



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH pH LINGKUNGAN 4 TERHADAP LAJU
KOROSI BAJA KARBON API 5L X-52 SEBAGAI PIPA
PENYALUR PROSES PRODUKSI GAS ALAM YANG
MENGANDUNG GAS CO₂ PADA LARUTAN NaCl 3.5 %
DENGAN VARIASI LAJU ALIRAN**

SKRIPSI

NITIYOGA ADHIKA PANDYO

0806331821

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JANUARI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH pH LINGKUNGAN 4 TERHADAP LAJU
KOROSI BAJA KARBON API 5L X-52 SEBAGAI PIPA
PENYALUR PROSES PRODUKSI GAS ALAM YANG
MENGANDUNG GAS CO₂ PADA LARUTAN NaCl 3.5 %
DENGAN VARIASI LAJU ALIRAN**

SKRIPSI

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

NITIYOGA ADHIKA PANDYO

08063312821

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Nitiyoga Adhika Pandyo

NPM : 0806331821

Tanda Tangan : 

Tanggal : 6 Januari 2012

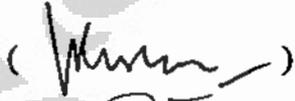
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Nitiyoga Adhika Pandyo
NPM : 080633121
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Studi Pengaruh pH Lingkungan 4 Terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L X-52 Sebagai Pipa Penyalur Proses Produk Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ pada Larutan NaCl 3.5% dengan Variasi Laju Aliran

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, M.T. ()
Penguji 1 : Ir Bambang Priyono, M.T. ()
Penguji 2 : Mochamad Chalid S.Si., M.Sc.Eng. ()

Ditetapkan : Depok, 6 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Pertama-tama, penulis panjatkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat, ridho, 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 maka penulis akan mengalami kesulitan selama menjalani perkuliahan hingga skripsi ini. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Andi Rustandi, MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku Kepala Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI.
3. Ir. Ahmad Herman Yuwono, Phd, 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 pengetahuan selama penulis berada di DTMM FTUI.
6. Bapak, Ibu, Kakak, Adik, dan Saudara-saudara penulis yang memberikan doa dan dukungan selama perkuliahan hingga selesainya skripsi ini.
7. Pravita Gebrina Suwarno, yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
8. Tezar Prima Nurhamzah dan Nur Aziz Octoviawan, selaku rekan tugas akhir.
9. Teman-teman Metalurgi angkatan 2008 yang telah bersama-sama dari masuk kuliah hingga lulus.

10. Teman-Teman Laboratorium Korosi dan Ekstrasi, serta Dito Iandiano dan Andika Amanatillah.
11. Teman-teman Panitia Metallurgy and Material's Week 2011.
12. Senior dan Junior Metalurgi dan Material FTUI
13. Teman-teman Al-Azhar 1 angkatan 30 dan seluruh teman penulis.

Akhir kata, penulis hanya dapat mengucapkan banyak terima kasih dan penulis berharap skripsi yang penulis buat ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca umumnya. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini banyak terdapat kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik, saran dan masukan dari semua pihak yang bersifat membangun untuk perbaikan skripsi ini. Penulis juga berharap skripsi ini dapat berguna untuk industri migas di Indonesia yang lebih baik.

Depok, Januari 2012

Penulis

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

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

Nama : Nitiyoga Adhika Pandyo
NPM : 0806331821
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 Pengaruh pH Lingkungan 4 Laju Korosi Baja Karbon API 5L X-52
Sebagai Pipa Penyalur Proses Produk Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂
pada Larutan NaCl 3.5% dengan Variasi Laju Aliran**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif 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 : 6 Januari 2012

Yang menyatakan



(Nitiyoga Adhika Pandyo)

ABSTRAK

Nama : Nitiyoga Adhika Pandyo
NPM : 0806331821
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Studi Pengaruh pH Lingkungan 4 Terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L X-52 Sebagai Pipa Penyalur Proses Produk Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ pada Larutan NaCl 3.5% dengan Variasi Laju Aliran

Penelitian ini dilakukan pada baja karbon API 5L X-52 yang banyak digunakan sebagai material untuk *flowline* dan *pipeline* pada industri gas alam, dimana pada industri gas alam biasanya banyak mengandung gas CO₂ yang dapat menyebabkan terjadinya korosi CO₂. Penelitian ini dilakukan dengan metode polarisasi menggunakan *Rotating Cylinder Electrode* (RCE) yang menggambarkan laju aliran, dimana lingkungan yang digunakan adalah NaCl 3.5% dengan pH lingkungan tetap yaitu pH 4.

Pada penelitian ini dengan digunakannya NaCl 3.5% yang mengandung CO₂ jenuh dengan pH 4 dan dengan pengaruh laju alir diamati dengan kecepatan 0-3000 RPM, dimana dengan semakin meningkatnya laju alir maka laju korosi yang terjadi akan semakin meningkat. Laju korosi yang didapatkan pada penelitian ini dengan pengaruh laju alir didapatkan nilai berkisar antara 96-620 mpy. Laju korosi ini menunjukkan nilai yang sangat tinggi dan membahayakan jika digunakan sebagai *pipeline* dan *flowline* di industri gas alam. Laju korosi yang tinggi tersebut diakibatkan karena pada pH rendah (<4) maka mekanisme korosi CO₂ akan dipengaruhi oleh reduksi hidrogen, dan meningkatnya transport massa sehingga akan mengakibatkan meningkatnya laju korosi.

Kata kunci: Baja karbon, gas CO₂, laju korosi, laju alir, pH lingkungan 4

ABSTRACT

Name : Nitiyoga Adhika Pandyo
NPM : 0806331821
Major : Metallurgy and Material Engineering
Title : Study effect of pH 4 to Corrosion Rate of API 5L X-52 Carbon Steel as Transmission Pipe of Production Process of Natural Gas Containing CO₂ in NaCl 3.5% Solution With Flow Velocity Variation

This researches is being done to API 5L X-52 carbon steel which commonly used as flowline and pipeline materials in natural gas industry. In natural gas industry, usually contain many CO₂ that leads to CO₂ corrosion. The method in this researches is using polarization method that used Rotating Cylinder Electrode (RCE) to describe flow rate. The environment we used is NaCl 3.5% with constant pH 4.

In this researches we used NaCl 3.5% with saturated CO₂ and pH 4 with the effect from flow rate from 0-3000 RPM. The result describe that with increase of flow rate leads to increase of corrosion rate. Range of corrosion rate from this researches are 96-620 mpy. That result show a very high corrosion rate and will be dangerous if being used as pipeline and flowline in natural gas industry. That result show us that in low pH (<4) the mechanism of CO₂ corrosion will be under influence of hydrogen reduction and the enhancement of mass transfers that tend to increase the corrosion rate.

Keywords: Carbon Steel, CO₂ gas, Corrosion Rate, Flow Velocity, pH 4.

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.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN	15
1.1 Latar Belakang.....	15
1.2 Perumusan Masalah.....	17
1.3 Tujuan Penelitian.....	18
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	18
1.4.1 Material Uji.....	18
1.4.2 Lingkungan.....	18
1.4.3 Variabel Pengujian.....	18
1.5 Sistematika Penulisan.....	19
BAB II.....	20
Tinjauan Pustaka.....	20
2.1 Korosi.....	20
2.1.1 Definisi korosi	20
2.1.2 Jenis-jenis Korosi.....	21
2.1.3 Termodinamika Korosi.....	24
2.1.4 Laju Korosi.....	25
2.2 Gas Alam.....	26
2.2.1 Macam-Macam Gas Alam.....	29
2.3 Korosi CO ₂	30

2.3.1 Mekanisme korosi CO ₂	31
2.3.2 Faktor yang mempengaruhi korosi CO ₂	32
BAB III	37
METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	37
3.2 Peralatan dan Bahan	38
3.2.1 Peralatan	38
3.2.2 Bahan	38
3.3 Prosedur Penelitian.....	39
3.3.1 Preparasi Sampel	39
3.3.2 Pembuatan Larutan Uji.....	39
3.3.3 Pengujian	40
BAB IV	44
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1 Komposisi Sampel.....	44
4.2 Pengukuran pH Larutan.....	45
4.2.1 Pengukuran pH Larutan Sebelum Diinjeksi Gas CO ₂	45
4.2.2 Pengukuran pH Larutan Setelah Diinjeksi CO ₂	46
4.3 Analisis Laju Korosi Baja Karbon	47
4.3.1 Analisis Laju Korosi Baja Karbon pada pH Lingkungan 4.....	48
4.4.2 Analisis Besaran Laju Korosi Baja Karbon dalam Lingkungan NaCl 3.5% dengan Kandungan CO ₂ Jenuh pada pH Lingkungan 4	51
4.4.3 Analisis Laju Korosi Baja Karbon pada pH Lingkungan 5	52
4.4.4 Perbandingan Laju Korosi Baja Karbon pada Larutan NaCl 3.5% dengan pH Lingkungan 4 dan pH Lingkungan 5 yang Mengandung CO ₂ Jenuh	55
BAB V.....	58
KESIMPULAN	58
DAFTAR REFERENSI	59
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR TABEL

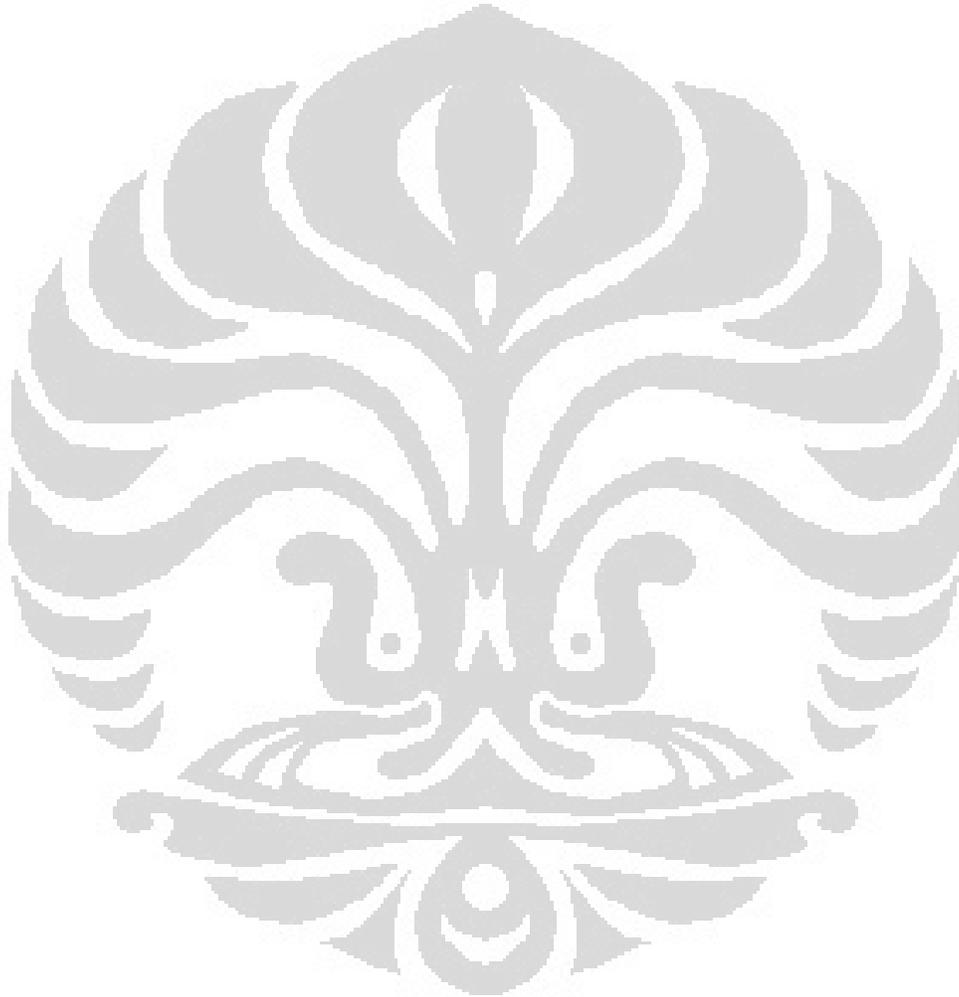
Tabel 2.1 Tabel Hubungan Laju Korosi dan Ketahanan Korosi	12
Tabel 4.1 Komposisi Sampel Baja API 5L X-52	30
Tabel 4.2 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L X-52 pada Lingkungan NaCl 3.5% dengan CO ₂ jenuh pada pH 4.....	35
Tabel 4.3 Ketahanan Korosi Relatif Material Baja	37
Tabel 4.4 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L X-52 pada Lingkungan NaCl 3.5% dengan CO ₂ jenuh pada pH 5.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Pourbaix Fe pada 25 °C	11
Gambar 2.2	Perbandingan Kelarutan Gas CO ₂ dan Gas O ₂ pada Temperatur yang Berbeda.....	17
Gambar 2.3	Pengaruh pH Lingkungan Terhadap Laju Korosi pada Korosi CO ₂	20
Gambar 2.4	Pengaruh Tekanan Parsial CO ₂ Terhadap Laju Korosi pada Korosi CO ₂	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.2	Penampang Sampel Pengujian.....	25
Gambar 3.3	Skema Polarisasi	28
Gambar 3.4	Mesin Pengatur Kecepatan Rotating Cylinder Electrode	28
Gambar 4.1	Pengujian pH Larutan NaCl 3.5% Sebelum Dialiri CO ₂	32
Gambar 4.2	Pengujian pH Larutan NaCl 3.5% Setelah Dialiri CO ₂	32
Gambar 4.3	Kurva Polarisasi Baja API 5L X-52 pada Lingkungan NaCl 3.5% dengan Kandungan CO ₂ Jenuh pada pH Lingkungan 4 dengan Pengaruh Putaran 0-3000 RPM.....	34
Gambar 4.4	Grafik Hubungan antara Laju Aliran dengan Laju Korosi Baja API 5L X-52 Lingkungan Yang Mengandung Gas CO ₂ pada pH 4.....	35
Gambar 4.5	Kurva Polarisasi Baja API 5L X-52 Pada Lingkungan NaCl 3.5% yang Mengandung Gas CO ₂ pada pH Lingkungan 5 dengan Variasi Kecepatan Putaran 0-3000 RPM	39
Gambar 4.6	Grafik Hubungan antara Laju Aliran dengan Laju Korosi Baja API 5L X-52 Lingkungan Yang Mengandung Gas CO ₂ pada pH 5	40
Gambar 4.7	Perbandingan Laju Korosi pada pH 4 dan pH 5 dengan Pengaruh Kecepatan Putaran	41
Gambar 4.8	Plot Logaritmik pH 5.....	43
Gambar 4.9	Plot Logaritmik pH 4.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Grafik Hasil Pengujian Polarisasi Baja Karbon dalam Larutan NaCl 3.5% yang Mengandung CO ₂	48
Lampiran 2	Komposisi Kimia Sampel Baja API 5L X-52.....	53



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan gas alam sebagai salah satu sumber energi alternatif semakin meningkat dalam beberapa tahun terakhir seiring semakin luasnya penggunaan gas alam, baik untuk kebutuhan industri, rumah tangga maupun sebagai sumber daya pembangkit listrik.

Di Indonesia, potensi cadangan gas alam masih cukup besar dimana pada tahun 2008 cadangan gas alam di Indonesia mencapai 170 TSCF dan produksi per tahun mencapai 2,87 TSCF, sehingga dengan cadangan alam yang sedemikian besar maka kapasitas produksi gas alam di Indonesia masih dapat berlangsung hingga 59 tahun yang akan datang^[20].

Proses pengolahan gas alam di Indonesia tentunya memiliki beberapa kendala, seperti terjadinya reaksi elektrokimia dengan lingkungan yang dapat mengakibatkan terjadinya proses korosi. Hal tersebut menjadi suatu masalah karena fenomena korosi pada proses pengolahan gas alam di Indonesia pasti terjadi. Korosi pada proses pengolahan gas alam di Indonesia umumnya terjadi pada material penyalur gas alam baik sebagai *pipeline* ataupun sebagai *flowline*.

Pada proses pengolahan gas alam di Indonesia dibutuhkan material yang memiliki kekuatan yang baik, tahan korosi serta harganya yang ekonomis. Baja karbon merupakan salah satu material yang biasa digunakan pada industri *petroleum* sebagai material untuk transportasi gas alam dari *offshore* menuju *platform refining* maupun sebagai *pipeline* dan *flowline*^[1]. Hal tersebut disebabkan karena baja karbon memiliki kekuatan dan keuletan yang baik serta harganya yang relatif murah. Namun penggunaan baja karbon juga memiliki kelemahan, salah satu kelemahan penggunaan baja karbon sebagai material *pipeline* ataupun *flowline* adalah baja karbon tidak tahan terhadap korosi CO₂.

Pada proses pengolahan gas alam, CO₂ dapat terkandung pada gas alam sebagai pengotor ringan atau dapat terinjeksi pada *reservoir* selama proses pengayaan dan *recovery* (EOR). Sehingga kehadiran CO₂ yang terlarut di air pada

proses pengolahan gas alam melalui pipa baja karbon dapat membentuk lingkungan yang sesuai untuk terjadinya korosi CO₂^[2].

Korosi CO₂ sendiri dapat mengakibatkan kegagalan katastrofik serta mengakibatkan kerugian ekonomi. Secara presentase, kegagalan akibat korosi CO₂ pada industri minyak dan gas secara umum dilaporkan mengakibatkan kerugian yang melibatkan insiden keselamatan sebesar 25%, *turnover* sebesar 2.8%, peningkatan *expenditure capital* sebesar 8.5%, mengakibatkan pengurangan produksi sebesar 5%, dan meningkatkan biaya *lifting* sebesar 8.5%^[11].

Kehadiran gas CO₂ sebetulnya tidak membahayakan terhadap terjadinya proses korosi, namun apabila gas CO₂ terlarut ke dalam air maka akan mengakibatkan terjadinya *sweet corrosion*. Korosi CO₂ dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah korosi CO₂ dipengaruhi oleh laju aliran. Selain itu laju korosi pada korosi CO₂ juga dipengaruhi oleh sifat kimia seperti kecepatan, temperatur, tekanan parsial CO₂, dan pH^[2,10].

Penelitian mengenai perilaku korosi CO₂ yang terjadi pada material baja karbon serta faktor yang mempengaruhinya telah banyak dilakukan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Bapak Andi Rustandi dan Dito Iandiano yang melakukan penelitian mengenai pengaruh salinitas terhadap laju korosi pada korosi CO₂ telah dilakukan^[9].

Pada penggunaan baja karbon sebagai material *pipeline* ataupun *flowline* yang mengandung gas alam, pengaruh laju alir terhadap korosi CO₂ memiliki hubungan yang erat yakni dimana laju aliran memiliki pengaruh terhadap meningkatnya laju korosi pada korosi CO₂. Laju alir pada *pipeline* ataupun *flowline* akan memiliki pengaruh yang semakin besar terhadap meningkatnya laju korosi apabila terjadi aliran dengan pola yang berbeda^[4].

Salah satu pengaruh lain yang mempengaruhi laju korosi pada korosi CO₂ adalah pH lingkungan, dimana dengan perbedaan yang sedikit saja akan dapat mempengaruhi laju korosi terutama pada korosi CO₂. Ketika hal-hal yang mempengaruhi laju korosi pada korosi CO₂ saling terkait seperti variasi pH dan laju alir tentunya akan lebih mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada korosi CO₂ tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Korosi CO₂ merupakan salah satu masalah utama yang banyak dijumpai pada industri pengolahan gas alam terutama pada proses eksplorasi dan penyaluran gas alam. Gas CO₂ yang biasa terkandung pada proses pengolahan gas alam, apabila terlarut dengan air maupun zat asam, merupakan salah satu penyebab terjadinya kegagalan pada baja karbon sebagai material *flowline* dan *pipeline* yakni korosi CO₂.

Baja karbon sebagai material yang umum digunakan sebagai material untuk *pipeline* maupun *flowline* untuk proses pengolahan gas alam memiliki masalah dengan ketahanan korosi, terutama pada lingkungan yang mengandung CO₂, dimana dengan terdapatnya gas CO₂ yang terlarut pada air maka dapat menyebabkan terjadinya *sweet corrosion*^[2].

Penelitian mengenai perilaku korosi CO₂ yang terjadi pada material baja karbon serta faktor yang mempengaruhinya telah banyak dilakukan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Bapak Andi Rustandi dan Dito Iandiano yang melakukan penelitian mengenai pengaruh salinitas terhadap laju korosi pada korosi CO₂ telah dilakukan^[9]. Selain itu masih banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi CO₂ seperti pengaruh laju alir yang terjadi pada *pipeline* juga merupakan salah satu faktor utama yang turut membantu meningkatkan laju korosi yang diakibatkan oleh korosi CO₂^[4].

Selain laju alir, korosi CO₂ juga sangat dipengaruhi oleh kondisi pH lingkungan yang digunakan, dimana dengan semakin rendahnya pH yang digunakan maka laju korosi pada korosi CO₂ juga akan meningkat. Ketika korosi CO₂ yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor maka hal tersebut akan lebih mempengaruhi laju korosi yang terjadi.

Penelitian mengenai pengaruh pH lingkungan 4 terhadap laju alir yang berbeda pada lingkungan korosif CO₂ belum banyak dilakukan, oleh sebab itu diperlukan analisis mengenai pengaruh pH lingkungan 4 dengan pengaruh laju aliran yang berbeda pada lingkungan korosif CO₂ perlu dilakukan untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada material baja API 5L X-52 serta mengetahui perilaku ion karbonat yang terjadi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh laju alir terhadap laju korosi baja API 5L X-52 pada lingkungan korosif CO₂ dengan pH lingkungan 4 pada laju alir 0 rpm, 375 rpm, 750 rpm, 1500 rpm, dan 3000 rpm.
2. Mengetahui perilaku ion karbonat yang terjadi pada pH 4 pada lingkungan korosif CO₂ dengan laju alir 0 rpm, 375 rpm, 750 rpm, 1500 rpm, dan 3000 rpm.
3. Mengetahui pengaruh antara pH 4 dan pH 5 terhadap laju korosi baja API 5L X-52 pada lingkungan korosif CO₂ dengan laju alir 0 rpm, 375 rpm, 750 rpm, 1500 rpm, dan 3000 rpm.

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, dengan kadar 3.5%wt NaCl dengan pengaruh laju aliran dengan kecepatan 0 rpm, 375 rpm, 750 rpm, 1500 rpm, dan 3000 rpm.

1.4.3 Variabel Pengujian

Variabel pengujian dikelompokan sebagai berikut:

1. Variable tetap:
 - a. Baja Karbon API 5L X-52
 - b. Temperatur lingkungan
 - c. pH lingkungan 4
2. Variabel tidak tetap:
 - a. Kecepatan putaran
Kecepatan putaran yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kecepatan 0, 375, 750, 1500, dan 3000 rpm.

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 Landasan Teori**

Membahas mengenai teori korosi secara umum meliputi definisi korosi, jenis-jenis korosi, dan laju korosi, 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 II

Tinjauan Pustaka

2.1 Korosi

2.1.1 Definisi korosi

Korosi didefinisikan sebagai suatu proses degradasi material atau hilangnya suatu material baik secara kualitas maupun kuantitas akibat adanya proses reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya^[3]. Korosi juga didefinisikan sebagai hasil perusakan dari reaksi kimia antara logam atau logam paduan dan lingkungannya^[14]. Lingkungan yang dimaksud yang dapat mengakibatkan proses korosi adalah berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam, dll^[16].

Reaksi korosi dapat menghasilkan beberapa produk korosi seperti oksida logam, sulfida logam dan hasil reaksi lainnya atau biasa disebut dengan karat.

Pada proses korosi terjadi proses reduksi dan proses oksidasi dimana reaksi oksidasi adalah reaksi yang menghasilkan pelepasan elektron dan berakibat terbentuknya ion-ion positif. Logam yang mengalami reaksi ini disebut sebagai anoda. Reaksi oksidasi pada logam pada proses korosi adalah sebagai berikut^[15] :



Sementara reaksi reduksi adalah reaksi yang menghasilkan penangkapan elektron. Logam yang mengalami reaksi ini disebut sebagai katoda. Reaksi reduksi yang umum terjadi pada proses korosi adalah sebagai berikut^[15] :



Proses korosi dapat terjadi jika terdapat beberapa elemen komponen yang berinteraksi dalam reaksi tersebut, komponen tersebut diantaranya adalah^[3,15] :

1. Anoda, merupakan bagian logam yang berfungsi sebagai elektroda,

dimana terjadi reaksi anodik atau reaksi oksidasi. Akibat reaksi oksidasi, suatu logam akan kehilangan elektron, dan senyawa logam tersebut ion berubah menjadi ion-ion bebas.

2. Katoda, merupakan elektroda yang mengalami reaksi katodik yang mengkonsumsi elektron hasil dari reaksi anodik. Katoda dalam reaksi korosi dapat berupa lingkungan yang bervariasi diantaranya adalah lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam, dll.
3. Reaksi antara anoda dan katoda, dimana diantara katoda dan anoda harus terjadi kontak langsung agar terjadi proses korosi. Akibat kontak yang terjadi antara anoda dan katoda maka reaksi spontan yang melibatkan reaksi reduksi dan oksidasi akan dapat terjadi.
4. Elektrolit, merupakan suatu media yang bersifat menghantarkan arus listrik. Elektrolit dapat menghantarkan listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung.

2.1.2 Jenis-jenis Korosi

Terdapat beberapa jenis korosi yang sering terjadi pada aplikasi penggunaan material sehari-hari. Jenis korosi tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah lingkungan korosif, mekanisme, material yang digunakan, geometri material yang digunakan, dan beberapa faktor lain. Berikut adalah beberapa jenis korosi yang sering terjadi pada aplikasi penggunaan material sehari-hari^[3,15].

1. Korosi Seragam (*Uniform*)
2. Korosi Galvanik
3. Korosi Celah (*Crevice*)
4. Korosi Sumuran (*Pitting*)
5. *Environmentally Induced Corrosion*
6. *Hydrogen Damage*
7. Korosi Batas Butir
8. *Dealloying*
9. Korosi Erosi

Jenis-jenis korosi dapat diklasifikasikan menurut mekanisme terjadinya korosi, jenis-jenis tersebut antara lain^[1] :

1. Korosi Seragam (*Uniform*)

Korosi ini adalah korosi yang terjadi secara merata dipermukaan. Bentuk korosi ini mudah diprediksi karena kecepatan atau laju korosi di setiap permukaan adalah sama.

2. Korosi Galvanis

Korosi ini terjadi akibat dua logam atau lebih yang memiliki potensial reduksi berbeda dihubungkan atau terhubung. Pada korosi galvanis, material yang memiliki potensial reduksi yang lebih negatif menurut deret volta atau deret galvanik akan mengalami korosi yang lebih besar dibandingkan dengan yang potensial reduksinya lebih besar.

3. Korosi Celah (*Crevice*)

Korosi ini terjadi karena terdapat celah antara 2 logam sejenis yang digabungkan yang mengakibatkan perbedaan kadar oksigen diantara area di dalam celah dan diluarnya. Perbedaan kadar oksigen tersebut akan menyebabkan korosi.

4. Korosi Sumuran (*Pitting*)

Korosi sumuran merupakan salah satu jenis korosi yang terlokalisasi, korosi sumuran terjadi akibat lepasnya lapisan pasif pada daerah tertentu akibat terkena lingkungan korosif. Korosi sumuran sering terjadi pada logam seperti baja tahan karat maupun aluminium yang terkena lingkungan korosi air laut, dimana lingkungan air laut banyak mengandung ion Cl^- yang akan mudah menyerang lapisan pasif yang terbentuk pada material yang mengakibatkan rusaknya lapisan pasif tersebut. Pecahnya lapisan pasif mengakibatkan gas hidrogen dan oksigen mudah masuk dan mengkorosikan material tersebut.

5. *Environmentally Induced Corrosion*

Korosi terjadi akibat adanya pengaruh lingkungan yang mengakibatkan patah getas pada material ulet yang menyebabkan terjadinya korosi seragam yang minimal. Jenis korosi ini diantaranya adalah *Stress Corrosion Cracking* (SCC) dimana korosi ini terjadi akibat adanya

interaksi antara beban tarik, material yang dapat terkena korosi dan lingkungan yang korosif. Corrosion Fatigue Cracking (CFC) juga merupakan salah satu contoh *Environmentally Induced Corrosion* dimana korosi tersebut terjadi karena adanya tegangan beban fatik pada suatu material di lingkungan korosif. Hal ini sewaktu-waktu akan menyebabkan material tersebut akan terkena korosi pada satu titik yang menyebabkan crack yang menjalar.

6. *Hydrogen Damage*

Korosi terjadi karena adanya tegangan internal pada suatu material karena adanya molekul-molekul gas hidrogen yang berdifusi ke dalam struktur atom logam. Hidrogen dapat terbentuk akibat reduksi H₂O ataupun dari asam. Penetrasi hidrogen ini akan menyebabkan korosi pada material, dan kemudian terjadi perpatahan getas.

7. Korosi Batas Butir

Korosi terjadi akibat terbentuknya kromium karbida disekitar batas butir, hal tersebut mengakibatkan daerah yang ditinggalkan oleh krom akan lebih mudah terserang korosi.

8. *Dealloying*

Korosi terjadi akibat lepasnya pepadu pada suatu paduan. Elemen pepadu biasanya merupakan elemen yang aktif terhadap beberapa elemen pelarut. Salah satu contoh *dealloying* adalah *dezincification* dimana mekanisme *dealloying* terjadi pada logam kuningan.

9. Korosi Erosi

Korosi yang terjadi karena adanya fluida korosif yang mengalir pada permukaan material. Fluida tersebut dapat berupa fluida liquid maupun gas dengan kecepatan tinggi. Karena kecepatan tinggi dari fluida korosif yang mengalir, terjadi efek keausan mekanis atau abrasi. Lapisan pasif atau pun *coating* pada permukaan material akan terkikis, sehingga kemungkinan terjadinya korosi semakin besar.

2.1.3 Termodinamika Korosi

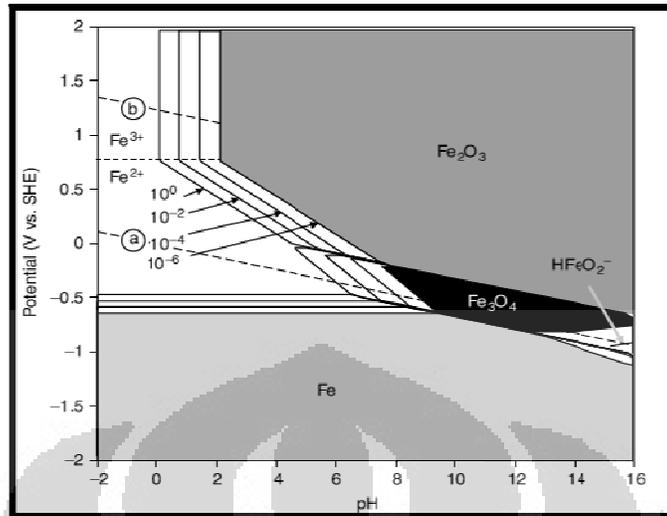
Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, termodinamika merupakan ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang transformasi energi, perubahan keadaan, dan kesetimbangan sekumpulan partikel yg membentuk gas, zat cair atau zat padat, terutama yg berhubungan dengan sifat termal, dimana secara singkat termodinamika dapat dijelaskan sebagai suatu ilmu yang mempelajari perubahan energi dalam suatu sistem.

Ilmu termodinamika dalam suatu proses korosi digunakan untuk menentukan apakah suatu logam dapat bereaksi spontan dengan lingkungannya. Apabila suatu logam dapat bereaksi secara spontan maka reaksi dan arah reaksi tersebut dapat diketahui besarnya.

Pada proses korosi, untuk mengetahui reaksi yang terjadi secara termodinamika dapat menggunakan diagram pourbaix, dimana pada diagram tersebut dapat diketahui kesetimbangan secara termodinamika antara E dan pH suatu logam. Diagram pourbaix ini disusun berdasarkan kesetimbangan secara termodinamika antara logam dengan air yang dapat menunjukkan fasa yang stabil pada logam tertentu secara termodinamika^[16].

Diagram pourbaix ini berfungsi sebagai prediksi reaksi yang terjadi antara suatu logam dengan lingkungan dengan derajat keasaman tertentu, selain itu pada diagram pourbaix ini dapat diketahui pula produk reaksi yang dihasilkan oleh suatu logam pada lingkungan tertentu. Namun diagram pourbaix memiliki kekurangan yakni tidak dapat menjelaskan secara kinetika laju korosi yang terjadi pada suatu logam.

Secara umum diagram pourbaix terdiri dari 3 wilayah produk reaksi suatu logam yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah berikut^[16].



Gambar 2.1 Diagram Pourbaix Fe pada 25 °C [3].

Berdasarkan Gambar 2.1 diatas, secara umum diagram pourbaix menunjukkan 3 daerah yang dapat dijelaskan sebagai berikut^[16]:

1. Daerah Korosi

Pada daerah tersebut logam akan mengalami peristiwa korosi, dimana logam akan melepaskan elektron dan terjadi proses oksidasi.

2. Daerah Imunitas

Pada daerah tersebut logam akan berada dalam kondisi tidak terkorosi dan terlindung dari peristiwa korosi.

3. Daerah Pasivasi

Pada daerah tersebut logam akan membentuk lapisan pasif yang akan menyebabkan logam terlindung dari peristiwa korosi.

2.1.4 Laju Korosi

Tingkat korosi yang terjadi pada suatu material dapat diketahui dengan cara menghitung laju korosi dari material tersebut. Laju korosi sendiri didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas setiap satuan waktu pada permukaan tertentu^[3]. Ada beberapa satuan yang biasa digunakan untuk menentukan laju korosi suatu material, diantaranya adanya dengan satuan *mils per year* (mpy) ataupun dengan satuan *millimeters per year* (mm/year)^[3].

Pengukuran laju korosi dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya adalah pengukuran dengan menggunakan metode *weight loss* ataupun dengan menggunakan metode ekstrapolasi kurva *tafel*. Berikut dapat dilihat hubungan antara laju korosi dengan ketahanan korosi (relatif).

Tabel 2.1 Tabel hubungan laju korosi dan ketahanan korosi ^[3]

Ketahanan Korosi Relatif	Laju Korosi				
	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

2.2 Gas Alam

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]

Di Indonesia, potensi cadangan gas alam masih cukup besar dimana pada tahun 2008 cadangan gas alam di Indonesia mencapai 170 TSCF dan produksi per tahun mencapai 2,87 TSCF, sehingga dengan cadangan alam yang sedemikian besar maka kapasitas produksi gas alam di Indonesia masih dapat berlangsung hingga 59 tahun yang akan datang^[20].

Konsumsi gas alam di Indonesia sebagai sumber energi adalah ketiga terbesar setelah minyak bumi dan batubara, lebih tinggi dari listrik dan LPG. Dimana secara presentase penggunaan sumber energi pada tahun 2008, konsumsi gas alam mencapai 13,7 persen^[20].

Energi yang dihasilkan oleh gas alam diukur dengan kalori. Kandungan energi ini tidak seragam karena dihasilkan dari beberapa sumur gas yang berbeda. Kalori gas alam di Indonesia paling rendah adalah 5991 Kkal /m³ sementara yang tertinggi mencapai 11127 Kkal /m³.

Di Indonesia, gas alam yang didistribusikan di wilayah Banten, Karawang, Bogor, Jakarta memiliki kalori sebesar 7703 – 11127 Kkal /m³. Sementara gas alam yang didistribusikan di wilayah Cirebon memiliki kalori terendah yakni 5991 Kkal /m³^[21].

Pada gas alam terdapat 3 tipe penggolongan dari gas alam, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Nonassociated gas

Nonassociated gas merupakan jenis gas alam yang berada dalam lapisan bumi dengan kandungan sejumlah kecil minyak.

2. Associated gas

Associated gas merupakan jenis gas alam yang terlarut dalam minyak bumi.

3. Gas Kondensat

Gas kondensat merupakan gas alam dengan kandungan hidrokarbon cair yang tinggi pada tekanan dan temperatur yang rendah.

Gas alam merupakan campuran senyawa hidrokarbon yang mempunyai titik didih sangat tinggi, sehingga pada tekanan atmosfer dan suhu ruang berbentuk gas. Campuran tersebut biasanya terdiri dari metana, etana, propana, butana, pentana, dan sejumlah kecil heksana, heptana, oktana dan fraksi yang lebih berat. Metana suatu hidrokarbon beratom karbon satu, merupakan komponen utama dari gas bumi, sedangkan etana merupakan komponen hidrokarbon setelah metana. Kedua senyawa ini bersifat non polar dan stabil pada suhu normal.

Gas alam adalah campuran kompleks hidrokarbon dan senyawa-senyawa organik lain. Komponen hidrokarbon adalah komponen yang paling banyak terkandung di dalam gas alam. Gas alam terdiri dari alkana suku rendah, yaitu metana, etana, propana, dan butana. Selain alkana juga terdapat berbagai gas lain

seperti karbondioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S), beberapa sumur gas juga mengandung helium^[22].

Selain kandungan hidrokarbon yang terdapat pada gas alam, gas alam juga memiliki beberapa kandungan pengotor, diantaranya adalah sebagai berikut^[17]:

1. Air (H_2O)

Uap air dalam gas bumi dapat terkondensasi atau membentuk hidrat, Jika dalam sistem terdapat CO_2 atau H_2S , maka kondensasi uap air tersebut akan mengakibatkan korosi. Hidrat adalah senyawa kristalin yang terbentuk dari campuran hidrokarbon dan air pada kondisi tertentu. Senyawa hidrat dalam gas bumi dapat menghambat aliran gas pada jaringan pipa transmisi dan distribusi. Rumus kimia senyawa hidrat antarlain adalah $\text{CH}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_3\text{H}_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{CO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Disamping korosi dan hidrat, efek yang dapat ditimbulkan oleh air adalah mempengaruhi nilai panas gas bumi. Uap air yang terkandung dalam gas sebaiknya tidak melebihi 7 lb/MMSCF.

2. Karbondioksida (CO_2)

Karbondioksida dalam gas bumi dapat menurunkan nilai panas campuran gas tersebut, karena karbondioksida tidak memiliki kandungan energi. Selain itu, dengan adanya air, karbondioksida akan berubah menjadi asam karbonat yang dapat menimbulkan korosi yakni korosi CO_2 atau biasa disebut sebagai *sweet corrosion*. Pada gas bumi dalam jaringan pipa transmisi dan distribusi, kandungan CO_2 dibatasi sekitar 2%.

3. Sulfur

Gas bumi sering kali mengandung senyawa sulfur yang dapat berbentuk asam sulfit, merkaptan, karbonil sulfida, dan disulfit. Asam sulfit maupun produk pembakarannya, SO_2 dan SO_3 , merupakan gas beracun. Fluida yang mengandung air dan asam sulfit dapat membentuk asam sulfat yang merupakan lingkungan korosif. Bisa juga terbentuk besi sulfit yang bersifat katodik terhadap besi dan dapat menyebabkan tingkat korosi yang berat. Kandungan asam sulfit sebaiknya tidak melebihi 0,25 grain per 100 ft³ gas.

4. Merkuri (Hg)

Gas bumi pada umumnya mengandung merkuri dengan konsentrasi sangat rendah, di bawah 100 ppb. Dengan berbagai macam logam, misalnya besi dan aluminium, merkuri dapat bereaksi membentuk amalgama. Pembentukan amalgama ini tidak mudah terjadi, karena terbentuknya film oksida, sehingga mencegah kontak antar logam. Tetapi jika film tersebut rusak segera terjadi amalgama. Dengan adanya uap air, korosi terjadi dengan cepat. Senyawa ini berbahaya terutama bila terbentuk senyawa alkali-merkuri rantai pendek yang stabil dan bersifat racun.

5. Nitrogen (N₂)

Nitrogen bersifat inert, tidak korosif ataupun beracun, namun kandungan nitrogen yang terkandung dalam gas alam dapat menurunkan kandungan energi gas alam karena nitrogen tidak memiliki nilai kalor. Kandungan nitrogen sebaiknya tidak melebihi 3 % volume.

6. Oksigen (O₂)

Secara alami, umumnya oksigen tidak terkandung dalam gas bumi. Gas ini masuk pada aliran gas bumi bertekanan rendah melalui pipa yang bocor atau karena kesalahan operasi. Oksigen dapat sangat korosif, tergantung pada kondisi lingkungan. Sejumlah kecil oksigen juga dapat membantu pertumbuhan *sulfat reducing bacteria*, suatu bakteri yang dapat memproduksi hidrogen sulfida, sehingga dapat menyebabkan korosi. Kandungan oksigen sebaiknya tidak melebihi 0,1 % volume.

2.2.1 Macam-Macam Gas Alam

Secara umum gas alam dapat dibedakan berdasarkan keberadaan bersama pengotornya. Berdasarkan keberadaan pengotornya, gas alam digolongkan sebagai berikut^[17]:

1. *Sweet Gas* yaitu gas alam yang tidak mengandung atau hanya relatif kecil mengandung impurities dan gas-gas kontaminan seperti H₂S dan CO₂.
2. *Sour Gas* yaitu gas alam yang masih mengandung impurities dan gas-gas kontaminan seperti H₂S dan CO₂.

3. *Wet Gas* yaitu gas alam yang mengandung *natural gasoline* dalam jumlah yang signifikan. *Natural gasoline* ini dapat dicairkan dan dipisahkan dari gas alamnya dengan cara pemampatan atau kompresi dan dikondensasikan.
4. *Dry gas* yaitu gas alam yang komponen utamanya metana tidak mengandung *gasoline*.

2.3 Korosi CO₂

Korosi CO₂ telah dikenali sejak beberapa tahun sebagai salah satu masalah utama dalam proses produksi dan fasilitas transportasi gas alam. Disamping beberapa hal yang telah dilakukan untuk menganalisa dan mengembangkan model untuk memprediksi model korosi CO₂, fenomena korosi CO₂ masih belum sepenuhnya dimengerti sehingga penelitian yang berkaitan dengan korosi CO₂ masih perlu dilakukan untuk mengetahui mekanisme korosi CO₂^[18].

Korosi CO₂ sendiri merupakan korosi yang diakibatkan oleh CO₂ yang terlarut di dalam air yang akan menimbulkan lingkungan yang bersifat asam *sweet environment*^[1]. Keberadaan gas CO₂ pada dasarnya tidak bersifat korosif, namun ketika gas CO₂ yang banyak terkandung dalam gas alam terlarut di dalam air maka akan membentuk asam karbonat (H₂CO₃) yang merupakan senyawa asam lemah yang sangat mudah terurai^[18].

Korosi CO₂ yang terjadi pada baja karbon, atau biasa disebut sebagai *sweet corrosion*, telah menjadi masalah yang penting dalam industri gas alam sejak tahun 1940, hal tersebut dikarenakan korosi CO₂ dapat menghasilkan laju korosi yang tinggi serta dapat mengakibatkan korosi yang terlokalisasi.

Gas CO₂ sendiri hadir sebagai gas terlarut pada air yang terkandung dalam proses produksi gas alam. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada lingkungan aqueous, CO₂ dapat membentuk asam karbonat yang memiliki sifat korosif yang kuat terhadap baja karbon. Sehingga sangatlah penting untuk memahami mekanisme korosi CO₂ yang terjadi pada baja karbon dan menemukan faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi pada korosi CO₂ tersebut^[19].

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa gas CO₂ jika tidak terlarut dalam lingkungan aqueous tidak akan menimbulkan masalah korosi

internal CO₂, namun apabila gas CO₂ terlarut dalam air maka dapat mengakibatkan kegagalan akibat korosi CO₂. Mudah terlarutnya gas CO₂ apabila dibandingkan dengan gas O₂ merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan terjadinya korosi internal CO₂, dimana apabila gas CO₂ akan terjadi pembentukan asam karbonat yang merupakan penyebab utama terjadinya korosi CO₂. Gambar 2.2 dibawah menunjukkan perbandingan kelarutan gas CO₂ dibandingkan dengan gas O₂ pada berbagai pengaruh temperatur.

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

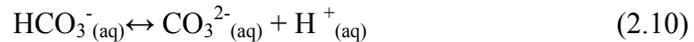
Gambar 2.2 Perbandingan Kelarutan Gas CO₂ dan Gas O₂ pada Temperatur yang Berbeda^[9]

2.3.1 Mekanisme korosi CO₂

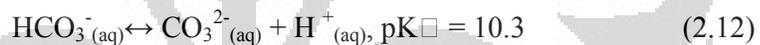
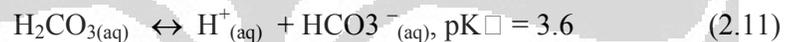
Mekanisme terjadinya korosi CO₂ adalah dimulai dengan terjadinya gas CO₂ yang terlarut dalam air akan terhidrasi yang kemudian selanjutnya akan dapat membentuk senyawa asam karbonat dengan reaksi sebagai berikut ^[1,18]:



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 merupakan korosi yang disebabkan oleh terlarutnya gas CO₂ pada lingkungan air yang mengakibatkan terbentuknya asam karbonat. Lingkungan korosif yang terjadi disebabkan karena asam karbonat yang terbentuk pada korosi CO₂ dapat terdisosiasi seiring dengan terjadinya perubahan temperatur yang sangat kecil. Terdisosiasinya asam karbonat dituliskan berdasarkan reaksi 2.11 dan 2.12 berikut:



Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa korosi CO₂ merupakan korosi yang disebabkan oleh asam karbonat. Dimana asam karbonat sendiri merupakan asam lemah, sehingga seharusnya laju korosi yang dihasilkan pada korosi CO₂ tidak terlalu tinggi. Namun beberapa penelitian menyebutkan bahwa laju korosi yang terjadi pada korosi CO₂ sangat tinggi, bahkan pada pH yang rendah, korosi yang terjadi pada baja yang disebabkan oleh larutan cair yang mengandung CO₂ lebih tinggi dibandingkan dengan HCl. Hal tersebut didasari karena pada korosi CO₂ dengan pH rendah reaksi hidrogen merupakan reaksi dominan yang terjadi yang menyebabkan tingginya laju korosi^[2].

2.3.2 Faktor yang mempengaruhi korosi CO₂

Dalam mekanisme korosi CO₂ terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terhadap terjadinya korosi CO₂, terutama yang terjadi pada baja karbon, berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi CO₂, yakni sebagai berikut^[2,8,18,24]:

1. Unsur Kimia Air

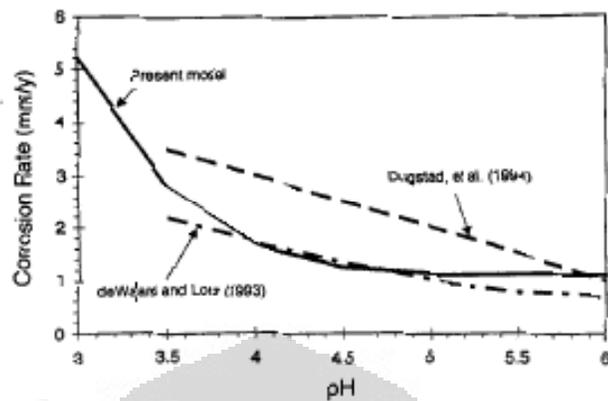
Unsur kimia air merupakan salah satu parameter yang paling mempengaruhi terhadap terjadi korosi CO₂. Unsur kimia dari air menjadi sangat beragam dimana kondisi unsur kimia dari air akan sangat bervariasi. Pada kondisi yang sangat sederhana dengan hanya terdapat sedikit ion karbonat yang terbentuk seperti yang terjadi pada air yang terkondensasi pada *pipeline* untuk jaringan gas alam, hingga pada kondisi yang sangat kompleks, dimana unsur kimia dari air akan sangat bervariasi ketika air bercampur dengan minyak mentah.

Salah satu pengaruh unsur kimia dalam korosi CO₂ adalah ketika kandungan garam yang terkandung pada air laut maupun larutan NaCl yang menggambarkan kondisi air laut penting diketahui salinitasnya, karena hal tersebut penting untuk mengetahui pH dari air laut maupun larutan NaCl yang merupakan larutan yang menggambarkan kondisi air laut. Dimana pH akan sangat mempengaruhi perhitungan laju korosi CO₂, yang dimana pH juga sangat bergantung pada unsur kimia dari larutan tersebut.

2. Pengaruh pH

Berbagai macam penelitian telah menunjukkan bahwa pH memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap laju korosi pada korosi CO₂. Tipikal pH pada air murni adalah berkisar pada pH 4, sedangkan pH pada air laut berkisar pada kisaran nilai 5-7. Pada korosi CO₂, pada pH 4 dan lebih rendah, akan terjadi reduksi langsung ion H⁺. sedangkan pada pH tinggi (>4), reaksi yang dominan adalah reduksi langsung dari asam karbonat.

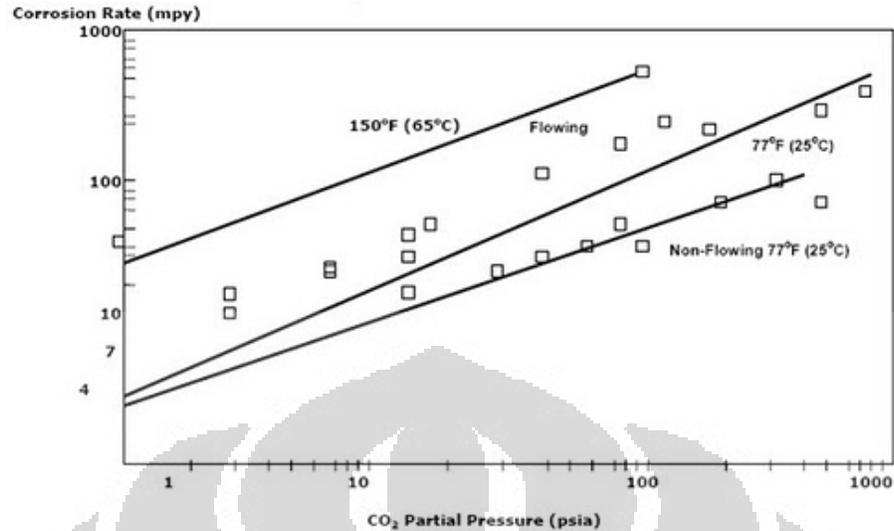
Selain berpengaruh secara langsung terhadap laju korosi yang terjadi pada korosi CO₂, efek pH lingkungan juga memiliki pengaruh yang tidak langsung dan berhubungan dengan bagaimana pH lingkungan mempengaruhi kondisi pembentukan lapisan FeCO₃. Pada pH yang tinggi (>4) akan mengakibatkan penurunan kelarutan FeCO₃ dan mengarahkan pada peningkatan laju pengendapan dan meningkatkan pembentukan *scale*, hal tersebut mengakibatkan menurunnya laju korosi yang terjadi pada korosi CO₂. Gambar 2.3 berikut menunjukkan pengaruh pH terhadap laju korosi yang terjadi pada korosi CO₂.



Gambar 2.3 Pengaruh pH Lingkungan Terhadap Laju Korosi pada Korosi CO₂^[8]

3. Pengaruh Tekanan Parsial CO₂

Pada korosi CO₂, seiring dengan peningkatan tekanan parsial CO₂, akan mengakibatkan meningkatnya laju korosi yang terjadi. Berdasarkan teori yang telah diketahui menunjukkan bahwa dengan meningkatnya tekanan parsial CO₂ maka akan mengakibatkan konsentrasi H₂CO₃ yang meningkat dan akan meningkatkan reaksi katodik dari korosi CO₂ yang kemudian akan mengakibatkan meningkatnya laju korosi. Pada pembentukan lapisan FeCO₃, peningkatan tekanan parsial CO₂ akan membantu proses pembentukan. Peningkatan tekanan parsial CO₂ akan meningkatkan konsentrasi CO₃²⁻ dan kejenuhan FeCO₃ sehingga mempercepat terbentuknya lapisan FeCO₃. Skema pengaruh tekanan parsial CO₂ terhadap laju korosi dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah berikut.



Gambar 2.4 Pengaruh Tekanan Parsial CO₂ Terhadap Laju Korosi pada Korosi CO₂^[23]

4. Pengaruh HAc

Acetic Acid (HAc) adalah asam yang lebih kuat dibandingkan dengan asam karbonat H₂CO₃. Ketika terdapat 2 asam yang berbeda dengan konsentrasi yang sama akan mengakibatkan semakin banyaknya ion hidrogen yang terbentuk. Pengaruh dari HAc biasanya sangat terlihat dengan semakin meningkatnya temperatur lingkungan, dimana dengan meningkatnya temperatur lingkungan maka akan dapat meningkatkan laju korosi pada korosi CO₂ secara drastis.

5. Pengaruh Temperatur

Temperatur mempercepat semua kinetika proses yang terlibat dalam proses korosi. Pada korosi CO₂, ketika kondisi pH lingkungan tinggi, peningkatan temperatur dapat meningkatkan secara cepat laju kinetik pengendapan dan pembentukan lapisan pelindung korosi yang mengakibatkan menurunnya laju korosi. Kondisi optimal pengaruh temperatur terhadap terbentuknya lapisan protektif pada korosi CO₂ biasa terlihat pada temperature 60-80°C, hal tersebut bergantung pada kondisi kimia larutan dan juga kondisi laju aliran.

6. Pengaruh Laju Alir

Pada korosi CO_2 , pengaruh laju aliran atau kecepatan aliran menjadi salah satu faktor utama yang mempengaruhi laju korosi yang terjadi. Terdapat 2 cara bagaimana laju alir dapat membengaruhi korosi CO_2 , yaitu sebagai berikut:

1. Ketika lapisan protektif pelindung korosi belum terbentuk, peran utama dari laju aliran turbulen adalah meningkatkan transport massa menuju dan menjauhi permukaan logam, hal tersebut akan mengakibatkan meningkatnya laju korosi yang terjadi.
2. Ketika lapisan protektif besi karbonat (FeCO_3) sudah terbentuk, atau ketika terdapat lapisan akibat penambahan inhibitor terdapat pada permukaan baja, pengaruh laju aliran menjadi tidak terlalu signifikan, dimana peran utama terdapat pada lapisan pelindung yang telah terbentuk. Laju aliran akan mengakibatkan interferensi terhadap terbentuknya lapisan pada permukaan atau dapat merusak lapisan tersebut sehingga dapat meningkatkan laju korosi yang terjadi. Selain itu, jika kerusakan lapisan pelindung ini terjadi dapat menimbulkan korosi setempat (*localized corrosion*), seperti korosi sumuran (*pitting corrosion*) pada permukaan baja.

7. Pengaruh Kehadiran H_2S

Kehadiran H_2S pada korosi CO_2 dapat memberikan pengaruh yang menguntungkan, dimana *scale* sulfida dapat memberikan lapisan protektif yang melindungi baja dari korosi CO_2 . Pembentukan asam akibat terlarutnya hidrogen sulfida 3 kali lebih lemah dibandingkan dengan kelarutan gas CO_2 .

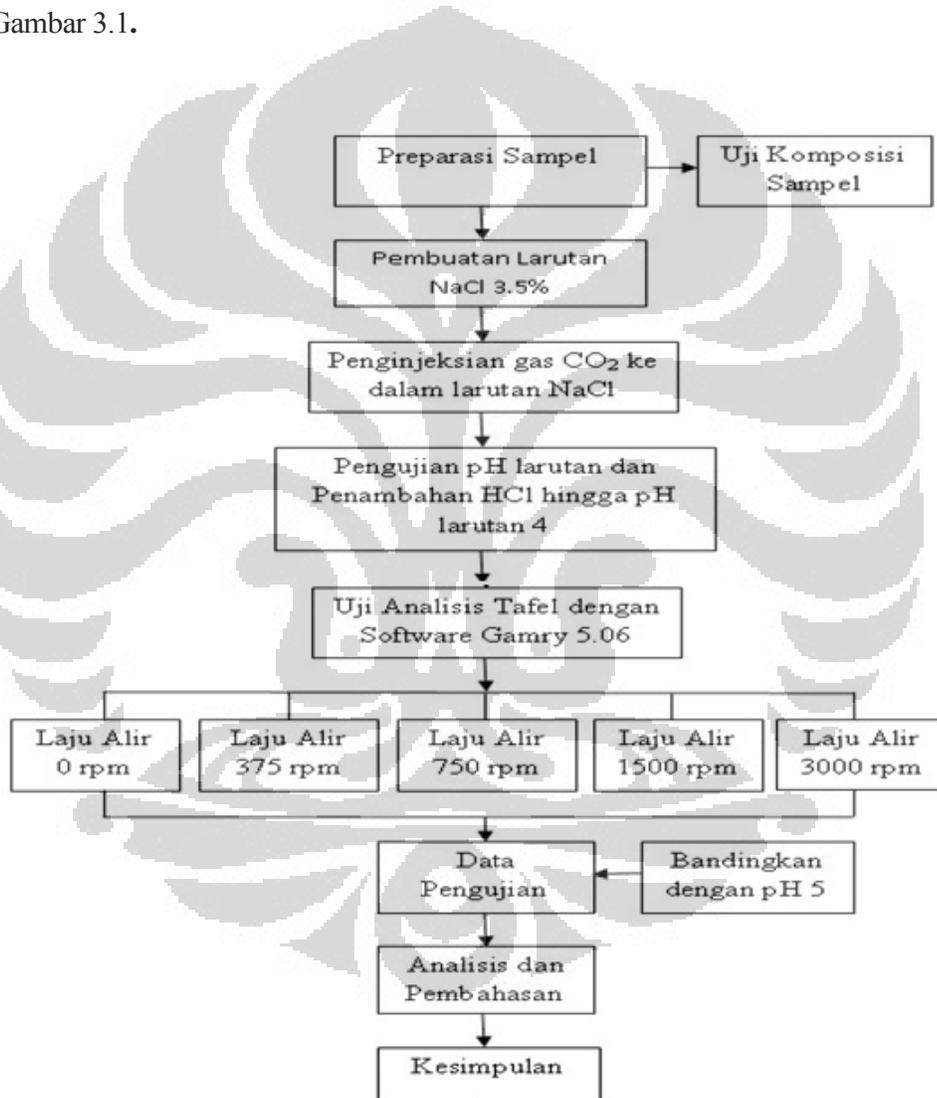
Pengaruh kehadiran H_2S dipengaruhi oleh jumlah H_2S pada sistem korosi CO_2 dimana pada kadar H_2S rendah dalam lingkungan CO_2 jenuh, maka akan mengakibatkan laju korosi yang meningkat. Hal ini akibat FeS yang terbentuk mengganggu pembentukan lapisan FeCO_3 , membentuk cacat pada lapisan, menyebabkan korosi yang terlokalisasi. Namun pada kadar H_2S yang ditingkatkan dan pada temperatur di atas 60°C akan mengakibatkan terbentuknya lapisan protektif dan menurunkan laju korosi.

BAB III

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. *Software Gamry Echem Analysis*
3. *Rotating Cylinder Electrode*
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 stirrer*
14. Beaker Glass 100 ml dan 1000 ml
15. Pipet tetes
16. Cawan petri
17. Kertas amplas 800#, 1000#, dan 1200#
18. Kamera digital

3.2.2 Bahan

1. Sampel Baja Karbon API 5L X-52
2. Gas CO₂
3. Larutan HCl
4. Larutan garam NaCl
5. Larutan buffer pH meter
6. Aquades

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja API 5L X-52, dimana material ini sering digunakan sebagai material pipa untuk *pipeline* ataupun *flowline*. Berikut adalah langkah preparasi sampel yang dilakukan:

1. Material awal berbentuk pipa dengan diameter yang cukup besar dipotong berbentuk segitiga sama sisi dengan panjang tiap sisi ± 1.5 cm dan ketebalan sesuai dengan ketebalan awal.
2. Kemudian potong material penampang menjadi berbentuk lingkaran dengan luas area uji sebesar 1 cm^2 .
3. Bor tengah sampel agar sampel berbentuk silindris agar dapat dipasang pada *rotating cylinder electrode*.
4. Setelah sampel berbentuk silinder, amplas permukaan sampel menggunakan kertas amplas grid 800#, 1000#, dan 1200#. Proses pengamplasan bertujuan untuk menghilangkan oksida yang menempel pada permukaan sampel.



Gambar 3.2 Penampang Sampel Pengujian

3.3.2 Pembuatan Larutan Uji

- a. Larutan NaCl

Larutan uji yang digunakan pada pengujian ini adalah larutan garam dengan kadar 3.5wt% NaCl. Berikut adalah langkah pembuatan larutan garam 3.5wt% NaCl:

1. Penimbangan 35 gram serbuk garam NaCl menggunakan timbangan digital untuk membuat larutan 3.5wt% NaCl.
 2. Setelah didapatkan berat yang sesuai, larutan serbuk NaCl dengan aquades sebanyak 1000 ml.
 3. Letakan beaker glass berisi larutan di atas *magnetic stirrer*, aduk hingga larutan garam menjadi homogen.
 4. Setelah selesai larutan 3.5wt% NaCl dapat digunakan untuk pengujian.
- b. Larutan HCl
1. Memasukan 4 ml HCl 5 M ke dalam gelas ukur.
 2. Tuangkan aquades sebanyak 16 ml ke dalam *beaker glass* 100 ml.
 3. Tuangkan 4 ml HCl 5M yang telah disiapkan ke dalam *beaker glass* yang telah terdapat 16 ml aquades.
 4. Aduk hingga merata menggunakan batang pengaduk.
 5. Setelah selesai larutan HCl 1M dapat digunakan untuk pengujian.

3.3.3 Pengujian

3.3.3.1 Pengujian Komposisi Sampel

Pengujian komposisi sampel baja API 5L X-52 yang digunakan pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *spectroscopy*. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi dari baja API 5L X-52 yang digunakan dengan standard baja API 5L yakni *Standar Specification for Line Pipe*.. Pengujian ini dilakukan di CMPFA Departemen Metalurgi dan Material FTUI.

3.3.3.2 Pengujian pH Larutan

Pengujian pH larutan ini dilakukan dengan menggunakan pH indikator universal dan pH meter, dimana pengujian dilakukan terhadap larutan sebelum, dan selama dilakukan injeksi gas CO₂. Pengujian menggunakan pH indikator universal dilakukan dengan cara mencelupkan kertas pH kedalam larutan selama beberapa detik dan pembacaan pH dapat dilakukan dengan membandingkan warna kertas pH dengan warna standard. Sedangkan pengujian menggunakan pH

meter dilakukan dengan diawali proses kalibrasi menggunakan *pH buffer* kemudian mencelupkan pH meter ke dalam larutan hingga ditunjukkan nilai pH yang stabil pada layar pH meter.

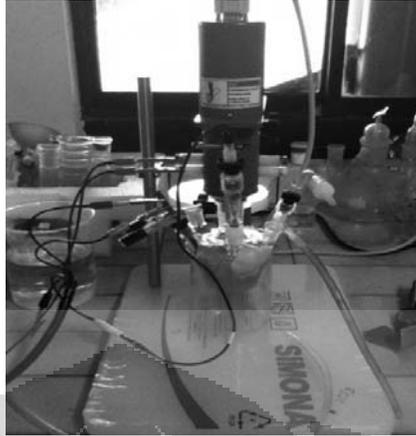
3.3.3.3 Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan dengan menggunakan *software* Gamry 5.06. Pengujian menggunakan metode polarisasi ini mengacu pada standard ASTM G59 – 97 (2009), *Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements*. Pengujian ini diawali dengan menyusun rangkaian sel polarisasi, kemudian pengujian menggunakan *software* Gamry 5.06 dilakukan dengan mengukur *corrosion potential* yang dilakukan selama 200 detik. Setelah itu pengujian untuk mengetahui laju korosi, E_{corr} dan I_{corr} dilakukan dengan menggunakan metode polarisasi *tafel* untuk mendapatkan grafik E (potensial) vs $\log I_o$ (rapat arus).

3.3.3.3.1 Pengujian Laju Korosi pada Larutan NaCl 3.5% pada Lingkungan CO₂ Jenuh dengan Pengaruh Laju Alir

Langkah – langkah yang dilakukan dalam pengujian laju korosi:

1. Menyiapkan larutan garam 3.5% NaCl.
2. Melakukan injeksi CO₂ ke dalam larutan NaCl yang telah disiapkan sampai jenuh.
3. Melakukan pengukuran pH larutan NaCl yang telah mengandung CO₂ jenuh, dan menambahkan HCl 1M hingga didapatkan pH 4.
4. Menyusun sel polarisasi seperti pada Gambar 3.2 dibawah.



Gambar 3.3 Skema Polarisasi

5. Menyalakan alat RCE dengan kecepatan 0, 375, 750, 1500, dan 3000 rpm.



Gambar 3.4 Mesin Pengatur Kecepatan *Rotating Cylinder Electrode*

6. Melakukan pengukuran pH selama dilakukan percobaan polarisasi.
7. Menyiapkan komputer dengan program Gamry 5.06 (*corrosion measurement system*) dengan program eksperimen *corrosion potential*.
8. Menyiapkan komputer dengan program Gamry 5.06 (*corrosion measurement system*) dengan program eksperimen *tafel*.
9. Memasukkan data-data pengujian pada instrumen (*setting*), dengan jangkauan potensial (-)250 hingga (+)250 mV terhadap *open potential*(*Eoc*).
10. Setelah selesai, program *scanning* dapat dijalankan dan disimpan untuk kemudian dilakukan perhitungan laju korosi oleh program.

11. Kurva hasil *scanning* dengan data 0 rpm, 375 rpm, 750 rpm, 1500 rpm, dan 3000 rpm kemudian diolah dengan program *Gamry Echem Analysis* untuk mendapatkan laju korosinya.

3.3.3.4 Analisis Kurva Polarisasi

3.3.3.4.1 Analisis Menggunakan Software *Gamry Echem Analysis*

Analisis laju korosi menggunakan *Software Gamry Echem Analysis* ini dilakukan dengan cara memplotting data grafik hasil pengujian *tafel*, dimana ditarik garis yang linear dan digunakan metode *E log fit* untuk mendapatkan nilai laju korosi hasil pengujian. Pengujian menggunakan *software* ini akan menunjukkan sedikit variasi hasil sehingga diperlukan metode manual untuk memastikan nilai laju korosi yang didapatkan.

3.3.3.4.2 Analisis Menggunakan Metode Manual

Analisis dengan menggunakan metode manual ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi hasil pengujian menggunakan metode *tafel*. Tujuan dari analisis menggunakan metode manual ini adalah untuk membandingkan hasil analisis laju korosi menggunakan *Software Gamry Echem Analysis* sehingga memastikan nilai laju korosi yang didapatkan. Adapun metode analisis dengan metode manual dilakukan dengan membuat perpotongan antara kurva anodik dan katodik untuk mendapatkan nilai I_{corr} yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan untuk menghitung laju korosi. Setelah didapatkan nilai I_{corr} digunakan persamaan berikut untuk mendapatkan nilai laju korosi:

$$mpy = \frac{0.129 \cdot I_{corr} \cdot E}{D}$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Sampel

Pengujian komposisi sampel baja API 5L X-52 yang digunakan pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *spectroscopy*. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi dari baja API 5L X-52 yang digunakan dengan standard baja API 5L yakni *Standar Specification for Line Pipe*. Pengujian ini dilakukan di CMPFA Departemen Metalurgi dan Material FTUI.

Tabel 4.1 dibawah menunjukkan hasil pengujian sampel baja API 5L X-52 dengan menggunakan *spectroscopy* yang menunjukkan komposisi kimia dari sampel baja API 5L X-52 yang digunakan dalam pengujian ini.

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

Apabila dibandingkan dengan standard baja API 5L yakni *Standar Specification for Line Pipe*, spesifikasi baja API 5L X-52 memiliki spesifikasi komposisi yakni sebagai berikut^[4]:

1. Kadar C max 0.28%,
2. Kadar Mn max 1.4%,
3. Kadar Ti max 0.04%,

Berdasarkan perbandingan diatas dapat disimpulkan bahwa baja yang digunakan dalam penelitian ini dapat digolongkan dalam spesifikasi baja API 5L X-52.

Baja API 5L X-52 ini sendiri termasuk sebagai baja karbon rendah, baja ini juga memiliki kandungan Cr dan Ti yang tidak tinggi, dimana kandungan Cr dan Ti berguna sebagai pencegah terjadinya proses korosi, sehingga pada baja

API 5L X-52 ketahanan korosinya tidak terlalu baik bila dibandingkan dengan baja tahan karat yang mengandung Cr dan Ti yang lebih tinggi^[12].

4.2 Pengukuran pH Larutan

Pada penelitian yang penulis lakukan, pengukuran pH larutan NaCl 3.5% yang digunakan dilakukan pada saat sebelum dan selama dilakukan injeksi gas CO₂ ke dalam larutan. Pengukuran pH larutan yang penulis lakukan tersebut bertujuan untuk membuktikan bahwa dengan diinjeksikannya gas CO₂ kedalam larutan NaCl 3.5% akan dapat melarutkan gas CO₂ yang terkandung dalam larutan NaCl 3.5% dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Kelarutan gas CO₂ dalam suatu lingkungan aqueous dapat mempengaruhi reaksi korosi yang terjadi, dimana dengan terdapatnya CO₂ terlarut akan terjadi korosi CO₂ atau yang biasa disebut sebagai *sweet corrosion*^[5].

4.2.1 Pengukuran pH Larutan Sebelum Diinjeksi Gas CO₂

Pada pengukuran pH larutan NaCl 3.5% sebelum dilakukan injeksi gas CO₂ ke dalam larutan, didapatkan nilai pH hasil pengukuran menggunakan pH meter maupun pH indikator universal dengan kisaran sebesar 6,7-7.

Berdasarkan nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa pH pada larutan NaCl 3.5% merupakan pH netral. Hal tersebut disebabkan karena garam NaCl yang digunakan merupakan zat dengan pH netral, sehingga dengan penambahan aquades tidak akan merubah pH larutan garam NaCl menjadi lebih asam maupun basa^[6].



Gambar 4.1 Pengujian pH Larutan NaCl 3.5% Sebelum Dialiri CO₂

4.2.2 Pengukuran pH Larutan Setelah Diinjeksi CO₂

Pengukuran pH yang dilakukan setelah dilakukan injeksi gas CO₂ ini dilakukan dengan menggunakan pH meter dan pH indikator universal dimana pada purging yang dilakukan pada kecepatan aliran 0, 375, 750, 1500, dan 3000 rpm didapatkan nilai dengan kisaran 4.7-4.8, sehingga pada penelitian yang penulis lakukan untuk didapatkan pH larutan sebesar 4 maka perlu ditambahkan larutan HCl 1M ke dalam larutan NaCl 3.5% yang telah diinjeksi gas CO₂.



Gambar 4.2 Pengujian pH Larutan NaCl 3.5% Setelah Dialiri CO₂

Penambahan HCl 1M ke dalam larutan NaCl 3.5% ini bertujuan untuk menjaga agar pH larutan konstan pada besaran pH 4. Penambahan larutan HCl

yang ditambahkan sebanyak 10-15 tetes pipet. Pengukuran nilai pH ini dilakukan secara terus menerus saat injeksi gas CO₂ selama 1 jam, dan terus dipantau nilainya selama dilakukan pengujian laju korosi.

4.3 Analisis Laju Korosi Baja Karbon

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan pengujian dengan metode analisis *tafel*. Dimana pada pengujian analisis *tafel* ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada baja karbon API 5L X-52 dalam lingkungan NaCl 3.5% dengan pengaruh CO₂ jenuh, serta mengetahui perilaku korosi yang terjadi pada baja karbon tersebut.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *software* Gamry 5.06 yang dimulai dengan melakukan pengujian *corrosion potential* dan dilanjutkan dengan menggunakan metode analisis *tafel*.

Pada pengujian ini digunakan *standard electrode* berupa Hg/HgCl₂ atau biasa disebut sebagai elektroda standard kalomel, elektroda standard kalomel ini memiliki satuan konversi +0.24 vs SHE. *Counter electrode* yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan Anoda Grafit, dan *working electrode* yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja karbon API 5L X-52 berbentuk silindris yang dipasangkan ke *Rotating Cylinder Electrode*. Adapun kecepatan pemindaian (*scan rate*) yang digunakan adalah sebesar 1 mV/detik terhadap potensial korosi (E_{oc}).

Setelah dilakukan pengujian menggunakan metode analisis *tafel*, akan didapatkan kurva hasil pengujian yang kemudian dari kurva tersebut akan dianalisis karakteristik kurva, rapat arus korosi (I_{corr}), dan potensial korosi (E_{corr}), yang kemudian laju korosi dari baja karbon API 5L X-52 yang digunakan dalam pengujian ini dapat diketahui nilainya menggunakan *software Gamry Echem Analysis* dan juga menggunakan analisis laju korosi secara manual dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$mpy = \frac{0.129 \cdot I_{corr} \cdot E}{D} \quad (4.2)$$

dimana :

I_{corr} : Rapat arus korosi (μA/cm²)

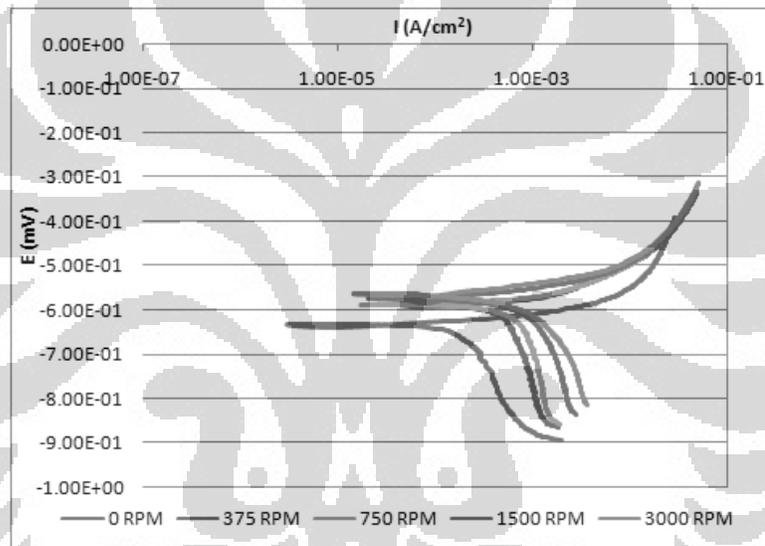
E : Berat ekuivalen (gr/mol.eq)

D : Berat jenis (gr/cm³)

4.3.1 Analisis Laju Korosi Baja Karbon pada pH Lingkungan 4

Pengujian ini dilakukan pada baja karbon di lingkungan NaCl 3.5% dengan kandungan CO₂ jenuh yang telah diinjeksikan selama 1 jam dengan tekanan atmosfer 1 atm, suhu lingkungan 25°C. pH lingkungan diatur hingga mencapai nilai 4 dengan menambahkan 10-15 tetes HCl 1 M kedalam larutan NaCl 3.5%.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *software* Gamry 5.06 dengan metode analisis *tafel*, sehingga dengan dilakukannya pengujian tersebut yang dilakukan dengan variasi kecepatan aliran dari 0-3000 RPM maka didapatkan kurva sebagai berikut.



Gambar 4.3 Kurva Polarisasi Baja API 5L X-52 pada Lingkungan NaCl 3.5% dengan Kandungan CO₂ Jenuh pada pH Lingkungan 4 dengan Pengaruh Putaran 0-3000 RPM.

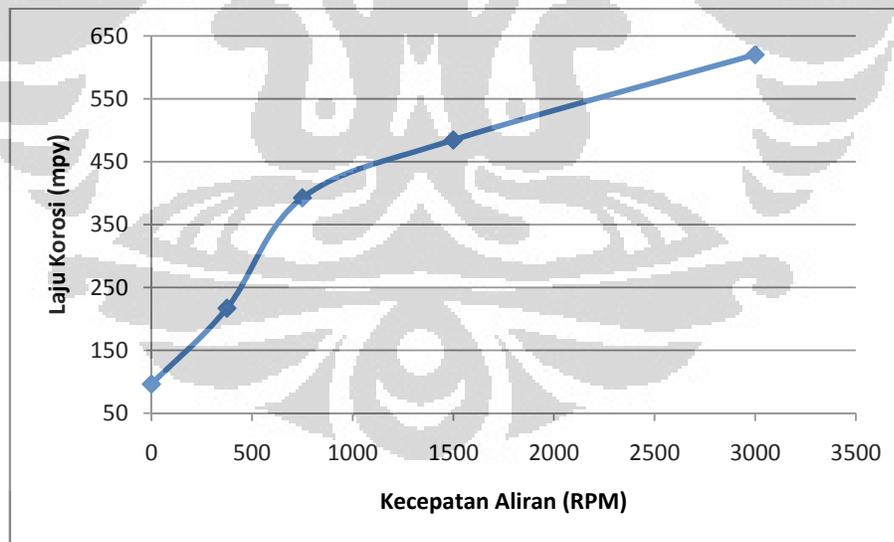
Selain dapat menganalisa karakteristik kurva yang diberikan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 diatas, laju korosi dari baja karbon yang digunakan dalam penelitian ini juga dapat ditentukan, dengan menggunakan *software Gamry Echem Analysis* serta dengan metode manual dapat ditentukan dengan mencari titik perpotongan antara kurva anodik dan kurva katodik, maka didapatkan data laju korosi yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L X-52 pada Lingkungan NaCl 3.5% dengan CO₂ Jenuh pada pH 4

Kecepatan Aliran (RPM)	Rapat Arus Korosi / I _{corr} (I/cm ²)	Laju Korosi (mpy)
0	210.5	96.18
375	474.6	216.9
750	859.2	392.6
1500	1016	484.6
3000	1357	620.3

Berdasarkan Tabel 4.2 diatas diketahui bahwa besar kisaran laju korosi yang terjadi pada baja karbon pada lingkungan NaCl 3.5% dengan kandungan CO₂ jenuh pada pH lingkungan 4 menunjukkan nilai yang sangat tinggi dengan kisaran nilai laju korosi pada 96 hingga 620 mpy pada variasi kecepatan aliran 0 hingga 3000 RPM.

Adapun pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi pada baja karbon dengan lingkungan NaCl 3.5% dengan kandungan CO₂ jenuh pada pH lingkungan 4 dapat terlihat pada Gambar 4.4 dibawah berikut.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Laju Aliran dengan Laju Korosi Baja API 5L X-52 Lingkungan Yang Mengandung Gas CO₂ pada pH 4

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada kecepatan putaran 0 RPM, kurva yang dihasilkan berada cukup jauh apabila dibandingkan dengan

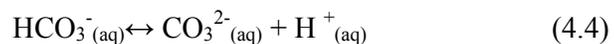
kurva pada kecepatan putaran 375 RPM. Hal tersebut jika dikaitkan dengan pengaruh laju putaran terhadap laju korosi, dimana laju aliran turbulen adalah meningkatkan transport massa sehingga laju korosi yang terjadi pada baja karbon pada lingkungan CO₂ jenuh akan meningkat^[2,10], hal tersebut dibuktikan dengan perbedaan kurva yang terjadi pada Gambar 4.3.

Sedangkan pada kurva dengan pengaruh kecepatan putaran 375, 750, 1500, dan 3000 RPM jarak antara kurva saling berdekatan. Hal tersebut membuktikan bahwa seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran maka transport massa yang terjadi juga akan semakin cepat.

Jika dilihat pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa laju korosi yang terjadi pada kecepatan putaran yang menunjukkan laju aliran 0 RPM didapati nilai laju korosi 96.18 mpy, sedangkan dengan laju alir 375 RPM ditunjukkan nilai 216.9, laju alir 750 RPM menunjukkan laju korosi 392.6 mpy, laju alir 1500 RPM menunjukkan laju korosi 484.6 mpy, dan laju alir 3000 RPM menunjukkan laju korosi 620.3 mpy. Hal tersebut menunjukkan laju korosi yang sangat tinggi.

Jika ditinjau berdasarkan teori yang ada dimana 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^[2,7,8]. Pada penelitian yang dilakukan digunakan pH lingkungan 4 pada setiap kecepatan aliran, dimana untuk mendapatkan pH 4 tersebut digunakan HCl 1M, dengan tingginya nilai laju korosi yang dihasilkan, hal tersebut menunjukkan bahwa reaksi reduksi hidrogen merupakan reaksi yang dominan pada reaksi katodik di pengujian ini.

Reaksi reduksi hidrogen yang terjadi pada korosi CO₂ di lingkungan dengan pH 4 ini terjadi akibat lepasnya ion H⁺ dari ion karbonat berdasarkan reaksi berikut:



4.4.2 Analisis Besaran Laju Korosi Baja Karbon dalam Lingkungan NaCl 3.5% dengan Kandungan CO₂ Jenuh pada pH Lingkungan 4

Penelitian yang dilakukan dalam penulisan ini menitikberatkan pada analisis laju korosi yang terjadi pada baja karbon dengan kandungan CO₂ jenuh, serta karakteristik proses korosi yang terjadi.

Hal tersebut dapat berguna pada jaringan perpipaan karena material baja karbon API 5L X-52 cukup banyak digunakan sebagai material untuk *pipeline* maupun *flowline* pada industri gas alam di Indonesia.

Variasi kecepatan putaran atau laju aliran digunakan dalam pengujian ini, dengan tekanan 1 atmosfer, suhu lingkungan 25°C dan pH lingkungan dijaga tetap dengan nilai pH 4.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil laju korosi pada variasi kecepatan 0 hingga 3000 rpm dengan rentang yang cukup besar yakni sebesar 96-620 mpy.

Laju korosi dari suatu material dapat digunakan untuk memperkirakan ketahanan logam tersebut terhadap korosi dalam lingkungan tertentu. Berdasarkan perbandingan dengan menggunakan tabel dibawah maka dapat dilihat ketahanan material yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4.3 Ketahanan Korosi Relatif Material Baja^[3]

Ketahanan Korosi Relatif	Laju Korosi				
	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

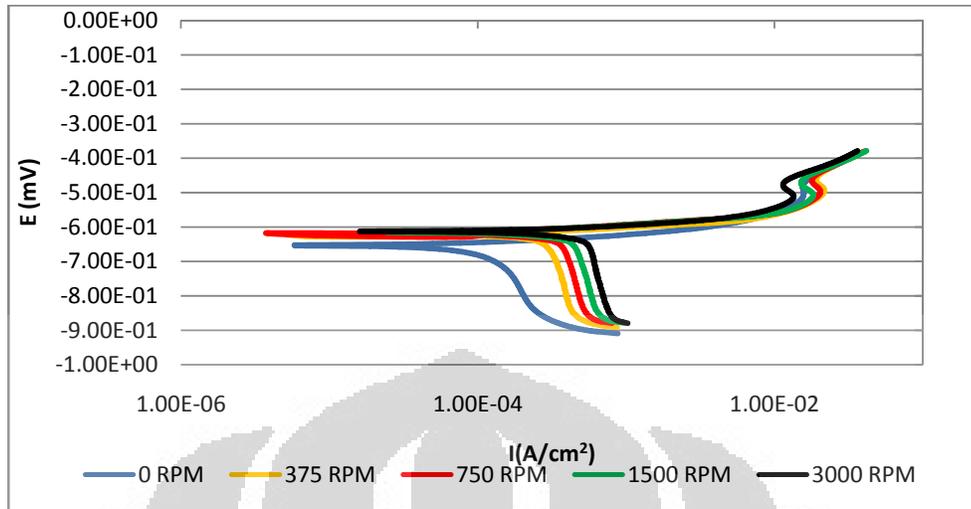
Berdasarkan Tabel 4.3 diatas laju korosi dari baja karbon API 5L X-52 yang diperoleh dari pengujian ini menunjukkan laju korosi yang sangat besar. Nilai laju korosi baja karbon dalam lingkungan NaCl 3.5% yang mengandung CO₂ jenuh, dengan tekanan atmosfer 1 atm dan suhu lingkungan 25°C dapat

dikategorikan ke dalam tingkatan buruk, bahkan pada kecepatan laju alir diatas 375 rpm sudah menunjukkan nilai yang berada di luar batasan dari Tabel 4.3. Nilai laju korosi ini sangat membahayakan *flowline* dan *pipeline* yang digunakan sebagai pipa penyalur gas alam.

Berdasarkan nilai laju korosi yang dibandingkan dengan tabel ketahanan material diatas, dapat disimpulkan bahwa ketahanan korosi baja karbon API 5L X-52 yang mengandung CO₂ jenuh pada pH lingkungan 4 sangat membahayakan jika digunakan sebagai material untuk jaringan perpipaan *flowline* maupun *pipeline* karena dapat mengakibatkan kegagalan. Selain itu menurut penelitian yang telah dilakukan juga menunjukkan bahwa semakin meningkatnya laju alir maka ketahanan korosi dari baja karbon akan semakin buruk yang ditunjukkan dengan meningkatnya laju korosi secara besar. Untuk menanggulangi hal tersebut diperlukan langkah proteksi seperti dengan mengubah kondisi lingkungan seperti meningkatkan pH lingkungan maupun dapat dengan menggunakan proteksi korosi^[9].

4.4.3 Analisis Laju Korosi Baja Karbon pada pH Lingkungan 5

Pengujian ini telah dilakukan oleh Bapak Andi Rustandi dan Nur Aziz Octoviawan^[13]. Dimana pengujian dilakukan dengan menggunakan larutan NaCl 3.5% dengan tekanan atmosfer 1 atm, suhu lingkungan 25°C, dan pH lingkungan 5. NaCl 3.5% yang digunakan telah diinjeksikan gas CO₂ hingga jenuh selama 1 jam sebelum dilakukan pengujian laju korosi. Hasil pengujian laju korosi menggunakan analisis *tafel* dapat dilihat pada Gambar 4.5 dibawah berikut.



Gambar 4.5 Kurva Polarisasi Baja API 5L X-52 Pada Lingkungan NaCl 3.5% yang Mengandung Gas CO₂ pada pH Lingkungan 5 dengan Variasi Kecepatan Putaran 0-3000 RPM

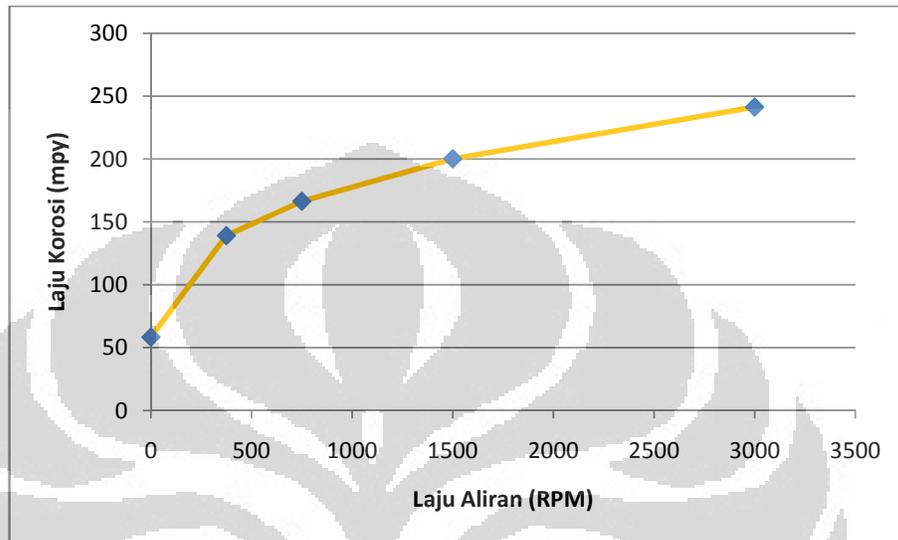
Berdasarkan kurva yang diperoleh dari hasil pengujian polarisasi menggunakan metode *tafel*, maka laju korosi dari baja karbon dengan pengaruh CO₂ jenuh pada pH lingkungan 5 dapat ditentukan dengan mencari titik perpotongan antara kurva anodik dan kurva katodik, sehingga didapatkan nilai laju korosi yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah berikut.

Tabel 4.4 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L X-52 pada Lingkungan NaCl 3.5% dengan CO₂ Jenuh pada pH 5

Kecepatan Aliran (RPM)	Rapat Arus Korosi/ I _{corr} (I/cm ²)	Laju Korosi (mpy)
0	127.7	58.37
375	304.5	139.1
750	364.2	166.4
1500	438.1	200.2
3000	528.2	241.4

Berdasarkan Tabel 4.4 diatas diketahui bahwa besar kisaran laju korosi yang terjadi pada baja karbon pada lingkungan NaCl 3.5% dengan kandungan CO₂ jenuh pada pH lingkungan 5 menunjukkan nilai yang cukup tinggi dengan kisaran nilai laju korosi pada 58 hingga 241 mpy.

Adapun pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi pada baja karbon dengan lingkungan NaCl 3.5% dengan kandungan CO₂ jenuh pada pH lingkungan 5 dapat terlihat pada Gambar 4.6 dibawah berikut.

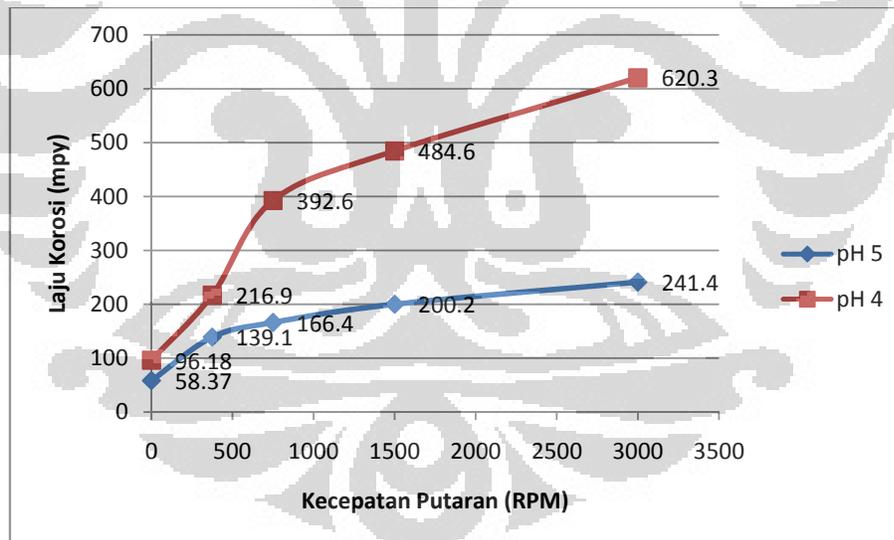


Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Laju Aliran dengan Laju Korosi Baja API 5L X-52 Lingkungan Yang Mengandung Gas CO₂ pada pH 5

Dari Gambar 4.6 diatas dapat dilihat bahwa dengan semakin meningkatnya kecepatan laju aliran maka laju korosi yang dihasilkan juga akan semakin meningkat pula. Pada Gambar 4.6 diatas dapat dilihat bahwa pada kondisi 0 rpm, laju korosi yang terjadi pada baja karbon masih berkisar 58 mpy, sedangkan dengan diberikannya kecepatan laju aliran sebesar 375 rpm maka laju korosi yang terjadi meningkat dengan drastis dimana nilai laju korosi yang dihasilkan berkisar pada 139 mpy, dimana hal tersebut menunjukkan peningkatan nilai yang sangat besar, sedangkan seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran maka laju korosi yang dihasilkan juga akan meningkat pula, namun pola peningkatan laju korosi yang dihasilkan ketika telah diberikan kecepatan aliran tidak sebesar jika dibandingkan dengan ketika sebelum diberikan kecepatan aliran sama sekali.

4.4.4 Perbandingan Laju Korosi Baja Karbon pada Larutan NaCl 3.5% dengan pH Lingkungan 4 dan pH Lingkungan 5 yang Mengandung CO₂ Jenuh

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.5 yang menunjukkan karakteristik korosi CO₂ yang terjadi pada baja karbon dengan perbedaan pH 4 dan pH 5 dapat dilihat bahwa pada Gambar 4.5 pada setiap perbedaan kecepatan putaran memiliki jarak antar kurva yang teratur dan tidak terlalu rapat, berbeda dengan yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 dimana jarak antara kurva dengan perbedaan kecepatan alir lebih rapat. Selain itu pada Gambar 4.5 ditunjukkan bahwa pada semua daerah anodik kurva, terlihat terbentuknya daerah pasif, hal tersebut tidak ditunjukkan pada Gambar 4.3, hal tersebut menunjukkan bahwa pada pH yang lebih tinggi akan terbentuk lapisan protektif FeCO₃ yang merupakan lapisan pasif yang berfungsi untuk menurunkan laju korosi, namun pada pH yang lebih rendah tidak menunjukkan adanya daerah pasif sehingga dapat disimpulkan bahwa pada pH 4 tidak terdapat lapisan protektif FeCO₃ yang berfungsi sebagai penghambat laju korosi.



Gambar 4.7 Perbandingan Laju Korosi pada pH 4 dan pH 5 dengan Pengaruh Kecepatan Putaran

Hal tersebut diperkuat dengan Gambar 4.7 yang dapat dilihat pada gambar diatas. Pada Gambar 4.7 dapat terlihat bahwa pada pH 4 dengan kecepatan putaran 0 RPM menunjukkan laju korosi 96.18 mpy, sedangkan pada pH 5 dengan

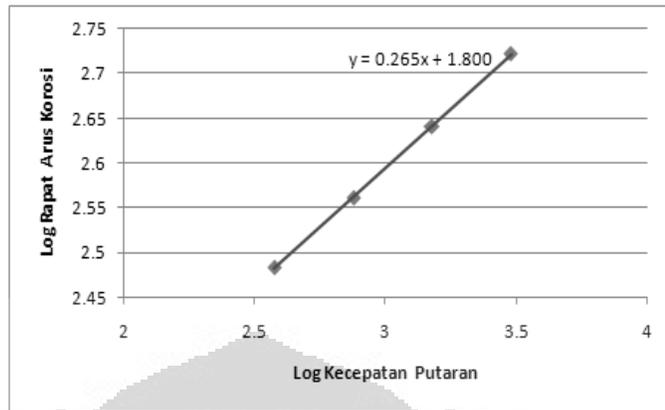
kecepatan putaran 0 RPM menunjukkan laju korosi 58.37 mpy. Perbedaan laju korosi yang didapatkan didasari pada terbentuknya FeCO_3 sebagai lapisan pelindung yang terjadi pada pH 5 yang lebih tinggi, sedangkan pada pH 4 tidak terjadi pelindungan pada permukaan sehingga laju korosi yang terjadi tinggi serta ditambah dengan lebih dominannya reaksi reduksi hidrogen yang turut membantu meningkatkan laju korosi yang terjadi^[2,8].

Pada kecepatan putaran yang ditingkatkan maka pada pH 5 dengan kecepatan 375 RPM maka didapatkan laju korosi 139.1 mpy, pada kecepatan 750 RPM didapatkan 166.4 mpy, pada kecepatan 1500 RPM didapatkan laju korosi 200.2 mpy, dan pada kecepatan 3000 RPM didapatkan laju korosi 241.4 mpy. Pada pH 5, peningkatan laju korosi seiring dengan peningkatan kecepatan putaran tidak terpaut cukup besar, hal tersebut karena sudah terbentuknya lapisan FeCO_3 yang melindungi permukaan logam, namun terkikis akibat laju aliran yang terjadi. Seiring dengan meningkatnya laju aliran pada pH 5 maka semakin banyak pula lapisan pasif yang terkikis sehingga hal tersebut yang dapat menyebabkan meningkatnya laju korosi pada pH 5.

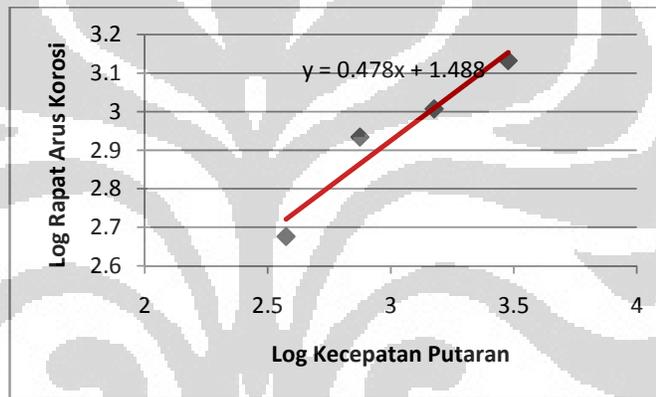
Sedangkan pada pH 4, dengan kecepatan putaran 375 RPM didapatkan laju korosi 216.9, pada kecepatan 750 RPM didapatkan 392.6 mpy, pada kecepatan 1500 RPM didapatkan laju korosi 484.6 mpy, dan pada kecepatan 3000 RPM didapatkan laju korosi 620.3 mpy.

Berbeda dengan kondisi laju korosi pada pH 5, pada pH 4 dengan perbedaan kecepatan putaran maka akan mengakibatkan transport massa akan semakin banyak terjadi pada permukaan logam, hal tersebut diakibatkan karena tidak terbentuknya lapisan FeCO_3 , sehingga dengan semakin cepat laju aliran yang diberikan maka transport massa yang terjadi akan semakin banyak pula. Selain itu reduksi ion hidrogen, yang merupakan reaksi yang dominan terjadi pada pH 4, juga akan semakin meningkat pula seiring dengan semakin cepatnya kecepatan aliran yang diberikan^[2,8].

Transport massa yang merupakan reaksi yang dominan yang terjadi pada pH 4 dapat dibuktikan berdasarkan perbandingan antara Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dibawah berikut.



Gambar 4.8 Plot Logaritmik pH 5



Gambar 4.9 Plot Logaritmik pH 4

Berdasarkan Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 diatas ditunjukkan bahwa kemiringan garis pada Gambar 4.9 menunjukkan nilai kemiringan garis yang lebih besar yakni 0.478, dimana apabila nilai kemiringan garis semakin mendekati nilai 0.7 maka mekanisme yang terjadi semakin dipengaruhi oleh transport massa^[13], sehingga pada pH 4 laju korosi yang lebih besar terjadi dikarenakan mekanisme korosi CO₂ yang terjadi lebih dipengaruhi oleh transport massa.

BAB V

KESIMPULAN

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

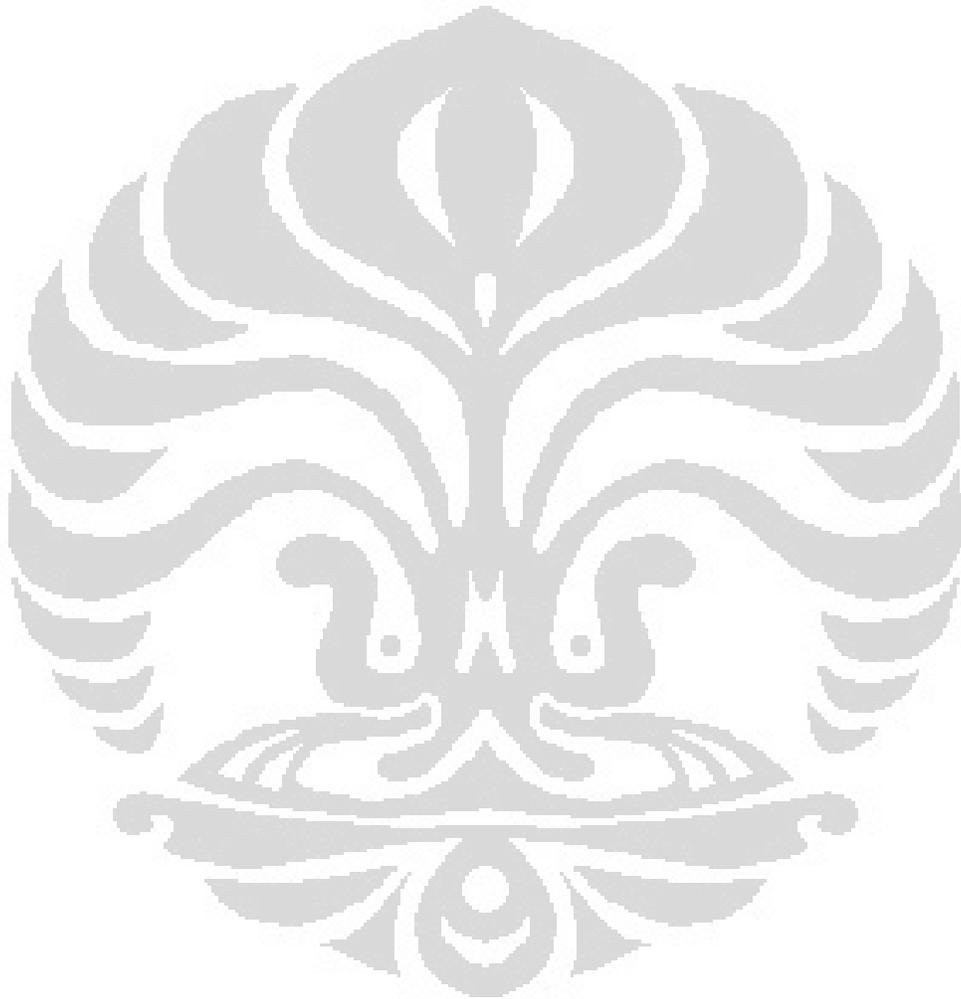
1. Peningkatan laju alir akan mengakibatkan laju korosi pada Baja API 5L X-52 pada lingkungan yang mengandung gas CO₂ akan mengalami peningkatan.
2. Laju korosi pada baja karbon API 5L X-52 di lingkungan NaCl 3.5% dengan kandungan CO₂ jenuh pada pH 4 dengan variasi laju alir 0-3000 RPM berkisar pada nilai 96-620 mpy.
3. Pada lingkungan korosif dengan kandungan CO₂ jenuh di pH 4, laju korosi baja karbon API 5L X-52 dengan pengaruh laju alir akan dipengaruhi oleh reduksi ion hidrogen dan transport massa akibat tidak terbentuknya lapisan protektif FeCO₃.
4. Baja karbon API 5L X-52 yang digunakan dalam larutan NaCl 3.5% dengan kandungan CO₂ jenuh dengan variasi laju alir memiliki ketahanan korosi yang buruk sehingga membahayakan apabila digunakan sebagai material *pipeline* maupun *flowline*.
5. Pada korosi CO₂, dengan lingkungan pH yang berbeda akan menghasilkan laju korosi yang berbeda pula, dimana pada pH yang lebih tinggi laju korosi akan lebih rendah apabila dibandingkan dengan laju korosi pada lingkungan dengan pH rendah.
6. Pada korosi CO₂, dengan pH lingkungan yang lebih tinggi akan membentuk lapisan pasif FeCO₃ yang berfungsi sebagai proteksi terhadap korosi CO₂.

DAFTAR REFERENSI

1. G.S. Das, dan A.S. Khanna. Parametric Study of CO₂/H₂S Corrosion of Carbon Steel Used for Pipeline Application. Indian Institute of Technology Bombay. India. 2004
2. Johnson, Roy. Corrosion of Carbon Steel in Hydrocarbon Environment. NTNU Institute of Engineering Design and Material. Norway. 2004
3. Jones, Denny A. Principles and Prevention of Corrosion. Maxwell Macmillan. Singapura. 1992.
4. American Petroleum Institute. API Specification 5L for Pipeline 43rd Edition. American Petroleum Institute. 2004
5. Lopez. D. A, Perez. T, dan Simison. S.N. The Influence of Microstructure and Chemical Composition of Carbon and Low Alloy Steels in CO₂ Corrosion. Argentina. 2003
6. Wayhuadi, Johny. Rustandi, Andi. 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 G10180 dengan Metode Tafel Analisis pada Sel RCE (Rotating Cylinder Electrode). Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2010
7. Nazari, Honarvar. Allahkaram, S.R. Kermani, M.B. The Effects of Temperature and pH on the Characteristics of Corrosion Product in CO₂ Corrosion of Grade X70 Steel. University of Tehran. Iran. 2010
8. Nestic, S. Olsen, S. Postlethwaite. An Electrochemical Model for Prediction of Corrosion of Mild Steel in Aqueous Carbon Dioxide Solutions. NACE International. 1996
9. Rustandi, Andi. Iandiano, Dito. 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 %. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2011
10. Langsholt, Nordsveen, Lunde. Wall Shear Stress and Mass Transfer Rates Important Parameter in CO₂ Corrosion. University of Queensland. Australia. 1997

11. Sotelo, D.M Ortega, J.G Gonzales-Rodriguez. CO₂ Corrosion Inhibition of X-70 Pipeline Steel by Carboxyamido Imidazoline. Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados. Mexico. 2010
12. Cunat, Pierre-Jean. Alloying Elements in Stainless Steel and Other Chromium-Containing Alloys. Euro Enox. 2004
13. Rustandi, Andi. Octoviawan, Nur Aziz. Studi Pengaruh Laju Alir Fluida Terhadap Laju Korosi Baja API 5L X-52 Menggunakan Metode Polarisasi pada Lingkungan NaCl 3.5 yang Mengandung CO₂. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2011
14. Riastuti, Rini. Modul Kuliah Korosi dan Degradasi Material. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2010
15. Fontana, Mars. Corrosion Engineering 3rd Edition. McGraw-Hill Book Company. Singapore. 1987
16. Roberge, Pierre. Handbook of Corrosion Engineering. McGraw-Hill Book Company. Singapore. 1999
17. Tolage, Juanda. Proses Sweetening Gas Alam dengan Metil Dietanol Amine. UKIP. 2005
18. Smith, L.M. Kermani, M.B. CO₂ Corrosion Control in Oil And Gas Production. The Institute of Materials. London. 1997
19. Fang, Haitao. Low Temperature and High Salt Concentration Effects on General CO₂ Corrosion for Carbon Steel. the Russ College of Engineering and Technology of Ohio University. Canada. 2006
20. <http://www.esdm.go.id/berita/migas/40-migas/3190-cadangan-produksi-gas-bumi-indonesia-mencapai-59-tahun.html>. diakses pada 11 November 2011 pukul 21.47
21. <http://www.datacon.co.id/Gasalam2010hal1.html>. diakses pada 11 November 2011 pukul 20.54
22. http://kimia.upi.edu/utama/bahanajar/kuliah_web/2008/Riski%20Septiadevana%200606249_IE6.0/halaman_9.html. diakses pada 11 November 2011 pukul 20.35
23. http://met-engineering.blogspot.com/2009/06/environment-effects_18.html. diakses pada 11 November 2011 pukul 21.30

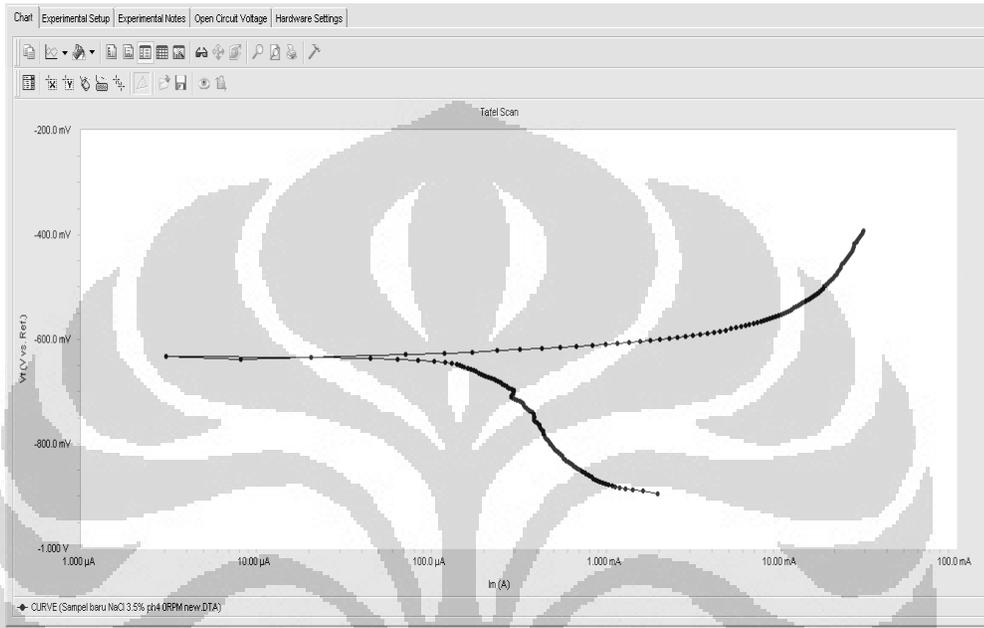
24. Netic, S. George, K.S. Investigation of Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in the Presence of Acetic Acid. Corrosion Vol 63. 2007.



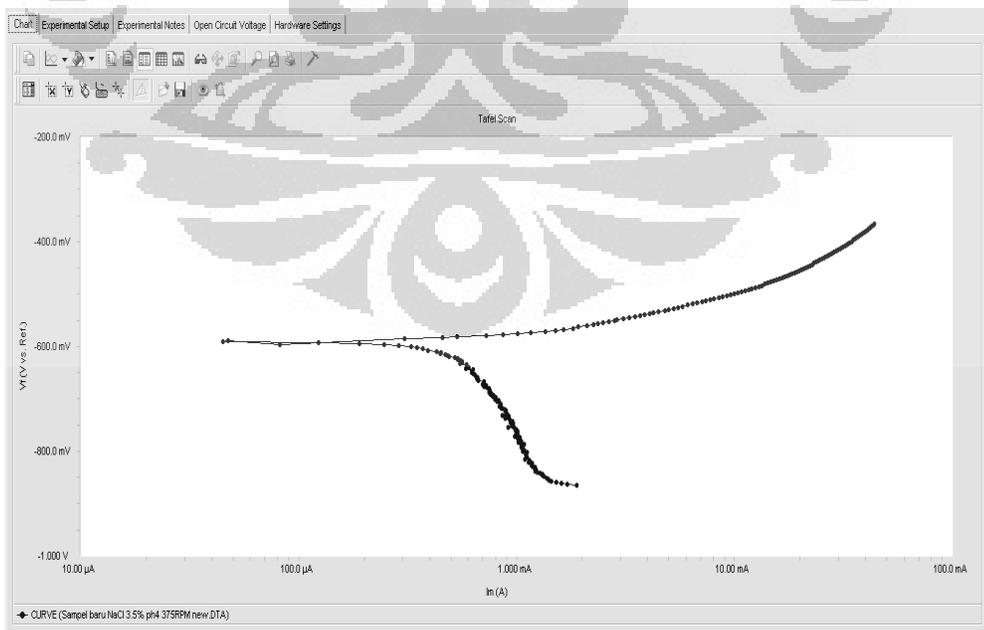
LAMPIRAN

1. Grafik Hasil Pengujian Polarisasi Baja Karbon dalam Larutan NaCl 3.5% yang Mengandung CO₂

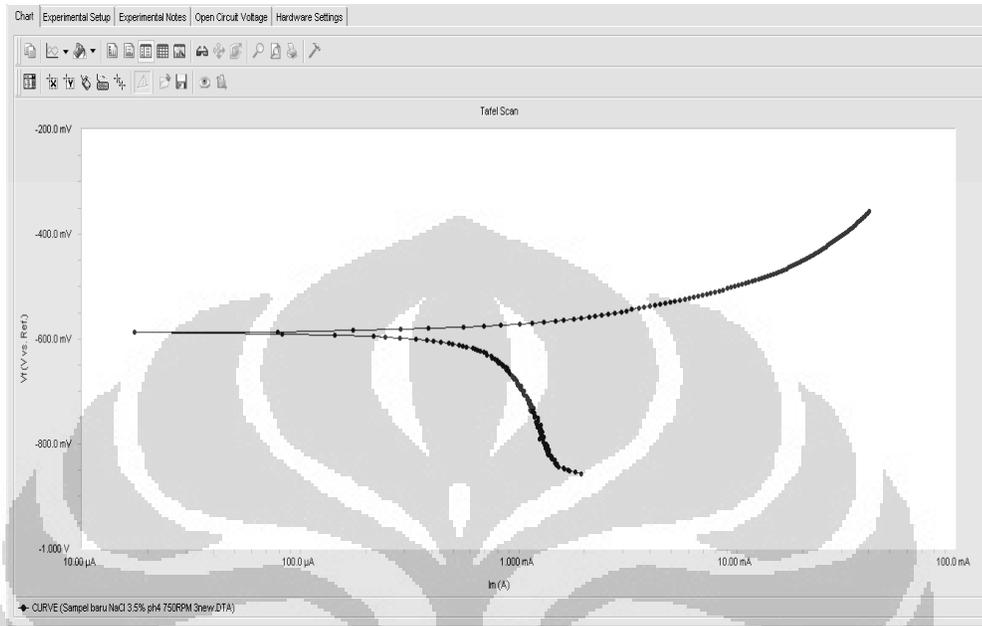
1. Tafel analisis baja API 5L X-52 pada Kecepatan 0 RPM pH 4



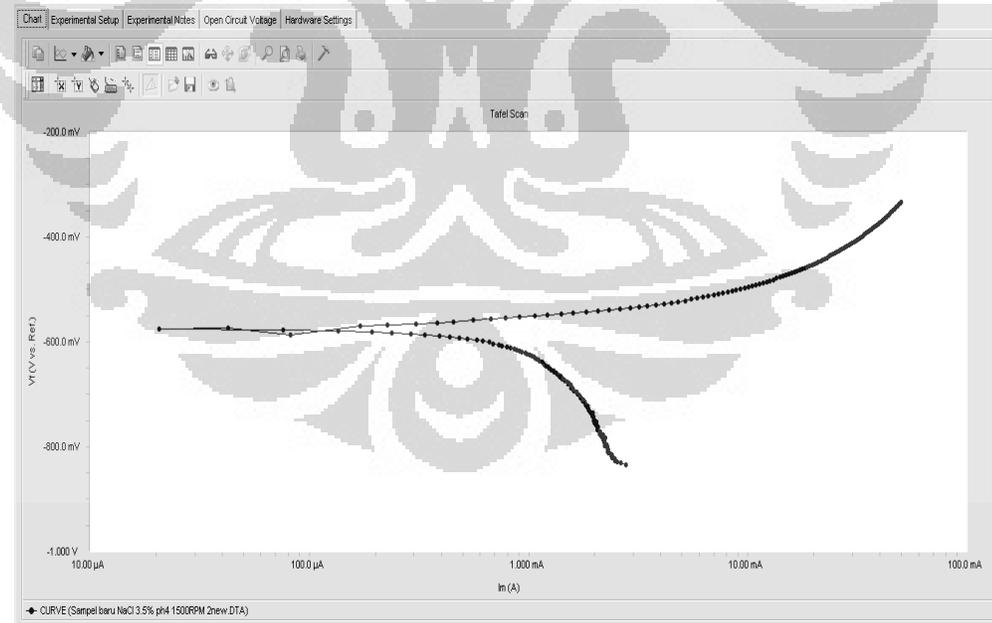
2. Tafel analisis baja API 5L X-52 pada Kecepatan 375 RPM pH 4



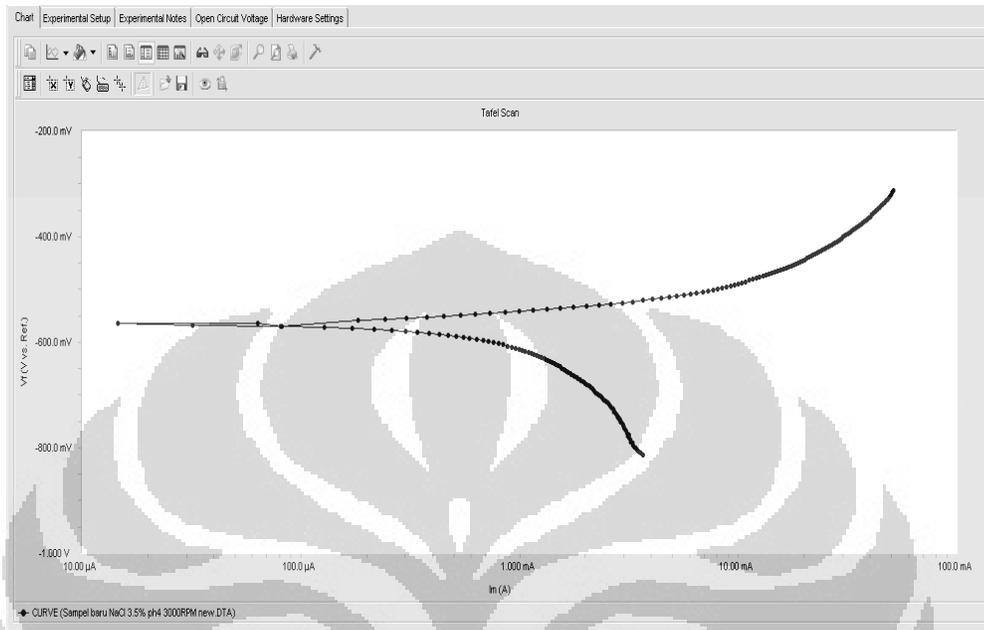
3. Tafel analisis baja API 5L X-52 pada Kecepatan 750 RPM pH 4



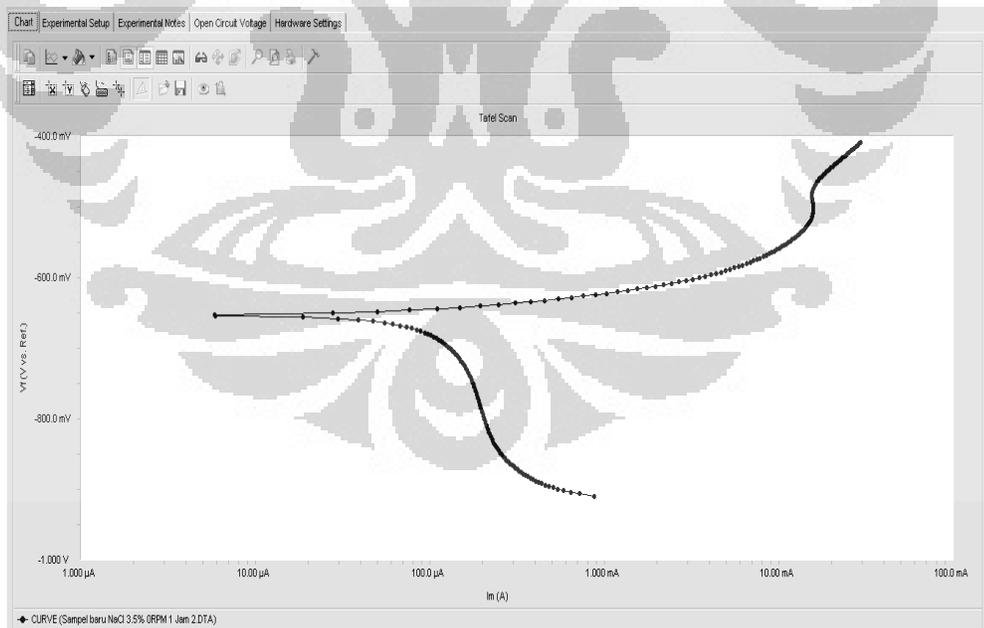
4. Tafel analisis baja API 5L X-52 pada Kecepatan 1500 RPM pH 4



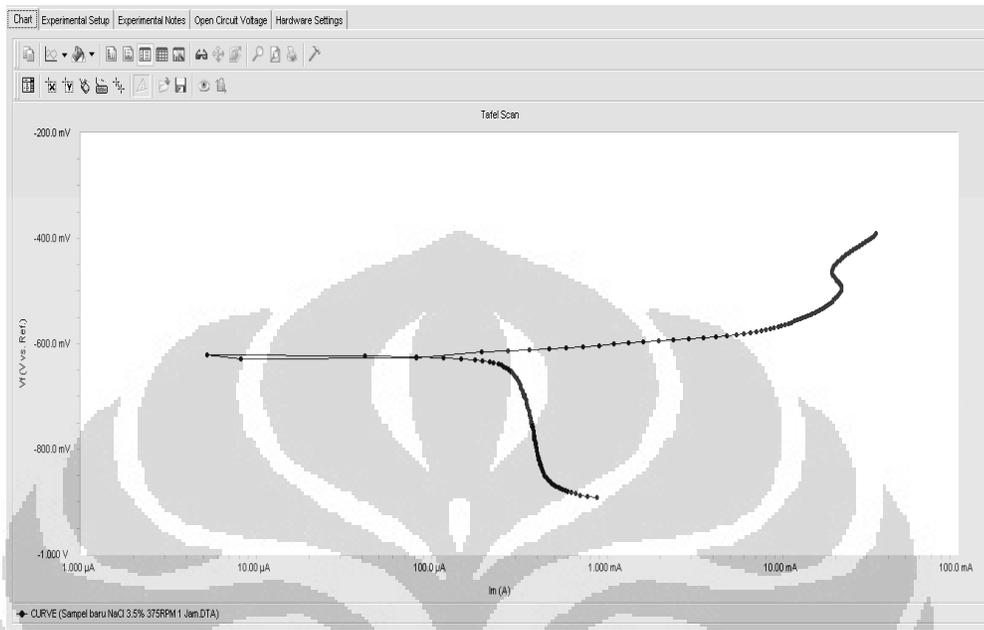
5. Tafel analisis baja API 5L X-52 pada Kecepatan 3000 RPM pH 4



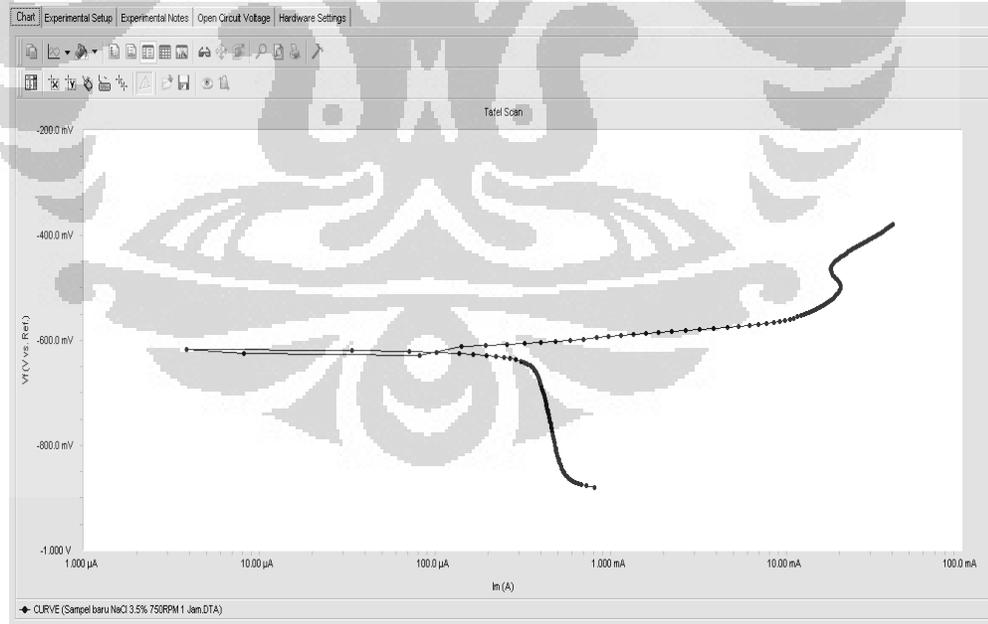
6. Tafel analisis baja API 5L X-52 pada Kecepatan 0 RPM pH 5



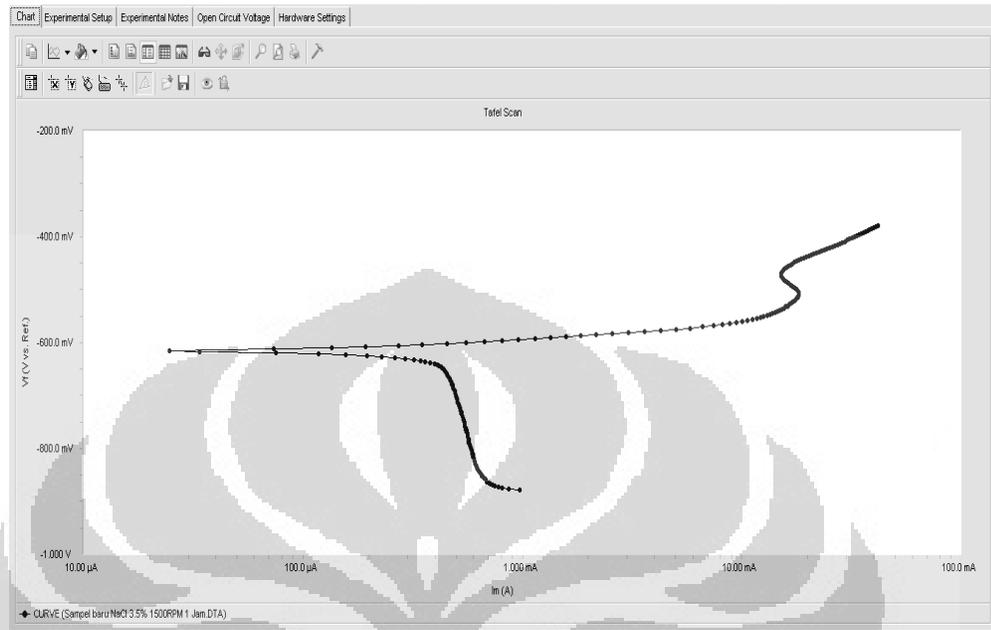
7. Tafel analisis baja API 5L X-52 pada Kecepatan 375 RPM pH 5



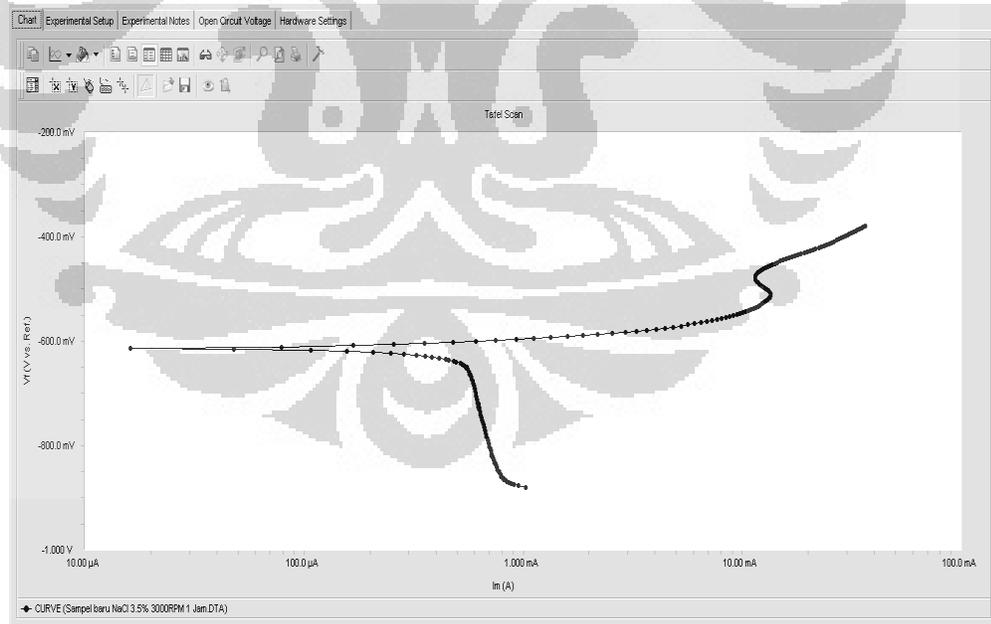
8. Tafel analisis baja API 5L X-52 pada Kecepatan 750 RPM pH 5



9. Tafel analisis baja API 5L X-52 pada Kecepatan 1500 RPM pH 5



10. Tafel analisis baja API 5L X-52 pada Kecepatan 3000 RPM pH 5



2. Komposisi Kimia Sampel Baja API 5L X-52



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

KAMPUS BARU UI – DEPOK 16424 – INDONESIA
 Telp: 021 – 786510, 7866046 Fax: 021 – 7866111 E-mail: lum@metals.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-FUI	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	12 Mei 2011
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	05-S7/PT.02/WT04/P/2011	Standar <i>Standard</i>	ASTM A 751 ASTM E 41-5
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 (%)	Cu (%)
X52	0.140	0.011	<0.003 ²	<0.005 ²	0.062	<0.005 ²	0.021
	Mo (%)	Ti (%)	Cr (%)	Nb (%)	V (%)	Al (%)	Fe (%)
	<0.005 ²	0.019	0.009	<0.002 ²	<0.002 ²	0.048	bal.

- catatan:
 1. ketidakhadiran kandungan unsur tingkat kepercayaan 99% dengan faktor selisih 10-20
 2. (<) menunjukkan nilai berada di bawah qualification level dari standar

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



(Almasud Ivan Kibanyau, ST, M.Eng)

PP-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; hasil kali serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari data/nya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM