasi pembangkit listrik menjadi lebih ekonomis.

Cadangan gas alam di Indonesia sendiri masih sangat besar. Potensi gas bumi yang dimiliki Indonesia berdasarkan status tahun 2008 mencapai 170 TSCF dan produksi per tahun mencapai 2,87 TSCF, dengan komposisi tersebut Indonesia memiliki *reserve to production* (R/P) mencapai 59 tahun. Cadangan ini baru pada sumur-sumur yang telah tereksplorasi, dan tidak tertutup kemungkinan masih banyak lagi sumur-sumur yang belum ditemukan.

Dalam pemanfaatan sumber daya gas alam yang ada di Indonesia, tentunya dibutuhkan suatu proses eksplorasi dan produksi yang sangat aman dan ramah lingkungan. Ada banyak masalah yang terdapat dalam pengolahan gas alam, diantaranya dari segi peralatan dan perawatan dari peralatan tersebut. Salah satu dari masalah yang akan timbul dalam pengolahan gas alam adalah terjadinya degradasi pada material akibat reaksi elektrokimia lingkungan.

Pada umumnya proses korosi tidak dapat dihentikan sama sekali karena merupakan suatu proses alami yang akan terjadi saat suatu logam kontak dengan lingkungannya. Hal ini tentunya akan mengakibatkan berkurangnya nilai material secara teknis, penurunan kualitas material dan akan menyebabkan berkurangnya umur pakai (*lifetime*) dari material tersebut. Salah satu contohnya adalah pada material baja yang banyak digunakan pada industri minyak dan gas alam, yaitu sebagai pipa penyalur proses eksplorasi dan produksi.

Material baja karbon merupakan material yang sangat umum digunakan pada industri eksplorasi dan produksi gas alam^[1]. Material baja digunakan sebagai material *flowline* dan *pipeline* untuk mengalirkan gas alam hasil eksplorasi untuk diproses lebih lanjut. Namun, material baja memiliki kelemahan yaitu, antara lain

kekerasannya rendah dan ketahanan terhadap korosi yang tidak begitu baik pada berbagai lingkungan.

Pada industri pengolahan gas alam, gas CO₂ merupakan gas yang paling banyak terkandung di dalamnya, baik itu berasal dari sumur produksi maupun dari hasil pengolahan. Pada dasarnya kandungan gas CO₂ dalam gas alam tidak terlalu berbahaya terhadap material penyalur. Namun, adanya interaksi antara gas CO₂ dengan fasa liquid akan menyebabkan korosi internal pada material yang dikenal sebagai korosi CO₂(CO₂ corrosion)^[1]. Korosi CO₂ ini merupakan masalah yang banyak dijumpai pada industri pengolahan gas alam terutama pada proses eksplorasi dan penyaluran gas alam.

Korosi internal akibat kandungan gas CO₂ merupakan korosi yang terjadi pada pipa penyalur gas alam^[1]. Kandungan media air formasi (mengandung ion klorida) dan gas CO₂ yang terlarut yang menyebabkan korosi merata pada pipa penyalur. Pada proses produksi gas alam yang berada pada daerah lepas pantai (*offsore*), air laut merupakan suatu larutan yang tidak bisa dihindari. Pada proses penyaluran gas alam, air laut merupakan media penyaluran gas alam hasil produksi dari sumur-sumur yang ada. Oleh karena itu, air laut sebagai media pada penyaluran gas alam harus benar-benar diperhatikan dalam pengendalian korosi akibat gas CO₂.

Air laut sebagai media air formasi memiliki kandungan garam terlarut di dalamnya. Setiap air laut memiliki tingkat salinitas yang berbeda-beda^[2]. Dimana garam utama yang terkandung pada air laut diantaranya NaCl, CaCl₂, dan MgCl₂. Perbedaan tingkat salinitas ini tentunya juga mengakibatkan perbedaan laju korosi pada material. Pada air laut yang teraerasi, perbedaan kandungan NaCl akan meningkatkan laju korosi sampai dengan kandungan 3.5 % wt NaCl^[3].

Perbedaan tingkat salinitas air laut ini tentunya juga akan berpengaruh terhadap korosi yang diakibatkan oleh gas CO₂. Adanya perbedaan tingkat salinitas pada media air formasi akan mempengaruhi reaksi dan pembentukan produk korosi yang terjadi akibat gas CO₂. Oleh karena itu, perbedaan tingkat salinitas pada air laut yang digunakan sebagai media penyaluran gas alam sangat penting untuk diperhatikan dalam pengendalian material baja *flowline* dan *pipeline* dari korosi akibat gas CO₂.

1.2 Perumusan Masalah

Gas alam Indonesia memiliki karakteristik kandungan CO₂ yang cukup besar. Karakter ini sering memicu kegagalan material akibat korosi CO₂ pada sistem *flowline* eksplorasi sumur gas alam dan sistem *pipeline* distribusi dari sumur gas alam ke pembangkit listrik. Kegagalan yang ditimbulkan oleh korosi CO₂ akan bersifat dini, jika dibandingkan dengan umur desain material.

Baja Karbon merupakan material yang digunakan sebagai *pipeline* maupun *flowline* dalam dunia industri minyak dan gas alam. Penggunaan baja karbon ini sangat luas aplikasinya pada dunia minyak dan gas alam, salah satunya sebagai *pipeline* dan *flowline* penyalur gas alam. Selain di sektor migas, baja karbon juga banyak digunakan pada konstruksi dan pembangkit listrik. Baja ini distandarkan dalam Standar API 5L, *Specification for Line pipe*.

Penggunaan baja karbon pada lingkungan gas alam seringkali menghadapi masalah yang berkaitan dengan korosi yaitu terjadinya kebocoran akibat pengaruh adanya gas CO₂ yang terlarut dalam media air dan bersifat korosif (asam). Pada internal pipeline seringkali terjadi masalah *top of line corrosion* karena adanya air yang terkondensasi^[4]. Pada internal flowline terdapat media air formasi (mengandung ion klorida) dan gas CO₂ yang terlarut dapat menyebabkan terjadinya korosi merata^[1]. Dalam upaya mengatasi masalah tersebut di atas, perlu diketahui besaran laju korosi material baja akibat pengaruh gas CO₂ terlarut.

Gas CO₂ menjadi sangat korosif apabila mengalami kontak dengan fasa aqueous, dimana akan menyebabkan timbulnya *sweet environment*^[5]. *Sweet environment* merupakan lingkungan yang sangat korosif, bersifat asam, dan tentunya akan memicu terjadinya korosi CO₂. Pada lingkungan penyaluran gas alam, air laut merupakan fasa aqueous yang memicu timbulnya lingkungan yang korosif. Media air laut yang ada pada penyaluran gas alam merupakan penyebab terjadinya korosi akibat gas CO₂.

Air laut yang merupakan media dalam penyaluran gas alam memiliki kandungan garam terlarut dan tingkat salinitas yang berbeda-beda. Pada lingkungan laut, tingkat salinitas air laut adalah salah satu faktor yang mempengaruhi korosi. Air laut dengan kandungan 3,5% wt NaCl merupakan lingkungan yang sangat korosif pada keadaan teraerasi^[3]. Oleh karena itu, analisis

pengaruh tingkat salinitas rendah ($< 3,5$ %wt NaCl) dari air laut terhadap laju korosi CO_2 baja karbon yang digunakan sebagai pipa-pipa penyalur gas alam sangat penting untuk diperhatikan dalam memprediksi laju korosi CO_2 dan umur pakai dari pipa penyalur gas alam tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui korelasi konsentrasi NaCl 0 – 3,5 % terhadap resistivitas dan konduktivitas larutan.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi NaCl 0 - 3,5 % terhadap laju korosi dari baja karbon pada lingkungan yang mengandung CO_2 .
3. Membandingkan besar laju korosi baja karbon dalam lingkungan teraerasi dan lingkungan yang mengandung CO_2
4. Mengetahui kisaran laju korosi baja karbon dalam lingkungan proses penyaluran produksi gas alam.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

1.4.1 Material Uji

Material uji yang digunakan adalah baja karbon API 5L X-52. Material ini banyak digunakan sebagai *flowline* dan *pipeline* penyalur gas alam.

1.4.2 Lingkungan

Lingkungan korosif yang digunakan adalah larutan NaCl teraerasi dan larutan NaCl yang mengandung CO_2 dengan konsentrasi NaCl 0.5, 1.5, 2.5, dan 3,5 %. Lingkungan NaCl digunakan untuk mensimulasikan air laut yang digunakan sebagai medium penyaluran gas alam.

1.4.3 Variabel Pengujian

Variabel pengujiannya dikelompokan sebagai berikut :

1. Parameter tetap :
 - a. Baja karbon API 5L X-52
 - b. Temperatur Lingkungan

2. Parameter tidak tetap :

a. Konsentrasi NaCl

Konsentrasi NaCl yang digunakan pada penelitian ini adalah 0.5, 1.5, 2.5, dan 3,5 %wt NaCl.

b. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan yang digunakan pada pengujian ini adalah

1. Larutan NaCl teraerasi
2. Larutan NaCl dengan kandungan CO₂ 1 bar

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan ini, sistematika penulisan disusun agar konsep dalam penulisan skripsi menjadi berurutan sehingga akan didapat kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika tersebut dapat diartikan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan. Bab-bab tersebut diantaranya :

a) Bab 1 Pendahuluan

Membahas mengenai latar belakang penulisan, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

b) Bab 2 Teori Penunjang

Membahas mengenai teori korosi secara umum baik pengertian, maupun termodinamika, serta laju korosi, pengenalan gas alam, korosi CO₂, mekanisme korosi CO₂ dan faktor-faktor yang mempengaruhi korosi CO₂.

c) Bab 3 Metodologi Penelitian

Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian, dan prosedur penelitian.

d) Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Membahas mengenai pengolahan data yang didapat dari penelitian serta menganalisa hasil penelitian baik berupa angka, gambar, dan grafik, serta membandingkan dengan teori dan literatur.

e) Bab 5 Kesimpulan

Membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan dari penelitian.

BAB 2 TEORI PENUNJANG

2.1 Pengertian Korosi

Korosi didefinisikan sebagai degradasi dari material yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan material lainnya dan lingkungan^[6]. Akibat adanya reaksi korosi, suatu material akan mengalami perubahan sifat ke arah yang lebih rendah atau dapat dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang. Dalam bidang metalurgi, peristiwa korosi dapat dipandang sebagai suatu peristiwa atau reaksi senyawa kembali ke bentuk asalnya atau bisa disebut sebagai kebalikan dari proses metalurgi ekstraksi.

Peristiwa korosi terjadi akibat adanya reaksi kimia dan elektrokimia. Namun, untuk terjadinya peristiwa korosi terdapat beberapa elemen utama yang harus dipenuhi agar reaksi tersebut dapat berlangsung. Elemen-elemen utama tersebut adalah sebagai berikut^[7]:

a. Material

Dalam suatu peristiwa korosi, suatu material akan bersifat sebagai anoda. Anoda adalah suatu bagian dari suatu reaksi yang akan mengalami oksidasi. Akibat reaksi oksidasi, suatu logam akan kehilangan elektron, dan senyawa logam tersebut ion berubah menjadi ion-ion bebas.

b. Lingkungan

Dalam suatu peristiwa korosi, suatu lingkungan akan bersifat sebagai katoda. Katoda adalah suatu bagian dari reaksi yang akan mengalami reduksi. Akibat reaksi reduksi, lingkungan yang bersifat katoda akan membutuhkan elektron yang akan diambil dari anoda. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda adalah Lingkungan air, atmosfer, gas, mineral *acid*, tanah, dan minyak.

c. Reaksi antara material dan lingkungan

Adanya reaksi antara suatu material dengan lingkungannya merupakan suatu persyaratan yang sangat penting dalam terjadinya suatu peristiwa korosi. Reaksi korosi hanya akan terjadi jika terdapat

hubungan atau kontak langsung antara material dan lingkungan. Akibat adanya hubungan tersebut, akan terjadi reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara spontan.

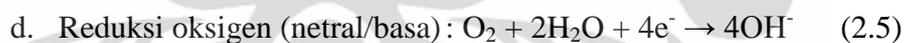
d. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi dan melengkapi sirkuit elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung.

Reaksi korosi logam melibatkan dua reaksi setengah sel, yaitu reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Reaksi katoda dan anoda yang terjadi dalam proses korosi adalah sebagai berikut^[6].



Katoda :



Berdasarkan bentuk kerusakan yang dihasilkan, penyebab korosi, lingkungan tempat terjadinya korosi, maupun jenis material yang diserang, korosi teragi menjadi beberapa macam, diantaranya adalah korosi merata (*uniform corrosion*), korosi galvanic (*galvanic corrosion*), korosi celah (*crevice corrosion*), korosi sumuran (*pitting corrosion*), korosi batas butir (*intergranular corrosion*), korosi erosi (*erosion corrosion*), *fretting*, *dealloying*, *hydrogen damaged* dan *environmentally induced corrosion*^[6].

2.2 Termodinamika Korosi

Termodinamika adalah suatu ilmu yang mempelajari perubahan energi dalam suatu sistem. Dalam suatu sistem korosi, termodinamika dapat dipakai untuk mengetahui apakah logam dapat bereaksi secara spontan dengan

2.3 Laju Korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu ⁽⁹⁾. Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy). Satu *mils* adalah setara dengan 0,001 inchi. Laju korosi dapat ditentukan dengan berbagai cara, diantaranya dengan ekstrapolasi kurva tafel. Pada tabel 2.1 berikut dapat dilihat hubungan laju korosi dengan ketahanan korosinya (relatif).

Tabel 2.1 Tabel hubungan laju korosi dan ketahanan korosi ^[6,7,9]

Ketahanan Korosi	Laju Korosi				
	mpy	mm/yr	µm/yr	nm/hr	pm/s
Relatif					
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

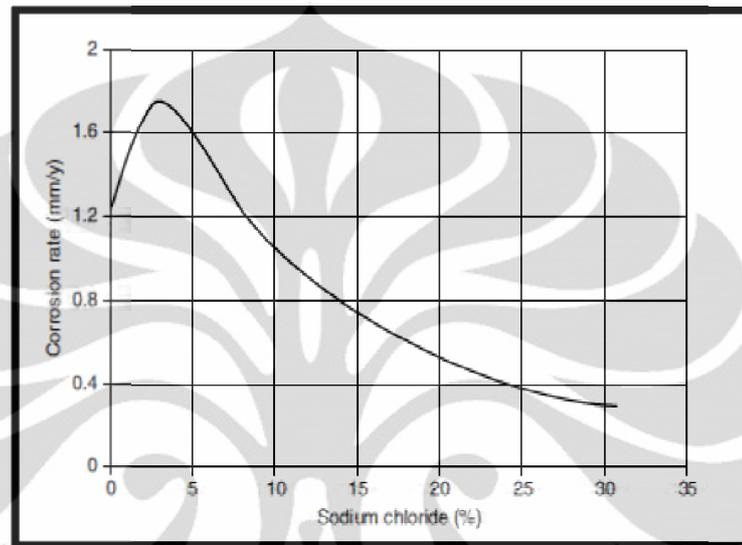
2.4 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi

Dalam larutan, garam akan terurai menjadi anion dan kation pembentuknya. Ion-ion tersebut akan menjadikan larutan mampu menghantarkan muatan listrik yang mengalir dalam larutan tersebut^[8]. Hal ini mengakibatkan nilai konduktifitas dari larutan garam akan sebanding dengan konsentrasi garam terlarut dalam larutan tersebut.

Proses korosi merupakan suatu reaksi elektrokimia antara logam sebagai anoda dengan lingkungan yang bertindak sebagai katoda^[7]. Akibatnya, kecepatan berlangsungnya reaksi akan sangat ditentukan oleh konduktifitas dari larutan elektrolit yang menghubungkan antara anoda dan katoda. Larutan dengan konduktifitas yang baik akan mengakibatkan reaksi korosi berlangsung dengan cepat sehingga akan meningkatkan laju korosi^[6].

Namun, adanya ion-ion terlarut dalam larutan garam akan menurunkan agen pereduksi yang ada pada larutan tersebut. Salah satu contohnya, semakin besar konsentrasi NaCl dalam larutan teraerasi akan menurunkan kalarutan

oksigen dalam larutan tersebut. Pada beberapa literatur disebutkan bahwa kelarutan optimum oksigen dalam larutan NaCl teraerasi terjadi pada konsentrasi NaCl 3 – 3,5 %. Kondisi tersebut ditunjukkan pada gambar 2.2, dimana suatu percobaan membuktikan bahwa laju korosi optimum baja karbon berada pada konsentrasi NaCl 3 – 3,5 %^[6,8].



Gambar 2.2 Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi baja karbon dalam larutan teraerasi^[6,8].

Pengaruh konsentrasi NaCl dalam larutan akan sangat berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon dalam larutan tersebut. Peningkatan konsentrasi NaCl dalam larutan akan meningkatkan konduktifitas larutan sehingga meningkatkan laju korosi. Namun sebaliknya, peningkatan konsentrasi NaCl akan mengurangi kelarutan agen pereduksi dalam larutan sehingga akan menurunkan laju korosi baja karbon dalam larutan tersebut. Oleh karena itu, konsentrasi NaCl dapat meningkatkan dan menurunkan laju korosi baja karbon dalam larutan tersebut tergantung pada pengaruh yang dominan yang ditimbulkan oleh konsentrasi NaCl tersebut.

2.5 Pengenalan Gas Alam

2.5.1 Gambaran Umum

Gas alam (*natural gas*) adalah suatu fluida homogen yang memiliki densitas dan viskositas yang rendah. Gas alam juga dinyatakan sebagai suatu

campuran kompleks dari gas-gas hidrokarbon yang mudah terbakar dan non-hidrokarbon yang sering disebut dengan pengotor (*impurities*). Gas alam juga merupakan campuran gas-gas hidrokarbon yang terbentuk secara alami dengan komposisi yang bervariasi menurut tempat dan karakteristik sumbernya dimana ia diproduksi.^[9]

Biasanya gas alam sendiri berada bersama dengan minyak didalam sebuah reservoir meskipun dalam jumlah yang relatif kecil. Keberadaan gas alam yang bersama-sama dengan minyak dapat dalam keadaan terpisah (*nonassociated gas*) ataupun dapat terlarut dalam minyak (*associated gas*). Gas dan minyak akan berada dalam bentuk larutan selama temperaturnya rendah dan tekanannya yang tinggi. Apabila minyak diproduksi ke permukaan dan dilewatkan ke sebuah separator yang tekanannya rendah, maka gas akan terpisah dari bentuk larutannya. Kemudian, apabila gas berada dalam kondisi bebas dalam *reservoir* dengan tekanan yang cukup tinggi, maka untuk mengalirkannya ke permukaan cukup dengan menggunakan tekanannya sendiri.

Gas alam adalah salah satu sumber energi yang komponen utamanya berupa campuran hidrokarbon dengan beberapa pengotor-pengotornya. Pasir dan air adalah pengotor dengan fasa yang berbeda yang tidak disukai dan harus dipisahkan di dalam sebuah separator yang dipasang di dekat kepala sumur (*wellhead*). Gas alam yang masih bersama pengotor-pengotor akan dialirkan pada *central plant*. Di dalam *central plant* pengotor-pengotor akan dihilangkan sebelum gas didistribusikan.^[9]

2.5.2 Komposisi Gas Alam

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya bahwa gas alam adalah gas yang dihasilkan dari perut bumi yang terdiri dari senyawa hidrokarbon dan non-hidrokarbon. Jenis hidrokarbon yang terdapat di dalam gas alam pada umumnya adalah senyawa **alkana**, yaitu senyawa hidrokarbon yang ikatan antar atom karbonnya jenuh dan lurus atau bercabang (bukan bentuk ikatan melingkar). Senyawa hidrokarbon yang dimaksud ini memiliki rumus molekul C_nH_{2n+2} , dimana C adalah atom karbon, H adalah atom hidrogen, dan n adalah jumlah atom karbon (C). Senyawa hidrokarbon merupakan senyawa yang dominan dengan

komponen utamanya adalah metana (CH_4), dan senyawa hidrokarbon lainnya seperti etana (C_2H_6), propane (C_3H_8), butana (C_4H_{10}), pentana (C_5H_{12}) yang pada umumnya berupa kondensat, dan lain sebagainya.^[9]

Kemudian, senyawa-senyawa lain yang bersifat sebagai *impurities* yang tidak disukai karena sifatnya yang dapat mengganggu proses pengolahan antara lain adalah nitrogen (N_2), hidrogen sulfida (H_2S), karbondioksida (CO_2), uap air (H_2O), dan lain sebagainya. Komposisi gas alam sangat bervariasi dan tergantung dari sumbernya.^[9]

2.5.3 Macam-macam Gas Alam

Secara umum gas alam dapat dibedakan berdasarkan keberadaan bersama pengotor-pengotornya, yakni sebagai berikut^[9]:

1. *Wet gas*

Wet gas (gas basah) adalah gas yang di dalam reservoir banyak mengandung molekul-molekul hydrocarbon berat dan uap air. Jika gas tersebut mencapai permukaan, maka beberapa hidrokarbon dan uap air membentuk cairan dengan kondisi tekanan dan temperatur tertentu.

2. *Dry gas*

Dry gas (gas kering) adalah gas yang tidak banyak menandung hidrokarbon berat dan uap air, sehingga tidak banyak membentuk cairan ketika mencapai permukaan.

3. *Sour gas*

Sour gas adalah gas yang banyak mengandung senyawa-senyawa sulfur dan seperti hidrogen sulfida (H_2S). senyawa ini dapat merusak instalasi-instalasi operasi karena serangan korosi.

4. *Sweet gas*

Sweet gas adalah gas yang relatif tidak banyak mengandung senyawa-senyawa sulfur. Biasanya memiliki banyak kandungan CO_2 .

2.5.4 Sifat-sifat Fisik Gas Alam

Untuk keperluan perancangan maupun pengendalian operasi, maka mutlak diperlukan informasi ataupun data untuk mengetahui sifat-sifat gas alam yang

berkaitan dengan sifat termodinamika dan fluiditas gas alam. Karena komposisi yang sangat bervariasi, maka sifat-sifat fisik gas alam juga bervariasi sesuai dengan variasi komposisinya.

Cara yang terbaik untuk mengetahui sifat-sifat fisik gas alam adalah dengan cara menganalisa contoh gas. Setelah komposisi gas diketahui, kemudian sifat-sifat fisik dari masing-masing komponen murni dapat diketahui dari informasi data seperti literatur, laporan, dan sebagainya. Beberapa sifat-sifat fisik gas alam yang mempunyai peranan penting dalam *natural gas processing* diantaranya adalah sebagai berikut^[9]:

1. Kerapatan (*density*)
2. *Specific gravity*
3. Teperatur kritis
4. Tekanan uap
5. *Dew point*
6. Berat molekul
7. Kalor jenis
8. Viskositas
9. Konduktifitas termal, dan lain sebagainya.

2.5.5 Pengolahan Gas Alam (*Gas Treating/Processing*)

Gas alam yang baru keluar dari sumur harus diproses sebelum disalurkan dan didistribusikan kepada pihak-pihak terkait. Gas harus dilewatkan pada unit separator ataupun *processing plant* untuk memisahkan cairan hidrokarbon (kondensat) dan menghilangkan senyawa-senyawa pengotor yang terikut didalamnya. Beberapa unit separator atau *processing plant* yang sering digunakan untuk keperluan tersebut diantaranya adalah^[9]:

1. Separator

Separator adalah salah satu unit yang berfungsi untuk memisahkan kondensat atau *crude oil* dan *natural gasoline* yang terbawa oleh gas alam.

2. *Cycling plant*

Cycling plant merupakan sekumpulan peralatan yang berfungsi untuk mengekstraksi *natural gasoline*.

3. *Sweetening plant*

Sweetening plant adalah unit yang digunakan untuk menghilangkan pengotor-pengotor seperti hidrogen sulfida (H_2S), karbon dioksida (CO_2), hidrat, dan lain sebagainya.

2.5.6 Transmisi Gas Alam (Gas Transmision)

Untuk transportasi dan distribusi gas alam ke *plant* atau ke konsumen, pada umumnya banyak menggunakan sistem transmisi yang terdiri dari sistem perpipaan (*pipeline*) dan stasiun-stasiun kompresor. Disamping sarana tersebut, yang tidak kalah pentingnya adalah *metering system* yang digunakan untuk melakukan pencatatan jumlah gas yang didistribusikan kepada konsumen.

2.6 Korosi CO_2

Korosi CO_2 merupakan korosi yang diakibatkan oleh CO_2 yang terlarut di dalam air yang akan menimbulkan lingkungan yang bersifat asam (*sweet environment*)^[1]. Gas CO_2 ini tidak bersifat korosif jika berada dalam keadaan kering dan tidak terlarut dalam air. CO_2 yang terlarut di dalam air akan membentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang merupakan senyawa asam lemah yang sangat mudah terurai^[8]. Penguraian senyawa asam karbonat ini akan memicu terjadinya reaksi oksidasi pada material yang berada pada lingkungan tersebut. Korosi CO_2 ini sangat banyak ditemukan pada material material yang digunakan pada proses produksi dan eksplorasi minyak bumi dan gas alam.

Dalam produksi gas dan minyak, CO_2 selain H_2S merupakan salah satu faktor utama penyebab korosi internal. Karbon dioksida lebih dapat larut dibandingkan oksigen di air murni dan menjadi asam karbonat yang mempunyai pH di bawah 6 dimana serangan asam menjadi dominan. Lingkungan asam yang ditimbulkan dari korosi CO_2 ini mengakibatkan laju korosi material yang berada pada lingkungan ini lebih besar dari pada lingkungan yang mengandung O_2 ^[1,5]. Selain itu, kelarutan gas CO_2 dalam air juga lebih tinggi dari pada kelarutan gas O_2 . Hal ini juga mengakibatkan laju korosi material pada lingkungan yang mengandung CO_2 lebih besar dibandingkan lingkungan yang mengandung O_2 . Perbandingan kelarutan CO_2 dan O_2 dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan daya larut gas CO₂ dan O₂ ⁽¹⁾

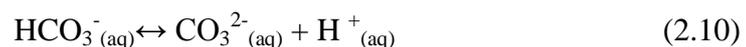
Temperature (C°)	CO ₂ (g/L)	O ₂ (g/L)
0	3.36	0.070
10	2.35	0.054
20	1.72	0.044
30	1.31	0.037
40	1.04	0.033
50	0.86	0.030
60	0.71	0.028
70		0.026
80		0.025

2.6.1 Mekanisme Korosi CO₂:

Secara umum, CO₂ yang terlarut dalam air akan terhidrasi dan pada tahapan selanjutnya akan membentuk senyawa asam karbonat dengan reaksi sebagai berikut ^[1,5]:

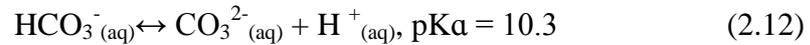
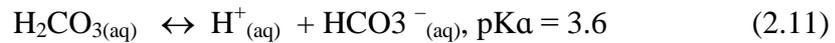


Asam karbonat terbentuk akan terdisosiasi menjadi *bicarbonate* dan ion karbonat melalui 2 tahap, dimana setiap tahapan akan menghasilkan ion hidrogen dengan persamaan reaksi sebagai berikut



Korosi CO₂ pada intinya merupakan masalah korosi yang disebabkan oleh asam karbonat. CO₂ menjadi bersifat korosif akibat adanya air sehingga akan membentuk asam karbonat. Asam karbonat ini sendiri merupakan asam lemah, dimana pada perubahan temperatur kamar kurang dari 0,1 % saja asam karbonat

ini akan terdisosiasi dengan reaksi 2.11 dan 2.12.



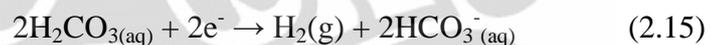
Jika korosi CO₂ dapat dikategorikan sebagai korosi yang diakibatkan oleh asam lemah, dimana baja terkorosi akibat reduksi dari H⁺ dan oksidasi dari Fe, seharusnya dari reaksi di atas tingkat korosif dari CO₂ sangat lemah, hal ini dikarenakan tingkat disosiasi yang rendah. Namun nyatanya, tingkat korosif dari asam karbonat adalah lebih tinggi dari nilai dari reaksi diatas. Pada pH tertentu, korosi yang terjadi pada baja lebih banyak disebabkan oleh larutan cair yang mengandung CO₂ dibandingkan dengan HCl. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa ion hidrogen merupakan unsur korosif utama dalam korosi CO₂.

Secara umum persamaan reaksi yang terjadi pada korosi yang diakibatkan oleh gas CO₂ yang terlarut dalam air adalah sebagai berikut^[10].

Anoda :



Katoda:



Kedua reaksi katoda di atas merupakan reaksi yang mempengaruhi total arus katodik pada korosi CO₂. Reaksi yang terjadi tergantung dari lingkungan korosif yang ada pada permukaan logam. Pada pH rendah (<4), reduksi hidrogen adalah reaksi katodik yang dominan. Sedangkan pada pH yang lebih tinggi (>4) reaksi reduksi langsung asam karbonat menjadi lebih dominan^[10]. Dari reaksi korosi yang terjadi, akan dihasilkan FeCO₃ sebagai produk korosi^[1,11].

FeCO₃ merupakan bentuk lapisan pelindung dalam beberapa kondisi yang bergantung pada beberapa faktor, antara lain adalah tekanan parsial CO₂, temperatur, risio air dan minyak (*water cut*), jenis aliran, sifat material, profil pipa, dan sifat kimia air^[11]. Korosi CO₂ dipengaruhi oleh sejumlah parameter seperti parameter lingkungan, parameter fisik dan variabel metalurgi. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan seperti sifat-sifat fluida, temperatur, bentuk

permukaan material, sifat kimia material, dan komposisi CO_2 ^[1,11]

2.6.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi CO_2

2.6.2.1 Parameter Lingkungan

1. *Supersaturation* (Lewat Jenuh)

Nilai *supersaturation* memegang peranan penting dalam pembentukan dan stabilitas dari lapisan protektif. *Supersaturation* didefinisikan sebagai “ $\log \frac{[A^+][B^-]}{K_{sp}}$ ”, pada sistem garam AB yang *insoluble* dengan reaksi $AB = [A^+] + [B^-]$, dimana $[A^+]$ dan $[B^-]$ dalam bentuk ion dan K_{sp} sebagai tetapan kelarutan^[1]. Nilai *supersaturation* dari ion A^+ dan B^- yang tinggi akan mendorong terjadinya pengendapan dan pembentukan lapisan pada permukaan material yang nantinya akan menurunkan laju korosi^[12]. Penurunan laju korosi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu^[12] :

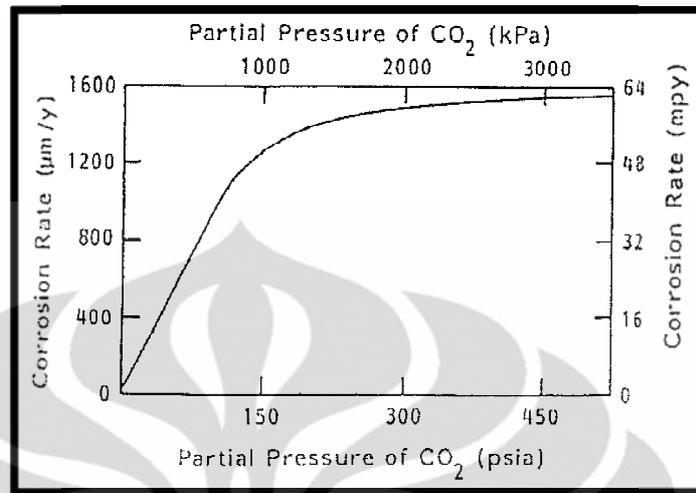
- Pembentukan *diffusion barrier* antara permukaan material dengan media korosi yang ada.
- Pembentukan *low porosity protective layer*, yang akan mengakibatkan jumlah permukaan material yang terekspos ke lingkungan semakin kecil sehingga area yang terkorosi semakin sedikit.

Kelarutan FeCO_3 untuk mencapai batas kejenuhan tergantung pada temperatur, batas kejenuhan dicapai pada konsentrasi Fe^{2+} yang rendah pada perubahan temperatur yang kecil sehingga akan memfasilitasi terbentuknya FeCO_3 ^[11].

2. Tekanan Parsial CO_2

Tekanan parsial CO_2 sebanding dengan jumlah mol CO_2 yang dapat terlarut dalam air. Pada saat tidak ada lapisan korosi yang terbentuk pada permukaan material, peningkatan tekanan parsial CO_2 akan mengakibatkan laju korosi menjadi meningkat^[13]. Peningkatan tekanan parsial CO_2 , mengakibatkan reaksi reduksi asam karbonat menjadi meningkat akibat peningkatan konsentrasi asam karbonat yang terbentuk pada lingkungan. Pada pembentukan lapisan FeCO_3 , peningkatan tekanan parsial CO_2 akan membantu proses pembentukan. Peningkatan tekanan parsial CO_2 akan meningkatkan konsentrasi CO_3^{2-} dan kejenuhan FeCO_3 sehingga mempercepat terbentuknya lapisan FeCO_3 ^[5]. Grafik pengaruh tekanan

partial CO₂ terhadap laju korosi dari CO₂ dapat dilihat pada gambar 2.3^[5]



Gambar 2.3 Grafik pengaruh tekanan parsial CO₂ terhadap laju korosi baja karbon^[5].

Secara umum korosi CO₂ dapat diperkirakan dengan aturan sebagai berikut^[1,12].

- Tekanan parsial CO₂ 30 psi, laju korosinya kecil dari 0.1 mm/yr.
- Tekanan parsial CO₂ 7-30 psi, laju korosinya berkisar antara 0.1 mm/yr – 1 mm/yr .
- Tekanan parsial CO₂ 7 psi, laju korosinya besar dari 1 mm/yr.

Dimana tekanan parsial didapatkan dari perkalian fraksi mol CO₂ dengan tekanan total dari sistem lingkungan, dengan persamaan rumus berikut :

$$\text{CO}_2 \text{ PP} = \frac{(\text{Total pressure} \times \text{CO}_2 \text{ in mol \%})}{100} \quad [2.1]$$

100

3. Pengaruh H₂S

H₂S dapat meningkatkan laju korosi CO₂ dengan berperan sebagai pembentuk lapisan yang non-protektif pada permukaan logam. Dari beberapa penelitian diperoleh bahwa pada kadar H₂S di bawah 30 ppm dalam lingkungan CO₂ jenuh laju korosi akan meningkat. Hal ini akibat FeS yang terbentuk mengganggu pembentukan lapisan FeCO₃, membentuk cacat pada lapisan, menyebabkan korosi yang terlokalisir. Begitupun pada kadar H₂S yang ditingkatkan dan pada temperatur di atas 60°C, terbentuk

lapisan protektif dan menurunkan laju korosi^[14,15].

4. pH Lingkungan

pH lingkungan merupakan derajat keasaman dari lingkungan yang mengindikasikan konsentrasi H^+ dalam lingkungan tersebut. Perubahan pH lingkungan akan berpengaruh kepada laju korosi baja dalam lingkungan^[16]. Semakin rendah nilai pH, maka laju korosi akan semakin tinggi. Pada korosi CO_2 , pH akan menentukan reaksi dominan yang terjadi. Pada pH rendah (<4), reaksi reduksi hidrogen merupakan reaksi yang dominan. Sedangkan pada pH tinggi (>4), reaksi yang dominan adalah reduksi langsung dari asam karbonat^[10].

Dalam korosi CO_2 , pH lingkungan juga mempengaruhi pembentukan lapisan produk korosi ($FeCO_3$)^[13]. Lapisan korosi akan sangat mudah terbentuk pada pH tinggi. Pada pH tinggi kelarutan dari $FeCO_3$ akan menurun sehingga akan mengakibatkan peningkatan laju pengendapan dari lapisan $FeCO_3$. Pembentukan lapisan $FeCO_3$ yang cepat akan berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon dalam lingkungan CO_2 .

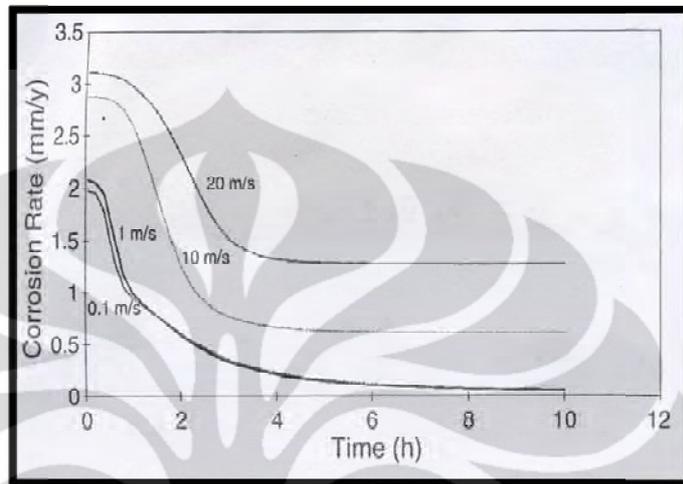
2.6.2.2 Parameter fisik

1. Laju Aliran Fluida

Laju aliran menjadi faktor penting dalam korosi CO_2 . Laju aliran akan mempengaruhi transfer massa dan muatan yang sehingga akan berpengaruh pada kinetika proses korosi dalam lingkungan tersebut^[16]. Laju aliran juga akan mempengaruhi terhadap pembentukan lapisan pelindung dan laju korosi baja. Pertama, laju aliran dapat mencegah pembentukan lapisan pelindung karena dapat menurunkan kejenuhan lingkungan. Kedua, laju aliran dapat menimbulkan kerusakan lapisan korosi sehingga memungkinkan terjadinya kontak antara permukaan baja dengan lingkungan yang korosif^[1].

Pada laju aliran yang cukup tinggi, lapisan proteksi yang terbentuk pada permukaan logam akan semakin sedikit. Pada lingkungan dengan laju aliran yang sangat tinggi, akan terjadi kerusakan dan terlepasnya lapisan proteksi^[10,16]. Hal ini dapat meningkatkan laju korosi baja pada lingkungan

tersebut. Selain itu, jika kerusakan lapisan pelindung ini terjadi dapat menimbulkan korosi setempat (*localized corrosion*), seperti korosi sumuran (*pitting corrosion*) pada permukaan baja. Pengaruh laju aliran terhadap laju korosi CO_2 dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Grafik hubungan laju aliran dengan laju korosi CO_2 [5]

2. *Water Wetting / Water Cut*

Water wetting atau *Water Cut* adalah rasio antara jumlah kandungan air dalam fluida. Korosi CO_2 terjadi pada saat adanya air dalam lingkungan CO_2 yang mengakibatkan CO_2 menjadi terhidrasi. Intensitas dari korosi CO_2 tergantung dari lamanya waktu kontak antara air dengan permukaan baja. Semakin tinggi nilai *water wetting*, maka korosi CO_2 yang terjadi akan semakin meningkat akibat peningkatan jumlah konsentrasi asam karbonat yang dihasilkan [1].

3. Karakteristik Lapisan Korosi

Korosi CO_2 pada baja karbon sangat tergantung dari lapisan korosi yang terbentuk pada permukaan logam. Lapisan korosi yang terbentuk dapat berfungsi sebagai lapisan proteksi bagi logam sehingga akan menurunkan laju korosi logam pada lingkungan CO_2 . Keefektifan lapisan proteksi yang dihasilkan tidak tergantung pada ketebalan lapisan tetapi tergantung pada struktur dan morfologi dari lapisan tersebut [17,18]. Lapisan FeCO_3 merupakan lapisan proteksi yang sangat efektif bagi baja pada lingkungan yang mengandung CO_2 .

2.6.2.3 Parameter Metalurgi

Komposisi kimia, perlakuan panas, dan mikrostruktur merupakan faktor penting yang mempengaruhi korosi dari baja karbon pada lingkungan yang mengandung CO₂. Penambahan beberapa elemen paduan pada baja karbon akan meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Penambahan Cr dan Mo akan meningkatkan ketahanan korosi, penambahan Cu, Ni, Cr, dan Mo akan meningkatkan potensial korosi baja karbon, serta penambahan Cu juga dapat meningkatkan efisiensi dari inhibitor yang diberikan kepada baja karbon sebagai metode proteksi. Penambahan elemen-elemen paduan seperti V, Ti, Mo, Cu, dan Cr merupakan perlindungan secara metalurgi yang paling efektif terhadap baja karbon yang digunakan pada *downhole* dan *transportation facilities*^[19,20].

2.7 Pengaruh Lapisan Korosi terhadap Laju Korosi CO₂

Laju korosi dapat dihubungkan dengan laju pembentukan dan kestabilan lapisan film pada permukaan logam. Produk hasil korosi (*corrosion scale*), bila terbentuk dalam kondisi tertentu dapat memberikan perlindungan yang superior terhadap material. Perlindungan yang diberikan tidak bergantung pada ketebalan lapisan yang dihasilkan karena perlindungan diakibatkan oleh struktur dan morfologi dari produk korosi tersebut^[17,18].

Lapisan FeCO₃ merupakan lapisan yang paling umum terbentuk pada korosi CO₂. Lapisan ini merupakan yang terpenting dalam mekanisme penghambatan laju korosi pada korosi CO₂. Pembentukan lapisan protektif menghambat transport produk reaksi dari permukaan. Lapisan ini juga menghambat reaksi difusi yang terjadi pada sel elektrokimia yang terbentuk. Kekuatan ikatan serta ketebalan lapisan bergantung dari mikrostruktur logam^[11].

Beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan lapisan FeCO₃ antara lain :

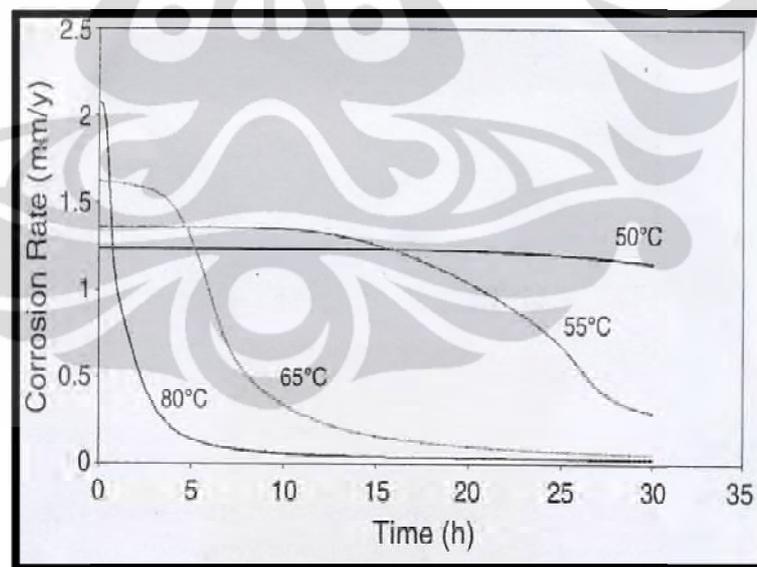
1. Temperatur

Meningkatnya temperatur akan meningkatkan rekatifitas dari sistem sehingga akan meningkatkan laju korosi. Selain itu, temperatur juga dapat mempengaruhi pembentukan lapisan FeCO₃. Kinetika pembentukan lapisan FeCO₃ dipengaruhi oleh temperatur. Pengaruh temperatur terhadap

pembentukan lapisan FeCO_3 dan laju korosi adalah sebagai berikut^[1].

- Pada kondisi temperatur rendah ($<75^\circ\text{C}$), laju pembentukan lambat, dan keefektifan lapisan rendah. Pada temperature rendah dibawah 75°C proteksi yang diberikan FeCO_3 akan sangat rendah.
- Pada temperatur antara 75°C sampai 100°C , reaksi pengendapan mulai mempengaruhi reaksi korosi. Akibat dari reaksi pembentukan ini, beberapa penelitian menyimpulkan bahwa laju korosi maksimum baja karbon pada lingkungan yang mengandung CO_2 terjadi pada temperatur 60°C - 70°C ^[21,22].
- Pada temperatur tinggi, $>100^\circ\text{C}$, pengendapan berlangsung dengan sangat cepat. Ion-ion Fe yang dilepas oleh reaksi korosi dengan cepat terendapkan kembali pada permukaan baja karbon membentuk lapisan protektif.

Pengaruh temperatur terhadap laju korosi pada lingkungan CO_2 dapat dilihat pada gambar 2.5.

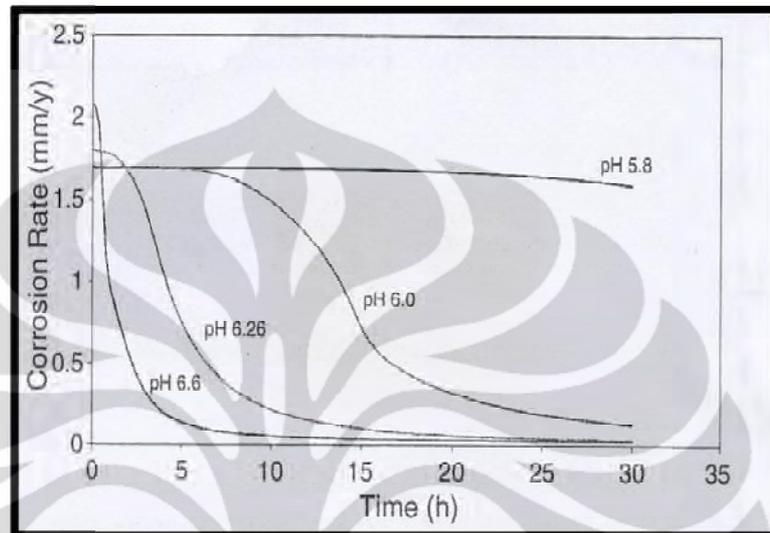


Gambar 2.5 Grafik hubungan temperatur dengan laju korosi CO_2 ^[5]

2. pH

pH merupakan faktor yang sangat penting dalam pembentukan endapan FeCO_3 . pH dari larutan akan mempengaruhi kelarutan dari FeCO_3 . Peningkatan nilai pH akan menurunkan kelarutan FeCO_3 yang akan mendorong terjadinya pengendapan. Lapisan FeCO_3 akan bersifat sangat

protektif pada lingkungan dengan pH di atas 5,5^[12]. Oleh karena itu, dengan kenaikan nilai pH akan menurunkan laju korosi material dalam lingkungan yang mengandung CO₂. Pengaruh pH terhadap laju korosi dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik pengaruh pH terhadap laju korosi CO₂^[5]

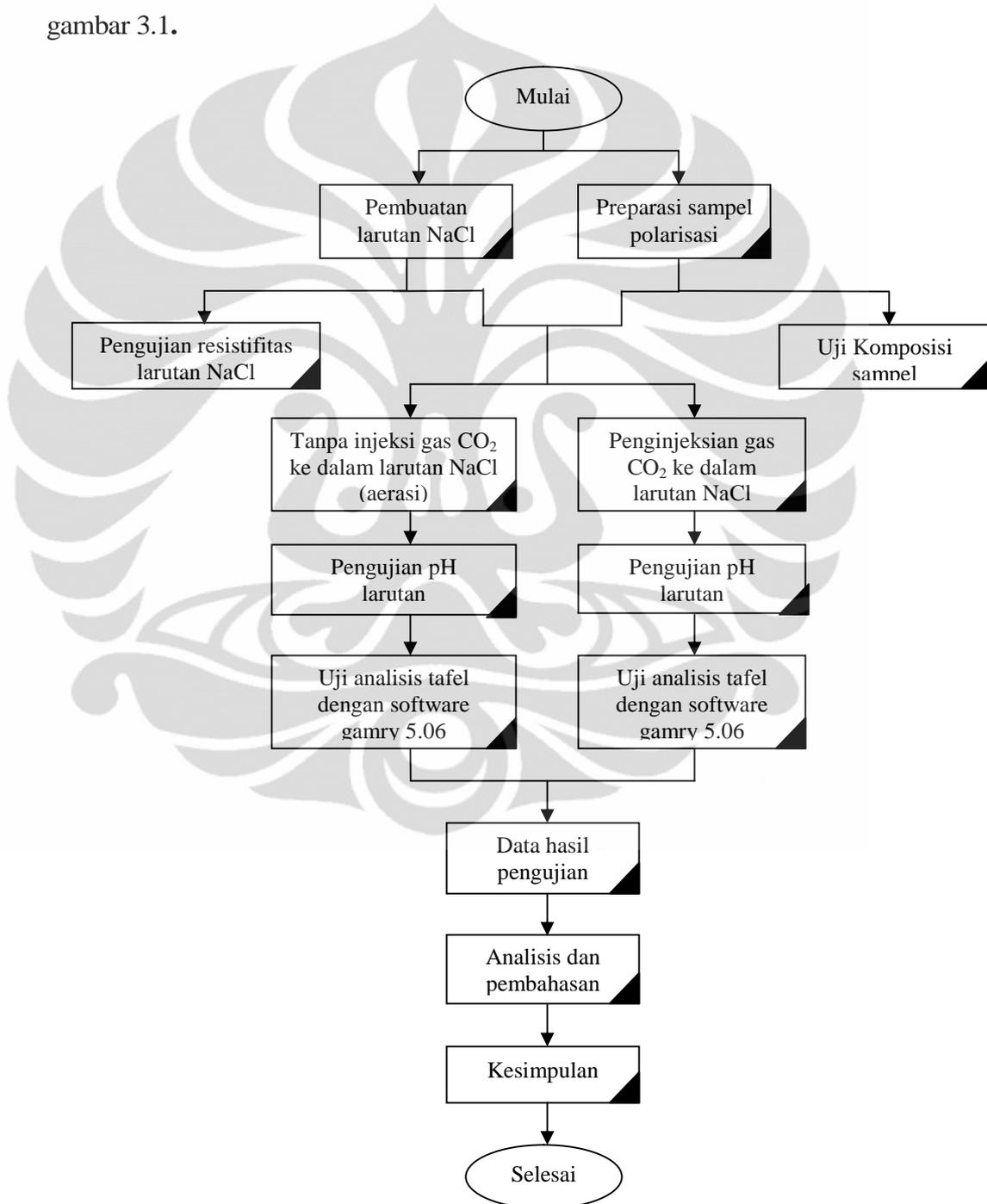
3. Konsentrasi Fe²⁺

Pembentukan FeCO₃ terjadi pada kondisi dimana konsentrasi ion Fe²⁺ dalam fasa aqueous melewati batas kelarutan FeCO₃. Apabila konsentrasi dari ion Fe²⁺ yang berada di bawah kelarutan FeCO₃, maka tidak akan terbentuk lapisan proteksi dari FeCO₃ dipermukaan logam^[1]. Perubahan 30 ppm Fe²⁺ akan mengakibatkan perubahan laju korosi pada level yang sama sesuai dengan perubahan konsentrasi 2 bar CO₂ pada temperatur 90 °C^[16]. Oleh karena itu, konsentrasi dari Fe²⁺ dalam larutan akan berpengaruh terhadap pembentukan lapisan proteksi FeCO₃ dan laju korosi baja pada lingkungan yang mengandung CO₂.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir yang menunjukkan urutan pelaksanaan kegiatan penelitian dan urutan kegiatan pengujian yang dilakukan pada penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan

1. *Software Gamry 5.06*
2. *Softaware Gamry Echem Analysis*
3. *AEMC Resistance Tester*
4. *Spectroscopy*
5. pH meter
6. pH universal
7. Sel polarisasi
8. Elektroda standar Hg/HgCl₂
9. Anoda grafit
10. Regulator gas
11. Termometer
12. Timbangan digital
13. *Magnetic stearer*
14. Solder
15. Beaker Glass 500 dan 1000 ml
16. Pipet tetes
17. Cawan petri
18. Kertas amplas 100#, 240#, 400#, dan 600#
19. Kamera digital

3.2.2 Bahan

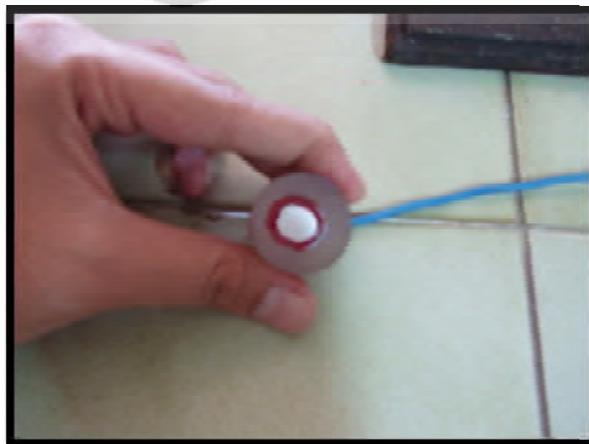
1. Sampel Ø 10 mm Baja Karbon API 5L X-52
2. Kabel Ø1.5-mm
3. Hardener
4. Resin
5. Timah Solder
6. Gas CO₂
7. Garam NaCl
8. Larutan buffer pH meter
9. Aquades

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah baja API 5L X-52. Sampel yang digunakan merupakan baja karbon yang digunakan sebagai pipa untuk *pipeline* ataupun *flowline*, sesuai dengan standar API 5L, *Standar Specification for Line Pipe*. Preparasi sampel pengujian dilakukan dengan tahapan berikut ini :

1. Material yang awalnya berukuran cukup besar dipotong dengan penampang berbentuk persegi berukuran 1.5x1.5 cm dan ketebalan sesuai dengan ketebalan awal material.
2. Selanjutnya, material dibubut membentuk *cylinder* berdiameter 1 cm.
3. Kemudian, sampel yang telah memiliki penampang lingkaran disolder untuk menghubungkan kabel dengan sampel uji yang nantinya akan digunakan untuk penghubung sampel dengan software.
4. Selanjutnya sampel di mounting untuk memberikan pegangan pada sampel. Selain itu, tujuan dimounting adalah agar pada waktu proses pengujian menggunakan *software* bagian sampel yang terekspos hanya bagian permukaan saja. Bentuk penampang sampel yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.
5. Kemudian sampel yang telah di mounting, diampelas permukaannya menggunakan kertas ampelas 100#, 320#, 400#, dan 600#. Permukaan sampel diampelas untuk menghilangkan lapisan oksida yang ada pada permukaan sampel sesuai dengan Standar ASTM G 1-03.



Gambar 3.2 Penampang sampel uji

3.3.2 Pembuatan Larutan Uji

Pada percobaan kali ini, larutan uji yang digunakan adalah larutan garam NaCl dengan konsentrasi 0.5, 1.5, 2.5, dan 3,5 %. Cara pembuatan larutan uji ini adalah sebagai berikut:

1. Penimbangan serbuk garam NaCl menggunakan timbangan digital dengan berat 5 gr, 15 gr, 25 gr, dan 35 gr untuk membuat larutan NaCl 0.5, 1.5, 2.5, dan 3,5 %.
2. Setelah didapatkan berat yang sesuai, serbuk NaCl dilarutkan ke dalam ± 1000 ml aquadest.
3. Letakan larutan di atas *magnetic stirrer* untuk mendapatkan larutan yang homogen sampai seluruh garam terlarut sempurna.
4. Setelah garam terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian-pengujian selanjutnya.

3.3.3 Pengujian Komposisi Sampel

Pengujian komposisi sampel bertujuan untuk mengetahui komposisi dari sampel baja karbon API 5L X-52 yang digunakan pada pengujian ini. Hasil dari pengujian yang dilakukan akan dibandingkan dengan standar spesifikasi dari baja API 5L X- 52, sesuai dengan Standar API 5L, *Standar Specification for Line Pipe*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Optical Emission Spectrometer*. Pengujian ini dilakukan di CMPFA Departemen Metalurgi dan Material FTUI.

3.3.4 Pengujian pH Larutan

Pengujian pH dilakukan untuk mengetahui derajat keasaman larutan. Pada penelitian ini, pengujian pH dilakukan pada larutan NaCl teraerasi dan NaCl yang mengandung CO₂. Pada larutan yang mengandung CO₂, pengujian pH larutan dilakukan pada saat sebelum dan sesudah penginjeksian gas CO₂. Hal ini dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan CO₂ terhadap pH larutan.

Pengujian nilai pH dilakukan dengan menggunakan pH meter dan kertas pH universal. Pengujian dengan pH meter dilakukan dengan mencelupkan pH meter ke dalam larutan yang akan diuji hingga mendapatkan nilai pH yang

stabil. Nilai pH dari larutan yang diuji dapat diamati pada layar yang terdapat pada pH meter tersebut. Sedangkan pada pengujian pH menggunakan kertas pH dilakukan dengan mencelupkan kertas pH ke dalam larutan dan pembacaan dilakukan dengan mencocokkan warna yang dihasilkan dengan warna standar masing-masing pH.

3.3.5 Pengujian Resistifitas Larutan NaCl

Pengujian resistifitas dilakukan untuk mengetahui resistifitas larutan yang digunakan pada pengujian ini. Melalui pengujian resistifitas larutan akan dapat diketahui nilai konduktifitas dari larutan tersebut. Dimana nilai konduktifitas berbanding terbalik dengan resistivitasnya.

$$G = 1/R \quad (3.1)$$

Dimana : G = Konduktifitas listrik (Siemens/cm)

R = Resistifitas Listrik (Ohm/cm)

Pengujian resistivitas larutan dilakukan dengan menggunakan *AEMC Resistance Tester*. Pengujian dilakukan dengan mengambil 400 ml larutan uji untuk dimuat pada kotak uji, dapat dilihat pada gambar 3.3. Pengujian dilakukan berulang pada konsentrasi NaCl 0.5, 1.5, 2.5, dan 3.5 %. Dari hasil pengujian akan didapatkan nilai resistifitas setiap larutan sehingga akan diketahui pengaruh konsentrasi NaCl terhadap resistifitas larutan NaCl.

Hasil yang didapatkan dari *AEMC Resistance tester* merupakan nilai hambatan dari larutan (resistance). Nilai hambatan ini harus dikonversikan untuk mendapatkan nilai tahanan listrik dari larutan. Konversi dilakukan menggunakan persamaan 3.2 berikut ini.

$$R = \frac{\rho \times L}{W \times D} \quad (3.2)$$

Dimana L , W , dan D merupakan panjang, lebar, dan tinggi dari soil resistance box (gambar 3.7) dalam satuan cm, dan ρ adalah nilai resistifitas yang didapatkan dari pengujian dalam satuan ohm (Ω). Rangkaian pengujian resistifitas menggunakan *AEMC Resistance Tester* dilakukan dengan rangkaian yang dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.3 *Soil resistance box*



Gambar 3.4 Rangkain pengujian resistifitas larutan

3.3.6 Pengujian Laju Korosi

Pengujian dilakukan menggunakan uji analisis tafel dengan menggunakan *software GAMRY 5.06*. Pengujian dilakukan sesuai dengan Standar ASTM G59 – 97 (2009), *Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements*. Pengujian untuk mendapatkan kurva *Tafel* dilakukan dengan memasukkan terlebih dahulu kondisi pengujian dan spesifikasi sampel. Setelah langkah tersebut dilakukan, pengujian polarisasi *Tafel* dapat dimulai. Setelah pengujian selesai, data dan grafik pengujian dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan grafik E (potensial) vs $\log I$ (rapat arus).

3.3.6.1 Pengujian Laju Korosi Baja Karbon pada Larutan NaCl Teraerasi dengan Metode Polarisasi Analisis Tafel

Pengujian laju korosi baja karbon dilakukan menggunakan analisis *tafel* pada *software* pengujian polarisasi GAMRY 5.06. Langkah – langkah yang dilakukan dalam pengujian *Tafel* :

1. Menyiapkan larutan garam NaCl 0.5, 1.5, 2.5, dan 3,5 %.
2. Penyusunan rangkaian sesuai dengan standar rangkaian pengujian polarisasi yaitu : *specimen holder*, *electrode standar*, *auxiliary electrode* dan *working electrode* pada instrumen pengukur polarisasi.



Gambar 3.5 Skema pengujian polarisasi dalam NaCl teraerasi

3. Menyiapkan komputer dengan program *GAMRY 5.06 (corrosion measurement system)* dan pilih menu *eksperimen* dengan program *tafel*.
4. Memasukkan data-data pengujian pada intrumen (*setting*), luas permukaan sampel, *density*, *equivalent weight*, *scan rate* dan jangkauan potensial (-)250 – (+)250 mV terhadap *open potential (Eoc)*.
5. Setelah 18 menit, akan diperoleh kurva *tafel* dari sampel uji.
6. Selanjutnya, pilih menu analisis yang ada pada *toolbar* untuk menganalisis kurva polarisasi yang telah diperoleh.

3.3.6.2 Pengujian laju korosi baja karbon pada larutan NaCl dengan kandungan CO₂ jenuh dengan metode polarisasi analisis tafel

Langkah – langkah yang dilakukan dalam pengujian *Tafel* baja karbon dalam lingkungan NaCl yang mengandung CO₂ adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan larutan garam NaCl 0.5, 1.5, 2.5, dan 3,5 %.
2. Melakukan injeksi CO₂ ke dalam larutan NaCl yang telah disiapkan sampai jenuh, lebih kurang selama 60 menit.
3. Melakukan pengukuran pH larutan NaCl yang telah mengandung CO₂ jenuh.
4. Penyusunan rangkaian sesuai dengan standar rangkaian pengujian polarisasi yaitu : *specimen holder*, *electrode standar*, *auxiliary electrode* dan *working electrode* pada instrumen pengukur polarisasi.



Gambar 3.6 Skema pengujian polarisasi dalam NaCl yang mengandung CO₂

5. Menyiapkan komputer dengan program GAMRY 5.06 (*corrosion measurement system*) dan dipilih folder *eksperimen* dengan program *tafel*.
6. Memasukkan data-data pengujian pada instrumen (*setting*), luas permukaan sampel, *density*, *equivalent weight*, *scan rate* dan jangkauan potensial (-)250 – (+)250 mV terhadap *open potential*(*Eoc*).
7. Setelah 18 menit, akan diperoleh kurva tafel dari sampel uji.
8. Selanjutnya, pilih menu analisis yang ada pada *toolbar* untuk menganalisis kurva polarisasi yang telah diperoleh.

3.3.7 Analisis Kurva Polarisasi

3.3.7.1 Analisis menggunakan software *Gamry Echem Analysis*

Analisis dengan menggunakan *software Gamry Echem analysis* dilakukan untuk mendapatkan laju korosi dari sampel uji. Dengan melakukan tahap-tahap yang telah ditentukan akan langsung diketahui nilai laju korosi sampel uji. Akan tetapi, nilai laju korosi yang didapatkan tidak menggambarkan laju korosi yang sebenarnya akibat beberapa kelemahan dari software analisis ini. Oleh karena itu, nilai laju korosi yang didapatkan harus dibandingkan dengan perhitungan manual untuk memastikan nilai laju korosi yang telah didapatkan dari analisis ini.

3.3.7.2 Analisis manual

Analisis secara manual dilakukan juga untuk mengetahui laju korosi sampel yang telah dilakukan pengujian analisis *tafel*. Pada analisis ini dilakukan perhitungan manual terhadap kurva polarisasi yang didapat dari pengujian. Hasil dari perhitungan manual akan dibandingkan dengan laju korosi yang didapat dari *software* analisis, sehingga dapat memastikan nilai laju korosi yang diperoleh.

Perhitungan dilakukan dengan membuat perpotongan antara garis linear antara kurva anodik dan kurva katodik yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi. Perhitungan manual ini dilakukan sesuai dengan Standar ASTM G 102-89, *Standard practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurement*.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon API 5L X-52. Pengujian komposisi baja dilakukan dengan pengujian *Optical Emission Spectrometer* di CMPFA (*Center for Material Processing and Failure Analysis*), Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Hasil pengujian komposisi baja API 5L X-52 yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komposisi sampel baja API 5L X-52

Fe(%)	C(%)	Si(%)	Mn(%)	Cr(%)	Al(%)
99.07	0.14	0.011	0.662	0.0207	0.047
Ni(%)	Co(%)	Ti(%)	Cu(%)	Nb(%)	V(%)
<0.005	<0.033	0.0186	0.087	<0.002	<0.002

Baja API 5L X-52 merupakan baja karbon yang digunakan sebagai material pipa, baik *flowline* maupun *pipeline*. Baja ini distandarkan dalam Standar API 5L, *Specification for Line pipe*. Baja Api 5L X-52 ini sangat luas aplikasinya pada dunia minyak dan gas alam, salah satunya sebagai *pipeline* dan *flowline* penyalur fluida hasil eksplorasi dan gas alam. Selain itu, baja API X-52 juga banyak digunakan pada bidang konstruksi dan pembangkit listrik.

4.2 Resistifitas dan Konduktifitas Larutan

Pengujian resistifitas larutan bertujuan untuk mengetahui nilai resistifitas dari larutan NaCl dan membandingkan dengan larutan NaCl lainnya yang memiliki konsentrasi yang berbeda. Dari pengujian ini juga akan didapatkan nilai konduktifitas larutan NaCl dengan menkonverikan nilai resistifitas yang diperoleh dari pengujian. Pengujian dilakukan pada larutan 0.5; 1.5; 2.5; dan 3.5 %wt NaCl. Pengujian dilakukan pada larutan NaCl teraerasi dan NaCl yang mengandung gas CO₂. Hasil pengujian resistifitas terhadap masing-masing larutan uji dapat dilihat pada tabel 4.2.

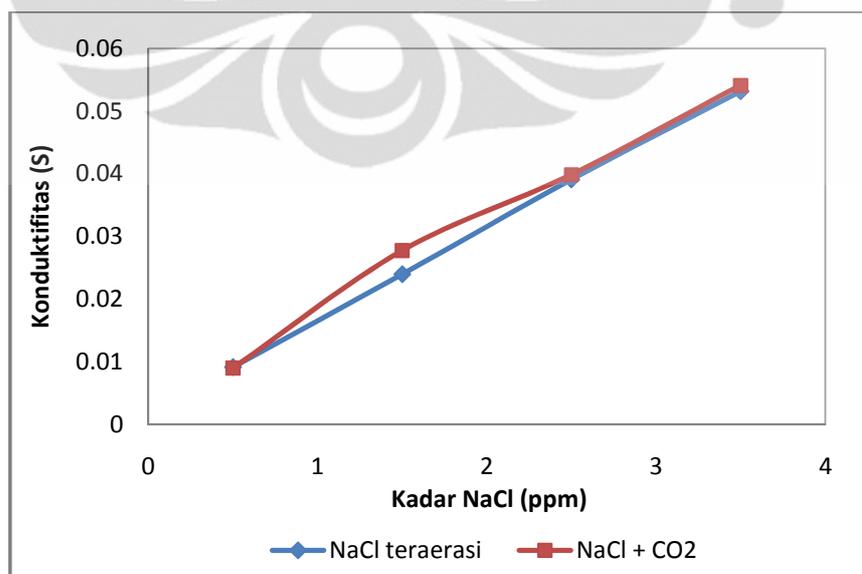
Tabel 4.2 Hasil pengujian resistifitas larutan NaCl

Konsentrasi NaCl (%)	Resistifitas NaCl teraerasi (Ω)				Resistifitas NaCl + CO ₂ (Ω)			
	1	2	3	Average	1	2	3	Average
0.5	109.4	109.2	109.1	109.23	111	111.1	111	111.17
1.5	41.7	41.7	41.6	41.67	36	36	36.1	36.03
2.5	25.7	25.8	25.8	25.57	25.2	25	25	25.07
3.5	18.8	18.8	18.8	18.8	18.5	18.5	18.4	18.47

Dengan mengkonversikan nilai resistifitas yang didapatkan dari pengujian akan diperoleh nilai konduktifitas larutan sebagai berikut. Dimana nilai konduktifitas larutan berbanding terbalik dengan nilai resistifitas dari larutan tersebut.

Tabel 4.3 Nilai konduktifitas larutan NaCl

Konsentrasi NaCl (%)	Konduktifitas NaCl teraerasi (S)				Konduktifitas NaCl + CO ₂ (S)			
	1	2	3	Average	1	2	3	Average
0.5	0.0091	0.0092	0.009	0.0091	0.01	0.009	0.01	0.0089
1.5	0.024	0.024	0.024	0.0239	0.03	0.028	0.03	0.0277
2.5	0.0389	0.0388	0.039	0.0391	0.04	0.04	0.04	0.0398
3.5	0.0532	0.0532	0.053	0.0531	0.05	0.054	0.05	0.0541

**Gambar 4.1** Grafik konduktifitas larutan NaCl

Pada gambar 4.1 terlihat dengan kenaikan konsentrasi NaCl dalam larutan akan meningkatkan konduktivitas larutan baik pada larutan NaCl teraerasi maupun larutan NaCl yang mengandung CO₂. Garam NaCl yang terlarut sempurna dalam air akan terionisasi menjadi ion-ion Na⁺ dan Cl⁻. Dimana kedua ion tersebut akan saling menerima dan melepas elektron agar muatannya netral. Oleh karena itu, jika sepasang elektroda dicelupkan ke dalam larutan NaCl, proses redoks dapat berjalan dengan baik akibat akseptor dan donor elektron dalam larutan sehingga arus listrik dapat mengalir. Semakin banyak ketersediaan anion-kation yang bergerak bebas dalam larutan maka semakin konduktif larutan tersebut.^[23]

Konduktivitas larutan elektrolit akan mempengaruhi kecepatan transfer elektrik dalam elektrolit tersebut. Semakin baik kemampuan elektrolit tersebut untuk mentransferkan muatan maka semakin baik konduktivitas larutan. Dalam reaksi elektrokimia, kecepatan reaksi akan sangat tergantung dari konduktivitas dari larutan elektrolit. Konduktivitas yang baik akan mengakibatkan reaksi elektrokimia berlangsung dengan cepat sehingga kinetika proses korosi material akan berlangsung dengan cepat^[6].

4.3 pH Larutan

Pengujian pH dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan NaCl dan CO₂ terhadap pH larutan uji. Pengukuran pH dilakukan pada masing-masing larutan NaCl baik pada lingkungan teraerasi dan lingkungan yang mengandung CO₂. Pengujian pH larutan larutan NaCl teraerasi dilakukan sebelum dilakukan pengujian polarisasi. Sedangkan pengujian pH larutan NaCl yang mengandung CO₂ dilakukan 2 kali, yaitu sebelum injeksi CO₂ dan setelah injeksi CO₂. Hasil dari pengujian pH larutan dapat dilihat pada tabel 4.4.

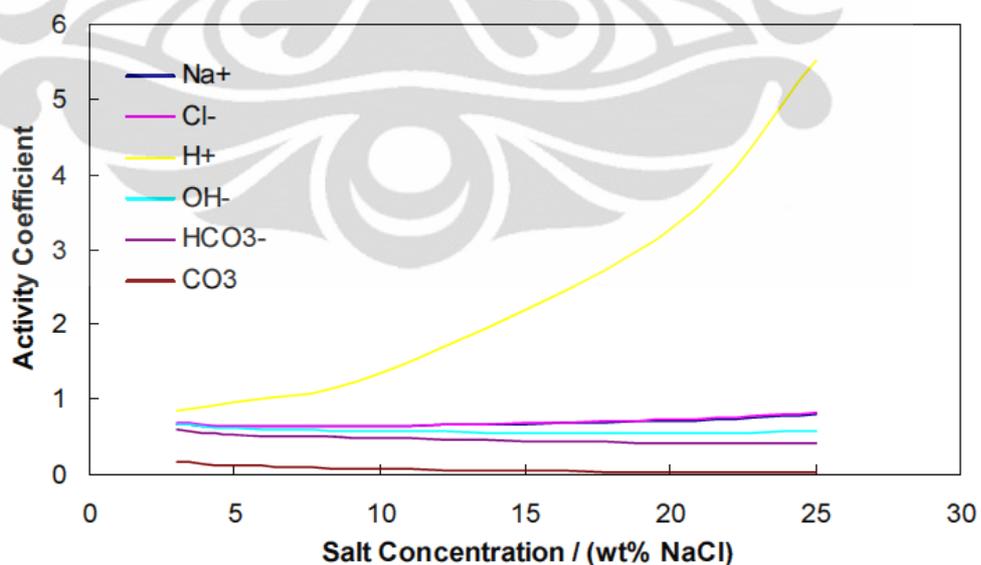
Tabel 4.4 Nilai pH larutan NaCl

Konsentrasi NaCl (%)	NaCl Teraerasi	NaCl Sebelum injeksi CO ₂	NaCl Setelah injeksi CO ₂
0.5	6.8	6.8	4.2
1.5	6.8	6.8	4.1
2.5	6.8	6.8	4
3.5	6.8	6.8	4

Berdasarkan pada hasil pengujian, terlihat bahwa pH larutan NaCl teraerasi dan larutan NaCl sebelum injeksi CO₂ adalah netral. Pada dasarnya, NaCl merupakan suatu senyawa garam yang memiliki pH netral, sehingga pada saat dilarutkan ke dalam aquades yang memiliki pH netral tidak akan mengubah pH dari larutan aquades^[24].

Pada larutan NaCl yang diinjeksikan CO₂ sampai jenuh, injeksi CO₂ akan menurunkan pH larutan. Hal ini sesuai dengan mekanisme dari korosi CO₂, dimana interaksi antara CO₂ dan fasa aqueous akan merubah lingkungan menjadi bersifat asam (*sweet environment*)^[1,5]. Oleh karena itu, penginjeksian CO₂ ke dalam larutan NaCl akan menurunkan pH larutan menjadi lebih asam, dimana pada pengujian ini pH larutan menjadi 4.

Jika dilihat dari kelarutan CO₂ dalam larutan NaCl, tentunya dengan kenaikan konsentrasi NaCl akan meningkatkan pH larutan karena menurunnya kelarutan CO₂ dalam larutan tersebut. Namun, pada pengukuran ini dengan kenaikan kadar NaCl menurunkan pH larutan setelah diinjeksi CO₂. Hal ini sesuai dengan teori pitzer untuk menghitung komposisi kimia larutan, dimana aktivitas ion yang terdapat pada larutan NaCl dengan kandungan CO₂ dapat dilihat pada gambar 4.2^[10,25].



Gambar 4.2 Aktifitas ion dalam larutan NaCl, pCO₂ 1 atm^[10].

Berdasarkan pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa, dengan kenaikan konsentrasi NaCl aktifitas ion H⁺ akan cenderung meningkat dan dominan jika

dibandingkan dengan aktifitas ion lainnya^[10]. Hal inilah yang mengakibatkan menurunnya pH larutan NaCl seiring kenaikan konsentrasi NaCl dengan kandungan CO₂ jenuh.

4.4 Analisis Laju Korosi Baja Karbon

Pengujian analisis *tafel* dilakukan untuk mengetahui perilaku korosi dan laju korosi baja karbon dalam suatu larutan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *software* Gamry 5.06, dimana kecepatan membaca titik satu ke yang lainnya (*scan rate*) diatur sebesar 0.5 mV/detik terhadap potensial korosi (*E_{oc}*). *Standard elektrode* yang digunakan adalah *Standard Calomel Elektrode* yang memiliki satuan konversi +0.24 vs SHE. *Counter Elektrode* yang digunakan adalah Anoda Grafit. Dari pengujian yang dilakukan akan diperoleh kurva *tafel* dari setiap sampel uji.

Kurva yang didapat akan dianalisis pergeseran kurva, potensial korosi, dan laju korosinya dengan menggunakan *software* Gamry *Echem Analysis*. Selain dengan analisis menggunakan *software*, laju korosi juga dihitung dengan secara manual dengan menggunakan persamaan rumus 4.1 berikut ini^[3,6,7]:

$$mpy = 0,129 \frac{i_{corr}.E}{D} \quad (4.1)$$

dimana : i_{corr} : Rapat arus korosi ($\mu A/cm^2$)

E : Berat ekuivalen (gr/mol.eq)

D : Berat jenis (gr/cm^3)

4.4.1 Laju Korosi Baja Karbon pada Lingkungan NaCl Teraerasi

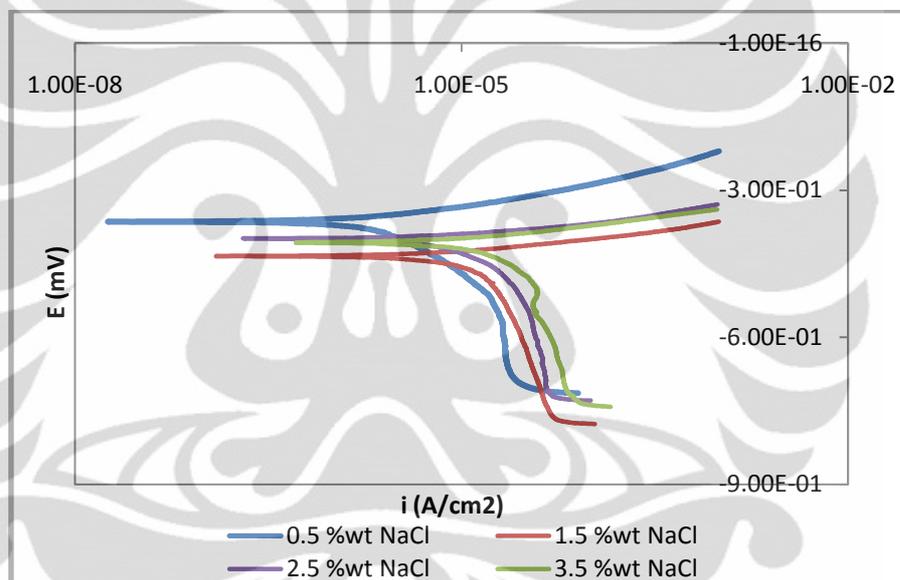
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi baja karbon pada kondisi teraerasi. Kondisi ini merupakan kondisi lingkungan umum yang terjadi apabila suatu baja terekspos pada lingkungan air laut. Untuk melihat pengaruh penambahan NaCl terhadap laju korosi baja, konsentrasi NaCl yang digunakan adalah 0.5; 1.5; 2.5; dan 3.5 %wt NaCl.

Malalui pengujian ini akan didapat kurva *tafel* dan laju korosi baja karbon pada lingkungan air laut biasa sehingga dapat dibandingkan dengan laju korosi baja tersebut pada lingkungan air laut yang mengandung CO₂. Hasil dari

pengujian polarisasi baja karbon pada lingkungan teraerasi dapat dilihat pada tabel 4.5 dan gambar 4.3.

Tabel 4.5 Hasil analisis korosi baja karbon dalam larutan NaCl teraerasi

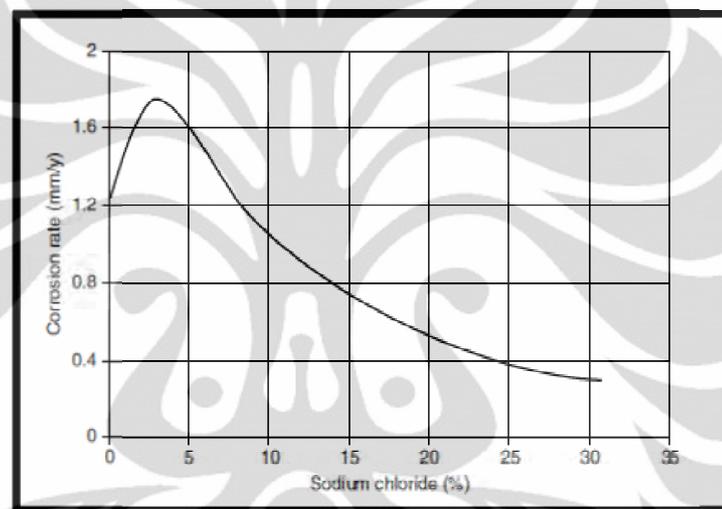
Konsentrasi NaCl (%)	E corr (mV)	I corr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju korosi (mpy)
0.5	-364	6.822	3.789
1.5	-434	14.57	6.659
2.5	-398	20.49	9.363
3.5	-406	25.52	11.66



Gambar 4.3 Grafik polarisasi baja karbon dalam larutan NaCl teraerasi pada 0.5-3.5 % wt NaCl.

Berdasarkan pada tabel 4.5 dapat dilihat dengan kenaikan kadar NaCl dalam larutan akan meningkatkan laju korosi dari baja karbon dalam kondisi teraerasi. Pada gambar 4.3 terlihat bahwa dengan kenaikan kadar NaCl akan menggeser kurva menjadi lebih kekanan. Jika dilihat dari rapat arus (i) yang dihasilkan, semakin ke kanan maka rapat arus yang dihasilkan akan semakin besar sehingga laju korosi dari baja pada lingkungan ini akan meningkat. Oleh karena itu, dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa kenaikan kadar NaCl dalam larutan sampai 3.5 % akan meningkatkan laju korosi baja karbon pada lingkungan NaCl teraerasi.

Kenaikan laju korosi dari baja karbon pada lingkungan NaCl teraerasi dipengaruhi oleh konduktifitas dari larutan NaCl. Kenaikan konsentrasi NaCl dalam larutan akan meningkatkan konduktifitas dari larutan NaCl. Konduktifitas yang besar akan menimbulkan arus korosi yang besar antara anoda dan katoda sehingga akan meningkatkan laju korosi baja dalam larutan tersebut. Namun, dengan kandungan garam terlarut yang semakin besar akan menurunkan jumlah oksigen terlarut dalam larutan sehingga akan mengurangi agen pereduksi dalam larutan^[6]. Oleh karena itu, laju korosi baja akan mencapai nilai maksimum pada kadar NaCl 3.5 %, dapat dilihat pada gambar 4.4^[6].



Gambar 4.4 Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi baja^[6,8]

4.4.2 Laju Korosi Baja Karbon pada Lingkungan NaCl yang Mengandung CO₂ Jenuh

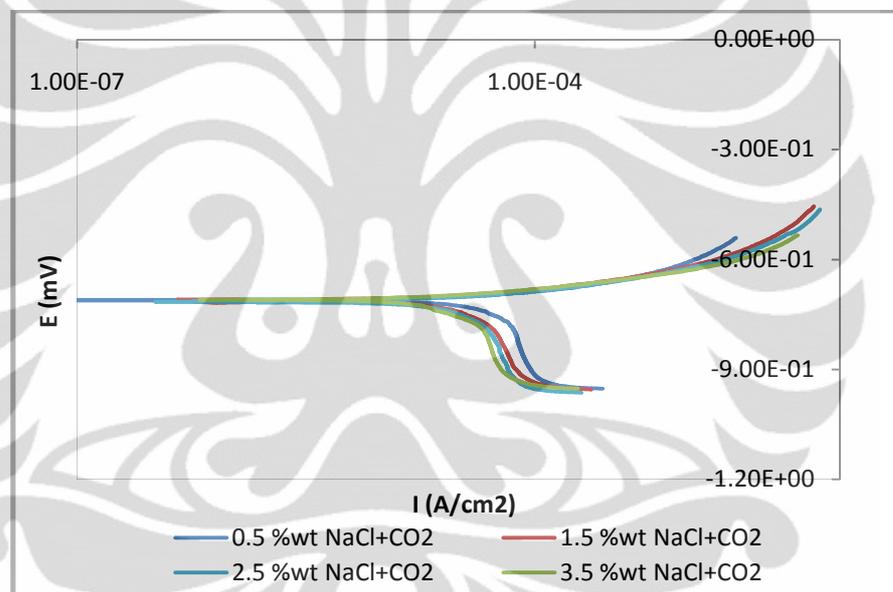
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh peningkatan konsentrasi NaCl terhadap laju korosi baja karbon pada kondisi larutan yang mengandung CO₂ jenuh. Kondisi ini merupakan kondisi lingkungan yang terjadi pada *flowline* dan *pipeline* penyalur gas alam. Untuk melihat pengaruh konsentrasi NaCl pada lingkungan yang mengandung CO₂ jenuh, konsentrasi NaCl yang digunakan adalah 0.5; 1.5; 2.5; dan 3.5 % wt NaCl.

Malalui pengujian ini akan didapat kurva *tafel* dan laju korosi baja karbon pada lingkungan NaCl yang mengandung CO₂ jenuh. Lingkungan ini merupakan simulasi dari lingkungan penyaluran gas alam pada *pipeline* dan *flowline* yang terdiri dari media air formasi dan CO₂. Dari hasil pengujian yang didapat akan diketahui kisaran laju korosi baja karbon pada lingkungan tersebut. Hasil dari

pengujian polarisasi baja karbon pada lingkungan NaCl yang mengandung CO₂ jenuh dapat dilihat pada tabel 4.6 dan gambar 4.5.

Tabel 4.6 Hasil analisis korosi baja karbon pada larutan NaCl, CO₂ jenuh.

Konsentrasi NaCl (%)	E corr (mV)	I corr (μA/cm ²)	Laju korosi (mpy)
0.5	-711	59.33	27.11
1.5	-709.6	41.32	21.11
2.5	-715	38.95	17.75
3.5	-710	28.38	15.69



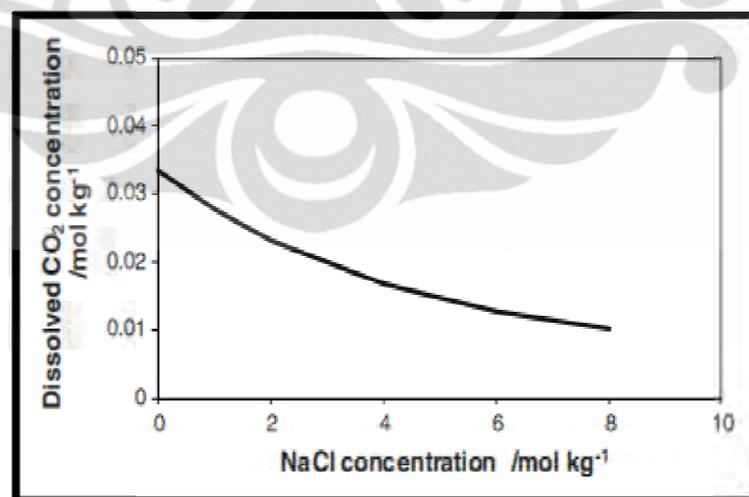
Gambar 4.5 Grafik polarisasi baja karbon dalam larutan 0.5-3.5 % wt NaCl yang mengandung CO₂.

Berdasarkan pada tabel 4.6 dapat dilihat bahwa dengan kenaikan konsentrasi NaCl akan menurunkan laju korosi baja karbon dalam larutan NaCl dengan kandungan CO₂ jenuh. Pada gambar 4.5 terlihat bahwa dengan kenaikan konsentrasi NaCl maka akan menggeser kurva menjadi lebih ke kiri. Jika dilihat dari rapat arus (i) yang dihasilkan, semakin ke kiri maka rapat arus akan semakin kecil sehingga laju korosi dari baja pada lingkungan ini akan berkurang. Oleh karena itu, dari hasil pengujian ini terlihat bahwa kenaikan konsentrasi NaCl dalam larutan sampai 3.5 % akan menurunkan laju korosi baja karbon pada lingkungan NaCl yang mengandung CO₂ jenuh.

Secara elektrokimia, NaCl memiliki pengaruh yang cukup dominan dalam terjadi proses kinetika korosi. Pertama, NaCl dapat mempercepat proses korosi dengan mempercepat pelarutan logam sehingga akan meningkatkan laju reaksi anodik^[26,27]. Kedua, dengan peningkatan konsentrasi NaCl maka akan menurunkan pH larutan, sehingga akan meningkatkan akitivitas dari ion H^+ yang secara tidak langsung akan mempercepat kinetika korosi^[10,25,26,27,28]. Ketiga, kenaikan konsentrasi NaCl akan menurunkan kelarutan CO_2 yang akan menurunkan reaksi katodik^[27].

Berdasarkan pada penjelasan di atas, pengaruh dari NaCl terhadap penurunan pH larutan telah terbukti pada percobaan ini. Pada penjelasan di bagian subbab 4.3, telah dijelaskan bahwa dengan kenaikan konsentrasi NaCl akan menurunkan pH dari larutan NaCl yang mengandung CO_2 jenuh. Namun, pada percobaan ini, penurunan pH akibat peningkatan konsentrasi NaCl tidak diikuti dengan peningkatan laju korosi baja, dimana laju korosi baja cenderung berkurang dengan kenaikan konsentrasi NaCl dalam larutan.

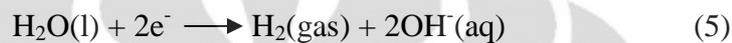
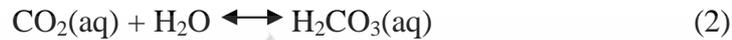
Selain pengaruh pH larutan, kelarutan CO_2 juga sangat berpengaruh pada laju korosi baja karbon dalam larutan NaCl yang mengandung CO_2 . Peningkatan salinitas NaCl secara langsung akan mengurangi kelarutan CO_2 dalam larutan tersebut^[27]. Kelarutan CO_2 dalam larutan NaCl dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik kelarutan CO_2 dalam larutan NaCl, $T = 25^\circ C$,
pH 4, dan $pCO_2 = 0.97 \text{ bar}$ ^[27]

Jika dilihat dari pengaruh NaCl terhadap pH larutan dan kelarutan CO_2 , maka dapat disimpulkan bahwa kelarutan CO_2 dalam larutan NaCl lebih

berpengaruh terhadap kinetika korosi yang terjadi pada larutan tersebut. Penurunan kelarutan CO₂ dalam larutan secara langsung akan mengurangi laju reaksi katodik dari peristiwa korosi. Reaksi kimia katodik dari peristiwa korosi dalam larutan yang mengandung CO₂ dapat dilihat pada reaksi berikut ini^[13].



Jika dilihat dari reaksi di atas, CO₂ merupakan awal dari reaksi katodik dalam kinetika korosi akibat CO₂. Pada pH larutan di atas 4 (4-6), reaksi ke-3 yang merupakan reduksi langsung asam karbonat merupakan reaksi yang dominan dalam kinetika korosi^[10,13]. Apabila kelarutan CO₂ menurun maka asam karbonat yang ada dalam larutan akan berkurang sehingga arus katodik juga akan berkurang^[13]. Hal ini mengakibatkan laju korosi menurun seiring dengan menurunnya kelarutan gas CO₂ dalam larutan.

Berdasarkan pada penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan penurunan laju korosi baja karbon pada larutan NaCl dengan konsentrasi 0.5-3.5 % wt NaCl disebabkan oleh 2 hal, yaitu :

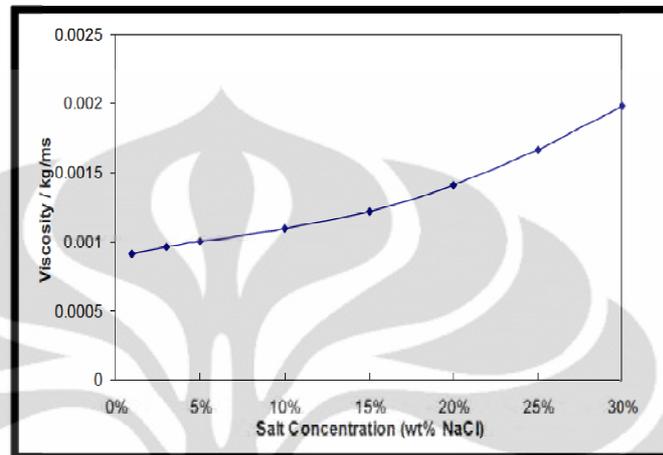
1. Penurunan kelarutan CO₂

Penurunan kelarutan CO₂ dalam larutan NaCl akan mengurangi jumlah agen pereduksi dalam lingkungan tersebut. Hal ini secara langsung akan mengakibatkan berkurangnya laju reaksi katodik pada permukaan logam. Keterbatasan agen pereduksi dan penurunan laju reaksi katodik pada permukaan logam akan mengakibatkan berkurangnya laju korosi baja karbon seiring dengan kenaikan konsentrasi NaCl dari 0.5 % sampai dengan 3.5 % pada lingkungan yang mengandung CO₂ jenuh.

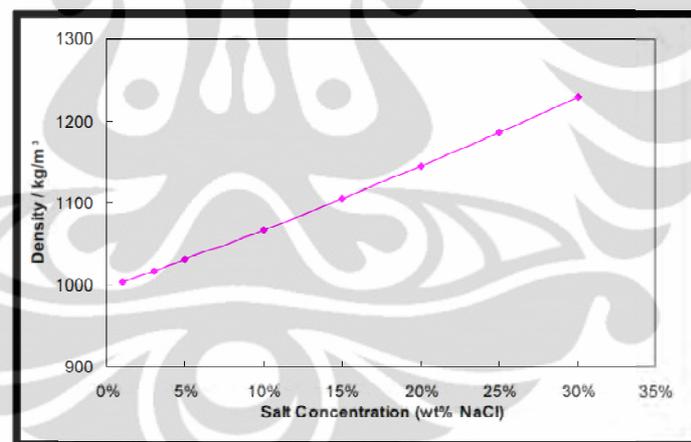
2. *Salt retarding factor*

Salt retarding factor adalah sifat dari garam terlarut dalam suatu larutan yang akan menghambat reaksi anodik dan reaksi katodik dalam larutan tersebut. Kandungan garam terlarut dalam suatu larutan akan mempengaruhi viskositas dan densitas dari larutan tersebut. Dengan

kenaikan konsentrasi garam dalam suatu larutan akan meningkatkan viskositas dan densitas dari larutan tersebut^[10]. Pengaruh garam terlarut terhadap viskositas dan densitas larutan NaCl dapat dilihat pada gambar 4.7 dan gambar 4.8.



Gambar 4.7 Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap viskositas larutan^[10]

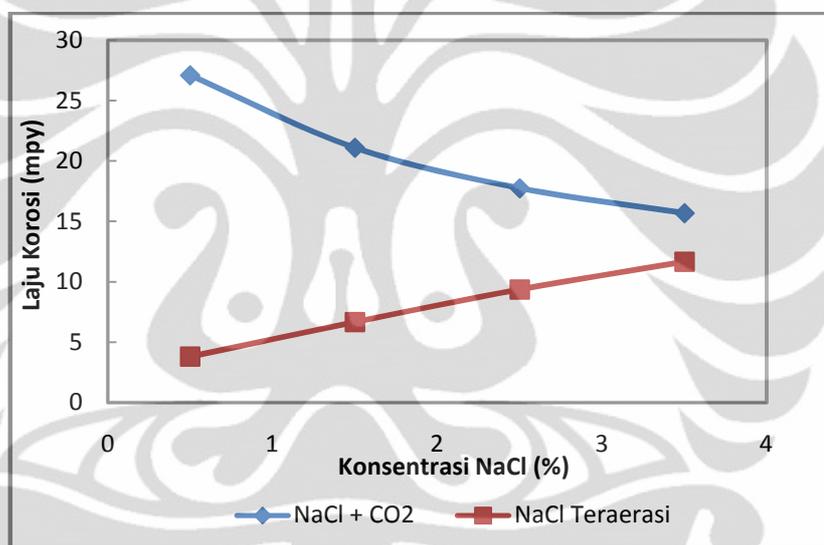


Gambar 4.8 Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap densitas larutan^[10]

Peningkatan viskositas dan densitas dari larutan akan menghambat transfer massa yang terjadi pada larutan. Hal ini juga akan mempengaruhi transfer muatan yang terjadi dalam larutan tersebut. Garam terlarut dalam suatu larutan NaCl akan menghambat transfer massa dan transfer muatan yang ada dalam larutan tersebut sehingga akan menghambat reaksi anodik dan reaksi katodik dalam larutan tersebut^[10]. Hal inilah yang mengakibatkan menurunnya laju korosi dari baja karbon dalam larutan 0.5 – 3.5 %wt NaCl yang mengandung CO₂ jenuh.

4.5 Perbandingan Laju Korosi Baja Karbon pada Lingkungan NaCl Teraerasi dengan Lingkungan NaCl yang Mengandung CO₂ Jenuh

Laju korosi suatu material tergantung dari lingkungan kondisi lingkungan tempat material tersebut diaplikasikan. Pada percobaan ini, baja karbon diekspos dalam 2 lingkungan yang berbeda, yaitu dalam lingkungan NaCl teraerasi dan lingkungan NaCl yang mengandung CO₂ jenuh. Pengaruh kadar NaCl terlarut dalam larutan terhadap laju korosi telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Namun, pada bagian ini akan dibahas pengaruh dari masing-masing lingkungan terhadap besaran laju korosi dari baja karbon. Nilai laju korosi pada masing-masing lingkungan dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan nilai laju korosi baja karbon dalam lingkungan NaCl teraerasi dan NaCl yang mengandung CO₂

Pada gambar 4.9, terlihat bahwa laju korosi baja karbon dalam lingkungan NaCl yang mengandung CO₂ jenuh lebih besar daripada laju korosi baja karbon dalam lingkungan NaCl teraerasi. Lingkungan asam yang dibentuk oleh CO₂ terlarut dalam air akan membuat lingkungan menjadi sangat korosif^[1]. Hal inilah yang mengakibatkan laju korosi baja karbon dalam lingkungan yang mengandung CO₂ lebih besar dari lingkungan yang tidak mengandung CO₂.

Reaksi korosi yang terjadi dalam peristiwa korosi sangat berpengaruh pada kinetika korosi. Pada lingkungan teraerasi reaksi korosi adalah reaksi evolusi oksigen. Korosi dipengaruhi oleh perpindahan massa oksigen yang berlangsung

cukup lambat, yang diikuti oleh reaksi elektrokimia yang cukup cepat pada permukaan logam. Laju korosi akan meningkat sampai konsentrasi NaCl sebesar 3.5 % dan akan menurun melewati konsentrasi tersebut. Penurunan laju korosi dipengaruhi oleh berkurangnya kelarutan gas oksigen dalam larutan.

Pada korosi yang diakibatkan oleh CO₂, reaksi korosi yang terjadi adalah reaksi reduksi hidrogen dan reaksi reduksi langsung asam karbonat. Pada pH di atas 4, reaksi reduksi langsung asam karbonat merupakan reaksi yang dominan, dimana reaksi evolusi hidrogen berkurang. Reaksi ini mengakibatkan lingkungan korosi CO₂ dengan pH 4-6 menjadi lingkungan yang sangat korosif jika dibandingkan dengan lingkungan asam lain pada pH yang sama^[13]. Oleh karena itu, asam karbonat yang terbentuk pada korosi CO₂ akibat hidrasi CO₂ membuat lingkungan CO₂ menjadi sangat korosif

4.6 Analisis Besaran Laju Korosi Baja Karbon dalam Lingkungan NaCl dengan Kandungan CO₂ Jenuh

Mengetahui dan mempelajari laju korosi baja karbon sebagai pipa penyalur gas alam merupakan tujuan utama dari penelitian ini. Untuk dapat mensimulasikan lingkungan tersebut, maka digunakan larutan NaCl sebagai media air formasi dengan kandungan CO₂ jenuh. Variasi konsentrasi NaCl digunakan sebagai variabel pada pengujian ini untuk mensimulasikan kandungan garam terlarut yang ada pada media air formasi penyaluran gas alam. Berdasarkan pada pengujian yang telah dilakukan maka laju korosi baja dalam lingkungan 0.5–3.5 % wt NaCl dengan kandungan CO₂ jenuh berkisar antara 15 – 28 mpy.

Tekanan parsial CO₂ merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi laju korosi pada lingkungan yang mengandung CO₂. Tekanan parsial CO₂ yang mencapai 1 atm (14 psi) juga mempengaruhi laju korosi yang diperoleh dari pengujian ini. Akibat tekanan parsial CO₂ sebesar 1 atm akan membuat laju korosi baja karbon menjadi cukup tinggi. Tekanan parsial antara 0.5 atm (7 psi) – 2 atm (30 psi) akan menghasilkan laju korosi sebesar 0.1 mm/y (3.4 mpy) – 1 mm/y (39.4 mpy)^[1,12]. Oleh karena itu, Laju korosi baja karbon yang diperoleh pada pengujian berkisar pada range yang cukup tinggi.

Laju korosi dari suatu material dapat digunakan untuk memperkirakan ketahanan logam tersebut terhadap korosi dalam lingkungan tertentu. Tabel 4.7 merupakan ketahanan korosi untuk baja dan paduan nikel berdasarkan laju korosi dari material tersebut. Tabel berikut ini digunakan untuk memperkirakan ketahanan suatu baja dan paduan nikel sesuai dengan perkiraan laju korosi dari material tersebut.

Tabel 4.7. Tabel hubungan laju korosi dan ketahanan korosi ^[7]

Ketahanan Korosi	Laju Korosi					
	Relatif	mpy	mm/yr	µm/yr	nm/hr	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

Berdasarkan tabel 4.7, nilai laju korosi dari baja karbon yang diperoleh dari pengujian ini merupakan nilai yang cukup besar. Nilai laju korosi baja karbon dalam lingkungan NaCl yang mengandung CO₂ jenuh, dengan tekanan parsial 1 atm dan temperature 25°C dapat dikategorikan ke dalam tingkatan cukup dan kurang. Nilai laju korosi ini dapat membahayakan *flowline* dan *pipeline* yang digunakan sebagai pipa penyalur gas alam.

Ketahanan korosi baja karbon dalam lingkungan yang mengandung CO₂ tidak begitu baik dengan laju korosi yang cukup tinggi. Pada aplikasi penyaluran gas alam, laju korosi ini harus diperhatikan untuk menjaga ketahanan *flowline* dan *pipeline* dari serangan korosi yang bisa mengakibatkan kebocoran dan kegagalan lainnya akibat korosi. Oleh karena itu, diperlukan suatu perlindungan terhadap *flowline* dan *pipeline* untuk mencegah kegagalan akibat korosi internal dalam aplikasi penyaluran gas alam.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian, pengamatan, dan analisis terhadap data yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan konsentrasi larutan NaCl, pada 0.5-3.5 %wt NaCl, akan menurunkan resistifitas dan meningkatkan konduktifitas larutan NaCl.
2. Peningkatan konsentrasi larutan NaCl, pada 0.5-3.5 %wt NaCl meningkatkan laju korosi baja pada lingkungan NaCl teraerasi.
3. Peningkatan konsentrasi larutan NaCl, pada 0.5-3.5 %wt NaCl menurunkan laju korosi baja pada lingkungan NaCl yang mengandung CO₂.
4. Penurunan laju korosi baja pada lingkungan NaCl 0.5 – 3.5 % yang mengandung CO₂ terjadi akibat penurunan kelarutan CO₂ dan *salt retarding factor*.
5. Laju korosi baja karbon dalam lingkungan yang mengandung CO₂ lebih besar daripada laju korosi baja karbon dalam lingkungan teraerasi yang mengandung kandungan O₂.
6. Laju korosi baja karbon dalam lingkungan NaCl 0.5-3.5 %wt NaCl yang mengandung CO₂ adalah 15 – 28 mpy.
7. Laju korosi yang tinggi akan membahayakan *pipeline* dan *flowline* yang digunakan sebagai pipa penyalur gas alam sehingga dibutuhkan suatu metode proteksi untuk mencegah terjadinya kegagalan akibat proses korosi yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

1. M. B. Kermani, J. C. Gonzales, G. L. Turconi, T. Perez, dan C. Morales, *Material Optimisation in Hydrocarbon Production*, Corrosion paper 2005 No. 05111, NACE International, 2005
2. *Seawater Corrosion Handbook*,. Noyes Data Coorporation, Park ride, New Jersey, USA, 1979
3. H.H. Uhlig, R.W. Revie, *Corrosion and Corrosion Control*, 3rd edition, John Wiley & Sons. 1985
4. M.B. Kermani, A. Morshed, *Carbon Dioxide Corrosion in Oil and Gas Production-A Compendium*, CORROSION/59, Paper no.131/2003, NACE INTERNATIONAL, 2003
5. Nescic. S. K, L. J. Lee, *A Mechanistic Model for Carbon Dioxide Coorrosion of Mild Steel in the Presence of Protective Iron Carbonate – Part 1, 2, 3. 7*, Columbus : NACE, 2003, Vol. CORROSION JOURNAL VOL. 59, 2003
6. Jones. Denny A, *Principles and Prevention of Corrosion*, Maxwell Macmillan, Singapura, 1992
7. Fontana. Mars. G, *Corrosion Engineering, 3rd Edition*. Houston : McGraw-Hill, 1986
8. Pierre R. Roberge, *Corrosion Engineering –Principles and Practice*, TheMcGraw-Hill Companies Inc., USA, 2008
9. Utoyo, Widartono. 2000. *Gas Production Operation*. In House Training Gulf Indonesia Resources
10. H. Fang, *Low Temperature and High Salt Concentration Effects on General CO₂ Corrosion for Carbon Steel*, The Russ College of Engineering and Technology of Ohio University, Ohio, USA, 2006
11. Dugstad A. *The importance of FeCO₃ supersaturation on the CO₂ corrosion of carbon steels*. Corrosion/92, Paper No 14, NACE, Houston, Texas, 1992.
12. J.L Crolet, *Which CO₂ Corrosion, Hence which prediction ?*, in *Predicting CO₂ Corrosion in the Oil and Gas Industry*, European Federation of Corrosion Publication no.13, London, U.Km Intitute of Materials, 1994

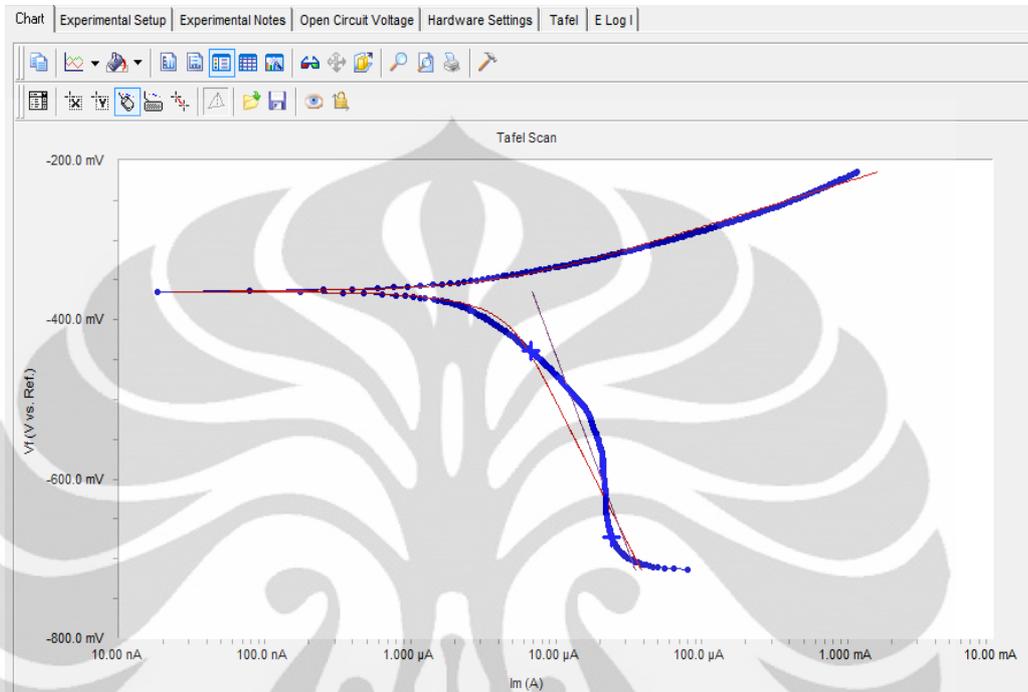
13. S. Nestic, J. Postlethwaite, and S Olsen. *An Electrochemical Model for Prediction of Corrosion of Mild Steel in Aqueous Carbon Dioxide Solution*. Paper no. 0010-9312/96/000067, NACE INTERNATIONAL, 1996
14. Petroleum And Natural Gas Industries - *Materials For Use In H₂S Containing Environments In Oil And Gas Production, Part 2: Cracking - Resistant Carbon And Low Alloy Steels, And The Uses Of Cast Irons*, NACE MR0175/ISO 15156, 2003.
15. Bruce Brown, Shilpha Reddy Parakala, Srdjan Nestic, *CO₂ Corrosion in the Presence of Trace Amounts of H₂S*, Corrosion Paper No.4736, NACE,2004
16. K. Videm, A. Daugstad, *Effect of Flow Rate, pH, Fe²⁺ Concentration, and Steel Quality on CO₂ Corrosion of Carbon Steel*. CORROSION/87, Paper no.42, NACE INTERNATIONAL, 1987
17. M. B. Kermani, L. M. Smith, eds., *CO₂ Corrosion Control in Oil and Gas Production – Design Consideration*, European Federation of Corrosion Publication no.23, London, U.K : Intitute of Materials, 1997
18. J.L Crolet, N. Thevenot, A. Daugsted, *Role of Free Acetic Acid on the CO₂ Corrosion of Steels*, CORROSION/99, Paper no.24, NACE International, Texas, 1999
19. M.B. Kermani, J.C. Gonzales, C. Linne, M. Dougan, R. Cochrane, *Development of Low-carbon Cr-Mo Steels with Exceptional Corrosion Resisitance for Oilfield Applications*, CORROSION/2001, Paper no.01065, NACE INTERNATIONAL, 2001
20. M.B. Kermani, J.C. Gonzales, G.L Turconi, D. Edmonds, G. Dicken, L. Scoppio, *Development of Superior Corrosion Resistance 3% Cr Steels for Downhole Applications*, CORROSION/2003, Paper no.03116, NACE INTERNATIONAL, 2003
21. J. K. Heuer, J. F. Stubbins, CORROSION/54, 7, 1998 : p 566-577
22. S. Rajappa, R. Zhang, M.Gopal, *Modelling the Diffusion Effect through the Iron Carbonate Layer in the Carbon Dioxide Corrosion of Carbon Steel*, CORROSION/98 Paper no. 16, NACE INTERNATIONAL, 1998
23. *Ions in Water, and Conductivity*, www.horiba.com (diakses pada 6 juni 2011)

24. Wijayanto. Bangun, *Studi Pengaruh Penambahan 0,1,2,3,3.5 dan 4 % berat NaCl dengan Laju Alir 0 dan 50 cm/detik terhadap Laju Korosi Baja UNS 10180 dengan Metode Tafel Analisis pada sel RCE (rotating cylinder electrode)*. Departemen Metalurgi dan Material FTUI. 2010
25. *Scale Soft Pitzer Version 8.1*, Rice University Brine Chemistry Consortium Energy & Environmental System Institute Rice University Houston, TX, 77005.
26. Ashley G.W, Burstein. G.T, *Initial Stages of the Anodic Oxidation of Iron in Chloride Solutions*. Univ of Cambridge, Cambridge, United Kingdom, Elsevier, 2004
27. Han. Jiabin, J. Carey. William, Zhang. Jinsou, *Effect of Sodium Chloride on Corrosion of Mild Steel in CO₂-Saturated Brines*, Earth and Environmental Science Division, Los Amos National Laboratory, Los Amos, USA, Springer Science + Business Media B.V, 2011
28. H. Fang, S. Netic, B.N. Brown, CORROSION/2006, Paper no. 06372, NACE INTERNATIONAL, 2006
29. H. Fang, B.N. Brown, S. Netic, CORROSION/2010, Paper no. 10276, NACE INTERNATIONAL, 2010

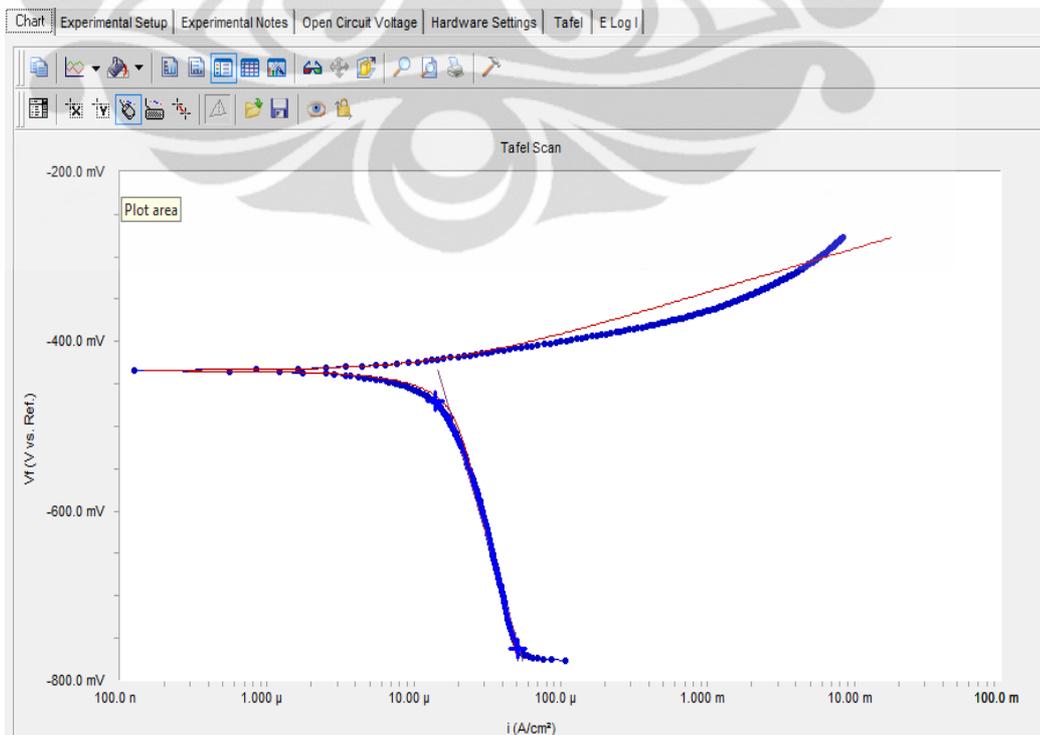


Lampiran 1. Hasil pengujian polarisasi dalam larutan NaCl teraerasi

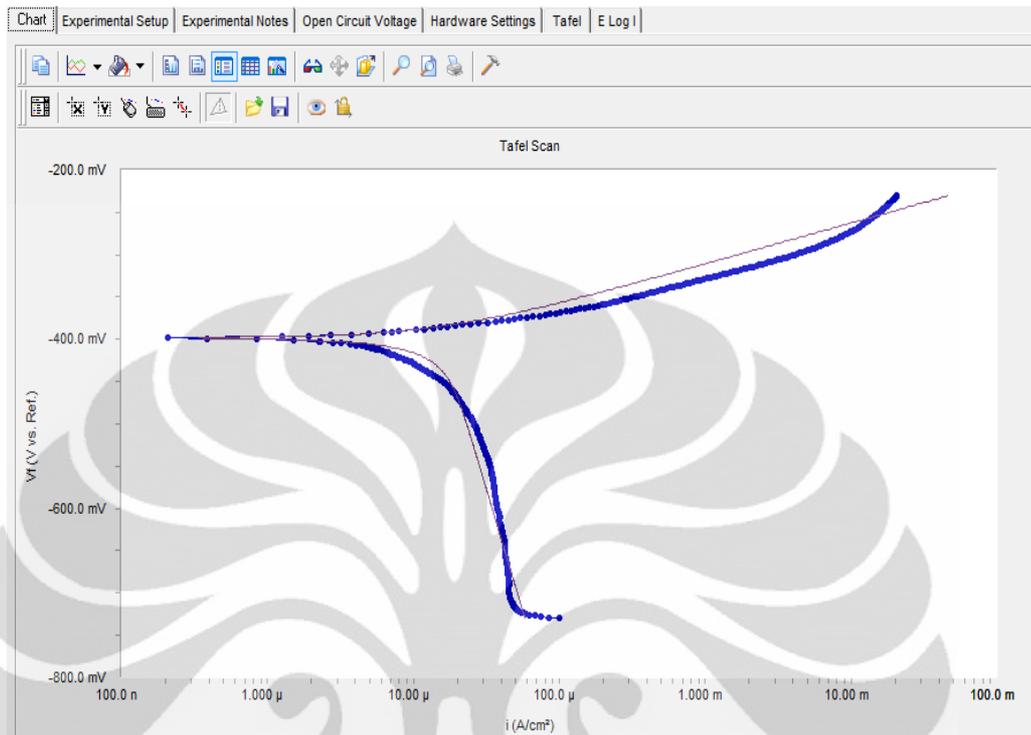
1. Tafel analisis baja karbon dalam Larutan NaCl 5000 ppm



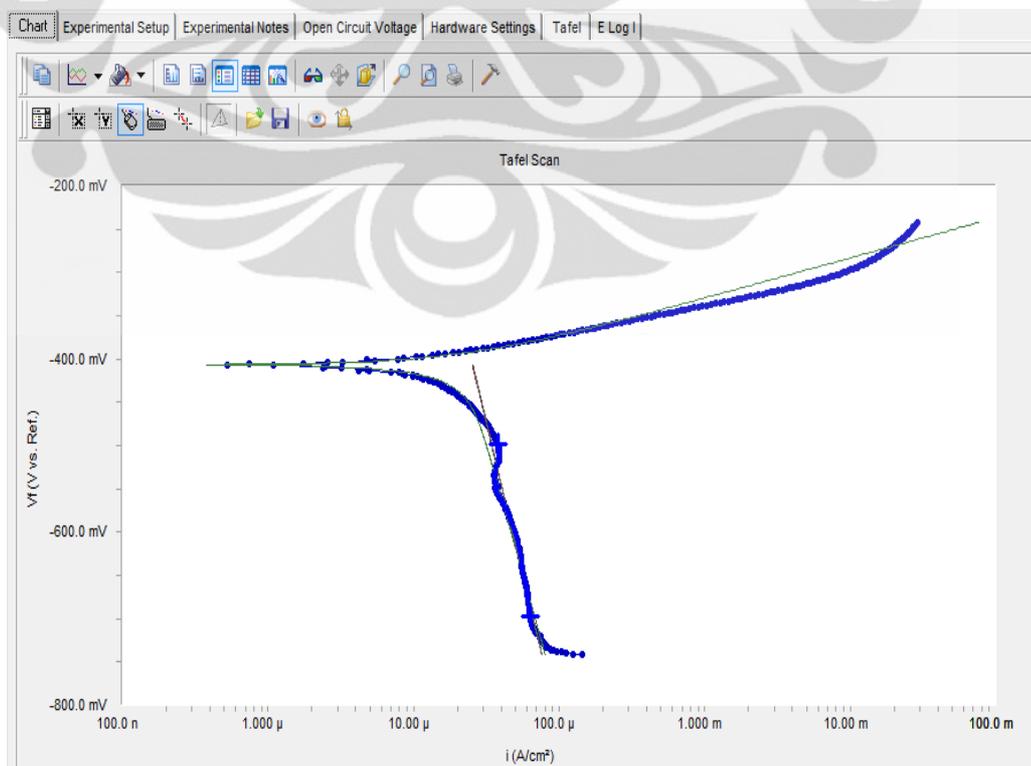
2. Tafel analisis baja karbon dalam Larutan NaCl 15000 ppm



3. Tafel analisis baja karbon dalam Larutan NaCl 25000 ppm

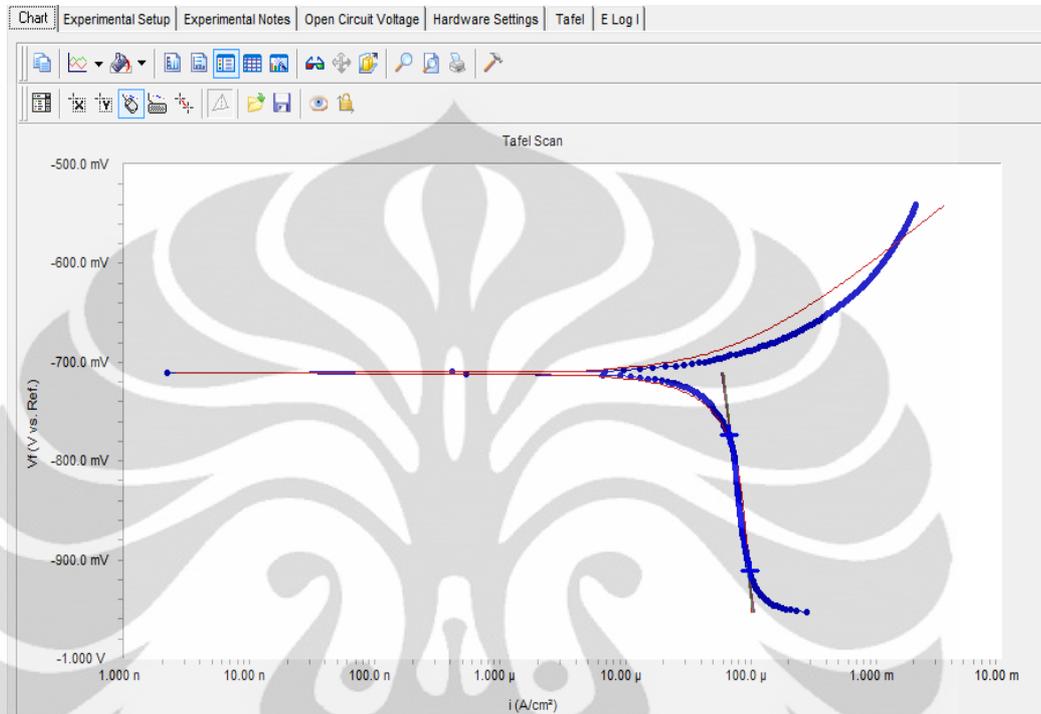


4. Tafel analisis baja karbon dalam Larutan NaCl 35000 ppm

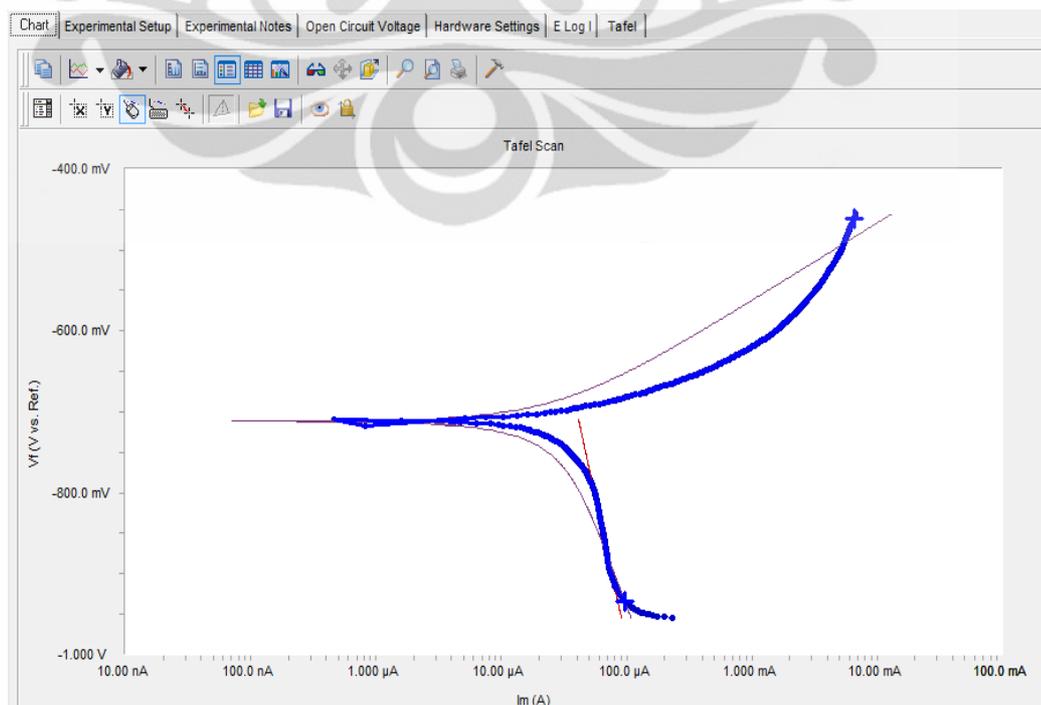


Lampiran 2. Hasil pengujian polarisasi dalam larutan NaCl mengandung CO₂

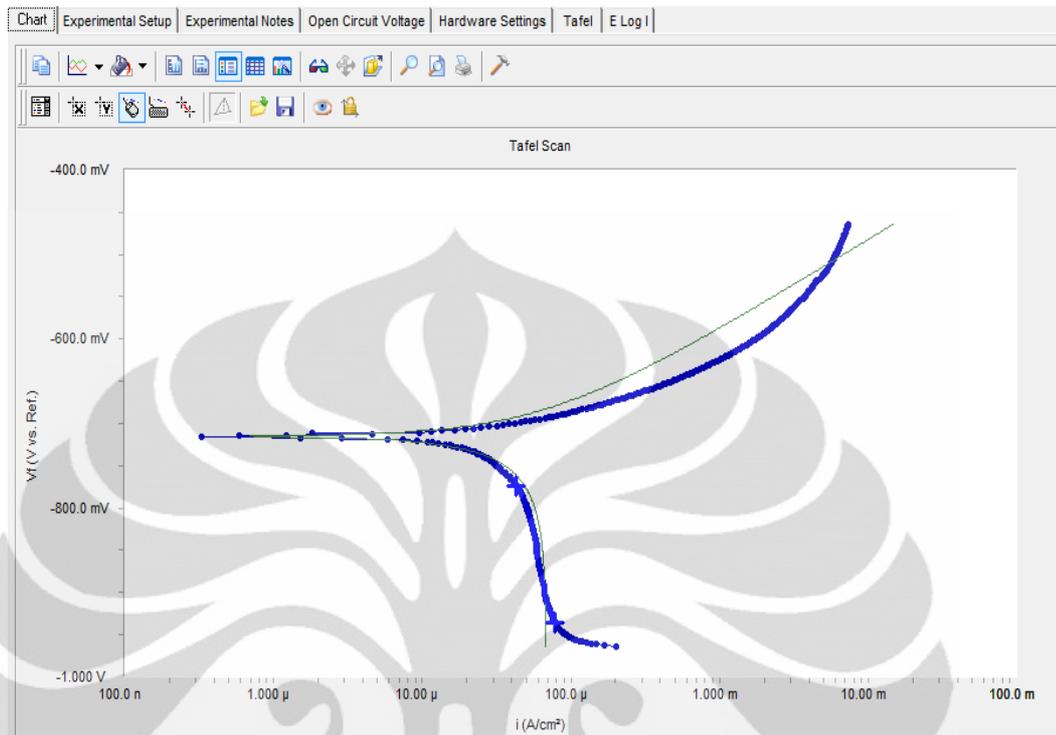
1. Tafel analisis baja karbon dalam larutan NaCl 5000 ppm



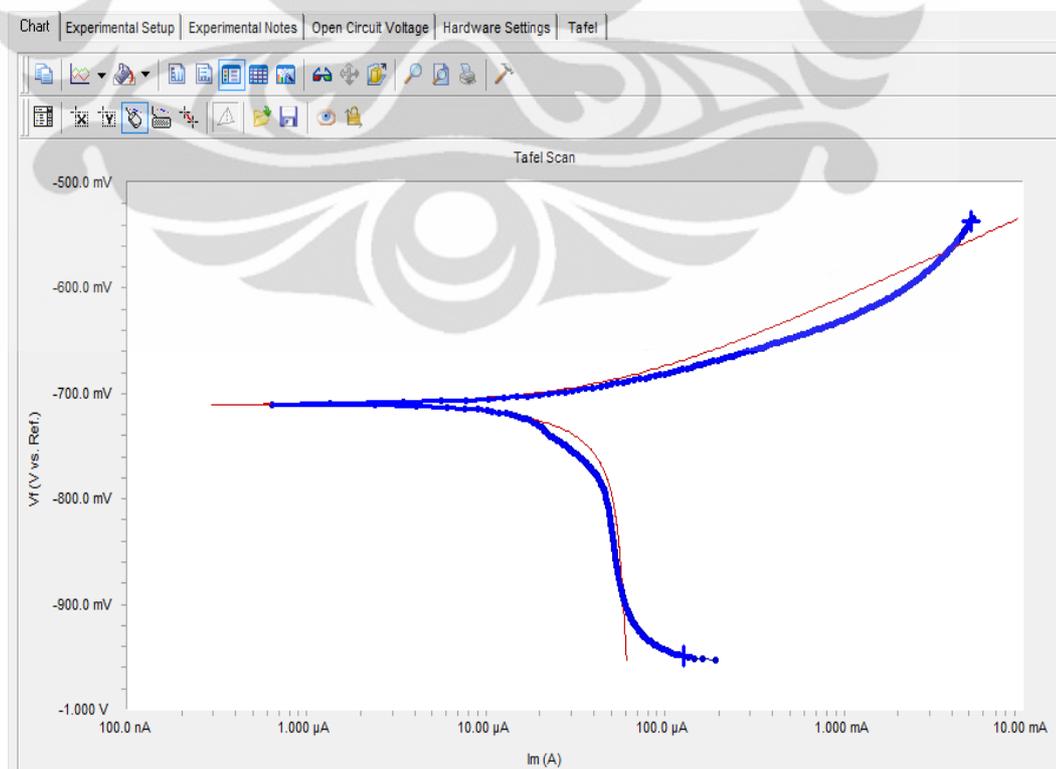
2. Tafel analisis baja karbon dalam larutan NaCl 15000 ppm



3. Tafel analisis baja karbon dalam larutan NaCl 25000 ppm



4. Tafel analisis baja karbon dalam larutan NaCl 35000 ppm





FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888 111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 1 of 1

No Laporan <i>Report Nr</i>	279	Bahan <i>Material</i>	Steel
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Dito Landiano	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : X52
Alamat <i>Address</i>	DTMM-FTUI	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	12 Mei 2011
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0557/PT.02/FT04/P/2011	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751 ASTM E415
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	19 Mei 2011	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer ¹

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
X52	0.140	0.011	<0.003 ²	<0.003 ²	0.662	<0.005 ²	0.021
	Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Al (%)	Fe (%)
	<0.005 ²	0.019	0.009	<0.002 ²	<0.002 ²	0.048	bal.

catatan :

- ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
- (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 20 Mei 2011
Manajer Teknis
Laboratorium Uji
Departemen Teknik Metalurgi Dan Material



(Ahmad Ivan Karayan, ST.,M.Eng)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2