TUGAS AKHIR – TL184834

ANALISIS PEMANFAATAN ANTIBIOTIK KEDALUARSA JENIS *THIAMPHENICOL* SEBAGAI INHIBITOR KOROSI PADA BAJA ASTM A106 GRADE B DALAM MEDIA HCl pH 4

FAJAR ADITYA
NRP. 02511640000048

Dosen Pembimbing
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR − TL 184834

ANALISIS PEMANFAATAN ANTIBIOTIK KEDALUARSA JENIS *THIAMPHENICOL* SEBAGAI INHIBITOR KOROSI PADA BAJA ASTM A106 GRADE B DALAM MEDIA HCl pH 4

FAJAR ADITYA
NRP. 02511640000048

Dosen Pembimbing
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

FINAL PROJECT − TL 184834

UTILIZATION ANALYSIS OF EXPIRED *THIAMPHENICOL* ANTIBIOTICS AS CORROSION INHIBITORS IN ASTM A106 GRADE B STEEL IN MEDIA HCl pH 4

FAJAR ADITYA
NRP. 02511640000048

Supervisor
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(*This page is intentionally left blank*)

ANALISIS PEMANFAATAN ANTIBIOTIK KEDALUARSA JENIS *THIAMPHENICOL* SEBAGAI INHIBITOR KOROSI PADA BAJA ASTM A106 GRADE B DALAM MEDIA HCl pH 4

TUGAS AKHIR
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
FAJAR ADITYA
NRP 02511640000048

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. .....(Pembimbing 1)
2. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. .....(Pembimbing 2)

SURABAYA
20 Januari 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

ANALISIS PEMANFAATAN ANTIBIOTIK KEDALUARSA JENIS *THIAMPHENICOL* SEBAGAI INHIBITOR KOROSI PADA BAJA ASTM A106 GRADE B DALAM MEDIA HCl pH 4

Nama : Fajar Aditya
NRP : 02511640000048
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Abstrak

Penggunaan obat kedaluarsa sebagai inhibitor korosi berkembang pesat karena dinilai menguntungkan dari segi ekonomi. Salah satunya pada industri minyak dan gas yang sebagian besar masih menggunakan logam sehingga dipilih baja ASTM A106 Grade B yang merupakan baja untuk industri minyak dan gas.. Obat yang paling potensial digunakan adalah antibiotik dan salah satunya yaitu antibiotik jenis thiamphenicol sehingga dilakukan penelitian terhadap thiamphenicol sebagai inhibitor korosi dalam media HCl pH 4 pada baja ASTM A106 Grade B dengan variabel kosentrasi sebesar 0, 200, 400, 600, dan 800 ppm serta dengan waktu perendaman 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 hari. Dari hasil FTIR dianalisis bahwa thiampheicol expired mempunyai gugus fungsi yang lengkap. Sedangkan hasil uji polarisasi baja ASTM A106 Grade B dengan inhibitor thiamphenicol non-expired yaitu 0,79x10^{-2} mmpy untuk laju korosi terendah, 91% efisiensi tertinggi, adsorpsi secara fisika serta termasuk inhibitor campuran. sedangkan untuk inhibitor thiamphenicol expired yaitu 1,16x10^{-2} mmpy untuk laju korosi terendah, 83% efisiensi tertinggi, termasuk ke dalam inhibitor katodik dengan jenis adsorpsi fisika.

Kata Kunci : *Inhibitor, Antibiotik, Thiamphenicol, Kedaluarsa, ASTM A106 Grade B*

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

UTILIZATION ANALYSIS OF EXPIRED *THIAMPHENICOL* ANTIBIOTICS AS CORROSION INHIBITORS IN ASTM A106 GRADE B STEEL IN MEDIA HCl PH 4

Student Name : **Fajar Aditya**
NRP : **02511640000048**
Department : **Materials dan Metallurgical Engineering**
Supervisor : **Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.**
Co- Supervisor : **Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.**

Abstract

The use of expired drugs as a corrosion inhibitor is growing rapidly because it is considered economically beneficial. One of them is in the oil and gas industry which most of them still use metal so ASTM A106 Grade B steel is chosen which is steel for the oil and gas industry. The most potent drug used is antibiotics and one of them is thiamphenicol type antibiotics so that research on thiamphenicol as a corrosion inhibitor in pH 4 HCl media on ASTM A106 Grade B steel with concentration variables of 0, 200, 400, 600, 800 ppm and with immersion time 0, 2, 4, 6, 8, and 10 days. From the FTIR, it was analyzed that thiamphenicol expired had a complete functional groups. While the results of ASTM A106 Grade B steel polarization test with non-expired thiamphenicol inhibitors are $0.79x10^{-2}$ mmpy for the lowest corrosion rate, 91% highest efficiency, including as cathodic inhibitor with a type of physical adsorption. While for the results of ASTM A106 Grade B steel polarization test with expired thiamphenicol inhibitors namely $1.16x10^{-2}$ mmpy for the lowest corrosion rate, 83% highest efficiency, also including as cathodic inhibitor with a type of physical adsorption.

Keywords : *Inhibitors, Antibiotics, Thiamphenicol, Expired, ASTM A106 Grade B*

(*This page is intentionally left blank*)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat dan karunia-Nya penelitian Tugas Akhir dapat terlaksanakan dengan baik dan dapat selesai tepat pada waktunya. Tujuan dari penyusunan Laporan Tugas Akhir adalah untuk memenuhi salah satu syarat akademis yang wajib dipenuhi dalam kuliah program studi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS, Surabaya.

Terselesaikannya Laporan Tugas Akhir tidak luput dari bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kasih kepada:

1. Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi
2. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta S.T., M.Sc selaku Koordinator Tugas Akhir.
3. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah menuangkan ilmu, waktu dan bimbingan kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
4. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing 2 yang selalu sabar dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan tugas akhir
5. Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T selaku Dosen Wali yang membantu penulis dalam menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi
6. Seluruh Dosen dan Tenaga Pendidik di Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis selama menjalani perkuliahan
7. Serta seluruh pihak yang berperan dalam penelitian ini.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini maih terdapat banyak kekurangan. Maka dari itu penulis sangat terbuka akan adanya kritik dan saran yang disampaikan oleh pembaca

Penulis menyadari penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan

saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat berguna bagi penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, 23 Januari 2020
Penulis

Fajar Aditya

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN ..... Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK ..... **vii**
ABSTRACT ..... **ix**
KATA PENGANTAR ..... **xi**
DAFTAR ISI ..... **xiii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
DAFTAR TABEL ..... **xix**
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Korosi Dan Mekanisme 5
2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Korosi 9
2.3 Perhitungan Laju Korosi 11
2.4 Jenis-Jenis Korosi 16
2.5 Pengendalian Korosi 18
2.5.1 Desain Improvement 18
2.5.2 Aspek Material 18
2.5.3 Coating 18
2.5.4 Proteksi Anodik 19
2.5.5 Proteksi Katodik 19
2.5.7 Inhibitor 21
2.6 Klasifikasi Inhibitor 23
2.7 Adsorption Isoterm 30
2.8 Inhibitor Obat 31
2.9 Thiamphenicol dan Chloramphenicol 32
2.9.1 Mekasnime Kerja Sebagai Antibiotik 34
2.9.1 Mekasnime Kerja Sebagai Inhibitor 35
2.10 Penelitian Sebelumnya 35

BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Diagram Alir 41
3.2 Metode Penelitian.....42
3.2.1 Studi Literatur 42
3.2.2 Experimental 42
3.3 Peralatan Pengujian.....43
3.4 Bahan Pengujian.....43
3.5 Preparasi Inhibitor.....44
3.5.1 Preparasi Antibiotik Jenis Thiamphenicol 44
3.5.2 Preparasi Larutan Elektrolit 44
3.5.3 Preparasi Spesimen 45
3.6 Pengujian.....46
3.6.1 Pengujian Polarisasi 46
3.6.2 Pengujian EIS.....48
3.6.3 Pengujian FTIR.....50
3.6.4 Pengujian SEM dan EDX.....51
3.6.5 Pengujian Mikroskop Optik 52
3.7 Rancangan Penelitian 53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN
4.1 Analisis Data 57
4.1.1 Analisis Pengujian Polarisasi 57
4.1.2 Analisis Pengujian EIS.....63
4.1.3 Analisis Pengujian FTIR.....65
4.1.4 Analisis Pengujian SEM dan EDX.....74
4.1.5 Analisis Pengujian Mikroskop Optik 77
4.1.6 Adsorption Isoterm.....78
4.2 Pembahasan.....81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan.....87
5.2 Saran.....87
DAFTAR PUSTAKA 89
LAMPIRAN.....97
UCAPAN TERIMA KASIH.....115
BIODATA PENULIS.....119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Terjadinya Korosi. 8
Gambar 2.2 Kurva Tafel..... 13
Gambar 2.3 Kurva Tafel Linear 14
Gambar 2.4 Proteksi Katodik..... 20
Gambar 2.5 Diagram teoritis polarisasi potensio: perilaku elektrokimia logam pada larutan yang mengandung inhibitor katodik dan anodik (a) dibandingkan dengan larutan yang sama tanpa inhibitor (b)..... 25
Gambar 2.6 Ilustrasi mekanisme aktuasi inhibitor organik: bekerja melalui adsorpsi inhibitor untuk permukaan logam 25
Gambar 2.7 Diagram polarisasi potensiostatik: perilaku elektrokimia logam dalam larutan dengan inhibitor anodik (a) versus tanpa inhibitor (b).... 27
Gambar 2.8 Ilustrasi pengaruh inhibitor anodik anorganik dan mekanismenya. 27
Gambar 2.9 Mekanisme kerja inhibitor katodik..... 28
Gambar 2.10 Diagram polarisasi potensiostatik: perilaku elektrokimia logam dalam larutan inhibitor katodik (a), dibandingkan dengan larutan yang sama, tanpa inhibitor (b) 29
Gambar 2.11 Struktur Thiamphenicol..... 32
Gambar 2.12 Mekanisme Kerja dan Jenis Adsorpsi Inhibitor..... 36
Gambar 2.13 Grafik Tren Laju Korosi Terhadap Waktu (360 Jam)..... 38
Gambar 2.14 Grafik Tren Efisiensi Inhibitor Terhadap Waktu (360 Jam) 39
Gambar 2.15 Grafik Linear Polarisasi Pada Mild Steel Dalam 0,1M HCl Dengan dan Tanpa Inhibitor Pada Temperatur 300C..... 40
Gambar 3.1 Diagram Alir..... 41

Gambar 3.2 Preparasi Obat Thiamphenicol. 44
Gambar 3.3 Preparasi Elektrolit 45
Gambar 3.4 Spesimen Uji Polarisasi dan EIS. 46
Gambar 3.5 Alat Pengujian Polarisasi Potensiodinamik 49
Gambar 3.6 Alat Pengujian FTIR..... 50
Gambar 3.7 Alat Pengujian SEM 51
Gambar 3.8 Alat Pengujian Mikroskop Optik..... 52
Gambar 4.1 Laju Korosi Thiamphenicol *Non-Expired* 58
Gambar 4.2 Laju Korosi Thiamphenicol *Expired*. 59
Gambar 4.3 Efisiensi Inhibitor Thiamphenicol Non-Expired 60
Gambar 4.4 Efisiensi Inhibitor Thiamphenicol Expired 60
Gambar 4.5 Grafik Polarisasi Thiamphenicol Non-Expired Hari Keenam 61
Gambar 4.6 Grafik Polarisasi Thiamphenicol Expired Hari Keempat..... 62
Gambar 4.7 Equivalent Circuit..... 63
Gambar 4.8 Kurva Nyquist Thiamphenicol Non-Expired Hari Keenam..... 64
Gambar 4.9 Kurva Nyquist Thiamphenicol Expired Hari Keempat..... 65
Gambar 4.10 Hasil FTIR Thiamphenicol *Non-Expired* dan Thiamphenicol *Expired* 67
Gambar 4.11 Hasil Perbandingan FTIR Blanko, Thiamphenicol Non-Expired Serta Baja Ditambahkan Thiamphenicol Non-Expired..... 69
Gambar 4.12 Hasil Perbandingan FTIR Blanko, Thiamphenicol *Expired* Serta Baja Ditambahkan Thiamphenicol *Expired*..... 70
Gambar 4.13 SEM ASTM A106 Grade B Blanko Perbesaran 1000x..... 73
Gambar 4.14 SEM Thiamphenicol *Non-Expired* 600ppm Perbesaran 1000x..... 74
Gambar 4.15 SEM Thiamphenicol *Expired* 600ppm Perbesaran 1000x..... 75

Gambar 4.16 Pengambilan Titik Uji EDX; (a) Baja Blanko (b) Baja Dengan Inhibitor Thiamphenicol..... 76
Gambar 4.17 Hasil Mikroskop ASTM A106 Grade B Perbesaran 20x; (a) Thiamphenicol N*on-Expired* 600 ppm, (b) Thiamphenicol N*on-Expired* 800 ppm, (c) Thiamphenicol *Expired* 600 ppm, (d) Thiamphenicol *Expired* 600 ppm..... 77
Gambar 4.18 Grafik Langmuir Adsorption Isotherm..... 79
Gambar 4.19 Mekanisme Kerja dan Jenis Adsorpsi Inhibitor..... 84
Gambar 4.20 Mekanisme Inhibisi Inhibitor Thiamphenicol 86

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Macam-Macam Korosi 17
Tabel 2.2 Hasil Pengujian Korosi Untuk Baja Ringan Dalam 0,1M HCl Dengan Adanya Konsentrasi Inhibitor Chloramphenicol Dalam 360 Jam 39
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja ASTM A106 Grade B 43
Tabel 3.2 Parameter Pengujian Polarisasi 47
Tabel 3.3 Parameter Pengujian EIS 49
Tabel 3.4 Rancangan Penelitian *Non-Expired* dan *Expired* 53
Tabel 4.1 Laju Korosi Thiamphenicol *Non-Expired* 57
Tabel 4.2 Laju Korosi Thiamphenicol *Expired* 57
Tabel 4.3 Data Pengujian EIS Thiamphenicol *Non-Expired* 64
Tabel 4.4 Data Pengujian EIS Thiamphenicol *Expired* 66
Tabel 4.5 Perbandingan Peak Thiamphenicol *Non-Expired* danThiamphenicol *Expired* 68
Tabel 4.6 Hasil FTIR Logam Dengan Inhibitor *Non-Expired* 71
Tabel 4.7 Hasil FTIR Logam Dengan Inhibitor *Expired* 72
Tabel 4.8 Hasil EDX Baja Blanko dan Baja Dengan Inhibitor Thiamphenicol 76
Tabel 4.10 Perhitungan ΔG_{ads} inhibitor thiamphenicol *non-expired* dan inhibitor thiamphenicol *expired* 80

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era modern perkembangan industri begitu pesat sehingga banyak bermunculan industri-industri baru yang bergerak di berbagai macam sektor. Perkembangan yang cukup pesat salah satunya terdapat pada industri minyak dan gas bumi. Minyak dan gas bumi merupakan salah satu komoditas vital yang memegang peranan penting dalam pemenuhan kebutuhan energi di dalam negeri.

Berdasarkan data dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), dengan laju pertumbuhan PDB rata-rata sebesar 6,04% per tahun dan pertumbuhan penduduk sebesar 0,71% per tahun. Diperkirakan bahwa selama tahun 2016 hingga 2050, laju pertumbuhan kebutuhan energi bumi meningkat menjadi sebesar 5,3% per tahun, dari 795 juta SBM pada tahun 2016 hingga 4.569 juta SBM pada tahun 2050 (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2014). Selain itu, diperkirakan juga bahwa pada tahun 2050, pangsa kebutuhan energi terbesar dipegang oleh bahan bakar minyak (BBM) sebesar 40,1% dilanjutkan gas sebesar 17,7%. International Energy Agency juga menyatakan bahwa Indonesia menduduki urutan ke-14 sebagai negara konsumen minyak dan gas bumi terbesar di dunia (International Energy Agency, 2013). Dari beberapa data tersebut dapat menjelaskan bahwa energi minyak dan gas bumi tetap menjadi sumber energi yang penting untuk Indonesia pada tahun-tahun mendatang.

Adanya sumber daya yang melimpah mengharuskan Indonesia untuk berbenah dari segi kualitas tenaga kerja maupun kualitas teknologi untuk kontinuitas, kemandirian, dan efektifitas produksi minyak dan gas bumi dalam negeri. Maka dari itu perlu adanya perhatian khusus untuk menunjang kontinuitas produksi industri minyak dan gas bumi, salah satu hal penting yang perlu diperhatikan adalah kelayakan peralatan yang berguna dalam produksi minyak dan gas bumi. Pengolahan atau pengangkutan

minyak bumi sendiri melibatkan banyak peralatan yang umumnya terbuat dari material logam, logam yang sering dijumpai pada industri minyak dan gas bumi itu sendiri salah satunya yaitu baja ASTM A106 Grade B karena mempunyai ketahanan temperatur tinggi yang baik (ASTM International: Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service)

Jika dilihat dari karakteristik umumnya, logam sendiri dapat mengalami degradasi sifat mekaniknya atau sering disebut korosi karena bereaksi dengan lingkungan (Trethewey, 1991). Hal tersebut terjadi jika tidak terdapat proteksi khusus pada logam tersebut. Korosi menyebabkan logam tidak dapat menanggung beban yang semestinya dapat ditanggung karena penurunan sifat mekaniknya. Banyak faktor yang dapat menyebabkan korosi pada logam, salah satunya yaitu faktor lingkungan (Hermawan, 2012). Lingkungan industri minyak dan gas bumi sendiri sebagian besar merupakan lingkungan asam lemah yang membuat proses korosi pada logam berlangsung lebih cepat. Lingkungan asam walaupun lemah cukup untuk menjadikan proses korosi berlangsung lebih cepat (Jalaludin, 2015).

Sehingga perlu adanya pengendalian korosi pada logam jika bekerja pada lingkungan asam. Pengendalian korosi sebuah logam dapat dilakukan melalui berbagai cara yang salah satunya yaitu dengan penggunaan inhibitor. Penggunaan inhibitor sebagai media pengendalian korosi sampai saat ini masih banyak digunakan oleh industri karena biaya yang relatif lebih murah dibandingkan media pengendalian korosi yang lainnya seperti anoda korban. Sehingga banyak penelitian yang mencoba mengembangkan metode proteksi korosi dari inhibitor ini.

Disebabkan karena munculnya keresahan terhadap kerusakan lingkungan, berkembanglah inhibitor organik untuk menggantikan inhibitor anorganik yang dinilai beracun. Sehingga melihat dari sisi ekonomi dan lingkungan, tercetus adanya pemanfaatan obat untuk dijadikan inhibitor korosi karena obat-obatan ini tersedia dalam jumlah yang besar namun banyak yang tidak terpakai karena jumlah produksi dengan pemakaian yang

tidak seimbang. Hal tersebut menjadikan banyak obat yang *expired* dan dimusnahkan. Sebab itulah yang mendorong untuk dilakukan penelitian tentang penggunaan obat *expired* untuk dijadikan inhibitor korosi. Namun tidak semua obat dapat dijadikan inhibitor korosi, hanya obat dengan kandungan tertentu saja yang dapat digunakan untuk inhibitor korosi. Dapat atau tidaknya suatu obat untuk digunakan sebagai inhibitor korosi dapat diketahui dari komposisinya namun dari berbagai macam jenis obat ada, obat jenis antibiotik mempunyai potensi yang paling baik untuk dijadikan inhibitor korosi karena mekanisme kerja antara antibiotik dengan inhibitor yang hampir sama (Gokhan, 2011). Hal lain yang menyebabkan antibiotik dinilai mampu untuk dijadikan inhibitor korosi yaitu adanya heteroatom berupa N, P, O, dan S di dalam struktur senyawanya (Newman, 2007). Meninjau dari alasan tersebut, dipilihlah salah satu antibiotik dari keluarga amphenicol yang sering digunakan untuk penyakit tifus yaitu thiamphenicol karena di dalam antibiotik thiamphenicol sendiri terdapat senyawa organik aktif berupa nitrogen, oksigen, dan sulfur. Maka dari itu dipilihlah antibiotik jenis thiamphenicol untuk dijadikan inhibitor korosi pada baja ASTM A106 Grade B dalam media HCl pH 4, sesuai dengan dengan lingkungan industri minyak dan gas yang asam.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang tersebut, didapatkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan inhibitor berbasis antibiotik jenis thiamphenicol terhadap ketahanan korosi baja ASTM A106 Grade B dalam lingkungan asam?
2. Bagaimanakah mekanisme perlindungan inhibitor korosi berbasis antibiotik jenis thiamphenicol pada baja ASTM A106 Grade B dalam lingkungan asam?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa hal sebagai batasan masalah penelitan, antara lain:

1. Sifat mekanik spesimen baja ASTM A106 Grade B dianggap homogen serta tidak terdapat *defect*.
2. Volume, tekanan, temperatur larutan dianggap konstan sepanjang penelitian.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan ini yaitu sebagai berikut

1. Menganalisis pengaruh penambahan inhibitor berbasis antibiotik jenis thiamphenicol terhadap ketahanan korosi baja ASTM A106 Grade B dalam lingkungan asam.
2. Menganalisis mekanisme perlindungan inhibitor korosi berbasis antibiotik jenis thiamphenicol pada baja ASTM A106 Grade B dalam lingkungan asam.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemanfaatan antibiotik kedaluarsa menjadi inhibitor korosi untuk industri.
2. Memberikan wawasan, inspirasi dan motivasi kepada para peneliti di Indonesia agar dapat terus mengembangkan inhibitor dari bahan obat kedaluarsa yang sebenarnya sudah menjadi limbah untuk dapat dimanfaatkan kembali sebagai barang yang mempunyai nilai jual.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi Dan Mekanisme

Korosi adalah proses penurunan karakteristik logam yang disebabkan reaksinya dengan lingkungan. Selain itu korosi juga dapat diartikan sebagai:

1. Perusakan material tanpa merusak material,
2. Kebalikan dari metalurgi ekstraktif (Budi, 2009),
3. Sistem thermodinamika logam dengan lingkungan (udara, air, tanah) yang berusaha mencapai kesetimbangan
4. Sebagai penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya (Trethewey, 1991).

Pada dasarnya korosi tergantung pada reaksi termodinamika serta perubahan Gibb's free energy (Bockris, 2002). Hal ini biasanya diawali oleh reaksi kimia pada permukaan logam serta berlangsung secara elektrokimia. Degradasi karakteristik ini menyebar hingga bagian dalam logam jika tidak dikendalikan.

Korosi terjadi apabila terdapat empat elemen di bawah ini, satu dari keempat tidak terpenuhi maka korosi tidak terjadi:

- Anoda
  Persamaan 2.1 merupakan reaksi oksidasi pada logam, adanya elektron yang terlepas ini mengakibatkan pengurangan massa logam sehingga terkorosi.

$$M \rightarrow M^{+} + e \qquad (2.1)$$

- Katoda
  Reaksi yang terjadi pada katoda merupakan reaksi reduksi dimana terdapat aliran elektron yang masuk ke dalam sistem.
- Kontak Metalik (Metallic Pathaway)
  Adanya kontak metalik ini menyebabkan elektron mengalir dari anoda selaku kutub negatif ke katoda yang positif.
- Elektrolit (electrolyte)

Di dalam elektrolit ini terdapat ion-ion bebas yang menjadi konduktor listrik ketika terjadi korosi.

Proses korosi menghasilkan produk atau sering disebut karat yang terbentuk melalui Persamaan 2.2 dan 2.3:

$$4Fe^{2+} + 8OH^- = 4Fe(OH)_2 \quad (2.2)$$

$$4Fe(OH)_2 + O_2 = 2Fe_2O_3.2H_2O \quad (2.3)$$

(Yudha, 2015)

Ketika korosi terjadi melalui proses elektrokimia, terdapat tiga komponen penting yang terlibat. Diantaranya yaitu:

1. Anoda yaitu bahan logam yang mengalami korosi. Anoda ini mengalami oksidasi dengan melepaskan elektron-elektron yang terdapat pada logam untuk membentuk ion. Ion inilah yang bereaksi membentuk produk korosi atau karat.
2. Katoda yaitu bahan logam yang tidak mengalami korosi. Di dalam katoda terjadi reaksi reduksi akibat dari adanya aliran elektron yang bergabung. Salah satu faktor yang mempengaruhi reaksi pada katoda yaitu pH larutan. Pada larutan asam terbentuk gas H_2 sedangkan pada larutan basa terbentuk gas O_2.
3. Elektrolit yaitu larutan yang dapat menghantarkan listrik sebagai media perpindahan elektron dari anoda menuju katoda (Widharto, 1994). Elektrolit mempunyai jenis yang bermacam-macam. Akan tetapi elektrolit yang sering menjadi media di dalam korosi diantaranya yaitu asam klorida, natrium klorida, asam sulfat dsb.

Persamaan 2.5 dan 2.6 berikut merupakan reaksi utama korosi berupa reaksi oksidasi dan reaksi reduksi yang terjadi pada logam di lingkungan asam yang dalam hal ini menggunakan asam klorida sebagai elektrolitnya sesuai Persamaan 2.4:

$$Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2 \quad (2.4)$$

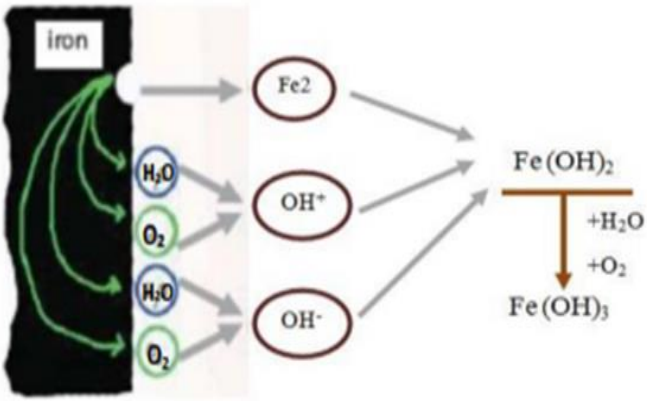
Reaksi oksidasi :

$$Fe = Fe^{2+} + 2e^- \quad (2.5)$$

Reaksi reduksi :

$$2H^+ + 2e^- = H_2 \quad (2.6)$$

(Harmami, 2013)



Gambar 2.1 Mekanisme Terjadi Korosi (Gogot Haryono, 2010)

Secara umum mekanisme korosi ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1. Proses yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi di dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan tersebut bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O akibat dari adanya ion H^+ dan H_2O yang tereduksi. Jika reaksi ini terjadi pada permukaan logam, menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam sebagai bentuk adanya proses korosi (Hermawan, 2012). Salah satunya yaitu proses korosi pada baja, penyebab utamanya biasanya terjadi reduksi oksigen pada molekul asam oleh molekul logam. Hal tersebut ditunjukkan melaui Persamaan 2.7 berikut:

$$O_2(g) + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)} \quad (2.7)$$

Dari proses reaksi seperti Persamaan 2.7, ion hidrogen berperan sebagai agen pereduksi oksigen. Semakin besar

kosentrasi ion hidrogen atau semakin asam menyebabkan reaksi yang berlangsung menjadi semakin cepat. Sebaliknya semakin kecil kosentrasi ion hidrogen atau mendekati netral, reaksi yang berlangsung menjadi semakin lambat. Proses korosi pada baja dapat dilakukan secara alamiah (proses alam) atau secara buatan (penelitian). Secara alamiah, jika terdapat oksigen di dalam udara yang bersentuhan dengan permukaan logam baja yang lembab, kemungkinan terjadinya korosi lebih besar. Ilustrasinya diawali dari ion Fe^{2+} yang terbentuk pada anoda mengalami oksidasi berlanjut membentuk Fe^{3+} yang selanjutnya membentuk senyawa Fe_2O_3 x H_2O yang disebut sebagai produk korosi atau karat. Proses korosi bermula pada bagian yang kekurangan oksigen. Hal tersebut dapat dijelaskan berdasarkan reaksi-reaksi pada katoda yang memerlukan pasokan elektron. Reaksi katoda yang dimaksud dijelaskan pada Persamaan 2.8 berikut ini:

$$2(H_2O) + O_2 + 4e \leftrightarrow 4(OH)^- \quad (2.8)$$

Persamaan 2.8 menandakan adanya aliran elektron yang mengalir pada katoda mengakibatkan daerah logam disekitarnya yang kekurangan oksigen menjadi pendonor elektron. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daerah yang kurang oksigennya bertindak sebagai anoda. Proses oksidasi tersebut mempercepat korosi yaitu dengan adanya aliran elektron pada daerah yang mempunyai konsentrasi oksigen lebih rendah. Dapat disimpulkan bahwa daerah yang mengalami oksidasi merupakan daerah yang terkorosi.

$$Fe \rightarrow Fe^{3+} + 3e^- \quad (2.9)$$

Dalam persamaan 2.9 ditunjukkan bahwa Fe bereaksi membentuk ion Fe^{3+}, hal tersebut berarti bahwa Fe mengalami oksidasi sehingga memicu adanya reaksi lanjutan pada katoda. Sesuai pada Persamaan 2.10, apabila reaksi terjadi dalam air yang kaya akan oksigen maka didapatkan produk korosi yang tidak larut

di dalam air dan menghasilkan produk korosi yang mengendap yang disebut karat (Bahrum, 2006).

$$6H_2O + 3O_2 + 2e^- \rightarrow 12(OH)^- \quad (2.10)$$

Sehingga terjadi kesetaraan reaksi (Persamaan 2.11):

$$4Fe + 6H_2O + 3O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3 \quad (2.11)$$

2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Korosi

Korosi merupakan reaksi yang berlangsung spontan jika syarat terjadinya terpenuhi. Walaupun spontan, antara korosi satu dengan yang lainnya tentu terdapat perbedaan. Perbedaan tersebut disebabkan oleh banyak faktor, diantaranya:

1. Gas Terlarut

Oksigen (O_2), adanya oksigen yang terlarut menyebabkan korosi pada logam menjadi meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm pada temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm. Kelarutannya berkurang seiring bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam minyak yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang.

Karbondioksida (CO_2), jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka terbentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas (Persamaan 2.12). Biasanya menghasilkan jenis korosi sumuran atau pitting, untuk reaksinya disajikan pada Persamaan 2.13:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \quad (2.12)$$

$$Fe + H_2CO_3 \rightarrow FeCO_3 + H_2 \quad (2.13)$$

(Jalaluddin, 2015)

2. Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen justru berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila logam berada pada

temperatur yang tidak konstan, maka besar kemungkinan terbentuk korosi.

Secara umum naiknya temperatur menyebabkan kenaikan laju korosi, biasanya setiap kenaikan sepuluh derajat *celcius* laju reaksi meningkat hampir dua kali lipat (Jalaluddin, 2015). Oleh karena itu temperatur harus dikendalikan serendah mungkin supaya tidak terjadi laju korosi yang meningkat. Temperatur dalam lingkungan yang terbuka merupakan suatu variabel yang tidak dapat dikontrol sehingga perlu adanya perhatian khusus terhadap perlindungan korosi yang disebabkan temperatur ini. Pada temperatur tinggi, hampir semua logam dan paduan bereaksi dengan lingkungan dengan laju korosi yang tinggi dan membentuk lapisan oksida tebal (kerak) yang tidak bersifat melindungi. Pada lapisan kerak ini dapat menjadi pemicu reaksi korosi karena terbentuknya fasa cair yang berbahaya serta menimbulkan adanya difusi antara fasa gas dan unsur ogam.

3. Power of Hydrogen (pH)

pH adalah kependekan dari *power of hydrogen* atau pangkat hydrogen. pH merupakan ukuran konsentrasi ion hidrogen yang menunjukkan keasaman atau kebasaan suatu zat. pH netral adalah 7, sedangkan ph < 7 bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk pH > 7 bersifat basa yang juga korosif. Tetapi jika dihubungkan dengan laju korosi pada baja, pada pH 7 sampai 14 menghasilkan laju korosi yang rendah. Laju korosi menjadi meningkat pada pH < 7 atau dalam suasana asam (Jalaluddin, 2015). Semakin asam suatu zat, dapat menjadi agen pengkorosi yang tinggi.

4. Faktor Bakteri Pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB)

Organisme juga dapat berkontribusi pada proses korosi. Bakteri pereduksi sulfat bekerja mereduksi ion sulfat menjadi gas H_2S, jika gas tersebut kontak dengan baja menyebabkan terjadinya korosi (Knofel, 1978). Permukaan logam umumnya mengalami oksidasi ketika berada di ruang terbuka dan membentuk lapisan oksida yang sangat tipis (lapisan kusam). Korosi kering ini sangat terbatas, dan hanya merusak sebagian

kecil permukaan subtrat metalik. Pada korosi basah atau korosi berair, terjadi serangan elektrokimia karena adanya air dan dapat merusak permukaan metalik serta menjadi penyebab berbagai permasalahan di semua cabang industri (Jalaluddin, 2015).

5. Kelembaban

Faktor kelembaban mempunayi korelasi terhadap temperatur. Faktor kelembaban menjadi berbahaya karena memunculkan uap air yang yang dapat menjadi pemicu proses korosi. Konsentrasi uap air di udara dinyatakan dengan kelembaban nisbi (% RH) atau titik embun (*dew point*). Kelembaban nisbi adalah perbandingan antara tekanan uap air sebenarnya pada temperatur dengan tekanan uap jenuh dari air pada temperatur tertentu (Nasution, R. 2010)

Pada korosi basah atau korosi yang disebabkan oleh faktor kelembaban terjadi proses elektrokimia karena hadirnya air. Hal tersebut merusak permukaan logam serta ini merupakan jenis korosi yang sering terjadi pada industri.

Perlu dicatat bahwa penurunan temperatur dibawah titik embun (*dew point*) menyebabkan udara menjadi jenuh sehingga memungkinkan terjadinya titik embun pada permukaan logam dan hal tersebut merupakan pemicu adanya korosi lokal. Sebaliknya tidak jarang pula pemanasan ruangan digunakan untuk mengurangi kelembaban sehingga korosi dapat dikendalikan.

2.3 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi maksimum yang diizinkan dalam lingkungan industri minyak adalah 5 mpy (mils per year), 1 mpy = 0,001 in/year, sedangkan normalnya adalah 1 mpy atau kurang. Pada umumnya terjadi reaksi oksidasi pada logam sehingga mengalami korosi. Ketika logam kontak dengan zat korosif namun tidak terhubung pada instrumen apapun, logam tersebut menghasilkan potensial (relatif terhadap elektroda referensi) yang disebut potensial korosi, E_{corr}. (Revie, 2011)

Hakekatnya laju korosi belum dapat dilihat dari perbedaan potensial antara katoda dan anoda. Terdapat faktor lain yang

mempengaruhi salah satunya tergantung pada perbedaan kerapatan arus yang muncul. Korosi digambarkan dengan kurva tegangan fungsi arus yang disebut dengan polarisasi. Polarisasi adalah salah satu bentuk reaksi korosi yang merupakan penyebab timbulnya produk korosi pada permukaan logam. Potensial polarisasi (η) adalah selisih antara potensial terapan terhadap potensial korosi logam pada keadaan kesetimbangan dengan ion di dalam elektrolit. Potensial polarisasi dicari dengan menggunakan Persamaan 2.14 untuk katodik dan Persamaan 2.15 untuk anodik. Polarisasi potensiodinamik sendiri merupakan metode untuk menentukan perilaku dari korosi logam berdasarkan hubungan potensial dengan arus yang dialirkan baik anodik maupun katodik. Korosi logam terjadi apabila anodik dan katodik mempunyai nilai arus yang sama. Hal ini terjadi karena adanya beda potensial antara logam dan larutan sebagai lingkungannya (Sunarya, 2008). Dalam metode ini, laju korosi dapat ditentukan dengan menggunakan potensiostat dengan menggunakan sistem tiga elektroda, yaitu elektoda kerja, elektroda reference, dan elektroda bantu. Elektroda kerja berupa spesimen yang diujikan (biasanya berupa logam), elektroda bantu dapat berupa platina atau grafit serta elektroda reference dapat berupa calomel (SCE) atau Ag/AgCl. Dari metode ini didapatkan kurva arus sebagai fungsi potensial. Parameter ini digunakan untuk menyatakan besar laju korosi logam, yang biasanya disebut dengan persamaan tafel. Sesuai pada Gambar 2.2, rapat arus korosi (I_{corr}) diperoleh dari hasil eksplorasi kurva potensial lawan logaritma. Intensitas arus didapatkan dengan menentukan titik perpotongan garis tafel reaksi reduksi dan garis tafel reaksi oksidasi pada garis potensial korosi (E_{corr}).

Untuk polarisasi katodik

$$\eta k = \beta k \log ik - \beta k \log i0 \quad (2.14)$$

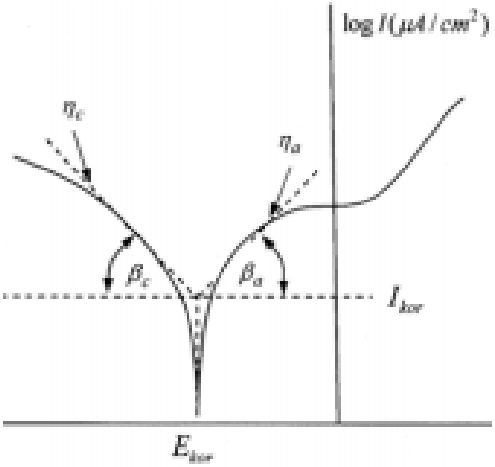
Untuk polarisasi anodik

$$\eta \alpha = \beta \alpha \log i\alpha - \beta \alpha \log i0 \quad (2.15)$$

Keterangan:

η_α = potensial polarisasi anodik

η_k = potensial polarisasi kotodik
i_α = rapat arus anodik
i_k = rapat arus katodik
i_0 = rapat arus korosi pada kesetimbangan
β_α = beta anodik
β_k = beta katodik



Gambar 2.2 Kurva Tafel (Chamberlain,1991)

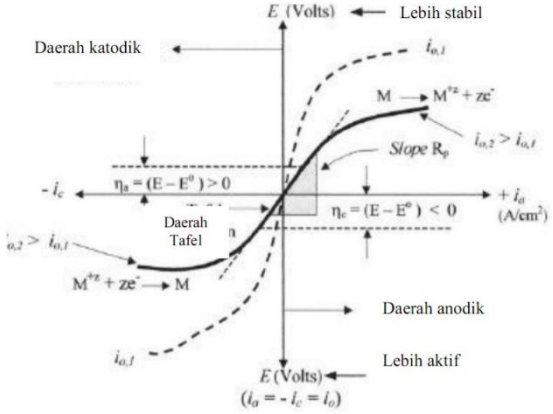
Gambar 2.2 menjelaskan bahwa perbedaan potensial antara katoda dan anoda digunakan untuk menggambarkan terjadinya korosi. Tetapi hal tersebut belum menggambarkan laju korosi yang sebenarnya. Laju korosi dinyatakan dengan nilai kerapatan arus yang keluar. Semakin tinggi kerapatan arus yang diperoleh maka laju korosi yang terjadi semakin tinggi. Laju korosi dalam kurva polarisasi dinyatakan dengan adanya E_{corr} dan I_{corr}. Nilai dari E_{corr} dan I_{corr} dapat diperoleh dari persamaan tafel (Persamaan 2.16) dan persamaan Buttler-Volmer (Persamaan 2.19):

Persamaan Tafel:

$$i = io \,.\, exp(2{,}303 \,.\, (E - Eo \,/\, B) \qquad (2.16)$$

Dimana:
i = arus yang terjadi akibat adanya reaksi (ampere)
i_o = *Exchange Current* (ampere)
E = Potensial Elektroda (volt)
E_o = Potensial Equilibrium (volt)
B = Konstanta Beta Tafel

Gambar 2.2 merupakan kurva tafel ketika sumbu-y berupa arus (i_{corr}) yang di log. Ketika log tersebut dihilangkan, kurva tafel membentuk garis lurus yang digunakan untuk mencari nilai hambatan (R_p) sesuai yang tertera dalam standar ASTM G5.



Gambar 2.3 Kurva Tafel Linear (Maria, 2016)

Gambar 2.3 merupakan kurva tafel dalam bentuk linear, diketahui bahwa dalam kurva tersebut membentuk *slope* R_p yang besarnya dicari menggunakan persamaan berikut:

$$R_p = \left(\frac{\partial \Delta E}{\partial i}\right)_{i \to 0, dE/dt \to 0} \quad (2.17)$$

Dimana:
R_p = Hambatan logam (Ωcm^2)
E = Potensial (V)
i = Rapat arus ($\mu A/cm^2$)

Dari Persamaan 2.17, digunakan untuk mencari i_{corr} menggunakan Persamaan 2.18 berikut:

$$i_{corr} = 10^6 \times \frac{B}{R_p} \quad (2.18)$$

Dimana:

i = Rapat arus ($\mu A/cm^2$)
R_p = Hambatan logam (Ωcm^2)
B = Konstanta Beta Tafel

Persamaan tafel (Persamaan 2.16) hanya digunakan pada satu reaksi sedangkan korosi merupakan proses dua reaksi yaitu reaksi anodik dan katodik. Sehingga jika persamaan tafel dirumuskan dalam reaksi anodik dan katodik dikenal dengan persamaan Butler-volmer (Persamaan 2.19):

$$i_{app} = i_{corr}\left\{\begin{matrix}\exp\left[\frac{\alpha_{a,M}\ z\ F}{RT}(E - Ecorr)\right] - \\ \exp\left[-\frac{\alpha_{c,Ox}\ z\ F}{RT}(E - Ecorr)\right]\end{matrix}\right\} \quad (2.19)$$

Dimana:

i_{app} : densitas arus yang terukur
i_{corr} : densitas arus korosi
$\alpha_{a,M}$: koefisiensi transfer muatan pada reaksi anodik
$\alpha_{c,Ox}$: koefisiensi transfer muatan pada reaksi katodik
$E-E_{corr}$: perbedaan polarisasi
z : valensi logam
F : konstanta faraday
R : konstanta gas
T : temperatur

Persamaan Butler-volmer (Persamaan 2.19) diturunkan menjadi bentuk yang sederhana, sehingga terbentuk persamaan:

$$B = \frac{b_a \times b_c}{2{,}303(b_a + b_c)} \quad (2.20)$$

Dimana:
B = Konstanta Beta Tafel
b_a = beta anodik
b_c = beta katodik

Selanjutnya untuk mengetahui nilai laju korosi setelah diketahui nilai I_{corr} dalam kurva polarisasi, digunakan persamaan sebagai berikut (Persamaan 2.21, merupakan perhitungan laju korosi dengan satuan mmpy):

$$CR = 3.27\ x\ 10 - 3\ ((icorr\ .EW)/\rho) \quad (2.21)$$

Dimana:
CR = laju korosi (mmpy)
EW = equivaent weight (gram)
ρ = density (g/cm^3)
i_{corr} = rapat arus (μA/cm^2)

Dari laju korosi yang diperoleh melalui Persamaan 2.21. Laju korosi tersbut digunakan untuk menghitung efisiensi dari inhibitor, persamaan yang digunakan yaitu sesuai pada Persamaan 2.22 berikut:

$$Efisiensi\ (\%) = ((CR0 - CR1)/CR0)\ x\ 100\% \quad (2.22)$$

Keterangan:
CR_0 = laju korosi tanpa inhibitor (0 ppm)
CR_1 = laju korosi konsentrasi inhibitor

2.4 Jenis-Jenis Korosi

Korosi dapat terjadi dimana saja asalkan syarat-syaratnya terpenuhi. Namun terdapat faktor eksternal yang membedakan korosi satu dengan yang lainnya salah satunya yaitu aliran fluida, aspek metalurgi, lingkungan dll. Perbedaan penyebab, proses serta hasil korosi tersebut mengharuskan adanya pengklasifikasian korosi. Berikut merupakan tabel yang menampilkan jenis-jenis korosi beserta aspek yang dibedakan:

Tabel 2.1 Macam-Macam Korosi (Chingondo, 2016; Marcus, 2008)

No	Aspek Yang Dibandingkan	Jenis Korosi			
		Pitting	**Crecive**	**Erosi**	**Uniform**
1	**Penyebab**	Adanya goresan pada logam	Adanya celah antar logam yang berbeda	Permukaan logam yang tidak rata sehingga menyebabkan aliran yang turbulen	Adanya kontak langsung dengan lingkungan
2	**Pencegahan**	Segera tutup (coating dll) apabila terjadi goresan	Desain dibuat miring sehingga tidak terdapat genangan air pada celah	Desain ulang pipa, kurangi kecepatan fluida	Lakukan proteksi korosi pada logam
3	**Biasanya terjadi**	Lingkungan asam	Kawasan industri	Kawasan industri	Lingkungan terbuka
4	**Mekanisme kerja**	Bermula dari goresan pada logam. Goresan tersebut menyebabkan oksigen di udara masuk.	Genangan air pada celah menyebabkan oksidasi pada logam	Aliran yang turbulen menyebabkan agitasi yang tidak beraturan.	Bereaksi dengan oksigen yang berada di udara

2.5 Pengendalian Korosi

2.5.1 Design Improvement

Pengendalian korosi salah satunya dapat dilakukan dengan pengembangan desain dari suatu sistem. Desain ini dikembangkan sesuai dengan kebutuhan yang menghindari pemicu-pemicu terjadinya korosi. Misalkan, mencegah adanya fluida yang menggenang maka permukaan di desain dengan kemiringan. Karena genangan atau air mempercepat terjadinya korosi. Kemudian profil pipa dibuat lebih rapi sehingga menghindari adanya aliran yang tidak beraturan yang dapat meningkatkan laju korosi.

2.5.2 Aspek Material

Aspek material juga berpengaruh terhadap penegdalian korosi. Korosi dapat dikendalikan dengan adanya analisa material yang cocok untuk diterapkan pada lingkunagn tertentu. Ketahanan korosi suatu material tergantung pada lingkungan, lingkungan korosif membuat laju korosi menjadi semakin tinggi. Beberapa material mempunyai ketahanan korosi yang baik pada lingkungan tertentu namun jika digunakan pada lingkungan yang berbeda sifat tahan korosi tersebut memudar (Zaki, 2006). Oleh karena itu pengetahuan tentang ketahanan korosi suatu material dalam lingkungan tertentu sangat penting sebagai langkah dalam pemilihan material.

Sebagai contoh seperti pada pemilihan material baja karbon, baja karbon mempunyai sifat ketahanan korosi yang buruk sehingga perlu ditambahkan perlindungan korosi (Sumarji, 2011). Berbeda halnya dengan *stainless steel* yang mempunyai ketahanan korosi yang baik.

2.5.3 Coating

Fungsi coating sendiri yaitu untuk melindungi logam dari kontak lingkungan. Coating biasanya mengandung timbal dan seng, karena unsur tersebut lebih melindungi baja terhadap korosi (Mulyono, 2017). Coating harus merata menutupi bagian pemukaan baja karena jika terdapat permukaan baja yang tidak tertutup oleh cat, maka pemukaan tersebut dapat menjadi titik

korosi. Salah satu pengaplikasian coating ini adalah pada pipa yang terpendam di bawah tanah, baja konstruksi jembatan dsb.

2.5.4 Proteksi Anodik

Metode ini dikembangkan menggunakan prinsip kinetika dari elektrodanya. Secara sederhana, proteksi anodik bekerja berdasarkan susunan lapisan pelindung pada logam yang dihasilkan dari arus anodik yang dialirkan dari luar. Proteksi anodik mempunyai kelebihan karena arus yang dialirkan biasanya sebanding dengan laju korosi dari sistem. Sehingga proteksi anodik ini tidak hanya berfungsi sebagai pelindung tapi juga langsung memberikan nilai laju korosi pada sistem. Proteksi anodik ini biasa digunakan untuk melindungi peralatan yang berhubungan dengan asam kuat salah satunya asam sulfat (H_2SO_4).

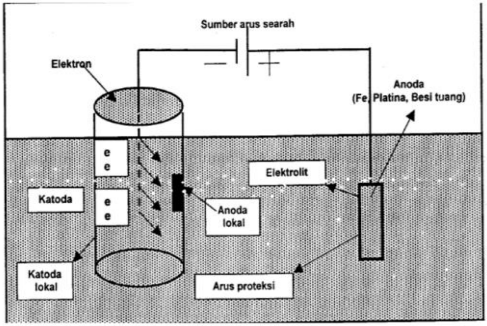
Pada perlindungan dengan sistem anodik (proteksi anodik), memerlukan tegangan yang relatif besar untuk performa perlindungan yang optimal. Adanya tegangan yang besar menjadikan sistem terlindungi dari korosi karena terbentuknya lapisan pasif. Selain tegangan besar, hal yang perlu diperhatikan supaya proteksi katodik berjalan dengan baik yaitu harus memperhatikan kondisi lingkungan. Lingkungan yang stabil meningkatkan efektifitas dari proteksi anodik ini. Apabila lingkungan tersebut tidak stabil (berfluktuasi), maka penerapan sistem proteksi anodik tidak dianjurkan (Mulyono, 2017).

2.5.5 Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah metode untuk melindungi logam dari korosi dengan menggunakan anoda korban. Prinsip dasar dari perlindungan katodik ini dijelaskan seperti Gambar 2.3 dengan menggandengkan logam yang dilindungi dengan logam lain yang bersifat lebih tahan korosi, seperti seng dan aluminium (Andreas, 2015). Proteksi katodik mengubah logam utama untuk bertindak sebagai katoda dengan menggunakan logam yang lebih mudah untuk teroksidasi sehingga logam utama tidak kehilangan elektron ke lingkungannya. Proteksi katodik digunakan untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam. Logam pada dasarnya rentan terhadap korosi. Kemungkinan terjadi korosi meningkat ketika baja sering terjadi kontak dengan air. Air

mengandung ion-ion yang dapat menyebabkan baja untuk beroksidasi dan terkorosi.

Arus listrik mengalir dari anoda melalui sel elektrolit menuju ke katoda. Adanya aliran arus listrik tersebut dapat melancarkan pasokan elektron ke katoda sehingga katoda menjadi terlindungi.



Gambar 2.4 Proteksi Katodik (Sumber : Departemen pemukiman dan prasarana wilayah, 2004)

Gambar 2.4 merupakan proteksi katodik yang umum digunakan namun terdapat dua metode utama proteksi katodik sebagai langkah dalam pengendalian korosi. Dua metode tersebut yaitu SACP (*Sacrificial Anode Cathodic Protection)* atau perlidungan galvanik dan ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection).* Dalam perlindungan galvanik, logam dengan potensial redoks lebih negatif (lebih mudah oksidasi) dari logam yang dilindungi terhubung dengan kawat terisolasi sehingga bertindak sebagai anoda. Misalnya pada magnesium, magnesium mempunyai potensial redoks yang rendah sehingga sering digunakan anoda korban. Logam lainnya yang umum digunakan adalah aluminium dan seng. Prosedur ini membentuk sebuah sel elektrolisis dengan arus yang mengalir dari anoda ke logam utama yang bertindak sebagai katoda. Anoda kehilangan massa karena mengalirnya elektron ke katoda. Oleh sebab itu disebut sebagai anoda korban. Perlindungan galvanik bekerja dengan optimal

hingga anoda korban yang dipasang sudah tidak dapat memberikan elektron kepada katoda sehingga harus diganti.

Selanjutnya adalah sebuah sistem proteksi katodik dengan nama *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Hal ini serupa dengan perlindungan galvanik, hanya saja catu daya yang digunakan untuk menghasilkan arus listrik dari anoda ke katoda perlu dijaga. Di dalam metode *ICCP* menggunakan arus listrik yang searah (DC) sehingga perlu adanya alat pengkonversi arus dari arus bolak balik (AC) ke arus searah (DC). Metode ini memberikan perlindungan yang lebih lama karena menggunakan logam dengan potensial yang cenderung sukar beroksidasi karena alran elektron dipasok dari luar dan bukan dihasilkan oleh reaksi anoda dengan lingkungannya, sehingga umur anoda lebih panjang (Mulyono, 2017).

2.5.6 Inhibitor

Inhibitor adalah zat yang bila ditambahkan dalam konsentrasi kecil ke dalam lingkungan, dapat mengurangi laju korosi (Bounougha, 2016). Dalam arti tertentu, sebuah inhibitor bisa dianggap sebagai katalis perlambatan. Ada banyak jenis inhibitor dengan berbagai komposisinya. Sebagian besar inhibitor telah dikembangkan oleh penelitian empiris dan banyak diantaranya merupakan rahasia hak milik maka dari itu komposisi inhibitor tersebut sering tidak diungkapkan (Fontana, 1967).

Inhibitor korosi umumnya berbentuk fluida atau cairan yang diinjeksikan pada line produksi. Penambahan inhibitor dapat digunakan dalam berbagai lingkungan, misalnya ditambahkan pada lingkungan industri untuk menghilangkan kandungan H_2S. Dalam mekanisme kerjanya, inhibitor korosi bekerja dengan cara membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam. Lapisan pelindung pertama yang terbentuk mempunyai ikatan yang sangat kuat disebut *chemisorption* jika dalam prakteknya terjadi transfer muatan antara logam dengan inhibitor. Inhibitor korosi tersebut merupakan salah satu metode yang penting dalam menangani korosi maka perlu dilakukan pemilihan inhibitor yang sesuai dengan kondisinya.Pada prakteknya, jumlah inhibitor yang di

tambahkan hanya sedikit, baik secara kontinu maupun periodik menurut suatu selang waktu tertentu (Dalimunthe, 2004).

Adapun mekanisme kerjanya dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan beberapa molekul inhibitor yang membentuk ikatan. Lapisan ini tidak dapat diamati secara visual, namun dapat menghambat interaksi logam dengan lingkungannya.
2. Pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam kemudian melidunginya dari korosi. Jika endapan yang terjadi cukup melimpah, lapisan tersebut dapat teramati oleh mata.
3. Dalam sistem kerjanya inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya dan menghasilkan suatu zat kimia. Kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pelindung pada permukaan logam.
4. Inhibitor menghilangkan kontituen yang agresif dari lingkungannya.

(Heiderbach, 2011)

Berdasarkan sifat korosi logam secara elektrokimia, inhibitor dapat mempengaruhi polarisasi anodik dan katodik. Bila reaksi korosi dapat terjadi karena empat komponen yaitu anoda, katoda, elektrolit dan kontak metalik, maka inhibitor korosi memberikan kemungkinan menaikkan polarisasi anodic atau menaikkan polasisasi katodik atau menaikkan tahanan listrik dari rangkaian melalui pembentukan endapan tipis pada permukaan logam. Mekanisme ini dapat diamati melalui suatu kurva polarisasi yang diperoleh secara eksperimental (Roberge, 2000).

Inhibitor korosi ditambahkan ke dalam media biasanya dalam tingkat *parts per million* (ppm). Banyak jenis inhibitor yang dapat digunakan untuk mengendalikan korosi. Pengendalian korosi menggunakan inhibitor ini biasanya diaplikasikan pada

interior dari pipa, bejana, dan peralatan lainnya. Pemilihan inhibitor korosi tergantung pada kondisi aktual di lapangan. Penelitian berbasis laboratorium terhadap inhibitor perlu dilakukan. Faktor seperti temperatur dan kondisi laju aliran perlu dipelajari sebelum menentukan inhibitor korosi. Perhatian juga harus diberikan mengenai komposisi dan mikrostruktur dari material yang digunakan (Sofia, 2010). Dalam penggunaanya, inhibitor harus sesuai dengan konsentrasi yang dibutuhkan. Sangat penting untuk mengetahui kinerja logam apabila kelebihan atau kekurangan konsentrasi inhibitor. Konsentrasi inhibitor harus cukup untuk melindungi permukaan material dari korosi. Apabila konsentrasi yang diberikan kurang dari yang diperlukan, maka ada bagian permukaan logam yang tidak terlindungi sehingga bagian tersebut menjadi terkorosi.

2.6 Klasifikasi Inhibitor

Inhibitor terbagi dua menurut komposisi penyusunya yaitu inhibitor organik dan inhibitor anorganik.

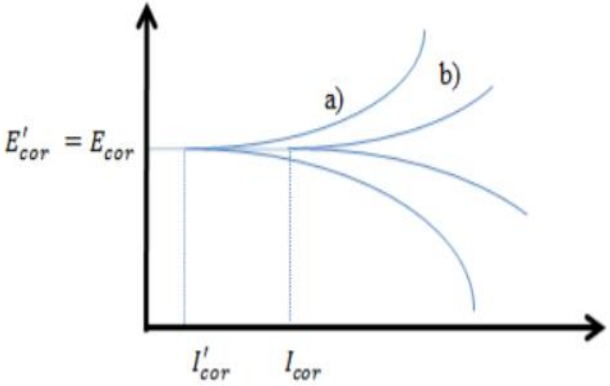
1. Inhibitor Organik

Inhibitor organik adalah inhibitor yang diperoleh dari hewan dan tumbuhan yang mengandung unsur karbon dalam senyawanya. Material dasar dari organik inhibitor antara lain mempunyai turunan asam lemak alifatik, contohnya yaitu:

a. Monoamine, diamine, amida, asetat, oleat, senyawa-senyawa amfoter.
b. Imdazolines dan derivatifnya.

Inhibitor organik biasanya digunakan sebagai pembentuk lapisan serta melindungi logam dengan membentuk suatu lapisan hidrofobik pada permukan logam. Inhibitor organik membentuk suatu lapisan sehingga molekul-molekulnya teradsorpsi pada permukaan logam. Adsorpsi molekul inhibitor tersebut menjadi penghalang pelarutan logam di dalam larutan elektrolit. Apabila permukaan logam yang tertutupi sebanding dengan konsentrasi inhibitor, konsentrasi inhibitor di dalam larutan disebut sebagai konsentrasi kritis (Roberge, 2000).

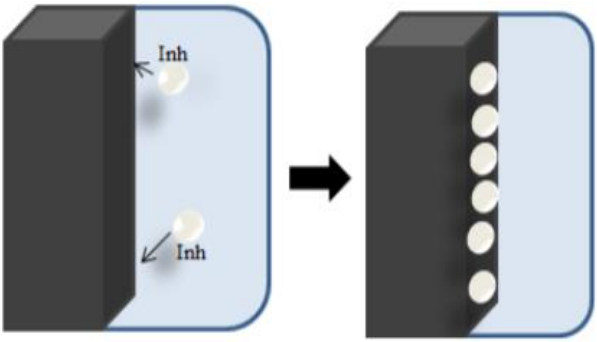
Keefektifannya bergantung pada susunan kimia, struktur molekul dan afinitasnya terhadap permukaan logam. Karena pembentukan lapisan adalah suatu proses adsorpsi, faktor temperatur dan tekanan merupakan hal yang penting. Inhibitor organic melakukan adsorpsi berdasarkan muatan ion inhibitor tersebut dan muatan pada permukaan logam. Gugus-gugus fungsi seperti amina dalam inhibitor kationik serta gugus fungsi sulfonat dalam inhibitor anionik teradsorpsi lebih dahulu bergantung pada muatan pada permukaan logam. Kekuatan ikatan adsorpsi adalah faktor yang dominan untuk inhibitor organik yang larut dalam air (Yatiman, 2009).



Gambar 2.5 Diagram teoritis polarisasi potensiostatik: perilaku elektrokimia logam pada larutan yang mengandung inhibitor katodik dan anodik (a) dibandingkan dengan larutan yang sama tanpa inhibitor (b) (Camila, 2014)

Gambar 2.5 menunjukkan kurva polarisasi potensiostatik teoritik, dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan inhibitor organik pada logam menyebabkan perilaku anodik dan katodik. Diketahui setelah penambahan inhibitor, potensial korosi (E_{corr}) tetap sama tetapi arus berkurang dari I_{cor} ke I'_{cor}.

Dapat disimpulkan bahwa penambahan inhibitor katodik dan anodik membuat nilai I_{cor} semakin ke kiri yang membuat laju korosi juga semakin turun.



Gambar 2.6 Ilustrasi Mekanisme Aktuasi Inhibitor Organik Yang Bekerja Melalui Adsorpsi Inhibitor Pada Permukaan Logam (Camila, 2014)

Gambar 2.6 menjelaskan bahwa inhibitor organik membentuk lapisan pada permukaan logam setelah ditambahkan. Lapisan tersebut jika terbentuk secara merata dapat dikatakan bahwa inhibitor tersebut mempunyai efisiensi yang baik.

Efisiensi inhibitor organik bergantung pada beberapa faktor, diantaranya yaitu:

a. Struktur kimia dan ukuran molekul organik meliputi gugus aromatik serta ikatan terkonjugasi.
b. Panjang rantai karbon meliputi jenis dan jumlah atom, kelompok ikatan dalam molekul, sifat dan muatan permukaan logam, jenis adsorpsi seperti kekuatan ikatan ke logam, serta kemampuan suatu lapisan menjadi padat atau saling berhubungan.
c. Kemampuan untuk membentuk ikatan kompleks dengan logam sebagai padatan serta meliputi jenis larutan elektrolit seperti kelarutan yang memadai di lingkungan.

(Sanyal, 1981)

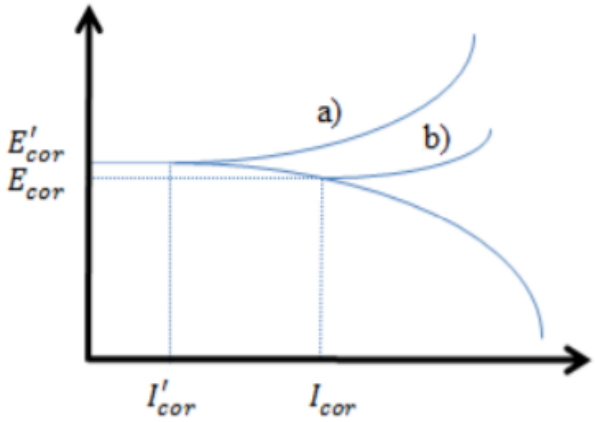
Efisiensi inhibitor korosi organik ini terkait dengan keberadaan atom-atom heterogen yang terdiri dari S, P, O atau N dalam molekul, senyawa heterosiklik dan elektron pi, memiliki bagian hidrofilik atau hidrofobik terionisasi (Aprael, 2013).

2. Inhibitor Anorganik

Inhibitor anorganik adalah inhibitor yang diperoleh dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon dalam senyawanya. Salah satu contoh dari inhibitor anorganik adalah kromat, nitrit, arsenat, kromat, silikat, dan fosfat (Mulyono, 2017). Inhibitor anorganik merupakan inhibitor yang beracun terutama bagi tubuh karena terdiri dari senyawa yang merupakan jenis bahan kimia yang berbahaya dan tidak ramah lingkungan sehingga memberikan efek buruk bagi tubuh manusia (Sazha, 2014).

a. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik (juga disebut inhibitor passivasi) bertindak dengan mengurangi reaksi anodik, yaitu memblokir reaksi anoda dan mendukung reaksi alami pada permukaan logam (Gentil, 2003). Secara umum, inhibitor bereaksi dengan produk korosi sehingga terbentuk lapisan yang kohesif dan tidak larut pada permukaan logam saat awal penambahannya (Roberge, 1999).



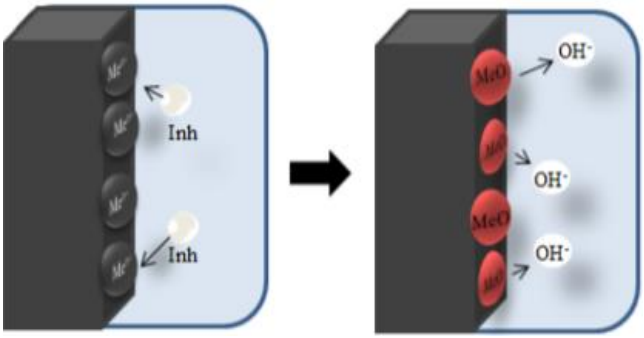
Gambar 2.7 Diagram polarisasi potensiostatik: perilaku elektrokimia logam dalam larutan dengan inhibitor anodik (a) tanpa inhibitor (b) (Camila, 2014)

Gambar 2.7 menunjukkan diagram polarisasi potensiostatik dari inhibitor anodik. Inhibitor anodik mempengaruhi reaksi korosi pada anoda dan menggeser potensial korosi dari logam ke arah yang

lebih positif. Jika penambahan inhibitor menurunkan nilai arus, maka suatu inhibitor dapat dikatakan menginhibisi suatu logam.

Mekanisme kerja dari inhibitor anodik diawali dengan adanya reaksi dengan ion logam Me^{n+} pada anoda sehingga membentuk hidroksida yang diendapkan pada permukaan logam sebagai lapisan tidak larut serta tidak dapat ditembus oleh ion logam dari hasil hidrolisis ion OH^- pada inhibitor (Gentil, 2003).

Gambar 2.7 berikut menunjukkan bagaimana mekanisme |penghambatan pada reaksi anodik.

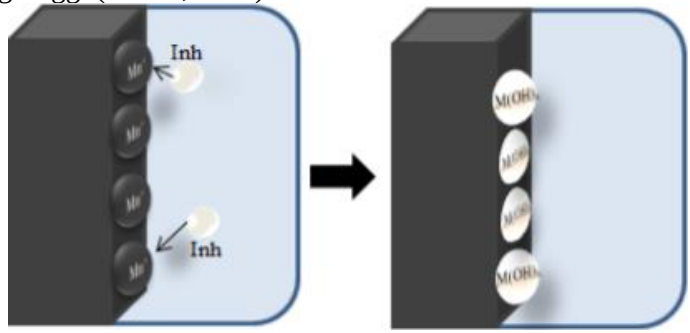


Gambar 2.8 Ilustrasi Pengaruh Inhibitor Anodik Anorganik dan Mekanismenya (Camila 2014)

Gambar 2.8 merupakan mekanisme kerja dari inhibitor anodik. Terlihat bahwa adanya inhibitor anodik menyebabkan pembebasan ion OH^-. inhibitor anodik ini harus ditambahkan dengan konsentrasi yang tepat. Konsentrasi yang tidak tepat mempengaruhi pembentukan lapisan pelindung karena tidak menutupi permukaan logam sepenuhnya, meninggalkan daerah logam yang terbuka sehingga menyebabkan korosi lokal (Dutra, 2011). Logam dengan penambahan konsentrasi di bawah nilai kritis berakibat lebih buruk daripada logam tanpa ditambahkan inhibitor sama sekali (Bardal, 2004). Beberapa contoh inhibitor anorganik anodik adalah nitrat, molibdat, natrium kromat, fosfat, hidroksida, dan silikat. (Camila, 2014)

b. Inhibitor Katodik

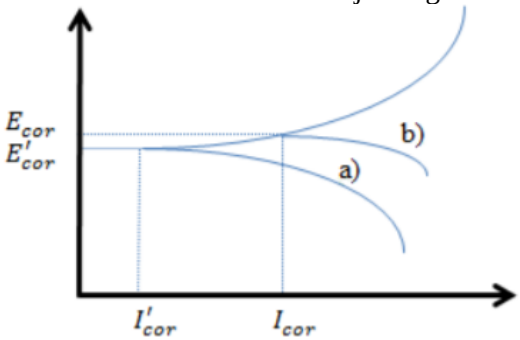
Selama proses korosi, inhibitor korosi katodik mencegah terjadinya reaksi katodik pada logam. Inhibitor katodik memiliki ion logam yang mampu menghasilkan reaksi katodik karena adanya gugus alkalinitas. Hal tersebut menghasilkan senyawa tidak larut yang mengendap pada permukaan logam secara selektif pada daerah katodik. Endapan tersebut menghasilkan lapisan yang padat dan adherent. Lapisan tersebut membatasi difusi zat asing yang dapat menyebabkan korosi pada logam serta adanya lapisan tersebut meningkatkan impedansi logam. Dengan demikian, meningkatnya impedansi permukaan logam dan pembatasan difusi zat asing berupa oksigen dan elektron konduktif menyebabkan laju korosi menjadi menurun sehingga menyebabkan inhibisi katodik yang tinggi (Talbot, 2000).



Gambar 2.9 Mekanisme kerja inhibitor katodik (Camila, 2014)

Gambar 2.9 merupakan mekanisme kerja inhibitor katodik. Diawali dengan membentuk penghalang endapan yang tidak larut di atas permukaan logam (menutupinya). Dengan demikian, membatasi kontak logam dengan lingkungan serta mencegah terjadinya reaksi korosi. Karena hal tersebut inhibitor katodik tidak tergantung pada besar konsentrasi yang ditambahkan. Dengan demikian inhibitor katodik jauh lebih aman daripada inhibitor anodik. Inhibitor katodik biasanya digunakan untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam. Proses yang terjadi biasanya berupa reaksi elektrokimia dimana logam yang dilindungi bertindak sebagai katoda. Arus mengalir berasal dari anoda melalui sel

elektrolit yang menuju ke katoda. Sehingga adanya aliran arus tersebut membuat inhibitor katodik bekerja dengan semestinya.



Gambar 2.10 Diagram polarisasi potensiostatik: perilaku elektrokimia logam dalam larutan inhibitor katodik (a), tanpa inhibitor (b) (Camila, 2014)

Gambar 2.10 menjelaskan bahwa reaksi katodik menggeser potensial korosi ke arah yang lebih negatif. Hal yang sama juga terjadi pada arus yang bergeser ke arah yang lebih negatif ketika adanya penambahan inhibitor katodik. Beberapa contoh dari inhibitor katodik anorganik adalah ion magnesium, seng, dan nikel. Dalam kerjanya. Inhibitor tersebut bereaksi dengan hidroksil (OH^-) dari air yang membentuk hidroksida yang tidak larut. Senyawa hidroksida tersebut diantaranya $Mg(OH)_2$, $Zn(OH)_2$, $Ni(OH)_2$ yang berkumpul di daerah katodik dari permukaan logam dan kemudian melindunginya (Gentil, 2003). Inhibitor katodik juga dapat berasal dari polifosfat, fosfonat, tanin, lignin dan garam kalsium yang bekerja dengan mekanisme reaksi yang sama (Camila, 2014). Hal tersebut dapat dilihat dari karakteristik endapan yang dihasilkan karena efek dari magnesium atau kalsium bikarbonat di atasnya. Ketika air keras mengalir di atas logam, dapat membantu nukleasi karbonat yang memungkinkan reaksi mendekat ke arah kesetimbangan dan membentuk endapan pada permukaan logam. Endapan ini (seperti CaCO3) menutupi area katodik dan kemudian melindungi logam. Jadi inhibitor katodik ini bergantung pada reaksi kimia pada elektrolitnya, bukan karena komposisi logam

(Ramanathan, 1988). Hal tersebut mengakibatkan inhibitor katodik ini dapat digunakan untuk semua logam.

2.7 Adsorption Isoterm

Adsorption isotherm biasanya digunakan untuk mengetahui model interaksi antara inhibitor dengan permuakan baja (Jiang, 2014). Faktor utama efisiensi inhibitor korosi tergantung pada kemampuan adsorpsi permukaan logam. Oleh karena itu, perlu diketahui mekanisme adsorpsi dan isoterm adsorpsi yang dapat memberikan informasi tentang interaksi inhibitor dan permukaan logam. Perlindungan permukaan baja ASTM A106 Grade B tergantung bagaimana molekul inhibitor thiamphenicol teradsorpsi pada permukaan logam dan juga ionisasi dan polarisasi molekul (Lagrenee, 2002). The degree of surface coverage (θ) sebagai fungsi konsentrasi (C) dari inhibitor dipelajari secara grafis dengan menggunakannya ke berbagai isoterm adsorpsi untuk menemukan isoterm adsorpsi terbaik. Isotherm yang dipakai dalam penelitian ini yaitu Langmuir. Menurut isoterm adsorpsi langmuir, terkait dengan konsentrasi inhibitor, dan konstanta kesetimbangan adsorpsi dirumuskan seperti pada rumus (persamaan 2.23):

$$C/\theta = 1/Kads + C \tag{2.23}$$

C / θ versus C yang diplot merupakan garis lurus dan kemiringan mendekati 1, menunjukkan bahwa Langmuir adsorpsi isoterm adalah yang paling cocok untuk menggambarkan perilaku inhibitor pada permukaan baja (Jiang, 2002). Energi bebas adsorpsi dihitung menggunakan rumus sesuai dengan rumus (persamaan 2.24):

$$\Delta G^{\circ}_{ads} = -2{,}303\ RT\ \mathrm{Log}\ (55{,}5\ K_{ads}) \tag{2.24}$$

di mana R merupakan konstanta gas universal, T adalah temperatur absolut, K_{ads} adalah konstanta kesetimbangan untuk proses adsorpsi-desorpsi, dan 55,5 adalah konsentrasi molar air dalam larutan (mol L^{-1}). Parameter termodinamika adsorpsi lainnya

seperti entalpi adsorpsi dan entropi adsorpsi diperoleh rumus sebagai berikut:

$$Log\mathrm{K_{ads}} = \frac{1}{2.303}\left(-\frac{\Delta Hads}{RT}\right) + \left(\frac{\Delta Sads}{R}\right) \qquad (2.25)$$

Nilai yang dihitung dari K_{ads}, ΔH_{ads}, ΔS_{ads}, dan ΔG_{ads} dicatat pada Tabel 3.9. Lagrenée et al. telah meneliti bahwa semakin tinggi nilai K_{ads}, lapisan teradsorpsi yang terbentuk jauh lebih kuat dan lebih stabil yang menghasilkan efisiensi inhibisi yang lebih tinggi. Nilai-nilai negatif yang ditunjukkan pada ΔG_{ads} menunjukkan adsorpsi spontan inhibitor pada permukaan baja (Umoren, 2007).

2.8 Inhibitor Obat

Korosi di dalam industri minyak dibedakan oleh korosi bahan logam dan non-logam yang diatasi oleh solusi yang berbeda (pelapis, inhibitor, anodisasi, atau perlindungan katodik). Namun dari beberapa metode yang dapat digunakan, perlindungan korosi menggunakan inhibitor menjadi salah satu yang paling banyak digunakan karena biaya yang relatif lebih rendah. Inihibitor korosi pada umunya mempunyai sifat polaritas, biodegradabilitas serta lipohidrofilik yang baik. Dari berbagai macam jenis inhibitor, inhibitor obat merupakan inhibitor yang banyak digunakan karena tidak terpakai dalam jumlah besar. Penggunaan obat di samping ramah lingkungan juga dapat menghambat korosi di industri minyak terutama pada peralatan atau komponennya (Sethuraman, 2008).

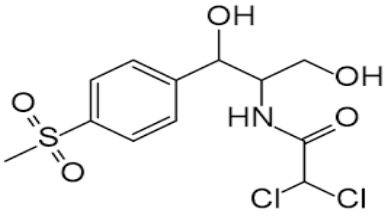
Pengendalian korosi dengan inhibitor organik seperti yang telah dijelaskan dapat dilakukan dengan menggunakan inhibitor dari bahan obat. Inhibitor obat memiliki banyak metode yang bisa dilakukan salah satunya dengan menggunakan bahan yang teridentifikasi dengan baik dapat mengendalikan korosi seperti obat dari jenis sintesis turunan organik dari mulai zat karsinogenik, pelarut, atau katalis. Masalah penting lainnya yaitu bahwa obat yang digunakan untuk dijadikan inhibitor korosi harus memiliki ikatan terstruktur dari beberapa heteroatom (N, O, S, P) sehingga

dapat digunakan sebagai inhibitor korosi yang baik (Newman, 2007). Selain itu penggunaan obat (β-laktam, kuinolon, tetrasiklin, makrolida, lincosamid, sulfonamid, aminoglikosida, amfenikol, antijamur, amoebisida, antivirus, antihipertensi, antipsikotik, antelmintik, pelemas otot, opioid analgesik, dan histamin) sangat baik sebagai penghambat proses korosi terhadap berbagai macam jenis lingkungan (Gokhan, 2011).

Dengan mengedepankan pada faktor industri, lingkungan, ilmiah, dan ekonomi, kemudian dilakukan penelitian pada beberapa obat yang sudah kedaluarsa (Citicoline, Paracetamol, dan Carbocisteine) untuk dijadikan sebagai inhibitor untuk baja karbon dalam larutan 1M HCl. Penggunaan inhibitor korosi dari bahan obat kedaluarsa untuk mengendalian korosi pada baja telah banyak dilakukan pada media yang berbeda-beda, diantaranya yaitu asam klorida, asam sulfat, natrium klorida (Kafaa, 2017).

2.9 Thiamphenicol dan Chloramphenicol

Thiamphenicol adalah antibiotik yang digunakan untuk pengobatan penyakit menular, namun lebih *familiar* terdengar sebagai obat penyakit tifus.



Gambar 2.11 Struktur Thiamphenicol (Gokhan, 2011)

Sesuai Gambar 2.11, antibiotik thiamphenicol mempunyai rumus senyawa yaitu $C_{12}H_{15}CI_2NO_5S$ (Harpolia, 2016). Struktur kimia dari thiamphenicol berupa analog (senyawa yang mempunyai kemiripan struktur) dari chloramphenicol, kecuali pada struktur yang berbentuk para dari cincin benzene (Adnan, 2011). Chloramphenicol mempunyai gugus nitro sedangkan thiamphenicol mempunyai gugus sulfonylmethyl (Ferrari, 1981).

Secara visual, thiamphenicol berbentuk serbuk hablur halus yang menyerupai jarum atau lempeng memanjang. Thiamphenicol mempunyai warna putih hingga putih kelabu atau putih kekuningan, dan stabil dalam larutan netral maupun larutan asam lemah. Thiamphenicol memiliki berat molekul 323 gram/mol; kelarutan di dalam air 1:400; kelarutan di dalam etanol 1:2,5; panjang gelombang maksimal thiamphenicol dalam air yaitu 278 nm (Clarke, 1986). Thiamphencol termasuk ke dalam keluarga antibiotik amphenicol yang di dalamnya juga terdapat antibiotik chloramphenicol, azidamphenicol, dan florphenicol. Chloramphenicol, thiamphenicol dan florfenicol memiliki aktivitas spektrum luas terhadap bakteri gram positif dan gram negatif serta kelompok mikroorganisme lainnya (Holt, 1999). Serta thiamphenicol termasuk senyawa antibiotik yang paling stabil (Schunack, 1990).

Thiamphenicol dikembangkan pada tahun 1960-an sebagai pengganti chloramphenicol (Bishop, 1998). Namun karena thiamphenicol mempunyai efek samping yang dapat menyebabkan anemia aplastik pada manusia, maka dari itu penggunaannya pada manusia telah sangat berkurang dan hanya digunakan untuk pengobatan infeksi bakteri MDR (*Multi Drugs Resistant*) di mana bakteri yang kebal terhadap antibiotik sehingga perlu adanya beberapa antibiotik yang bekerja.

Thiamphenicol juga dikurangi penggunaanya dikarenakan adanya kekhawatiran mengenai genotoksisitas, embrio, fetotoksisitas, potensi karsinogenik dan kurangnya pengetahuan mengenai dosis untuk anemia aplastik yang disebabkan oleh pengobatan menggunakan thiamphenicol pada manusia. Thiamphenicol juga telah dilarang untuk digunakan pada hewan penghasil makanan di Uni Eropa dan di banyak negara lain. Namun, karena kemanjuran dan efektivitas biaya, Thiamphenicol terus digunakan pada hewan makanan di beberapa negara, terutama di negara berkembang. Thiamphenicol ini merupakan obat antibiotik yang bekerja dengan cara menghambat pertumbuhan bakteri bukan dengan membunuhnya. Biasanya digambarkan sebagai bakteriostatik, tetapi pada beberapa momen thiamphenicol lebih

bersifat bakterisidal. Seperti inhibitor ribosom lainnya, thiamphenicol memiliki spektrum aktivitas yang luas, yang meliputi bakteri gram positif dan gram negatif, anaerob, dan beberapa patogen rickettsial (Sykes, 2014).

2.9.1 Mekanisme Kerja Sebagai Antibiotik

Dalam mekanisme kerjanya di dalam tubuh, thiamphenicol membentuk ikatan dengan subunit 50S dari ribosom bakteri dan menghambat sintesis protein bakteri. Thiamphenicol bekerja menghambat pertumbuhan bakteri dengan menghambat terbentuknya rantai peptida. Rantai peptida ini merupakan ikatan antar zat aktif yang berfungsi untuk pertumbuhan bakteri sehingga jika rantai peptida ini tidak terbentuk maka pertumbuhan bakteri juga terhambat.

Dalam mekanismenya, thiamphenicol melepas atom hidrogen untuk mengikat atom oksigen pada ujung rantai mRNA pada ribosom 30s yang dalam hal ini berlaku sebagai radikal bebas. Hilangnya atom hidrogen membuat thiamphenicol menjadi bermuatan negatif dan kemudian mengikat atom karbon pada tRNA pada ribosom 50s yang merupakan zat aktif dan merupakan tempat terjadinya sintesis protein pembentuk rantai peptida. Akibat zat aktif tRNA sudah diikat oleh thiamphenicol, ketika datang zat aktif tRNA lain pembawa materi untuk sintesis protein (rantai peptida) tRNA tersebut tidak dapat mengikat zat aktif pada rantai lain lagi sehingga pertumbuhan rantai menjadi terputus. Terputusnya rantai ini membuat pertumbuhan bakteri menjadi terhambat. Thiamphenicol aktif dan efektif dalam pengobatan beberapa penyakit menular, oleh karena itu sering digunakan untuk tujuan terapeutik dan profilaksis dalam kedokteran hewan serta untuk meningkatkan efisiensi pakan dan meningkatkan pertumbuhan hewan (Branger, 2004).

2.8.2 Mekanisme Kerja Sebagai Inhibitor

Seperti yang sudah dijelaskan diatas bahwa thiamphenicol merupakan salah satu senyawa inhibitor korosi yang paling stabil (Schunack, 1990). Ketika thiamphenicol digunakan sebagai inhibitor korosi di dalam HCl, gugus NH pada thiamphenicol

mengikat ion hidrogen yang terdapat pada elektrolit HCl membentuk NH_3. Sedangkan itu atom klor pada HCl yang merupakan atom yang reaktif mendekat kearah Fe pada logam karena mempunyai bilangan oksidasi yang berlawanan sehingga ada kecenderungan untuk tarik menarik. Inhibitor korosi berbahan obat tidak larut di dalam air sehingga mengendap pada permukaan logam. Apabila terdapat rantai siklik di dalam inhibitor, menghasilkan retrodonasi yang memperkuat ikatan elektrostatis antara inhibitor dengan baja yang terjadi secara fisika karena tidak terjadi ikatan antara logam dengan molekul inhibitor. Lapisan pada permukaan logam ini terus terbentuk selama reaksi-reaksi tersebut masih berlangsung di dalam sistem.

2.10 Penelitian Sebelumnya

Di dalam ilmu medis, antibiotik dibagi berdasarkan mekanisme kerjanya. Salah satu mekanisme kerja antibiotik adalah dengan menghambat sintesis protein. Antibiotik yang mempunyai mekanisme kerja demikian berasal dari keluarga amfenikol. Amfenikol sendiri terdiri dari beberapa turunan antibiotik yaitu thiamphenicol, chloramphenicol, azidamfenicol and florfenicol (Gokhan, 2011). Dari keempat antibiotik tersebut, thiamphenicol dan chloramphenicol mempunyai gugus yang hampir sama sehingga dua antibiotik ini juga mempunyai kesamaan sifat dan mekanisme kerja yang sangat mirip.

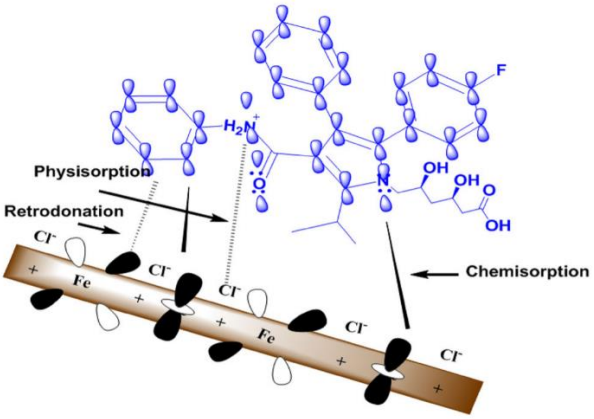
a. J. Davies, 1990

Thiamphenicol dan chloramphenicol dipelajari sehubungan dengan penghambatan pertumbuhan strain bakteri yang dipilih dan sistem terjemahan bebas sel. Chloramphenicol adalah inhibitor paling kuat dalam percobaan sebelumnya, tetapi berperilaku mirip dengan thiamphenicol yang menampilkan penghambatan selektif sintesis protein prokariotik. Thiamphenicol terbukti seperti chloramphenicol dalam menghambat aktivitas transfer sintesis peptida khususnya pada 70s ribosom, tetapi antibiotik ini terikat pada situs reseptor ribosomal. Namun jika melihat dari tingkat efisiensinya maka chloramphenicol > thiamphenicol.

b. Priyanka, 2017

Obat menjadi salah satu bahan yang mulai banyak diteliti untuk dijadikan sebagai inhibitor korosi. Namun dari sekian banyak jenis obat, dikerucutkan bahwa obat antibiotik mempunyai potensi yang lebih baik untuk dijadikan inhibitor korosi. Hal tersebut didasarkan oleh adanya heteroatom pada sebagian besar struktur senyawa dari antibiotik itu sendiri. Heteroatom ini menjadi unsur yang aktif dalam menangkap radikal bebas karena mempunyai pasangan elektron bebas. Unsur yang termasuk ke dalam heteroatom salah satunya yaitu nitrogen, sulfur, fosfor dsb.

Pada sebagian antibiotik, heteroatom ini mempunyai posisi pada rantai ujung senyawa namun pada sebagian yang lain juga terdapat pada rantai pusat senyawa. Jika heteroatom ini berada pada rantai ujung senyawa yang notabene cenderung untuk langsung berinteraksi dengan lingkungan, heteroatom ini menjadi lebih aktif untuk mengikat radikal bebas. Namun hal tersebut tidak menjadikan heteroatom yang berada pada rantai pusat untuk pasif dalam mengikat radikal bebas. Hal ini dijelaskan melalui gambar berikut



Gambar 2.12 Mekanisme Kerja dan Jenis Adsorpsi Inhibitor (Priyanka, 2017)

Gambar 2.12 menunjukkan adanya nitrogen yang merupakan salah satu heteroatom yang berada pada rantai pusat

senyawa antibiotik. Keberadaanya di rantai pusat tidak menjadikan nitrogen tersebut menjadi pasif, terlihat bahwa ikatan yang terprotonasi justru ikatan nitrogen tersebut. Terprotonasi berarti ikatan tersebut telah mengikat satu atau lebih ion hidrogen sehingga bermuatan positif.

Gambar 2.12 juga menjelaskan bahwa letak sebuah heteroatom di dalam struktur senyawa suatu antibiotik tidak menghambat kinerja heteroatom tersebut untuk mengikat radikal bebas.

c. Gokhan Gece, 2011

Sifat penghambat atau inhibisi dari chloramphenicol bekerja karena terdapat kandungan dalam jumlah tertentu dari ampicillin dan cloxacillin sodium), ampicillin, cloxacillin, dan tetrasiklin untuk korosi baja ringan dalam 0,1 M HCL. Efisiensi penghambatan terendah (34,33%) diperoleh untuk chloramphenicol pada konsentrasi 0,5 g / dm3. Namun nilai tersebut bukanlah nilai yang valid karena buruknya kelarutan senyawa-senyawanya. Suatu penilaian apakah sifat-sifat kimia kuantum dari senyawa-senyawa ini adalah evaluatif untuk mekanisme penghambatan kemungkinan dimediasi. Tidak diragukan lagi, analisis struktur aktivitas hubungan (QSAR) kuantitatif mereka tampaknya sebagai alat yang berguna untuk mempelajari efektivitas masing-masing inhibitor. Namun, kesimpulan definitif tentang urutan efisiensi penghambatan senyawa-senyawa ini sulit untuk ditarik karena chloramphenicol pada dasarnya adalah senyawa netral, dan perubahan pH (di atas wilayah pH 3–9) tidak menghasilkan perubahan signifikan dalam kelarutan. Di sisi lain, kelarutan chloramphenicol dilaporkan meningkat dengan adanya asam kuat karena protonasi nitrogen amido basa lemah.

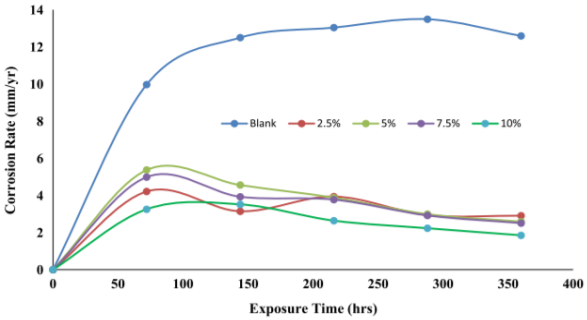
d. Ayoola, 2018

Penelitian tentang chloramphenicol dilakukan dengan melakukan berbagai pengujian diantaranya yaitu pengujian *weight loss* dan pengujian polarisasi dengan menggunakan Autolab galvanostat potentiostat (PGSTAT 101), perangkat lunak NOVA

2.1 dan sel 3-elektroda yang mengandung 100 ml asam klorida 0,1 M (dengan dan tanpa inhibitor) pada temperatur 30 ° C.

Batang grafit digunakan sebagai elektroda bantu, elektroda perak klorida (Ag / AgCl) digunakan sebagai elektroda referens dan baja ringan dihubungkan ke peyangga spesimen untuk berfungsi sebagai elektroda kerja. Persiapan keseluruhan untuk proses elektrokimia (korosi) dirancang dengan konsentrasi chloramphenicol yang bervariasi sebagai inhibitor korosi (2,5-10%). Total durasi waktu 360 jam adalah dipertimbangkan untuk percobaan, tetapi dengan penimbangan sebentar dari baja ringan di setiap 72 jam.

Berikut terdapat grafik yang menjelaskan tren dari variabel yang digunakan di dalam penelitian



Gambar 2.13 Grafik Tren Laju Korosi Terhadap Waktu (360 Jam) (Ayoola, 2018)

Di dalam Gambar 2.13 terlihat bahwa adanya penambahan inhibitor chloramphenicol dapat menurunkan laju korosi secara signifikan, bertambahnya konsentrasi dari inhibitor chloramphenicol juga membuat laju korosi semakin turun. Diketahui juga bahwa penambahan inhibitor tidak seketika langsung menurunkan laju korosi logam namun perlu jeda waktu sehingga inhibitor chloramphenicol dapat bekerja secara optimal. Laju korosi logam juga semakin menurun seiring bertambahnya waktu atau lama sejak penambahan inhibitor. Namun dari Gambar 2.13 diketahui selama kurun waktu 360 jam, inhibitor

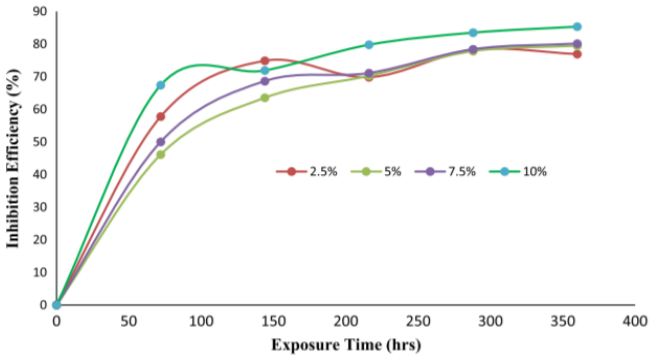
chloramphenicol cenderung masih stabil. Hal tersebut diketahui bahwa hingga 360 jam inhibitor chloramphenicol masih mempunyai laju korosi yang rendah untuk semua konsentrasi.

Berikut Tabel 2.2 yang menunjukkan pengaruh penambahan chloramphenicol terhadap *weight loss*, laju korosi, efisiensi inhibitor dan *surface coverage*.

Tabel 2.2 Hasil Pengujian Korosi Untuk Baja Ringan Dalam 0,1M HCl Dengan Adanya Konsentrasi Inhibitor Chloramphenicol Dalam 360 Jam (Ayoola, 2018)

Konsentrasi Inhibitor (%)	**Densitas Arus (j_{corr}, A/cm^2)**	**Potensial Korosi (E_{corr},V)**	**Weight Loss (mg)**
0	0,0009	-0,656	406,7
2,5	0,0003	-0,717	93,9
5	0,0002	-0,737	83,5
7,5	0,0002	-0,718	80,9
10	0,0001	-0,710	59,7

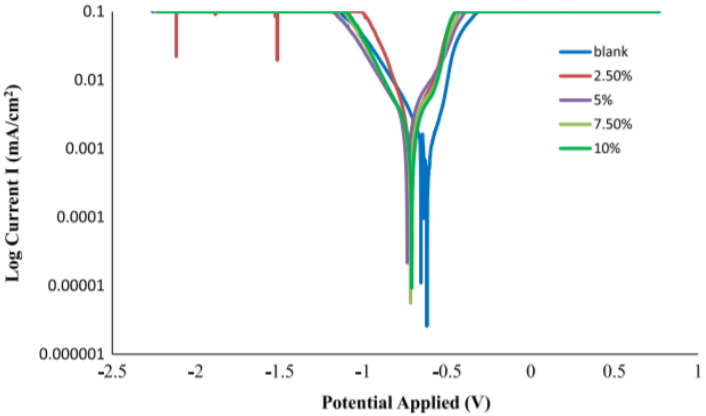
Laju Korosi (mm/year)	Efisiensi Inhibitor (%)	*Surface Coverage (Θ)*
12,59	0	0
2,907	76,912	0,769
2,585	79,469	0,795
2,505	80,108	0,801
1,848	85,321	0,853



Gambar 2.14 Grafik Tren Efisiensi Inhibitor Terhadap Waktu (360 Jam) (Ayoola, 2018)

Tabel 2.2 menunjukkan bahwa penambahan inhibitor chloramphenicol menurunkan laju korosi secara signifikan. Laju korosi tersebut menurun sesuai dengan besarnya konsentrasi inhibitor yang ditambahkan. Efisiensi terbaik sebesar 85% pada konsentrasi 10% inhibitor chloramphenicol yang ditambahkan.

Sedangkan Gambar 2.14 menunjukkan efisiensi dari inhibitor chloramphenicol tidak bergantung pada konsentrasi inhibitor chloramphenicol yang ditambahkan. Terlihat pada ujung grafik bahwa konsentrasi inhibitor chloramphenicol sebesar 5% mempunyai efisiensi yang tertinggi dan cukup stabil dibandingkan konsentrasi inhibitor chloramphenicol yang lain.

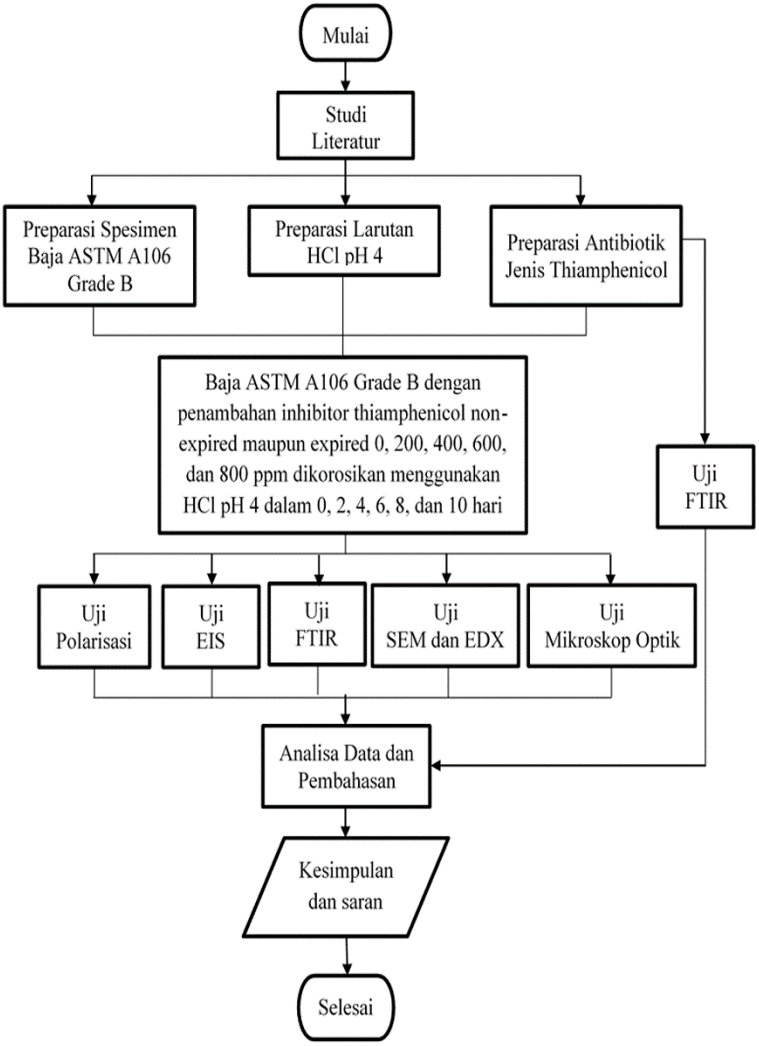


Gambar 2.15 Grafik Linear Polarisasi Pada *Mild Steel* Dalam 0,1M HCl Dengan dan Tanpa Inhibitor Pada Temperatur 30^0C (Ayoola, 2018)

Sesuai Gambar 2.15 terlihat bahwa penambahan inhibitor chloramphenicol mengeser kurva polarisasi ke kiri dari blanko. Bergesernya kurva ke arah kiri blanko menandakan adanya perubahan potensial korosi (E_{corr}) ke arah yang lebih negatif.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Metode Penelitian

Untuk mendapatkan data secara spesifik dalam penyelesaian masalah pada suatu penelitian diperlukan serangkaian langkah-langkah yang sistematis dan terstruktur yang harus dilakukan. Adapun langkah-langkah sistematis tersebut adalah:

3.2.1 Studi Literatur

Dalam melakukan penelitian ilmiah harus dilakukan teknik penyusunan yang sistematis untuk memudahkan langkah-langkah yang diambil. Begitu pula yang dilakukan penulis dalam penelitian ini, langkah pertama yaitu dengan melakukan studi literatur. Studi literatur merupakan metode yang dilakukan oleh setiap peneliti sebagai dasar acuan yang sudah ada, seperti mempelajari secara singkat dari penelitian yang sudah ada dan mencari sumber yang dapat dijadikan sebagai pedoman dalam penelitian atau acuan sendiri. Tujuan paling mendasar adalah untuk menganalisa metode, variabel, media yang tidak optimal yang terjadi pada penelitian sebelumnya supaya tidak terulang kembali di masa depan. Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari studi literatur adalah mengevaluasi penelitian terkait sebelumnya dan untuk pengembangan yang lebih baik. Referensi ini dapat dicari dari buku, jurnal, maupun artikel laporan penelitian.

3.2.2 Experimental

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah baja ASTM A106 Grade B yang merupakan baja untuk diaplikasikan pada industri minyak dan gas. Pemilihan bahan inhibitor korosi sendiri dilakukan untuk memanfaatkan kembali obat yang telah habis masa pakainya atau kedaluarsa untuk dijadikan inhibitor korosi dengan melihat terdapatnya kandungan ikatan N, O, S, P dalam antibiotik jenis thiamphenicol. Selain itu juga melihat kesamaan mekanisme kerja antibiotik dengan inhibitor korosi sehingga obat thiamphenicol yang bekerja sebagai antibiotik diindikasikan dapat menghambat proses korosi terhadap pipa baja ASTM A106 Grade B pada lingkungan korosif**.** Maka dari itu thiamphenicol dipilih sebagai inhibitor korosi dalam penelitian ini. Pemilihan elektrolit HCl sendiri dikarenakan lingkungan pada

industri minyak dan gas merupakan lingkungan asam serta inhibitor korosi dengan kandungan nitrogen sangat cocok digunakan pada lingkungan asam (Gokhan, 2011). Sedangkan thiamphenicol merupakan antibiotik yang mengandung gugus nitrogen sehingga cocok dilakukan penelitian dengan elektrolit HCl. Selain itu HCl adalah salah satu asam yang paling sulit dikendalikan pada proses korosi. Pengujian seperti Uji polarisasi, Uji EIS, Uji FTIR, Uji mikroskop optik, dan Uji SEM EDX dapat dilakukan untuk mendapatkan data pendukung penelitian.

3.3 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian adalah:

a. Peralatan uji Polarisasi
b. Peralatan uji EIS
c. Peralatan uji FTIR
d. Peralatan uji Mikroskop optik maupun SEM
e. Kertas lakmus dan pH meter
f. Resin epoxy
g. *Sand paper*
h. Kabel tembaga
i. Gelas beaker
j. Pipette ukur
k. Timbangan digital
l. Solder

3.4 Bahan Penelitian

1. Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja ASTM A106 Grade B yang mempunyai komposisi:

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja ASTM A106 grade B

		Persentase (%)		
C	**Mn**	**P**	**S**	**Si**
0.30 max	0.26-1.06	0.035 max	0.035 max	0.10 min
Cr	**Cu**	**Mo**	**Ni**	**Va**
0.40 max	0.40 max	0.15 max	0.40 max	0.08 max

2. Inhibitor

Inhibitor yang digunakan untuk penelitian ini adalah inhibitor organik yaitu obat antibiotik jenis thiamphenicol dalam bentuk serbuk. Inhibitor ditambahkan pada larutan dengan konsentrasi sebesar 200, 400, 600, dan 800 ppm serta waktu perendaman yaitu 2, 4, 6, 8, dan 10 hari.

3. Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan sebagai media korosi pada penelitian adalah HCl pH 4.

4. Aquades

Aquades yang digunakan pada pengujian kali ini menggunakan aquades dengan pH 7 sebanyak 2 liter selama penelitian.

3.5 Preparasi Inhibitor

3.5.1 Preparasi Antibiotik Jenis Thiamphenicol

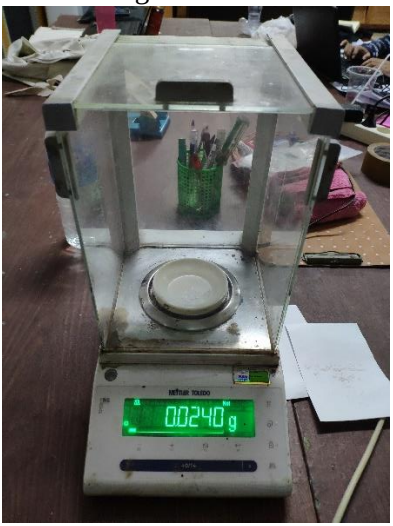
Antibiotik thiamphenicol dikeluarkan terlebih dahulu dari kapsul. Thiamphenicol sudah berbentuk serbuk halus sehingga mempermudah untuk larut di dalam elektrolit.

Gambar 3.2 Preparasi Obat Thiamphenicol

3.5.2 Preparasi Larutan Elektrolit

Pada penelitian ini digunakan larutan elektrolit menggunakan larutan HCl pH 4. Proses pembuatan larutan terdiri dari beberapa langkah yaitu:

1. Menambahkan 0,0083 ml HCl 37% ke dalam gelas beaker berukuran 1000 ml.
2. Menuangkan aquades pada gelas beaker yang telah ditambahkan HCl 37% hingga larutan mencapai volume 1000 ml.
3. Pastikan larutan HCl telah sesuai dengan pH yang diinginkan yaitu pH 4 dengan menggunakan kertas lakmus dan pH meter.
4. Tuang larutan HCl pH 4 ke dalam gelas beaker volume 100 ml sebanyak 9 buah gelas. 1 gelas untuk blanko, 4 gelas untuk penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* (200, 400, 600, 800 ppm) serta 4 gelas lagi untuk penambahan thiamphenicol *expired* (200, 400, 600, 800 ppm).
5. Menambahkan obat thiamphenicol baik *non-expired* maupun *expired* sebesar 24, 48, 72, dan 96 mg yang merepresentasikan 200, 400, 600, 800 ppm secara berurutan ke dalam gelas beaker 100 ml.



Gambar 3.3 Preparasi Elektrolit

3.5.3 Preparasi Spesimen

Dalam penelitian ini digunakan baja ASTM A106 Grade B yang berbentuk pipa dengan preparasi sebagai berikut:

1. Untuk Spesimen Uji polarisasi dan EIS
   a. Memotong baja ASTM A106 Grade B dengan ukuran lebar 1 cm dengan diameter dalam 1,90 cm dan dengan diameter luar 2,64 cm
   b. Mensolder kawat tembaga pada permukaan baja ASTM A106 Grade B dengan timah serta pastikan melekat secara kuat.
   c. Menambahkan resin pada spesimen baja ASTM A106 Grade B yang sudah dililitkan pada kabel tembaga.
   d. Ditunggu hingga resin mengeras kurang lebih selama 1 hari (tergantung jenis resin dan konsentrasi katalisnya).
   e. Mengamplas dan menggerinda permukaan baja ASTM A106 Grade B dengan kertas amplas (*sand paper*) dari grade 80 sampai grade 1200.

Gambar 3.4 Spesimen Uji Polarisasi dan EIS

2. Untuk Spesimen Uji Mikroskop Optik, SEM, dan FTIR
   a. Memotong baja ASTM A106 Grade B dengan ukuran lebar 1 cm dengan diameter dalam 1,9 cm dan dengan

diameter luar 2,64 cm sebanyak 2 spesimen untuk pengujian mikroskop optik, 3 spesimen untuk pengujian FTIR, dan 2 spesimen untuk pengujian SEM.

b. Mengamplas dan menggerinda permukaan baja ASTM A106 Grade B dengan kertas amplas (*sand paper*) dari grade 80 sampai grade 1200.

3.6 Pengujian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa pengujian yang dilakukan sebagai data pendukung diantarannya yaitu:

3.6.1 Pengujian Polarisasi

Pada pengujian polarisasi ini dilakukan pengujian tanpa menggunakan inhibitor antibiotik thiamphenicol (blanko) dan dengan menggunakan inhibitor antibiotik thiamphenicol dengan konsentrasi 200, 400, 600, dan 800 ppm. Semuanya direndam selama 10 hari. Dilakukan penguijan setiap 2 hari hingga hari kesepuluh perendaman. Pengujian laju korosi pada kondisi blanko (tanpa inhibitor) perlu dilakukan karena sebagai pembanding dengan laju korosi menggunakan inhibitor (Jimmy, 2014).

Pengujian polarisasi dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS Surabaya. Pengujian ini dengan menggunakan alat uji CorrTest dengan software CS Studio5. Berikut merupakan parameter pengujian polarisasi

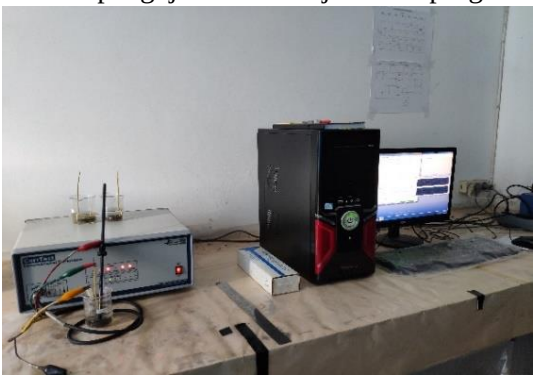
Tabel 3.2 Parameter Pengujian Polarisasi

Elektroda Kerja	ASTM A106 Grade B
Elektroda Bantu	Grafit
Elektroda Acuan	Ag/AgCl 1 M
Luasan Terekspos	2,764 cm^2
Densitas	7,85 gr/cm^3
Sweep Range	+- 50 mV vs E_{corr}
Scan Rate	10 mV/s

Elektroda pada pengujian polarisasi ini terdiri dari elektroda acuan, elektroda kerja, dan elektroda bantu yang bertujuan untuk menganalisa laju korosi material pada larutan HCl

pH 4 dengan konsentrasi inhibitor konsentrasi 200, 400, 600, dan 800 ppm. Dan didapatkan pula kurva polarisasi potensial material yang digunakan dengan acuan standard ASTM G-5 (Standard Method for Making Potensiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement). Prosedur pengujian polarisasi adalah sebagai berikut:

a. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen, campuran larutan (HCL pH 4 dan antibiotik thiamphenicol sebagai inhibitor korosi dengan konsentrasi inhibitor 200, 400, 600, dan 800 ppm, gelas ukur 1000 ml, dan alat pengujian polarisasi beserta komponennya.
b. Memasang elektroda pada rangkaian polarisasi.
c. Menyalakan alat uji polarisasi potensiodinamik CorrTest.
d. Mengaktifkan program CR Studio5 dan memasukkan parameter pengujian lalu menjalankan program.



Gambar 3.5 Alat Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

3.6.2 Pengujian EIS

Pengujian EIS ini dilakukan untuk menganalisis mekanisme inhibitor pada baja ASTM A106 Grade B dalam media HCl pH 4 dengan variasi inhibitor ataupun tanpa inhibitor. Untuk alat yang digunakan pada pengujian EIS sama dengan pengujian polarisasi yaitu Wuhan Corrtest Instrumen dengan software Corrtest v5.5. Pada pengujian EIS ini dilakukan dengan variasi

tanpa inhibitor dan dengan inhibitor 200, 400, 600, dan 800 ppm yang direndam selama 10 hari. Dilakukan penguijan setiap 2 hari hingga hari kesepuluh perendaman. Hasil dari pengujian EIS dalam media HCl berupa kurva nyquist dengan bentuk setengah lingkaran (Panchal, 2011), dimana sumbu absisnya menyatakan (Z`) impendansi nyata, sumbu ordinatnya (Z``) impendansi imajiner.

Parameter pengujian diinput pada software Zview Corrtest v5.5 sebelum memulai pengujian. Sifat listrik pada baja ASTM A106 Grade B yang terekspos pada elektrolit yang dalam penelitian ini menggunakan HCl pH 4 dianalisa dengan metode fitting pada software Zview Corrtest v5.5 dan menghasilkan kurva Nyquist. Hasil kurva Nyquist dihasilkan oleh semua variasi konsentrasi inhibitor thiamphenicol baik *non-expired* maupun *expired* dimulai dari blanko, 200, 400, 600, dan 800 ppm. Pengujian EIS juga dilakukan untuk menganalisa mekanisme korosi dan mekanisme inhibisi yang terjadi dan diimplementasikan dalam ketahanan logam sampel terhadap aliran arus yang melaluinnya. Metode ini berdasarkan respon sirkuit terhadap voltase AC. Berikut merupakan parameter pengujian EIS yang digunakan di dalam penelitian

Tabel 3.3 Parameter Pengujian EIS

Elektroda Kerja	**ASTM A106 Grade B**
Elektroda Bantu	Grafit
Elektroda Acuan	Ag/AgCl
Luasan Terekspos	2.764 cm^2
Densitas	7.85 gr/cm^3
Frekuensi Mulai	100000 Hz
Frekuensi Selesai	0.1 Hz

Pengukuran impedansi elektrokimia dilakukan pada kondisi potensiostatik dengan menggunakan software Zview pada alat CorrTest gelombang sinus AC dengan amplitudo 10 mV dengan real part (Z`) maupun imaginary part (Z``) diukur pada berbagai frekuensi dalam range 100000 Hz sampai 0.1 Hz. Nilai

ketahanan transfer muatan (R_{ct}) diperoleh dari diameter semicircles dari Nyquist plot.

Prosedur pengujian EIS adalah sebagai berikut:

a. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen, campuran larutan (HCl pH 4) dan ekstrak sampel tanpa inhibitor dan dengan konsentrasi inhibitor tertinggi (mg/l) gelas ukur 1000 ml, dan alat pengujian EIS beserta komponennya.
b. Memasang elektroda pada rangkaian EIS.
c. Menyalakan alat uji EIS CorrTest.
d. Mengaktifkan program ZView dan memasukkan parameter pengujian lalu menjalankan program.

3.6.3 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR ini dilakukan di Laboratorium Material karakterisitik Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, dengan menggunakan alat Uji Nicolet iS10. Pengujian FTIR dilakukan untuk menganalisis gugus-gugus fungsi dari kurva spektrum FTIR yang terbentuk pada inhibitor thiamphenicol serta baja ASTM A106 Grade B. Metode spekstroskopi yang digunakan dalam pengujian FTIR adalah metode absorbsi yaitu suatu metode yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisian cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut dapat ditentukan gugus fungsi yang bersesuaian dengan Panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel. Pengujian FTIR ini digunakan untuk mengetahui apakah terdapat gugus fungsi yang hilang atau rusak pada obat thiamphenicol *expired* dibandingkan dengan obat thiamphenicol *non-expired*. Sampel yang diuji FTIR pada penelitian kali ini berjumlah 5 sampel, 2 sampel obat thiamphenicol, 1 sampel baja blanko dan 2 sampel baja dengan penambahan inhibitor thiamphenicol.

Adapun langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

a. Menyiapkan sampel sesuai dimensi dari alat FTIR yang digunakan dengan ukuran lebar 1 cm dengan diameter dalam 1,9 cm dan dengan diameter luar 2,64 cm.
b. Menggunakan sel Kristal KrS 5 yang berupa silindir merah.
c. Masukan sel ke dalam holder yang memiliki lubang berbentuk persegi panjang pada bagian tengah, lalu dikunci dengan empat baut yang tersedia.
d. Pastikan bahwa BKG telah diukur terlebih dahulu.
e. Masukan sampel pertama pada permukaan sel. Kemudian diukur dengan cara pengoperasian yang sama dengan sampel film. Lakukan hal yang sama untuk sampel uji berikutnya.
f. Tunggu hingga keluar peak pada interval gelombang yang diinginkan. Biasanya dari gelombang 400 cm^{-1} hingga gelombang 4000 cm^{-1}. Serta lakukan dokumentasi jika diperlukan.

Gambar 3.6 Alat Pengujian FTIR

3.6.4 Pengujian SEM dan EDX

Pengujian SEM bertujuan untuk menganalisis morfologi beserta unsur yang terkandung pada permukaan baja ASTM A106 Grade B sebelum dan sesudah pemberian inhibitor. Perbesaran pada penelitian ini menggunakan perbesaran yaitu 1000x. Mekanisme pengambilan data pada pengujian SEM adalah berkas

elektron langsung dipancarakan oleh sumber elektron, setelah itu berkas elektron berinteraksi dengan sampel logam. Sebagian elektron terobsesi kepada logam dan sebagian lagi terpantul oleh alat *detector secondary electron* yang mengakibatkan terhambur balik dan tertangkap oleh Back Scattered Electron (BSE).

Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam pengujian ini sebagai berikut:

a. Melakukan preparasi sampel untuk pengujian SEM. Spesimen untuk uju SEM mempunyai dimensi yaitu lebar 1 cm dengan diameter dalam 1,9 cm dan diameter luar 2,64 cm.
b. Meletakkan material sampel didalam sebuah wadah plastin yang tidak menyebabkan material bereaksi dengan lingkungan
c. Material diletakkan diatas holder yang sebelumnya telah diletakkan carbon tape sebagai pelekat sampel ke holder
d. Holder dimaskukkan ke dalam mesin lalu diamati dengan pembesaran yang dimaksud pada layar monitor

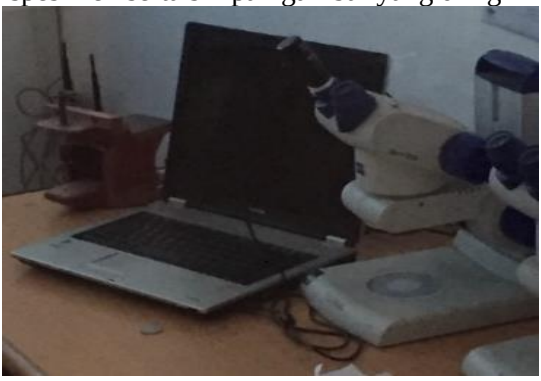
Gambar 3.7 Alat Pengujian SEM

3.6.5 Pengujian Mikroskop Optik

Pengujian mikroskop optik dilakukan di laboratorium metalurgi Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi

Industri ITS. Pengujian mikroskop optik ini dilakukan pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* maupun penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* konsentrasi 600 dan 800 ppm. Pengujian mikroskop optik ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis morfologi permukaan dari baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* maupun penambahan inhibitor thiamphenicol *expired*. Untuk pengujian menggunakan mikroskop optik ini digunakan perbesaran 20x. Berikut langkah-langkah pengujiannya:

1. Melalukan preparasi spesimen dengan dimensi yaitu lebar 1 cm dengan diameter dalam 1,9 cm dan diameter luar 2,64 cm untuk masing-masing jenis dan konsentrasi inhibitor thiamphenicol.
2. Membuka software yang terdapat pada komputer laboratorium metalurgi.
3. Memilih spesimen yang diamati.
4. Memilih perbesaran mikroskop optik yang diinginkan.
5. Amati spesimen serta simpan gambar yang diinginkan



Gambar 3.8 Alat Pengujian Mikroskop Optik

3.7 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian kegiatan sebagai berikut:

Tabel 3.4 Rancangan Penelitian Inhibitor Thiamphenicol *Non-Expired* dan *Expired*

Konsentrasi (ppm)	Perendaman (hari)	Polarisasi	EIS	FTIR	SEM	Mikroskop Optik
0 (non-expired)	**0**	**V**	**V**	**V**	**V**	**V**
	2	**V**	**V**			
	4	**V**	**V**			
	6	**V**	**V**			
	8	**V**	**V**			
	10	**V**	**V**			
200 (non-expired)	**0**	**V**	**V**	**V**	**V**	**V**
	2	**V**	**V**			
	4	**V**	**V**			
	6	**V**	**V**			
	8	**V**	**V**			
	10	**V**	**V**			
400 (non-expired)	**0**	**V**	**V**			**V**
	2	**V**	**V**			
	4	**V**	**V**			
	6	**V**	**V**			
	8	**V**	**V**			
	10	**V**	**V**			
600 (non-expired)	**0**	**V**	**V**			**V**
	2	**V**	**V**			
	4	**V**	**V**			
	6	**V**	**V**			
	8	**V**	**V**			
	10	**V**	**V**			
800 (non-expired)	**0**	**V**	**V**			**V**
	2	**V**	**V**			
	4	**V**	**V**			
	6	**V**	**V**			
	8	**V**	**V**			
	10	**V**	**V**			

Konsentrasi (ppm)	Perendaman (hari)	Polarisasi	EIS	FTIR	SEM	Mikroskop Optik
0 (expired)	**0**	**V**	**V**	**V**	**V**	**V**
	2	**V**	**V**			
	4	**V**	**V**			
	6	**V**	**V**			
	8	**V**	**V**			
	10	**V**	**V**			
200 (expired)	**0**	**V**	**V**	**V**	**V**	**V**
	2	**V**	**V**			
	4	**V**	**V**			
	6	**V**	**V**			
	8	**V**	**V**			
	10	**V**	**V**			
400 (expired)	**0**	**V**	**V**			**V**
	2	**V**	**V**			
	4	**V**	**V**			
	6	**V**	**V**			
	8	**V**	**V**			
	10	**V**	**V**			
600 (expired)	**0**	**V**	**V**			**V**
	2	**V**	**V**			
	4	**V**	**V**			
	6	**V**	**V**			
	8	**V**	**V**			
	10	**V**	**V**			
800 (expired)	**0**	**V**	**V**			**V**
	2	**V**	**V**			
	4	**V**	**V**			
	6	**V**	**V**			
	8	**V**	**V**			
	10	**V**	**V**			

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

Adapun analisa data yang terdapat dalam penelitian terhadap antibiotik thiamphenicol yang digunakan sebagai inhibitor adalah sebagai berikut :

4.1.1 Analisis Pengujian Polarisasi

Berikut merupakan tabel laju korosi thiamphenicol *non-expired* maupun thiamphenicol *expired*

Tabel 4.1 Laju Korosi Thiamphenicol *Non-expired* (mmpy)

	BLANKO	200PPM	400PPM	600PPM	800PPM
HARI 0	3.97×10^{-2}	2.47×10^{-2}	2.36×10^{-2}	1.41×10^{-2}	3.11×10^{-2}
HARI 2	6.69×10^{-2}	1.96×10^{-2}	2.34×10^{-2}	1.12×10^{-2}	1.39×10^{-2}
HARI 4	6.93×10^{-2}	1.41×10^{-2}	1.65×10^{-2}	1.19×10^{-2}	0.98×10^{-2}
HARI 6	8.37×10^{-2}	1.15×10^{-2}	1.26×10^{-2}	0.79×10^{-2}	0.80×10^{-2}
HARI 8	11.43×10^{-2}	1.95×10^{-2}	1.89×10^{-2}	1.45×10^{-2}	2.70×10^{-2}
HARI 10	15.69×10^{-2}	2.48×10^{-2}	2.48×10^{-2}	1.45×10^{-2}	3.13×10^{-2}

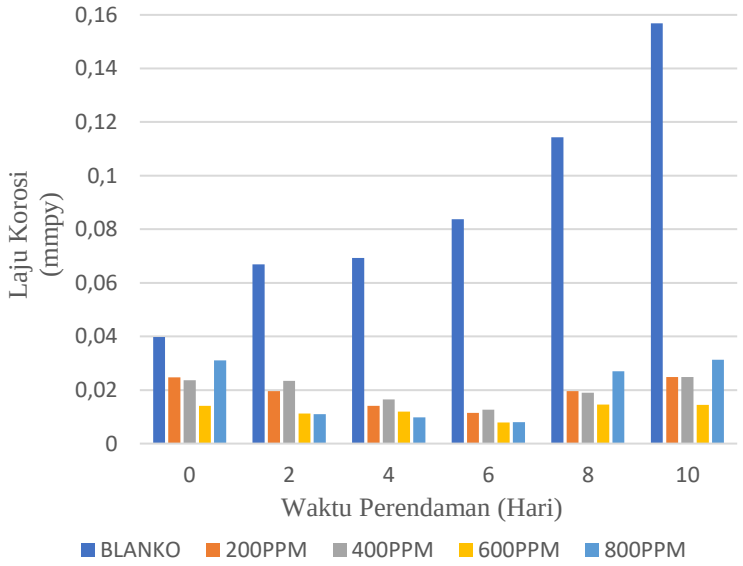
Tabel 2.1 menjelaskan bahwa pada hasil pengujian polarisasi didapatkan laju korosi terendah pada penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* yaitu pada konsentrasi 600 ppm di hari keenam perendaman. Dari Tabel 2.1 tersebut juga diketahui bahwa hari keenam merupakan hari dengan laju korosi terendah untuk semua variasi konsentrasi.

Tabel 4.2 Laju Korosi Thiamphenicol *Expired* (mmpy)

	BLANKO	200PPM	400PPM	600PPM	800PPM
HARI 0	3.97×10^{-2}	2.34×10^{-2}	3.65×10^{-2}	1.51×10^{-2}	3.09×10^{-2}
HARI 2	6.69×10^{-2}	2.24×10^{-2}	1.78×10^{-2}	1.44×10^{-2}	2.51×10^{-2}
HARI 4	6.93×10^{-2}	2.06×10^{-2}	1.19×10^{-2}	1.16×10^{-2}	2.28×10^{-2}
HARI 6	8.37×10^{-2}	2.30×10^{-2}	3.08×10^{-2}	1.35×10^{-2}	2.54×10^{-2}
HARI 8	11.43×10^{-2}	2.92×10^{-2}	4.11×10^{-2}	2.09×10^{-2}	7.77×10^{-2}
HARI 10	15.69×10^{-2}	2.94×10^{-2}	4.17×10^{-2}	2.81×10^{-2}	7.80×10^{-2}

Tabel 2.2 menjelaskan bahwa pada hasil pengujian polarisasi didapatkan laju korosi terendah pada penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* yaitu pada konsentrasi 600 ppm di hari keempat perendaman. Dari Tabel 2.2 tersebut juga diketahui bahwa hari keempat merupakan hari dengan laju korosi terendah untuk semua variasi konsentrasi.

Gambar 4.1 berikut merupakan hasil laju korosi yang didapatkan dari pengujian polarisasi dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* pada variasi konsentrasi 0, 200, 400, 600, dan 800 ppm selama 10 hari.

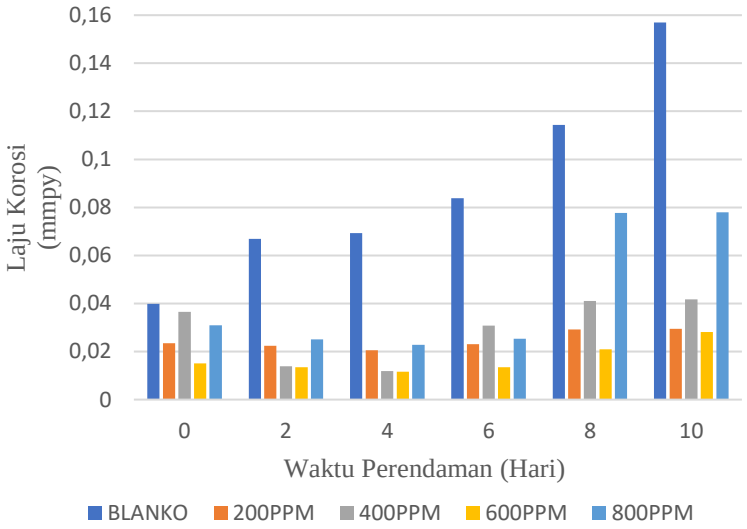


Gambar 4.1 Laju Korosi Thiamphenicol *Non-expired*

Dari Gambar 4.1 diketahui bahwa laju korosi baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* cenderung stabil hingga hari keenam perendamam. Pada hari kedelapan hingga kesepuluh perendaman, laju korosi baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol

non-expired mengalami kenaikan daripada hari keenam perendaman.

Berikut Gambar 4.2 merupakan hasil laju korosi yang didapatkan dari pengujian polarisasi dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* pada variasi konsentrasi 0, 200, 400, 600, dan 800 ppm selama 10 hari.

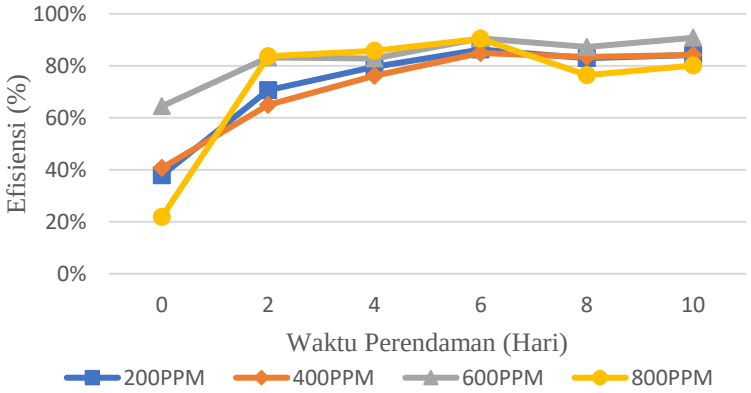


Gambar 4.2 Laju Korosi Thiamphenicol *Expired*

Dari Gambar 4.2 diketahui bahwa laju korosi baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* cenderung stabil hingga hari keempat perendaman. Pada hari keenam hingga kesepuluh perendaman, laju korosi baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* mengalami kenaikan daripada hari keempat perendaman. Pada hari kedelapan juga terjadi kenaikan laju korosi yang signifikan pada konsentrasi 800 ppm.

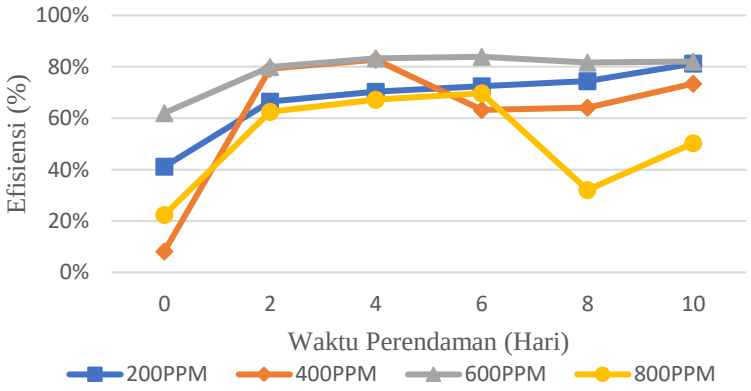
Dari laju korosi yang sudah didapatkan, dapat dicari tingkat efisiensi dari inhibitor thiamphenicol baik *non-expired*

maupun *expired*. Efisiensi inhibisi dari inhibitor dapat diketahui melalui Persamaan 2.19.



Gambar 4.3 Efisiensi Inhibitor Thiamphenicol Non-Expired

Gambar 4.3 menunjukkan efisiensi dari inhibitor thiamphenicol *non-expired* untuk baja ASTM A106 Grade B, diketahui bahwa tingkat efisiensi tertinggi terdapat pada hari keenam sebesar 91% pada konsentrasi 600 ppm sedangkan untuk peningkatan efisiensi terbesar terdapat pada kosentrasi 800 ppm pada hari pertama dari 22% hingga 84% pada hari kedua.

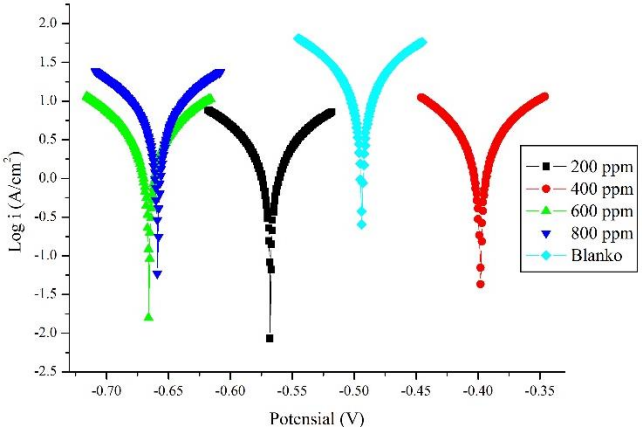


Gambar 4.4 Efisiensi Inhibitor Thiamphenicol Expired

Gambar 4.4 menunjukkan efisiensi inhibitor thiamphenicol *expired* untuk baja ASTM A106 Grade B, diketahui bahwa tingkat efisiensi tertinggi terdapat pada hari keempat sebesar 83% pada konsentrasi 600 ppm sedangkan untuk peningkatan efisiensi terbesar terdapat pada konsentrasi 400 ppm antara hari pertama dari 8% hingga 79% hari kedua. Dari penambahan inhibitor thiamphenicol baik *non-expired* maupun *expired* sama-sama mempunyai peningkatan efisiensi tertinggi pada hari kedua perendaman.

Pada hari pertama sampai hari kedua, efisiensi inhibitor thiamphenicol mengalami kenaikan yang signifikan baik untuk *non-expired* maupun *expired*. Pada hari keenam terjadi penurunan efisiensi pada inhibitor thiamphenicol *expired*. Kemudian hari kedelapan efisiensinya relatif sama kecuali untuk konsentrasi 800 ppm inhibitor thiamphenicol *expired* yang terjadi penurunan daripada hari sebelumnya. Pada hari kesepuluh terjadi peningkatan efisiensi pada konsentrasi 800 ppm inhibitor thiamphenicol *expired.*

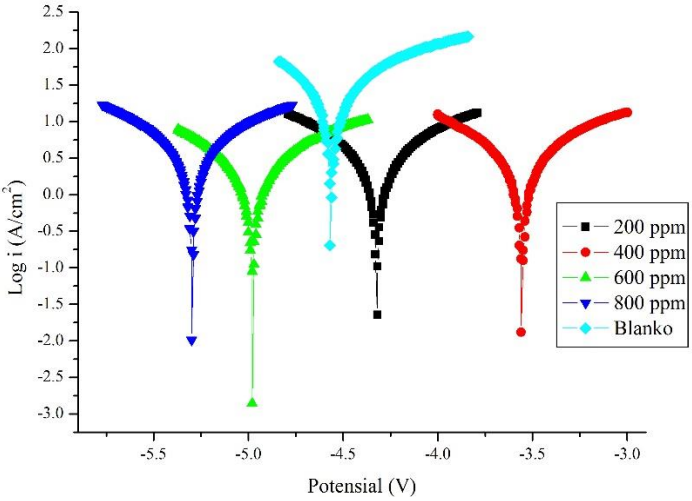
Berikut Gambar 4.5 merupakan hasil dari pengujian polarisasi hari keenam pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor antibiotik thiamphenicol *non-expired*



Gambar 4.5 Grafik Polarisasi Thiamphenicol *Non-Expired* Hari Keenam

Dari Gambar 4.5 diketahui bahwa penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* relatif menggeser potensial korosi baja ASTM A106 Grade B kearah yang lebih negatif dari blanko, terbukti dengan adanya konsentrasi inhibitor thiamphenicol *non-expired* sebesar 200, 600, dan 800 ppm yang mempunyai grafik polarisasi di sebelah kiri dari blanko atau dengan kata lain mempunyai potensial korosi yang lebih negatif. Hanya konsentrasi 400 ppm yang terletak pada kanan blanko yang berada pada hari keenam perendaman.

Berikut Gambar 4.6 merupakan hasil dari pengujian polarisasi hari keempat pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor antibiotik thiamphenicol *expired*



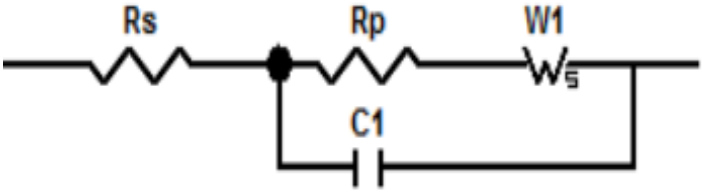
Gambar 4.6 Grafik Polarisasi Thiamphenicol *Expired* Hari Keempat

Dari Gambar 4.6 diketahui bahwa penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* pada hari keempat perendaman menggeser potensial korosi baja ASTM A106 Grade B kearah yang lebih negatif dan kearah positif dari blanko, pernyataan tersebut dibuktikan dengan adanya konsentrasi inhibitor thiamphenicol *expired* sebesar 800 ppm dan 600 ppm yang mempunyai grafik

polarisasi di sebelah kiri dari blanko sedangkan untuk konsentrasi inhibitor thiamphenicol *expired* sebesar 200 ppm dan 400 ppm mempunyai grafik polarisasi di sebelah kanan dari blanko. Data polarisasi inhibitor thiamphenicol *expired* tersebut digunakan pada saat perendaman hari keempat yang merupakan hari dimana inhibitor thiamphenicol *expired* ini mempunyai tingkat efisiensi terbaik.

4.1.2 Analisis Pengujian EIS

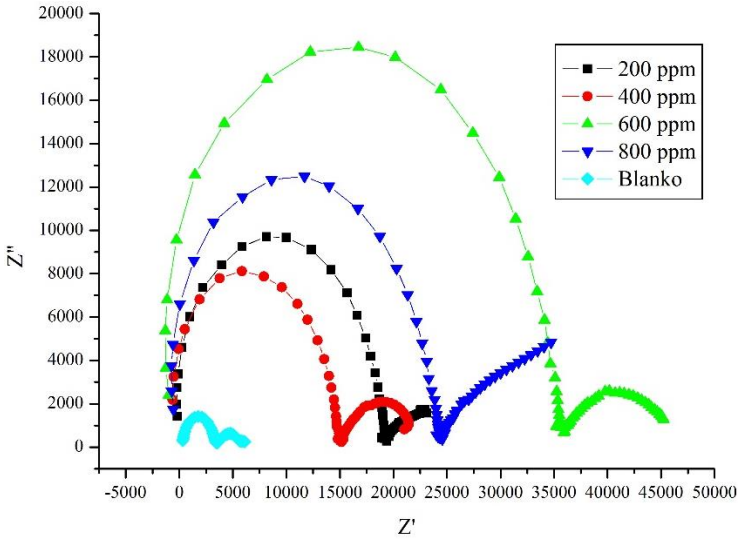
Untuk menganalisis kurva Nyquist yang dihasilkan dari pengujian EIS, terlebih dahulu harus diketahui equivalent circuit dari rangkaian sistem yang digunakan. Equivalent circuit ini digunakan untuk mendapatkan nilai-nilai tahanan (tahanan logam maupun tahanan larutan) yang mengacu pada kurva Nyquist yang dihasilkan. Adapun equivalent circuit yang cocok pada kurva Nyquist hasil pengujian adalah sebagai berikut:



Gambar 4.7 Equivalent Circuit

Gambar 4.7 merupakan equivalent circuit yang didapatkan dari hasil pengujian EIS melalui fitting manual menggunakan Corrtest. R_s merupakan tahanan larutan, Rp merupakan tahanan logam, C1 adalah *capasitor* serta Ws merupakan *warburg element* (*short*) sesuai dengan bentuk grafik nyquist yang dihasilkan. Untuk R_p dan W_s yang berada di dalam rangkaian seri yang kemudian diparalelkan dengan C1.

Berikut gambar 4.8 merupakan hasil dari pengujian EIS berupa kurva nyquist baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* pada hari keenam,



Gambar 4.8 Kurva Nyquist Thiamphenicol Non-Expired Hari Keenam

Berikut Tabel 4.3 merupakan tabel data pengujian EIS pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired*

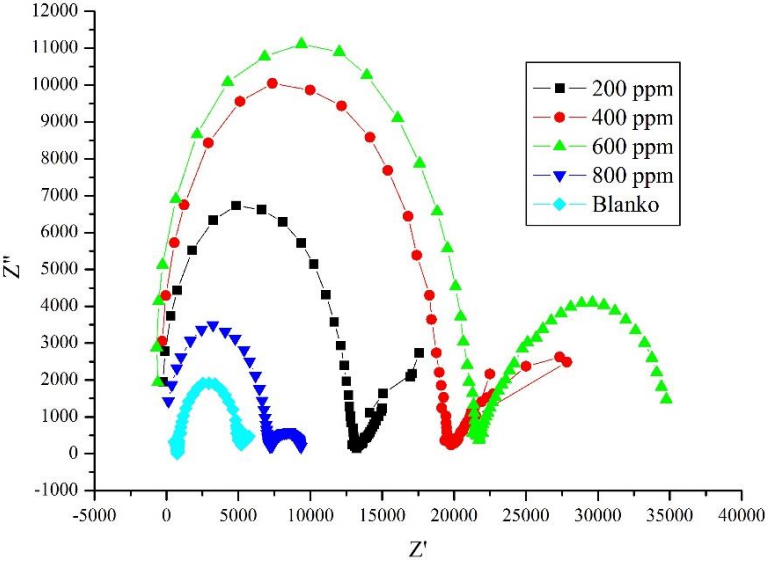
Tabel 4.3 Data Pengujian EIS Thiamphenicol Non-Expired

Sampel (ppm)	R_s (Ωcm^2)	R_p (Ωcm^2)
0	749	3693
200	2738	18989
400	3089	15248
600	5547	35490
800	3987	24076

Gambar 4.8 menjelaskan bahwa blanko mempunyai impedansi yang paling kecil kemudian diikuti konsentrasi inhibitor thiamphenicol 800, 200 serta 400 ppm secara berurutan sedangkan untuk impedansi yang paling besar yaitu pada konsentrasi inhibitor thiamphenicol 600 ppm dengan nilai R_p sebesar 35490 cm^2 dan

dengan nilai R_s sebesar 5547 cm^2. Dari Gambar 4.8 tersebut juga diketahui bahwa jarak impedansi antara blanko dengan inhibitor terpaut cukup jauh sedangkan untuk konsentrasi inhibitor 800, 200, serta 400 ppm menghasilkan impedansi yang berdekatan. Namun antara konsentrasi inhibitor 400 ppm yang merupakan impedansi terbesar kedua dengan konsentrasi inhibitor 600 ppm yang merupakan impedansi terbesar mempunyai perbedaan nilai impedansi yang cukup signifikan.

Berikut Gambar 4.9 merupakan hasil dari pengujian EIS berupa kurva nyquist baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* pada hari keempat:,



Gambar 4.9 Kurva Nyquist Thiamphenicol Expired Hari Keempat

Sedangkan Tabel 4.4 berikut merupakan tabel data pengujian EIS pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired*

Tabel 4.4 Data Pengujian EIS Thiamphenicol Expired

Sampel (ppm)	R_s (Ωcm^2)	R_p (Ωcm^2)
0	779	5041
200	2000	13260
400	2541	19247
600	4495	21632
800	1450	7363

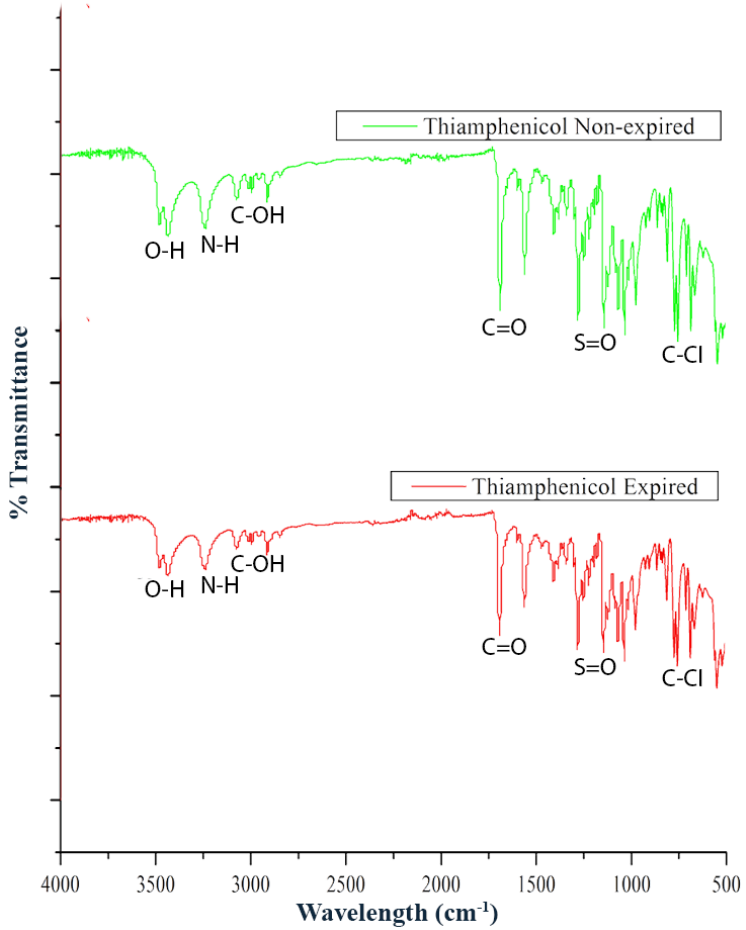
Dari Gambar 4.9 diketahui bahwa jarak impedansi antara blanko dengan inhibitor terpaut cukup jauh. Sedangkan untuk konsentrasi inhibitor 800, 400, serta 200 ppm menghasilkan impedansi yang hampir sama. Untuk impedansi yang paling besar yaitu pada konsentrasi inhibitor thiamphenicol *expired* 600 ppm dengan nilai Rp yaitu 21632 cm^2 sedangkan untuk nilai Rs yaitu 4495 cm^2. Namun pada konsentrasi inhibitor 200 ppm yang merupakan impedansi terbesar kedua dibandingkan dengan konsentrasi inhibitor 600 ppm yang merupakan impedansi terbesar mempunyai perbedaan nilai impedansi yang cukup signifikan. Dari Tabel 4.4 diketahui bahwa blanko mempunyai impedansi yang paling kecil kemudian disusul konsentrasi inhibitor thiamphenicol 800, 400 serta 200 ppm secara berurutan.

4.1.3 Analisis Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan pada inhibitor thiamphenicol, baja ASTM A106 Grade B blanko serta pada baja dengan penambahan thiamphenicol. Dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi atau senyawa yang berperan dalam penghambatan laju korosi dengan beracuan pada A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry"oleh B.D. Mistry (2009). Hasil yang didapat dari pengujian FTIR berupa kurva peak dengan wavenumber yang berbeda–beda yang menunjukkan gugus fungsi yang dimiliki oleh spesimen uji.

a. Analisis FTIR Thiamphenicol

Berikut ditampilkan hasil FTIR thiamphenicol *non-expired* dibandingkan dengan thiamphenicol *expired*



Gambar 4.10 Hasil FTIR Thiamphenicol *Non-Expired* dan Thiamphenicol *Expired*

Dari Gambar 4.10 hasil pengujian FTIR diatas, obat thiamphenicol *non-expired* dan *expired* mempunyai gugus fungsi yang sama. Gugus-gugus fungsi yang sama tersebut terdiri dari ikatan O-H, N-H, C-OH, C=O, S=O, dan C-Cl yang merupakan gugus penyusun dari thiamphenicol itu sendiri.

Tabel 4.5 Perbandingan Peak Thiamphenicol *Non-expired* dan Thiamphenicol *Expired*

	Thiamphenicol *Non-Expired*	**Thiamphenicol *Expired***
Bond	**Wave number**	**Wave number**
O-H	3485,86 cm^{-1}	3490,24 cm^{-1}
N-H	3243,78 cm^{-1}	3243,50 cm^{-1}
C-OH	3014,48 cm^{-1}	3008,48 cm^{-1}
C=O	1689,22 cm^{-1}	1689,26 cm^{-1}
N-H	1559,59 cm^{-1}	1558,28 cm^{-1}
S=O	1192,51 cm^{-1}	1175,85 cm^{-1}
C-OH	1011,25 cm^{-1}	1032,40 cm^{-1}
C-Cl	768,73 cm^{-1}	768,48 cm^{-1}

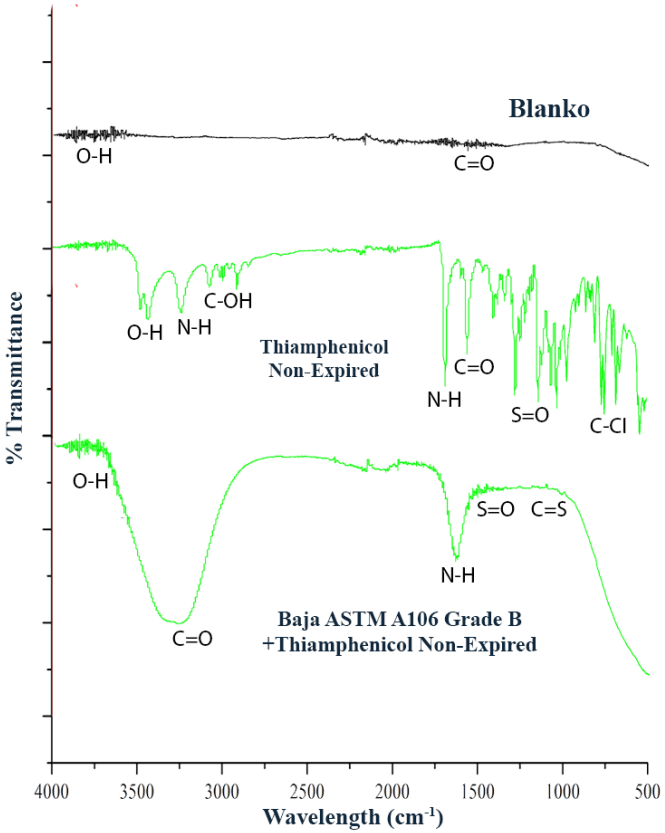
Tabel 4.5 menunjukkan peak pada thiamphenicol *non-expired* dan thiamphenicol *expired* berada pada interval gelombang yang berdekatan, misal pada thiamphenicol *non-expired* muncul peak pada 3485,86 cm^{-1} sedangkan pada thiamphenicol expired muncul pada 3490,24 cm^{-1}.

Dari Gambar 4.10 dan Tabel 4.5, thiamphenicol *non-expired* dan thiamphenicol *expired* sama-sama masih mempunyai gugus penyusun yang lengkap.

b. Analisis Perbandingan Hasil FTIR

Berikut merupakan hasil FTIR baja ASTM A106 Grade B blanko, obat thiamphenicol *non-expired* maupun *expired* serta baja dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* maupun *expired*.

Berikut ditampilkan Gambar 4.11 yang merupakan hasil perbandingan pengujian FTIR baja ASTM A106 Grade B blanko, obat thiamphenicol *non-expired* serta baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired*

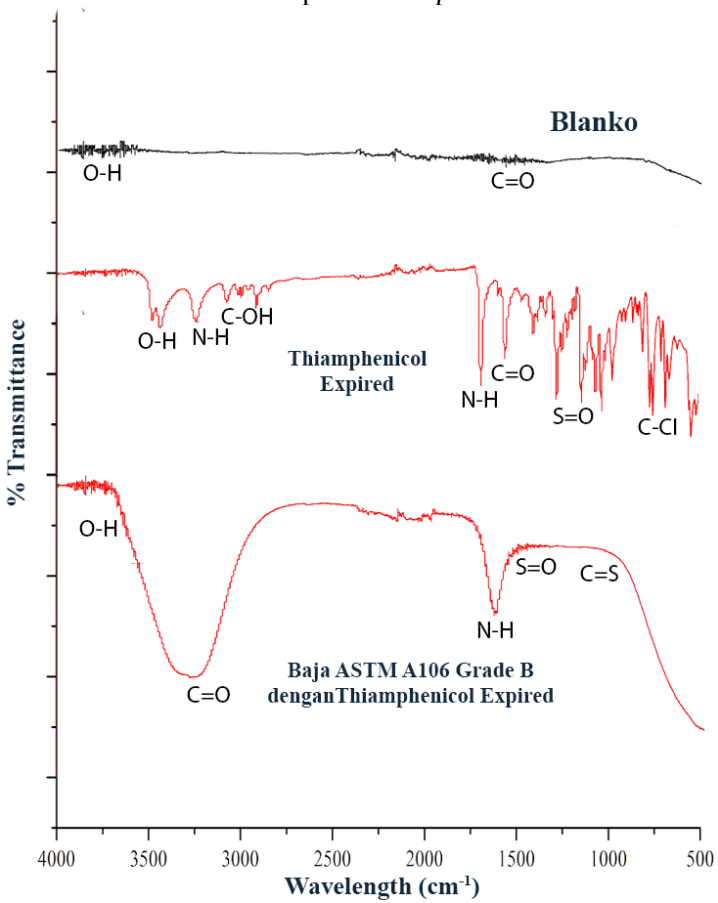


Gambar 4.11 Hasil Perbandingan FTIR Blanko, Thiamphenicol *Non-Expired* Serta Baja Ditambahkan Thiamphenicol *Non-Expired*

Gambar 4.11 menunjukkan hasil pengujian FTIR baja ASTM A106 Grade B blanko, obat thiamphenicol *non-expired* serta baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired.* Hasil FTIR tersebut mempunyai persamaan pada beberapa ikatan yang muncul yaitu ikatan O-H, N-H, dan C=O. Namun jika baja blanko dibandingkan dengan baja sesudah ditambahkan inhibitor, terdapat perbedaan yaitu

munculnya ikatan S=O dan C=S pada baja sesudah ditambahkan inhibitor yang diindikasikan merupakan ikatan yang berasal dari obat thiamphenicol *non-expired*.

Berikut gambar 4.12 yang merupakan hasil perbandingan pengujian FTIR baja ASTM A106 Grade B blanko, obat thiamphenicol *expired* serta baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired*



Gambar 4.12 Hasil Perbandingan FTIR Blanko, Thiamphenicol *Expired* Serta Baja Ditambahkan Thiamphenicol *Expired*

Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengujian FTIR baja ASTM A106 Grade B blanko, obat thiamphenicol *expired* serta baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired*. Hasil FTIR tersebut mempunyai persamaan pada beberapa ikatan yang muncul yaitu ikatan O-H, N-H, dan C=O. Namun jika dibandingkan dengan baja blanko, terdapat perbedaan yaitu munculnya ikatan S=O dan C=S pada baja sesudah ditambahkan inhibitor yang diindikasikan merupakan ikatan yang berasal dari obat thiamphenicol *expired*. Hasil tersebut mempunyai kesamaan dengan hasil FTIR untuk yang *non-expired.*

Berikut merupakan hasil peak FTIR dari baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired*

Tabel 4.6 Hasil FTIR Logam Dengan Inhibitor Non-Expired

No	Wave Number (cm^{-1})	Bond
1	3650,53	O-H str.
2	3629,66	O-H str.
3	3266,07	C=O str., N=O str., O-H str., NH_2 str., N-H str., N-H str., NH^-_3 str., O-H str.
4	2165,46	B-H str., NH^+ vib., C≡N str.
5	2050,15	B-H str., NH^+ vib.
6	1637	C=O str., C=C str., C=N str., NH_3^+ def., NO_2 str., C=C+C=N str., NH def.+CN str. 2x
7	1490,97	NH_3^+ def., i-p vib., C=C+C=N str., N=O str.
8	1426,5	S=O str, C-H def., O-H def., O-H def.
9	1058,42	C=S str., S=O str., C-N vib.

Tabel 4.6 dapat dianalisa bahwa tidak semua ikatan pembentuk obat thiamphenicol muncul, ikatan yang muncul diantaranya ikatan nitrogen, ikatan sulfur, ikatan oksigen baik rangkap tunggal maupun rangkap ganda. Akan tetapi untuk ikatan klor hilang pada pada hasil FTIR baja ASTM A106 Grade B tersebut.

Sedangkan berikut merupakan hasil peak FTIR dari baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired*

Tabel 4.7 Hasil FTIR Logam Dengan Inhibitor Expired

No	Wave Number (cm^{-1})	Bond
1	3650,24	O-H str.
2	3629,62	O-H str.
3	3284,47	C=O str., N=O str., O-H str., NH_2 str., N-H str., N-H str., NH^-_3 str., O-H str.
4	2164,89	B-H str., NH^+ vib., C≡N str.
5	2050	B-H str., NH^+ vib.
6	1636,83	C=O str., C=C str., C=N str., NH_3^+ def., NO_2 str., C=C+C=N str., NH def.+CN str. 2x
7	1420,5	S=O str, C-H def., O-H def., O-H def.
8	1017,42	C=S str., S=O str., C-N vib.

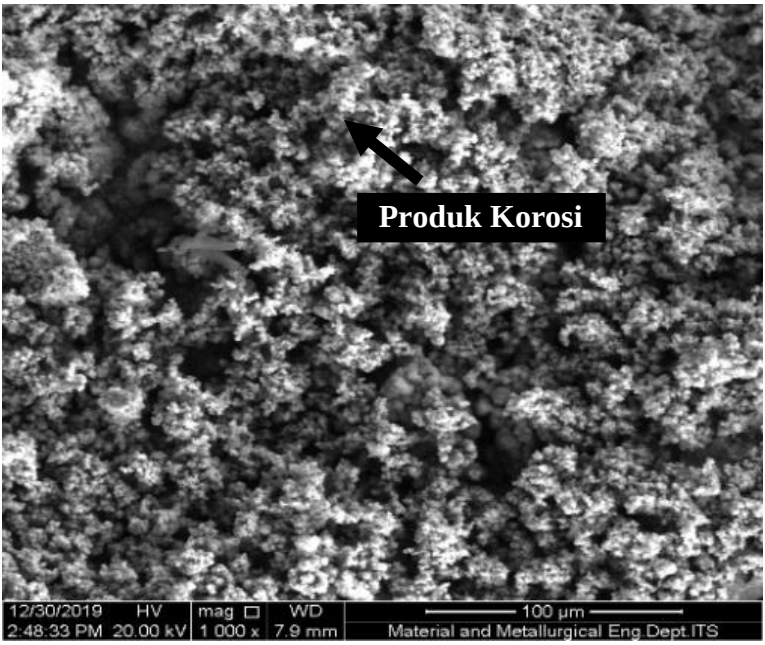
Dari Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 diketahui bahwa sebagian besar peak yang dihasilkan pada pengujian FTIR pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* maapun *expired* adalah sama karena ikatan-ikatan dasar seperti ikatan O-H, C=O, N-H, S=O dan C=S juga muncul. Yang menjadi perbedaan dengan hasil FTIR dari obat thiamphenicol sendiri adalah tidak munculnya peak pada interval gelombang 600 cm^{-1}

hingga 800 cm^{-1} pada baja ASTM A106 Grade B sesudah ditambahkan inhibitor thiamphenicol. Interval gelombang 600 cm^{-1} hingga 800 cm^{-1} sendiri merupakan gugus dari ikatan klor. Dari tabel 4.6 dan 4.7 diketahui bahwa untuk thiamphenicol *expired* mempunyai jumlah peak yang lebih sedikit daripada peak thiamphenicol *non-expired*.

4.1.4 Analisis Pengujian SEM dan EDX

Pengujian SEM ini dilakukan sebanyak tiga kali. Yang pertama pada baja ASTM A106 Grade B blanko, kemudian baja dengan inhibitor *non-expired* dan baja dengan inhibitor *expired.*

Berikut merupakan hasil pengujian SEM pada baja ASTM A106 Grade B blanko.

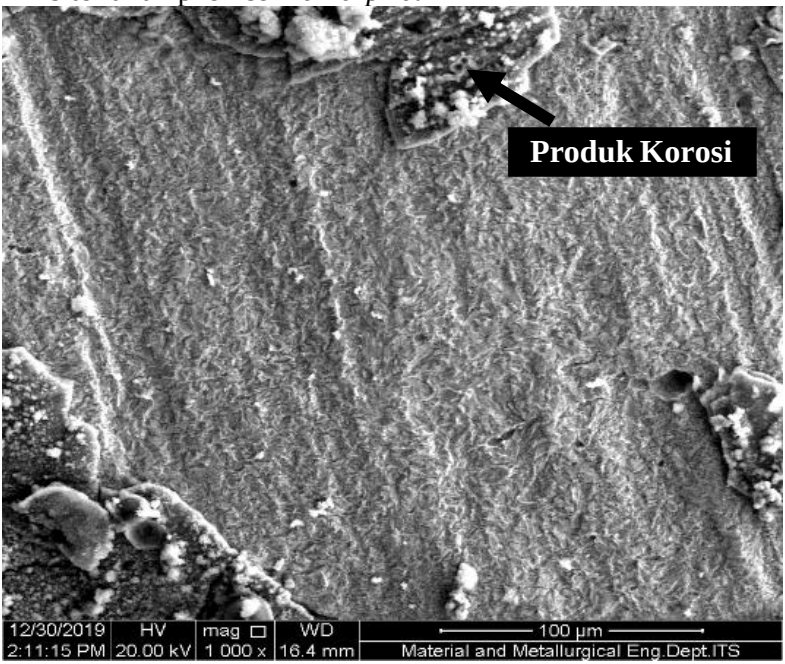


Gambar 4.13 SEM ASTM A106 Grade B *Blanko* Perbesaran 1000x

Gambar 4.13 dapat dianalisis bahwa baja ASTM A106 Grade B blanko menghasilkan produk korosi yang merata pada

permukaan baja ASTM A106 Grade B setelah direndam pada media HCl pH 4.

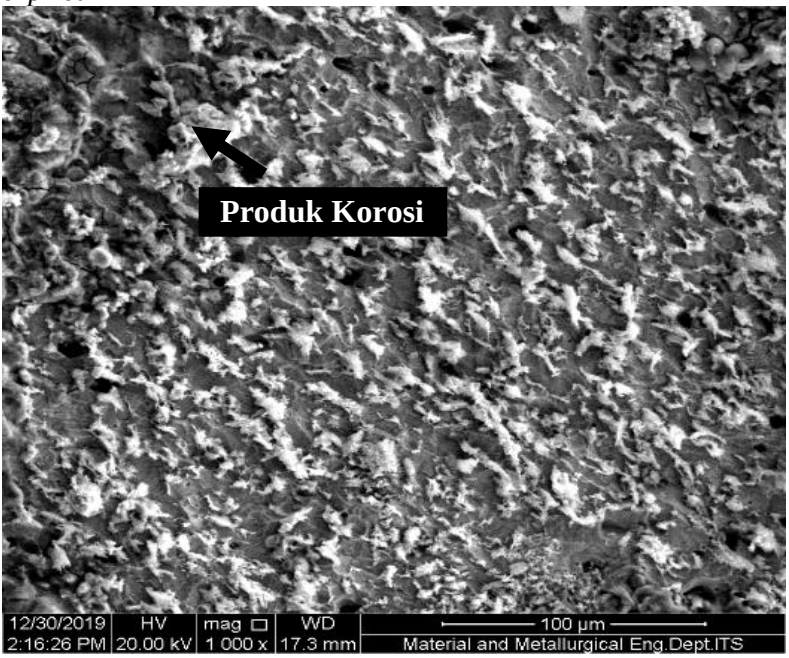
Sedangkan berikut merupakan hasil pengujian SEM dan EDX pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired*



Gambar 4.14 SEM Thiamphenicol *Non-Expired* 600ppm Hari Keenam Perbesaran 1000x

Gambar 4.14 merupakan hasil pengujian SEM pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired.* Dapat dianalisis bahwa permukaan baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* terlihat lebih rata daripada permukaan baja ASTM A106 Grade B blanko setelah direndam pada media HCl pH 4 yang menunjukkan produk korosi yang lebih sedikit.

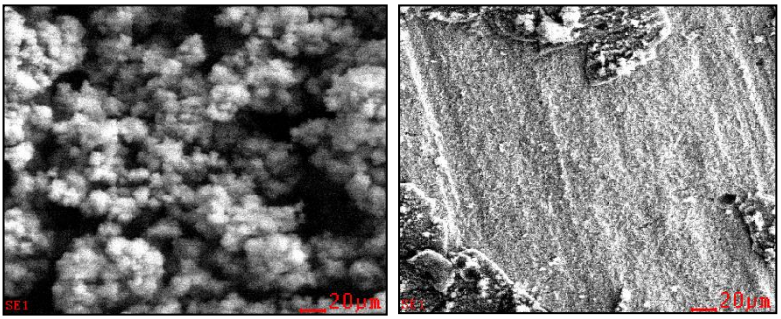
Serta berikut merupakan hasil pengujian SEM pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired*



Gambar 4.15 SEM Thiamphenicol *Expired* 600ppm Hari Keempat 1000x

Gambar 4.15 merupakan hasil pengujian SEM baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired*. Dari hasil tersebut dapat dianalisis bahwa permukaan baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* juga relatif lebih rata daripada blanko. Namun tidak lebih rata daripada permukaan baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired.*

Berikut merupakan hasil pengujian EDX pada baja ASTM A106 Grade B Blanko dan baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol



Gambar 4.16 Pengambilan Titik Uji EDX; (a) Baja Blanko (b) Baja Dengan Inhibitor Thiamphenicol

Gambar 4.16 menunjukkan titik yang dianalisa menggunakan EDX, sehingga didapatkan hasil sebagai berikut

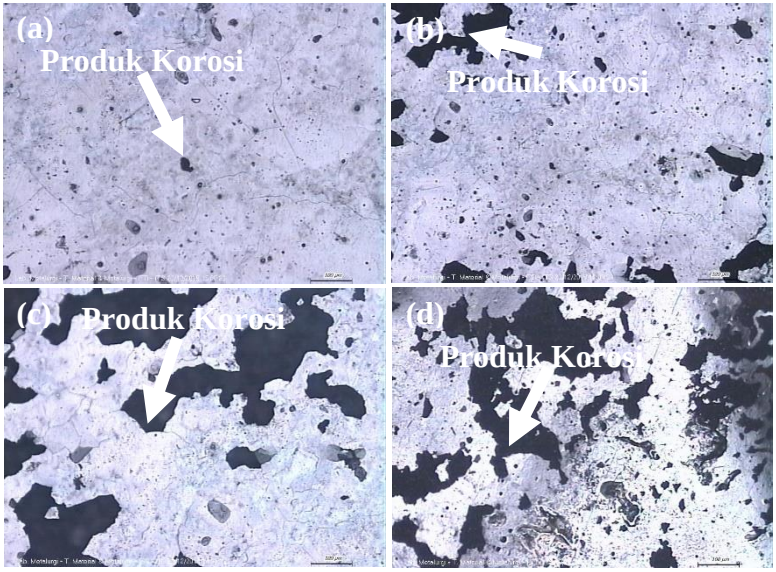
Tabel 4.8 Hasil EDX Baja Blanko dan Baja Dengan Inhibitor Thiamphenicol

Element	***Baja Blanko***		***Dengan Inhibitor***	
	Wt%	*At%*	*Wt%*	*At%*
NK	-	-,	*04,80*	*02,48*
OK	*24,45*	*51,65*	*09,41*	*25,60*
SiK	*04,42*	*05,32*	*01,10*	*05,32*
ClK	-	-	*02,48*	*00,12*
FeK	*71,12*	*43,03*	*82,21*	*67,95*
Matrix	*Correction*	*ZAF*	*Correction*	*ZAF*

Dari Tabel 4.8 dianalisa bahwa terdapat perbedaan antara hasil EDX baja blanko dengan hasil EDX baja dengan inhibitor thiamphenicol. Perbedaan tersebut yaitu adanya unsur nitrogen dan klor yang muncul pada hasil pengujian EDX baja dengan inhibitor thiamphenicol. Nitrogen sendiri merupakan salah satu unsur pembentuk obat thiamphenicol sehingga diindikasikan terdapat inhibitor yang menempel pada permukaan baja ASTM A106 Grade B.

4.1.5 Analisis Pengujian Mikroskop Optik

Berikut merupakan hasil mikroskop optik pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* pada hari keenam perendaman dibandingkan dengan baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* pada hari keempat perendaman. Konsentrasi yang diamati merupakan konsentrasi inhibitor dengan laju korosi terendah yaitu 600 ppm dibandingkan dengan konsentrasi terbesarnya yaitu 800 ppm.



Gambar 4.17 Hasil Mikroskop ASTM A106 Grade B Perbesaran 20x; (a) Thiamphenicol N*on-Expired* 600 ppm, (b) Thiamphenicol N*on-Expired* 800 ppm, (c) Thiamphenicol *Expired* 600 ppm, (d) Thiamphenicol *Expired* 600 ppm

Gambar 4.17 menunjukan produk korosi dari baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* maupun *expired* dengan konsentrasi 600 ppm dan 800 ppm. Produk korosi sendiri berupa noda hitam pada permukaan

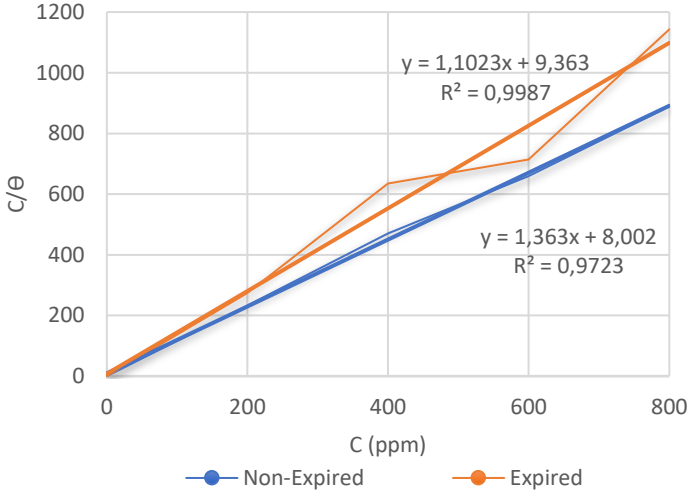
baja. Produk korosi yang terjadi pada baja ASTM A106 Grade B penambahan inhibitor thiamphenicol konsentrasi 600 ppm terlihat lebih sedikit dibandingkan inhibitor thiamphenicol konsentrasi 800 ppm. Sedangkan produk korosi pada permukaan baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* terlihat lebih sedikit daripada inhibitor thiamphenicol *expired*. Hasil mikroskop optik tersebut juga dapat dianalisi bahwa inhibitor thiamphenicol *non-expired* dengan konsentrasi 600 ppm menghasilkan korosi di permukaan baja ASTM A106 Grade B yang paling sedikit

4.1.6 Analisis Adsorption Isoterm

Adsorption isotherm biasanya digunakan untuk mengetahui model interaksi antara inhibitor dengan permuakan baja (Jiang, 2014). Faktor utama efisiensi inhibitor korosi tergantung pada kemampuan adsorpsi permukaan logam. Oleh karena itu, perlu diketahui mekanisme adsorpsi dan isoterm adsorpsi yang dapat memberikan informasi tentang interaksi inhibitor dan permukaan logam. Perlindungan permukaan baja ASTM A106 Grade B tergantung bagaimana molekul inhibitor thiamphenicol teradsorpsi pada permukaan logam dan juga ionisasi dan polarisasi molekul (Lagrenee, 2002). The degree of surface coverage (θ) sebagai fungsi konsentrasi (C) dari inhibitor dipelajari secara grafis dengan menggunakannya ke berbagai isoterm adsorpsi untuk menemukan isoterm adsorpsi terbaik. Isotherm yang dipakai dalam penelitian ini yaitu Langmuir. Menurut isoterm adsorpsi langmuir, terkait dengan konsentrasi inhibitor, dan konstanta kesetimbangan adsorpsi dirumuskan seperti pada rumus 2.13. C/θ versus c yang diplot merupakan garis lurus dan kemiringan mendekati 1, menunjukkan bahwa Langmuir adsorpsi isoterm adalah yang paling cocok untuk menggambarkan perilaku inhibitor pada permukaan baja (Jiang, 2002).

Energi bebas adsorpsi dihitung menggunakan rumus sesuai dengan rumus 2.14, dimana R merupakan konstanta gas universal, T adalah temperatur absolut, K_{ads} adalah konstanta kesetimbangan untuk proses adsorpsi-desorpsi, dan 55,5 adalah konsentrasi molar

air dalam larutan (mol L^{-1}). Parameter termodinamika adsorpsi lainnya seperti entalpi adsorpsi dan entropi adsorpsi diperoleh rumus sesuai dengan rumus 2.15. Nilai yang dihitung dari K_{ads}, ΔH_{ads}, ΔS_{ads}, dan ΔG_{ads} dicatat pada Tabel 4.8. Lagrenée et al. telah meneliti bahwa semakin tinggi nilai K_{ads}, lapisan teradsorpsi yang terbentuk jauh lebih kuat dan lebih stabil yang menghasilkan efisiensi inhibisi yang lebih tinggi. Nilai-nilai negatif yang ditunjukkan pada ΔG_{ads} menunjukkan adsorpsi spontan inhibitor pada permukaan baja (Umoren, 2007).



Gambar 4.18 Grafik Langmuir Adsorption Isotherm

Dari grafik tersebut diketahui bahwa langmuir adsorbtion isotherm untuk inhibitor thiamphenicol *non-expired* menghasilkan nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,9723 sedangkan untuk inhibitor thiamphenicol *expired* menghasilkan nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,9987.

Berikut merupakan tabel perhitungan ΔG_{ads} dengan parameter-parameter lain yang mempengaruhi

Tabel 4.9 Perhitungan ΔG_{ads} inhibitor thiamphenicol *non-expired* dan inhibitor thiamphenicol *expired*

Inhibitor Thiamphenicol *Non-Expired* Hari Keenam

C	CR (x10^{-2}) mmpy	%	θ	C/θ	K_{ads}	$1/K_{ads}$	y	ΔG_{ads} (kJ/mol)
0	8,37			0			0,000	
200	1,15	86	0,86	232,558	0,031	32,558	233	-1,239
400	1,26	85	0,85	470,588	0,014	70,558	471	-0,576
600	0,79	91	0,91	659,341	0,017	59,341	659	-0,133
800	0,80	90	0,90	888,889	0,011	88,889	889	-1,127

Inhibitor Thiamphenicol *Expired* Hari Keempat

C	CR (x10^{-2}) mmpy	%	θ	C/θ	K_{ads}	$1/K_{ads}$	y	ΔG_{ads} (kJ/mol)
0	6,93			0,000			0	
200	2,06	70	0,70	273,973	0,014	73,973	274	-0,576
400	1,19	83	0,83	634,921	0,004	234,921	635	-3,436
600	1,16	83	0,83	714,286	0,008	114,286	714	-1,854
800	2,28	67	0,67	1142,857	0,003	342,857	1143	-4,093

4.2 Pembahasan

Pengujian pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol non-expired di dalam media HCl pH 4 dianalisis sebagai berikut berdasarkan pengujian yang telah dilakukan. Sesuai dengan pengujian, diperoleh hasil bahwa laju korosi pada baja ASTM A106 Grade B yang dimasukkan ke dalam HCl pH 4 dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* mengalami penurunan laju korosi pada semua variasi konsentrasi inhibitornya.

Sesuai pada Tabel 4.1, terlihat secara keseluruhan bahwa penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* menurunkan laju korosi dari baja. Gambar 4.1 menyebutkan bahwa semakin besar konsentrasi inhibitor thiamphenicol non-expired mengakibatkan laju korosi semakin menurun. Untuk laju korosi terendah terjadi pada penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* konsentrasi 600 ppm pada hari keenam serta mempunyai laju korosi yang stabil hingga hari keenam perendaman. Konsentrasi 600 ppm sesuai pada Tabel 4.9 juga mempunyai derajat *surface coverage* yang paling tinggi dibandingkan konsentrasi 800 ppm sekalipun yang notabene merupakan konsentrasi tertinggi. Hal tersebut sesuai dengan pengujian mikroskop optik pada Gambar 4.17 yang menjelaskan bahwa konsentrasi 600 ppm mempunyai derajat *surface coverage* yang lebih tinggi daripada konsentrasi 800 ppm ditandai dengan produk korosi yang terbentuk pada konsentrasi 600 ppm lebih sedikit daripada konsentrasi 800 ppm.

Hasil pengujian polarisasi tersebut mempunyai kesesuaian dengan hasil pengujian EIS sesuai pada Gambar 4.8, dimana pengujian EIS konsentrasi 600 ppm pada inhibitor thiamphenicol *non-expired* merupakan konsentrasi dengan R_p tertinggi yaitu 35490 Ωcm^2. Nilai R_p atau tahanan logam yang tinggi ini menandakan adanya proses elektrokimia atau transfer muatan yang terhambat antara baja dengan lingkungan. Nilai R_p yang besar juga memiliki arti bahwa adanya lapisan yang terbentuk pada permukaan baja akibat adsorpsi molekul inhibitor thiamphenicol. Terhambatnya elektron yang mengalir dari permukaan baja ke

larutan serta terhambatnya transfer muatan menurunkan reaksi oksidasi Fe pada baja dan reduksi ion pada larutan yang mengakibatkan nilai tahanan logam meningkat (Sastri, 2011). Menurunnya reaksi oksidasi Fe menyebabkan aliran elektron yang terlepas dari baja menjadi berkurang sehingga laju korosi baja semakin menurun.

Penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* juga membuat potensial korosi mengalami perubahan yang cenderung kearah yang lebih negatif, sesuai pada grafik polarisasi Gambar 4.5 didapatkan hasil E_{corr} untuk inhibitor thiamphenicol non-expired yaitu sebesar 143 mV yang didapatkan dari -0,526 mV-(-0,669 mV). Dimana jika (E_{corr} = E_{corr} uninhibited - E_{corr} inhibited) lebih dari 85 mV maka inhibitor dapat diklasifikasikan sebagai inhibitor katodik atau anodik, sedangkan jika nilainya kurang dari 85 mV maka diklasifikasikan sebagai mixing inhibitor (Sulistijono, 2014). Untuk penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* pada baja ASTM A106 Grade B termasuk ke dalam jenis inhibitor katodik. Hal tersebut mengacu pada kurva polarisasi pada Gambar 4.5 bahwa konsentrasi 200, 600, dan 800 ppm bergeser ke arah kiri atau ke arah negatif dari blanko serta hanya konsentrasi 400 ppm yang bergeser kearah kanan dari blanko. Inhibitor katodik sendiri merupakan inhibitor yang menurunkan laju korosi dengan cara menghambat tahapan proses katodik seperti pembebasan ion-ion hidrogen atau penangkapan gas oksigen (Ramdhani, 2019).

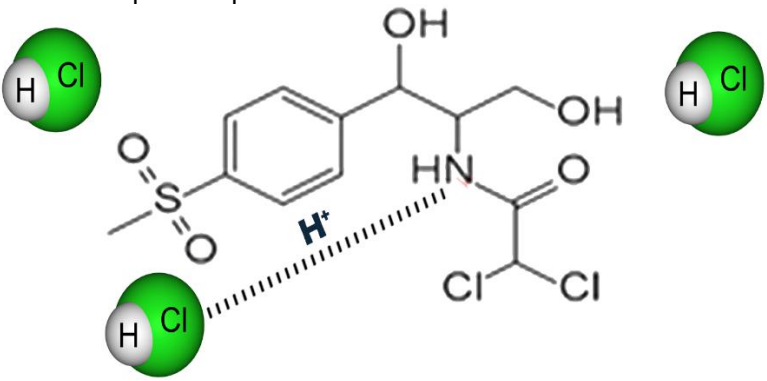
Selanjutnya untuk inhibitor thiamphenicol *non-expired* ini mempunyai jenis adsorpsi fisika. Pada Tabel 4.9 dapat dianalisis bahwa inhibitor thiamphenicol *non-expired* menghasilkan nilai AG_{ads} negatif untuk semua konsentrasi. Nilai AG_{ads} negatif menunjukkan spontanitas dari proses adsorpsi dan stabilitas inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan baja (Fouda, 2009). Untuk nilai AG_{ads} sekitar -20 kJ/mol atau lebih tinggi menandakan bahwa mekanismenya merupakan *physisorption*, sedangkan yang lebih rendah dari -40 kJ/mol menandakan bahwa mekanismenya *chemisorption* (Umoru, 2006). Nilai AG_{ads} yang dihasilkan dari inhibitor thiamphenicol *non-expired* melebihi -20 kJ/mol untuk

semua konsentrasi yang artinya mekanisme dari inhibitor thiamphenicol *non-expired* ini adalah tipe adsorpsi fisika.

Sedangkan berikut merupakan analisis pada baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol expired di dalam media HCl pH 4. Sesuai dengan pengujian polarisasi pada Gambar 4.6, diperoleh hasil bahwa laju korosi pada baja dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* (Tabel 4.2) mengalami penurunan laju korosi pada semua variasi konsentrasi inhibitornya. Laju korosi terendah terdapat pada konsentrasi 600 ppm pada hari keempat perendaman dimana sesuai pada Tabel 4.9, konsentrasi 600 ppm juga mempunyai derajat *surface coverage* yang paling tinggi dibandingkan konsentrasi 800 ppm sekalipun yang notabene merupakan konsentrasi tertinggi. Hal tersebut sesuai dengan pengujian mikroskop optik pada Gambar 4.17 yang menjelaskan bahwa konsentrasi 600 ppm mempunyai derajat *surface coverage* yang lebih tinggi daripada konsentrasi 800 ppm ditandai dengan produk korosi yang terbentuk pada konsentrasi 600 ppm lebih sedikit daripada konsentrasi 800 ppm. Namun jika dibandingkan dengan inhibitor *non-expired*, inhibitor thiamphenicol *expired* mempunyai laju korosi yang relatif lebih tinggi. Inhibitor thiamphenicol *expired* juga mempunyai kestabilan laju korosi yang lebih singkat daripada inhibitor thiamphenicol *non-expired* yaitu hanya stabil hingga hari keempat perendaman. Menurunnya performa obat thiamphenicol *expired* ini disebabkan karena obat *expired* menyisakan peforma sebesar 90% dari obat *non-expired* hingga dua tahun setelah masa pakainya (Gokhan, 2011). Secara umum, obat *expired* mempunyai *Shelf Life* (dimana obat *expired* mengalami degradasi performa hingga tersisa 90% dari obat *non-expired*) yang berbeda-beda. Penurunan performa ini juga tidak dipengaruhi oleh gugus-gugus fungsinya karena sesuai dengan hasil FTIR obat thiamphenicol *non-expired* maupun *expired* pada Gambar 4.11 dan 4.12 tidak terdapat gugus fungsi yang hilang. Pengujian polarisasi pada inhibitor thiamphenicol *expired* juga mempunyai kesesuaian dengan pengujian EIS sesuai Tabel 4.4, bahwa R_p tertinggi pada inhibitor

thiamphenicol *expired* terdapat pada konsentrasi 600 ppm pada hari keempat perendaman sebesar 21632 Ωcm^2.

Berdasarkan hasil pengujian polarisasi pada Gambar 4.6, adanya penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* menggeser potensial korosi ke dua arah. Konsentrasi 600 ppm dan 800 ppm mengalami perubahan kearah kiri blanko sedangkan untuk konsentrasi 200 ppm dan 400 ppm mengalami perubahan ke arah kanan blanko. Dari Gambar 4.6 tersebut juga didapatkan hasil E_{corr} untuk inhibitor thiamphenicol expired yaitu sebesar 90 mV yang didapatkan dari -469 mV-(-559 mV). Sehingga untuk penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* pada baja ASTM A106 Grade B ini termasuk ke dalam jenis inhibitor katodik karena mempunyai nilai potensial kurang dari 85 mV. Selanjutnya untuk jenis adsorpsi pada inhibitor thiamphenicol *expired* ini juga mempunyai jenis adsorpsi fisika. Hal tersebut dapat dianalisis melalui Tabel 4.9 yang menyatakan bahwa inhibitor thiamphenicol *expired* menghasilkan nilai AG_{ads} negatif pada semua konsentrasi. Nilai AG_{ads} yang dihasilkan dari inhibitor thiamphenicol *expired* melebihi -20 kJ/mol yang artinya mekanisme dari inhibitor obat thiamphenicol ini adalah tipe adsorpsi fisika.



Gambar 4.19 Penangkapan Ion Hidrogen

Inhibitor thiamphenicol *non-expired* maupun *expired* mempunyai mekanisme kerja yang sama. Hal tersebut didasarkan

pada hasil pengujian FTIR thiamphenicol *non-expired* maupun *expired* (Gambar 4.11 dan 4.12) yang menghasilkan gugus-gugus fungsi yang sama. Sesuai Gambar 4.19, mekanisme kerjanya diawali dengan penangkapan ion hidrogen pada elektrolit oleh gugus nitrogen yang terdapat pada thiamphenicol. Nitrogen yang terdapat pada thiamphenicol tersebut menangkap ion hidrogen karena mempunyai pasangan elektron bebas.

Gambar 2.11 menyebutkan bahwa terdapatnya gugus amina di dalam inhibitor menjadi agen penangkap ion hidrogen meskipun tidak berada pada rantai terujung. Hidrogen dan nitrogen tersebut membentuk ikatan NH_3 sebagaimana dibuktikan oleh hasil pengujian FTIR baja dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* maupun *expired* yang muncul ikatan NH_3 pada interval gelombang 1500 cm^{-1}. Masuknya ion hidrogen pada thiamphenicol menyebabkan adanya proses protonasi pada senyawa thiamphenicol.

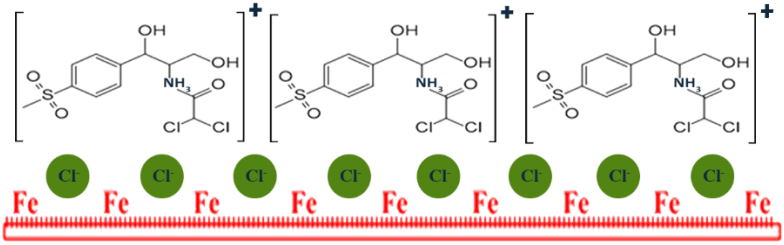
$$[C_{12}H_{15}Cl_2NO_2S] + xH^+ \longrightarrow [C_{12}H_{15}Cl_2NO_2S]^{x+} \qquad (4.1)$$

Akibat protonasi ini thiamphenicol menjadi bermuatan positif. Di lain sisi ion Cl^- pada elektrolit bergerak mendekati permukaan baja yang kaya akan Fe^{2+}. Setelah senyawa thiamphenicol terprotonasi, thiamphenicol mempunyai kecenderungan untuk mendekati ion Cl^- yang berada pada permukaan baja.

Senyawa thimaphenicol yang terprotonasi tersebut mendekati permukaan baja karena tertarik oleh ion Cl^- yang juga berada pada permukaan baja. Thiamphenicol yang terprotonasi tersebut berikatan secara elektrostatis dengan ion Cl^- pada permukaan baja. Thiamphenicol yang terprotonasi berusaha mengikat elektron yang berada pada permukaan baja. Ketika berhasil mengikat elektron, thiamphenicol kembali dalam bentuk senyawa yang netral. Elektron yang terakumulasi pada permukaan baja menyebabkan permukaannya negatif. Sehingga elektron yang berada di orbital d pada Fe ditransfer ke orbital π kosong

(*antibonding*) pada molekul inhibitor, proses ini dinamakan retrodonasi. Proses retrodonasi ini memperkuat adsorpsi inhibitor thiamphenicol pada permukaan baja (Singh, 2016)

Proses menginhibisi dari inhibitor thiamphenicol *non-expired* maupun *expired* diindikasikan membentuk lapisan pada permukaan baja karena hasil EIS menyatakan bahwa hambatan logam (R_p) mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hambatan larutan (R_s) pada kedua jenis inhibitor (*non-expired* dan *expired)*. Nilai R_p yang besar ini menandakan adanya peningkatan hambatan transfer muatan antara Fe pada baja dengan lingkungan.. Lapisan ini beradsoprsi secara fisika atau tidak terjadi transfer muatan serta berikatan secara elektrostatis pada permukaan baja. Berikut merupakan gambar bagaimana inhibitor thiamphenicol membentuk lapisan pada permukaan baja.



Gambar 4.20 Mekanisme Inhibisi Inhibitor Thiamphenicol

Gambar 4.20 menjelaskan bahwa lapisan pada permukaan baja tersebut dianalisis berasal dari inhibitor thiamphenicol karena sesuai hasil FTIR (Gambar 4.11 dan 4.12) terdapat ikatan O-H, N-H, C=O, C-Cl pada permukaan baja yang merupakan ikatan pembentuk thiamphenicol (Gambar 2.10). Maka dari itu diindikasikan bahwa lapisan yang terbentuk pada permukaan baja berasal dari inhibitor thiamphenicol. Selain itu juga diperkuat dengan adanya pengujian EDX (Tabel 4.8) yang menyebutkan bahwa pada baja dengan inhibitor thiamphenicol muncul unsur nitrogen dan klor yang merupakan unsur pembentuk obat thiamphenicol dimana unsur tersebut tidak ditemukan pada hasil pengujian EDX baja blanko.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Penambahan inhibitor berbasis obat thiamphenicol mampu menurunkan laju korosi baja ASTM A106 Grade B di dalam media HCl pH 4. Laju korosi terendah baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *non-expired* terdapat pada hari keenam perendaman dengan laju korosi sebesar 0,79 x 10^{-2} mmpy dan efisiensi sebesar 91% pada konsentrasi 600ppm. Sedangkan Laju korosi terendah baja ASTM A106 Grade B dengan penambahan inhibitor thiamphenicol *expired* terdapat pada hari keempat perendaman dengan laju korosi sebesar 1,16 x 10^{-2} mmpy dan efisiensi sebesar 83% pada konsentrasi 600ppm.
2. Mekanisme kerja inhibitor thiamphenicol *non-expired* termasuk ke dalam inhibitor katodik *(cathodic inhibitors)* dengan jenis adsorpsi fisika. Sedangkan mekanisme kerja inhibitor thiamphenicol *expired* termasuk ke dalam inhibitor katodik *(cathodic inhibitors)* dengan jenis adsorpsi fisika.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlu adanya pengujian lebih dalam yang dapat berupa pengujian *weight loss* ataupun pengujian AAS untuk hasil yang lebih valid.
2. Dalam melakukan prosedur pengujian dihimbau untuk lebih teliti.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR PUSTAKA

Adnan Adil Hismiogullari dkk. 2010. "Evaluation of Biochemical Findings in Mice Exposed to Thiamphenicol Treatment" **Wine Inhibitors.** Turkey: Balikesir University.

Aidil, E., and Shams El Din A. M. 1972. "Corrosion inhibition by naturally occurring substances-I.The effect of Hibiscus subdariffa (karkade) extract on the dissolution of Al and Zn" **Corrosion Science**, vol. 12, no. 12,pp. 897–904.

Ahmad Zaki. 2006. **Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control**.

Andreas .S.I., Radhian. K. 2015. "Ketahanan Korosi Baja Ringan Di Lingkungan Air Laut" **Corrosion Science.** Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Aprael S. Yaro, Anees A. Khadom, Rafal K. Wael. 2013. "Apricot juice as green corrosion inhibitor of mild steel in phosphoric acid" **Alexandria Engineering Journal**, vol 52, issue 1, pp. 129-135.

Ayoola, O.S.I. Fayomi, S.O. Ogunkanmbi. 2018. "Data on Inhibitive Performance of Chloraphenicol Drug on A315 Mild Steel in Acidic Medium". **Wine Inhibitors.** Nigeria: Covenant University.

Bardal. 2004. **Corrosion and Protection**. London: Springer.

Bahrum Zul Caniago. 2006. "Kecepatan Korosi oleh 3 Bahan Oksidan Pada Plat Besi". Bengkulu: Universitas Bengkulu.

Branger, J.M. Rolain, D. Raoult. 2004. "Evaluation of antibiotic susceptibilities of Ehrlichia canis, Ehrlichia chaffeensis, and Anaplasma phagocytophilum by real-time PCR" **Antimicrob Agents Chemother**, 48, pp. 4822-4828

Bae, D., Kim, C.H. 2004. "Characteristics in the weld of multi-pass welded A106 Gr B steel pipe" KSME Int. J. 18, 114–121

Bella Ramdhani Yurista. 2019. "Pengaruh Variasi Konsentrasi dan Waktu Perendaman Terhadap Baja API 5L Grade B Dalam Media NaCl 3,5% Menggunakan Inhibitor Ekstrak Biji

Alpukat". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Bishop Y. 1998. **The Veterinary Formulary**. London: The Pharmaceutical Press.

Bockris J and Reddy A. 2002. **Modern Electrochemistry, Ionics, Vol. 2, 2nd (Ed.)**. New York: Kluwer Academic Publishers.

Bounougha, Moussa. 2016. "Evaluation Effeciency of Barium Sulfate Scale Inhibitors by Electrochemical Impedance Spectroscopy". Boumerdes: University of M'Hamed Bougara.

Camila G. Dariva and Alexandre F. Galio. 2014. **Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications.**

Cartika Harpolia. 2016. **Kimia Farmasi.** Kementerian Kesehatan Republik Indonesia: Pusat Pendidikan Sumber daya Manusia Kesehatan

Chigondo M dan Chigondo F. 2016. "Recent natural corrosion inhibitors for mild steel: an overview". **Journal of Chemistry**.

Chitra Sampath. 2019. "Surface Morphological and FTIR Spectroscopic Information On The Corrosion Inhibition of Drugs On Mild Steel In Chloride Environment"**.** India: AMET University.

Clarke, E.G.C. 1986. "Isolation and Identification of Grugs in Pharmaceutical, Body Fluid and Post-Mortem". **Pharmaceutical Press**. London: pp. 443, 705.

Cannon, S. Harford, J. Davies. 1990. "A Comparative Study On The Inhibitory Actions of Chloramphenicol, Thiamphenicol and Some Fluorinated Derivatives". Oxford.

Chamberlain J., Trethewey KR. 1991. **Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan**. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Dalimunthe, A. 2004. "Stomata: Biosintesis, Mekanisme Kerja, dan Peranannya dalam Metabolisme". Sumatra Utara: Universitas Sumatra Utara.

Desi, M, S., Sri, H., Yuli, Y. 2013. "Pengendalian Laju Korosi Baja St-37 Dalam Medium Asam Klorida dan Natrium Klorida Menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (Camelia Sinensis)". Padang: Universitas Andalas.

Dutra e L. D. P. Nunes. 2011. **Proteção catódica técnicas de combate a corrosão, 5 ed**. Rio de Janeiro: Interciências.

Erna Maria dkk. 2016. "Kestabilan Lapisan Pasif Permukaan Baja Lunak Dalam Media Menggunakan Inhibitor Korosi Karboksimetil Kitosan". **Indonesian Journal Of Chemical Science.** Pekanbaru: Universitas Riau.

Holt, C.M. Andrews, J.P. Payne, T.C. Williams, J.A. Turton. 1998. "The myelotoxicity of chloramphenicol: in vitro and in vivo studies: II: in vivo myelotoxicity in the B6C3F mouse". Hum. Exp. Toxicol., 17, pp. 8-17

Febrianto, Geni Rina Sunaryo, Sofia L. Butarbutar. 2010. "Analisis Laju Korosi Dengan Penambahan Inhibitor Korosi Pada Pipa Sekunder Reaktor RSG-GAS". Yogyakarta: BATAN.

Ferrari V. 1981. "Introductory address-salient features of thiamphenicol: Review of clinical pharmacokinetics and toxicity". Sex Trans. Dis., 11: 336-339.

Florey. 1975. **Analytical Profiles of Drug Substances, vol. 4**. New York: Academic Press.

Fouda, A. S., Mahmoud, W. M., Abdul Mageed, H. A. 2016. "Evaluation of an Expired Nontoxic Amlodipine Besylate Drug as a Corrosion Inhibitor for Low-Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solutions". **Journal of Bio and Tribo Corrosion**.

Gentil, 2003. **Corrosão, 4ª ed**., Rio de Janeiro: LTC.

Gokhan Gece. 2011. "Drugs: A review of promising novel corrosion inhibitors". **Corrosion Science**. 53(12), 3873-3898.

Heiderbach, Robert. 2011. "Metallurgy and Corrosion Control in Oil and Gas Production"**.** Canada: John Wiley & Sons.

Hussein Jwad Habeeb dkk. 2018. "Development of New Corrosion Inhibitor Tested on Mild Steel Supported by Electrochemical Study". Selangor: Bangi, Malaysia.

Jalaluddin, Ishak, Rosmayuni. 2015. Efektifitas Inhibitor Ekstrak Tanin Kulit Kayu Akasia (Acacia Mangium) Terhadap Laju Korosi Baja Lunak (St-37) dalam Media Asam Klorida". Jurusan Teknik kimia: Fakultas Teknik Universitas Malikussalah

Jane E. Sykes, Mark G. Papich. 2014. **In Canine and Feline Infectious Diseases.**

Jiang Y., Li C., Wang W., Hou B., Wu L. 2014. "Inhibition properties and adsorption behavior of imidazole and 2-phenyl-2-imidazoline on AA5052 in 1.0 M HCl solution". **Corrosion Science**, 014; 83:124–136. Doi: 10.1016/j.corsci.2014.02.004.

John Westley. 2017. "Enzyme Inhibition in Open Systems Superiority Of Uncompetitive Agents"**.** Chicago: University of Chicago.

Knofel, Dietbert. 1978. **Corrosion Of Building Material**. United States: Van Nostrand Reinhold Company Chamberlain.

Lagrenée, B. Mernari, M. Bouanis, M. Traisnel, and F. Bentiss. 2002. "Study of the mechanism and inhibiting efficiency of 3,5-bis(4-methylthiophenyl)-4H-1,2,4-triazole on mild steel corrosion in acidic media". **Corrosion Science**, vol. 44, no. 3, pp. 573–588

Mardhani, I., Harmami. 2013. "Pengaruh Suhu Terhadap Korosi Baja SS 304 dalam Media 1 M HCL dengan Adanya Inhibitor Kinina". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mars Guy Fontana, Norbert D. Greene. 1967. **Corrosion Engineering-Third Edition.**

Marcus P., Maurice V., Strehblow H.H., Localized corrosion. 2008. "Pitting: a model of passivity breakdown including the role of the oxide layer nanostructure". **Corrossion Science**. 50 (9) 2698e2704

McKetta, J.J. 1992. ***Piping Design Handbook***; Marcel Dekker Inc: New York, NY, USA.

Nasution Muslih. 2019. Kajian Tentang Hubungan Deret Volta dan Korosi Serta Penggunaanya Dalam Kehidupan Sehari-Hari. Teknik Mesin: Fakultas Teknik UISU.

Nasution, R. 2010. **Pemetaan Korosi di Daerah DKI Jakarta.** Jakarta: LIPI.

Newman D. and Cragg G. 2007. "Natural products as sources of new drugs over the last 25 years"**.** J. Nat. Prod. 70(3), 461-477.

Panchal. V. A, Patel. A.S, Mudaliar. G.V, Shah. N. K. 2011. "Impedance Spectroscopic Study Of Corrosion Inhibition Of Al-Pure By Organic Schiff Base In Hydrochloric Acid". **Journal of Saudi Chemical Society.** India: King Saud University.

Papavinasam, S. 2000. **Corrosion Inhibitors.** Kanada: CANMET Materials Technology Laboratory. Ottawa, Ontario.

Prayogi Rizaq. 2017. "Aplikasi Kulit Mangga (*Mangifera Indica L)* Sebagai Inhibitor Organik Pada Baja API 5L Grade B Dalam 1M HCl". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

Pribadi Ridzky Mulyono. 2017. "Perancangan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal Pada Pipa Baja API 5L Grade B Dengan Variasi Jumlah Coating Yang Dipasang Di Dalam Tanah". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Ramanathan. 1988. **Corrosão e seu controle**, São Paulo: Hemus.

Raja P. and Sethuraman M. 2008. "Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media — a review". Mater. Lett. 62(1): 113–116.

Revie, R. Winston. 2011. **Uhlig's Corrosion Handbook**. Ottawa: John Wiley and Sons, Inc.

Roberge, P.R. 2000. **Handbook of Corrosion Engineering**. New York: McGraw Hill,

Sanyal. 1981. “Organic compounds as corrosion inhibitors in different environments - A review,” **Progress in Organic Coatings**, vol. 9, pp. 165-236.

Sazha. 2014. “Aplikasi Sarang Semut (Myrmecodia Pendans) sebagai Inhibitor Korosi pada Baja API 5L Grade B dan AISI 1010 dalam Media NaCl 3.5%”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Schunack, W., Mayer, K., Haake, M. 1990. **Senyawa Obat Buku Pelajaran Farmasi, Edisi II.** Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, pp. 681.

Sedriks. 2001. **Encyclopedia of Materials: Science and Technology.**

Sulistijono. 2000. **Diktat Korosi dan Analisa Kegagalan**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Sumarji. 2011. “Studi Perbandingan Ketahanan Steel Tipe SS 304 dan SS 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu dan pH”. Jember: Universitas Jember.

Talbot e J. Talbot. 2000. **Corrosion Science and Technology**. Florida: CRC Press.

Thaera Abdulridha Mussa , Kafa Khalaf Hammud , Samira Ahmed Abdul Rahmman , Faliah Hassan. 2017. “Expired drug and Corrosion: a new application of inhibition in 1M H2SO4-Carbon Steel”. Iraq: Directorate of Materials Research, Ministry of Science and Technology, Baghdad.

Trethewey, KR. 1991. **Korosi**. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama

Trinet Yingsamphancharoen, Nakarin Srisuwan, Aphichart Rodchanarowan. 2016. “The Electrochemical Investigation of the Corrosion Rates of Welded Pipe ASTM A106 Grade B”. Bangkok. Thailand.

Trining Puji Astutik dkk. 2017. “Identifikasi Konsep Sukar dan Kesalahan Konsep Reaksi Redoks”. Jawa Timur: Universitas Negeri Malang.

Umoru, L. E., Afonja, A. A., Ademodi, B. 2008. “Corrosion Study of AISI 304, AISI 321 and AISI 430 Stainless Steels in a Tar Sand Digester”. Jmmce. Org., 7(4), 291-299.

Utomo Budi. 2009. “Jenis Korosi dan Penanggulangannya”. Semarang: Universitas Diponegoro.

Yatiman. 2009. “Penggunaa Inhibitor Organik Untuk Pengendalian Korosi Logam dan Paduan Logam (Application of Organic Inhibitors for Corrosion Control of Metals and Alloys)”. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Yudha Kurniawan Afandi, Irfan Syarif Arief, Amiadji. 2015. “Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

(Halaman ini sengaja dikososngkan)

LAMPIRAN A

Pembuatan Media HCl pH 4

Diketahui :

Berat jenis HCl : 1.19 gr/ml
Mr HCl : 36.5 gr/mol
%HCl : 37%
Ditanya : Volume HCl 0.0001M?
Jawab :

$$M = \frac{\% \times 10 \times \rho HCl}{Mr}$$

$$= \frac{37 \times 10 \times 1.19}{36.5}$$

$$= 12.063$$

Dengan pengasumsian penggunaan 1000ml HCl untuk pH 4 maka pengenceran yang dilakukan,

$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$

$V_1 \times 12.063 = 1000 \times 0.0001$

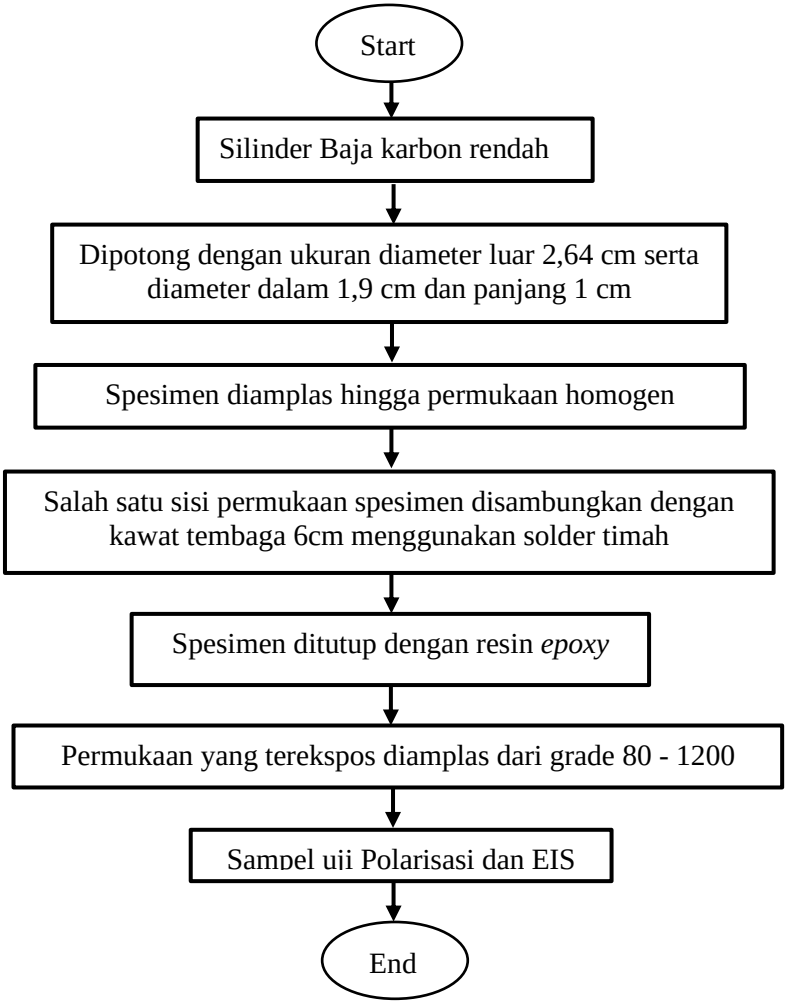
$V_{HCl} = 0.00828ml$

Maka untuk membuat 1L larutan 0.0001M HCl dibutuhakn 0.00828ml HCl 37% yang kemudian diencerkan dengan aquades hingga volume total mencapai 1000ml.

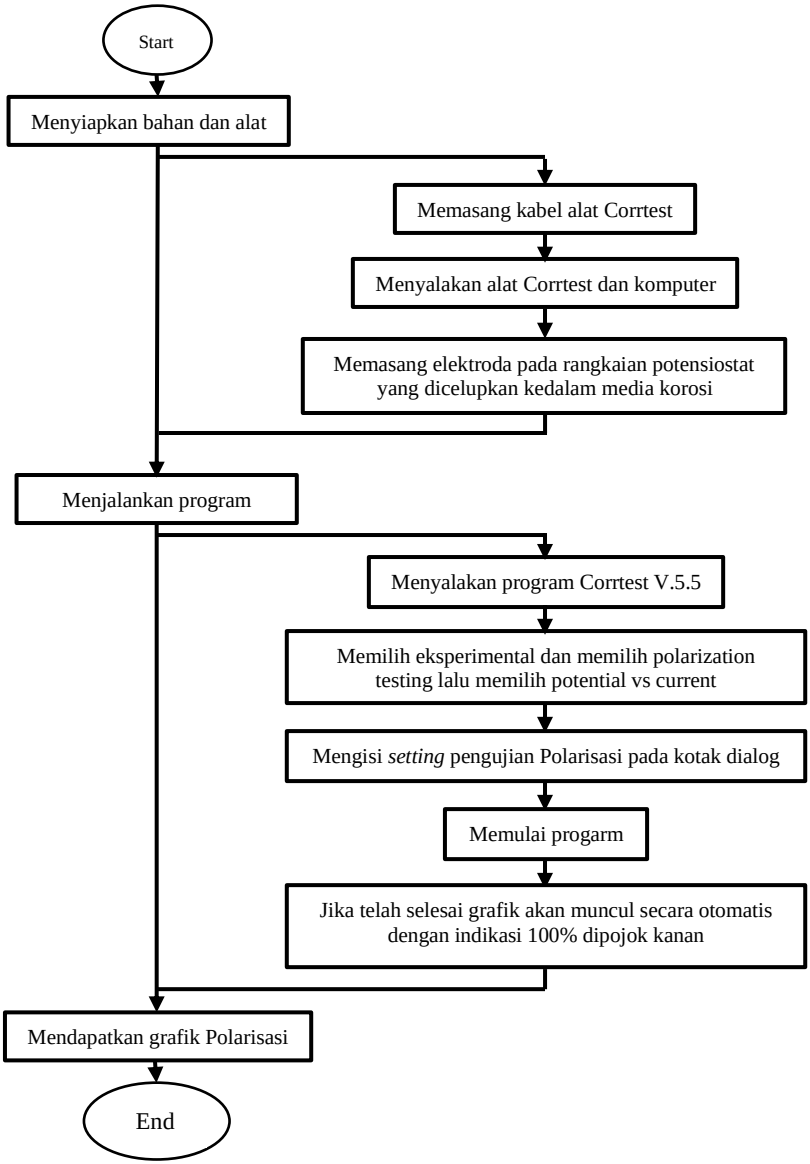
LAMPIRAN B

SKEMA PEMBUATAN

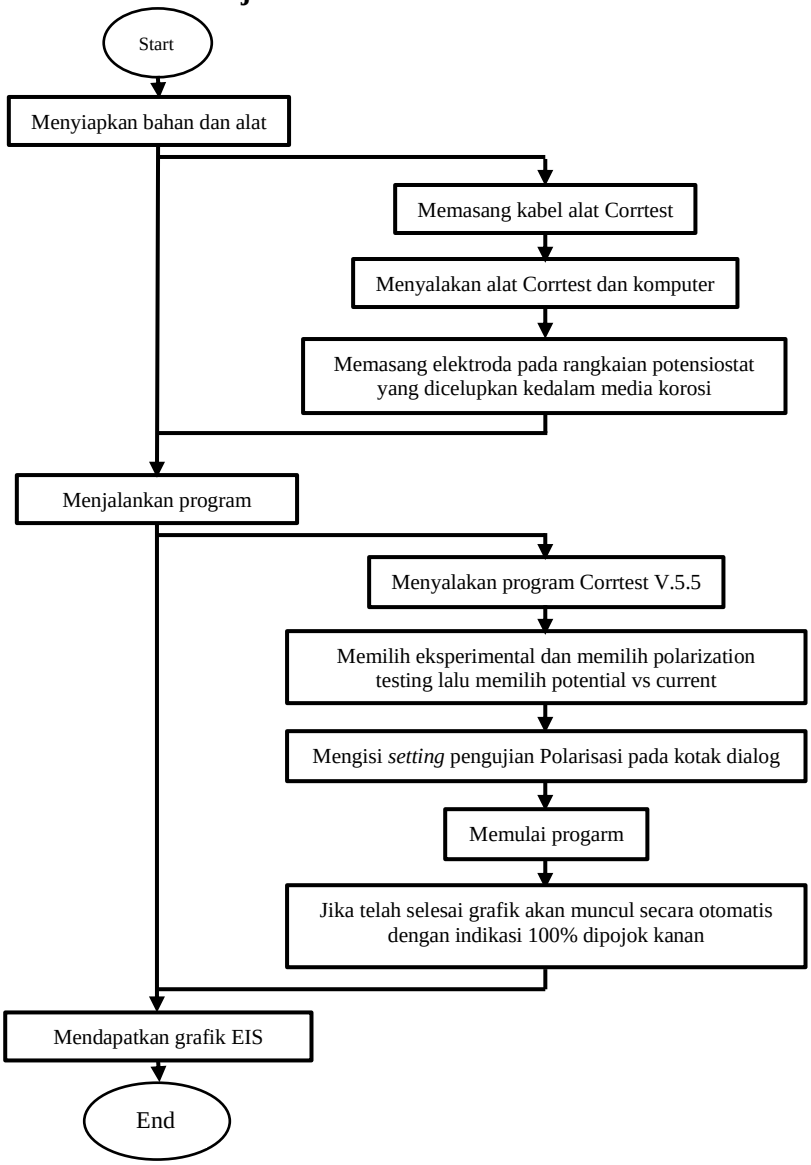
1. Pembuatan spesimen



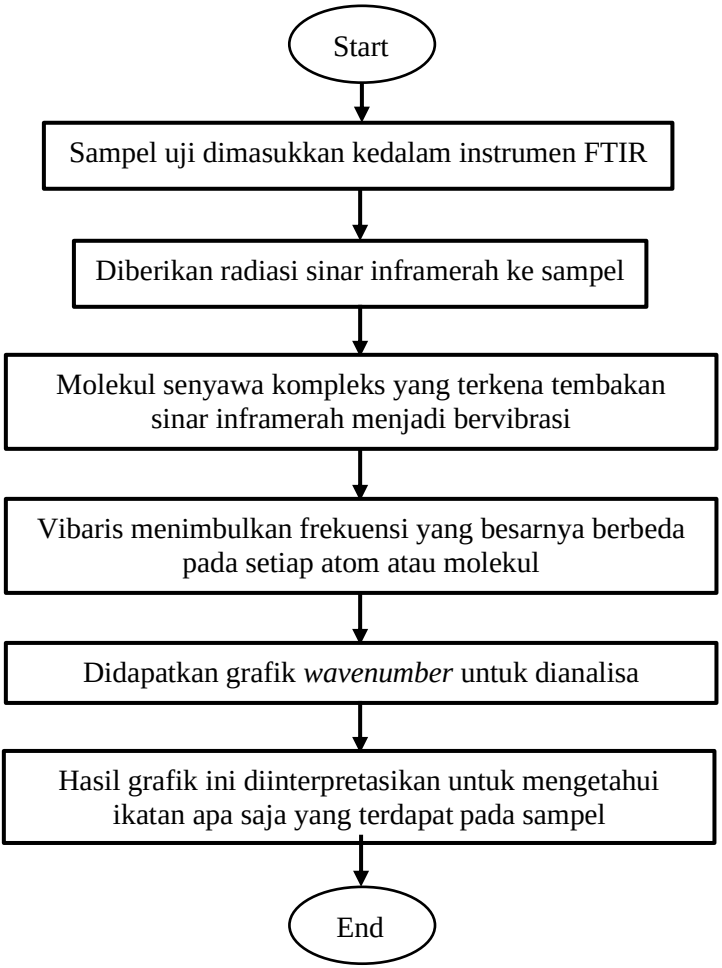
2. Prosedur uji Polarisasi



3. Prosedur uji EIS

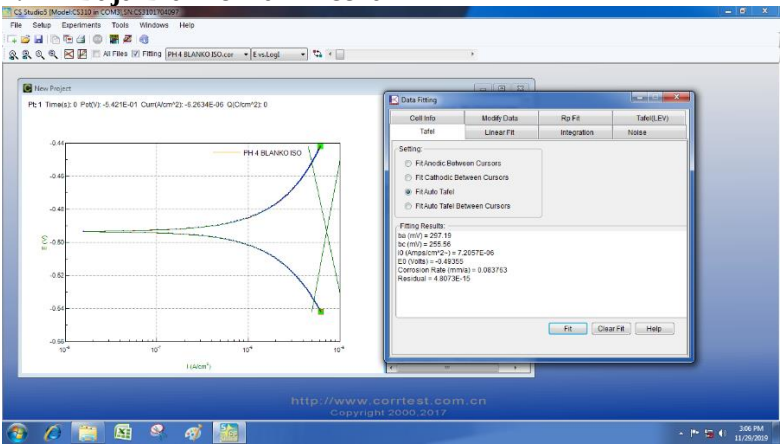


4. Prinsip kerja Uji FTIR

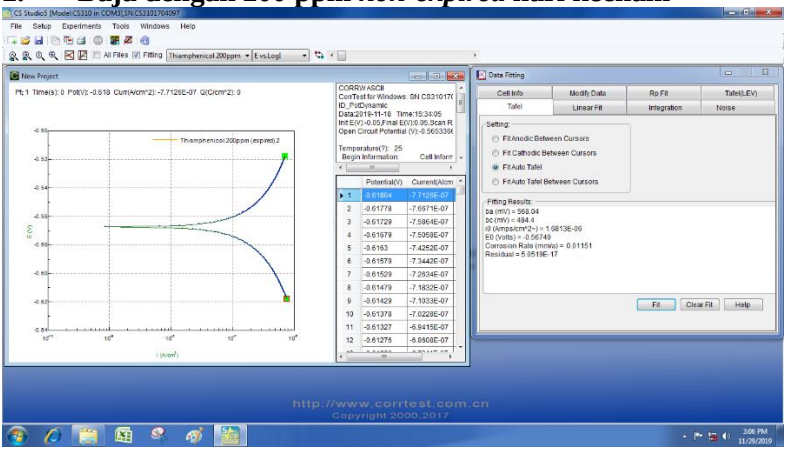


LAMPIRAN C

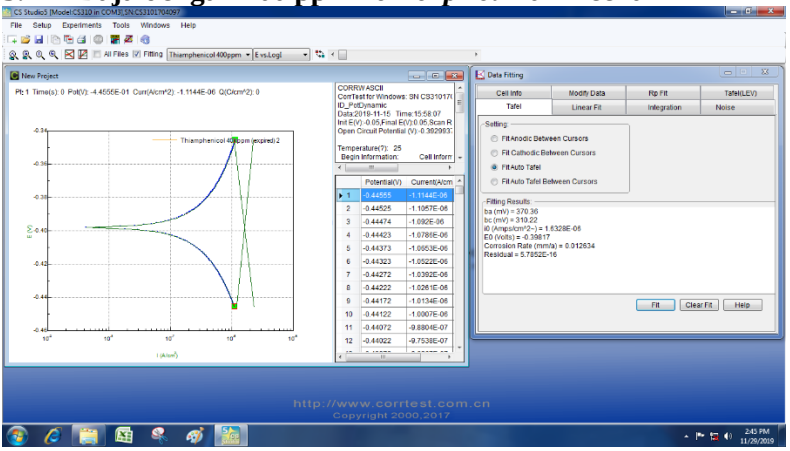
1. Baja Blanko Hari Keenam



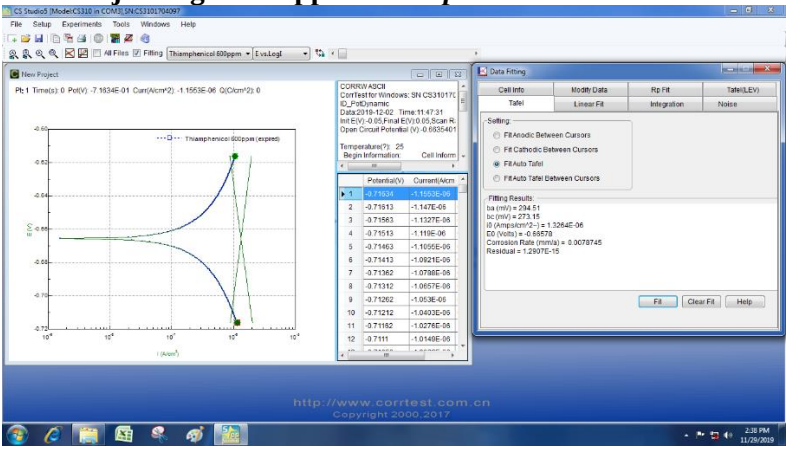
2. Baja dengan 200 ppm *non-expired* hari keenam



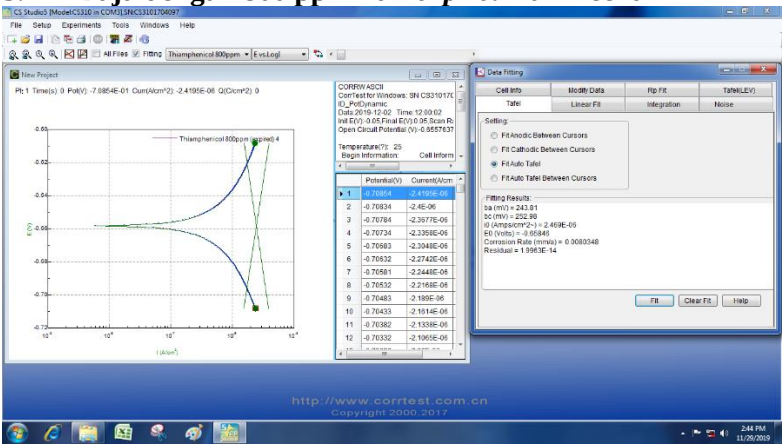
3. Baja dengan 400 ppm *non-expired* hari keenam



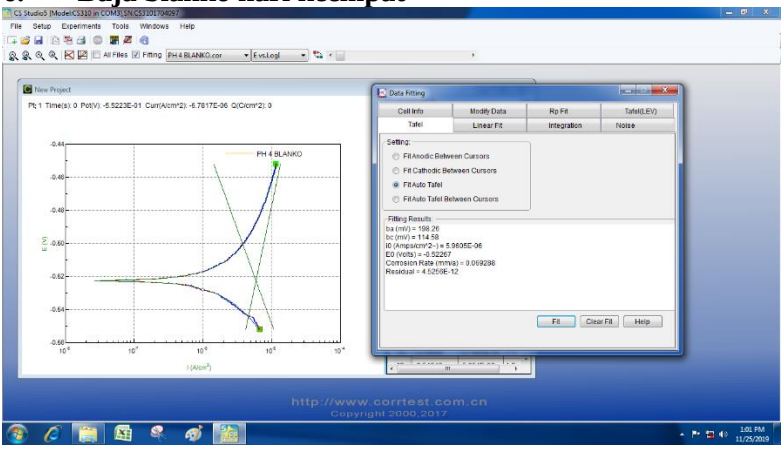
4. Baja dengan 600 ppm *non-expired* hari keenam



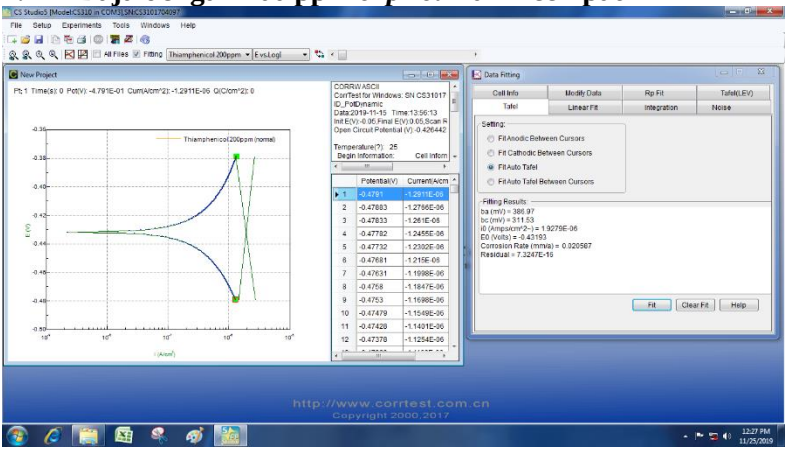
5. Baja dengan 800 ppm *non-expired* hari keenam



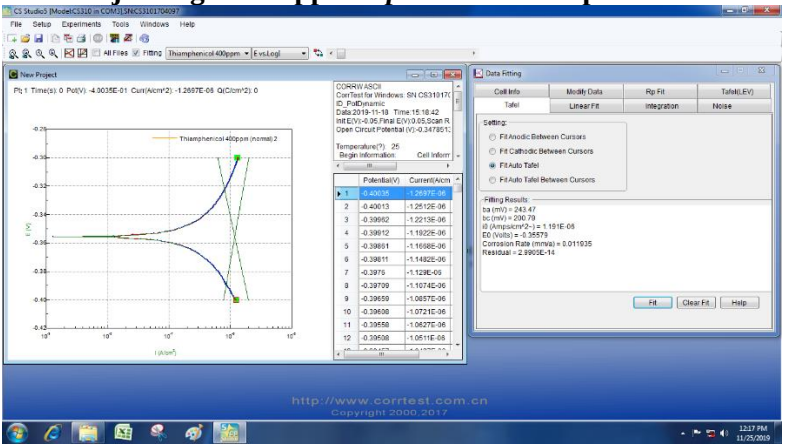
6. Baja blanko hari keempat



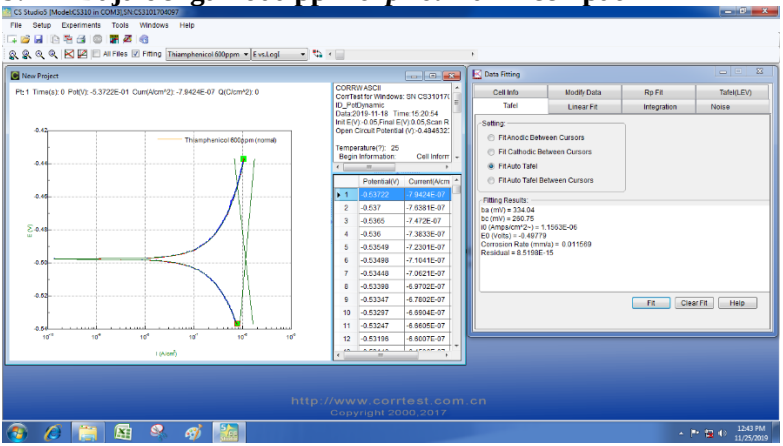
7. Baja dengan 200 ppm *expired* hari keempat



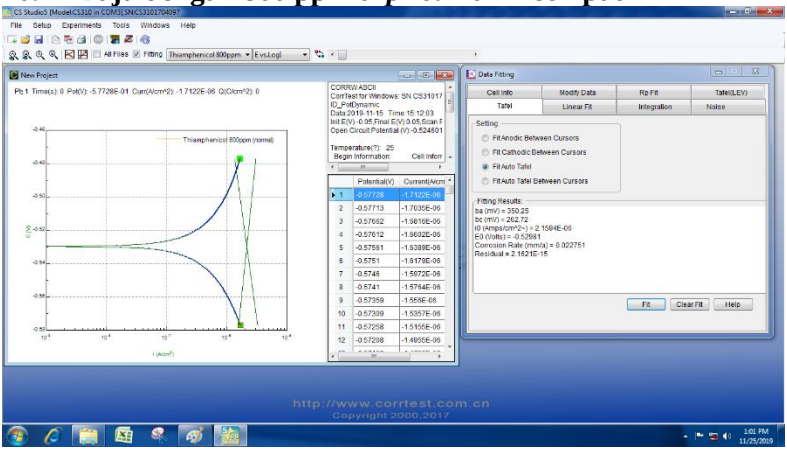
8. Baja dengan 400 ppm *expired* hari keempat



9. Baja dengan 600 ppm *expired* hari keempat

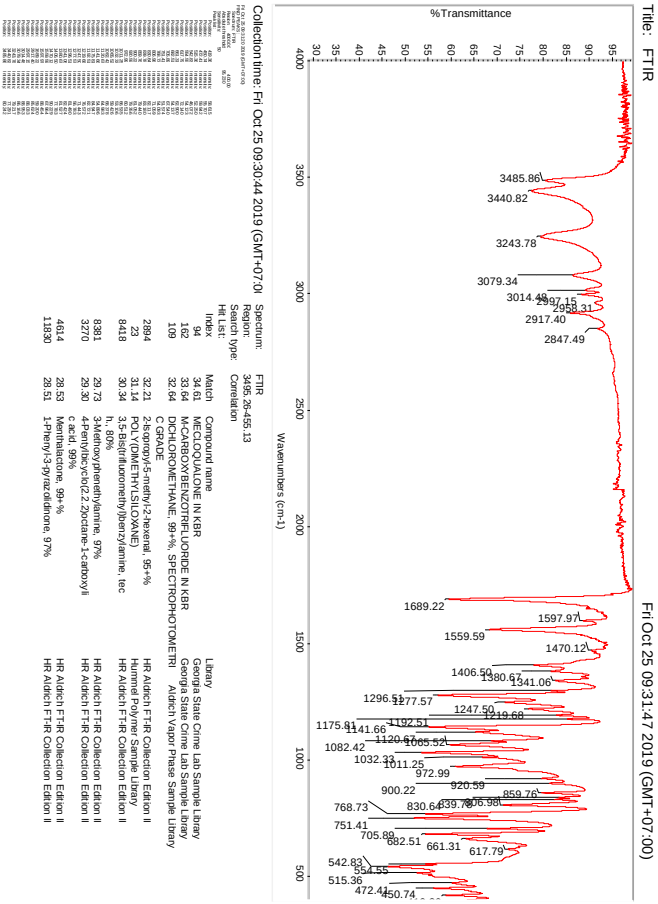


10. Baja dengan 800 ppm *expired* hari keempat

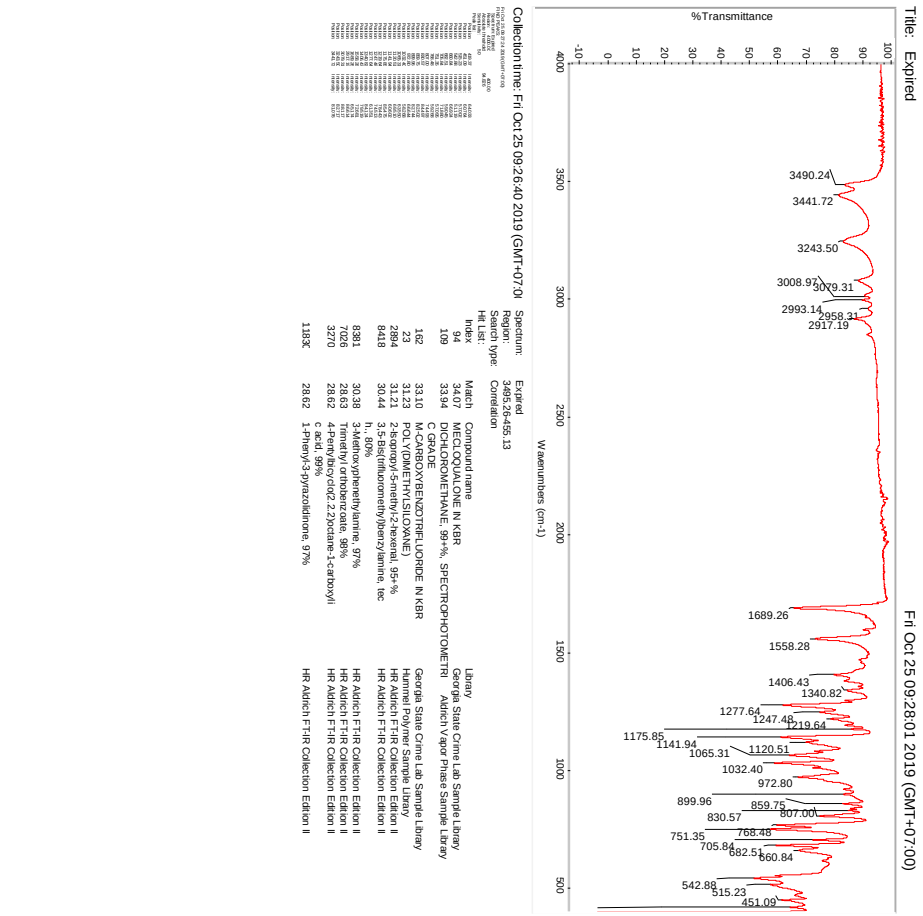


LAMPIRAN D

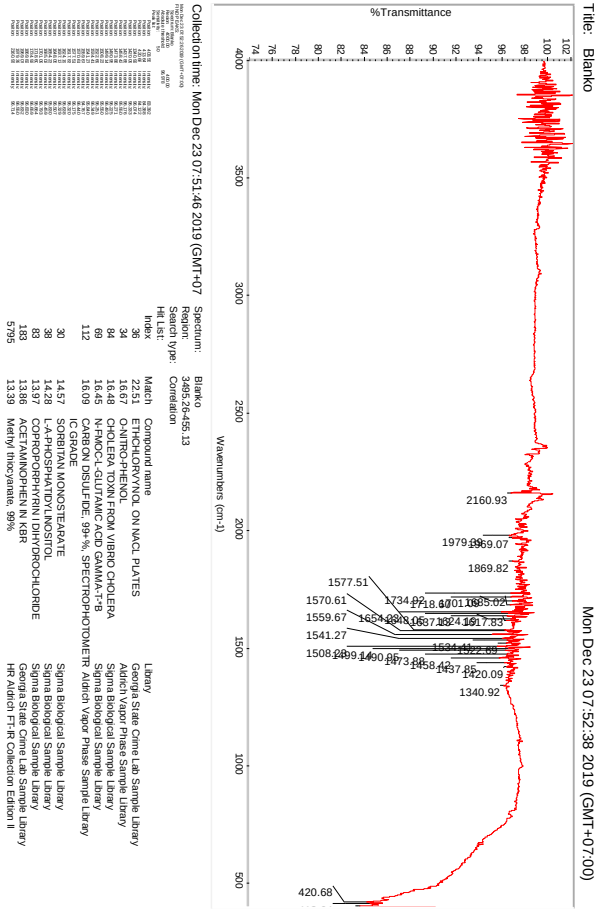
1. Hasil FTIR Thiamphenicol Non-Expired



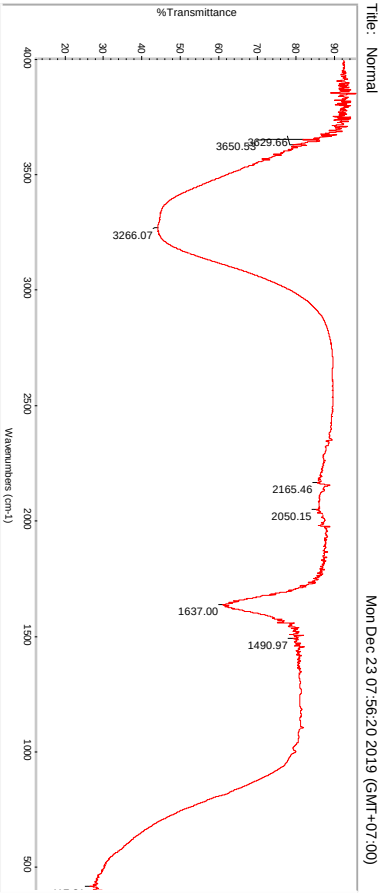
2. Hasil FTIR Thiamphenicol Expired



3. Hasil FTIR Baja ASTM A106 Blanko



4. Hasil FTIR Baja ASTM A106 Grade B Dengan Inhibitor Thiamphenicol *Non-Expired*



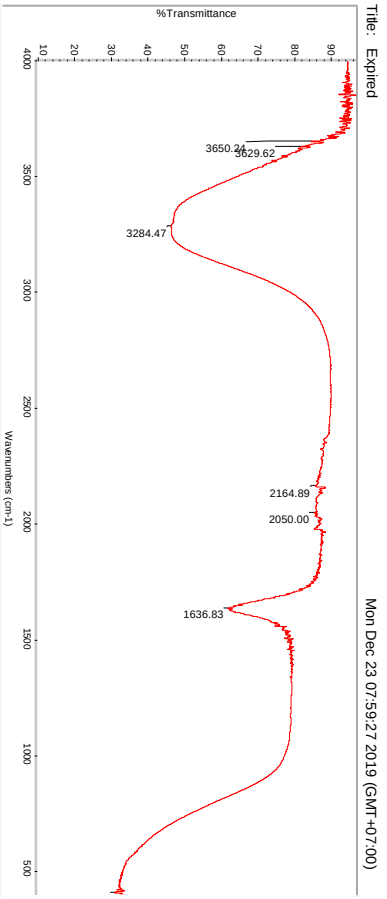
Collection time: Mon Dec 23 07:55:07 2019 (GMT+07:00)
Mon Dec 23 07:56:05 2019 (GMT+07:00)
FIND PEAKS:
Spectrum: Normal
Region: 4000.00 400.00
Absolute threshold: 85.587
Sensitivity: 50
Peak list:

Position:	417.81	Intensity:	26.084
Position:	1490.97	Intensity:	78.947
Position:	1637.00	Intensity:	60.779
Position:	2050.15	Intensity:	85.069
Position:	2165.46	Intensity:	85.353
Position:	3266.07	Intensity:	43.808
Position:	3629.66	Intensity:	79.031
Position:	3650.53	Intensity:	81.557

Spectrum: Normal
Region: 3485.26-455.13
Search type: Correlation
Hit list:

Index	Match	Compound name	Library
621	50.74	Water, deuterium-depleted	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
2457	50.74	N,N'-Hexamethylenebis(tributylammonium h ydroxide), 20 wt. % solution in water	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
17917	46.75	Poly(ethyleneimine, epichlorohydrin modifi ed), 17 wt. % solution in water	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
17849	46.42	Poly(1,1-dimethyl-3,5-dimethylenepiperid inium chloride), 20 wt. % solution in wat	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
2947	43.75	2-Hydroxyhexadecanal, 25 wt. % solution i n water	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
19	40.41	LSD TARTRATE IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
2386	37.05	Triethylmethylammonium hydroxide, 20 wt. % solution in water	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
19	35.18	BUTYRAMIDE	Aldrich Condensed Phase Sample Library
113	35.09	OPIUM POWDER IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
2943	34.20	Glyoxal, 40 wt. % solution in water	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

5. Hasil FTIR Baja ASTM A106 Grade B Dengan Inhibitor Thiamphenicol *Expired*



Collection time: Mon Dec 23 07:57:55 2019 (GMT+07:00)
Mon Dec 23 07:59:03 2019 (GMT+07:00)
FIND_PEAKS:
Spectrum: Expired
Region: 4000.00 400.00
Absolute threshold: 85.643
Sensitivity: 50
Peak list:

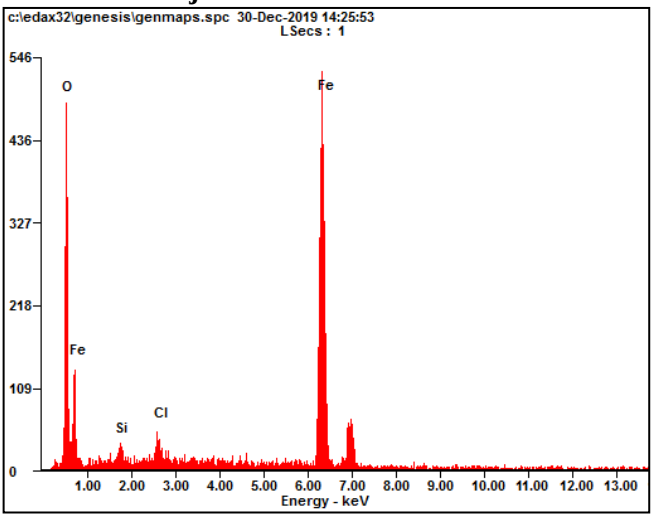
Position:	409.97	Intensity:	30.608			
Position:	1636.83	Intensity:	61.443			
Position:	2050.00	Intensity:	84.998			
Position:	2164.89	Intensity:	85.223			
Position:	3284.47	Intensity:	45.898			
Position:	3629.62	Intensity:	81.414			
Position:	3650.24	Intensity:	84.041			

Spectrum: Expired
Region: 3496.26-455.13
Search type: Correlation

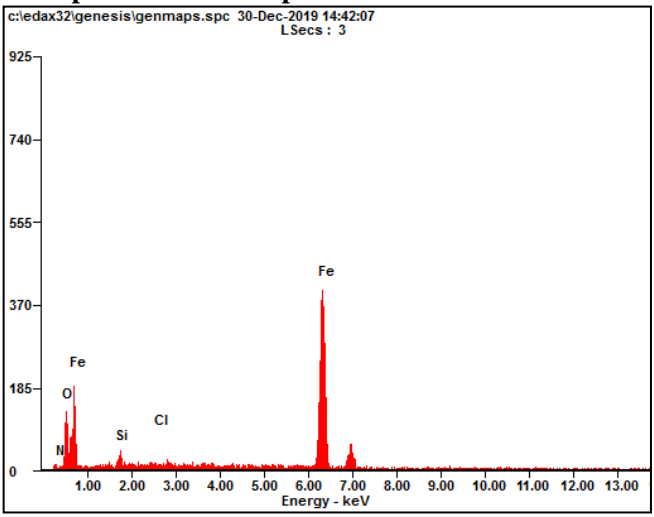
Hit List: Index	Match	Compound name	Library
621	55.83	Water, deuterium-depleted	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
2457	54.14	N,N-Hexamethylenebis(tributylammonium h ydroxide), 20 wt. % solution in water	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
17917	50.44	Polyethylenimine, epichlorohydrin modifi ed, 17 wt. % solution in water	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
17849	49.74	Poly(1,1-dimeth yl-3,5-dimeth ylenepiperidi nium chloride), 20 wt. % solution in wat	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
2947	47.07	2-Hydroxyhexanedial, 25 wt. % solution i n water	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
19	41.89	LSD TARTRATE IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
2386	40.31	Triethylmethylammonium hydroxide, 20 wt. % solution in water	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
2943	37.48	Glyoxal, 40 wt. % solution in water	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
1770	37.20	3-Aminoheptane, tech., 70%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
705	36.53	N-(2-ETHOXYPHENYL)-N'-(2-ETHYLPHENYL)-ETH ANEDIAMIDE	HR Nicolet Sampler Library

LAMPIRAN E

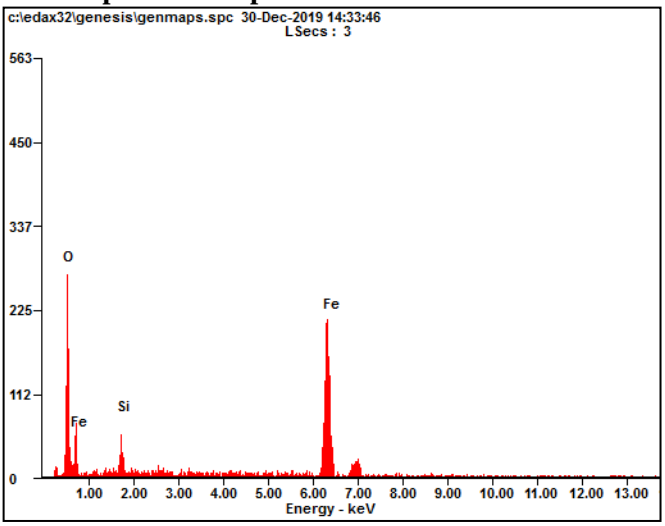
1. Hasil EDX Baja ASTM A106 Blanko



2. Hasil EDX Baja ASTM A106 Dengan Inhibitor Thiaphenicol Non-Expired



3. Hasil EDX Baja ASTM A106 Dengan Inhibitor Thiamphenicol Expired



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis merasa bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Menyadari penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Terimakasih kepada Allah SWT yang memberikan pertolongan dan rahmat-Nya setiap waktu sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Orang tua tercinta yaitu Bapak Lolox dan Ibu Ismiyanah yang selalu memberikan bantuan material, moral, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancer.
3. Syaiful Achmad Irwan selaku saudara penulis, yang mana doa dan dukungannya menjadikan kekuatan bagi penulis.
4. Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta S.T., M.Sc selaku Koordinator Tugas Akhir.
6. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah menuangkan ilmu, waktu dan bimbingan kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir
7. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing 2 yang selalu sabar dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan tugas akhir.
8. Haniffudin Nurdiansah S.T., M.T. selaku Dosen Wali yang membantu penulis dalam menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi.

9. Seluruh Dosen dan Tenaga Pendidik di Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
10. Angkatan MT18 yang menemani penulis dalam suka duka masa perkuliahan dari tahun pertama hingga tahun terakhir.
11. Bayu, Azmi, Maul, Septi, Amel, Reni, Alfi, Mbak Ichi, Muchlis, Ucup dan teman-teman Magelang lain yang selalu mengisi hari-hari dengan canda tawa serta mendukung penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
12. Azizah yang sudah banyak direpoti serta menjadi salah satu penyumbang ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
13. Danang, Haris, Anip, Novita, Pina, Sasmito, Ilmi yang sudah memberikan semangat dari jauh.
14. Farros, Daniel, Amri, Riyan, Epong dan teman-teman Matrice Futsal Club yang sudah menghibur dengan olahraga yang menyehatkan.
15. Gatra, Hibat, Rafdi, Nail, Anyun, Salma dan teman-teman Material Badminton Club yang membantu penulis untuk menyegarkan pikiran lewat olahraganya.
16. Satrio, Ghozi, Marco, Dayyan dan teman-teman Ash-Haabul Kahfi lain yang selalu memberikan wejangan keagamaannya.
17. Akhlis selaku teman kamar sebelah yang sangat peduli ke penulis dan sebagai penyedia cemilan yang gratis tentunya.
18. Siti Solekhah selaku partner tugas akhir yang selalu memberikan dukungan, bantuan ilmu dan baceman laporan sangat membantu penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
19. Oneng, Fajar Naufal, Nanda, dan Arif yang telah membagi ilmu, menemani, dan berjuang bersama di Laboratorium Korosi dan Pengendalian.
20. Fungsio dan Staff Departemen Hublu 19/20 yang menemani dengan candaanya.
21. Fungsio dan Staff Perekonomian PM3I yang telah menyemangati penulis untuk segera wisuda dan mencari uang.

22. Teman-teman Laboratorium Ekstraksi yang telah menemani jam malam penulis menjadi bermanfaat.
23. Serta seluruh teman-teman dan pihak yang telah membantu penulis dan memberikan semangat.

Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua yang membutuhkan.

Surabaya, Januari 2020
Penulis

Fajar Aditya
NRP 02511540000048

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Fajar Aditya, dilahirkan di Magelang pada 15 November 1997 dari bapak Lolox dan Ibu Ismiyanah. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dengan kakak bernama Syaiful Achmad Irwan. Penulis telah menamatkan pendidikan dasar di SDN Salaman 3, pendidikan menengah di SMP Negeri 1 Salaman dan SMA Negeri 1 Kota Magelang. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri. Selama berkuliah, penulis aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan organisasi seperti pada Departemen Hubungan Luar HMMT FTI-ITS. Selain itu, penulis juga mengembangkan bakatnya dalam Unit Kegiatan Mahasiswa Sepakbola dan Bulutangkis serta aktif dalam Perhimpunan Mahasiswa Metalurgi dan Material se-Indonesia. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kepanitian pada event – event di kampus seperti GERIGI ITS dan Kompetisi Futsal PM3I Se-Indonesia. Penulis juga aktif dalam mengikut berbagai pelatihan yang diselenggarakan di kampus, seperti pelatihan kepemimpinan, pelatihan jurnalistik, pelatihan wirausaha. Penulis juga pernah menjalani program On Job Training pada bulan Juli 2019 – Agustus 2019 di PT. Universal Tekno Reksajaya (UTR) dan mendapatkan topik mengenai pengelasan. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email faditya68@gmail.com atau no handphone 0822468884545.