

**KARAKTERISTIK KITOSAN SEBAGAI COATING DAN INHIBITOR
ASAM KLOORIDA (HCl) TERHADAP LAJU KOROSI PADA BESI ASTM
A36**

TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN
MINAT MATERIAL MANUFAKTUR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh Gelar Magister Teknik



**SYARIF HIDAYATULLAH
176060200111014**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019**



TESIS

**KARAKTERISTIK KITOSAN SEBAGAI *COATING* DAN INHIBITOR ASAM
KLORIDA (HCl) TERHADAP LAJU KOROSI PADA BESI ASTM A36**

Oleh:

SYARIF HIDAYATULLAH
NIM. 176060200111014

Telah dipertahankan didepan penguji
Pada tanggal 14 November 2019
Dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Magister Teknik Mesin

Komisi Pembimbing,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr. Femiana Gapsari M.F, ST., MT.

Dr. Putu Hadi Setyarini, ST., MT.

Malang, 04 DEC 2019

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin
Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin



Dr. Eng. Lilis Yuliati, S.T., M.T.
NIP. 197507022000032001

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 14 November 2019

Mahasiswa,



Nama : Syarif Hidayatullah

NIM : 176060200111014

TURNITIN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM MAGISTER



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 1407/UN10.F07.12.21/PP/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :

SYARIF HIDAYATULLAH

Dengan Judul Tesis :

**KARAKTERISTIK KITOSAN SEBAGAI COATING DAN INHIBITOR
ASAM KLORIDA (HCl) TERHADAP LAJU KOROSI PADA BESI ASTM A36**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

29 November 2019

Ketua Program Studi S2 Teknik Mesin

Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST., MT
NIP. 19750702 200003 2 001



Ir. Djafrot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Jurusan Teknik Mesin





Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan



PERSEMBAHAN

KARYA TESIS INI SAYA PERSEMBAHKAN KEPADA
IBUNDA DAN AYAHANDA TERCINTA
SERTA SEMUA PIHAK YANG TELAH MEMBANTU DALAM TERSELESAIKANNYA
TESIS INI





Halaman ini sengaja dikosongkan

JUDUL TESIS:

**KARAKTERISTIK KITOSAN SEBAGAI COATING DAN INHIBITOR
ASAM KLOORIDA (HCl) TERHADAP LAJU KOROSI PADA BESI ASTM
A36**

Nama Mahasiswa : Syarif Hidayatullah

Nim : 176060200111014

Program Studi : Teknik Mesin

Mimat : Material Manufaktur

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Dr. Femiana Gapsari, S.T., M.T.

Anggota : Dr. Putu Hadi Setyarini, S.T., M.T.

TIM PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, S.T., M.Eng.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, M.T.

Tanggal Ujian :

SK. Penguji :





Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Syarif Hidayatullah merupakan anak kedua dari 2 bersaudara yang lahir di Lombok Timur pada tanggal 4 september 1992. Pendidikan dasar hingga sekolah menengah atas ditempuh di kabupaten Lombok Timur. Pendidikan sekolah dasar ditempuh di SDN 4 Masbagik Timur dan lulus pada tahun 2004. Penulis Kemudian melanjutkan pendidikan ke SMPN 3 Masbagik, yang lulus tahun 2007. Sekolah Menengah Atas dilanjutkan di SMAN 1 Sukamulia diselesaikan pada tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram pada tahun 2010 dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan ke program Magister Teknik Mesin Universitas Brawijaya, penulis menyelesaikan program magister dengan mengambil tugas akhir Tesis bidang korosi pada besi ASTM A36 dengan kitosan dari limbah sisik ikan dibawah bimbingan ibu Dr. Femiana Gapsari, S.T., M.T. dan ibu Dr. Putu Hadi Setyarini, S.T., M.T.

Malang, 2019

Penulis,

Syarif Hidayatullah



Halaman ini sengaja dikosongkan

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Penyayang atas segala berkat, bimbingan, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dorongan baik moril maupun materil dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya terutama kepada :

1. Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa. Atas nikmat yang telah diberikan kepada kita semua, terutama nikmat Agama Islam dan kesehatan.
2. Nabi Muhammad SAW. Yang telah menuntun kita menuju jalan yang di ridhai oleh-Nya.
3. Kedua orang tua dan keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Ibu Dr. Femiana Gapsari, S.T., M.T. selaku dosen peembimbing pertama atas ilmu, waktu dan tempat penelitian yang selalu diberikan dalam penulisan tesis ini sampai selesai.
5. Ibu Dr. Putu Hadi Setyarini, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua atas masukan terhadap materi tesis dan semangat dalam penyelesaian tesis ini
6. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji atas saran dan masukan untuk perbaikan tesis ini.
7. Bapak Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, M.T. selaku dosen penguji dua atas saran dan masukan untuk perbaikan tesis ini.
8. Ibu Dr. Eng. Lilis Yuliati, S.T., M.T. selaku ketua program studi magister teknik mesin Universitas Brawijaya.
9. Seluruh dosen, staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
10. Teman-teman seperjuangan angkatan 2017.
11. Teman-teman di Jurusan Teknik Mesin.
12. Teman-teman yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini baik berupa moril, materil maupun spiritual.

Semoga semua amal kebaikan yang telah diberikan akan dicatat dan dibalas berlipat ganda oleh Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa.

Mengingat keterbatasan penulis, penulis mengharapkan segala kritik dan saran demi kesempurnaan penelitian ini. Akhir kata semoga tidaklah terlampau berlebihan, bila penulis berharap agar karya ini dapat bermanfaat bagi pembaca.



Malang, 2019

Penulis



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat, berkah dan hidayahNya sehingga karya Tesis dengan judul “ Karakteristik Kitosan Sebagai *Coating* Dan Inhibitor pada Asam Klorida (HCl) Terhadap Laju Korosi Pada Besi Astm A36.” ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Tesis ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik Mesin di Universitas Brawijaya, sehingga penulis berharap karya tesis ini dapat memberikan manfaat dan menjadi tambahan sumber ilmu pengetahuan serta pengembangan penelitian tentang kitosan organik, pelapisan secara elektrodeposisi dan inhibitor korosi serta perilaku korosi pada besi ASTM A36.

Tidak lupa saya sampaikan banyak terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam keberhasilan penyusunan tesis ini. Penulis sangat menyadari bahwa masih ada banyak kekurangan dalam tesis ini baik dari segi bahasa, penulisan maupun isi. Untuk itu, penulis sangat berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari para pembaca agar tesis ini menjadi lebih baik lagi. Terimakasih.

Penulis,

Syarif Hidayatullah.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Judul	Halaman
HALAMAN SAMPEL	
LEMBAR PENGESAHAN	
PERNYATAAN ORIGINAL TESIS	
PERSEMBAHAN	
LEMBAR IDENTITAS PENGUJI TESIS	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
UCAPAN TERIMA KASIH	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR LAMPIRAN	
RINGKASAN	
SUMMARY	
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	7
2.2 Korosi	8
2.2.1 Pengertian Korosi	8
2.2.2 Fenomena Korosi	9
2.2.3 Kinetika Proses Korosif	11
2.2.4 Termodinamika dari Korosi	12

2.2.5 Kecepatan Terjadinya korosi.....	13
2.2.6 Adapun Sebab-Sebab Terjadinya Korosif Logam.....	14
2.2.7 Effect Konsentrasi HCl pada Laju Korosif.....	15
2.3 Metode <i>Coating</i>	16
2.3.1 Pengertian Pelapisan (<i>Coating</i>)	16
2.3.2 Metode – Metode <i>Coating</i>	16
2.3.2.1 <i>Painting</i> /Cat.....	16
2.3.2.2 <i>Powder Coating</i> / Pelapisan Bubuk.....	16
2.3.2.3 Elektroforesis.....	17
2.4 Kitosan Sebagai Pelapis	18
2.5 Perbandingan Kitosan Standar dengan Kitosan Kulit Udang dan Kitosan Sisik Ikan.....	20
2.6 Perlindungan Korosi Metode <i>Coating Organic</i> (pelapisan organik) dan Inhibitor Organik.....	21
2.6.1 <i>Coating Organic</i> (pelapisan organik)	21
2.6.1.1 Pengertian <i>Coating Organic</i> (pelapisan organik)	21
2.6.1.2 Cara Kerja Perlindungan dengan Pelapisan Organik	22
2.6.1.3 <i>Electrophoretic Deposition</i>	22
2.6.1.4 Mekanisme Elektroforesis Deposition (EPD).....	23
2.6.2 Inhibitor Organik	24
2.6.2.1 Pengertian Inhibitor Organik	24
2.7 Adsorpsi.....	25
2.8. Pembuktian Adanya Mekanisme <i>Coating</i> dan Adsorpsi Pada Permukaan Logam Dengan Kitosan.....	27
2.8.1. Proses <i>Coating</i>	27
2.8.2. Proses Adsorpsi.....	28
2.9 Spektrofotometri FTIR.....	29
2.10 Pengukuran Laju Korosi.....	32
2.10.1 Pengukuran Dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik	32
2.10.2 Pengukuran Laju Korosi Dengan Metode <i>Electroscopy</i> <i>Impedance Spectroscopy</i> (EIS) atau Spektroskopi Impedansi	

Elektrokimia (SIE).....	36
2.11 Kitosan Dari Sisik Ikan Nila	38
2.11.1 Proses Pembentukan Kitosan Dari Sisik Ikan Nila	39
2.12 Besi ASTM A36	40
BAB III KERANGKA KONSEP	
3.1. Konsep Korosi.....	43
3.2 Perlindungan Logam Dengan Mekanisme <i>Coating</i> dan Adsorpsi (Inhibitor Korosi)	47
3.3 Diagram Kerangka Konsep Penelitian.....	49
3.4 Hipotesis.....	49
BAB IV METODE PENELITIAN	
4.1 Variabel Penelitian.....	51
4.1.1 Variabel Bebas	51
4.1.2 Variabel Terikat	52
4.1.3 Variabel Terkontrol	52
4.2 Tempat Penelitian.....	52
4.3 Diagram Alir Pembuatan Kitosan.....	53
4.4 Diagram Alir Inhibitor	54
4.5 Diagram Alir Pelapisan.....	55
4.6 Alat Dan Bahan	56
4.6.1 Alat Penelitian.....	56
4.6.2 Bahan Penelitian.....	58
4.7 Prosedur Penelitian	59
4.7.1 Proses Pengambilan Sisik Ikan	59
4.7.2 Proses Pembuatan Kitosan Dari Sisik Ikan	59
4.7.3 Preparasi Spesimen Besi ASTM A36	61
4.7.4 Pengujian FTIR serbuk Chitosan sisik ikan dan serbuk korosif besi ASTM A36.....	61
4.7.5 Metode <i>Coating</i> plat Besi ASTM A36 Secara Elektroforesis	61
4.7.6 Inhibitor Korosi.....	62
4.7.7 Metode Uji Laju Korosi.....	62

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakterisasi Gugus Fungsi Kitosan Dengan FTIR.....	65
5.2 Pengujian Elektrokimia Besi ASTM A36.....	72
5.2.1 Pengujian Korosi Pada Spesimen <i>Coating</i>	
5.2.1.1 Pengujian Laju Korosi Besi ASTM A36 Dengan Perlindungan <i>Coating</i> (Elektrodeposisi) Metode Tafel.....	75
5.2.1.2 Pengujian Laju Korosi Besi ASTM A36 Dengan Perlindungan <i>Coating</i> (Elektrodeposisi) Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	78
5.2.2 Pengujian Korosi Pada Spesimen Dengan Inhibitor Korosi.....	81
5.2.2.1 Pengujian Laju Korosi Besi ASTM A36 Dengan Penambahan Inhibitor Korosi Dari Sisik Ikan Menggunakan Metode Tafel.....	81
5.2.2.2 Pengujian Laju Korosi Besi ASTM A36 Dengan Penambahan Inhibitor Korosi Dari Sisik Ikan Menggunakan Metode EIS.....	84
5.4 Pengaruh Perbedaan Temperatur Terhadap Nilai Laju Korosi Besi ASTM A36.....	88
5.4.1 Laju Korosi Besi ASTM A36 Pada Temperatur Yang Berbeda Tanpa Penambahan Inhibitor.....	88
5.4.2 Laju Korosi Besi ASTM A36 Pada Temperatur Yang Berbeda Dengan Penambahan Inhibitor Konsentrasi 4000 ppm (Konsentrasi Optimum)....	90
5.5. Beberapa Parameter Termodinamika Dan Kinetika Korosi.....	93
5.6. Adsorpsi Isothermal Pada Permukaan Besi ASTM A36 Dengan Inhibitor Korosi Kitosan Sisik Ikan.....	94
5.7. Mekanisme Penghambatan Laju Korosi Pada Besi ASTM A36 dengan Inhibitor Korosi Menggunakan Kitosan Sisik Ikan.....	99
5.8. Perbandingan Perlindungan Metode Pelapisan Elektrodeposisi Dengan Inhibitor Korosi Spesimen Besi ASTM A36 Menggunakan Kitosan Sisik Ikan.....	102

5.9. Hasil Poto SEM Dari Serbuk Kitosan Pada Permukaan Besi ASTM A36 104

5.10 Pengujian FTIR Sampel Besi ASTM A36 Dengan Variasi Perendaman Pada
Inhibitor Sisik Ikan 105

5.11. Hasil Impedansi FTIR dari Serbuk Kitosan dan Sebuk Logam 107

BAB VI KESIMPULAN dan SARAN

6.1 Kesimpulan 109

6.2 Saran 110

DAFTAR PUSTAKA 111



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
	Tabel 2.1 Perbandingan Gugus Fungsi Yang Terdapat Pada Kitosan Standar Dengan Kitosan Kulit Udang Dan Kitosan Sisik Ikan	20
	Tabel 2.2 Pembagian Sinar Didasarkan Panjang Gelombang	30
	Tabel 2.3 Gugus Fungsi Spesifik Dalam Bilangan Gelombang Tertentu Pada Pengujian FTIR	32
	Tabel 2.4 Serapan FTIR Karakteristik Dari Kitosan Sisik Ikan	39
	Tabel 2.5 Spesifikasi Besi ASTM A36	40
	Tabel 5.1 Spektrum Serapan Yang Terdapat Pada Serbuk Sisik Ikan	67
	Tabel 5.2 Spektrum Serapan Yang Terdapat Pada Serbuk Sisik Ikan Dan Kitin	69
	Tabel 5.3 Data Hasil Pengujian FTIR Dari Kitin dan Kitosan	71
	Tabel 5.4 Beberapa Data Parameter Korosi Dari <i>Coating</i> Besi ASTM A36 Dengan Variasi Waktu Elektrodeposisi Hasil Ekstrapolasi Tafel	76
	Tabel 5.5 Hasil Fitting Data EIS Dari Besi ASTM A36 Dengan Variasi Waktu Pelapisan Secara Elektrodeposisi Kitosan Sisik Ikan	79
	Tabel 5.6 Beberapa Data Parameter Korosi Dari Inhibitor Pada Besi ASTM A36 Dengan Variasi Jumlah Ppm Inhibitor Korosi Hasil Ekstrapolasi Tafel	83
	Tabel 5.7 Hasil Fitting Data EIS Dari Besi ASTM A36 Dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor Dari Kitosan Sisik Ikan	86
	Tabel 5.8 Parameter Korosi Besi ASTM A36 Dalam Variasi Temperatur Pengujian Tanpa Penambahan Inhibitor	90
	Tabel 5.9 Parameter Korosi Besi ASTM A36 Dalam Variasi Temperatur Pengujian Dengan Inhibitor 4000 ppm	92
	Tabel 5.10 Nilai Parameter-Parameter Termodinamika Dan Kinetika Korosi Pada Besi ASTM A36 Dengan Inhibitor Sisik Ikan	94
	Tabel 5.11 Parameter-Parameter Persamaan Langmuir	96

Tabel 5.12 Parameter-Parameter Persamaan Freundlich 97
Tabel 5.13 Nilai Isoterm Adsorpsi pada Besi ASTM A36 dengan Kitosan Sisik Ikan 99
Tabel 5.14 Data FTIR Variasi Perendaman Besi ASTM A36 106
Tabel 5.15 Data FTIR Kitosan Sisik Ikan Dengan Serbuk Besi ASTM A36 108



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
	Gambar 2.1 Syarat Terjadinya Reaksi Korosi	10
	Gambar 2.2 Diagram Pourbaix	13
	Gambar 2.3 Pengaruh Konsentrasi NaCl Terhadap Laju Korosi.....	15
	Gambar 2.4 Ilustrasi Proses Elektroforesis	18
	Gambar 2.5 Struktur Kitosan	18
	Gambar 2.6 Skema Pelapisan Logam Dengan Mekanisme <i>Electrophoretic Deposition</i> (EPD).....	23
	Gambar 2.7 Diagram Polarisasi Potentistatik Teoritis: Perilaku Elektrokimia Sebuah Logam Pada Sebuah Larutan Yang Berisi Inhibitor Katodik dan Anodik	24
	Gambar 2.8 Mekanisme Pergerakan Dari Inhibitor Organik, Ketika Terjadi Proses Adsorpsi Oleh Permukaan Logam dan Membentuk Film Pelindung.....	25
	Gambar 2.9 Proses Adsorpsi Pada Permukaan Logam	28
	Gambar 2.10. Skema Alat Spektroskopi FT-IR	31
	Gambar 2.11 Ekstrapolasi Tafel.....	34
	Gambar 2.12 Sirkuit Impedansi Elektrokimia Nyquist Plot Dengan Radius $R_p/2$	37
	Gambar 2.13 Skema Sirkuit Elektrokimia	37
	Gambar 2.14 Hasil Eksperimen Plot Nyquist Baja AISI 1030 Dalam Larutan 35% H_3PO_4 + 6% Butanol Pada Temperatur Ruangan.....	38
	Gambar 2.15 Proses Penghilangan Gugus Asetamida Dengan NaOH Menjadi Gugus Amina	40
	Gambar 2.16 Klasifikasi Baja Karbon Berdasarkan Komposisi Kimia	40
	Gambar 3.1 Proses Terjadinya Korosi Pada Logam	44
	Gambar 3.2 Struktur Kimia Dari Kitosan	45
	Gambar 3.3 Merupakan Beberapa Metode Pencegahan Korosi	46
	Gambar 3.4 Kerangka Konsep Penelitian	49
	Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian.....	53
	Gambar 4.2 Diagram Alir Inhibitor.....	54

Gambar 4.3 Diagram Alir Pelapisan.....	55
Gambar 4.4 Autolab Metrohm Tipe Auto84948	56
Gambar 4.5 Blender	56
Gambar 4.6 Proses Pengovenan Sisik Ikan	57
Gambar 4.7 Timbangan Digital	57
Gambar 4.8 Serbuk Kitosan.....	58
Gambar 4.9 Plat Besi ASTM A36	58
Gambar 4.10 NaOH	59
Gambar 4.11 Kitin Dari Sisik Ikan	60
Gambar 4.12 Kitosan Dari Sisik Ikan	60
Gambar 4.13 Proses <i>Coating</i> plat besi astm a36 secara electroforesis	62
Gambar 4.14 Spektrum impedansi dari pengujian dengan metode EIS.....	63
Gambar 4.15 Grafik tafel dari pengujian polarisasi potensiodinamik	63
Gambar 5.1 Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared Spectrum</i> Serbuk Sisik Ikan	66
Gambar 5.2 Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared Spectrum</i> Serbuk Sisik Ikan dan Citin	68
Gambar 5.3 hasil pengujian <i>Fourier Transform Infrared Spectrum</i> citin dan kitosan	70
Gambar 5.4 Spesimen Besi ASTM A36 Sebelum Pelapisan	72
Gambar 5.5 Spesimen Besi ASTM A36 Dengan Variasi Waktu Pelapisan Elektrodeposisi.....	73
Gambar 5.6 foto SEM spesimen besi ASTM A36 dengan variasi waktu pelapisan Elektrodeposisi.....	73
Gambar 5.7 Kurva Polarisasi Hubungan E dan i Dengan Variasi Waktu <i>Coating</i>	75
Gambar 5.8 Hasil Plot Nyquist Dari Besi ASTM A36 Dengan Variasi Waktu Pelapisan Secara Elektrodeposisi	79
Gambar 5.9 Model Sirkuit Fitting EIS Dari Besi ASTM A36 Dengan Pelapisan Elektrodeposisi.....	80
Gambar 5.10 Kurva Polarisasi Hubungan E dan i Dengan Variasi Penambahan Jumlah ppm Inhibitor Korosi Sisik Ikan Pada Pengujian Korosi Besi ASTM A36	82
Gambar 5.11 Hasil Plot Nyquist Dari Besi ASTM A36 Dengan Variasi Penambahan Inhibitor Korosi.....	84

Gambar 5.12 Model Sirkuit Fitting EIS dari Besi ASTM A36 Dengan Inhibitor Korosi.....	85
Gambar 5.13 <i>Morphology</i> Besi ASTM A36.....	87
Gambar 5.14 Kurva Polarisasi Hubungan E dan i Dengan Variasi Temperatur Pengujian Korosi Besi ASTM A36 Tanpa Penambahan Inhibitor.....	89
Gambar 5.15 Kurva Polarisasi Hubungan E Dan I Dengan Variasi Temperatur Pengujian Korosi Besi ASTM A36 Dengan Penambahan Inhibitor Konsentrasi 4000 ppm.....	91
Gambar 5.16 Laju Korosi Pada Variasi Temperatur Pengujian.....	93
Gambar 5.17 Ilustrasi Penyerapan Berdasarkan Persamaan Langmuir.....	95
Gambar 5.18 Adsorpsi Isothermal Langmuir Pada Permukaan Besi ASTM A36 Dengan Kitosan Sisik Ikan Pada Media HCl.....	96
Gambar 5.19 Adsorpsi Isothermal Freundlich Pada Permukaan Besi ASTM A36 Dengan Kitosan Sisik Ikan Pada Media HCl 1 M	98
Gambar 5.20 Mekanisme Penghambatan Korosi Pada Besi ASTM A36 Dengan Inhibitor Kitosan Sisik Ikan	101
Gambar 5.21 Perbandingan Efisiensi Perlindungan Antara Pelapisan Elektrodeposisi Kitosan Dengan Inhibitor Korosi Kitosan Sisik Ikan.....	102
Gambar 5.22 <i>Morphology</i> Besi, Kitosan Sisik Ikan, Serbuk Besi Terkorosi Dengan Inhibitor Kitosan Sisik Ikan.....	104
Gambar 5.23 Hasil Uji FTIR Besi ASTM A36 Yang Dilakukan Perendaman Selama 3 Hari, 6 Hari Dan 9 Hari Di Dalam HCl 1M Dengan Inhibitor Kitosan Sisik Ikan... ..	105
Gambar 5.24 Perbandingan Spektrum Serapan yang Terjadi Pada Kitosan Sisik Ikan Dengan Partikel Besi ASTM A36.....	107



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran I.		
Lampiran II.		
Lampiran III.		
Lampiran IV.		
Lampiran V.		





Halaman ini sengaja dikosongkan

RINGKASAN

Syarif Hidayatullah, Karakteristik Kitosan Sebagai *Coating* Dan Inhibitor Asam Klorida (HCl) Terhadap Laju Korosi Pada Besi ASTM A36. Dosen pembimbing: Dr. Femiana Gapsari, S.T., M.T. dan Dr. Putu Hadi Setyarini, S.T., M.T.

Reaksi logam secara kimia maupun elektrokimia dengan media korosi untuk membentuk gabungan stabil yang dapat menyebabkan kerusakan pada logam. korosi merupakan salah satu penyakit pada material yang dapat mengurangi *yield strength*, *ultimate strength*, *ductility*, serta dapat menimbulkan kerugian keuangan yang besar sekali, pemborosan sumber daya alam dan membahayakan keamanan. Oleh karena itu korosi harus bisa diperlambat atau bahkan dihentikan. Pengendalian laju korosi dapat dilakukan dengan metode pelapisan ataupun inhibitor korosi. Penggunaan pelapisan dan inhibitor berbahan anorganik atau sintesis memiliki dampak negatif dalam kehidupan seperti beracun dan harga yang mahal. Oleh karena itu perlu pemanfaatan bahan-bahan organik seperti limbah sisik ikan, karena memiliki potensi sebagai pengganti bahan pelapis atau inhibitor sintesis untuk perlindungan korosi. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi mekanisme pelapisan dengan elektroforesis dan inhibitor korosi kitosan dari sisik ikan sebagai penghambat laju korosi pada material besi ASTM A36.

Pada penelitian ini logam uji yang digunakan besi ASTM A36 dengan ketebalan 3 mm dan serbuk sisik ikan dijadikan kitosan melalui tiga proses yaitu proses deproteinasi (perendaman NaOH 7%), demineralisasi (perendaman HCl 1 M dalam 100 ml) dan proses deasetilasi (perendaman NaOH konsentrasi tinggi yaitu 70%). Perlindungan korosi dilakukan dengan dua metode yaitu metode pelapisan dan metode inhibisi. Proses pelapisan spesimen uji dengan kitosan dilakukan menggunakan metode elektrodposisi dengan arus dan tegangan masing-masing sebesar 1.5 A dan 15 volt. Variasi waktu pelapisan spesimen uji terdiri dari 10, 20, 30, 40 dan 50 menit. Sedangkan untuk perlindungan metode inhibisi digunakan variasi konsentrasi inhibitor mulai dari 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, 5000 ppm dan 6000 ppm. Untuk masing-masing metode perlindungan korosi, pengamatan laju korosi pada besi ASTM A36 dilakukan dengan pengujian polarisasi (tafel) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).

Hasil penelitian laju korosi pada besi ASTM A36 menunjukkan bahwa lama waktu pelapisan dan jumlah konsentrasi inhibitor dari sisik ikan memberikan pengaruh terhadap laju korosi besi ASTM A36. Semakin lama waktu pelapisan elektrodposisi maka lapisan pelindung korosi yang terbentuk semakin baik, tebal dan rata. Sehingga mampu menghasilkan efektivitas perlindungan yang tinggi juga. Yang mana pelapisan 50 menit menghasilkan efisiensi perlindungan yang paling besar yaitu sebesar 41,152 % dibandingkan dengan lama waktu pelapisan 10, 20, 30, dan 40 menit dengan masing-masing berturut-turut sebesar 37.013 %, 7.243 %, 11.295 % dan 26.373 %. Sedangkan pada perlindungan korosi metode inhibisi nilai efektivitas perlindungan mengalami peningkatan mulai dari 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm dan 4000 ppm dengan nilai efektivitas masing-masing berturut-turut 46,449 %, 56,386 %, 59,691% dan 72,630 % kemudian mengalami penurunan kembali pada konsentrasi 5000 ppm dan 6000 ppm dengan nilai efektivitas masing-masing sebesar 67,388 % dan 59,276 %. Hal ini dikarenakan oleh konsentrasi inhibitor yang ditambahkan melebihi kondisi optimum maka interaksi antar molekul

inhibitor lebih besar dibandingkan dengan interaksi antara inhibitor dengan permukaan logam. Nilai rata-rata efektivitas perlindungan korosi dengan metode inhibisi lebih besar dibandingkan dengan metode pelapisan. Hal ini dikarenakan oleh lapisan perlindungan yang terbentuk pada permukaan logam mengalami kerusakan ketika dicelupkan ke dalam larutan HCl, sehingga efektivitas perlindungan yang dihasilkan kurang optimal.

Kata Kunci: Besi ASTM A36, Kitosan Sisik Ikan, Laju Korosi, Pelapisan Elektrodeposisi, Inhibitor Korosi.



SUMMARY

Syarif Hidayatullah, Characteristics of Chitosan as Coatings and Acid Chloride (HCl) Inhibitors toward Corrosion Rate of ASTM A36 Steel. Supervisors: Dr. Femiana Gapsari, S.T., M.T. and Dr. Putu Hadi Setyarini, S.T., M.T.

The chemical and electrochemical reactions of metals with corrosion media form chemically-stable compounds that can cause damage to the metal. Corrosion is the deterioration of metal that can reduce its yield strength, ultimate strength, ductility, and can cause large financial losses, waste of natural resources and endanger the security. The corrosion rate should be slowed, or if possible, stopped. The inhibition of corrosion rate can be done by implementing the coating method. The use of coatings and inhibitors made from inorganic or synthesis materials has some negative effects, such as resulting in a toxic metal that can be harmful to human, and expensive costs. Therefore, alternatives by using organic materials are needed, such as fish scales waste as it has the potential for coating or synthesis inhibitors for corrosion protection. This study aimed to investigate the effectiveness of the mechanism of electrophoresis coating and corrosion inhibitor extracted from fish scales toward corrosion rates of ASTM A36 steel.

This study used 3 mm ASTM A36 steel as the test metal and fish scales powder as the chitosan source extracted by using deproteination process (7% NaOH immersion), demineralization (immersion of 1 M HCl in 100 ml) and deacetylation process (high concentration of NaOH 70%). Corrosion protection was done by using two methods, including the coating method and the inhibition method. The coating process using chitosan was carried out by the electrodeposition method with 1.5 A and 15 volts. The variations in coating duration were 10, 20, 30, 40 and 50 minutes. In addition, protection of inhibition methods was carried out by applying variations in the inhibitor concentration, starting from 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, 5000 ppm and 6000 ppm. For each method of corrosion protection, the observation of corrosion rates was carried out by testing the polarization resistance (tafel) and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS).

The results showed that the duration of coating process and inhibitor concentration influenced the corrosion rate of ASTM A36 steel. The longer the process of electrodeposition coating, the better (thicker and flatter) the corrosion protection layer formed, so the steel has high effectiveness of the protective coating. Coatings for 50 minutes produced the greatest protection efficiency (41.152%) compared to the durations of 10, 20, 30, and 40 minutes, in which the efficiencies were 37,013%, 7,243%, 11,295% and 26,373%, respectively. Furthermore, the effectiveness of the protection started to increase from the concentration of 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm until 4000 ppm, with the effectiveness values 46.444%, 56.386%, 59.691% and 72.630%, respectively. The protection effectiveness was then decreased again at the concentration of 5000 ppm and 6000 ppm with the level of 67.388% and 59.276%, respectively. This is because the added concentration of the inhibitor has exceeded the optimum condition, so the interaction between inhibitor molecules was greater than the interaction between the inhibitor and the metal surface. The average level of the effectiveness of corrosion protection with the inhibition method was greater than the coating method. This is due to the protective coating formed on the metal

surface was damaged when dipped into HCl solution, so the effectiveness of the protection became less than optimal.

Keywords: ASTM A36 Steel, Chitosan Fish Scales, Corrosion Rate, Electrodeposition Coating, Corrosion Inhibitor.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbagai industri sangat tergantung pada penggunaan dari berbagai macam logam maupun paduan (Al-Otobi, *et al.*, 2012). Salah satunya yaitu material besi dan baja, pembangunan-pembangunan infrastruktur seperti jembatan, industri otomotif (mobil, kapal, kereta api, alat-alat perang dan persenjataan serta perkakas lainnya). (Afandi, dkk, 2015). Besi ASTM A36 merupakan jenis bahan logam besi yang sangat umum diaplikasikan pada berbagai aplikasi industri struktur dan peralatan/ perlengkapan lainnya, dikarenakan harganya relatif murah dan sifat tarik yang baik (Verma, *et al.*, 2017). Afandi, (2015) mengungkapkan bahwa besi ASTM A36 merupakan material logam dengan sifat ketangguhan dan keuletan yang luar biasa akan tetapi relatif lunak dan memiliki sifat mudah tempa, proses permesinan mudah serta sifat mampu las yang baik.

Penggunaan yang begitu luas sering kali dihadapkan dengan permasalahan besar yang berdampak pada kegagalan struktur, korosi merupakan salah satu penyakit pada material yang dapat mengurangi *yield strength*, *ultimate strength*, dan *ductility* (Li, *et al.*, 2018). Disamping itu korosi dapat menimbulkan kerugian keuangan yang besar sekali, pemborosan sumber daya alam dan banyak menyebabkan kerugian lainnya (Trethewey & Chamberlain 1991). Reaksi logam murni dan paduan secara kimia maupun elektrokimia dengan media korosi untuk membentuk gabungan stabil yang dapat menyebabkan kerusakan pada logam. Korosi pada cairan aktif merupakan perpindahan ion logam ke dalam area cairan aktif (anoda) dan lewatnya elektron dari logam ke penerima ion (*acceptor*) pada area yang kurang aktif (katoda) serta arus atau aliran ion pada cairan dan arus/aliran elektron pada logam (Umoren, *et al.*, 2011).

Atas alasan keamanan, dampak lingkungan dan ekonomi proses korosi harus bisa ditahan, diperlambat atau bahkan dihentikan pada reaksi anoda dengan katoda atau bahkan keduanya (Raja & Sethuraman, 2009). Saat ini berbagai cara atau metode yang dilakukan untuk memperlambat laju korosi pada logam, salah satunya yaitu dengan metode pelapisan (*coating*) (Pozzo, *et al.* 2018) dan inhibitor korosi (Wardani, 2014).

Penelitian mengenai penggunaan kitosan sebagai bahan pelapis organik yang ramah lingkungan telah dilakukan oleh Gebhardt dkk (2012) pada *stainless steel* AISI 316 L yang

menunjukkan bahwa pelapisan dengan kitosan memberikan banyak keuntungan diantaranya mampu mencegah terjadinya proses *pitting* atau korosi sumur serta menurunkan nilai potensial korosi dan densitas arus korosi. *Stainless steel* yang tidak terlapis kitosan memiliki i_{corr} sebesar $1,03 \times 10^{-7}$ A/cm², sedangkan *stainless steel* yang terlapis kitosan mampu menurunkan nilai i_{corr} menjadi $5,6 \times 10^{-8}$ A/cm². Metode pelapisan yang digunakan oleh (Gebhardt dkk, 2012) yaitu dengan metode elektroforesis.

Penelitian lain mengenai penggunaan kitosan sebagai pelapis telah dilakukan oleh Carneiro, *et al.*, (2013) yaitu dengan memodifikasi struktur kitosan dengan campuran epoxy dan vanadate yang diaplikasikan pada paduan Aluminium 2024 T3, dimana kitosan mengandung gugus hidroksil dan amina yang sangat reaktif dan dapat membentuk kompleks dengan ion logam pada permukaan Aluminium. Penelitiannya menunjukkan bahwa hasil dari uji EIS pada sampel terlapis kitosan termodifikasi memiliki daya tahan korosi yang lebih baik dengan nilai impedansi yang paling tinggi daripada sampel yang tidak terlapis. Penelitian lain yang memanfaatkan biopolimer alami kitosan sebagai bahan pelapis anti korosi dilakukan oleh Mehdipour dkk (2012). Mehdipour menggunakan metode pelapisan yang sama dengan Gebhardt dkk (2012) yaitu metode elektroforesis. Berdasarkan kurva polarisasi dari *stainless steel* 316L terlapis dan tidak terlapis kitosan menunjukkan bahwa pelapisan kitosan pada sampel mampu menurunkan densitas arus korosi hingga 52% yaitu dari $6,97 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ menjadi $3,3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Pelapisan (*coating*) pada material logam biasanya dilakukan dengan metode elektroforesis. Metode ini banyak digunakan serta metode yang baik sekali untuk produksi berbagai macam variasi keramik, *polymer* dan pelapisan komposit untuk aplikasi biomedis (Gebhardt, *et al.*, 2012). Metode elektroforesis saat ini banyak proses industri menggunakan metode ini dikarenakan beberapa alasan diantaranya biaya yang murah, efektif, peralatan yang digunakan sederhana, serta dapat diaplikasikan untuk semua jenis material (Besra & Liu, 2017).

Sedangkan inhibitor korosi merupakan metode yang sangat populer dalam pengendalian dan pencegahan korosi (Yaro *et al.*, 2013). Dengan pertimbangan efisiensi dari inhibitor yang mengandung struktur atom nitrogen (N), sulfur (p) dan oksigen (O₂) senyawa organik merupakan solusi yang ditawarkan (Umoren *et al.*, 2011)

Pemanfaatan inhibitor organik / alami sebagai media penghambat korosi telah dilakukan pengujian oleh Singh & Kumar (2014) dengan judul penelitian perlindungan

korosi dari *stainless steel* dengan inhibitor organik pada industri phosphate 15% H_2SO_4 hasil penelitian menunjukkan bahwa arus korosif pada material *stainless steel* dengan tanpa inhibitor terjadi peningkatan dibandingkan dengan penggunaan inhibitor korosif serta perlindungan permukaan material *stainless steel* pada temperatur yang berbeda dalam media H_2SO_4 juga cukup efektif dan efisien dalam mengurangi laju korosif material. Al-Otaibi, *et al.*, (2012) juga mengungkapkan bahwa penggunaan kitosan sebagai inhibitor korosi lebih ekonomis & merupakan metode yang cukup mudah dan aman digunakan dalam menurunkan laju atau serangan korosi pada material logam. Media penghambat korosi ada yang berbentuk sintetis dan alami/bersumber dari alam yang mana apabila inhibitor tersebut ditambahkan pada lingkungan maka laju korosi oleh lingkungan terhadap material akan berkurang. Akan tetapi penggunaan senyawa kimia sintetis sebagai inhibitor korosi memiliki dampak terhadap lingkungan dan beracun terhadap lingkungan makhluk hidup manusia dan hewan. Maka sebab itu perlu dilakukan pengembangan bahan penghambat laju korosi yang baru, yang lebih aman terhadap lingkungan, kandungan racun yang rendah serta efisiensi terhadap korosi yang baik.

Dari beberapa hasil penelitian seperti yang dilakukan oleh Gebhardt, *et al.* (2012), dalam penelitiannya kitosan digunakan sebagai media pelapis. Sedangkan Al-Otaibi, *et al.* (2012) dan Yaro, *et al.* (2013) kitosan digunakan sebagai media inhibitor korosi, yang mana penelitian mereka menunjukkan hasil bahwa penggunaan kitosan sebagai pelapis maupun inhibitor korosi mampu menghambat terjadinya korosi pada logam dibandingkan dengan logam tanpa pelapis (*chitosan coating*) dan kitosan inhibitor korosi.

Kitosan merupakan polimer organik yang diproduksi dari proses deasetilisasi-N kitin, dengan potensi sangat baik untuk digunakan sebagai pelapis maupun inhibitor pada logam dikarenakan kitosan kaya akan gugus hidroksil dan amino. Kitosan memiliki sifat yang menarik yaitu antibakteri, tidak mengandung racun, dapat didegradasi secara alami dan biokompatibilitas, (Sharmin, *et al.* 2012). Tumbuh-tumbuhan seperti (*Ly cium shawii*, *Teucrium Oliverianum*, *Ochradenoc Baecatus*, *Anvillea garcinii*, *Cassia Italica*, *Artemisia Sieberi*, *Carthamus Fictorius* dan *Triple urospermum Auriculatum*) dan beberapa cangkang/kulit hewan seperti udang & kepiting merupakan beberapa sumber kitosan yang ramah lingkungan, tidak beracun dan dapat diperbaharui. Konsumsi ikan masyarakat Indonesia yang cukup besar menghasilkan limbah sisik ikan yang tidak di manfaatkan

secara optimal sehingga dalam penelitian ini bertujuan untuk meneliti potensi sisik ikan sebagai kitosan bahan inhibitor penghambat laju korosi.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan metode penghambat laju korosi dengan pelapisan inhibitor korosi dari kitosan dengan tujuan untuk mendapatkan metode yang lebih efektif dalam menghambat laju korosi.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian tentang korosi besi ASTM A36 dengan chitosan sisik ikan ini rumusan permasalahan yang akan diteliti antara lain.

- a. Bagaimana mekanisme pelapisan dengan elektroforesis kitosan dari sisik ikan dalam menghambat laju korosi pada material besi ASTM A36 dalam media HCl 1 M.
- b. Bagaimana mekanisme dan efektifitas perlindungan korosi dengan penambahan konsentrasi inhibitor kitosan sisik ikan pada material besi ASTM A36 dalam media HCl 1 M.
- c. Bagaimana pengaruh temperatur pengujian besi ASTM A36 pada cairan HCl (asam klorida) 1 M dengan 0% dan dengan adanya inhibitor kitosan sisik ikan (konsentrasi optimum) terhadap laju korosi.
- d. Bagaimana perbandingan efektifitas perlindungan korosi pada besi ASTM A36 metode pelapisan elektrodposisi dengan inhibitor dari kitosan sisik ikan.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian tesis ini, terdapat beberapa batasan permasalahan dengan tujuan supaya materi serta analisis dalam tesis ini tidak melebar dari rumusan masalah.

Beberapa batasan masalah yang dimaksud yaitu:

- a. Sisik ikan yang digunakan yaitu sisik ikan nila.
- b. Temperatur pengujian dianggap tidak ada perubahan untuk semua spesimen (kecuali variasi temperatur yang telah ditentukan).
- c. pH larutan uji dianggap seragam.
- d. Kekasaran permukaan spesimen uji dianggap seragam.

1.4 Tujuan Dilakukannya Penelitian

Terdapat empat point penting dilakukannya penelitian ini yaitu:

- a. Untuk memahami mekanisme pelapisan dengan elektroforesis kitosan dari sisik ikan untuk variasi waktu pelapisan dalam menghambat laju korosi pada material besi ASTM A36 dalam media HCl 1 M.
- b. Untuk mengetahui mekanisme dan efektifitas perlindungan korosi dengan variasi konsentrasi penambahan inhibitor kitosan sisik ikan pada material besi ASTM A36 dalam media HCl 1 M.
- c. Untuk mengetahui pengaruh temperatur pengujian besi ASTM A36 dalam larutan HCl 1 M terhadap laju korosi yang terjadi.
- d. Untuk mendapatkan efektifitas perlindungan korosi terbaik pada besi ASTM A36 antara perlindungan metode pelapisan secara EPD dengan penambahan inhibitor kitosan sisik ikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini penting untuk dilakukan serta diharapkan dapat:

- a. Menghasilkan kitosan berbahan dasar dari alam.
- b. Limbah sisik ikan dapat memberikan nilai tambah.
- c. Menghasilkan metode yang lebih efisien dan efektif dalam pengurangan laju korosi
- d. Sebagai referensi selanjutnya dalam penelitian mengenai kitosan alam dan pengurangan/pencegahan laju korosi pada logam.



Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya yang relevan pada bagian bab ini, mencantumkan beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang akan diselesaikan/teliti. Adapun penelitian terdahulu yaitu sebagai berikut :

1. Santana, *et al.*,(2016) meneliti plat baja karbon rendah tipe AISI 1010 yang dicoating dengan Hybrid Sol-Gel yang terdiri dari tetraethoxy silane (TEOS) dan 3 glicidoxipropyl-trimetoxisilano (GPTMS) menggunakan *nano clay* laminar (Laponite Na⁺_{0,7}(Si₈Mg_{5,5}L_{10,3}H₄O₂₄) untuk meningkatkan sifat mekanik dan serta hambat/pembatas.

Dari hasil pengujian sample AISI 1010 menunjukkan bahwa penggunaan dari *nano clays* mampu meningkatkan dengan signifikan perilaku laju korosi untuk pengujian korosi dengan celup.

2. Yaro, *et all.*, (2012) melakukan penelitian tentang inhibitor korosi pada baja karbon rendah dengan larutan 1M H₃PO₄. Yang mana inhibitor korosi dari jus Aprikot dengan memvariasikan suhu pengujian dan konsentrasi inhibitor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa maksimum efisiensi inhibitor dari inhibitor korosi pada baja karbon rendah sebesar 75% pada suhu 30 °C dan tingkat maksimum konsentrasi inhibitor serta analisis statistik menunjukkan bahwa laju korosi dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi inhibitor dan kombinasi dari keduanya. Serta dapat disimpulkan bahwa laju korosi pada baja cenderung menurun dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor korosi.

3. Wu, *et al.*, (2012) melakukan peneltitian dengan judul "*Improved Corrosion Performance of Electrophoretic Coatings by Silane Addition*" yang mana dalam penelitiannya menggunakan lembaran galvanisasi. Baja galvanisasi dilapisi dengan cara elektrophoretik menggunakan epoxy yang ditambahkan dengan silane. Hasil pengujian dengan EIS dan SST menunjukkan bahwa penambahan silane agent meningkatkan ketahanan korosi secara signifikan akibat pelapisan elektrophoretik.

4. Review jurnal yang dilakukan oleh Finsgar & Jackson, (2014) tentang inhibitor korosi. Dari hasil review jurnal yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa inhibitor korosi sangat dibutuhkan untuk berbagai jenis logam untuk bidang industri yang beragam terutama untuk prosedur pengasaman

5. Penelitian pada tahun 2018 yang dilakukan oleh (Guiliani, *et al.*, 2018), yang mana proses pelapisan logam substrat (tembaga paduan) menggunakan dua buah macam inhibitor korosi yaitu *benzotriazole* (BTA) dan *mercaptobenzothiazole* (MBT). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa material tembaga tanpa pelapisan luasannya terkorosi sebesar 80% selama 60 menit, sedangkan tembaga yang dilapisi dengan *Chitosan*/MBT luasannya terkorosi sebesar 20% selama 60 menit, kemudian pelapisan tembaga dengan *Chitosan* / BTA mengalami luasan korosif yang paling rendah yaitu sebesar 2% selama 60 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pelapisan tembaga dengan *Chitosan* MBT maupun *Chitosan* / BTA mampu mengurangi laju korosi pada material paduan tembaga.
6. Pelapisan secara elektroforesis dengan kitosan juga telah dilakukan oleh Wardani & Harmami, (2014) pada penelitiannya yang memvariasikan waktu dan tegangan *coating* pada material SS 304 dengan kitosan. Dari hasil penelitiannya diketahui bahwa waktu pelapisan dan tegangan pelapisan sangat mempengaruhi ketebalan lapisan kitosan pada material SS 304, yang mana waktu pelapisan 30 menit dan tegangan pelapisan 2,5 volt menghasilkan lapisan dan ketahanan korosi yang paling optimal.

2.2 Korosi

2.2.1 Pengertian Korosi

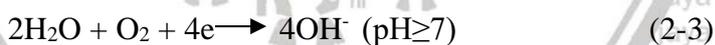
Suatu bahan yang mengandung logam tentu saja berpotensi mengalami korosi baik akibat udara maupun lingkungan yang berair. Korosi logam merupakan masalah yang sangat dihindari oleh industri. Oleh karena itu telah banyak penelitian yang mempelajari bagaimana cara pencegahan dan perlindungan terhadap suatu bahan logam. Ilmu korosi modern mengungkapkan bahwasanya korosi logam merupakan reaksi pasangan elektrokimia yang terdiri dari oksidasi logam dan reduksi oksidan katodik. Teori elektrokimia tidak hanya diaplikasikan untuk korosi basah pada logam di suhu normal tetapi juga korosi kering suatu logam pada temperatur tinggi (Sharma, 2012).

Sebagian masyarakat menyebut korosi pada logam sebagai karat (kerusakan), yaitu suatu yang berperan sebagai perusak logam yang merugikan bagi manusia. Karat (*corrosie*) merupakan suatu kerusakan yang biasanya hanya ditujukan pada material besi. Sedangkan korosif merupakan proses penurunan kualitas yang mempengaruhi dan terjadi hampir di semua bahan logam (Trethewey, 1991). Dapat dikatakan sebagai korosi jika terjadi kerusakan pada bahan logam yang dikarenakan oleh proses reaksi kimiawi (*chemical*) atau proses elektrokimiawi antara bahan dengan lingkungan yang mengandung atom-atom korosif

(Supomo, 2003). Korosi juga dapat diartikan sebagai suatu hasil destruktif proses reaksi kimiawi antara bahan logam ataupun logam paduan (alloy) dengan lingkungan. Korosi yang terjadi pada logam dibagi menjadi dua kelas yaitu basah dan kering. Pada korosi kering, kerusakan terjadi pada gas atau logam penghubung (*metal interface*) dan air tidak banyak mempengaruhi reaksi yang terjadi. Sedangkan pada korosi basah, korosi terjadi pada pengubungannya berupa metal atau solution.

Berdasarkan *American Society for Testing and Material's corrosion glossary*, korosi adalah proses reaksi kimiawi atau reaksi elektrokimiawi antara sebuah materi, biasanya berupa material logam dengan lingkungan atau sistem yang mengakibatkan memburuknya kondisi suatu materi (Cicek, 2011). Korosi pada logam diartikan sebagai proses reaksi elektrokimiawi, oleh sebab itu proses terjadinya korosi membutuhkan beberapa hal atau syarat untuk terjadi, seperti harus ada bagian (anoda dan katoda) larutan elektrolit/media (basa atau asam), serta rangkaian listrik. Bagian anoda dan katoda berada pada bagian-bagian permukaan logam yang mengalami korosi. Bagian anoda merupakan bagian logam yang mengalami oksidasi yaitu terjadinya pelepasan elektron dari atom-atom logam yang neutral, sehingga ion logam tersebut menghasilkan produk korosif (berbentuk oksidasi) dan tidak bisa larut (*insoluble*) dalam media. Adapun bagian katodik yaitu bagian logam yang tereduksi atau menerima elektron dengan cara menangkap elektron hasil oksidasi logam.

Proses reaksi yang dialami oleh bagian anoda dan katoda merupakan akibat dari proses reduksi-oksidasi (redoks) dimana mekanisme reaksinya ditunjukkan sebagai berikut:



(El-Sherbini dkk., 2005)

2.2.2 Fenomena Korosi

Fenomena korosi merupakan reaksi kimiawi yang disebabkan oleh dua buah reaksi sebagian sel yang mengikutsertakan elektron logam, kemudian dihasilkan sebuah reaksi elektrokimiawi logam. Dengan dua buah reaksi sebagian sel ini bereaksi secara oksidasi serta dialami pada sisi anodik, adapun yang pada katoda tereaksi secara reduksi. Terjadinya reaksi korosi akan terbentuk apabila terdapat tiga macam penyusun yang utama pembentuk sel korosif, diantaranya:

1. logam / Besi ASTM A36

Di dalam bahan logam (metal) terdapat dua buah hal atau komponen utama dalam terjadinya proses reaksi korosi, diantaranya :

- bagian anoda

Bagian anoda yaitu daerah permukaan dari logam yang merupakan tempat terjadinya proses reaksi pelepasan unsure O_2 atau bagian yang terkorosif. Bagian anodik dari material logam besi ASTM A36 mengalami kelarutan di dalam media korosif serta elektron berkurang sehingga membentuk ion logam dengan muatan positif.

- bagian katoda

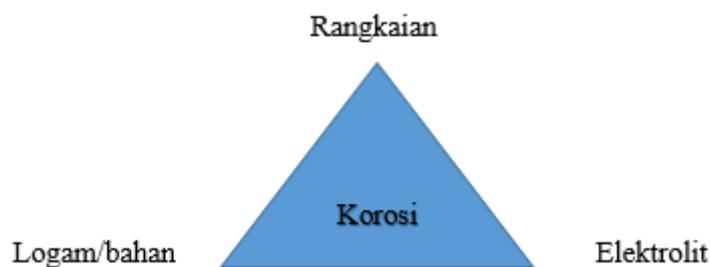
Katoda merupakan bagian atau elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi dengan cara menangkap elektron yang dilepas oleh bagian anodik. Dalam lingkungan yang mengandung air alam, reaksi sering dialami oleh sistem adalah pelepasan H_2 dan reduksi.

2. Elektrolit

Elektrolit dapat meneruskan arus listrik dikarenakan terdapat ion-ion didalam larutan yang dapat meneruskan gaya *elektroequivalen forces* yang kemudian proses reaksi bisa terjadi. Dengan kandungan ion-ion yang cukup banyak pada sebuah elektrolit, maka cairan elektrolit tersebut arus listrik yang diteruskan juga lebih cepat.

3. Rangkaian listrik

Diantara bagian anodik dan katodik logam kontak harus ada supaya elektron tersebut mampu berpindah atau mengalir dari bagian anodik menuju ke katodik.



Gambar 2.1 Syarat terjadinya reaksi korosi

2.2.3 Kinetika Proses Korosif

Kinetika korosif yang terjadi pada sebuah logam ataupun paduan selalu berhubungan dengan kecepatan terjadinya korosi. Laju korosi yang terjadi pada masing-masing bahan tidak

sama dan berdasarkan sifat dari bahan dan lingkungan korosifnya. Dalam suatu reaksi elektrokimia terjadi perpindahan elektron dari reduktor ke oksidator. Aliran elektron diukur sebagai arus (I) dalam ampere dimana satu ampere sama dengan satu coulomb muatan ($6,2 \times 10^{18}$ elektron) per detik. Berdasarkan hukum yang dikemukakan Faraday :

$$m = \frac{I \times t \times a}{n \times F} \quad (2-4)$$

dengan :

m : berat logam yang mengalami oksidasi

I : arus korosi yang dipakai

t : waktu ekspose

a : merupakan berat molekul sistem

n : banyak elektron dalam sistem

F : ketetapan Faraday

Banyaknya massa yang teroksidasi (m) disebabkan oleh reaksi dalam waktu tertentu (t) per satuan luas (A) akan menghasilkan laju korosi (r),

$$r = \frac{m}{tA} = \frac{ia}{nF} \quad (2-5)$$

Maka, laju korosi yang dialami logam akibat densitas (D), dirumuskan menjadi:

$$r = \frac{0,129 \times a \times i}{n \times D} \quad (2-6)$$

Atau

$$r = \frac{0,00327 \times a \times i}{n \times D} \quad (2-7)$$

Yang mana D dalam g/cm^3 dan 0,129 dan 0,00327 merupakan suatu tetapan atau konstanta (Jones, 1991).

- Proses terjadinya sel korosi pada logam

Pada dasarnya proses terjadinya korosi di dalam sebuah cariran korosif bermula dari logam yang mengalami oksidasi dalam cairan korosif, dan memberikan elektronnya untuk terbentuknya ion logam dengan muatan positif. Larutan korosif tersebut akan berfungsi sebagai katodik dengan reaksi pada umum yaitu lepasnya H_2 dan O_2 tereduksi, dikarenakan oleh pengurangan ion H^+ dan H_2O . Proses tersebut berlangsung dibagian luar material logam sehingga dapat menimbulkan terkikisnya akibat kelarutan ke dalam media korosif secara kontinyu.

2.2.4. Termodinamika dari Korosi

Termodinamika korosi merupakan ilmu yang membahas dan mempelajari hubungan keseimbangan yang terjadi pada logam akibat adanya pengaruh/kontak dengan lingkungan yang korosif. Termodinamika dapat digunakan untuk mengetahui suatu sistem elektrokimia atau korosi apakah suatu reaksi terjadi secara spontanitas atau tidak. Perubahan nilai energi bebas gibbs (ΔG°) bernilai negatif menunjukkan bahwa reaksi tersebut terjadi secara spontan. Mengacu pada hukum termodinamika nilai ΔG° dipengaruhi oleh suhu (Gapsari, 2016), seperti yang terlihat dari persamaan (2-8) berikut:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln A \quad (2-8)$$

Dengan :

ΔG = Perubahan energi bebas (gibbs) saat keadaan standar

R = Konstanta gas (8,31 J/mol.K)

A = Koefisien perubahan energi bebas

Jika nilai energi bebas (gibbs) dihubungkan dengan potensial elektrokimia akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$\Delta G = -nFE \text{ dan } \Delta G^\circ = -nFE^\circ \quad (2-9)$$

Pada persamaan (2-9) jika disubstitusikan dengan persamaan (2-8) akan didapat persamaan Nernst.

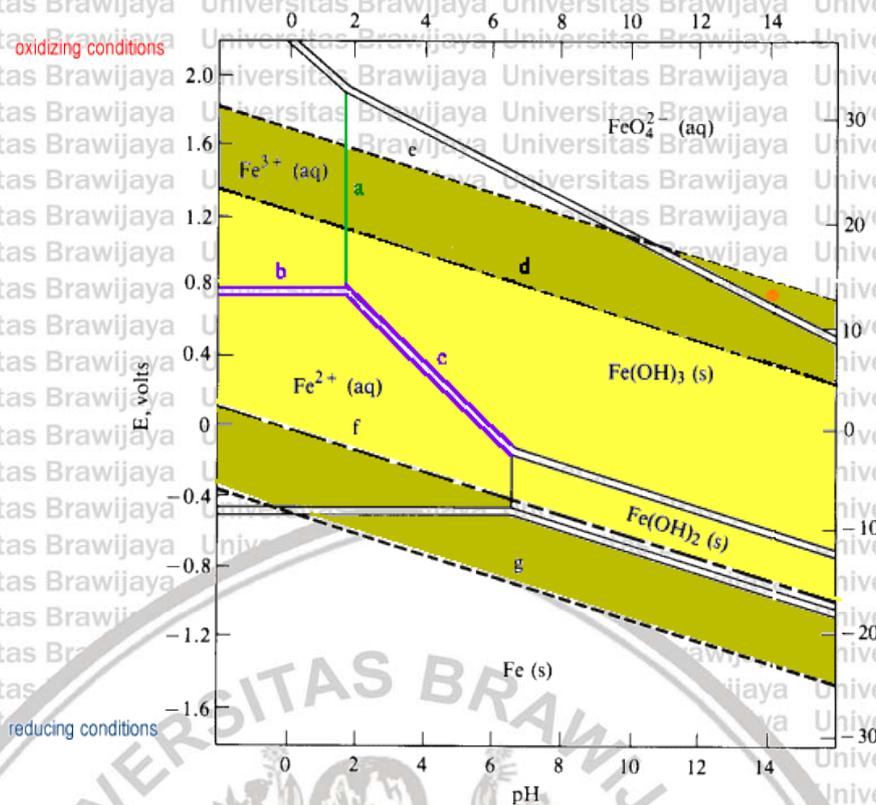
$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln A \quad (2-10)$$

Pada keadaan standart dan disubstitusi 2,303 log A maka didapat

$$E = E^\circ - \frac{0,059}{n} \log A \quad (2-11)$$

Berdasarkan termodinamikanya, reaksi korosi dipengaruhi oleh suhu, kesetimbangan, dan pH yang mana keadaan suatu logam terbagi kedalam 3 bagian seperti yang ditunjukkan pada diagram Pourbaix berikut ini

1. Imune merupakan daerah pada logam yang berada dalam keadaan anti korosi
2. Passive merupakan lapisan pasif permukaan logam dan anti korosi pada daerah logam yang terbentuk dari sistem korosi.
3. Corrosion merupakan kondisi yang mana pada bahan logam terjadi korosi.



Gambar 2.2 Diagram Pourbaix (Hakim, 2011).

2.2.5 Kecepatan Terjadinya Korosi

Laju korosi diartikan sebagai jumlah/massa logam yang hilang atau terkorosif setiap satuan waktu (*time*) dalam permukaan material terkorosi. Laju korosif biasanya dituliskan secara *mils/year* (mpy). Yang mana 1 *mils* \approx 0,001 inch. Laju korosif secara matematis ditulis:

$$\text{mpy} = \frac{534W}{DAT} \quad (2-12)$$

Dengan :

W : berat yang hilang (mg)

D : densitas dari sampel uji yang digunakan (g/cm³)

A : luas area dari sampel uji yang digunakan (cm²)

T : waktu ekspose (jam)

Pada ekstrapolarisasi dari kurva tafel, ditemukan hubungan antara laju korosif dengan ketahanan korosinya (*relatif*).

2.2.6 Adapun Sebab-Sebab Terjadinya Korosif Logam.

Laju korosif disebabkan oleh beberapa hal diantaranya :

1. struktur makroskopis serta jenis logam tersebut
 - a. apabila suatu logam semakin inert, maka logam tersebut juga semakin tahan terhadap korosi.
 - b. suatu logam yang susunannya tidak homogen susunannya, maka hal tersebut akan menyebabkan timbulnya sel korosi pada logam tersebut.

2. media korosif yang digunakan seperti komposisi dan konsentrasinya

Suatu larutan elektrolit terdiri dari molekul air yang terdapat anion dan kation.

korosifitas suatu larutan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

- a. Konduktivitas larutan tersebut.

suatu larutan yang konduktivitasnya baik, maka larutan tersebut memiliki daya hantar listrik yang baik juga, hal tersebut mengakibatkan laju korosif juga semakin cepat terperoses.

Terdapatnya ion clorida (Cl⁻) pada larutan elektrolit korosif mampu menaikkan konduktivty sebuah larutan, yang kemudian meningkatkan aliran arus korosi.

- b. pH suatu larutan

lapisan pelindung pada besi tidak terbentuk ketika pH berada dibawah 4 ataupun diatas 12 sehingga laju korosi pada material logam besi mengalami peningkatan..

- c. Gas-gas terlarut dalam sistem korosif.

reaksi katoda akan meningkat dengan adanya gas oksigen yang terlarut, yang kemudian logam tersebut lebih teroksidasi (terkorosi).

Berbagai macam kondisi fisik yang mempengaruhi laju korosi yang terdapat dalam sebuah sistem, diantaranya :

- 1) Temperatur/suhu sistem

Suhu system yang tinggi dapat mempercepat laju korosi. Pada system kedap udara laju korosif terus bertambah, adapun dalam system terbuka dengan suhu yang semakin meningkat menyebabkan kelarutan gas O₂ berkurang, serta dapat mengurangi laju korosif pada point-point tertentu.

- 2) Tekanan (*Pressure*)

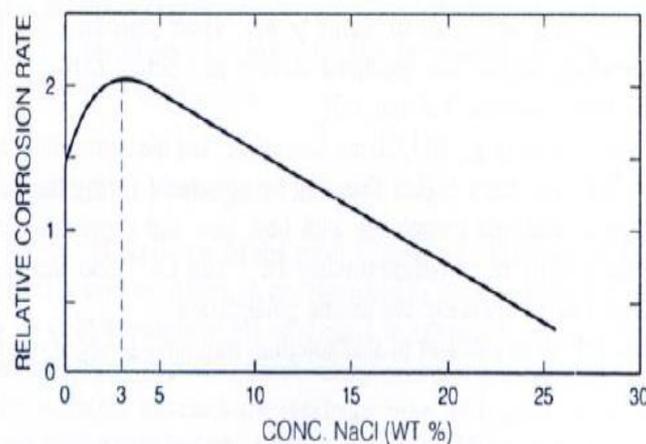
Jumlah gas telarut mengalami kenaikan dengan tekanan system yang meningkat pula, sehingga laju korosi pada logam dalam system semakin cepat.

3) Viskositas fluida

Viskositas dari larutan yang tidak homogen akan menentukan jenis dan kecepatan korosi yang terjadi. Korosi erosi merupakan jenis korosi yang diakibatkan oleh faktor viskositas fluida

2.2.7 Effect Konsentrasi HCl pada Laju Korosif

Suatu larutan kimia yang terdapat zat garam mengalami proses penguraian berbentuk ion-ion. Ion-ion tersebut menyebabkan cairan garam dapat meneruskan muatan listrik tersebar didalam media korosif tersebut. Selanjutnya didalam larutan garam tersebut nilai konduktivitas yang sama dengan nilai konduktivitas konsentrasi garam terlarut didalam larutan yang dihasilkan. Dalam proses terjadinya korosi sebuah reaksi elektrokimia yang mana logam bertindak sebagai anoda sedangkan lingkungan berperan sebagai katoda (Pipito, 2007). Oleh karena itu konduktivitas larutan elektrolit yang berfungsi sebagai penghubung bagian anoda dengan katoda, sangat menentukan cepat atau lambatnya reaksi elektrokimia dari sistem tersebut. Larutan yang mempunyai konduktivitas cukup baik dapat menyebabkan reaksi korosi terjadi dengan cepat dan pada akhirnya dapat mempercepat laju korosif pada logam. Terdapatnya ion-ion terlarut didalam suatu larutan garam mampu mengurangi agen-agen pereduksi yang terdapat pada larutan (Rustandi, 2011). Konsentrasi zat garam yang semakin meningkat didalam cairan teraerasi dapat mengurangi larutnya unsur oksigen (O_2) didalam cairan tersebut.



Grafik 2.3 hubungan antar konsentrasi NaCl dengan laju korosif.

2.3 Metode

2.3.1 Pengertian pelapisan (*Coating*)

Pelapisan merupakan metode pencegahan korosi yang paling mudah dan sederhana dibandingkan dengan metode-metode lainnya. *Coating* atau pelapisan bertujuan untuk mempertahankan dan memelihara penampilan fisik dari suatu logam (Jones, 1991). Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan coating atau pelapisan, dimana cara ini merupakan cara yang efektif jika ditinjau dari sedikitnya energi yang dibutuhkan serta nilai ekonomisnya (Raj, 2009). Jenis penggunaan metode pengendalian korosi mengacu pada jenis korosinya dan lingkungannya. *Coating* dapat berperan sebagai lapisan penghalang yang membatasi permukaan logam dengan lingkungannya. Disisi lain, penambahan bahan kimia sebagai inhibitor pada proses *coating* dapat meningkatkan kemampuan proteksi suatu logam terhadap korosi (Gang Hu, 2012).

2.3.2 Metode – metode *Coating*

2.3.2.1 *Painting/Cat*

Painting atau pelapisan logam dengan menggunakan cat merupakan metode tertua yang digunakan untuk melindungi logam dari peristiwa korosif. Metode perlindungan ini sering diaplikasikan dikarenakan tidak hanya mampu memproteksi logam dari korosi tetapi juga mampu memperbaiki estetika logam yang dilapisi dengan adanya berbagai warna cat itu sendiri (Trethewey, 1991). Kelebihan metode pengecatan adalah fleksibel, menutupi permukaan logam dengan bentuk geometri yang kompleks. Sedangkan kelemahan metode ini adalah menggunakan pelarut organik dan tahapan yang banyak (Gang Hu, 2012).

2.3.2.2 *Powder Coating/ Pelapisan Bubuk*

Pelapisan bubuk diaplikasikan dengan menggunakan *electrostatic powder spraying* (Gang Hu, 2012). Kelebihan pelapisan dengan teknik ini adalah kecepatan dalam pembentukan lapisan yang dihasilkan dari pelelehan bahan coatingnya, tidak membutuhkan teknik perawatan yang mahal, tidak membutuhkan pelarut, ramah lingkungan, tingkat toksisitas yang rendah, tidak mudah terbakar dan ketebalan lapisan dapat mencapai 100-500 μm . Teknik ini banyak digunakan untuk pengelasan pada pelapisan bagian kelim kaleng (Tracton, 2006). Kelemahan metode ini antara lain penyimpanan bubuk sebagai bahan pelapis harus sangat kering dan tidak boleh lembab sedikitpun, kesulitan dalam mengontrol ketebalan lapisan, kesulitan dalam melapisi area yang ceruk, dan membutuhkan temperatur yang tinggi (Gang Hu, 2012).

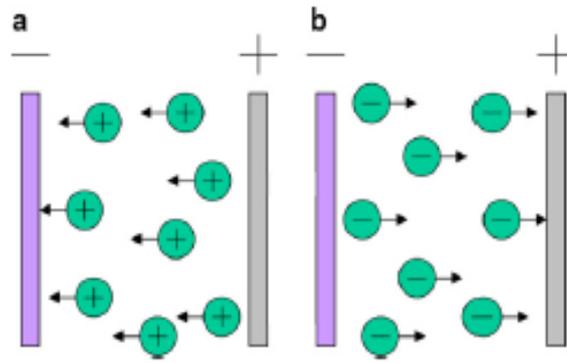
2.3.2.3 Elektroforesis

Elektroforesis didefinisikan sebagai metode yang sangat tepat dalam proses pembuatan ceramic, polymer, suatu endapan, serta mampu meningkatkan estetika dari logam.

Elektroforesis merupakan metode pembentuk koloid yang membuat suatu partikel memiliki muatan akibat pengaruh aliran listrik yang diberikan (Gebhardt, 2012). Metode ini terbilang cukup sederhana karena dapat dilakukan pada suhu ruangan, ekonomis, peralatan yang dibutuhkan sangat sederhana, prosesnya tidak membutuhkan waktu lama, serta tidak memiliki syarat khusus apakah bahan coating yang digunakan berupa bahan organik maupun non-organik (Gang Hu, 2012).

Elektroforesis dibagi menjadi dua jenis berdasarkan pada bagian mana arus tersebut diberikan. Pertama, katodik elektroforesis yaitu ketika partikel bermuatan positif dan endapan terdeposit pada katoda seperti pada Gambar 2.4 (a). Kedua, anodik elektroforesis yaitu ketika partikel bermuatan negatif dan endapan terjadi pada anoda seperti pada ilustrasi Gambar 2.4 (b). Katodik Elektroforesis lebih populer dibandingkan anodik elektroforesis. Kelebihan lain yang dimiliki oleh metode ini antara lain : kemampuan dalam mengontrol ketebalan lapisan endapan, mampu membentuk lapisan kompleks pada permukaan substrat, membutuhkan peralatan yang sederhana, emisi yang dihasilkan kecil dan prosesnya otomatis (Mehdipour, 2011). Walaupun memiliki banyak keunggulan, akan tetapi metode ini juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya, harus dilakukan kontrol secara berkala terhadap wadah, larutan, dan aliran listrik, ketebalan lapisan hanya mampu mencapai 15-30 μ m, serta lapisan tidak terlalu halus (Gang Hu, 2012).

Proses yang terjadi pada metode elektroforesis yaitu sebanyak dua tahap. Pertama, suspensi partikel akan bermigrasi ke elektroda setelah dialiri aliran listrik. Tahapan kedua adalah partikel tadi akan terdeposit pada elektroda dan membentuk lapisan film yang tebal dan homogen (Gebhardt, 2012).



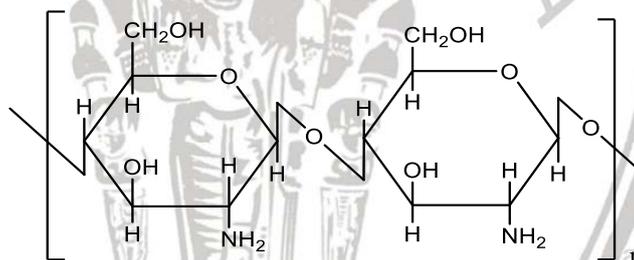
Gambar 2.4 Ilustrasi proses Elektroforesis. (a) Katodik Elektroforesis dan (b) Anodik Elektroforesis

Sumber: Gang Hu, 2012

2.4 Kitosan Sebagai Pelapis

Dari proses deasetilasi kitin inilah kitosan dengan rumus molekul $(C_6H_{11}NO_4)_n$ diperoleh.

Kitosan secara alamiah dapat ditemukan pada beberapa organisme laut seperti udang, kepiting, rajungan. Struktur dari Kitosan ditampilkan pada gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5 Struktur Kitosan

Penggunaan bahan Kitosan terus meningkat dari tahun 1940-an, hal ini sejalan dengan semakin dibutuhkannya bahan-bahan alami oleh berbagai bidang industri pada tahun 1970-an.

Chitosan merupakan hasil dari N-terdeasetil kitin serta terus diminati pengaplikasiannya didalam berbagai industri dikarenakan kemampuannya dalam membentuk film yang baik, aktivitas antimikroba, biodegradabilitas, dan biokompatibilitas (Senel, 2004). Kitosan merupakan polysakarida bersumber dari alam yang biasa didapat pada cangkang dari golongan *crustacea* seperti misalnya kulit udang dan kepiting, kulit ari dari beebagai serangga serta dinding sel dari fungi. Chitosan dapat diperoleh dengan menghilangkan asetil dari kitin, akan tetapi untuk mengeliminasi semua asetil tidaklah mudah (Yao, 2012). Kitosan serupa dengan selulosa dan diklasifikasikan sebagai poliamida linear. Kitosan tidak larut pada larutan encer,

tetapi dapat larut pada larutan dengan pH kurang dari 6,5 (Kumar & Buchheit, 2006). Kitosan tidak bisa larut dalam air ataupun didalam pelarut organik. Akan tetapi, Chitosan terprotonasi dapat terlarut didalam air, air-etanol, campuran air-metanol pada pH rendah (Zhitomirsky, 2007).

Kitosan merupakan salah satu bahan organik yang tidak beracun dan banyak diminati dalam bidang pelapisan. Kemampuan Kitosan dapat melekat dengan baik pada permukaan yang memiliki muatan negatif dan dapat secara spontan meng-adsorb permukaan logam atau oksidanya. Kitosan dapat membentuk kompleks dengan ion logam dan membentuk gel dengan polianion. Gugus-gugus seperti gugus hidroksil dan amina pada chitosan sangat reaktif, sehingga kitosan sangat baik sebagai bahan pembentuk lapisan pada logam (Kumar & Buchheit, 2006).

Penggunaan Kitosan sebagai bahan *coating* organik telah banyak dilakukan sebelumnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ahmed (2012) bahwa Kitosan dapat digunakan sebagai pelapis organik pada paduan baja karbon rendah didalam media asam sulfat (H_2SO_4) 0,5 M. Dimana penggunaan Kitosan dengan metode elektroforesis dapat meningkatkan kemampuan perlindungan terhadap paduan baja lunak. Kitosan mampu menurunkan proses korosi paduan baja karbon rendah didalam media 0,5M asam sulfat dengan membentuk lapisan film pada permukaan baja lunak. Pengukuran menggunakan EIS menunjukkan bahwa Kitosan memberikan efisiensi impedansi yang baik yaitu sebesar 98,1%.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Kumar & Buchheit, (2006) menyatakan bahwa Kitosan yang dicampurkan dengan *epoxy* dan vanadat mampu menurunkan laju korosi pada paduan Aluminium 2024 T3 dengan membentuk lapisan seperti gel pada permukaan Aluminium. Kitosan bekerja maksimum sebagai pencegah korosi pada pH 3-5 (Kumar & Buchheit, 2006).

Penggunaan Kitosan sebagai bahan *coating* organik juga telah dilakukan oleh Gebhardt dkk, dimana spesimen yang digunakan berupa stainless steel. Metode yang digunakan berupa elektroforesis dengan besarnya potensial listrik yang diberikan yaitu 2.5, 5 dan 10 Volt selama 7 menit. Dari kurva polarisasi potensiodinamik dan spektroskopi impedansi elektrokimia, diperoleh hasil bahwa spesimen yang terlapsi dengan Kitosan memiliki laju korosi yang lebih kecil yaitu sebesar $5,6 \times 10^{-8}$ A/cm² dibandingkan dengan spesimen yang tidak terlapsi Kitosan yaitu sebesar $1,03 \times 10^{-7}$ A/cm² (Gebhardt, 2012). Penelitian lain yang memanfaatkan Kitosan sebagai bahan *coating* organik adalah Mehdipour (2012) dengan spesimen berupa stainless steel 316L berukuran 20mm x 25mm. Dari pengujian SEM pada lapisan Kitosan yang terbentuk, didapatkan ketebalan lapisan Kitosan pada permukaan spesimen sebesar 7 μ m dan memiliki permukaan lapisan yang sangat halus tanpa ada retakan. Kitosan yang melapsi

stainless steel 316L mampu mereduksi densitas arus korosi hingga 52% yaitu dari $6,97 \mu/\text{cm}^2$ menjadi $3,3 \mu/\text{cm}^2$.

2.5 Perbandingan Kitosan Standar dengan Kitosan Kulit Udang dan Kitosan Sisik Ikan.

Tabel 2.1 Perbandingan gugus fungsi yang terdapat pada Kitosan Standar dengan Kitosan Kulit Udang dan Kitosan Sisik Ikan (Moosa, et al, 2013).

Kitosan standar	Gugus fungsi	Kitosan kulit udang	Gugus fungsi	Chitosan sisik ikan	Gugus fungsi
3441.01	(O-H) group (-NH ₂) group	3425.58	(O-H) group (-NH ₂) group	3455.03	(O-H) group (-NH ₂) group
3259.70	N-H stretching	3271.27	N-H stretching	2930.43	Symmetric (CH ₃) stretching & Asymmetric (CH ₂) stretching
2927.94	Symmetric (CH ₃) stretching & Asymmetric (CH ₂) stretching	2924.09	Symmetric (CH ₃) stretching & Asymmetric (CH ₂) stretching	1638.21	(C=O) in the NHCOCH ₃ group (Amid I band)
1662.64	(C=O) in the NHCOCH ₃ group (Amid I band)	1654.92	(C=O) in the NHCOCH ₃ group (Amid I band)	1468.49	CH ₂ bending and CH ₃ deformation
1554.63	Amide II band	1558.48	Amide II band	1420.27	CH ₂ bending and CH ₃ deformation
1404.18	CH ₂ bending and CH ₃ deformation	1423.47	CH ₂ bending and CH ₃ deformation	1038.39	CO stretching
1033.86	CO stretching	1033.85	CO stretching	963.18	Ring stretching
867.97	Ring stretching	894.97	Ring stretching	874.46	Ring stretching

Dari tabel 2.1 analisis karakteristik spektrum inframerah menjelaskan bahwa kesamaan yang cukup signifikan antara spektrum infrared chitosan standar, kulit udang dan sisik ikan. terdapatnya spektrum utama dengan panjang gelombang tertentu menjelaskan senyawa-senyawa hasil proses reaksi deastilasi dalam penelitian ini (sisik ikan) adalah chitosan. Serta spektrum pada daerah panjang gelombang yang terjadi juga tidak terlalu signifikan perbedaan diantara ketiga kitosan tersebut.

Dari analisa spektrum infrared bisa dianggap bahwa telah terjadi proses perubahan senyawa chitin menjadi senyawa chitosan. Spektrum panjang gelombang chitosan menunjukkan terdapatnya pita serapan gelombang 3455.03 1/cm dihasilkan pembengkokan gugus OH yang terdistribusi. adanya tumpang tindih dengan gugus NH dari amina menyebabkan melebarinya serapan dan pergeseran bilangan gelombang gugus OH. Serapan pada panjang gelombang 2930.43 1/cm menunjukkan bahwa hilangnya gugus methyl (CH₃) yang terikat dalam amida (NHCOCH₃) serta pada bilangan gelombang 1638.21 cm^{-1} menjelaskan

hilangnya kelompok atom C=O serta sebuah amida (NHCO). Adapun serapan khas chitosan terdapat dalam bilangan gelombang $1638.21 \text{ }^1/\text{cm}$ yang menjelaskan bahwa terjadinya vibrasi merengangnya atom N-H dari amida (Silverstein et al.1989).

2.6 Perlindungan Korosi Metode *Coating Organic* (pelapisan organik) dan Inhibitor Organik.

2.6.1 *Coating Organic* (pelapisan organik)

2.6.1.1 Pengertian *Coating Organic* (pelapisan organik)

Pelapis organik didefinisikan sebagai sebuah bentuk film yang melekat dengan baik pada material logam ataupun material lainnya, yang biasanya terdiri dari senyawa organik seperti polimer alam, oligomer, monomer ataupun campurannya. Pelapis organik merupakan campuran kompleks bahan kimia yang dapat dikelompokkan ke dalam 4 kategori besar yaitu (Olajire, 2018):

- 1) Pengikat (*binders*)
- 2) Komponen yang mudah menguap (*Volatile components*)
- 3) Pigmen (*pigments*)
- 4) Aditif (*additives*)

Kebanyakan pelapis merupakan campuran kompleks yang mengandung beberapa zat yang terdiri dari keempat kategori di atas tersebut dan merupakan campuran kimia. Beberapa tipe dari pelapisan organik yaitu:

- 1) Lapisan organik primer merupakan adhesi pada substrat dengan tujuan untuk melindungi logam dari korosi seperti cat adhesi.
- 2) Semen perekat (*adhesi cement*). Semen perekat merupakan bahan dengan lapisan konsistensi yang digunakan untuk pelapisan permukaan.
- 3) Pelapisan dengan ketahanan terhadap faktor luar yang tinggi.
 - Larutan zat pembentuk film dalam pelarut organik
 - Zat pembentuk film, pigmen, pengubah aditif anti-korosi organik dan anorganik dalam organik.

2.6.1.2 Cara Kerja Perlindungan dengan Pelapisan Organik

Cara kerja perlindungan dari korosif yang dihasilkan oleh lapisan bahan organik (Chitosan) pada material logam yaitu bisa lewat dua aksi, yaitu pertama lewat metode penghalangan (*barrier*) serta yang kedua lewat metode inhibisi logam. Melalui proses penghalangan material logam dengan lingkungannya, dengan terdapatnya inorganik partikel-partikel bersifat inert serta tersusun secara rapi didalam lapisan organik yang mampu melindungi logam. Kemudian tindakan penghambatan juga diperoleh dengan adanya pigmen-pigmen yang terdapat didalam lapisan proteksi organik (chitosan). Pada dasarnya, proteksi fisik diantara substrat logam dengan lingkungan korosif terbentuk dari lapisan organik yang berfungsi sebagai pelindung. Akan tetapi dalam kondisi real perilaku penghalang tersebut masih terbatas dikarenakan organik membran mampu terdifusi oleh air, larutan ataupun oksigen. Kelemahan tersebut bukan masalah asalkan lapisan organik mampu menempel dengan baik pada permukaan logam. maka dari itu, melauai lapisan organik, adhesi menjadi kriteria utama dalam melindungi substrat logam dari lingkungan korosif. Sistem proteksi tidak akan mengalami kerusakan asalkan kondensasi air tidak terjadi pada lapisan diantara substrat dengan lapisan organic.

2.6.1.3 *Electrophoretic Deposition*.

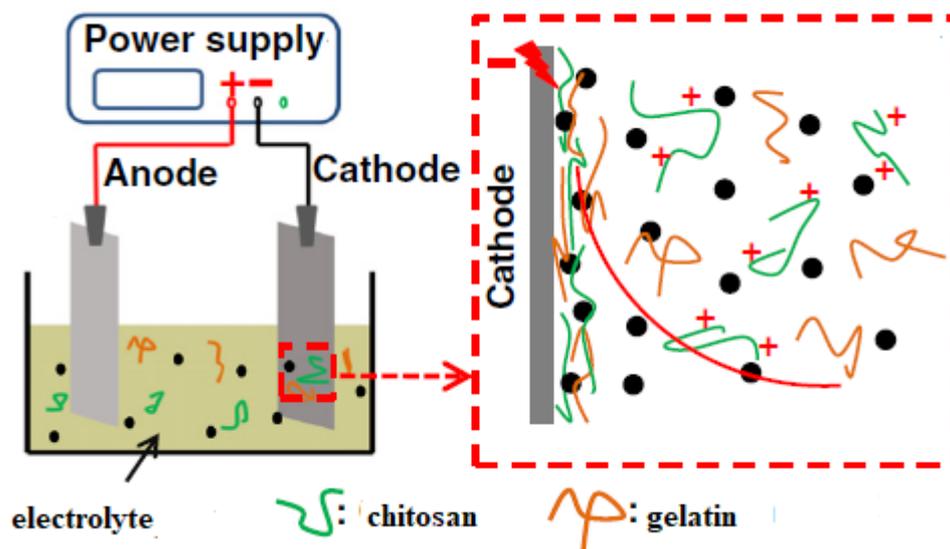
Terdapat tiga metode pelapisan yang biasa digunakan yaitu *dip* (pencelupan) *coating*, *spin* (pemutaran) *coating* serta elektrodposisi (*electrophoretic deposition* (EPD)), akan tetapi *dip* (pencelupan) *coating* dan *spin coating* memiliki kelemahan. Metode pelapisan *dip coating* kelemahannya yaitu tidak baik untuk digunakan dalam melapisi material logam dikarenakan bisa menimbulkan karat pada permukaan logam yang dicoating, adapun *spiiin coating* memiliki klemahan yaitu biaya penggunaan cukup mahal. Sedangkan kelebihan *electrophoretic deposition* (EPD) dibandingkan dengan kedua metode tersebut yaitu lebih mudah digunakan, ramah terhadap lingkungan maupun cocok untuk logam yang dilapis, harga lebih murah, laju deposisi yang cepat serta memiliki fleksibilitas yang tinggi apabila digunakan dengan bahan yang berbeda. *electrophoretic deposition* (EPD) merupakan salah satu teknik pelapisan dengan biopolimer yang responsif terhadap rangsangan sinyal listrik (Wang, et al, 2015). Saat ini pengaplikasian *electrophoretic deposition* meningkat pada industri keramik maupun pada logam.

2.6.1.4 Mekanisme Elektroforesis Deposition (EPD)

Mekanisme elektroforesis deposition pada pelapisan logam terdiri dari dua tahap pelapisan yaitu.

1. Aliran listrik DC dialirkan pada kedua elektroda positif dan elektroda negatif (benda kerja), yang menyebabkan partikel dalam larutan yang mengandung kitosan sisik ikan bermuatan positif sehingga terjadi pergerakan ke arah elektroda/benda kerja yang bermuatan negatif (berlawanan dengan muatannya) akibat dari pengaruh medan listrik yang diberikan. Kitosan sisik ikan akan bergerak ke arah benda kerja yang ditempatkan sebagai elektroda negatif dan disebut sebagai elektroforesis.
2. Tahap selanjutnya yaitu partikel kitosan sisik ikan akan mengalami proses deposisi pada permukaan logam membentuk lapisan yang dijadikan elektroda bermuatan negatif. Kemudian partikel kitosan sisik ikan akan melapisi dan menutup rapat permukaan logam dalam bentuk lapisan film secara homogen. Lapisan tersebut disebut sebagai hasil deposisi partikel kitosan yang menempel pada permukaan logam ASTM A36.

Adapun gambar skema pelapisan dengan *electrophoretic deposition* (EPD) ditampilkan pada gambar 2.6.



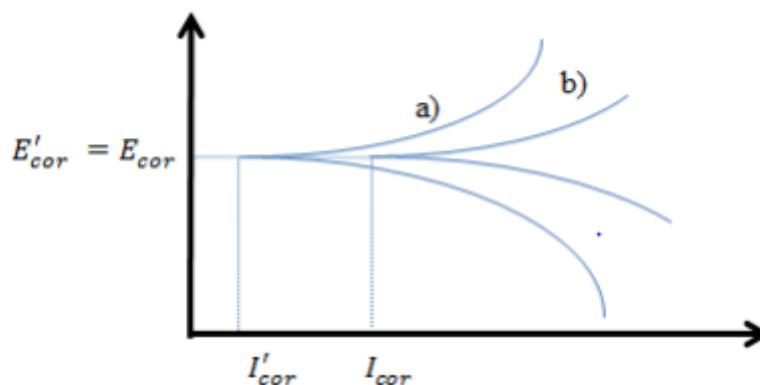
Gambar 2.6 skema pelapisan logam dengan mekanisme *electrophoretic deposition* (EPD).

Sumber: (Wang, et al, 2015).

2.6.2 Inhibitor Organik

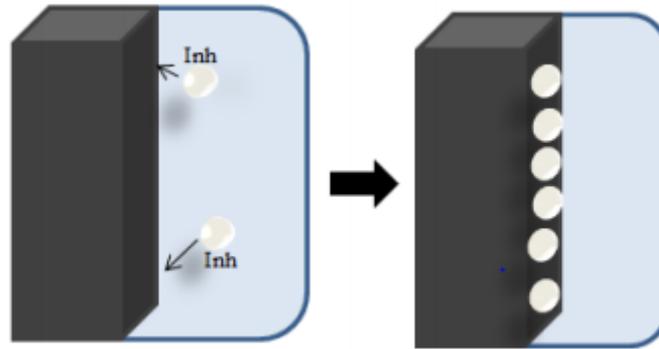
2.6.2.1 Pengertian Inhibitor Organik

Inhibitor organik merupakan suatu zat yang ditambahkan dengan konsentrasi kecil ke dalam media korosif dengan tujuan untuk mencegah reaksi kimia pada logam (Salinas-solano, et al 2018). Senyawa organik yang digunakan sebagai inhibitor korosi, yang kadang-kadang berperan sebagai katodik, anodik atau bahkan inhibitor organik berperan sebagai dua-duanya (katodik-anodik inhibitor). Walaupun demikian inhibitor organik tetap berperan untuk menjalankan fungsi umum yaitu melalui proses adsorpsi permukaan logam menjadi sebuah pembentukan film. Secara alami peristiwa pada molekul-molekul inhibitor menunjukkan daya tarik yang kuat antara permukaan logam dengan senyawa inhibitor serta menunjukkan efisiensi inhibisi yang baik dan bahaya terhadap lingkungan yang rendah. Inhibitor membentuk sebuah perlindungan film hidropobik dengan penyerapan molekul pada permukaan logam, yang menyediakan sebuah pembatas terhadap lepasnya ikatan elektron dalam larutan elektrolit.



Gambar 2.7 diagram polarisasi potentiostatik teoritis: perilaku elektrokimia sebuah logam pada sebuah larutan yang berisi inhibitor katodik dan anodik (a). Tanpa inhibitor (b) dengan inhibitor (Camila, 2014).

Gambar 2.7 tersebut menunjukkan kurva polarisasi potentiostatik teoritis, terlihat bahwa pengaruh dari cairan yang mengandung inhibitor organik pada logam yang mana keberadaannya bersifat anodik dan katodik. Setelah penambahan inhibitor, potensial korosi masih tetap sama akan tetapi arusnya berkurang dari I_{cor} ke I'_{cor} .



Gambar 2.8 mekanisme pergerakan dari inhibitor organik, ketika terjadi proses adsorpsi oleh permukaan logam dan membentuk film pelindung (Camila, 2014).

Efisiensi dari inhibitor organik sangat tergantung pada:

- Struktur kimia, seperti ukuran molekul organik.
- Aromanya dan/atau ikatan konjugasinya, seperti panjang rantai karbon.
- Tipe dan jumlah atom atau grup ikatan pada molekul (π atau σ).
- Sifat dasar dari kitosan organik dan mode adsorpsi dari permukaan seperti kekuatan ikatan terhadap substrat logam.
- Kemampuan untuk membentuk sebuah lembaran yang tersusun rapat atau persilangan.
- Kemampuan untuk membentuk atom kompleks yang padat dalam pola-pola geometris molekul atau atom padat logam.
- Tipe dari larutan elektrolit seperti daya larut yang cukup memadai dalam lingkungan.

Efisiensi dari inhibitor korosi organik organik berhubungan dengan adanya grup fungsi polar dengan atom S, O atau N pada molekul, senyawa heterosiklik dan pi elektron, umumnya hidropilik atau hidropobik bagian yang mampu terionisasi. Fungsi polar biasanya menunjukkan pusat reaksi untuk membentuk proses adsorpsi. Inhibitor asam organik yang mengandung oksigen, nitrogen dan/atau sulfur merupakan senyawa yang terserap pada permukaan logam yang aktif menghambat laju korosi (Camila, 2004).

2.7 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa fisika yang terjadi pada permukaan bahan (logam).

Peristiwa adsorpsi tergantung pada spesifikasi antara penyerap (adsorbent) dengan zat yang terserap (adsorbat). Karakteristik penting dari adsorben yaitu rasio luas permukaan adsorbent terhadap volume zat yang terserap. Perbandingan luas permukaan penyerap dengan volume

terserap mampu meningkatkan daya serap dari beberapa jenis adsorben. Proses terserapnya chitosan pada logam dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya.

- a. Luasan permukaan adsorben (penyerap) yaitu logam.
- b. Afinitas adsorben/logam terhadap adsorbat/chitosan, yang mana hal ini ditentukan oleh ukuran atau bentuk pori-pori, polaritasnya serta reaktivitas
- c. Karakterisasi bahan adsorbat terdiri dari:
- d. suhu serta tekanannya
- e. lama waktu kontak diantara zat adsorbat dengan permukaan adsorben.

Proses adsorpsi yang terjadi pada permukaan logam ada dua macam yaitu adsorpsi fisika (adsorpsi Van der Waals) serta adsorpsi kimiawi (kemisorpsi). Proses penyerapan secara fisika merupakan proses yang ditimbulkan akibat terdapatnya energi yang berbeda maupun *tension force* yang memiliki muatan listrik dari suatu material (dengan Van der Waals *force*). Molekul-molekul sebagai pelapis (adsorbat) didikat secara fisik yang kemudian menuju ke permukaan adsorbent. Dengan bentuk atau tipe dari adsorbent ini terdiri dari multilayer, dikarenakan oleh molekul-molekul selanjutnya akan membentuk lapisan di atas lapisan sebelumnya. Yang mana proses adsorpsi ini terjadi dalam keadaan temperatur yang rendah (Gapsari, 2016). Sedangkan adsorpsi secara kimiawi (kemisorpsi) merupakan proses adsorpsi yang memiliki sifat spesifik serta terjadi menurut adanya suatu ikatan kimiawi diantara benda penyerap dan zat terserap (adsorbat). Pada penyerapan secara kimia terjadi terbalik dengan adsorpsi fisika yang mana kerja dan panas adsorpsinya lebih besar serta adsorpsi kimia juga terjadi dalam temperatur yang lebih besar dibandingkan dengan proses adsorpsi fisika. Menurut McCafferty, (2009) maka perbandingan adsorpsi secara fisika dan penyerapan secara kimiawi yaitu:

1. pada adsorpsi secara fisika tidak terjadi transfer elektron.
2. Senyawa-senyawa yang berinteraksi pada adsorpsi fisika selalu mempertahankan individualitas.
3. Interaksi yang terjadi adalah reversible sedangkan adsorpsi kimia bersifat irreversible dengan melibatkan ikatan kimia antara adsorbent dengan adsorbat.
4. Pada adsorpsi fisika memungkinkan terjadinya proses desorpsi pada temperatur yang sama.
5. Penyerapan secara fisika tidak terjadi secara spesifik, yang mana molekul adsorbat terserap secara tidak teratur dan menutupi seluruh permukaan adsorbent.

6. Sedangkan pada adsorpsi secara kimia bersifat spesifik, yang mana molekul terserap pada bagian-bagian tempat tertentu saja.
7. Pada adsorpsi kimia panas lebih tinggi dibandingkan dengan panas pada adsorpsi fisika.

2.8. Pembuktian adanya mekanisme *coating* dan adsorpsi pada permukaan logam dengan kitosan

2.8.1. Proses *Coating*

Beberapa senyawa yang bersumber dari alam sebagai pelindung material dari korosi adalah golongan surfaktan, polymer, senyawa yang aromatik, senyawa-senyawa yang memiliki ikatan rangkap serta senyawa-senyawa yang mengandung atom oksigen (o), nitrogen (n), sulphur, (s) serta fosfor (p). Dengan adanya elektron yang berupa elektron bebas, dan phi elektron pada senyawa tersebut maka material logam akan terisolasi dari lingkungan maupun media korosif sehingga tidak terjadi korosi pada logam (Rizki, 2015)

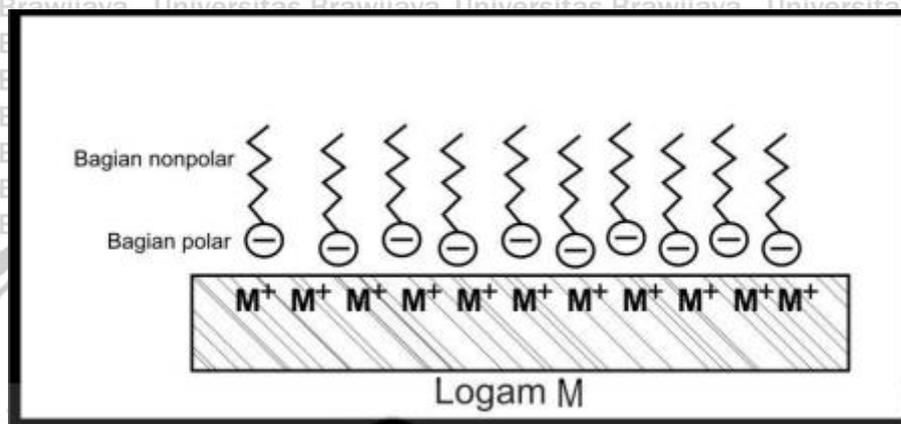
Perlindungan logam dari lingkungan maupun media korosif menggunakan kitosan dapat dengan cara coating atau pelapisan dan inhibitor korosi. Electrophoretic deposition merupakan salah satu cara pelapisan logam dengan kitosan. Beberapa penelitian tentang pelapisan dengan kitosan organik seperti yang dilakukan oleh Wang, et al. (2015) yang melapisi material titanium menggunakan kitosan dengan mekanisme elektrodposisi selama 20 menit dengan voltase konstan sebesar 20 volt, dan kemudian didapatkan tebal lapisan kitosan yang menempel atau terdposisi pada lapisan titanium sebesar 20 μm . Hal ini menunjukkan bahwa kitosan yang membawa/bermuatan positif pada media cair (elektrolit), kitosan tersebut akan tertarik dan terdposisi pada benda kerja yang bermuatan negatif dalam arus DC.

Pembuktian adanya mekanisme *coating* (pelapisan) dengan kitosan pada permukaan logam ditunjukkan oleh hasil penelitian dari Santana, et al. (2016) yang mana dalam penelitiannya menggunakan hybrid sol-gel berisi nanopartikel lempung atau tanah liat untuk melapisi baja karbon rendah dari serangan korosi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi mekanisme pelapisan pada baja karbon rendah serta pelapisan dengan sol-gel yang berisikan nano partikel lempung mempunyai karakteristik mikrostruktur dan lapisan permukaan yang baik pada logam sesuai dengan hasil analisis menggunakan mikroskop optik dan teknologi XPS. Sedangkan pada perilaku anti korosi logam baja karbon rendah menunjukkan bahwa *nano clays* (nano partikel lempung) mampu melawan korosi secara signifikan pada baja karbon rendah.

2.8.2. Proses Adsorpsi.

Proses adsorpsi pada permukaan logam didefinisikan sebagai suatu proses yang mana gas atau cairan (liquid) terakumulasi pada permukaan adsorben (penyerap) kemudian membentuk lapisan molekular (adsorbat) (Widyanti,2009).

Proses perlindungan logam dengan mekanisme inhibitor korosi terjadi proses adsorpsi antara permukaan logam dengan kitosan. Adsorpsi inhibitor membentuk sebuah ikatan kemisorpsi (*chemisorptive bond*) dengan permukaan logam dan menghalangi reaksi dislokasi elektrokimia secara terus menerus. Seperti yang disajikan dalam gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 proses adsorpsi permukaan logam. (Supartha, 2007)

Mekanisme perlindungan logam berupa lapisan yang terserap dijabarkan sebagai berikut.

1. Intermediet FeOH^+ dan $[\text{FeClOH}]^-$ terbentuk pada suatu sistem.
2. Perubahan menjadi oksida besi dan terbentuk lapisan oksida melalui konversi FeOH dan $[\text{FeClOH}]^-$.
3. Garai, dkk. (2012) menjelaskan bahwa pada lapisan oksida besi terjadi reaksi antara molekul arbutin dengan $[\text{FeClOH}]^-$ serta membentuk kompleks $[\text{Fe}(\text{arbutin})_p(\text{OH})_m(\text{Cl})_n]^{2-m-n}$ yang lebih stabil dan memproteksi logam.

Dari hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, beberapa inhibitor organik yang terbukti mampu menghambat laju korosi yaitu *Clove oil* (minyak cengkeh) oleh (Saxena, et al. 2012), ekstrak daun salam (Yufita, dkk. 2018) dan *bee wax popolis* (Gapsari, 2016), melalui proses kerja larutan inhibitor yaitu sebagai berikut (Supartha & Rai, 2007).

1. Zat inhibitor yang ditambahkan dalam suatu larutan elektrolit akan mengalami adsorpsi pada bagian luar dari logam, dengan terbentuknya lapisan yang tipis dan tebalnya terdiri dari molekul-molekul dari inhibitor yang mana mampu menghalangi serangan korosif lingkungan pada logam.

2. Dengan adanya pengaruh lingkungan (misal, pH) inhibitor mengalami endapan pada permukaan logam dan berfungsi sebagai pelindung logam dari serangan korosif.
3. Dengan penambahan inhibitor. Inhibitor tersebut mengkorosi logam yang akan dilindungi dan suatu zat kimia dihasilkan. Dari hasil korosi oleh inhibitor inilah terjadi proses adsorpsi dipermukaan logam serta membentuk suatu lapisan pasif (lapisan pelindung).
4. Zat inhibitor tersebut berfungsi mengeliminasi kontituen penyerang logam dari media korosif ataupun lingkungannya.

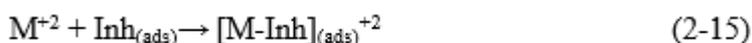
Khan, et al. 2015 menjelaskan mekanisme adsorpsi dari inhibitor organik pada permukaan logam atau larutan terdiri dari tahap berikut ini. Adsorpsi dari inhibitor organik pada permukaan logam biasanya melibatkan pergantian dari satu atau lebih molekul air yang mengawali penyerapan pada permukaan logam.



Yang mana $\text{Inh}_{(\text{soln})}$ dan $\text{Inh}_{(\text{ads})}$ merupakan inhibitor pada larutan yang diserap oleh permukaan logam. Dengan x merupakan jumlah molekul air yang digantikan oleh inhibitor.

Setelah itu inhibitor kemudian bergabung dengan menghasilkan ion logam M^{+2} pada permukaan sebagai hasil dari proses oksidasi atau *dissolution* (lepasnya) permukaan logam.

Reaksi terbentuknya inhibitor kompleks pada logam.



Tergantung pada daya larut relatif dari kompleks yang dihasilkan. Yang selanjutnya terjadi proses inhibitor atau katalis.

2.9 Spektrofotometri FTIR

Dalam sebuah penelitian pengujian dengan FTIR suatu sampel dikenai sinar inframerah kemudian dilakukan proses pengukuran fraksi radiasi yang mengalami absorpsi dalam rentang panjang gelombang yang mempunyai frekwensi tertentu kemudian spektrum yang dihasilkan menunjukkan informasi kualitatif dari sampel uji radiasi inframerah umumnya merupakan bagian dari spektrum elektromagnet yang terdapat pada daerah tampak dan daerah gelombang mikro dari FTIR. Radiasi atau pancaran inframerah yang mempunyai kerapatan dibawah 100 cm^{-1} (memiliki gelombang dengan panjang di atas $100 \mu\text{m}$).

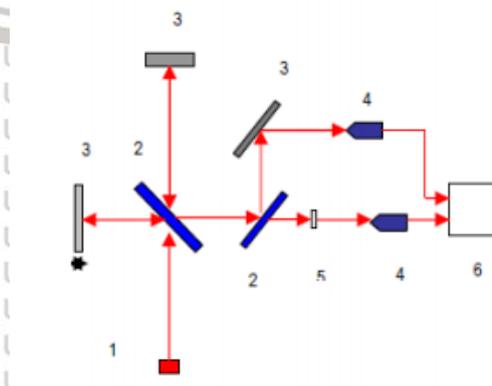
Sinar inframerah didefinisikan sebagai suatu cara atau metode yang digunakan untuk menganalisis sebuah interaksi antara molekul-molekul berdasarkan radiasi elektromagnetik

dan terdapat dalam daerah dengan panjang gelombang sekitar 0,75-1000 μm serta pada panjang gelombang sekitar 1300-10 $1/\text{cm}$. sinar infrared atau sinar elektromagnetik memiliki panjang gelombang lebih dari cahaya yang terlihat secara visual serta memiliki lebih kecil dari mikro gelombang, yaitu dengan posisi 700 mm. Sinar inframerah terbagi kedalam berbagai sinar berdasarkan pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 pembagian sinar didasarkan panjang gelombang (Sastrohamidjojo, 1991)

Penandaan	Panjang Gelombang		Frekuensi (Hz)	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
	Satuan Umum	Meter		
Sinar-X		$10^{-12} - 10^{-8}$	$10^{20}-10^{16}$	
Ultra Ungu Jauh	10 – 200 nm	$10^{-12} - 2 \times 10^{-7}$	$10^{16}-10^{15}$	
Ultra Ungu Dekat	200 – 400 nm	$2 \times 10^{-7} - 4,0 \times 10^{-7}$	$10^{15}-7,5 \times 10^{14}$	
Sinar Tampak	400 – 750 nm	$4,0 \times 10^{-7} - 7,5 \times 10^{-7}$	$7,5 \times 10^{14} - 4 \times 10^{14}$	25.000 - 13.000
Infra Merah Dekat	0,75 – 2,5 μm	$7,5 \times 10^{-7} - 2,5 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{14} - 1,2 \times 10^{14}$	13.000 - 4.000
InfraMerah Pertengahan	2,5 – 50 μm	$2,5 \times 10^{-6} - 5,0 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{14} - 6 \times 10^{12}$	4.000 - 200
Infra Merah Jauh	50 – 1.000 μm	$5,0 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{12} - 10^{11}$	200 - 10
Gelombang Mikro	0,1 – 100 cm	$1 \times 10^{-3} - 1$	$10^{11} - 10^8$	$10 - 10^{-2}$
Gelombang Radio	1 – 1.000 m	$1 - 10^3$	$10^8 - 10^5$	

Dari tabel 2.2 pembagian sinar inframerah di atas maka dapat diketahui bahwa posisi panjang gelombang yang di gunakan oleh spektroskopi inframerah yaitu pada posisi pertengahan inframerah yaitu dengan gelombang sekitar 2,5-50 μm serta dengan kisaran angka 4000-200 $1/\text{cm}$ sedangkan gelombang bengkakan merupakan vibrasi yang dipakai untuk mengidentifikasi, khususnya goyangan (rocking) dengan bilangan gelombang berada pada 2000-400 cm^{-1} . Sedangkan gugus fungsional diamati pada bilangan diantara 4000-2000 cm^{-1} . Kemudian gugus karbonil pada sampel yang teroksidasi terdapat pada bilangan gelombang 1720-1710 cm^{-1} . Dan termasuk ke dalam wilayah pertengahan.



Gambar 2.10. Skema instalasi alat uji spektroskopi FT-IR. (1) sumber infrared. (2) pemisah berkas pancaran. (3) glass pemantul. (4) Sensor infrared. (5) spesimen uji. (6) hasil display (Anam dkk. 2007).

Prinsip kerja dari FTIR yaitu spesimen uji dilakukan proses scan, yang mana sinar inframerah di pancarkan ke spesimen uji. Gelombang yang dipancarkan kemudian diteruskan oleh spesimen uji yang akan diterima oleh pendeteksi yang telah tersambung dengan software pada komputer, kemudian terakhir software pada komputer tersebut akan menampilkan gambaran dari spektrum spesimen uji. Hasil analisis uji diperoleh spektrum berbentuk struktur kimia dari sampel uji, ikatan molekuler yang terbentuk serta suatu gugus fungsional spesimen. Oleh karena itu alat uji FTIR diaplikasikan dalam pengujian sampel dengan kualitatif maupun kuantitatif. Tabel 2.2 merupakan beberapa gugus fungsi secara khusus dengan bilangan gelombang pada pengujian FTIR.

Tabel 2.3 gugus fungsi, jenis senyawa, daerah serapan tertentu pada pengujian FTIR (Sastrohamidjojo, 1992).

Gugus	Jenis Senyawa	Daerah Serapan (cm^{-1})
C-H	Alkana	2850 - 960, 1350 - 1470
C-H	Alkena	3020 - 3080, 675 - 870
C-H	Aromatik	3000 - 3100, 675 - 870
C-H	Alkuna	3300
C=C	Alkena	1640 - 1680
C=C	Aromatik	1500 - 1600
C-O	Alkohol, eter, asam karboksilat, ester	1080 - 1300
C=O	Aldehida, keton, asam karboksilat, ester	1690 - 1760
O-H	Alkohol, fenol (monomer)	3610 - 3640
O-H	Alkohol, fenol (ikatan H)	2000 - 3600 (lebar)
O-H	Asam karboksilat	3000 - 3600 (lebar)
N-H	Amina	3310 - 3500
C-N	Amina	1180 - 1360
NO ₂	nitro	1515 - 1560, 1345 - 1386

2.10 Pengukuran Laju Korosi

Pengukuran laju korosi dengan polarisasi merupakan mekanisme korosi berdasarkan potensial campuran pada logam, sehingga dalam perhitungan laju korosi polarisasi ini menjadi salah satu acuan. Pada proses korosi baik pergerakan elektron dan arus listrik dari anoda ke katoda sehingga terjadi perubahan potensial. Polarisasi merupakan arus yang mengalir akibat adanya perubahan potensial dari potensial standart. Jumlah elektron yang diterima oleh katoda

sama dengan jumlah elektron yang dilepas oleh anoda sehingga terjadi perubahan potensial antara katoda dan anoda. Proses mengalirnya elektron akan terjadi secara kontinu sampai akhirnya terjadi keseimbangan antara arus anoda dengan katoda serta potensialnya juga mengalami keseimbangan (Gapsari, 2016).

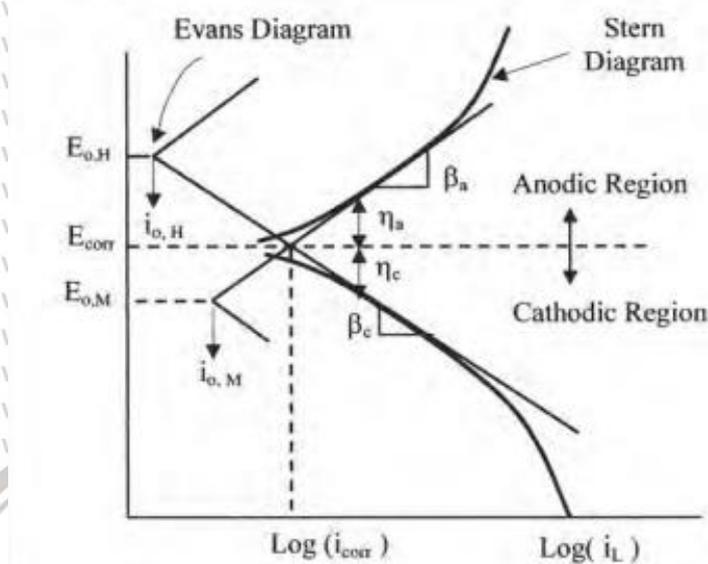
2.10.1 Pengukuran Dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik

Pengukuran beda potensial dengan metode elektrokimia untuk mengukur laju korosi dengan cara polarisasi linear. Polarisasi diartikan sebagai kondisi suatu material logam yang tidak berada dalam posisi kesetimbangan dengan larutan beserta ion-ion kandungannya, yang mana potensial elektrodanya berbeda dengan potensial korosi bebas serta selisih antara ion dengan potensialnya. Nilai polarisasi suatu sistem dinyatakan dengan satuan *overvoltage* (η) yang menunjukkan besarnya nilai polarisasi terhadap kesetimbangan suatu elektroda. Dalam pengukuran laju korosi terdapat dua macam polarisasi yaitu polarisasi konsentrasi dan polarisasi aktivasi. Polarisasi konsentrasi merupakan sebuah reaksi secara elektrokimia yang mana proses difusi ion dalam larutan elektrolit mengendalikan proses tersebut, sedangkan polarisasi aktivasi didefinisikan sebagai dalam reaksi elektrokimia siklus reaksi yang terjadi, reaksi permukaan logam dengan larutan elektrolit mengendalikan reaksi elektrokimia tersebut.

Pengukuran dengan cara polarisasi potensiodinamik merupakan salah satu cara pengukuran secara kuantitatif pada material logam untuk mengetahui perilaku korosinya. Metode potensiodinamik inilah yang biasa digunakan untuk mengukur sifat aktif-pasif keadaan suatu logam. Menurut Hussin dan Kassim (2011) potensiodinamik pada pengukuran laju korosi menggunakan potensial material yang ditingkatkan dari E_{corr} dengan keadaan aktif kemudian potensialnya meningkat secara berkelanjutan dari potensial E_{corr} tersebut. Dalam penggunaan pengukuran ini kendali potensial berlebih digunakan kemudian laju korosi pada material bisa diamati berupa grafik polarisasi potensial dari material secara langsung. Hasil pengujian laju korosi dengan menggunakan metode polarisasi berupa kurva plot antara potensial dengan arus.

Kurva yang didapat tersebut kemudian diekstrapolasi tabel sehingga didapatkan nilai I_{kor} , E_{kor} , b_a , b_c dan laju korosi suatu material yang diuji (C_R). Ekstrapolasi tabel didefinisikan sebagai suatu cara pengukuran kecepatan korosi menurut grafik polarisasi (η) vs $\log I$ (arus). Dengan polarisasi secara katodik dan anodik kemudian didapatkan garis lurus yang memiliki kemiringan/slope tertentu, yang mana besarnya nilai kemiringan tersebut adalah nilai ketetapan dari kurva polarisasi (η). Nilai titik pertemuan antara polarisasi anodik dan katodik sama dengan $b_a \log i_0$ dengan arus pertukaran merupakan sebuah tetapan untuk suatu bahan dan larutan elektrolit tertentu. Plotting antara variasi dengan $\log i$ didapatkan dari persamaan tabel

yang dirubah kedalam bentuk grafik serta perpotongan antara kedua garis yaitu reaksi anoda maupun reaksi katoda yang bernilai sama dengan potensial korrosi (E_{kor}) serta arus korosi (I_0) seperti yang ditampilkan dalam gambar 2.11.



Gambar 2.11 ekstrapolasi tafel (Perez, 2004).

Terjadinya proses korosi digambarkan dengan adanya perbedaan potensial antara katoda dan anoda. Akan tetapi hal ini tidak dapat menunjukkan laju korosi pada logam yang sebenarnya. Kerapatan arus yang timbul (*current density*) juga merupakan bentuk laju korosi pada logam. Tingginya kerapatan arus yang timbul menunjukkan tingginya laju korosi pada suatu logam. Adanya E_{kor} dan I_{kor} didapatkan dalam kurva polarisasi dengan di modelkan menggunakan persamaan tafel dan persamaan Butler Volmer.

$$I = I_0 e^{(2.303)(\frac{E-E_0}{b})} \quad (2-18)$$

Dengan:

I = arus yang terjadi akibat adanya reaksi

I_0 = arus pertukaran.

E = potensial elektroda

E_0 = potensial kesetimbangan

b = konstanta tafel

Terjadi reaksi katodik dan anodik dalam proses korosi suatu logam, akan tetapi persamaan tafel berlaku hanya untuk satu reaksi. Pada reaksi katodik dan anodik perumusan tafel equation dikenal dengan persamaan Butler-Volmer.

$$I = I_{kor} e^{(2.303)(\frac{E-E_{kor}}{ba})} e^{(-2.303)(\frac{E-E_{kor}}{bc})} \quad (2-19)$$

Dengan:

I = arus yang terukur (A)

I_{corr} = arus korosi (A)

E = potensial elektroda

E_{corr} = potensial elektroda (V)

b_a = konstanta beta anodik

b_c = konstanta beta katodik

dalam menghitung laju korosi dari I_{corr} di dalam sebuah kurva polarisasi dapat dihitung menurut standar ASTM volume 03.02.G02. sebagai berikut.

$$C_R = K_I = \frac{I_{\text{kor}} EW}{\rho} \quad (2-20)$$

Dengan:

C_R = laju korosi (mm/year)

$K_I = 3,27 \times 10^{-3} \text{ mm g}/\mu\text{A. Cm year.}$

I_{corr} = rapat arus ketika E_{corr} (arus pertukaran density)

ρ = density (g/cm²)

E = berat equivalent.

Sedangkan berdasarkan hasil pengujian metode pengurangan berat laju korosi dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$\text{Penetrasi} = \frac{\text{berat yang hilang (mg)} \cdot \text{faktor } C}{\text{luas area (mm}^2\text{)} \cdot \text{density } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^2}\right)} \quad (2-21)$$

Dengan besar nilai $C = 1$ untuk mm dan 0,061 untuk mil.

Sedangkan laju korosi nyata dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Laju korosi nyata} = \frac{\text{penetrasi (mm atau mil)} \cdot 365}{\text{waktu (hari)}} \quad (2-22)$$

Data-data yang diperoleh kemudian dihitung nilai efisiensi inhibitor korosinya (%EI) menggunakan persamaan.

$$\%EI = \frac{I_{\text{kor}} - I_{\text{kor}}(i)}{I_{\text{kor}}} \times 100 \quad (2-23)$$

Dengan:

I_{kor} = densitas arus korosi dengan media korosi tanpa inhibitor,

$I_{\text{kor}}(i)$ = densitas arus korosi dalam media korosi dengan adanya penambahan inhibitor.

Seperti yang didapat dari ekstrapolasi tafel seperti pada gambar 2.13

2.10.2 Pengukuran Laju Korosi Dengan Metode *Electroscopy Impedance Spectroscopy* (EIS) atau Spektroskopi Impedansi Elektrokimia (SIE).

Pengukuran dengan metode elektrochemical impedance spectroscopy (EIS) merupakan salah satu pengukuran laju korosi dalam penelitian korosi, yang mana pada dasarnya impedance sel elektrokimia diukur pada rentang frekuensi tertentu. Metode EIS merupakan metode yang sangat berguna dalam menganalisis karakteristik perilaku korosi dari sebuah elektroda termasuk dalam menentukan tahanan polarisasi (R_p), *corrosion rate* (C_R) serta mekanisme elektrokimia. Nilai-nilai parameter pada suatu sirkuit sel dianalisis menggunakan metode model sirkuit elektronik khusus bagi sistem tersebut. Pengujian dengan menggunakan metode EIS ini, sinyal yang dihasilkan berdasarkan pengukurannya dijelaskan sebagai fungsi waktu seperti berikut ini.

$$E_t = E_0 \cos(\omega t) \quad (2-24)$$

Dengan,

E_t = potensial pada waktu tertentu (t)

E_0 = *signal amplitude*

ω = frekuensi radial.

Sementara itu frekuensi radial (ω) yang dengan satuannya radian/detik memiliki hubungan dengan frekuensi (Hz) sesuai dengan persamaan berikut.

$$\omega = 2 \pi f \quad (2-25)$$

dalam sistem linier sinyal yang direspon (I_t) mengalami pergeseran fase (ϕ) dengan amplitudo yang tidak sama (I_0) sehingga persamaannya menjadi.

$$I_t = I_0 \sin(\omega t - \phi) \quad (2-26)$$

Kemudian impedansi dari suatu sistem dapat dihitung dengan persamaan.

$$Z = \frac{E(t)}{I(t)} = \frac{E_0 \sin(\omega t)}{I_0 \sin(\omega t - \phi)} = Z_0 \frac{\sin(\omega t)}{\sin(\omega t - \phi)} \quad (2-27)$$

Selanjutnya digunakan hubungan Euler dan menjadi

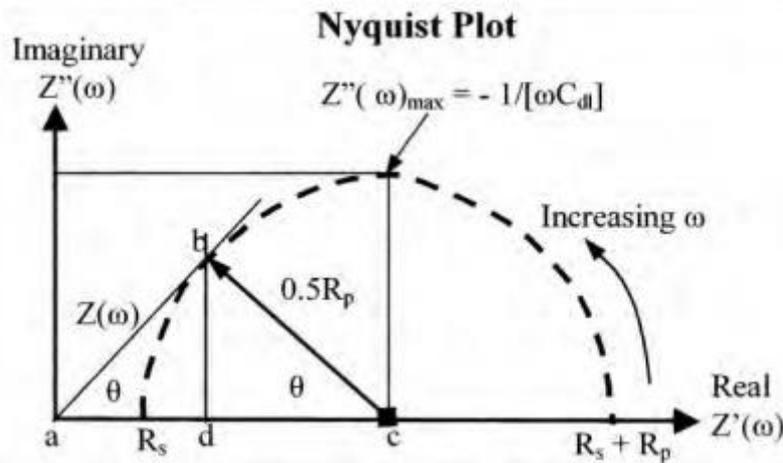
$$\exp(j\phi) = \cos \phi + j \sin \phi \quad (2-28)$$

Impedansi juga lebih memungkinkan untuk ditunjukkan sebagai fungsi yang lebih kompleks sebagai persamaan berikut.

$$Z = \frac{E}{I} = Z_0 \exp(j\phi) = Z_0 (\cos \phi + j \sin \phi) \quad (2-29)$$

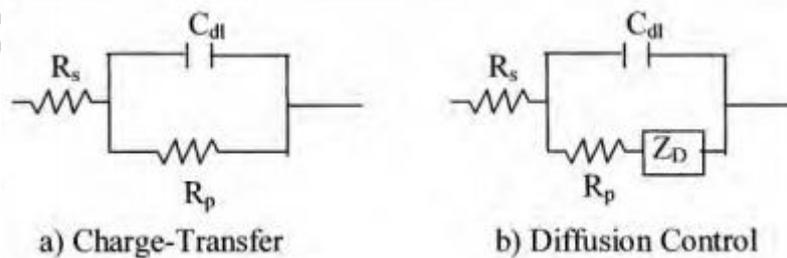
Dari persamaan (2-29) tersebut terdapat dua macam nilai dari impedansi yaitu nilai riil dan imajiner. Yang mana bilangan riil menunjukkan resistansi bahan dan bilangan imajiner menunjukkan kapasitansi dari bahan. Kedua konfigurasi dari nilai tersebut pada sebuah sirkuit

diketahui berdasarkan pengukuran serta analysis dalam bentuk kurva impedansi atau dikenal sebagai kurva nyquist. Seperti dalam gambar 2.12.



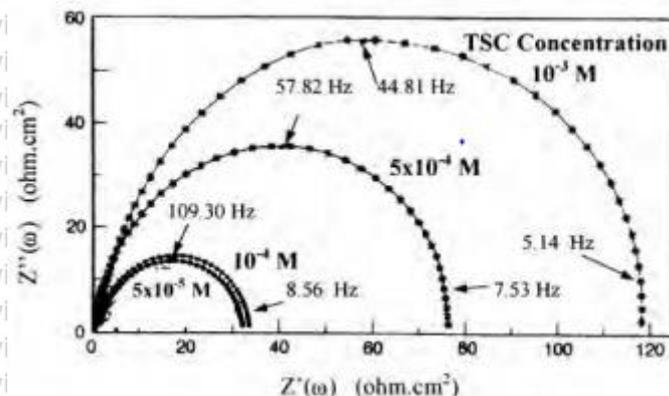
Gambar 2.12 sirkuit impedansi elektrokimia Nyquist plot dengan radius $R_p/2$ (Perez, 2004)

Dari kurva sirkuit impedansi elektrokimia Nyquist plot kemudian diperoleh sirkuit equivalen sistem seperti pada 2.13 berikut.



Gambar 2.13 skema sirkuit elektrokimia. (Perez, 2004).

Gambar 2.13 skema sirkuit elektrokimia menunjukkan dua buah skema elektrokimia model sirkuit. Gambar 2.15a merupakan chage-transfer yang terdiri dari tahanan larutan (R_s), polarisasi tahanan (R_p) dan kapasitor (C_{dl}), sedangkan pada sirkuit diffusion control gambar 2.13b terdapat tambahan berupa difusi impedansi (Z_D). Sedangkan contoh hasil eksperimen korosi dengan metode EIS pada baja AISI 1030 dapat diamati pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 hasil eksperimen plot Nyquist baja AISI1030 dalam larutan 35% H_3PO_4 + 6% butanol pada temperatur ruangan. (Perez, 2004).

2.11 Kitosan Dari Sisik Ikan Nila

Kitosan merupakan susunan dari monomer glukosamin yang membentuk polisakarida rantai lurus serta terhubung melalui ikatan (1-4) β -glikosidik yang diperoleh dari produk biologis dengan sifat kationik, nontoksik, biodegradable serta biokompatibel. Gugus amino (NH_2) lebih banyak terkandung di dalam kitosan dibandingkan dengan kitin sehingga kitosan lebih nukleotik serta bersifat basa. Kitosan didapatkan dengan cara proses deasetilasi dari kitin. Dengan rumus molekul $(C_6H_{11}NO_4)_n$ (Bahri, dkk 2015).

Ikan nila dipelihara dan dibudidayakan pada air tawar serta merupakan konsumsi pada masyarakat luas baik pada lesehan, rumah makan, ataupun rumah tangga. Tingginya konsumsi masyarakat menyebabkan limbah dari sisik ikan nila tersebut. Salah satunya yaitu limbah sisik ikan. Pada penelitian ini limbah sisik ikan nila akan diolah menjadi kitosan. Kitosan didapatkan dari serbuk sisik ikan yang kemudian dilakukan proses deasetilasi (eliminasi gugus asetil) dari chitin dengan perendaman dalam larutan alkali (NaOH) berkonsentrasi tinggi. Adapun karakteristik gugus fungsi dari kitosan sisik ikan yang dihasilkan dari pengujian FTIR seperti tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 serapan FTIR karakteristik dari kitosan sisik ikan.

No.	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Jenis vibrasi	Nama fungsi group
1	1038,39	(C-O stretch)	Ester: methylformate
2	1468,49	C-C=C asymmetric stretch	Aromatic rings: benzene
3	1638,21	C=O stretch	Ketones: acetone
4	2930,43	H-C-H asymmetric dan symmetric stretch	Alkanes: methane
5	3455,03	N-H stretch	Amines-primary: ethylamine

2.11.1 Proses Pembentukan Kitosan Dari Sisik Ikan Nila

Dalam proses pemrosesan serbuk sisik nila menjadi kitosan dilakukan dengan cara menghilangkan tiga komponen besar dari sisik ikan tersebut yaitu mineral, protein dan kalsium karbonat. Dalam proses pembuatan kitosan, untuk mendapatkan kitosan murni biasanya dilakukan dengan metode enzimatik (menggunakan enzim dari ataupun bakteri) dan kimiawi (merekasikan dengan zat kimia). Yang mana kandungan mineral dihilangkan dengan cara demineralisasi, kandungan protein dihilangkan dengan cara deproteisasi dan kalsium karbonat dihilangkan dengan cara deasetilisasi (Thariq, dkk 2016).

Tahap-tahap pemrosesan kitosan dari sisik ikan nila.

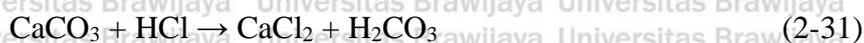
1. Deproteinasi.

Deproteinasi merupakan proses penghilangan atau melepas ikatan antara kitin dengan protein sisik ikan. Dengan cara merendam atau mereaksikan antara serbuk sisik ikan dengan larutan alkali (NaOH). Dengan reaksi yang terjadi selama proses yaitu sebagai berikut.



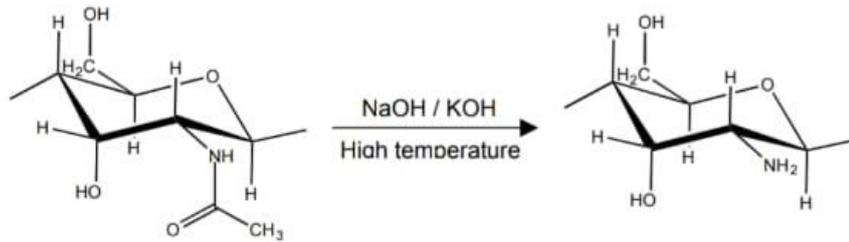
2. Demineralisasi

Demineralisasi merupakan proses penghilangan garam-garam organik ataupun kandungan mineral pada sisik ikan, terlebih kandungan kalsium karbonat dengan menggunakan larutan asam klorida (HCl). Dengan reaksi yang terjadi selama proses yaitu sebagai berikut.



3. Deasetilisasi

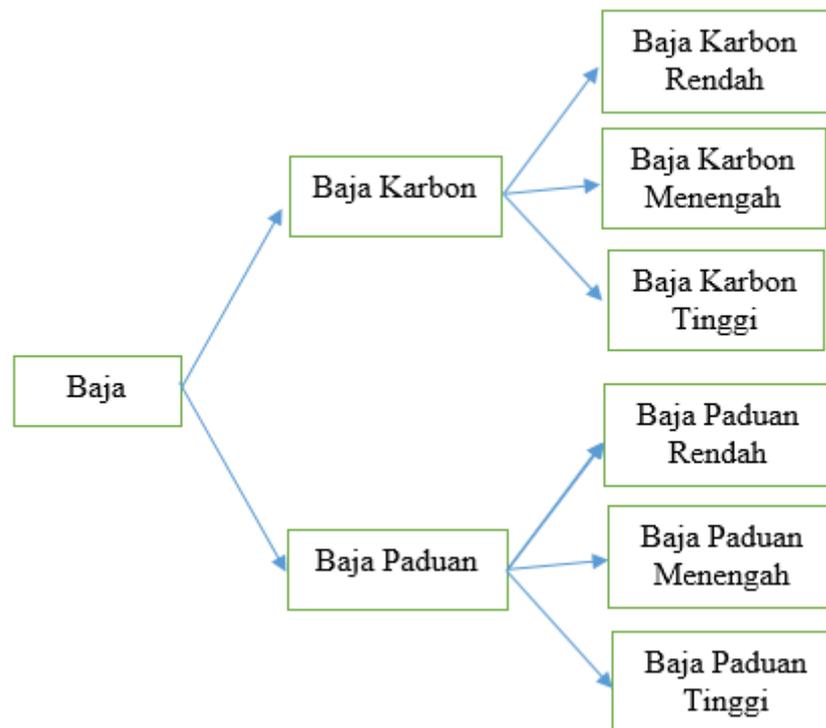
Deasetilisasi merupakan proses perendaman kitin dengan NaOH berkonsentrasi tinggi (70%). Yang mana gugus asetamida (-NHCOCH₃) yang terdapat pada kitin berubah menjadi gugus amina (-NH₂) maka dihasilkanlah kitosan dari sisik ikan nila. Dengan reaksi sebagai berikut.



Gambar 2.15 proses penghilangan gugus asetamida dengan NaOH menjadi gugus amina. (Lee, 2004).

2.12 Besi ASTM A36

Material besi dan baja merupakan material yang paling sering diaplikasikan dalam berbagai bidang kehidupan, seperti infrastruktur (jembatan dan gedung), industri perkapalan, industri kimia, perminyakan dan sebagainya. Berdasarkan komposisi kimia penyusunnya, material baja dibagi kedalam dua kelompok seperti pada 2.16 berikut.



Gambar 2.16 klasifikasi baja karbon berdasarkan komposisi kimia.

A. Besi ASTM A36 atau Baja Karbon..

Besi ASTM A36 didefinisikan sebagai material yang tersusun dari unsur ferro dengan carbon. Unsur karbon berfungsi sebagai penguat unsur besi yang efektif dan harganya murah, sehingga sebagian besar karbon selalu terdapat pada material baja dan beberapa unsur paduan lainnya.

- Baja dengan karbon rendah, memiliki kandungan karbon $< 0.25\%$, dengan struktur ferrit lebih mendominasi serta sedikit perlit, sifat ulet yang tinggi, mudah di proses dengan mesin.
- Baja dengan kandungan karbon menengah, terdiri dari unsur karbon sekitar $0,25\%-0,6\%$ dengan sifat yang mampu perlakuan proses panas untuk dirubah sifat mekaniknya serta memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada baja karbon rendah.
- Baja dengan kandungan karbon tinggi, mempunyai komposisi karbon antara $0,6\%-1,7\%$ dengan sifat mampu las, bengkok dan potong yang lebih sulit daripada baja dengan kandungan karbon rendah.

B. Baja (ferrous + carbon) Paduan

Baja paduan merupakan material baja yang terdiri dari berbagai paduan unsur lainnya.

- Baja dengan komposisi paduan rendah yaitu material baja yang elemen paduannya $\leq 2,5\%$ seperti Crom, Mangan, Sulfur, Silicon, Phospor serta elemen lainnya.
- Baja dengan komposisi paduan menengah yaitu apabila kandungan unsur paduannya berada diantara $2,5 - 10\%$, seperti Crom, Mangan, Sulfur, Silicon, Phospor serta elemen lainnya.
- Baja dengan komposisi paduan tinggi yaitu material baja yang kandungan unsur paduan penyusunnya $> 10\%$ seperti unsur Crom, Mangan, Sulfur, Silicon, Phospor serta elemen lainnya.

Dalam penelitian ini digunakan Besi ASTM A36 sebagai material uji dengan spesifikasi komposisi kimia sebagai berikut.

Tabel 2.5 spesifikasi komposisi kimia besi ASTM A36 (ASTM A36, 2004).

Komposisi Kimia (Elemen)	Kandungan (%)
Karbon (C)	0.25 – 0.29
Tembaga (Copper, Cu)	0.2
Iron (Fe)	98
Manganese (Mn)	1.03
Phosphorous (P)	0.04
Silicon (Si)	0.28
Sulfur (S)	0.05



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB III
KERANGKA KONSEP

3.1. Konsep Korosi

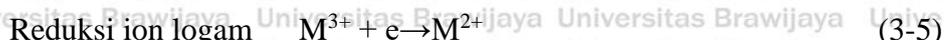
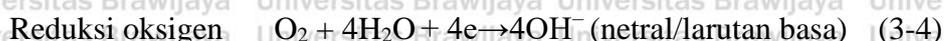
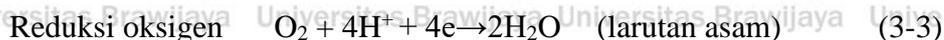
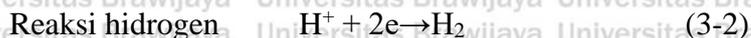
Korosi pada dasarnya merupakan penurunan kualitas pada logam akibat adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungan (Trethewey & Chamberlain, 1991). Korosi pada logam menjadi masalah bagi dunia rekayasawan termasuk bidang metallurgy, kimia, konstruksi dan industri perminyakan (Durowaye, *et al.*, 2014). Dengan melihat bahwa kebutuhan akan penggunaan logam yang masih tinggi, korosi menjadi tantangan dalam penggunaannya. (Gapsari, 2017) menjelaskan bahwa korosi dikaitkan dengan proses destruktif pada suatu material yang bukan akibat pembebanan mekanik. Seperti misalnya logam-logam yang ditaruh pada lingkungan dengan udara luar, material tersebut akan dengan mudah mengalami korosi/kerusakan.

Mekanisme korosi pada logam umumnya merupakan reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia yang terdapat pada proses korosi terdiri dari reaksi anodik dan katodik, Atom Fe yang berada di sekeliling baja karbon rendah larut dalam air kemudian terion menjadi atom Fe⁺. Kemudian elektron mengalir di sepanjang baja karbon dengan potensial tinggi (bagian anodik) ke baja karbon potensial rendah (bagian katodik), yang mana pada sisi anodik logam terjadi pengikisan atau penghilangan bagian. Reaksi korosi pada logam akan terus berlangsung jika jumlah elektron yang diterima oleh daerah katodik sama dengan elektron yang ditransfer dari daerah anodi. Sehingga dalam proses terjadinya korosi molekul oksigen dibutuhkan untuk dapat mengionisasi dan melarutkan dua atom Fe pada daerah anodik. Oleh karena itu korosi pada material tidak akan terjadi jika pada daerah katodik tidak terdapat air dan oksigen Mahardika, et al., 2016).

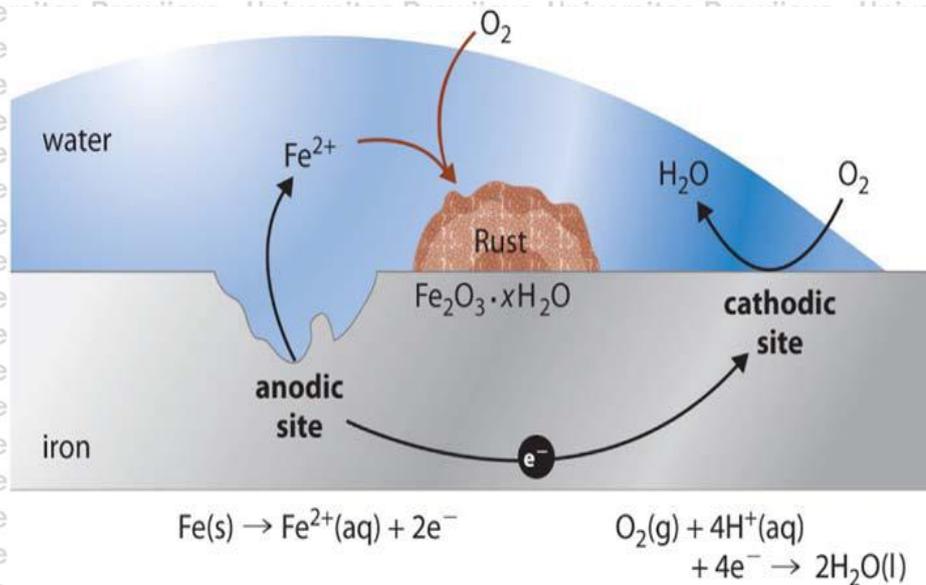
Reaksi anodik pada proses korosi bisa diilustrasikan sebagai berikut.



Sedangkan reaksi-reaksi katodik bisa diilustrasikan sebagai berikut.



Proses korosi pada material logam dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 proses terjadinya korosi pada logam.

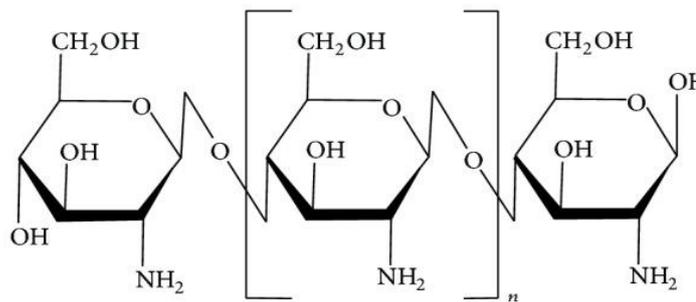
Sumber: Nazeer, *et al.*, 2018.

Pengaplikasian baja karbon rendah yang begitu luas, biasanya tidak memperhatikan ketahanan korosi sebagai pertimbangan utama. Dengan meningkatnya pemanfaatan logam ini di perusahaan manufaktur dan konstruksi, salah satu masalah utama yang dihadapi adalah pengendalian laju korosi ketika terkena lingkungan korosif yang berbeda. Terlebih korosi pada baja karbon rendah sangat mudah terjadi apabila bereaksi secara cepat dengan lingkungannya, Mengingat bahwa unsur penyusun utama dari baja karbon rendah merupakan besi 98,9 (wt %) (Yaro, *et al.*, 2013).

Dengan aplikasi yang luas dari baja karbon rendah maka diperlukan pengendalian terhadap laju korosi pada material. Kontrol korosi merupakan tantangan bagi rekayasawan karena biaya kerusakan, pemeliharaan korosi dan sumber daya alam yang semakin berkurang. Gafsari, (2017) dalam buku yang berjudul pengantar korosi mengatakan bahwa korosi dapat dikendalikan meliputi tiga hal berdasarkan 1) bahan atau material, 2) lingkungan dan interaksi bahan dan 3) material dengan lingkungan. Oleh karena itu diperlukan pemutusan interaksi antara bahan dengan lingkungan, untuk mencegah terjadi korosi pada material.

Dalam penelitian yang dilakukan ini, akan dilapisi dengan kitosan (*chitosan coating*) baja karbon dengan menggunakan metode electrophoretic deposition (EPD) dan *chitosan inhibitor corrosion*. Hal ini diharapkan mampu mengurangi atau mencegah laju korosi pada baja karbon rendah. Kitosan merupakan kopolimer linear dari D-glucasamine dan N-acetyl-D-glucasamine dengan ikatan β (1-4), yang mana unit pengulangan didominasi oleh

glukosamin (Barbosa, et al, 2017). Gambar 3.2 merupakan struktur kitosan yang didapat dari proses deasetilasi kitin.

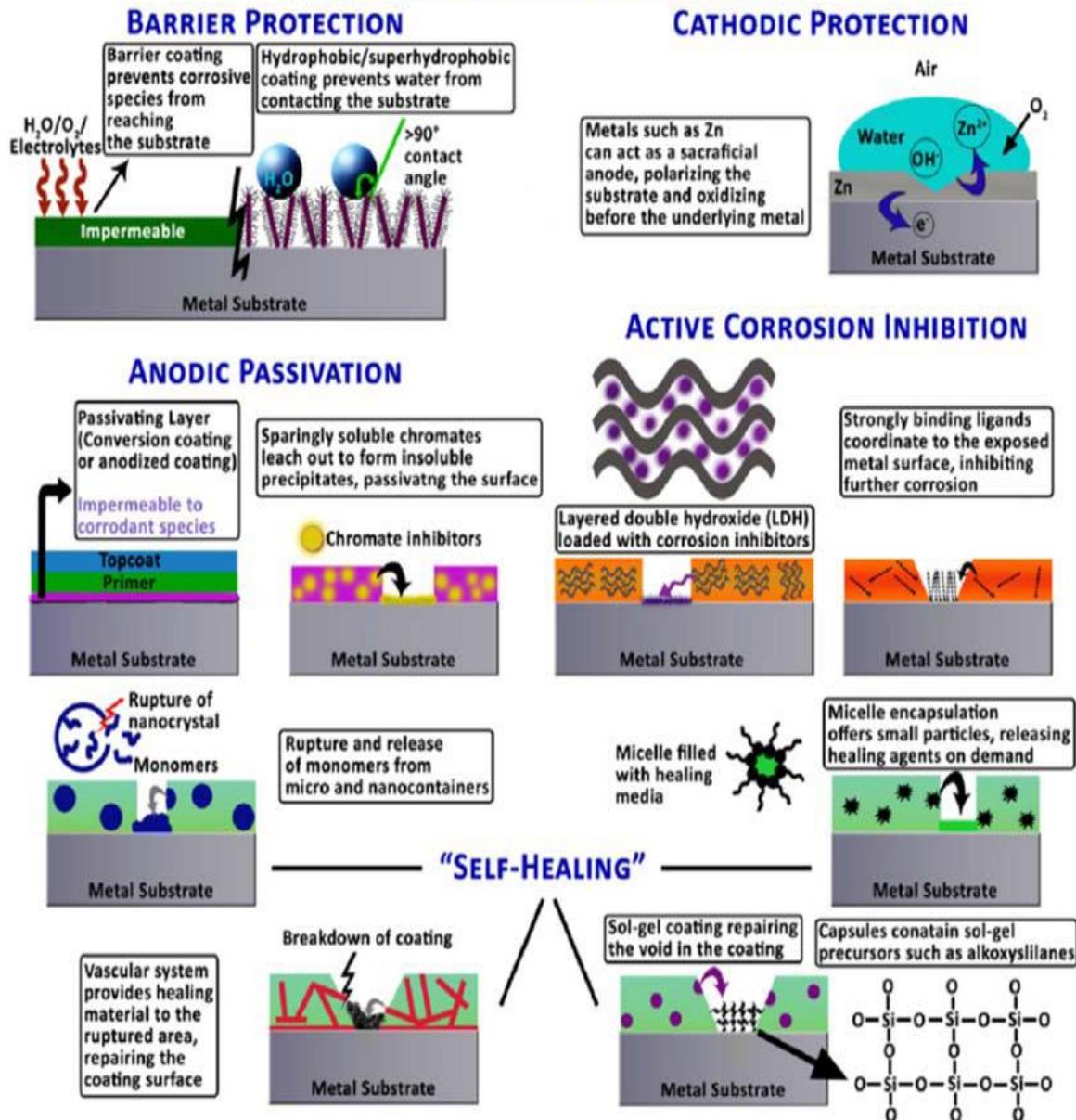


Gambar 3.2 struktur kimia dari kitosan [poly-(β -1/4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose].

Sumber: Rodríguez-Vázquez, *et al.*, 2015.

Pada air dan media pelarut lainnya kitosan tidak terlarut. Gugus fungsional amino dari unit glukosamin terjadi protonasi yang menyebabkan rusaknya interaksi atraktif dalam cincin (ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik), yang merupakan hasil dari larutnya kitosan dengan tekanan elektrostatis antar gugus NH_3^+ . Larutan kitosan memiliki sifat yang unik yaitu dapat membentuk lapisan yang kuat pada logam serta elastis. Kitosan dapat mengabsorbs uap air dari atmosfer dapat menembus lapisan logam sehingga terjadi korosi, oleh karena itu pada berbagai penelitian telah dilakukan pengembangan/penggunaan kitosan sebagai media anti korosi Wardani, (2014).

MODES OF CORROSION INHIBITION



Gambar 3.3 merupakan beberapa metode pencegahan korosi seperti: 1) perlindungan katodik, 2) anoda pasif, 3) penghambatan elektrolit dan 4) penghambatan korosi aktif. Sumber : Nazeer, *et al.*, 2018.

Penelitian ini akan mengamati laju korosi pada baja karbon rendah yang di *coating* dan inhibitor korosi dari chitosan sisik ikan. Beberapa hasil penelitian dan beberapa pustaka menunjukkan bahwa metode *coating* dan inhibitor korosi mampu menghambat laju korosi pada material logam. Review jurnal yang dilakukan oleh Nazeer, *et al.*, (2018) dengan judul “*potential use of smart coating for corrosion protection of metal and alloys: A review*” dari berbagai jurnal, hasil review yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pelapisan dari bahan polimer pada logam mampu memperbaiki cacat permukaan akibat adanya goresan permukaan

logam serta mampu menghambat laju korosi, dibandingkan dengan logam yang tanpa pelapisan. Konsep dari *smart coating* yang dilakukan yaitu pelapis yang mampu mengadaptasikan sifatnya secara dinamis ke stimulus external sehingga dapat menghambat laju korosi. Beberapa upaya *smart coating* yang telah diteliti, dipelajari dan sedang dikembangkan baik di tingkat akademis maupun industri yaitu sistem antimikroba konduktif, antifouling, *selfhealing* dan sistem *self-cleaning*.

3.2 Perlindungan Logam Dengan Mekanisme *Coating* dan Adsorpsi (Inhibitor Korosi).

Korosi pada logam merupakan salah satu penyakit pada logam yang menyebabkan menurunnya kualitas logam. Mengingat material logam dan paduannya merupakan salah satu material yang digunakan di berbagai aspek kehidupan baik pada infrastruktur, industri nuklir, pertambangan, makanan dan industri elektrokimia dan sebagainya. Mengingat penting dan luasnya penggunaan material logam maka perlu dilakukan perlindungan ataupun pencegahan laju korosi. Apabila dilihat dari aspek lingkungannya maka cara pengendalian korosi logam yaitu dengan cara mencegah reaksi antara logam dengan lingkungannya. Pada penelitian ini dilakukan pencegahan atau pengurangan laju korosi dengan cara pelapisan organik dan Inhibitor organik.

1. Mekanisme pelapisan dengan metode *electrophoretic deposition* (EPD).

Electrophoretic deposition (EPD) merupakan sebuah metode proses pelapisan tradisional dalam industri keramik yang mana penggunaannya semakin meningkat pada proses pelapisan bahan-bahan lain. *Electrophoretic deposition* (EPD) didapatkan melalui pergerakan partikel yang didispersikan (terdeposisi) dalam cairan elektrolit menuju elektroda dibawah medan listrik yang diberikan. Pergerakan ini menghasilkan akumulasi partikel serta terbentuknya lapisan homogen pada elektroda kerja (Riccardis, 2012). Hal tersebut serupa dengan yang diungkapkan oleh Wang, *et al.* (2014) yang mana dalam proses *electrophoretic deposition* (EPD) muatan partikel (partikel chitosan/polimer) membawa/berbentuk muatan positif yang kemudian dalam media cair yang berupa cairan elektrolit partikel atau chitosan yang bermuatan positif tersebut akan tertarik dan terdeposisi pada benda kerja yang bermuatan negatif dalam arus DC. Sehingga terbentuk lapisan dari kitosan pada permukaan logam yang berfungsi sebagai pelindung material logam dari serangan korosi akibat tidak adanya reaksi dengan oksigen. Perlindungan korosi tersebut melalui efek penghalang logam dengan lingkungan korosif, efek inhibisi, efek anoda logam aktif (*galvanic effect*).

2. Inhibitor dari senyawa organik merupakan jenis inhibitor bersumber dari material organik, yang mana mampu teradsorpsi pada permukaan logam dengan cara kimiawi ataupun dengan cara fisika sehingga mampu menurunkan laju korosi pada logam dengan cara mengisolasi permukaan logam dengan pembentukan film teradsorpsi sehingga tidak terjadi reaksi kimia dengan lingkungannya. Ada dua faktor penting dalam terbentuknya film dalam proses adsorpsi yaitu suhu dan tekanan. Campuran (*mixed*) inhibitor merupakan perlindungan logam dengan tiga cara yaitu: *physical adsorption*, *chemisorption* serta *film formation*.

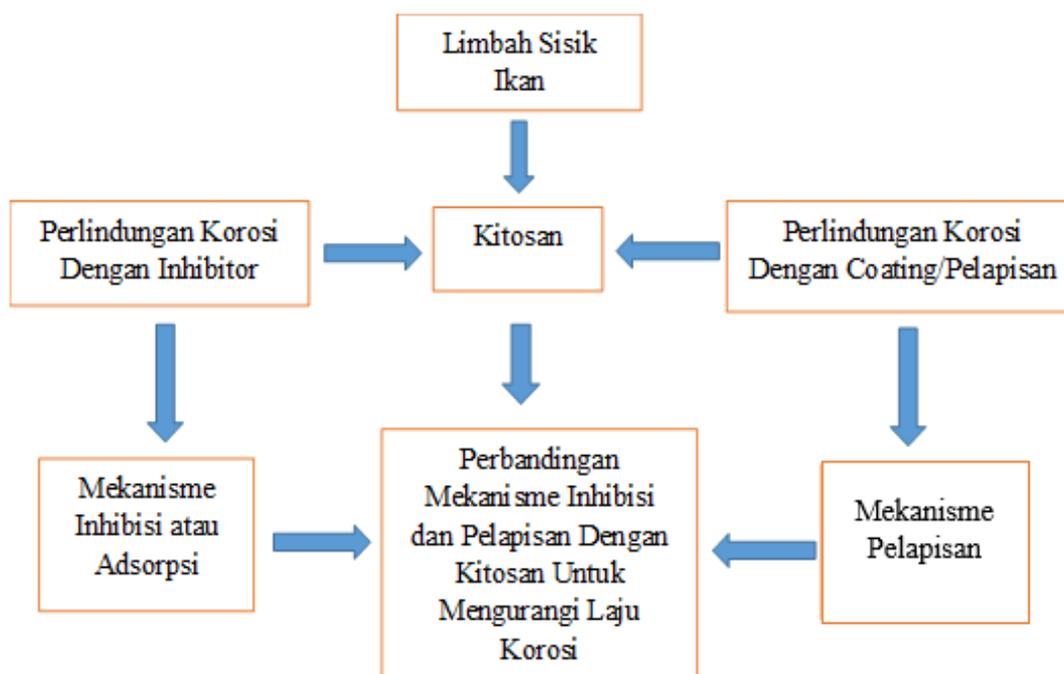
Adsorpsi fisika merupakan pembentukan film yang dihasilkan dari proses interaksi secara elektrostatis antara inhibitor organik dengan permukaan logam. Yang mana molekul organik pada inhibitor tersebut akan menggantikan sejumlah n molekul air tersebut. Dengan reaksi yang terjadi yaitu (Darmawan, 2012).



Adsorpsi kimiawi didefinisikan sebagai proses penyerapan yang terjadi dengan cara melibatkan transfer muatan-muatan molekul dari inhibitor dengan permukaan adsorben. Adanya interaksi antara anton dengan permukaan logam akan mengakibatkan disolusi pada logam.

Sedangkan campuran (*mixed*) inhibitor dengan proses pembentukan film (*formation*), yang mana molekul-molekul dari inhibitor yang teradsorpsi dapat membentuk lapisan-lapisan berupa *film polymer* akibat reaksi-reaksi dengan permukaan logam. Maka proses inhibisi yang terjadi melalui pembentukan lapisan pelindung korosi pada permukaan logam, baik secara fisisorpsi ataupun kemisorpsi dan lapisan pelindung tersebut merupakan lapisan pasif (anti korosi) dari logam akibat adanya penambahan inhibitor. Dimana proses inhibisi akan optimal jika lapisan film *polymer* tersebut tidak larut dalam cairan.

3.3 Flow Chart konsep penelitian



Gambar 3.4 kerangka konsep penelitian.

3.4 Hipotesa

Dari beberapa bahasan pada literatur dan teori tentang perilaku korosi sebelumnya, maka penulis berhipotesa sebagai berikut.

1. Semakin lama waktu pelapisan dengan mekanisme elektrodposisi (EPD) maka laju korosi yang terjadi pada besi ASTM A36 akan semakin lambat akibat adanya pembatas kontak atau reaksi antara larutan korosif (HCl 1 M) dengan permukaan besi ASTM A36.
2. Penambahan inhibitor kitosan dari sisik ikan dengan konsentrasi tertentu (optimum) maka akan memperlambat laju korosi besi ASTM A36. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan pelindung berupa teradsorpsinya inhibitor kitosan sisik ikan pada permukaan logam.
3. Meningkatnya temperatur pengujian maka akan mempercepat laju korosi pada besi ASTM A36 akibat dari meningkatnya keaktifan dari ion-ion Cl^- dalam HCl sehingga arus korosi juga semakin meningkat.
4. Mekanisme perlindungan korosi dengan penambahan inhibitor korosi maka efektifitas perlindungan yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan perlindungan korosi metode pelapisan EPD.

BAB IV METODE PENELITIAN

Dalam penelitian tentang korosi ini, pengukuran laju korosi dilakukan pada besi ASTM A36 dengan menggunakan kitosan sebagai pelapis dan inhibitor, pada penelitian ini digunakan metode eksperimen eksploratif yang mana bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan sebab-akibat serta menginvestigasi pengaruh lama waktu pelapisan dan inhibitor terhadap laju korosi pada besi ASTM A36.

Dalam penelitian ini dilakukan pengkarakterisasian kitosan terlebih dahulu dengan pengujian FTIR untuk mendapatkan gugus-gugus fungsi chitosan yang terdapat di dalam kitosan sisik ikan. Karakteristik kitosan sisik ikan merupakan sifat-sifat yang terdapat pada kitosan, baik sifat fisik maupun sifat kimia kitosan sebagai inhibitor maupun sebagai *coating* dengan elektroforesis. Sedangkan mekanisme adalah suatu cara yang merupakan hubungan antara satu bagian dengan bagian-bagian lainnya yang merupakan satu keseluruhan atau sistem. Sehingga dalam penelitian ini karakteristik kitosan dengan mekanisme penambahan lapisan dan inhibitor menunjukkan keterkaitan bahwa suatu kitosan yang diketahui karakteristik (sifat-sifatnya), maka akan diketahui bahwa kitosan tersebut apakah mampu atau tidak menjalankan suatu mekanisme yaitu pelapisan dan inhibitor pada permukaan logam.

4.1 Variabel-variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian tentang korosi ini yaitu: variabel peubah, variabel tetap serta variabel terkontrol.

4.1.1 Variabel Peubah

Variabel peubah yaitu variabel penelitian yang nilainya berubah-ubah serta berpengaruh terhadap variabel tetap. Adapun variabel peubah penelitian korosi ini terdiri dari lama waktu pelapisan (blank, 10, 20, 30, 40, dan 50 menit) dan konsentrasi inhibitor korosi (blank, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 dan 6000 ppm) terhadap laju korosi dari besi ASTM A36.

4.1.2 Variabel Tetap.

Variabel tetap yaitu variabel dalam penelitian yang berhubungan sebab akibat dengan variabel peubah. laju korosi dari besi ASTM A36 merupakan variabel terikat penelitian ini.

4.1.3 Variabel Terkontrol

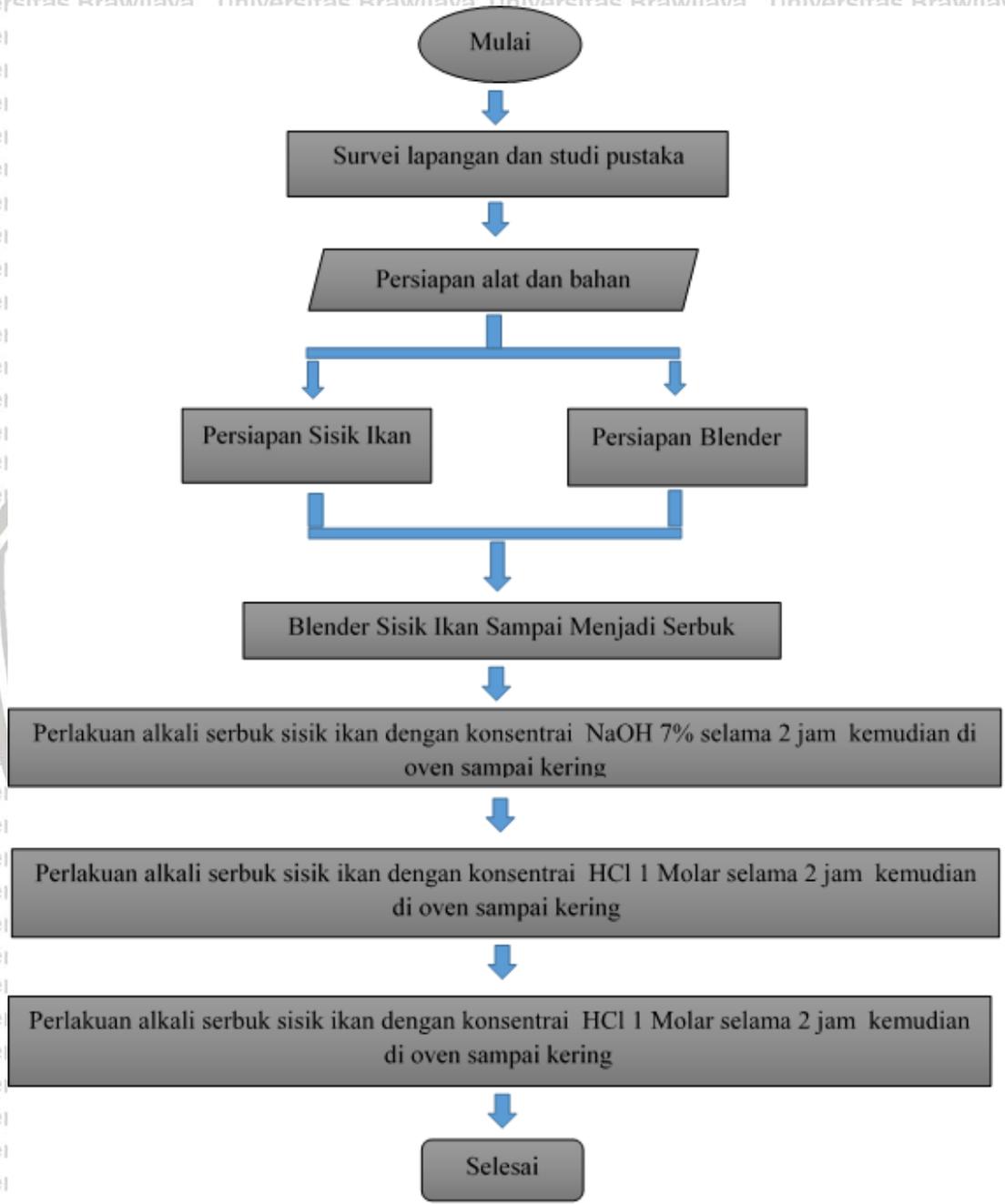
Besi ASTM A36 dengan ukuran 4 x 1 cm sebagai bahan uji merupakan salah satu variabel terkontrol dari penelitian ini.

4.2 Tempat Penelitian.

- Laju korosi besi ASTM A36 dilakukan pengujian di Laboratorium Teknik Kimia, Fakultas MIPA, ITS.

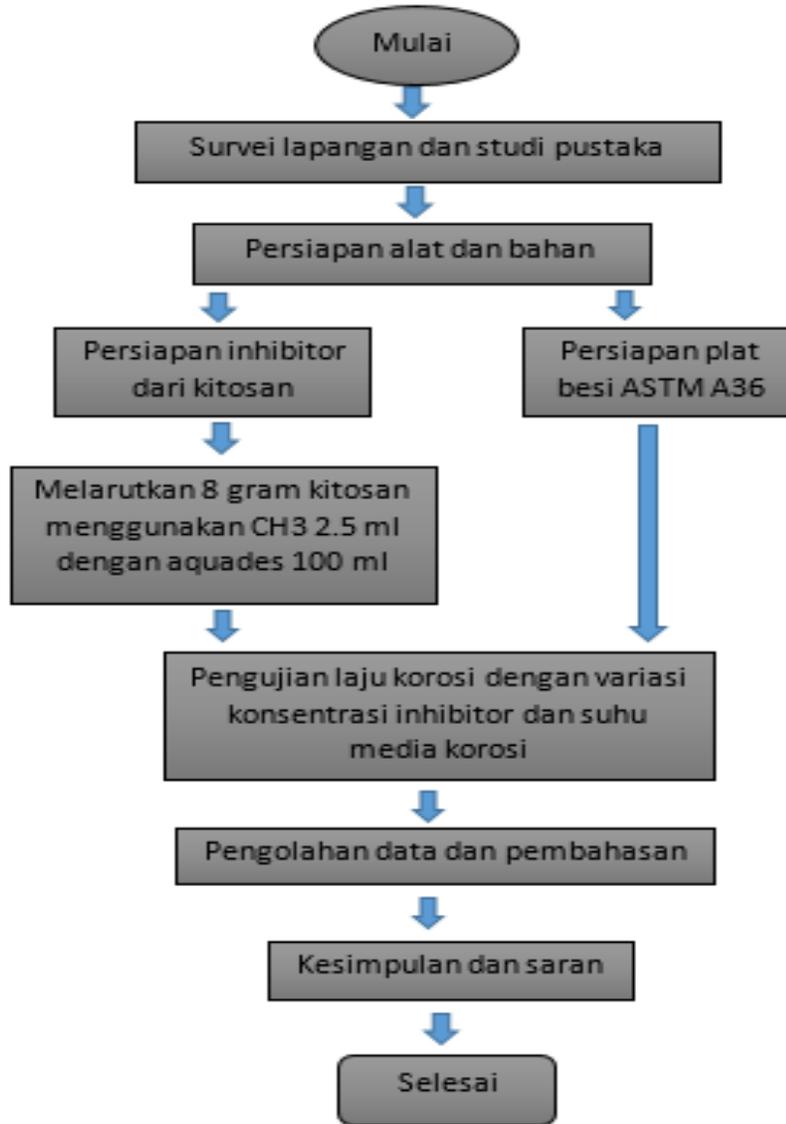


4.3 Diagram Alir Pembuatan Kitosan



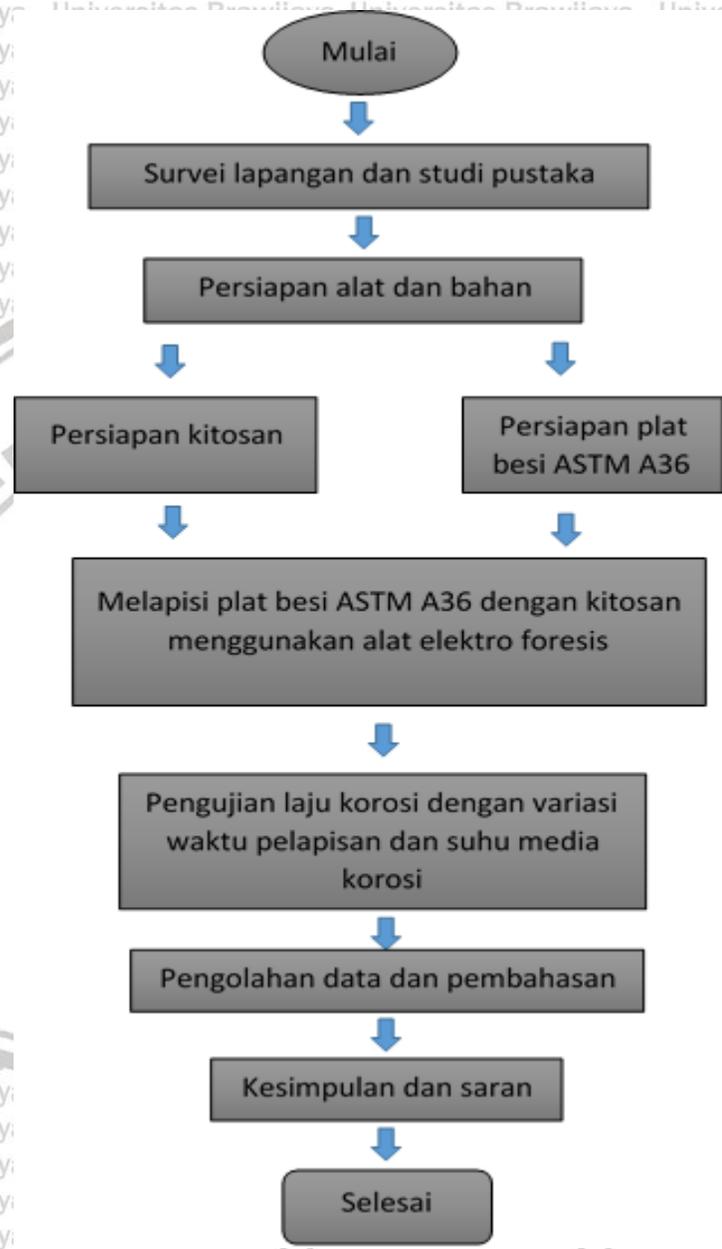
Gambar 4.1 Diagram tahap-tahap penelitian

4.4 Diagram Tahap-tahap pengujian dengan inhibitor



Gambar 4.2 Diagram Alir Inhibitor

4.5 Diagram Alir Tahap-Tahap Pelapisan



Gambar 4.3 Diagram Tahap-Tahap Pelapisan

4.6 Alat-alat Dan Bahan pengujian

4.6.1 Alat-alat Penelitian Korosi

Beberapa alat pengujian korosi dan pendukung lainnya yaitu:

- a. Alat pengujian laju korosi (Autolab Metrohm tipe AUT84948) berfungsi untuk melakukan pengujian laju korosi pada besi ASTM A36.



Gambar 4.4 Autolab Metrohm tipe AUT84948

- b. Blender

Blender berfungsi untuk meleburkan sisik ikan sampai menjadi serbuk.



Gambar 4.5 Blender

- c. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan serbuk sisik ikan yang sudah diberi perlakuan alkali NaOH ataupun HCl.



Gambar 4.6 proses pengovenan sisik ikan

d. Timbangan merk Uniweigh.

Massa Sisik ikan ditimbang atau diukur menggunakan timbangan digital merk uniweigh.



Gambar 4.7 timbangan merk Uniweigh.

e. Peralatan-peralatan lainnya, yaitu Kamera, Gelas ukur, gelas pengaduk, gelas beaker, gelas ukur, pipet ukur.

4.6.2 Bahan-bahan Pengujian korosi

Beberapa bahan-bahan uji korosif, diantaranya:

a. Kitosan



Gambar 4.8 Serbuk kitosan.

b. Plat besi ASTM A36



Gambar 4.9 Plat besi ASTM A36

c. NaOH



Gambar 4.10 NaOH.

4.7 Prosedur Penelitian

4.7.1 Proses Pengambilan Sisik Ikan

Sisik ikan didapat dari penjual ikan di pasar Lombok Timur.

4.7.2 Proses Pembuatan Kitosan Dari Sisik Ikan.

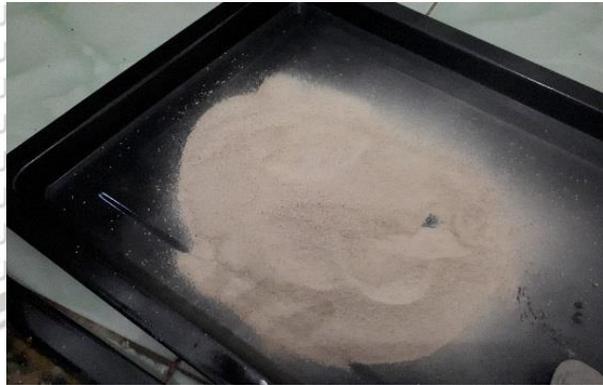
- Sisik ikan yang didapat dicuci terlebih dahulu sampai bersih
- Sisik ikan kemudian dibuat menjadi serbuk dengan cara diblender.
- Setelah itu, serbuk sisik ikan diayak untuk mendapatkan ukuran serbuk yang seragam
- Untuk selanjutnya serbuk sisik ikan dirubah menjadi kitin dengan cara direndam dengan larutan NaOH 7% selama 2 jam.



Gambar 4.11 kitin dari sisik ikan.

- Setelah itu dicuci bersih menggunakan aquades, yang dilanjutkan dengan proses pengeringan menggunakan oven selama 30 menit dengan suhu 100°C
- Kitin selanjutnya direndam dengan larutan 1 molar HCl untuk menghilangkan kandungan mineralnya, yang dilanjutkan dengan proses pencucian dengan aquades dan pengeringan menggunakan oven dengan suhu 100°C selama 30 menit
- Proses terakhir yaitu merubah kitin menjadi kitosan dengan cara direndam menggunakan larutan alkali NaOH konsentrasi 70% selama 2 jam lalu dicuci

bersih dengan aquades kemudian dioven selama 30 menit dengan suhu 100 °C



Gambar 4.12 kitosan dari sisik ikan.

4.7.3 Preparasi Spesimen Besi ASTM A36.

Plat besi ASTM A36 dengan ketebalan 0,3 mm dipotong dengan ukuran 4 cm x 1 cm x 0,3 mm. *Plat baja* selanjutnya dilapisi dengan lem epoxy hingga bagian plat besi ASTM A36 yang tidak terkena lem epoxy tersisa 1x1 cm² pada kedua sisi.

4.7.4 Pengujian FTIR serbuk Chitosan sisik ikan dan serbuk korosif besi ASTM A36.

Karakterisasi FTIR serbuk Chitosan sisik ikan dan serbuk korosif besi ASTM A36 diujikan di Laboratorium Kimia Unit Analisis dan Pengukuran Fakultas MIPA UB. FTIR *Spectrophotometer* tipe 8400S/Shimadzu dengan kisaran spektra-infrared dari 4000-400 ¹/_{cm} beresolusi 4.0 ¹/_{cm} serta dengan *scan rate* sebesar 10 digunakan untuk mendapatkan spektra FTIR dari serbuk kitosan sisik ikan serta serbuk korosif besi ASTM A36 dalam matrik uji menggunakan *Kalium Bromide* (KBr). Sampel serbuk Chitosan sisik ikan dan serbuk korosif besi ASTM A36 dihaluskan terlebih dahulu dengan cara ditumbuk sampai halus. Serbuk-serbuk tersebut kemudian dicampur dengan serbuk KBr, yang kemudian dimasukkan ke dalam cetakan tabung kecil dan sebuah penekan sehingga berbentuk pelet sebagai sampel pengujian FTIR dari serbuk kitosan dan serbuk korosif besi ASTM A36.

4.7.5 Metode *Coating* plat Besi ASTM A36 Secara Elektrofosis.

Metode *coating* kitosan pada plat besi ASTM A36 dikerjakan menggunakan cara elektrofosis. Katodik berjenis elektrofosis digunakan dalam penelitian ini. Plat besi ASTM A36 dengan luas penampang 1 cm x 1 cm dicuci bersih dengan akuades lalu dikeringkan. Selanjutnya plat besi ASTM A36 sebagai katoda dan elektroda karbon sebagai anoda dicelupkan ke dalam gelas beker yang telah berisi larutan kitosan sesuai dengan variasi kemudian dialirkan listrik yang bersumber dari *power supply*. Range waktu dari 10-50 menit dengan rentang 10 menit berpotensi 15 Volt digunakan dalam proses pelapisan. Dengan gambar proses pelapisan ditampilkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 proses *coating* plat besi ASTM A36 secara elektrofosis.

4.7.6 Inhibitor Korosi.

Terdapat 5 kali pengujian laju korosi pada spesimen besi ASTM A36. Dengan variasi (blank, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 serta 6000 ppm).

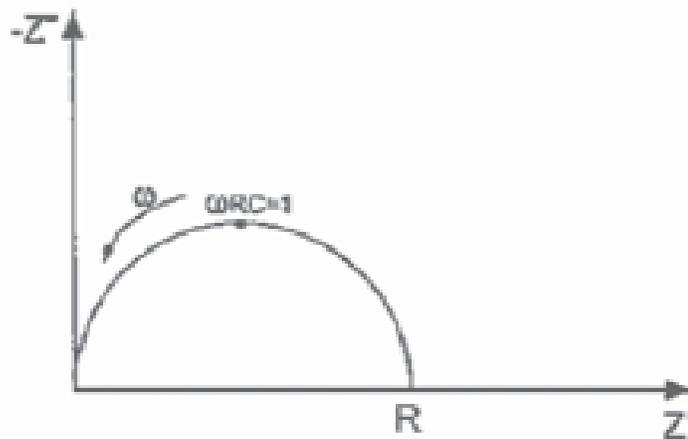
4.7.7 Metode Uji Laju Korosi

Metode uji laju korosi pada plat besi ASTM A36 bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter nilai ketahanan korosi seperti arus korosi, potensial korosi,

konstanta anodik dan katodik plat besi ASTM A36 sehingga ketahanan korosi dapat diketahui. Metode ini dikerjakan dengan Autolab Metrohm tipe AUT84948 dengan 2 elektroda. Kemudian elektroda di rangkai dengan larutan elektrolit berupa media korosi. Proses pengujian ini sama untuk material yang *dicoating* maupun yang dengan inhibitor. Sistem yang sudah dirangkai kemudian dihubungkan dengan alat Autolab Metrohm tipe AUT84948 dan komputer untuk membaca data yang diperoleh. Dalam pengujian laju korosi besi ASTM A36 diuji dengan dua metode yaitu metode polarisasi potensiodinamik dan metode EIS.

4.7.7.1. Pengukuran Laju Korosi Dengan Metode *Electroscopy Impedance Spectroscopy* (EIS) atau Spektroskopi Impedansi Elektrokimia (SIE).

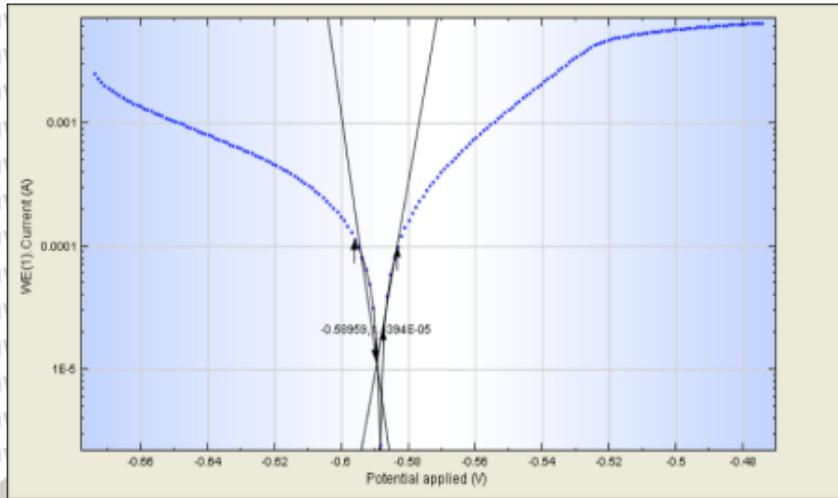
Pengukuran serta analisis dalam bentuk kurva impedansi atau dikenal sebagai kurva nyquist dari hasil pengujian laju korosi metode EIS dihasilkan spektrum impedansi ditampilkan pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 spektrum impedansi dari pengujian dengan metode EIS.

4.7.7.2. Pengukuran Laju Korosi Dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik

Dalam penguian laju korosi besi ASTM A36 dengan metode polarisasi potensiodinamik menggunakan alat potensiostat autolab maka akan didapatkan grafik tafel untuk mendapatkan laju korosi besi ASTM A36.



Gambar 4.15 grafik tafel dari pengujian polarisasi potensi dinamik.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB V

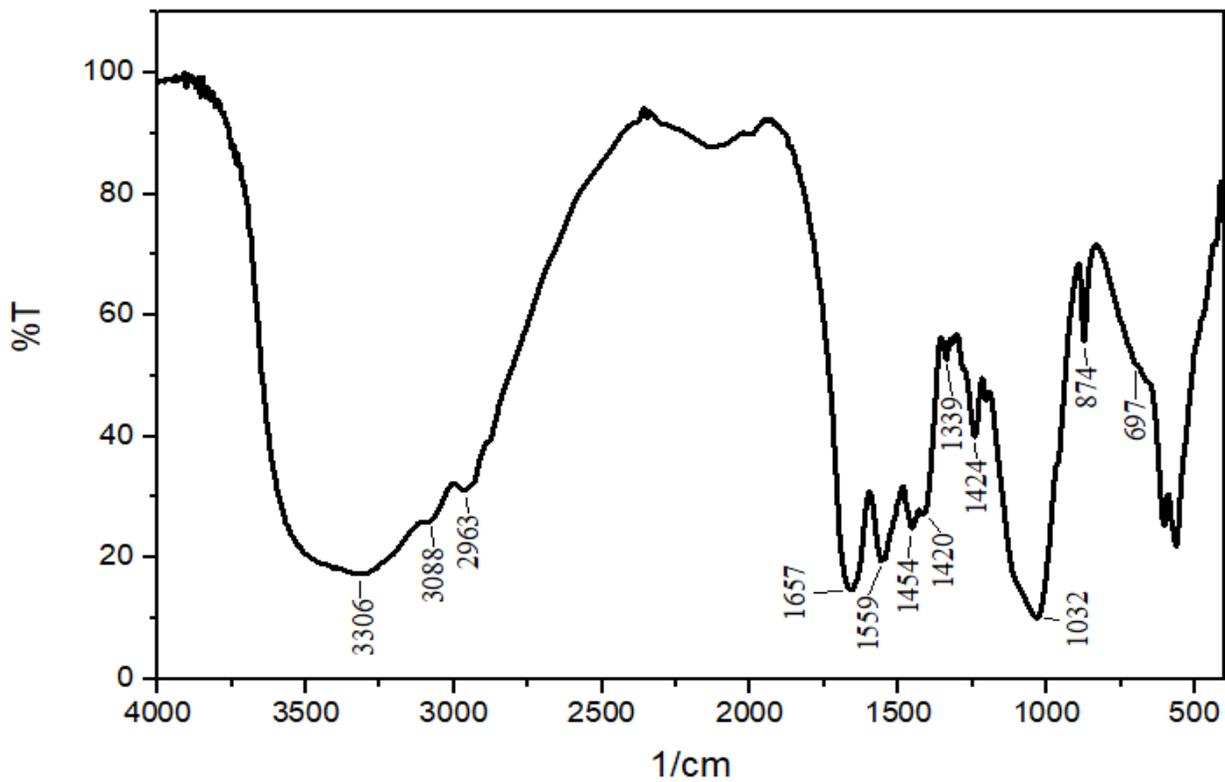
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab lima ini, hasil dan pembahasan mengenai data-data yang didapat dari beberapa pengujian dan kemudian dibahas untuk ditarik beberapa kesimpulan. Adapun pengujian yang telah dilakukan yaitu karakterisasi kitosan sisik ikan dengan FTIR, pengujian laju korosi besi ASTM A36 dengan perlindungan pelapisan kitosan (elektrodeposisi) dan perlindungan inhibitor korosi dengan metode tafel dan EIS, pengujian laju korosi pada inhibitor korosi besi ASTM A36 variasi suhu serta karakterisasi FTIR besi ASTM A36 hasil korosi dengan inhibitor. Data-data tersebut kemudian dibahas sebagai berikut.

5.1 Karakterisasi Gugus Fungsi Kitosan Dengan FTIR

Pengujian karakterisasi dari kitosan sisik ikan dilakukan dengan pengujian FTIR dari masing-masing yaitu serbuk sisik ikan, kitin dan kitosan. Pengujian ini menggunakan Instrumen spektrometer *perkin Elmer Spectrum Fourier Transformation infrared* (dengan model *frontier spectrum*) dengan kisaran spektra IR berada pada $4000\text{ cm}^{-1} - 400\text{ cm}^{-1}$. Hasil pengujian FTIR pada sisik ikan, kitin dan kitosan ditampilkan pada gambar 5.1, 5.2 dan 5.3, sedangkan posisi-posisi puncak beserta dengan gugus fungsi (kelompok-kelompok kimianya) dapat dilihat pada tabel 5.1, 5.2, dan 5.3 berikut.

Hasil uji FTIR serbuk sisik ikan



Gambar 5.1 hasil pengujian *Fourier Transform Infrared Spectrum* serbuk sisik ikan.

Gambar 5.1 merupakan gambar hasil pengujian FTIR pada serbuk sisik ikan sebelum dipelakukan proses kimia. Berdasarkan pengujian FTIR maka didapat hasil interpretasi berupa 12 puncak bilangan gelombang yang merupakan identifikasi spektrum serapan dari serbuk sisik ikan. Adapun bilangan gelombang dan gugus fungsi dari serbuk sisik ikan ditampilkan pada tabel 5.1 berikut.

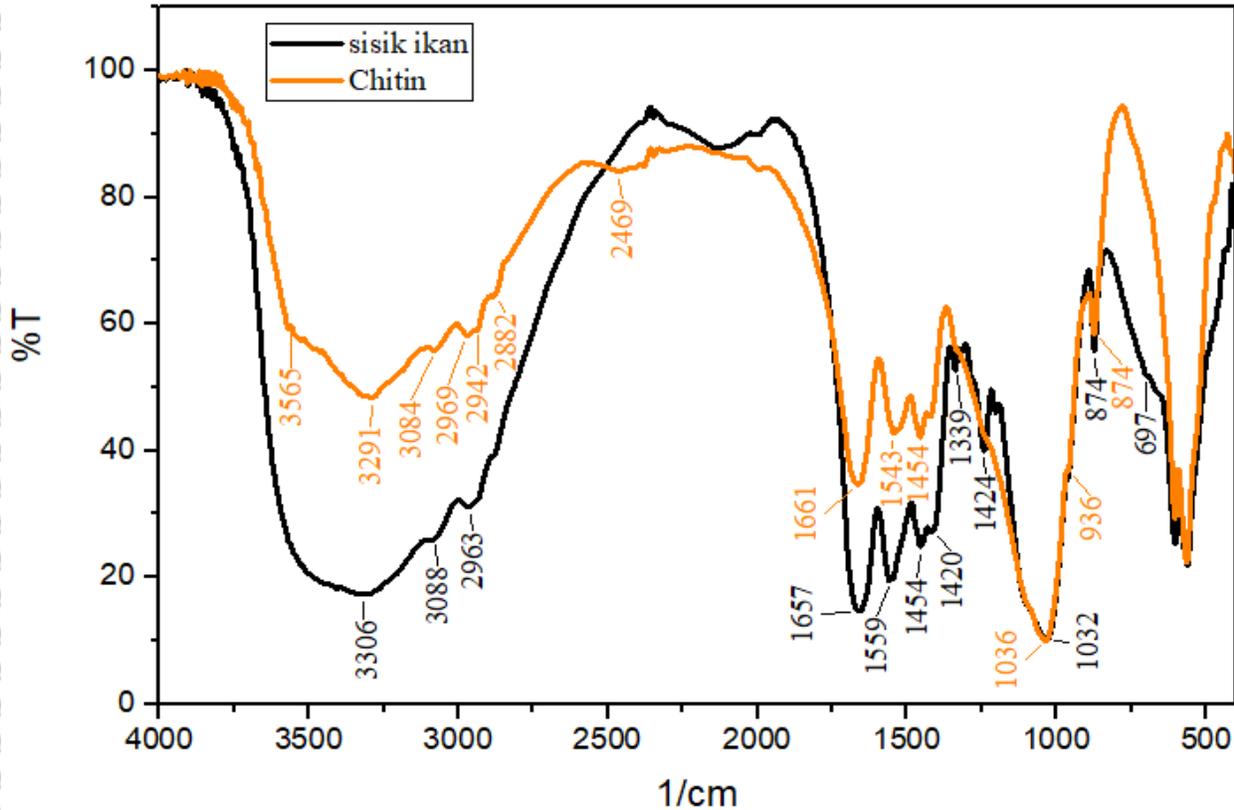
Tabel 5.1 spektrum serapan yang terdapat pada serbuk sisik ikan.

Sisik Ikan	Gugus Fungsi	Kandungan
3306	O-H	Alkohol
3088.56	C-H	Aromatic
2963.22	C-H	Alkane
1657.5	C=O	Amide
1559.14	N-H	Amide
1454.99	C=C	Aromatic
1420.27	C=C	Aromatic
1339.27	C-N	Amine
1242.83	C-N	Amine
1032.61	C-O	Ether
874.46	=C-H	Alkene
697.02	=C-H	Alkene

Dari tabel 5.1 diperlihatkan bahwa beberapa gugus-gugus fungsi utama dari serbuk sisik ikan untuk dijadikan sebagai kitosan. Yang mana spektra infra merah serbuk sisik ikan terlihat adanya serapan dengan panjang gelombang 3306 $1/cm$ yang menjelaskan adanya tumpang tindih serapan -OH. Panjang pada gelombang 3088.56 $1/cm$ menunjukkan pita serapan yang menunjukkan tumpang tindih antara serapan Hydrogen-bonded O-H dengan C-H (aromatik). Serapan dengan panjang gelombang 2963.22 $1/cm$ merupakan vibrasi rentangan C-H pada grup fungsi alkane. Serapan dengan panjang gelombang 1657.5 $1/cm$ menunjukkan vibrasi rentangan C=O amide yang juga muncul vibrasi rentangan N-H amide pada panjang gelombang 1559.14 $1/cm$ yang dapat bersumber dari C-O-C ataupun C-O-H. Selanjutnya Pita serapan dengan bilangan gelombang 1454.99 $1/cm$ menjelaskan adanya vibrasi rentangan C=C aromatik yang didukung dengan terlihatnya serapan dengan panjang gelombang 1420.27 $1/cm$. Pita serapan dengan bilangan gelombang 1339.27 $1/cm$ dan 1242.83 $1/cm$ menunjukkan vibrasi rentangan C-N amine. Vibrasi rentang C-O ether muncul pada pita serapan panjang gelombang 1032.61 $1/cm$. Serapan dengan panjang gelombang 874.46 $1/cm$ dengan intensitas kuat menunjukkan vibrasi =C-H alkenes dan juga muncul pada panjang gelombang 697.02 $1/cm$. Gugus-gugus fungsi yang muncul dari hasil pengujian FTIR serbuk sisik ikan menunjukkan adanya senyawa *flavonoid* yang dibuktikan dengan adanya spektrum serapan phenol, alkana, aromatik dan karbonil.

Adapun proses menjadikan kitin dari serbuk sisik ikan dengan perendaman pada larutan NaOH 7% telah dilakukan dan dihasilkan gugus fungsi seperti yang ditampilkan dalam gambar 5.2 berikut.

Hasil uji FTIR serbuk sisik ikan dan chitin



Gambar 5.2 grafik pengujian *Fourier Transform Infrared Spectrum* serbuk sisik ikan dan chitin.

Gambar 5.2 merupakan gambar hasil perbandingan pengujian FTIR pada serbuk sisik ikan dengan kitin yang dihasilkan. Berdasarkan pengujian FTIR maka didapat hasil interpretasi kitin berupa 14 puncak bilangan gelombang yang merupakan identifikasi spektrum serapan dari kitin, yang mana terdapat dua puncak serapan bilangan baru dari serbuk sisik ikan yaitu mulai dari serapan bilangan gelombang 874.46, 963.18, 1036.47, 1424.13, 1454.99, 1530.21, 1543.71, 1661.36, 2882.22, 2942, 2969.01, 3084.73, 3291.1, 3566.9 cm^{-1} . Adapun bilangan gelombang dan gugus fungsi dari serbuk sisik ikan ditampilkan pada table 5.2.

Tabel 5.2. spektrum serapan yang terdapat pada serbuk sisik ikan dan kitin.

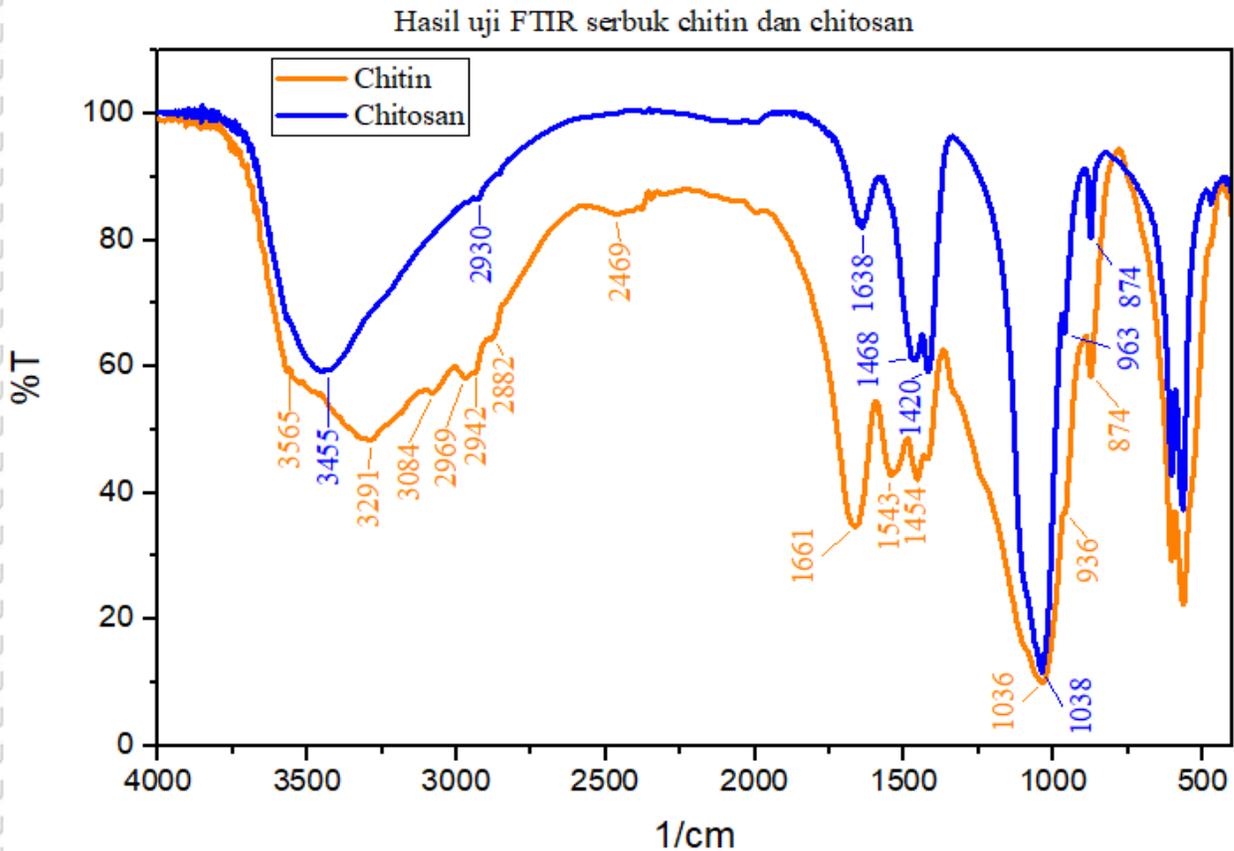
Sisik Ikan	Gugus Fungsi	Kandungan	Chitin	Gugus Fungsi	Kandungan
3306	O-H	alkohol	3566.9	O-H	Alkohol
3088.56	C-H	aromatic	3291.1	O-H	Alkohol
2963.22	C-H	alkane	3084.73	C-H	Aromatic
1657.5	C=O	amide	2969.01	C-H	Alkane
1559.14	N-H	amide	2942	C-H	Alkane
1454.99	C=C	aromatic	2882.22	C-H	Alkane
1420.27	C=C	aromatic	1661.36	C=O	Amide
1339.27	C-N	amine	1543.71	C=C	Aromatic
1242.83	C-N	amine	1530.21	C=C	Aromatic
1032.61	C-O	ether	1454.99	C=C	Aromatic
874.46	=C-H	alkene	1424.13	C=C	Aromatic
697.02	=C-H	alkene	1036.47	C-O	Ether
			963.18	=C-H	Alkene
			874.46	=C-H	Alkene

Gugus fungsi amida dengan daerah vibrasi peregangan C=O yang terletak pada panjang gelombang 1661,36 $1/cm$ atau berada diantara panjang gelombang 1700-1500 $1/cm$ yang menghasilkan dua buah pita serapan yaitu α -chitin dan β -chitin. Sedangkan untuk α -chitin ditemukan pada serapan panjang gelombang 1660 $1/cm$ dan dalam kitin sisik ikan terbaca pada bilangan gelombang 1661,61 $1/cm$. Serapan bilangan gelombang pada 1661,36 $1/cm$ menjelaskan terdapatnya vibrasi meregangnya ikatan antara N-H yang mengindikasikan sebuah gugus-gugus fungsi dari amida yang sekunder. Dompeipen (2017) mengungkapkan dengan adanya serapan yang dapat mengindikasikan yang merupakan karakteristik kitin adalah terdapatnya gugus C=O pada ikatan (-NHCOCH₃) pada serapan bilangan gelombang 1650 $1/cm$ atau pada tabel terdapat pada 1661.36 $1/cm$.

Karakteristik lainnya yaitu adanya deformasi gugus C-H dari ikatan β -glikosidik (Dompeipen 2017). Yang mana pita serapan ini terletak pada panjang gelombang 874.46 $1/cm$. Dari hasil ekstraksi kitin dari sisik ikan dengan NaOH 7% terdapat bilangan gelombang 3566.9 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi alkohol (O-H). Kitin standar acuan dari Dompeipen (2017) memiliki pita serapan 2886.81 cm^{-1} sedangkan kitin hasil ekstraksi dari sisik ikan memiliki bilangan

gelombang 2882.22 cm^{-1} yang merupakan terjadinya vibrasi peregangan yang simetri ikatan dari C-H alifatic dari gugus fungsi alkane.

Proses menjadikan kitosan dari kitin dengan perendaman pada larutan NaOH konsentrasi tinggi yaitu 70% telah dilakukan dan dihasilkan gugus fungsi seperti yang ditampilkan pada gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 hasil pengujian *Fourier Transform Infrared Spectrum* citin dan kitosan.

Pada spektra inframerah kitosan seperti pada tabel 5.3 terlihat bahwa terdapat pita serapan dengan panjang gelombang 2930.43 1/cm yang mengindikasikan ditemukannya vibrasi rentangan ikatan C-H pada $-\text{CH}_2-$ alkane. Kemudian vibrasi bengkokan C=C pada panjang gelombang 1420.27 1/cm , 1468.49 1/cm dan 1638.21 1/cm yang menunjukkan gugus fungsi aromatik atau cincin karboaromatik yang paling dominan muncul pada pita serapan FTIR. Hal ini berarti bahwa pita serapan dari bengkokan $-\text{CH}_3$ tidak muncul lagi pada gugus fungsi kitosan dari sisik ikan (biasanya muncul pada serapan bilangan gelombang 1300 cm^{-1} (Kurniasih & Kartika, 2011). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa proses deasetilisasi dengan NaOH

konsentrasi tinggi telah terjadi pada kitin yang menyebabkan gugus metil (-CH₃) menjadi terlepas. Tabel 5.3. Data hasil pengujian FTIR dari kitin dan kitosan

U	Chitin	Gugus Fungsi	Kandungan	Chitosan	Gugus Fungsi	Kandungan
U	3566.9	O-H	Alkohol	3455.03	O-H	Alkohol
U	3291.1	O-H	Alkohol	2930.43	C-H	Alkane
U	3084.73	C-H	Aromatic	1638.21	C=C	Aromatic
U	2969.01	C-H	Alkane	1468.49	C=C	Aromatic
U	2942	C-H	Alkane	1420.27	C=C	Aromatic
U	2882.22	C-H	Alkane	1038.39	C-O	Ether
U	1661.36	C=O	Amide	963.18	=C-H	Alkene
U	1543.71	C=C	Aromatic	874.46	=C-H	Alkene
U	1530.21	C=C	Aromatic			
U	1454.99	C=C	Aromatic			
U	1424.13	C=C	Aromatic			
U	1036.47	C-O	Ether			
U	963.18	=C-H	Alkene			
U	874.46	=C-H	Alkene			

Dari tabel 5.3 hasil pengujian spektra FTIR kitosan terlihat bahwa gugus fungsi yang terdapat delapan puncak gugus fungsi yang terdefinisi pada kitosan sisik ikan dengan baik pada spektra puncak yaitu 3455.03, 2930.43, 1638.21, 1468.49, 1420.27, 1038.39, 963.18, 874.46 cm⁻¹. Dari hasil pengujian FTIR pada kitosan sisik ikan juga menunjukkan bahwa ada tiga spektrum serapan dengan serapan gelombang 3455,03 1/cm dengan kelompok ikatan O-H dengan intensitas kuat, bilangan gelombang 1638,21 1/cm yang merupakan kelompok ikatan dari karbonil (C) serta bilangan gelombang 963,18 1/cm yang terdefiniskan sebagai kelompok ikatan dari alkana (CH).

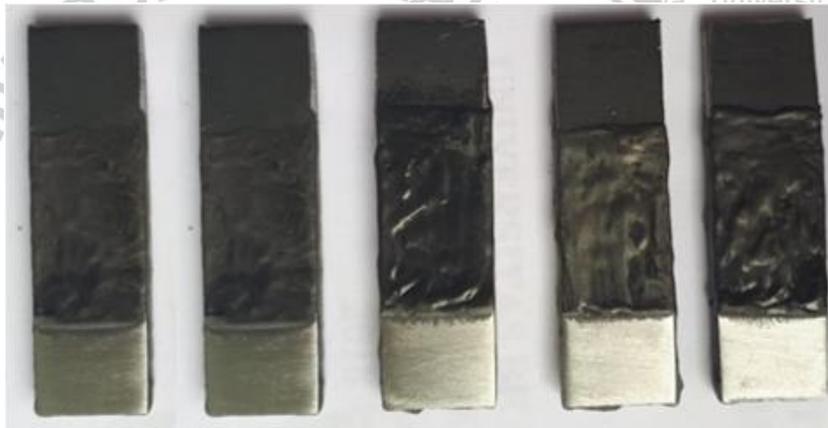
Dari tabel 5.3 hasil pengujian spektra FTIR kitosan juga terlihat bahwa kitosan sisik ikan menunjukkan bahwa sebagian besar merupakan gugus fungsi dari senyawa-senyawa aromatik. Darmawan, (2012) mengungkapkan bahwa senyawa organik bahan alam merupakan senyawa-senyawa aromatik, yang mana senyawa aromatik mengandung cincin-cincin karboaromatik yang terdiri dari atom-atom karbon. Dari cincin karboaromatik inilah biasanya tersubstitusi oleh beberapa gugus hidroksil ataupun gugus-gugus lainnya. Sehingga sering dikatakan sebagai

senyawa-senyawa fenol. Adanya senyawa flavonoid pada kitosan dari sisik ikan dibuktikan dengan adanya spektrum serapan senyawa fenol, alkana dan karbonil (Darmawan, 2012).

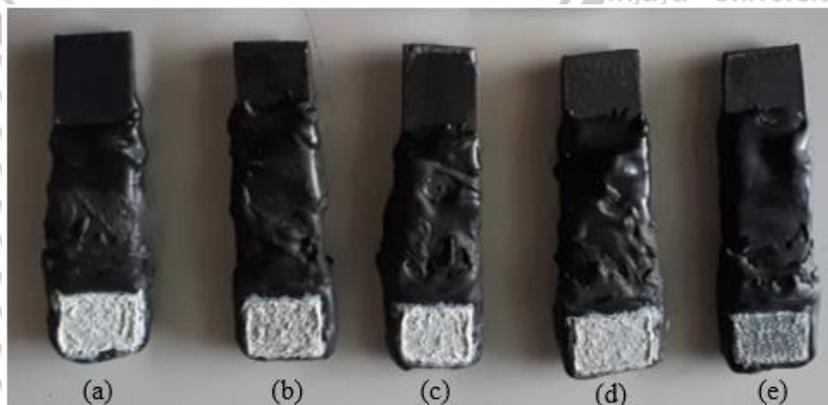
5.2 Pengujian elektrokimia besi ASTM A36

5.2.1 Pengujian Korosi Pada Spesimen *Coating*.

Spesimen besi ASTM A36 uji korosi sebelum dilapisi dengan kitosan sisik ikan secara elektroforesis ditunjukkan pada gambar 5.4 sedangkan spesimen uji korosi setelah dilakukan pelapisan elektroforesis dengan variasi waktu pelapisan 10, 20, 30, 40 serta 50 menit ditunjukkan pada gambar 5.5. Spesimen uji korosi dengan variasi waktu pelapisan secara elektrodeposisi seperti pada gambar 5.5 kemudian dilakukan uji korosi dengan metode tafel dan EIS.



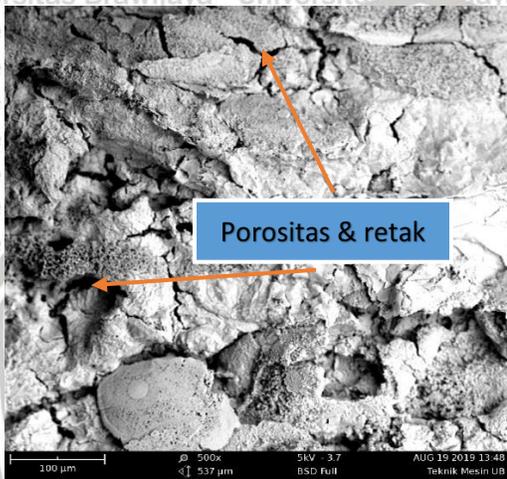
Gambar 5.4 spesimen besi ASTM A36 sebelum pelapisan



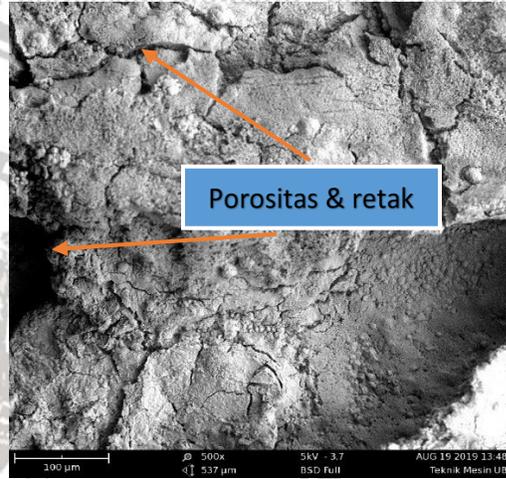
Gambar 5.5 spesimen besi ASTM A36 dengan variasi waktu pelapisan elektrodeposisi dari kiri ke kanan, berturut-turut a. 50, b. 40, c. 30, d. 20 dan e. 10 menit.

➤ **Poto SEM Spesimen Besi ASTM A36 Uji Korosi Setelah Dilapisi Dengan Kitosan Sisik Ikan Secara Elektroforesis.**

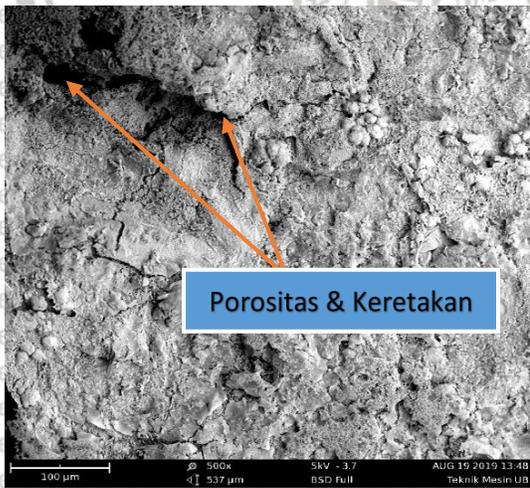
Setelah dilakukan proses pelapisan secara elektroforesis deposisi kitosan sisik ikan pada besi ASTM A36. Kemudian dilakukan pengamatan *morphology* permukaan hasil pelapisan, seperti yang ditunjukkan pada poto SEM 5.6.



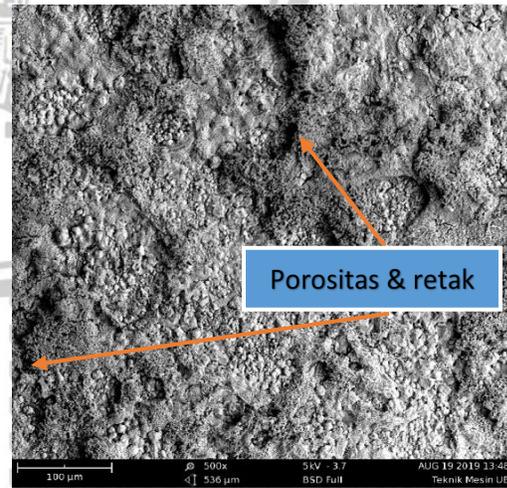
(a)



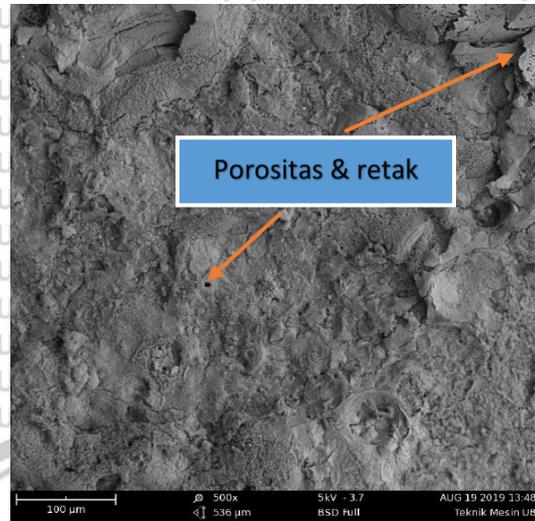
(b)



(c)



(d)



(e)

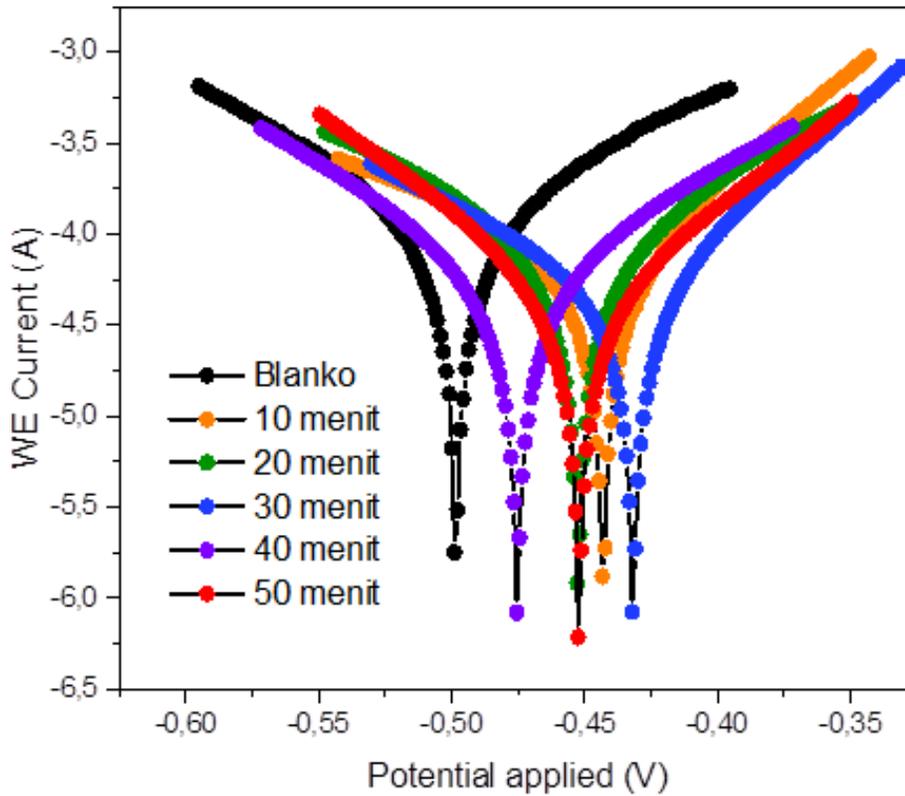
Gambar 5.6 foto SEM spesimen besi ASTM A36 dengan variasi waktu pelapisan elektrodeposisi; berturut-turut a. 10, b. 20, c. 30, d. 40 dan e. 50 menit.

Gambar 5.6 menerangkan lapisan yang setelah dilakukan pelapisan secara elektrodeposisi dengan kitosan sisik ikan. Dari kelima hasil pelapisan tersebut menunjukkan kemampuan pelapisan yang baik dari kitosan sisik ikan pada besi ASTM A36. Gambar 5.6 juga mengkonfirmasi bahwa teknik pelapisan dengan elektrodeposisi mampu membentuk film yang melekat dengan baik. Gambar 5.6a sampai gambar 5.6e menampilkan bahwa semakin lama waktu pelapisan secara elektrodeposisi dengan kitosan sisik ikan maka permukaan film *polymer* yang terbentuk juga semakin halus atau retak yang lebih sedikit serta lebih tebal (pengamatan makro). Yang mana semakin menurun waktu pelapisan maka porositas yang terbentuk cenderung meningkat dan padatan lapisan kitosan juga semakin menurun.

5.2.1.1 Pengujian laju korosi besi ASTM A36 dengan perlindungan *coating* (elektrodeposisi) metode tafel.

Pengujian laju korosi dengan metode polarisasi (tafel) dilakukan untuk mengetahui perilaku korosi besi ASTM A36 dalam larutan asam klorida (HCl). Dari pengujian polarisasi yang dilakukan kemudian diperoleh grafik polarisasi dari setiap variasi sampel pengujian yang dilakukan. Dari grafik polarisasi tersebut kemudian didapat seberapa besar harga potensial korosinya (E_{corr}) serta arus korosi yang terjadi (I_{corr}) pada spesimen uji besi ASTM A36 yang dilapisi secara elektrodeposisi dengan kitosan sisik ikan. Berdasarkan variasi lama waktu

pelapisan yaitu blanko, 10, 20, 30, 40 serta 50 menit yang diuji polarisasi, maka hasilnya ditampilkan dalam gambar 5.7.



Gambar 5.7 kurva polarisasi hubungan E dan i dengan variasi waktu *coating*.

Terlihat dari gambar 5.7 di atas merupakan kurva polarisasi potensiodinamik besi ASTM A36 dengan hubungan antara potensial korosi (E_{corr}) dan potensial (V) pada spesimen uji yang tanpa pelapisan, pelapisan 10, 20, 30, 40 dan 50 menit. Dari gambar 5.7 terlihat bahwa nilai potensial korosi dari besi ASTM A36 yang di lapisi kitosan sisik ikan sebagian besar bergeser ke kiri kecuali spesimen yang dilapisi selama 10 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pelapisan kitosan sisik ikan dengan deposisi elektroforesis menyebabkan polarisasi besi ASTM A36 bersifat katodik.

Dari hasil polarisasi tafel seperti pada gambar 5.7 dengan menggunakan software Nova 1.11 maka secara otomatis didapatkan beberapa parameter seperti E_{corr} (potensial korosi), I_{corr} (arus korosi), β_a (konstanta tafel anodik), β_c (konstanta tafel katodik) serta *corrosion rate* dari

besi ASTM A36 didapat untuk masing-masing lama waktu pelapisan. Seperti dalam tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 beberapa data parameter korosi dari *coating* besi ASTM A36 dengan variasi waktu elektrodeposisi hasil ekstrapolasi tabel.

Variasi waktu <i>coating</i>	β_a (V/dec)	β_c (V/dec)	$E_{corr, Calc}$ (V)	$E_{corr, Obs}$ (V)	j_{corr} (A/cm ²)	I_{corr} (A)	Corrosion rate (mm/year)	Ei (%)
Blanko	0.4251	0.098608	-0.43425	-0.43401	6.33×10^{-5}	6.33×10^{-5}	0.74077	
10 menit	0.10675	0.11274	-0.47512	-0.47517	5.86×10^{-5}	5.86×10^{-5}	0.68712	7.242464
20 menit	0.077749	0.081174	-0.45266	-0.45235	5.61×10^{-5}	5.61×10^{-5}	0.6571	11.295
30 menit	0.042528	0.048654	-0.49877	-0.49842	4.65×10^{-5}	4.65×10^{-5}	0.54541	26.37256
40 menit	0.093466	0.063149	-0.43187	-0.43164	3.98×10^{-5}	3.98×10^{-5}	0.46659	37.01284
50 menit	0.07073	0.082187	-0.45231	-0.452	3.72×10^{-5}	3.72×10^{-5}	0.43593	41.15177

Tabel 5.4 data dari hasil polarisasi tafel menunjukkan bahwa dengan meningkatnya waktu *coating* memiliki kecenderungan terjadi hubungan yang linier dengan laju korosi pada spesimen yang dilapisi, yang mana semakin lama waktu elektrodeposisi kitosan sisik ikan maka laju korosi pada spesimen yang dilapisi juga berkurang. Laju korosi terbesar terjadi pada besi ASTM A36 tanpa pelapisan yaitu sebesar 0.74077 mm/year, kemudian diikuti oleh pelapisan waktu pelapisan berturut-turut 10, 20, 30, 40 serta 50 menit dengan besar nilai laju korosi masing-masing berturut-turut 0.68712 mm/year, 0.6571 mm/year, 0.54541 mm/year, 0.46659 mm/year dan 0,43593 mm/year. Waktu pelapisan 50 menit merupakan waktu pelapisan yang paling optimal diantara variasi waktu pelapisan lainnya. Hal ini disebabkan oleh dengan waktu pelapisan 50 menit maka kitosan akan terdeposisi pada permukaan logam cukup lama sehingga akan menghasilkan lapisan yang lebih tebal dan bagus (rata) Riszki, (2015). Dengan begitu lapisan *coating* yang tebal (waktu elektrodeposisi yang meningkat) maka I_{corr} (arus yang keluar) yang terjadi pada logam juga semakin kecil, begitu dengan hal sebaliknya. Akibat adanya lapisan kitosan pada permukaan logam yang berfungsi sebagai penghambat terjadinya transfer arus dari logam ke media korosif yaitu asam klorida (HCl).

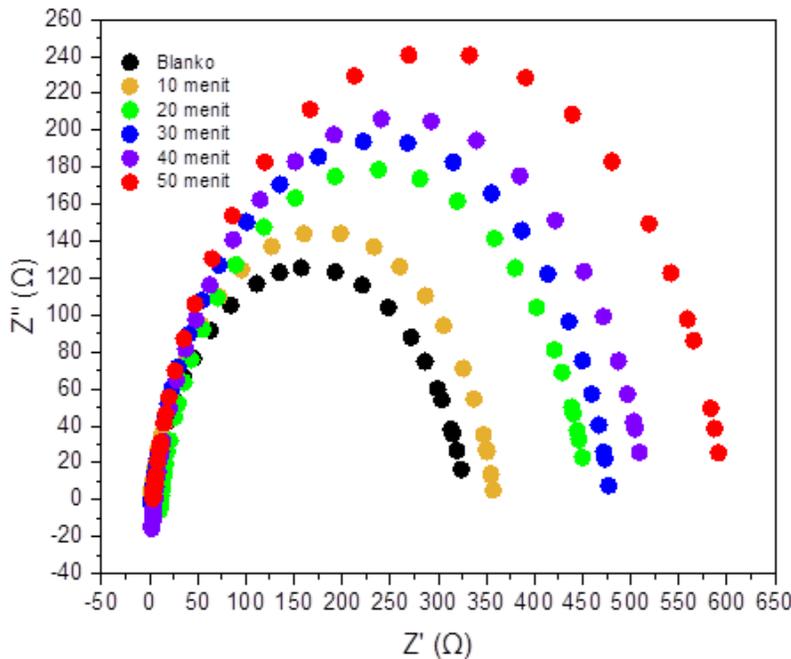
Efisiensi (EI%) pelapisan dengan elektrodeposisi kitosan sisik ikan nilai optimal dimiliki oleh waktu elektrodeposisi 50 menit dengan nilai efisiensi sebesar 41.15177%. sedangkan efisiensi *coating* terendah dimiliki oleh pelapisan selama 10 menit, kemudian diikuti oleh 20 menit, 30 menit dan 40 menit dengan besar masing-masing berturut-turut 11.295%, 26.37256 % dan 37.01284%. Nilai efisiensi perlindungan terhadap laju korosi mengalami peningkatan seiring

dengan meningkatnya waktu pelapisan. Hal ini disebabkan oleh ketika proses elektrodeposisi dengan lama waktu 10, 20, 30 dan 40 menit terbentuk lapisan yang kurang baik untuk mengurangi laju korosi besi ASTM A36, dibandingkan dengan pelapisan selama 50 menit. Hal ini dikarenakan oleh pada waktu elektrodeposisi 10, 20, 30 dan 40 menit kemungkinan memiliki tegangan dalam yang lebih besar antara spesimen besi ASTM A36 dengan lapisan kitosan, yang terlihat dengan adanya retak dipermukaan lapisan kitosan seperti yang diperlihatkan pada gambar 5.6 (Zhang, *et al.* 2018). Sehingga ketika dilakukan pengujian korosi spesimen yang *coating* secara elektrodeposisi 10, 20, 30 dan 40 menit lapisannya lebih cepat terlepas ketika dimasukkan atau direndam di dalam media korosif (HCl) dibandingkan dengan waktu pelapisan 50 menit. Adapun spesimen yang dilapisi selama 50 menit menghasilkan efisiensi tertinggi dikarenakan oleh lapisan yang terbentuk cukup baik, tebal dan lebih rata. Hasil penelitian dengan variabel berbeda dijelaskan oleh Riszki (2015) bahwa lapisan yang tebal pada permukaan logam mampu mengurangi laju korosi paling besar dibandingkan dengan lapisan dengan permukaan yang tipis atau tidak rata. Sehingga lapisan kitosan sisik ikan yang terbentuk pada permukaan besi ASTM A36 merupakan lapisan yang berfungsi pembatas antara permukaan besi ASTM A36 dengan media korosi (HCl).

5.2.1.2 Pengujian laju korosi besi ASTM A36 dengan perlindungan *coating* (elektrodeposisi) metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).

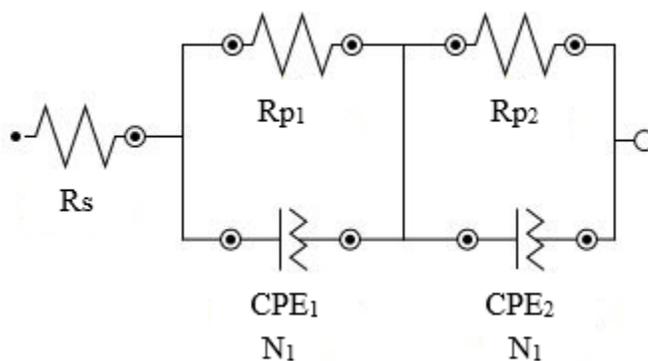
Pengujian laju korosi pada spesimen besi ASTM A36 juga dilakukan dengan menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) merupakan metode yang sangat berguna dalam menganalisis karakteristik perilaku korosi dari sebuah elektroda termasuk dalam menentukan tahanan polarisasi (R_p), *corrosion rate* (C_R) serta mekanisme elektrokimia. Hasil pengujian dengan metode EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) dengan masing-masing variasi lama waktu pelapisan elektrodeposisi dapat dilihat pada gambar 5.8. yang mana hasil pengujian dengan metode EIS dan tafel menunjukkan kesesuaian hasil. Dari gambar 5.8 terlihat bahwa secara umum respon dari laju korosi besi ASTM A36 berubah atau tahanan transfer yang meningkat dari spesimen yang tanpa pelapisan ke spesimen dengan pelapisan pada umumnya. Hal ini berarti bahwa pelapisan secara elektrodeposisi mampu menghambat laju transfer muatan pada besi ASTM A36 dengan lama waktu pelapisan optimal pada 50 menit. Yang mana spesimen besi ASTM A36 yang dilapisi selama 50 menit menghasilkan diameter setengah

lingkaran atau tahanan transfer muatannya paling besar dibandingkan dengan variasi lama waktu pelapisan lainnya, dengan tahanan transfer muatan paling besar maka spesimen tersebut akan memiliki laju korosi yang paling lambat. Sedangkan tahanan transfer muatan paling kecil dimiliki oleh spesimen besi ASTM A36 yang tanpa pelapisan. Gambar dari plot Nyquist hasil pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dari besi ASTM A36 dengan variasi waktu elektrodeposisi ditampilkan pada gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 hasil plot Nyquist dari besi ASTM A36 dengan variasi waktu pelapisan secara elektrodeposisi.

Dari hasil pengujian dengan metode EIS beberapa parameter yang diperoleh yaitu *Constant Phase Element* (CPE), tahanan larutan (R_s) dan tahanan muatan (R_{ct}/R_p). Nilai R_p merupakan nilai hasil pengukuran besarnya perpindahan/transfer muatan antara permukaan spesimen uji besi ASTM A36 dengan larutan korosif yang diukur dengan *software* Nova 1.11. Nilai tahanan muatan tersebut menunjukkan nilai dari kemampuan kitosan untuk menghambat transfer muatan dari besi ASTM A36 sehingga laju korosi yang timbul lebih kecil, atau dengan kata lain nilai transfer muatan besar yang besar maka laju korosi yang ditimbulkan pada besi ASTM A36 semakin kecil (Abdallah & El-Etre, 2003) dan (Syahra & Munasir, 2015). Data-data parameter yang didapat dari pengujian EIS ditampilkan seperti dalam tabel 5.5 berikut.



Tabel 5.5 hasil fitting data EIS dari besi ASTM A36 dengan variasi waktu pelapisan secara elektrodeposisi kitosan sisik ikan

Variasi konsentrasi inhibitor	CPE ₁ (F)	CPE ₂ (F)	Rp ₁ (Ω)	Rp ₂ (Ω)	Rs (Ω)	N ₁	N ₂	X ²
Blanko	6.45	197	15.6	321	-12.7	0.647	0.851	2.929
10 menit	200	18.0	533	15.0	-13.0	0.82	1.1	1.728
20 menit	189	11.2	451	18.2	-7.78	0.84	1.1	0.697
30 menit	202	23.0	490	13.3	-11.7	0.841	1.1	1.979
40 menit	21.3	239	13.5	573	-12.5	1.1	0.822	2.122
50 menit	19.7	209	12.8	609	-9.62	1.1	0.850	2.108

Tabel 5.5 hasil fitting data EIS dari besi ASTM A36 dengan variasi waktu pelapisan secara elektrodeposisi kitosan sisik ikan terlihat bahwa nilai tahanan transfer total muatan tertinggi dimiliki oleh spesimen besi ASTM A36 dengan waktu pelapisan 50 menit yaitu sebesar 621.8 ohm dan nilai tahanan transfer total terendah dimiliki oleh spesimen tanpa pelapisan (blanko) dengan nilai 336,6 ohm. Nilai tahanan transfer total ini sesuai dengan data nilai laju korosi yang dimiliki oleh spesimen tersebut, yaitu spesimen dengan lama waktu pelapisan elektrodeposisi 50 menit memiliki laju korosi terendah dan spesimen tanpa pelapisan dengan memiliki laju korosi tertinggi atau paling besar. Hal ini dikarenakan oleh semakin besar tahanan transfer spesimen uji maka laju pelepasan ion-ion atau atom besi semakin lama sehingga laju korosinya juga semakin rendah demikian pula dengan hal sebaliknya, seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.5. Gambar model sirkuit yang terbentuk dari fitting yang dilakukan dengan metode EIS ditampilkan seperti pada gambar 5.9 berikut.

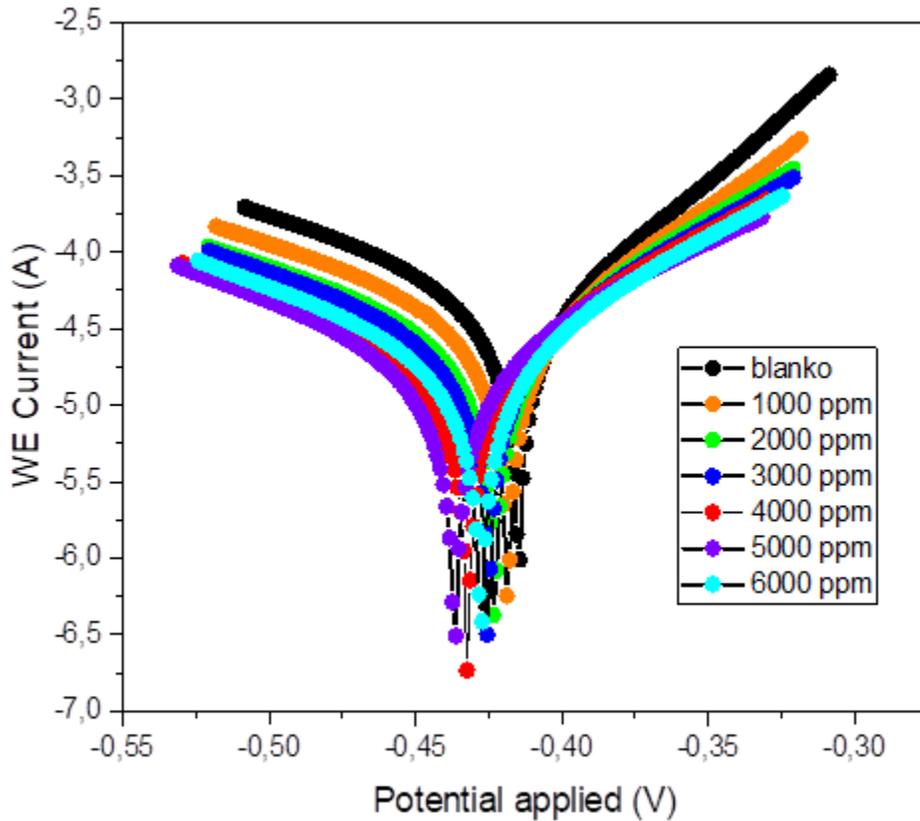
Gambar 5.9 model sirkuit fitting EIS dari besi ASTM A36 dengan pelapisan elektrodeposisi.

Model sirkuit yang terjadi pada pengujian dengan metode EIS seperti pada gambar 5.9 terdiri dari 3 variabel penyusun sirkuit yaitu R_s (tahanan larutan), R_p (tahanan transfer muatan) dan CPE (*Constant Phase Element*). Dari gambar 5.8 juga terlihat bahwa terbentuk kombinasi yang paralel antara R_p dengan CPE. Sedangkan R_s membentuk rangkaian seri dengan R_p dan CPE. Nilai CPE (CPE.N) yang terdapat pada tabel 5.5 hasil fitting data EIS dari besi ASTM A36 menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini berarti bahwa adanya fenomena-fenomena fisik pada permukaan logam diantaranya ketidakhomogenan permukaan logam, penyerapan inhibitor korosi, serta bentuk, tebal dan formasi lapisan inhibitor (Hsu dan Mansfeld, 2001; Bommersbach, dkk. 2006; Gapsari, 2016). sedangkan nilai tahanan transfer muatan (R_p) menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai R_p maka ketahanan terhadap korosi juga semakin tinggi begitu juga sebaliknya. Nilai R_p paling tinggi dimiliki oleh spesimen uji dengan lama pelapisan elektrodeposisi 50 menit dan memiliki laju korosi (mm/year) paling rendah. Hal ini berarti bahwa pengujian dengan metode EIS telah mendukung atau sesuai dengan hasil pengujian laju korosi secara polarisasi tafel untuk perlindungan pelapisan elektrodeposisi besi ASTM A36.

5.2.2 Pengujian Korosi Pada Spesimen Dengan Inhibitor Korosi

5.2.2.1 Pengujian laju korosi besi ASTM A36 dengan penambahan inhibitor korosi dari sisik ikan menggunakan metode tafel.

Hasil pengujian laju korosi dengan ekstrapolasi tafel menggunakan *software* NOVA 1.11 pada besi ASTM A36 dengan variasi inhibitor korosi sisik ikan ditampilkan pada tabel 5.6. Menurut Khaled, *et al* (2010) dan Gapsari, *et al* (2018). Beberapa parameter korosi yang didapatkan pada pengujian besi ASTM A36 seperti I_{corr} (current density), E_{corr} (potensial), β_a (konstanta tafel anodik) β_c (konstanta tafel katodik). Berdasarkan variasi pengujian dengan inhibitor korosi yaitu blanko, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 dan 6000 ppm yang diuji polarisasi, maka hasilnya pada gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 kurva polarisasi hubungan E dan i dengan variasi penambahan jumlah ppm inhibitor korosi sisik ikan pada pengujian korosi besi ASTM A36.

Gambar 5.10 kurva polarisasi hubungan E dan i dengan variasi penambahan jumlah ppm inhibitor korosi (blanko, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 serta 6000 ppm) sisik ikan pada pengujian laju korosi besi ASTM A36. Dari gambar 5.10 terlihat bahwa nilai potensial korosi pada besi ASTM A36 dengan variasi jumlah ppm inhibitor mengindikasikan kurva polarisasi yang hampir sama dengan kurva polarisasi *coating* yaitu bersifat katodik. Inhibitor sisik ikan diketahui bersifat katodik karena inhibitor tersebut menggeser kurva polarisasi spesimen dengan inhibitor semakin ke kiri dari kurva polarisasi spesimen tanpa inhibitor. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa inhibitor sisik ikan merupakan inhibitor korosi yang masuk ke dalam tipe inhibitor katodik. Berdasarkan pendapat yang dikemukakan oleh (Ammal et al. 2018; Suprpto et al. 2017) bahwa suatu inhibitor dapat dikategorikan bersifat anodik atau katodik apabila memiliki nilai potensial korosi yang bergeser lebih dari 85 mV terhadap posisi potensial korosi dengan tanpa inhibitor.

Dari hasil polarisasi tafel seperti pada gambar 5 dengan menggunakan software Nova 1.11 maka secara otomatis didapatkan beberapa parameter seperti E_{corr} (potensial korosi), I_{corr} (arus korosi), β_a (konstanta tafel anodik), β_c (konstanta tafel katodik) serta *corrosion rate* dari besi ASTM A36 didapat, pada setiap variasi pengujian penambahan inhibitor korosi. Dan ditunjukkan dalam table 5.6 berikut.

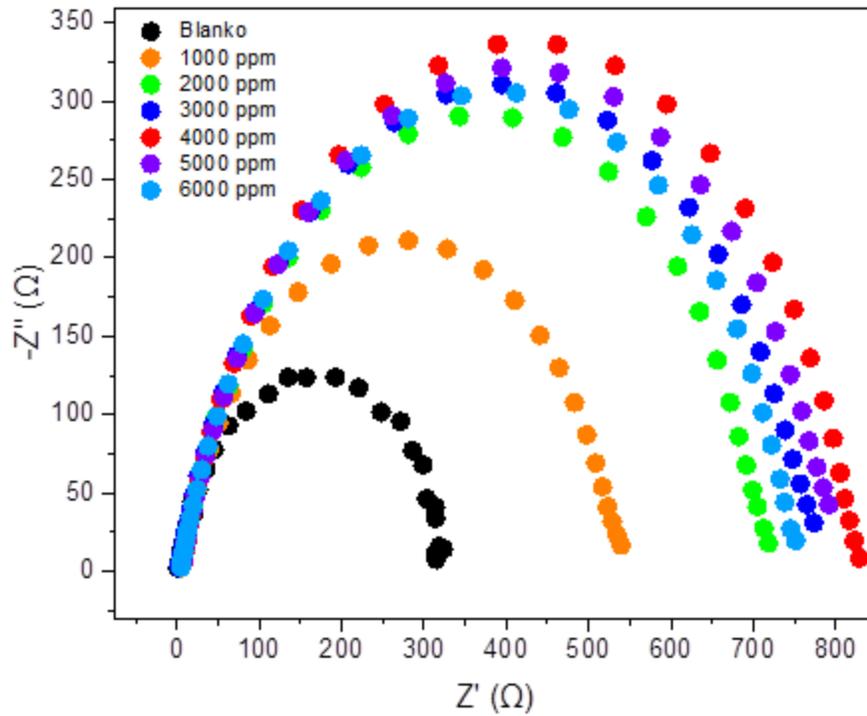
Tabel 5.6 beberapa data-data hasil pengujian korosi dari inhibitor pada besi ASTM A36 dengan variasi jumlah ppm inhibitor korosi hasil ekstrapolasi tafel.

	β_a (V/dec)	β_c (V/dec)	$E_{corr, Calc}$ (V)	$E_{corr, Obs}$ (V)	j_{corr} (A/cm ²)	i_{corr} (A)	Corrosion rate (mm/year)	Efisien Inhibitor (EI) (%)
blanko	0.18982	0.1054	-0.41454	-0.41486	6.3785×10^{-6}	6.38×10^{-5}	0.74118	
1000 ppm	0.1291	0.084794	-0.41872	-0.41846	3.4158×10^{-6}	3.42×10^{-5}	0.39691	46,44891
2000 ppm	0.14034	0.085732	-0.42336	-0.42307	2.7819×10^{-6}	2.78×10^{-5}	0.32326	56,38576
3000 ppm	0.13511	0.0887	-0.42546	-0.42528	2.5711×10^{-6}	2.57×10^{-5}	0.29876	59,6913
4000 ppm	0.12068	0.077303	-0.4324	-0.43221	1.7458×10^{-6}	1.75×10^{-5}	0.20286	72,63013
5000 ppm	0.14552	0.10363	-0.43623	-0.43665	2.0801×10^{-6}	2.08×10^{-5}	0.24171	67,38849
6000 ppm	0.18452	0.10605	-0.42722	-0.42767	2.5976×10^{-6}	2.6×10^{-5}	0.30184	59,27575

Tabel 5.6 menyajikan tabel beberapa data parameter korosi dari inhibitor pada besi ASTM A36 dengan variasi jumlah ppm inhibitor korosi hasil ekstrapolasi tafel, dan dengan menggunakan persamaan maka didapat juga nilai efisiensi dari masing-masing konsentrasi inhibitor sisik ikan. Dari tabel 5.6 diketahui bahwa nilai efisiensi inhibitor tertinggi sebesar 73% yang didapat pada konsentrasi 4000 ppm, kemudian diikuti oleh konsentrasi inhibitor 5000, 3000, 6000, 2000 serta 1000 ppm dengan nilai efisiensi masing-masing berturut-turut 67.4 %, 60 %, 59.3%, 56.4% dan 46.4%. Begitu juga halnya nilai *corrosion rate* (mm/year) besi ASTM A36 dengan nilai laju korosi terendah dihasilkan oleh spesimen dengan konsentrasi inhibitor korosi 4000 ppm. Penurunan nilai raparatus (*current density*) yang sebanding dengan meningkatnya nilai efisiensi atau sebanding dengan menurunnya laju korosi pada besi ASTM A36. Hal ini disebabkan oleh penambahan inhibitor kitosan sisik ikan pada besi ASTM A36 memiliki konsentrasi optimum inhibisi pada 4000 ppm. Sehingga apabila ditambahkan lagi konsentrasinya lebih tinggi dari kondisi optimum maka inhibitor tersebut akan jenuh atau bahkan terjadi pelepasan lapisan pelindung yang terbentuk dari permukaan besi ASTM A36. Seperti yang diungkapkan oleh Fekry & Ameer (2011), apabila konsentrasi inhibitor yang ditambahkan melebihi kondisi optimum maka interaksi antar molekul inhibitor lebih besar dibandingkan dengan interaksi antara inhibitor dengan permukaan logam.

5.2.2.2 Pengujian laju korosi besi ASTM A36 dengan penambahan inhibitor korosi dari sisik ikan menggunakan metode EIS

Pengujian laju korosi dengan metode EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) juga dilakukan pada spesimen dengan perlindungan inhibitor korosi. Hasil pengujian EIS pada spesimen besi ASTM A36 dengan masing-masing variasi penambahan inhibitor korosi ditampilkan pada gambar 5.11 berikut.

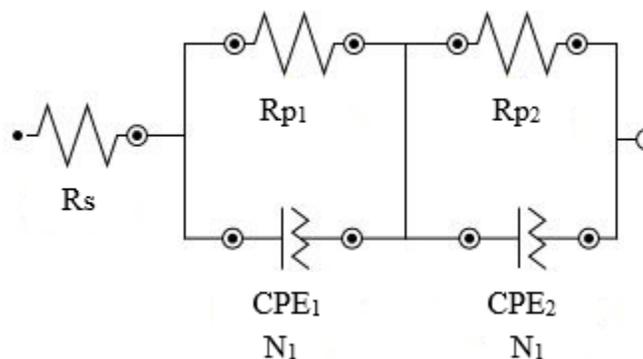


Gambar 5.11 hasil plot Nyquist dari besi ASTM A36 dengan variasi penambahan inhibitor korosi.

Gambar 5.11 di atas merupakan hasil plot Nyquist dari besi ASTM A36 dengan variasi penambahan inhibitor korosi 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 dan 6000 ppm. Hasil plot Nyquist dari besi ASTM A36 dengan variasi penambahan inhibitor korosi 1000 ppm sampai 6000 ppm memiliki kurva dengan diameter setengah lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan diameter setengah lingkaran dari spesimen tanpa inhibitor (blanko). Yang mana diameter kapasitip setengah lingkaran meningkat tajam seiring dengan adanya penambahan atau peningkatan konsentrasi inhibitor korosi, sehingga dapat dikaitkan bahwa proses tahanan transfer

memainkan peran utama dalam terjadinya peningkatan cakupan permukaan adsorpsi molekul inhibitor pada permukaan besi ASTM A36 (Zakaria, et al. 2016). Hasil uji EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) pada besi ASTM A36 dengan penambahan inhibitor korosi dari sisik ikan menunjukkan kesesuaian hasil dengan pengujian ekstrapolasi tafel. Yang mana laju korosi mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor dari 1000 ppm sampai 4000 ppm dan mengalami peningkatan laju korosi lagi pada konsentrasi 5000 dan 6000 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa inhibitor korosi dari sisik ikan mempunyai konsentrasi optimum dalam menghambat laju korosi, sehingga ketika penambahan inhibitor ditambahkan pada media korosi dan melebihi konsentrasi optimumnya maka inhibitor tersebut akan mengalami kejenuhan atau mungkin akan terjadi pelepasan lapisan inhibitor korosi (Gapsari, 2016).

Nilai dari perhitungan beberapa parameter impedansi pada pengujian korosi metode EIS mengacu pada model *circuit* equivalen ditunjukkan pada gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 model sirkuit fitting EIS dari besi ASTM A36 dengan inhibitor korosi.

Model sirkuit yang terbentuk pada pengujian dengan metode EIS dengan inhibitor korosi kitosan sisik ikan ditunjukkan pada gambar 5.12 di atas, yang mana sirkuit fitting EIS dengan inhibitor korosi tersebut terdiri dari 3 variabel penyusun sirkuit yaitu R_s (tahanan larutan), R_p (tahanan transfer muatan) dan CPE (*Constant Phase Element*). Model sirkuit fitting EIS pada inhibitor korosi yang terbentuk sama dengan model sirkuit fitting EIS pada pelapisan secara elektrodeposisi (lihat gambar 5.9). Dari gambar 5.12 juga terlihat bahwa terbentuk kombinasi yang paralel antara R_p dengan CPE. Sedangkan R_s membentuk rangkaian seri dengan R_p dan CPE. Adapun nilai dari beberapa parameter pengujian EIS ditampilkan dalam table 5.7 berikut.

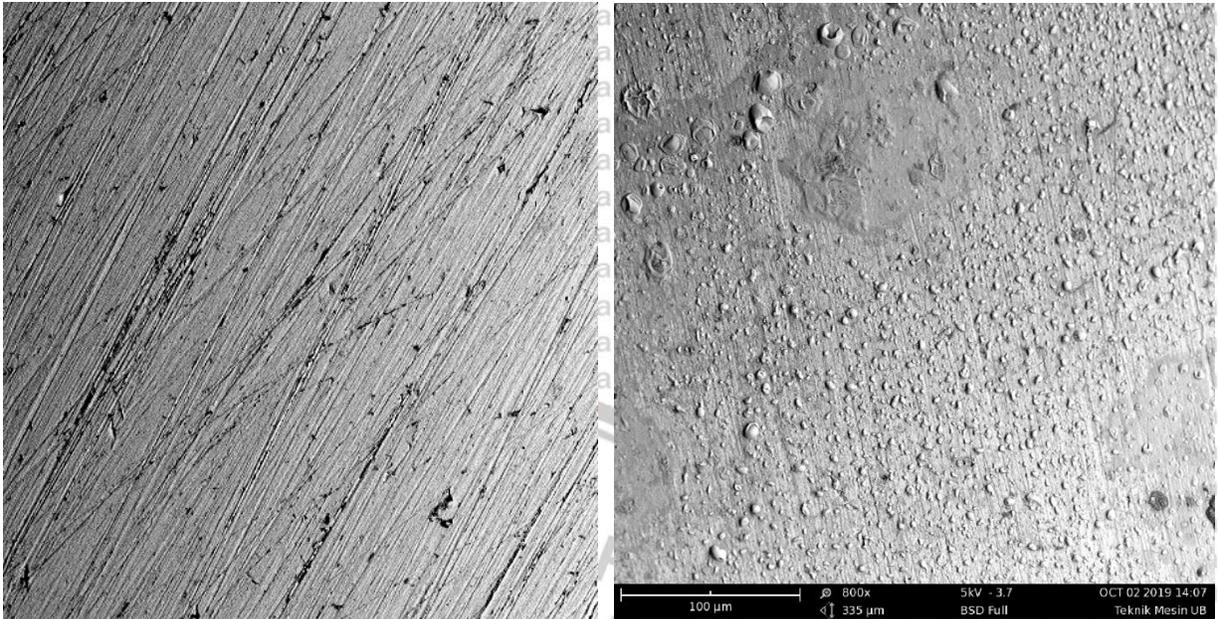
Tabel 5.7 hasil data fitting EIS dari besi ASTM A36 dengan variasi konsentrasi inhibitor dari kitosan sisik ikan.

Variasi konsentrasi inhibitor	CPE ₁ (F)	CPE ₂ (F)	Rp ₁ (Ω)	Rp ₂ (Ω)	Rs (Ω)	N ₁	N ₂	X ²
Blanko	6.45	197	15.6	321	-12.7	0.647	0.851	2.929
1000 ppm	127	13.9	543	16.5	-13.2	0.818	1.1	1.302
2000 ppm	11.0	82.2	18.7	728	-14.2	1.1	0.817	1.101
3000 ppm	157	82.8	16.7	775	-13.4	0.919	0.827	1.725
4000 ppm	8.07	57.3	22.2	836	-16.0	1.1	0.821	0.844
5000 ppm	77.8	30.0	769	11.9	1.10	0.856	0.177	2.969
6000 ppm	81.9	10.6	762	18.9	-14.0	0.818	1.1	1.076

Tabel 5.7 hasil fitting data EIS dari besi ASTM A36 dengan variasi waktu pelapisan secara elektrodeposisi kitosan sisik ikan terlihat bahwa nilai tahanan transfer total muatan (Rp) tertinggi dimiliki oleh spesimen besi ASTM A36 dengan inhibitor 4000 ppm yaitu sebesar 858.2 ohm dan nilai tahanan transfer (Rp) terendah dimiliki oleh spesimen tanpa adanya inhibitor (blanko) dengan nilai 336.6 ohm. Hal ini sesuai dengan data nilai laju korosi yang dimiliki oleh spesimen tersebut, yang mana spesimen dengan inhibitor 4000 ppm memiliki laju korosi terendah dan spesimen tanpa pelapisan dengan laju korosi tertinggi. Hal ini dikarenakan oleh semakin besar tahanan transfer total spesimen uji maka laju pelepasan ion-ion atau atom besi semakin lama sehingga laju korosinya semakin rendah demikian pula dengan hal sebaliknya.

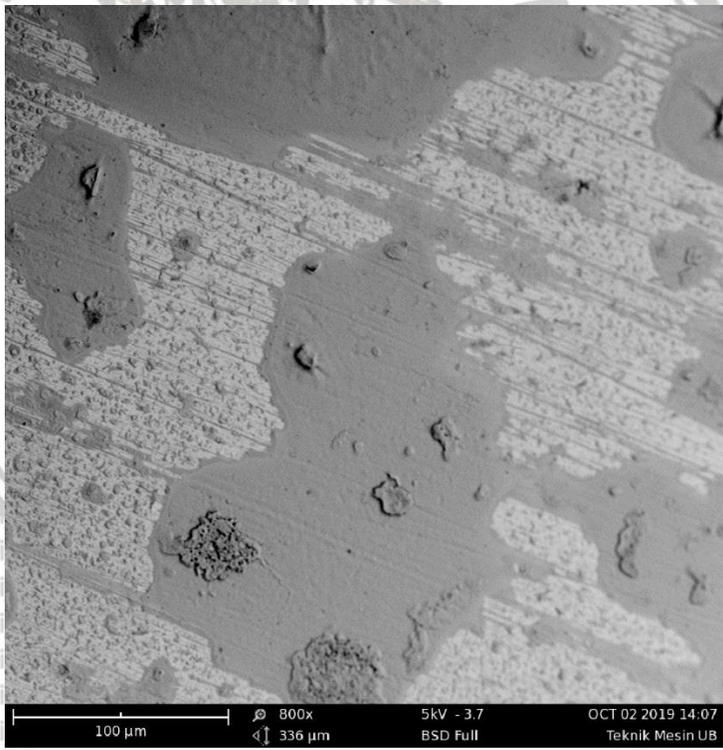
5.3 Gambar SEM Permukaan Besi ASTM A36.

Morphology permukaan besi ASTM A36 sebelum dan setelah proses perendaman dalam media korosif (HCl) dengan tanpa inhibitor dan dengan penambahan inhibitor sisik ikan nila ditampilkan dalam gambar 5.13.



(a)

(b)



(c)

Gambar 5.13 *Morphology* Besi ASTM A36 (a). Gambar Besi ASTM A36 Setelah Dipoles, (b). Setelah Pencelupan Tanpa Inhibitor, (c). Setelah Pencelupan Inhibitor Sisik ikan 4000 ppm.

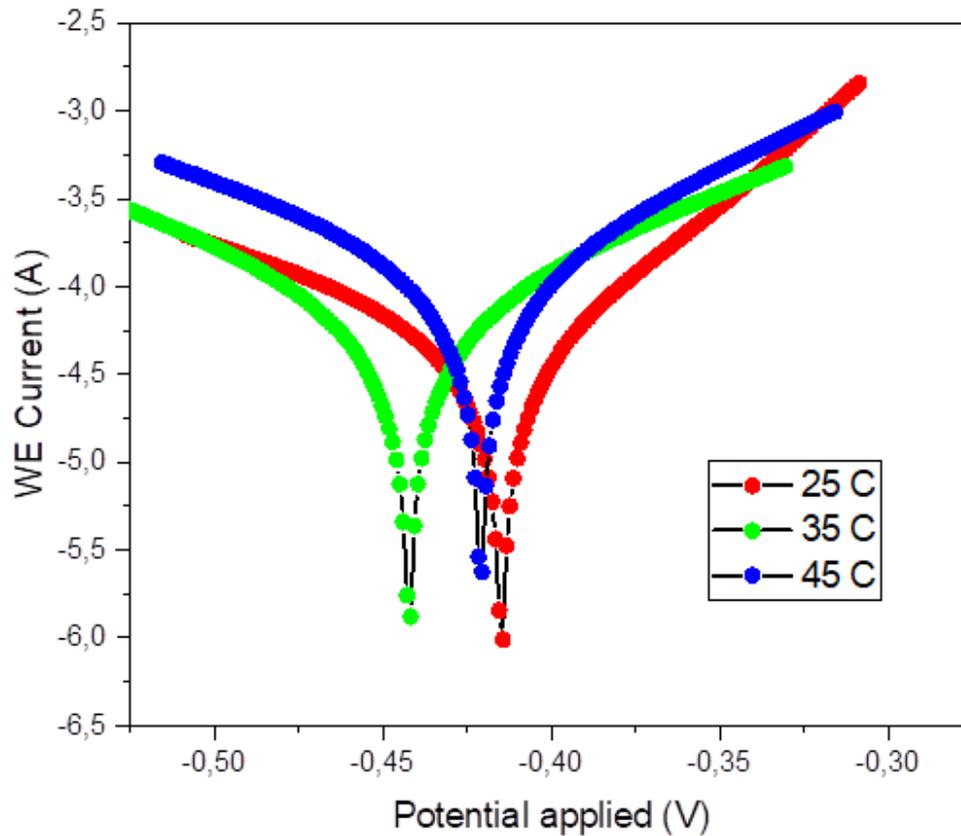
Kemampuan efektifitas dalam menghambat korosi pada besi ASTM A36 dari inhibitor kitosan sisik ikan tampak dengan jelas pada gambar 5.13 yang menampilkan *morphology* permukaan besi ASTM A36 dalam larutan HCl tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor. Kemampuan efektifitas dalam menghambat korosi pada besi ASTM A36 dari inhibitor kitosan sisik ikan nila tampak dengan jelas pada gambar 5.13 yang menampilkan *morphology* permukaan besi ASTM A36 dalam larutan HCl tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor. Gambar 5.13a menunjukkan permukaan besi ASTM A36 yang setelah dipoles *sandpaper* dengan grade 800-2000 sebelum direndam dalam larutan HCl. Gambar 5.13b menampilkan permukaan besi ASTM A36 tanpa penambahan inhibitor, yang mana terlihat dengan jelas bahwa terjadinya korosi lubang (*pitting corrosion*) pada permukaan terjadi dengan luas, merata serta terjadi kerusakan permukaan besi ASTM A36 cukup signifikan. Hal ini mengkonfirmasi hasil nilai laju korosi yang dihasilkan pada pengujian korosi dengan penambahan inhibitor. *Morphology* permukaan besi ASTM A36 pada gambar 5.13c merupakan penampang permukaan besi ASTM A36 dalam larutan HCl dengan penambahan inhibitor kitosan sisik ikan nila. Dari gambar 5.13c terlihat bahwa permukaan abrasi akibat korosi mengalami penurunan serta tidak merata disemua permukaan spesimen uji, yang menunjukkan bahwa adanya kitosan yang terserap pada permukaan logam. Akan tetapi masih terbentuk adanya perilaku korosi, yang disebabkan oleh terbentuknya rongga yang menangkap larutan korosif akibat dari proses reaksi molekul-molekul dalam sistem uji (Al-Sabagh, et al 2013). Pengamatan dari *morphology* besi ASTM A36 seperti pada gambar 5.13c juga menunjukkan bahwa adanya inhibitor kitosan sisik ikan yang teradsorpsi pada permukaan besi ASTM A36 serta titik terjadinya korosi pada spesimen uji menurun pada penambahan inhibitor 4000 ppm. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya proses adsorpsi molekul inhibitor kitosan sisik ikan permukaan logam besi ASTM A36 sebagai lapisan pelindung (Frag et al.2018).

5.4. Pengaruh Perbedaan Temperatur Terhadap Nilai Laju Korosi Besi ASTM A36.

5.4.1. laju korosi besi ASTM A36 pada temperatur yang berbeda tanpa penambahan inhibitor.

Pengujian laju korosi dengan metode polarisasi (tafel) pada besi ASTM A36 tanpa penambahan inhibitor dengan variasi temperatur pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap perilaku korosi besi ASTM A36 dalam larutan asam klorida (HCl

1 M) serta untuk menentukan. Dari pengujian polarisasi yang dilakukan kemudian diperoleh grafik polarisasi dari setiap variasi temperatur sampel pengujian laju korosi. Dari grafik polarisasi tersebut kemudian juga didapat seberapa besar nilai E_{corr} dan I_{corr} dari spesimen uji besi ASTM A36 pada perbedaan temperatur uji. Berdasarkan variasi temperatur pengujian yaitu 25, 35 serta 45 °C yang diuji polarisasi dan hasilnya disajikan dalam gambar 5.14.



Gambar 5.14 kurva polarisasi hubungan E dan i dengan variasi temperatur pengujian korosi besi ASTM A36 tanpa penambahan inhibitor.

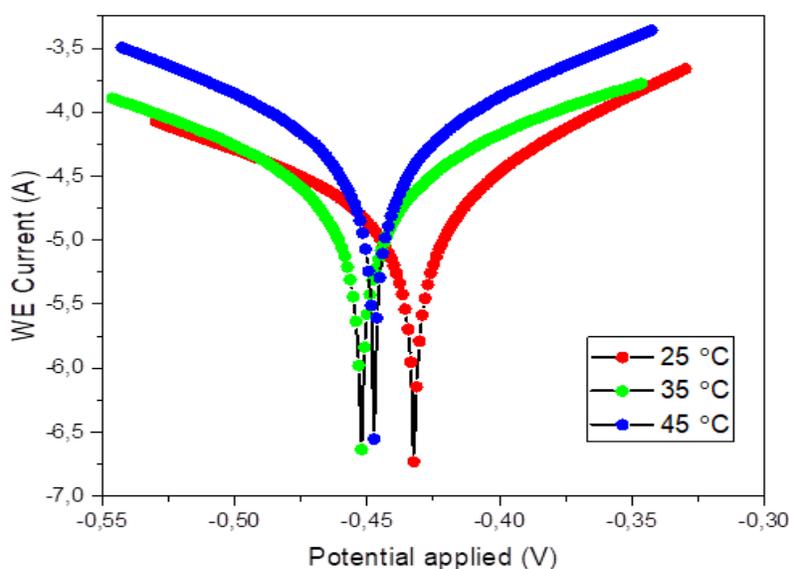
Dari gambar 5.14 kurva polarisasi hubungan E dan i dengan variasi temperatur pengujian korosi besi ASTM A36 terlihat bahwa grafik kurva polarisasi konsentrasi inhibitor optimum (4000 ppm) dengan variasi temperatur terlihat bahwa kurva polarisasi secara umum cenderung bergeser ke kiri seiring dengan meningkatnya temperatur pengujian. Beberapa parameter hasil pengujian korosi besi ASTM A36 dengan variasi pengujian di tampilkan dalam table 5.8. Dari table 5.8 kemudian ditarik grafik hubungan antara laju korosi (mm/year) dengan variasi suhu pengujian tanpa inhibitor dan dengan inhibitor konsentrasi 4000 ppm pada gambar 5.15.

Tabel 5.8 parameter korosi besi ASTM A36 dalam variasi temperatur pengujian tanpa penambahan inhibitor.

Variasi suhu pengujian	β_a (V/dec)	β_c (V/dec)	$E_{corr, Calc}$ (V)	$E_{corr, Obs}$ (V)	j_{corr} (A/cm ²)	i_{corr} (A)	Corrosion rate (mm/year)
suhu 25 C	0.18982	0.1054	-0.41454	-0.41486	6.38×10^{-5}	6.38×10^{-5}	0.74118
suhu 35 C	0.26656	0.1423	-0.44185	-0.4422	1.09×10^{-5}	1.09×10^{-5}	1.2623
suhu 45 C	0.14591	0.16435	-0.4204	-0.42101	1.57×10^{-5}	1.57×10^{-5}	1.8282

5.4.2. Laju korosi besi ASTM A36 pada temperatur yang berbeda dengan penambahan inhibitor konsentrasi 4000 ppm (konsentrasi optimum).

Pengujian laju korosi dengan metode polarisasi (tafel) pada konsentrasi inhibitor 4000 ppm dengan variasi temperatur pengujian juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap perilaku korosi besi ASTM A36 dalam larutan asam klorida (HCl 1 M). Dari pengujian polarisasi yang dilakukan kemudian diperoleh grafik polarisasi dari setiap variasi temperatur sampel pengujian yang dilakukan. Dari grafik polarisasi tersebut kemudian didapat seberapa besar nilai E_{corr} serta I_{corr} untuk spesimen uji besi ASTM A36 pada perbedaan temperatur uji. Berdasarkan variasi temperatur pengujian diantaranya 25, 35 serta 45 °C yang diuji polarisasi dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 kurva polarisasi hubungan E dan i dengan variasi temperatur pengujian korosi besi ASTM A36 dengan penambahan inhibitor konsentrasi 4000 ppm.

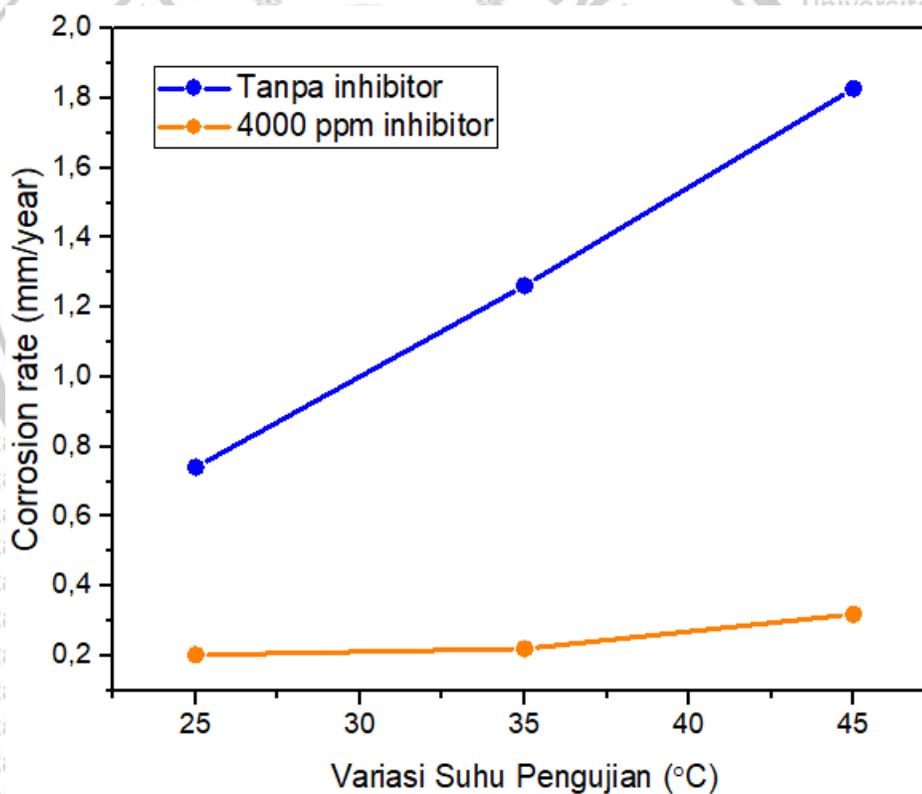
Dari gambar 5.15 kurva polarisasi hubungan E dan i dengan variasi temperatur pengujian korosi besi ASTM A36 terlihat bahwa grafik kurva polarisasi konsentrasi inhibitor optimum (4000 ppm) dengan variasi temperatur terlihat bahwa kurva polarisasi secara umum cenderung bergeser ke kiri seiring dengan meningkatnya temperatur pengujian. Beberapa parameter hasil pengujian korosi besi ASTM A36 dengan variasi pengujian di tampilkan dalam tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 parameter korosi besi ASTM A36 dalam variasi temperatur pengujian dengan inhibitor 4000 ppm.

Variasi suhu pengujian	β_a (V/dec)	β_c (V/dec)	$E_{corr, Calc}$ (V)	$E_{corr, Obs}$ (V)	j_{corr} (A/cm ²)	i_{corr} (A)	Corrosion rate (mm/year)
25 °C	0.12068	0.077303	-0.4324	-0.43221	1.75×10^{-5}	1.75×10^{-5}	0.20286
35 °C	0.059001	0.10866	-0.4524	-0.45231	1.90×10^{-5}	1.90×10^{-5}	0.22059
45 °C	0.046158	0.054124	-0.44731	-0.44728	2.75×10^{-5}	2.75×10^{-5}	0.31943

Dari tabel 5.9 yang didapatkan kemudian ditarik grafik hubungan antara temperatur dengan laju korosi yang terjadi pada besi ASTM A36 seperti dalam gambar 5.16. yang mana gambar 5.16 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan laju korosi (*corrosion rate*) ataupun arus yang mengalir seiring dengan meningkatnya temperatur baik pada spesimen tanpa inhibitor maupun spesimen dengan inhibitor 4000 ppm, serta gambar 5.16 juga menunjukkan bahwa laju korosi besi ASTM A36 tanpa inhibitor rata-rata jauh lebih tinggi dibandingkan dengan inhibitor 4000 ppm. Pada spesimen tanpa inhibitor terjadi peningkatan dari suhu 25 °C, 35 °C dan 45 °C dengan masing-masing laju korosi sebesar 0.74118 mm/year, 1.2623 mm/year dan 1,8282 mm/year. sedangkan pada spesimen dengan inhibitor 4000 ppm temperatur 25 °C terjadi laju korosi sebesar 0.203 mm/year, temperatur 35 °C sebesar 0.221 mm/year dan 45 °C laju korosi sebesar 0.319 mm/year. Ziovany (2016) mengungkapkan bahwa temperatur yang semakin meningkat akan mempercepat besarnya arus korosi yang terjadi pada besi ASTM A36, yang mana peningkatan temperatur akan mengakibatkan oksidasi pada permukaan besi ASTM A36 akan menginisiasi meningkatnya energi yang terdapat pada sistem dan mampu meningkatkan aktifnya ion-ion Cl⁻ dalam media korosi yaitu HCl. Sedangkan logam Fe yang terdapat pada besi ASTM A36 akan mengalami reaksi oksidasi pada bagian anodik sehingga menjadi Fe²⁺. Kemudian ion Cl⁻ yang bebas akan membentuk interaksi dengan logam Fe²⁺ sehingga menghasilkan FeCl₂

yang terdapat pada keadaan asam. Sedangkan pada bagian katodik molekul air mengalami reduksi dan membentuk ion-ion OH^- yang turut serta berinteraksi dengan FeCl_2 dan kemudian menghasilkan lapisan oksida $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Hal demikian juga diungkapkan oleh Utami, (2016) bahwa temperatur yang terus meningkat akan mengakibatkan ion-ion korosif yaitu Cl^- menjadi lebih aktif dalam menyerang permukaan logam besi (Fe) sehingga arus korosi pada bagian anoda dan katoda semakin meningkat. Disamping itu peningkatan temperatur pengujian juga menyebabkan proses desorpsi (tidak terserapnya) inhibitor oleh permukaan logam, yang berakibat pada efektifitas dari penambahan inhibitor semakin berkurang sedangkan densitas arus atau laju korosi semakin meningkat. Hubungan antara laju korosi dengan adanya peningkatan temperatur uji laju korosi pada spesimen tanpa dan dengan inhibitor 4000 ppm dan ditampilkan dalam gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 laju korosi pada variasi temperatur pengujian.

5.5. Beberapa Parameter Termodinamika Dan Kinetika Korosi

Untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada besi ASTM A36 maka digunakan parameter-parameter termodinamika dan kinetika korosi. Parameter-parameter termodinamika korosi tersebut terdiri dari nilai ΔG^* (perubahan energi persamaan Gibbs keadaan transisi), ΔS^* (perubahan entropi keadaan transisi, E_a (energi aktivasi) dan ΔH^* (perubahan entalpi keadaan transisi) yang diperoleh melalui persamaan regresi grafik hubungan antara $\ln(i_{corr}/T)$ dengan $1000/T$ sesuai dengan persamaan Arrhenius. Maka didapat nilai-nilai parameter termodinamika dan kinetika korosi seperti yang ditampilkan pada tabel 5.10. Yang mana persamaan Arrhenius

$$\text{yaitu: } \ln i_{corr} = \ln A - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right) \quad (5-1)$$

Tabel 5.10 nilai parameter-parameter termodinamika dan kinetika korosi pada besi ASTM A36 dengan inhibitor sisik ikan.

Konsentrasi (ppm)	Inhibitor	ΔH^* (kJ/mol)	ΔS^* (kJ/mol)	E_a (kJ/mol)
Tanpa Inhibitor		32,975	-641,5344	17,6764
4000		15,1182	-632,9617	35,534

Dari tabel 5.10 menunjukkan bahwa ΔH^* bernilai positif yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi molekul inhibitor kitosan sisik ikan pada permukaan besi ASTM A36 merupakan proses endoterm, yang mana reaksi yang terjadi mengakibatkan adanya transfer kalor lingkungan ke sistem pengujian reaksi. (Obot et al., 2011). Nilai ΔS^* menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan inhibitor konsentrasi 4000 ppm mengalami peningkatan, hal ini umumnya berarti bahwa meningkatnya ketidakteraturan reaksi yang terjadi pada sistem atau molekul inhibitor secara bebas/acak bergerak untuk teradsorpsi pada permukaan besi ASTM A36. Sedangkan nilai E_a (energi aktivasi) mengalami peningkatan seiring dengan adanya penambahan inhibitor korosi 4000 ppm dibandingkan dengan tanpa inhibitor, nilai ini sesuai dengan nilai efektifitas inhibitor pada pengujian polarisasi potensiodinamik dan EIS antara spesimen blanko dan inhibitor 4000 ppm. Hal ini berarti bahwa terjadi proses penghambatan laju korosi oleh inhibitor sisik ikan (Ebenso, 2003; Gapsari, 2016), dengan %IE menurun dengan meningkatnya suhu pengujian korosi sehingga E_a (larutan dengan inhibitor) > E_a (larutan blank) (Li et al. 2009).

5.6. Adsorpsi Isothermal Pada Permukaan Besi ASTM A36 Dengan Inhibitor Korosi Kitosan Sisik Ikan

Dengan menggunakan persamaan matematis maka dapat dihitung besarnya nilai adsorpsi isothermal pada permukaan. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui jenis adsorpsi yang terjadi pada suatu permukaan logam (Gapsari, 2016). Dalam perhitungan adsorpsi isothermal ini terdapat 4 persamaan adsorpsi isothermal yaitu Langmuir, Freundlich, Temkin dan Frumkin. Dengan cara mensubstitusikan nilai-nilai berdasarkan persamaan-persamaan tersebut yang kemudian diregresikan sehingga didapatkan persamaan regresi linier. Dari persamaan regresi linier persamaan adsorpsi isothermal dihasilkan nilai R^2 yang menunjukkan hubungan antara X dan Y sesuai persamaan yang digunakan. Nilai R^2 yang mendekati 1 merupakan kesesuaian antara jenis adsorpsi yang terjadi dengan model persamaan isothermal.

1. Persamaan Langmuir

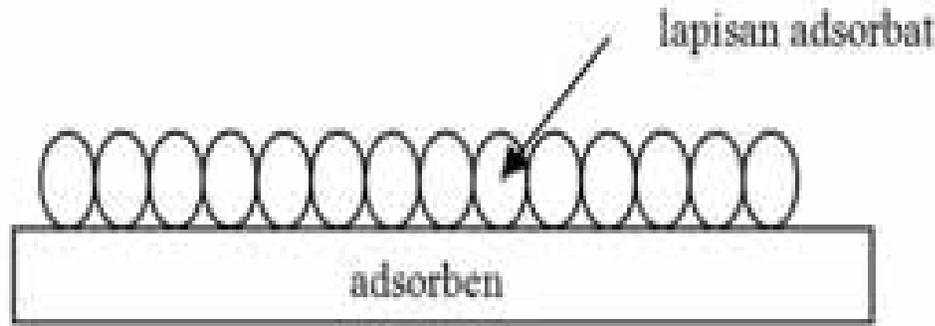
Perhitungan nilai adsorpsi isothermal dengan menggunakan persamaan Langmuir sebagai berikut.

$$\text{Persamaan Langmuir : } \frac{c}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + c \quad (5.1)$$

$$\text{Dengan: } \theta = \text{cakupan permukaan } \left(\frac{EI}{100} \right)$$

K_{ads} = konstanta kesetimbangan adsorpsi.

Mengacu pada persamaan (5.1) maka parameter X dan Y dari persamaan Langmuir dibuat seperti pada tabel 5.10. Variasi konsentrasi inhibitor kitosan sisik ikan dan efisiensi yang dihasilkan pada masing-masing konsentrasi inhibitor digunakan untuk menghitung persamaan Langmuir. Model adsorpsi berdasarkan persamaan Langmuir yaitu kapasitas adsorpsi maksimum kitosan pada permukaan logam terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat (lapisan kitosan sisik ikan) pada permukaan adsorben (permukaan besi ASTM A36) (Mulyana dkk, 2003). Dengan ilustrasi proses penyerapan ditunjukkan pada gambar 5.17 berikut.

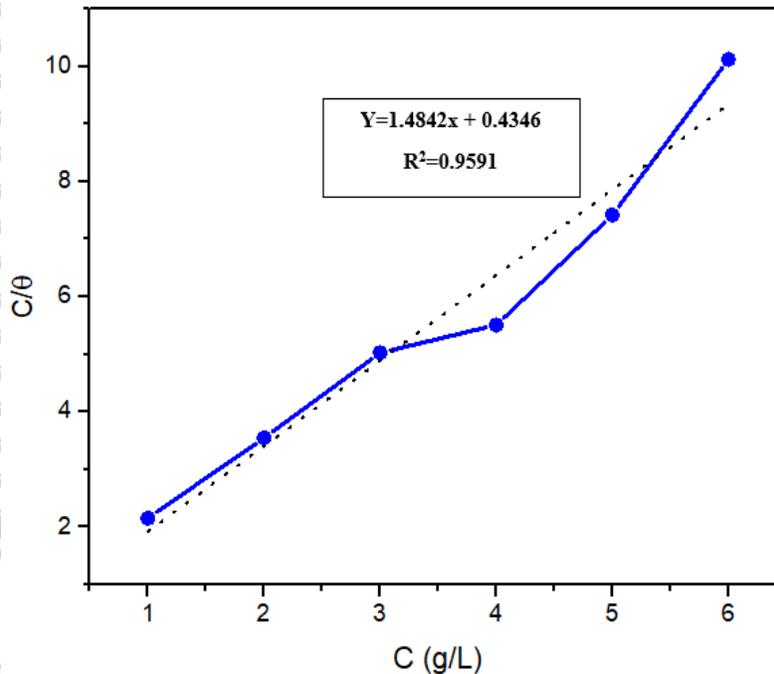


Gambar 5.17 ilustrasi penyerapan berdasarkan persamaan Langmuir

Tabel 5.11 parameter-parameter persamaan Langmuir.

sumbu X		sb. Y	
C (ppm)	C (g/L)	θ	C/θ
1000	1	0,46448906	2,152903
2000	2	0,56385763	3,546995
3000	3	0,59691303	5,025858
4000	4	0,7263013	5,507356
5000	5	0,67388489	7,419665
6000	6	0,59275749	10,12218

Dari tabel 5.11 di atas kemudian ditarik grafik hubungan antara C (g/L) dengan C/θ sesuai dengan persamaan Langmuir pada persamaan 5.1 seperti dalam gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 adsorpsi isothermal Langmuir untuk permukaan besi ASTM A36 dengan kitosan sisik ikan pada media HCl.

Gapsari, (2016) mengungkapkan bahwa nilai dari adsorpsi isothermal telah sesuai jika nilai R^2 semakin mendekati 1. Dari gambar 5.18 nilai R^2 pada persamaan Langmuir sebesar 0,9591, nilai ini hampir mendekati 1. Akan tetapi untuk memastikan bahwa kemungkinan ada persamaan lain yang nilainya lebih mendekati 1 (mengikuti persamaan adsorpsi isothermal yang lain) maka perhitungan nilai adsorpsi isothermal dilanjutkan dengan perhitungan persamaan Freundlich.

2. Persamaan Freundlich

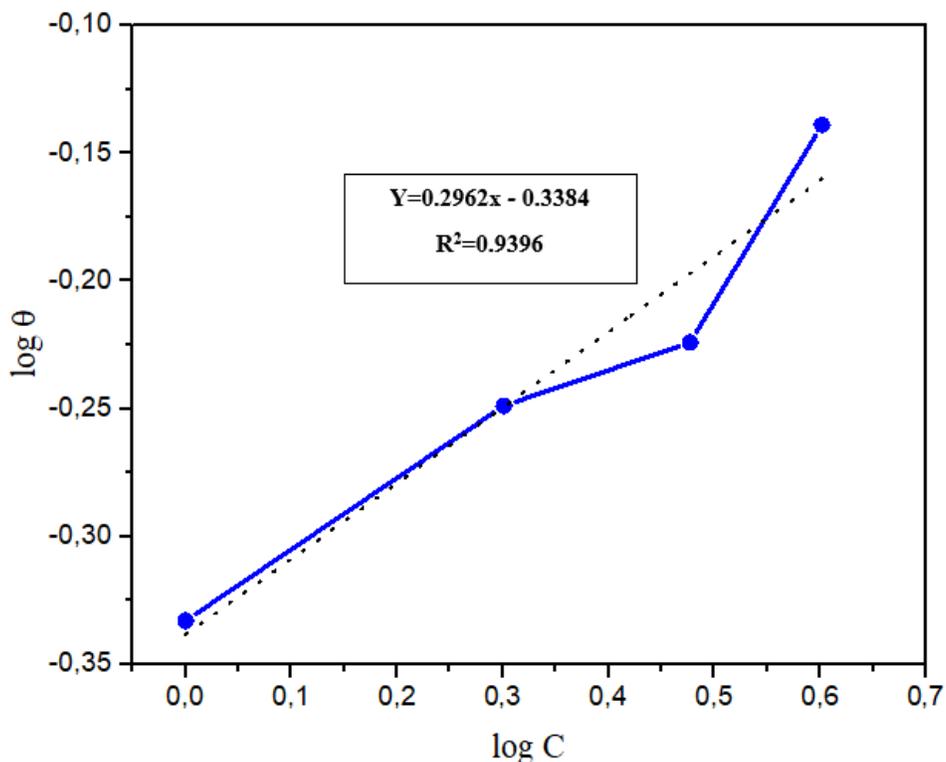
Perhitungan nilai adsorpsi isothermal dengan menggunakan persamaan Freundlich sebagai berikut. Persamaan Freundlich : $\log \theta = \log K_{ads} + n \log c$ (5.2)

Parameter yang digunakan dalam persamaan Freundlich ditampilkan dalam table 5.12.

Tabel 5.12 parameter-parameter persamaan Freundlich.

C			sumbu X	sumbu Y
(ppm)	C (g/L)	θ	log C	log θ
1000	1	0,46448906	0	-0,33302451
2000	2	0,56385763	0,301029996	-0,248830538
3000	3	0,59691303	0,477121255	-0,224088941
4000	4	0,7263013	0,602059991	-0,138883178
5000	5	0,67388489	0,698970004	-0,171414281
6000	6	0,59275749	0,77815125	-0,22712295

Dari tabel 5.12 di atas kemudian ditarik grafik hubungan antara log C dengan log θ sesuai dengan persamaan Freundlich pada persamaan 5.2 seperti gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 adsorpsi isothermal Freundlich pada permukaan besi ASTM A36 dengan kitosan sisik ikan pada media HCl 1 M.

Persamaan Freundlich menghasilkan nilai R^2 untuk persamaan adsorpsi isothermal sebesar 0.9369. yang berarti bahwa persamaan Freundlich memiliki kesesuaian dengan persamaan Langmuir, akan tetapi lebih kecil dari nilai R^2 persamaan Langmuir. Sehingga perhitungan nilai R^2 persamaan adsorpsi isothermal tidak dilanjutkan dengan persamaan Temkin dan Frumkin

karena nilai R^2 pada persamaan Freundlich mengalami penurunan dari nilai R^2 Langmuir. Hal berarti bahwa nilai adsorpsi isothermal pada sistem (kitosan sisik ikan sebagai lapisan adsorbat dan permukaan logam sebagai adsorben) mengikuti persamaan adsorpsi isothermal dari Langmuir.

Dikarenakan isoterm adsorpsi mengikuti persamaan Langmuir maka didapatkan nilai-nilai dalam penentuan isoterm adsorpsi pada besi ASTM A36 dengan kitosan sisik ikan serta ditampilkan dalam tabel 5.13.

Tabel 5.13 nilai Isoterm adsorpsi pada besi ASTM A36 dengan kitosan sisik ikan.

Persamaan Adsorpsi	Pers. Linier	Nilai K	ΔG_{ads}	Sifat Adsorpsi
Langmuir	$1,4842x + 0,4346$	2,7202	-150,5201	Kemisorpsi

Dari tabel 5.13 ditampilkan bahwa nilai ΔG_{ads} bernilai negatif yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi pada permukaan besi ASTM A36 terjadi secara spontan. Yang mana nilai ΔG_{ads} yaitu -150.5201 kJ/mol yang menunjukkan bahwa tipe adsorpsi yang terjadi merupakan tipe kemisorpsi. Tipe kemisorpsi merupakan proses adsorpsi yang terjadi via *sharing* atau saling transfer muatan dari molekul inhibitor ke permukaan besi ASTM A36 dan membentuk ikatan kovalen (Benarioua et al. 2019).

5.7. Mekanisme Penghambatan laju Korosi Pada Besi ASTM A36 dengan Inhibitor Korosi Menggunakan Kitosan Sisik Ikan

Mekanisme inhibitor korosi dari besi ASTM A36 dengan inhibitor kitosan sisik ikan dan laju korosi tergantung tergantung pada dua faktor seperti: tipe dari material uji dan kondisi korosifnya. Proses korosi pada besi ASTM A36 dalam media korosif HCl 1 M mengacu pada persamaan reaksi yang digambarkan sebagai berikut.



Bentuk reaksi tersebut terdiri dari proses transfer ion diantara bagian anoda dan bagian katoda, sedangkan reaksi elektrokimia pada besi ASTM A36 melibatkan reaksi oksidasi dan reaksi reduksi dengan media korosifnya (HCl) (Solmaz, et al. 2008; Rani & Basu, 2011; Ahmed,

et al. 2018; Habeeb, et al. 2018). Sedangkan reaksi anoda terjadi pada anoda dengan bentuk reaksi,



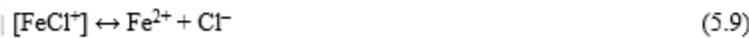
Sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi dengan bentuk berikut,



Yang mana atom hidrogen akan mengalami pelepasan dengan bentuk gelembung gas yang merupakan produk dari korosi (Habeeb, et al. 2018).

Pengaruh inhibitor korosi tergantung dari banyaknya agen penyusun inhibitor seperti jumlah dari tempat penyerapan inhibitor, density pembebanan, ukuran molekul inhibitor, panas hidrogen, mode interaksi antara inhibitor dengan permukaan logam dan bentuk kompleks dari logam (Habeeb, et al. 2018). Proses adsorpsi dari molekul inhibitor kitosan sisik ikan pada permukaan logam bisa ditunjukkan dengan adanya elemen elektronegativ atom seperti, atom O, N dan S dengan atom polar tersebut bisa dianggap sebagai pusat reaksi untuk terjadinya proses penyerapan oleh permukaan besi ASTM A36.

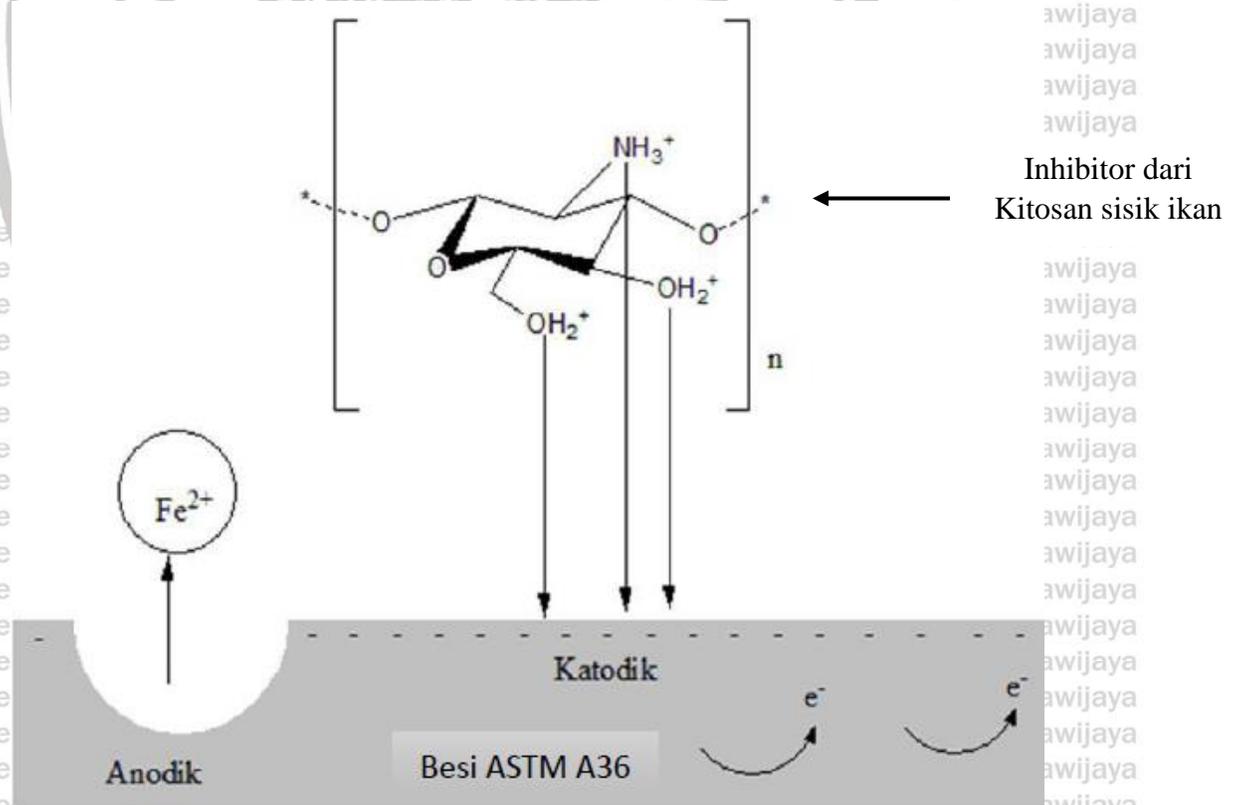
➤ Mekanisme pelepasan anoda dari besi ASTM A36 pada media korosi HCl 1-M tergantung pada $(FeCl)_{ads}$ yang diberikan sebagai berikut (Zakaria, et al. 2016).



Dalam hubungannya dengan reaksi katodik yang merupakan proses reaksi evolusi hidrogen diberikan sebagai berikut.



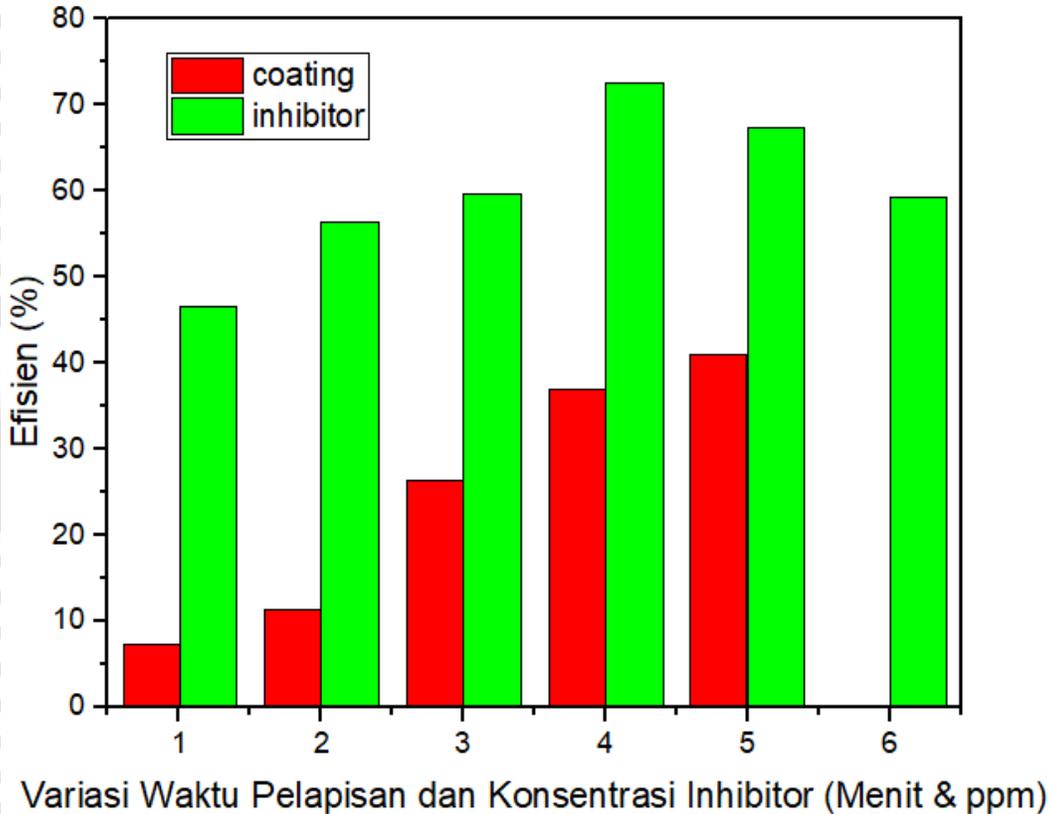
Inhibitor kitosan sisik ikan dalam media korosif (HCl 1 M) mengalami proses protonasi yang terdapat pada gugus-gugus fungsinya sehingga memiliki peran penting sebagai penghambat laju korosi pada besi ASTM A36. Selanjutnya molekul-molekul kitosan sisik ikan yang telah mengalami proses protonasi tersebut selanjutnya ion-ion hidrogen (H^+) berkompetisi untuk terserap pada bagian permukaan yang katodik besi ASTM A36, kemudian mengakibatkan produksi gas-gas hidrogen tersebut (H_2) jumlahnya berkurang. Sedangkan pada media petroleum sintetis dan HCl 1 M terjadi reaksi antara ion-ion klorid (Cl^-) dengan logam yang bermuatan positif pada permukaan besi ASTM A36, oleh karena itu molekul inhibitor kitosan sisik ikan menjadi lebih mudah untuk terserap pada permukaan logam besi ASTM A36 (Saleh, dkk. 2017). Adapun mekanisme penghambatan korosi pada besi ASTM A36 dengan inhibitor kitosan sisik ikan ditunjukkan pada gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 mekanisme penghambatan korosi pada besi ASTM A36 dengan inhibitor kitosan sisik ikan.

Perbandingan efektivitas antara pelapisan elektrodposisi kitosan variasi lama waktu pelapisan dengan variasi konsentrasi penambahan inhibitor korosi dari kitosan sisik ikan pada besi ASTM A36 ditampilkan dalam gambar 5.21 berikut.

5.8. Perbandingan Efisiensi Perlindungan Metode Pelapisan Elektrodposisi Dengan Inhibitor Korosi Spesimen Besi ASTM A36 Menggunakan Kitosan Sisik Ikan.



Gambar 5.21 perbandingan efisiensi perlindungan antara pelapisan elektrodposisi kitosan dengan inhibitor korosi kitosan sisik ikan.

Keterangan gambar 5.21.

Coating : 1 = 10 menit, 2 = 20 menit, 3 = 30 menit, 4 = 40 menit dan 5 = 50 menit pelapisan.

Inhibitor : 1 = 1000, 2 = 2000, 3 = 3000, 4 = 4000, 5 = 5000 dan 6 = 6000 ppm konsentrasi inhibitor.

Gambar 5.21 menunjukkan bahwa efektivitas tertinggi dalam menghambat laju korosi pada besi ASTM A36 yaitu dihasilkan oleh metode inhibitor dengan konsentrasi 4000 ppm sebesar 73%. Sedangkan efektivitas terendah dihasilkan oleh perlindungan dengan waktu pelapisan elektrodeposisi selama 10 menit yang sebesar 7.2% dan tertinggi pelapisan selama 50 menit sebesar 41,15177. dari gambar 5.21 juga menjelaskan bahwa perlindungan korosi pada besi ASTM A36 dengan metode penambahan inhibitor menghasilkan efektivitas rata-rata penghambatan yang lebih besar dibandingkan dengan metode *coating*. Hal ini dikarenakan oleh perlindungan korosi dengan pelapisan organik dari kitosan memiliki kelemahan ketika diaplikasikan dalam lingkungan basah atau dicelupkan ke dalam lingkungan berair yaitu lepasnya lapisan pelindung oleh media cair. Seperti yang telah dijelaskan oleh Deflorian, (2016) yaitu Metode pelapisan dengan menggunakan bahan organik dapat rusak dengan mudah ketika terkena paparan atmosfer dengan kelembaban tinggi atau dalam kondisi perendaman seperti pencelupan ke dalam suatu cairan. Misalnya, hilangnya kekuatan adhesi antara permukaan besi ASTM A36 dengan pelapis/kitosan sisik ikan karena perembesan air, pembentukan lepuh di bawah lapisan itu, delaminasi lapisan kitosan sisik ikan dari substrat logam dan nukleasi lanjut dari korosi substrat. Fenomena ini sangat umum dan kompleks terjadi dengan melibatkan sejumlah besar proses fisika-kimia seperti:

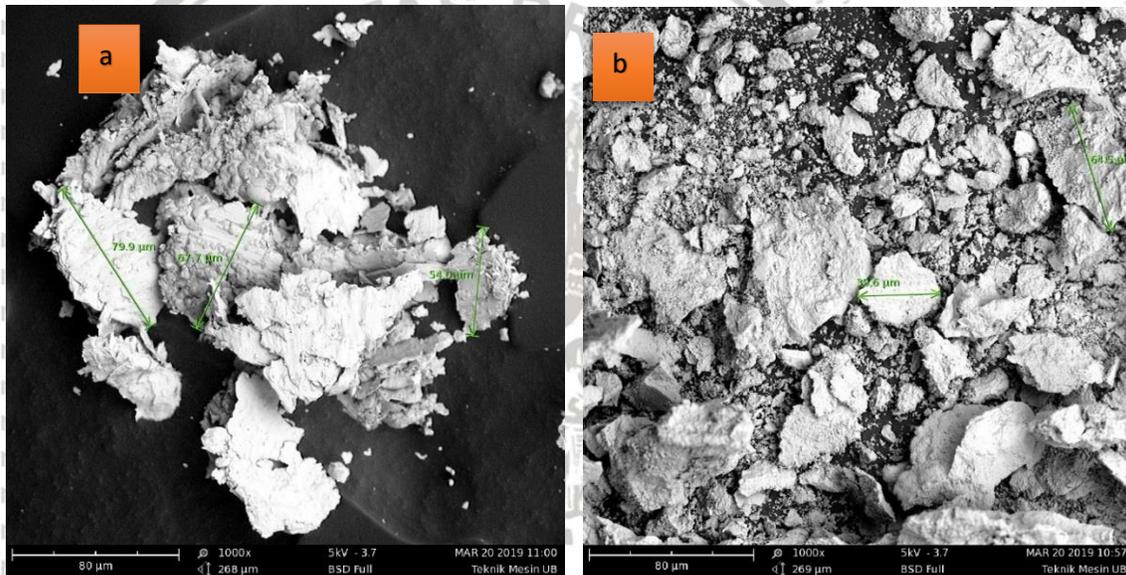
1. Penetrasi air, oksigen dan ionik yang dipengaruhi oleh adanya pori-pori, inklusi gas, kotoran, dan cacat lapisan.
2. Pengurangan kekuatan adhesi antara permukaan besi ASTM A36 dengan kitosan sisik ikan.
3. Deformasi (lepasnya) lapisan karena kemungkinan pembengkakan dan adanya produk korosi dengan volume yang cukup tinggi.

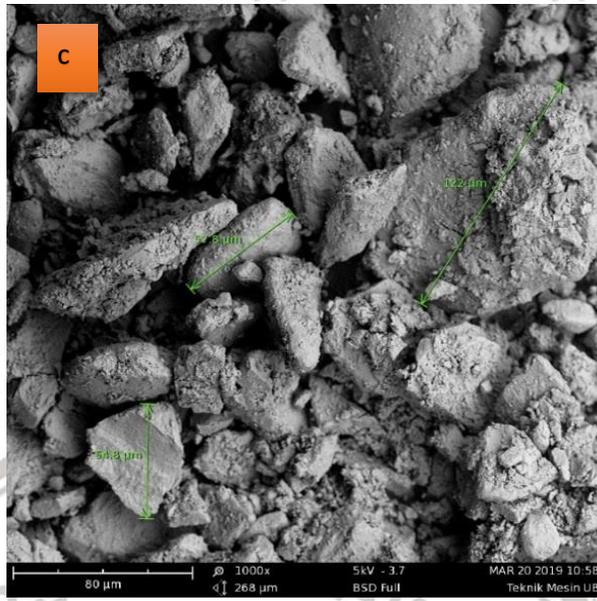
Salah satu kelemahan pelapisan menggunakan bahan organik (kitosan sisik ikan) dalam mencegah atau menghambat laju korosi adalah mudah rusak atau lepasnya lapisan pelindung tersebut baik oleh, aksi mekanis dari siklus termal ataupun induksi lokalisasi situs anodik yang dekat dengan cacat. Sementara itu perlindungan korosi dengan metode penambahan inhibitor korosi lebih efektif untuk digunakan dalam lingkungan berair karena inhibitor akan terserap secara kimia pada permukaan besi ASTM A36. Yang kemudian terbentuk lapisan pelindung berupa film tipis akibat kombinasi antara ion inhibitor dengan permukaan besi ASTM A36 dari

serangan korosif (Camila, et al. 2014). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa kitosan sisik ikan lebih efektif untuk diaplikasikan sebagai bahan inhibitor korosi dibandingkan dengan sebagai bahan pelapis elektrodeposisi.

5.9. Hasil foto SEM dari serbuk kitosan pada permukaan Besi ASTM A36.

Pengujian SEM pada serbuk besi ASTM A36, serbuk kitosan sisik ikan dan serbuk besi hasil korosi dari larutan HCl dengan penambahan inhibitor sisik ikan konsentrasi 4000 ppm dilakukan untuk mengamati morfology dari ketiga sampel tersebut, yang ditunjukkan pada foto sem berikut ini.





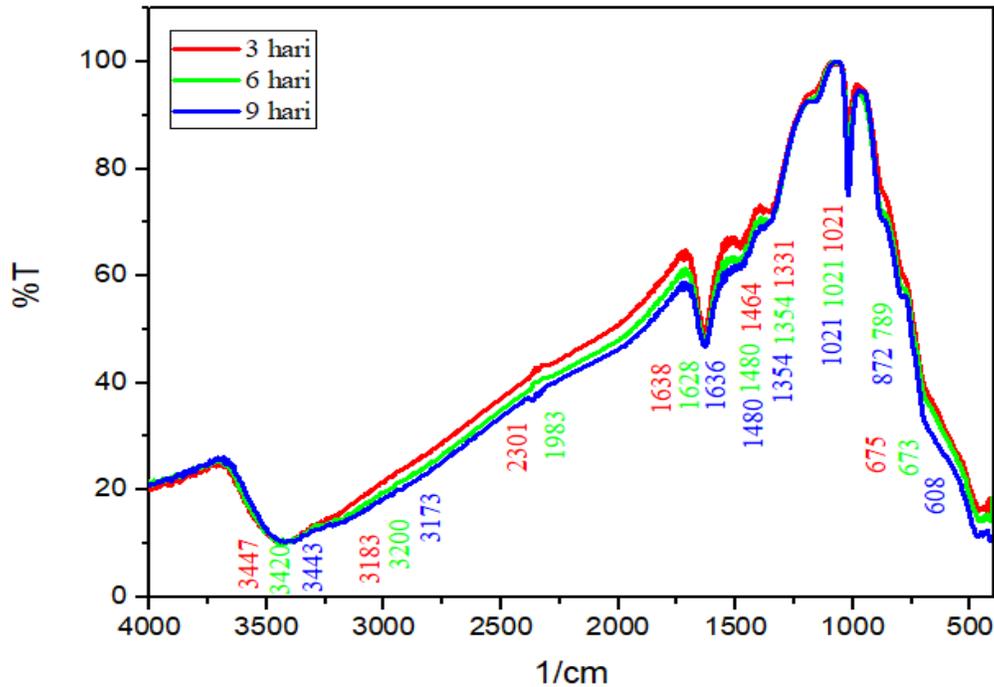
Gambar 5.22 morphology serbuk; (a). besi, (b). Kitosan sisik ikan, (c). Serbuk besi terkorosi dengan inhibitor kitosan sisik ikan.

Gambar 5.22 menunjukkan serbuk besi memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran kitosan dan dengan warna yang lebih putih mencolok. Setelah dilakukan perendaman dalam HCl dengan kitosan 4000 ppm terlihat terjadi perubahan warna dari besi ASTM A36 dengan ukuran serbuk yang lebih kecil dari sebelum korosi. Adapun adanya lapisan inhibisi atau terserapnya kitosan sisik ikan dalam inhibitor oleh permukaan logam, dibuktikan dan dijelaskan dari hasil analisa pengujian FTIR serbuk besi ASTM A36 yang direndam dalam HCl dengan penambahan inhibitor 4000 ppm (bahasan berikutnya).

5.10. Hasil Impedansi FTIR Sampel Besi ASTM A36 Dengan Variasi Perendaman Pada

Inhibitor Sisik Ikan.

Dengan menggunakan analisa pengujian dari FTIR pada besi ASTM A36 yang direndam pada larutan HCl 1 M dengan inhibitor kitosan sisik ikan maka diketahui adanya lapisan inhibisi kitosan sisik ikan yang terbentuk pada permukaan besi ASTM A36. Proses inhibisi tersebut terjadi akibat adanya reaksi antara inhibitor dengan ion-ion besi yang terdapat pada permukaan besi ASTM A36. Hasil pengujian FTIR dari besi ASTM A36 dengan variasi lama perendaman 3, 6 serta 9 hari di dalam HCl 1 M dengan inhibitor sisik ikan ditampilkan pada gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 hasil uji FTIR besi ASTM A36 yang dilakukan perendaman selama 3, 6 serta 9 hari di dalam HCl 1M dengan inhibitor kitosan sisik ikan.

Kitosan sisik ikan merupakan senyawa organik yang juga mengandung senyawa-senyawa organik yang mampu terserap oleh permukaan besi ASTM A36 sehingga membentuk lapisan inhibisi yang dapat menghambat laju korosi spesimen uji. Oleh karena itu analisa FTIR ini juga sangat berguna untuk memperkirakan ada atau tidaknya senyawa kitosan sisik ikan yang terserap oleh permukaan besi ASTM A36 (Darmawan, 2012). Pengujian FTIR ini dilakukan pada spesimen uji besi ASTM A36 yang sudah berupa butiran, yang mana sebelumnya telah direndam di dalam HCl 1 M dengan inhibitor 4000 ppm dan merupakan konsentrasi optimum. Gambar 5.23 merupakan hasil pengujian FTIR pada serbuk besi ASTM A36 dengan masing-masing variasi perendaman dan serapan bilangan gelombang serta gugus fungsi yang terdapat ditampilkan dalam tabel 5.14.

Tabel 5.14 Data FTIR Variasi Perendaman Besi ASTM A36

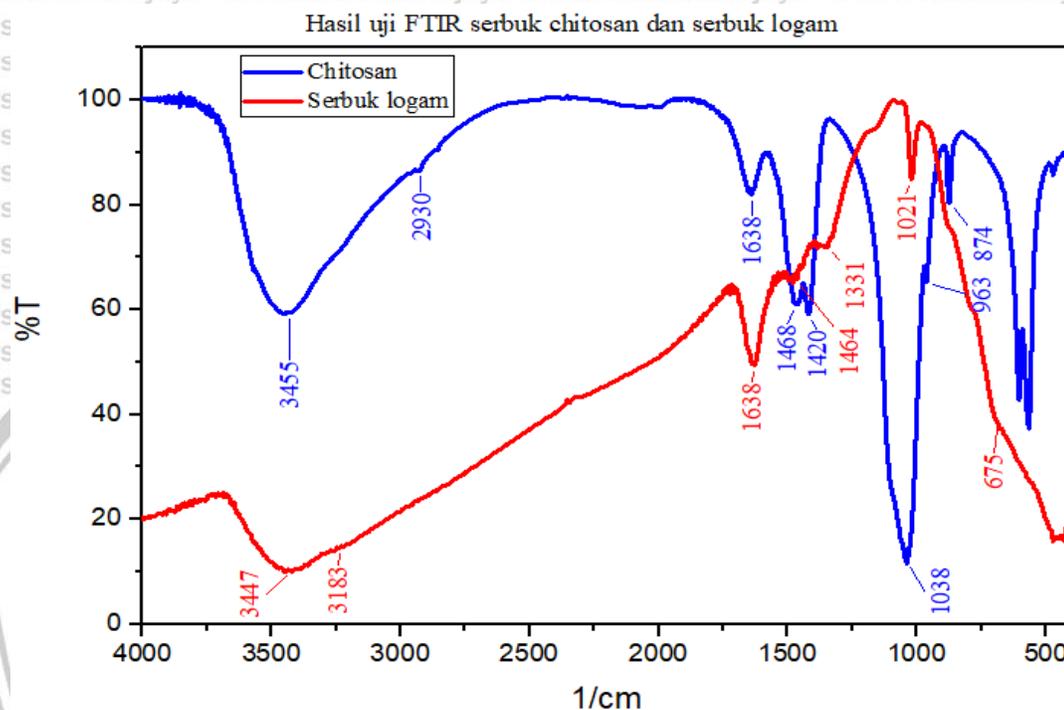
3 hari			6 hari			9 hari		
Gugus Fungsi	Kandungan		Gugus Fungsi	Kandungan		Gugus Fungsi	Kandungan	
3447.32	O-H	Alkohol	3420.32	O-H	Alkohol	3443.46	O-H	Alkohol
3183.09	N-H	Amides	3200.45	O-H	Alkohol	3173.45	N-H	Amides
1638.21	N-H	Amine	1628.57	N-H	Amine	1636.29	N-H	Amines
1464.63	C-H	Alkanes	1480.06	C=C	Aromatic	1480.06	C=C	Aromatic
1331.55	C=C	Aromatic	1354.7	C-H	Alkanes	1354.7	C-H	Alkanes
1021.04	C-O	Ether	1021.04	C-O	Ether	1161.83	C-N	Amines
675.8	C-H	Aromatic	789.59	C-H	Aromatic	1021.04	C-N	Amines
			673.87	=C-H	Alkanes	872.53	C-H	Aromatic
						789.59	C-H	Aromatic

Dari tabel 5.14 terlihat bahwa terjadi peningkatan jumlah pita serapan bilangan gelombang mengalami peningkatan seiring dengan lamanya waktu perendaman pada HCl 1 M dengan kitosan sisik ikan. Pada perendaman selama 3 hari serbuk besi ASTM A36 terdapat 7 gugus fungsi, perendaman 6 hari terdapat 8 gugus fungsi dan perendaman 9 hari terdapat 9 gugus fungsi, peningkatan ini kemungkinan disebabkan oleh semakin lama waktu perendaman maka semakin banyak pula gugus-gugus fungsi yang terbentuk akibat reaksi antara partikel besi dengan kitosan sisik ikan.

Dari tabel 5.14 juga diketahui bahwa terdapat adanya kesamaan pita serapan yang terjadi anatara partikel besi ASTM A36 dengan kitosan sisik ikan. Adapun beberapa kesamaan serapan yaitu terdapat pada gugus fungsi pada serapan bilangan gelombang $3500-3200\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan kelompok ikatan dari phenol serta cincin aromatik yang terdapat pada pita serapan panjang gelombang $1500-1400\text{ cm}^{-1}$ (stretch (in-ring) dan juga adanya gugus fungsi alkana pada pita serapan panjang gelombang $1000-650\text{ cm}^{-1}$. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan adanya gugus fungsi utama dari kitosan yang terdapat pada sampel besi ASTM A36 yang sudah berupa butiran maka menunjukkan kemungkinan adanya kitosan sisik ikan yang membentuk lapisan proteksi pada partikel besi dari serbuk tersebut (Darmawan, 2012).

5.11. Hasil Impedansi FTIR dari Serbuk Kitosan Dan Serbuk Logam.

Hasil pengujian FTIR antara serbuk besi ASTM A36 yang telah direndam dalam HCl 1 M dengan kitosan sisik ikan konsentrasi 4000 ppm ditampilkan pada gambar 5.24 berikut ini.



Gambar 5.24 perbandingan spektrum serapan yang terjadi pada kitosan sisik ikan dengan partikel besi ASTM A36.

Hasil pengujian FTIR kitosan sisik ikan dan serbuk besi ASTM A36 didapat serapan bilangan gelombang dengan gugus fungsi disajikan dalam table 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Data FTIR kitosan sisik ikan dengan serbuk besi ASTM A36.

Chitosan	Gugus Fungsi	Kandungan	Serbuk Logam	Gugus Fungsi	Kandungan
3455.03	O-H	Alkohol	3447.32	O-H	Alkohol
2930.43	C-H	Alkane	3183.09	N-H	Amides
1638.21	C=C	aromatic	1638.21	N-H	Amine
1468.49	C=C	aromatic	1464.63	C-H	Alkanes
1420.27	C=C	aromatic	1331.55	C=C	Aromatic
1038.39	C-O	Ether	1021.04	C-O	Ether
963.18	=C-H	Alkene	675.8	C-H	Aromatic
874.46	=C-H	Alkene			

Dari tabel 5.15 terlihat bahwa adanya kesamaan gugus fungsi dan kandungan yang terdapat pada kitosan sisik ikan dengan serbuk besi ASTM A36, yang mana hal ini kemungkinan adanya kitosan sisik ikan yang membentuk lapisan inhibisi korosi pada serbuk besi ASTM A36 tersebut. Gambar 5.25 terlihat bahwa pita serapan kitosan sisik ikan lebih tinggi dibandingkan dengan serbuk besi ASTM A36, hal ini diduga merupakan pengaruh terhadap lapisan inhibisi dari kitosan yang terbentuk pada permukaan sampel besi ASTM A36. Yang kemudian dapat dihubungkan dengan efisiensi inhibisi yang diperoleh pada pengujian polarisasi dan EIS (Darmawan, 2012).

Oleh karena itu Darmawan, (2012) menyatakan mekanisme pembentukan lapisan inhibisi dari kitosan sisik ikan pada permukaan besi ASTM A36 sebagai berikut.

1. Terbentuknya FeOH^+ dan $[\text{FeClOH}]^-$
2. Perubahan (konversi) FeOH^+ dan $[\text{FeClOH}]^-$ menjadi $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan $\gamma\text{-FeOOH}$ dan terbentuknya lapisan oksida.
3. Pada pori-pori lapisan oksida, terjadi reaksi antara molekul-molekul inhibitor dengan $[\text{FeClOH}]^-$ yang mengakibatkan terbentuknya lapisan pelindung yang lebih stabil $[\text{Fe}(\text{inhibitor})_p(\text{OH})_m(\text{Cl})_n]^{2-m-n}$ yang berfungsi melindungi logam dari serangan korosi.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari data hasil penelitian yang telah didapat dan pembahasan mengenai mekanisme pelapisan dan inhibitor untuk perlindungan korosi besi ASTM A36 dengan kitosan sisik ikan pada bab 5 di atas, maka ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Efisiensi tertinggi pada perlindungan korosi dengan metode pelapisan secara elektrodeposisi baik dengan pengujian tafel ataupun EIS didapatkan pada pelapisan selama 50 menit. Hal ini dikarenakan oleh lapisan yang terbentuk ketika proses pelapisan selama 50 menit secara elektrolisis deposition (EPD) menghasilkan lapisan yang cukup baik, tebal dan lebih rata, sehingga mampu membatasi antara permukaan besi ASTM A36 dengan media korosi (HCl).
2. Perlindungan korosi dengan metode inhibisi korosi dengan kitosan sisik ikan diperoleh efisiensi optimum pada konsentrasi 4000 ppm sebesar 73%, sedangkan pada konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi efektivitas proteksi mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan oleh terbentuknya lapisan pelindung berupa film tipis secara adsorpsi akibat kombinasi antara ion inhibitor dengan permukaan besi ASTM A36. Sedangkan penurunan efektivitas ini disebabkan oleh inhibitor tersebut mengalami kejenuhan atau bahkan terjadi pelepasan lapisan pelindung yang terbentuk dari permukaan besi ASTM A36. Sehingga apabila konsentrasi inhibitor yang ditambahkan melebihi kondisi optimum tersebut, maka interaksi antar molekul inhibitor lebih besar dibandingkan dengan interaksi antara inhibitor dengan permukaan logam. Inhibitor kitosan sisik ikan memberikan perlindungan pada besi ASTM A36 dengan mekanisme kemisorpsi dengan mengikuti adsorpsi isotermal Langmuir.
3. Temperatur sangat mempengaruhi laju korosi pada besi ASTM A36, yang mana semakin meningkat temperatur aplikasi besi ASTM A36 maka laju korosi yang terjadi juga semakin meningkat, baik pada spesimen tanpa inhibitor maupun dengan penambahan inhibitor 4000 ppm.

4. Rata-rata efisiensi perlindungan terhadap korosi pada besi ASTM A36 dengan metode inhibisi korosi lebih besar dibandingkan dengan metode pelapisan secara elektrodeposisi menggunakan kitosan sisik ikan. Hal ini disebabkan oleh rusaknya permukaan lapisan kitosan sisik ikan akibat terkena larutan korosif.

4.2. Saran

Beberapa saran-saran yang dapat disampaikan untuk penelitian lebih lanjut yaitu sebagai berikut.

1. Hasil pelapisan (*coating*) dengan elektrodeposisi jangan sampai terkena gaya-gaya eksternal yang menyebabkan permukaan lapisan retak atau lepas.
2. Perlu dilakukan pengujian sebaran permukaan lapisan *coating* ataupun ikatan permukaan lapisan dan logam uji.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan memvariasikan pengaruh pH kitosan sisik ikan atau media korosi terhadap perilaku korosi logam (besi ASTM A36) lainnya.
4. Efektifitas perlindungan dari kitosan sisik ikan pada berbagai jenis logam juga perlu diinvestigasi.

DAFTAR PUSTAKA

Abdallah, M., El-Etre, A. Y. 2003. Corrosion Inhibition of Nickel in Sulfuric Acid Using Tween Surfactants. *Portugaliae Electrochimica Acta* 21(4):315-326.

DOI: 10.4152/pea.200304315.

Afandi, K. Y., Arief, I. S., Amiadji. 2015. *Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating*. Jurnal Teknik ITS Vol. 4, No. 1, (2015) ISSN2337-3539 (2301-9271 Printed)

Ahmed, M. H. O., Al-Amiery, A. A., Al-Majedy, Y. K., Kadhum, A. A. H., Mohamad, A.B., Gaaz, T. S. 2018. Synthesis and characterization of a novel organic corrosion inhibitor for mild steel in 1M hydrochloric acid. *Results Phys.* (2018).

Ahmed, R., Farghali, R.A., Fekry, A. M., 2012. *Study for the Stability and Corrosion Inhibition of Electrophoretic Deposited Chitosan On mild Steel Alloy In Acidic Medium*. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 7 (2012). 7270-7282.

Al-Otaibi, M. S., Al-Mayouf, A. M., Khan, M., Mousa, A. A., Al-Mazroa, S. A., Al-Khathlan, H. Z. 2012. *Corrosion Inhibitory Action of Some Plant Extracts on the Corrosion of Mild Steel in Acidic Media*. *Arabian Journal of Chemistry*. Peer review under responsibility of King Saud University. doi:10.1016/j.arabjc.2012.01.015.

Al-Sabagh, A. M., Nasser, N. M., Farag, A. A., Migahed, M. A., Eissa, A. M. F., Mahmoud, T. 2013. Structure effect of some amine derivatives on corrosion inhibition efficiency for carbon steel in acidic media using electrochemical and Quantum Theory Methods. *Egyptian Journal of Petroleum* (2013) 22, 101–116.

Ammal, P. R., Prajila, M., Joseph, A. 2018. Effective inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid using EBIMOT, a 1, 3, 4-oxadiazole derivative bearing a 2-ethylbenzimidazole moiety: Electro analytical, computational and kinetic studies. *Egyptian Journal of Petroleum* 27 (2018) 823–833. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.12.004>.

Anam, C., Sirojudin. 2007. *Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR*. *Berkala Fisika*. April 2007 Vol 10 no.1. 79 – 85.

- Barbosa, M.A., Gonçalves, I.C., Moreno, P.M.D., Gonçalves, R.M., Santos, S.G., Pêgo, A.P., Amaral, I.F. 2017. *Chitosan*. *Comprehensive Biomaterials II*. Volume 2, 2017, Pages 279-305.
- Benarioua, M., Mihi, A., Bouzeghaia, N., Naoun, M. 2019. Mild Steel Corrosion Inhibition By Parsley (*Petroselinum Sativum*) Extract In Acidic Media. *Egyptian Journal of Petroleum* 28 (2019) 155–159.
- Besra, L., Liu, M. 2017. *A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD)*. *Progress in Materials Science* 52 (2007) 1–61.
- Bommersbach, P., Alemany-Dumont, C., Millet, J. P., Normand, B. 2006. Hydrodynamic Effect On the Behaviour Of A Corrosion Inhibitor Film: Characterization By Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Electrochim. Acta*, v. 51, pp. 4011-4018.
- Camila, G., Dariva, Alexandre, F., Galio. 2014. Corrosion Inhibitors- Principles, Mechanism and Applications. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/57255>.
- Carneiro, J., Tedim, J., Fernandes, S. C. M., Carmen S. R. Freire, C. S. R., Gandini, A., Ferreira, M. G. S., and Zheludkevicha, M. L. 2013. *Chitosan as a Smart Coating for Controlled Release of Corrosion Inhibitor 2-Mercaptobenzothiazole*. *ECS Electrochemistry Letters*, 2 (6) C19-C22 (2013).
- Cicek, V., Al-Numan, B. 2011. *Corrosion Chemistry*. John Wiley & Sons. New Jersey, USA.
- Darmawan, O., 2012. “*Study Green Corrosion Inhibitor Ekstrak Daun Bayam Merah (Amaranthus Gangeticus) Pada Baja Karbon Rendah Dalam Larutan 1M HCl Dengan Metode Polarisasi dan EIS*”. Tesis Fakultas Teknik, Program Studi Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.
- Deflorian, F. 2016. *Mechanisms of Corrosion Protection With Organic Coatings*. University of Trento, Trento, Italy ã 2016 Elsevier Inc. All rights reserved. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.12191-2>.
- Dompeipen, E.J. 2017. *Isolasi Dan Identifikasi Kitin Dan Kitosan Dari Kulit Udang Windu (Penaeus Monodon) Dengan Spektroskopi Inframerah*. Balai Riset dan Standarisasi Industri Ambon. e-ISSN: 2548-4842. p-ISSN: 0215-1464.
- Durowaye, S. I., Durowaye, V. O., Begusa, B. M. 2014. *Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acidic Medium by Methyl Red (2, 4-Dimethylamino-2'-carboxylazobenzene)*.

International Journal of Engineering and Technology. Volume 4 No. 8, August, 2014.

Ebenso, E. E. 2003. Synergistic Effect of Halide Ion on the Corrosion Inhibition of Aluminium in H₂SO₄ Using 2-acetylphenothiazine. *Material Chemical Physics*, vol. 79, pp. 58-70.

El-Sherbini, E. E., Wahab, S. M. A., Deyab, M. A. 2005. Ethoxylated Fatty Acids as Inhibitors for the Corrosion of Zinc in Acid Media. *Materials Chemistry and Physics* 89 (2): 183-191. DOI:10.1016/j.matchemphys.2003.09.055.

Farag, A. A., Ismail, A. S., Migahed, M. A. 2018. Environmental-friendly shrimp waste protein corrosion inhibitor for carbon steel in 1 M HCl solution, Egypt. *J. Petrol.* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.05.001>.

Fekry, A. M., Ameer, M. A. 2011. Electrochemical Investigation On The Corrosion and Hydrogen Evolution Rate Of Mild Steel in Sulfuric Acid Solution. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 36, pp. 11207-11215.

Finsgar, M., Jackson, J. 2014. *Application of Corrosion Inhibitor for Steels in Acidic Media for the Oil and Gas Industry: A Review*. *Corrosion Science* 86 (2014) 17-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2014.04.044>.

Gang Hu, R., Zhang, S., Fu Bu, J., Jian Lin, C., Lingsong, G. 2012. *Recent Progress In Corrosion Protection of Magnesium Alloys by Organic Coatings*. *Progress in Organic Coatings* 73 (2012) 129-141.

Gapsari, F., 2016. *Modifikasi Daerah Aktif-Pasif Diagram Pourbaix Stainless Steel Dalam Inhibitor Bee Wax Propolis*. Disertasi. Program Doktor Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.

Garai, S., Jaisankar, P., Singh, J. K., Elango, A. 2012. *A Comprehensive Study on Crude Methanolic Extract of Artemisia Pallens (Asteraccae) and Its Active Component as Effective Corrosion Inhibitors of Mild Steel in Acid Solution*. *Corrosion Science*, Vol. 60, pp. 193-204.

Gebhardt, F., Seuss, S., Turhan, M. C., Hornberger, H., Virtanen, S., Boccaccini, A. R. 2012. *Characterization of Electrophoretic Chitosan Coatings on Stainless Steel*. *Materials Letters* 66 (2012) 302-304.

- Giuliani, C., Pascucci, M., Riccucci, C., Messina, E., de Luna, M.S., Lavorgna, M., Ingo, G.M., Carlo, G.D. 2018. *Chitosan-based coatings for corrosion protection of copper-based alloys: A promising more sustainable approach for cultural heritage applications*. *Progress in Organic Coatings* 122 (2018) 138–146.
- Habeeb, H. J., Luaibi, H. M., Abdullah, T. A., Dakhil, R. M., Kadhum, A. A. H., Al-Amiery, A. A. 2018. Case study on thermal impact of novel corrosion inhibitor on mild Steel. *Case Studies in Thermal Engineering* 12 (2018) 64–68.
- Hakim, A. A. 2011. Pengaruh Inhibitor Korosi Berbasis Senyawa Fenolik Untuk Proteksi Pipa Baja Karbon Pada Lingkungan 0.5, 1.5, 2.5, 3.5% NaCl yang Mengandung Gas CO₂. Skripsi Fakultas Teknik Departemen Metalurgi dan Material UI. Desember 2011.
- Handayani, M., Sulistiyono, E. 2003. Uji Persamaan Langmuir Dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom (Vi) Oleh Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir Ptnbr – Batan Bandung*, 3 Juni 2009.
- Hsu, C. H., Mansfeld, F. 2001. Technical Note: Concerning the Conversion of the Constant Phase Element Parameter Y₀ into a Capacitance. *Corrosion*, Vol. 57, No. 9, 2001, pp. 747-748. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6117>.
- Hussin, M.H., Kassim, M.J. 2011. *The Corrosion Inhibition and Adsorption Behavior of Uncaria Gambir Extract on Mild Steel in 1 M HCl*. *Mater Chem Phys*. 125. 461-468.
- Jayakumar, R., Prabakaran, M., Kumar, P.T.S. 2014. *Novel Chitin and Chitosan Materials In Wound Dressing*. *Biomedical Engineering, Trends In Materials Science*.
- Jones, D.A., 1991, *Principles and Prevention of Corrosion*, McMillan Publishing Company, New York.
- Khan, G., Newaz, K. Md. S., Basirun, W. J., Hapipah, Faraj, F. L., Khan, G. M. 2015. *Application of Natural Product Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Metals and Alloys in Acid Pickling Processes- A review*. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 10 (2015) 6120 – 6134.
- Kumar, G., Buchheit, R. G. 2006. *Development And Characterization Of Corrosion Resistant Coatings Using Natural Biopolymer Chitosan*. *ECS Transactions*, 1 (9) 101-117 (2006) 10.1149/1.2215582, copyright The Electrochemical Society. The Ohio State University.

- Lee, W.D. 2004. *engineered chitosans for drug detoxification: preparation, characterization and drug uptake studies*. A Dissertation Presented To The Graduate School Of The University Of Florida In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Doctor Of Philosophy. University Of Florida.
- Li, L., Mahmoodian, M., li, C-Q., Robert, D. 2018. *Effect of Corrosion and Hydrogen Embrittlement on Microstructure and Properties of Mild Steel*. Construction and Building Materials. 170 (2018) 78-90.
- Li, X., Deng, S., Fu, H., Li, T. 2009. Adsorption and Inhibition Effect of 6-benzylaminopurine on Cold Rolled Steel in 1,0 HCl. *Electrochimica Acta*, vol. 54, pp. 4089-4098.
- Mahardika, B.m Pratikno, H.m Ikhwan, H. 2016. *Studi Eksperimen pengaruh variasi inhibitor dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi dan penentuan efisiensi inhibitor pada Baja Tulangan Beton ST 42 di kondisi lingkungan laut*. Jurnal teknik ITS vol 5, No. 2, (2016) ISSN : 2337-3539 (2301-9271 print).
- McCafferty, E. 2009. *Introduction To Corrosion Science*. Springer Science and Business, USA.
- Mehdipour, M., Afshar, A., Mohebbali, M. 2012. *Electrophoretic Deposition of Bioactive Glass Coating on 316L Stainless Steel and Electrochemical Behaviour Study*. Applied Surface Science 258 (2012) 9832-9839.
- Mehdipour, M., and Afshar, A. 2012. *A Study of the Electrophoretic Deposition of Bioactive Glass-Chitosan Composite Coating*. Ceramics International 38 (2012) 471-476.
- Moosa, A. A., Ridha, A. M., Kadhim, N. A. 2016. *Use of Biocomposite Adsorbents for the Removal of Methylene Blue Dye from Aqueous Solution*. American Journal of Materials Science 2016, 6(5): 135-146. DOI: 10.5923/j.materials.20160605.03.
- Mulyana, L., Pradiko, H., Nasution, K. 2003. *Pemilihan Persamaan Adsorpsi Isoterm Pada Penentuan Kapasitas Adsorpsi Kulit Kacang Tanah Terhadap Zat Warna Remazol Golden Yellow 6*. Infomatek Teknik Lingkungan, 5 (3). Pp. 141-149. ISSN 1411-0865.
- Nasution, K. 2003. *Pemilihan persamaan adsorpsi isotherm pada penentuan kapasitas adsorpsi kulit kacang tanah terhadap zat warna remazol golden yellow 6*.

- Infomatek Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik – Universitas Pasundan (2003) 131-143.
- Nazeer, A. A., Madkour, M. 2018. *Potential Use of Smart Coatings for Corrosion Protection of metal and Alloys: A Review*. Journal of Molecular Liquids 253 (2018) 11-22.
- Obot, I. B., Obi-Egbedi, N. O., 2011, Anti-Corrosive Properties of Xanthon on Mild Steel Corrosion in Sulphuric Acid: Experimental and Theoretical Investigations, *Current Applied Physics*, vol. 11, pp. 382-392.
- Olajire, A.A. 2018. *Recent Advances On Organic Coating System Technologies for Corrosion Protection of Offshore Metallic Structure*. Journal of Molecular Liquids.
- Perez, N. 2004. *Electrochemistry and Corrosion Science*. New York: Kluwer Academic Publisher.
- Pipito, Fuad. 2007. *Studi Pengaruh Senyawa Imidazoline Terhadap Laju Korosi Penyalur Minyak*. Departemen Kimia, FMIPA, UI.
- Pozzo, L., de Y., daConceicao, T. F., Spinelli, A., Pires, A. T. N., Scharagl, N. 2018. *Chitosan Coatings Cross Linked With Genipin For Corrosion Protection of AZ31 Magnesium Alloy Sheets*. Carbohydrate Polymers 181 (2018) 71-77.
- Raj, V., & Mumjitha, 2013. *Formation and Surface Characterization of Nano Structured Al₂O₃-TiO₂ Coatings*. Bull. Mater. Sci., Vol. 37, No. 6, October 2014. PP. 1411-1418. Indian Academy of Sciences.
- Raja, P.B., Sethuraman, M.G. 2009. *Inhibition of corrosion of mild steel in sulphuric acid medium by Calotropis procera*. Pigment & Resin Technology, Vol. 38 Issue: 1, pp.33-37, <https://doi.org/10.1108/03699420910923553>.
- Rani, B., Basu, B. B. J. 2012. Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: an overview. *Int. J. Corros.* 2012 (2011).
- Riccardis, M. F. D., Martina, F., Carbone, D., Re, M., Pesce, E., Terzi, R., Bozzini, B. 2011. *Incorporation of montmorillonite in epoxy to obtain a protective layer prepared by electrophoretic deposition*. Materials Chemistry and Physics. Volume 125, Issues 1-2, 1 January 2011, Pages 271-276.
- Riszki, T. I. 2015. *Pengaruh Suhu Terhadap Kualitas Coating (Pelapisan) Stainless Steel Tipe 304 Dengan Kitosan Secara Elektroforesis*. Jurusan Kimia Fakultas

Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Rodriguez-Vazquez, M., Vega-Ruiz, B., Ramos-Zuniga, R.m Saldan-Koppel, D, A.,

Quinones-Olvera, L.F.2015.*Chitosan and its potential use as a scaffold for tissue Engineering in Regeerative Medicine*. Hindawi publishing Corporation Research

International. Vol. 2015, Article ID 821279, 15 pages.

<http://dx.doi.org/ID.1155/2015/821279>.

Rustandi, A., and Iandiono, D. 2011. *Studi Laju Korosi Baja Karbin Untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam Yang Mengandung Gas CO₂ Pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5 dan 3.5 %*. Skripsi UI. Depok.

Saleh, C. W., Harmami, Ulfin, I. 2017. Pengendalian Korosi Menggunakan Inhibitor Kitosan Larut Air untuk Baja Lunak dalam Media HCl 1 M. Jurnal Sains dan Seni ITS. Vol. 6, No. 1. (2017) 2337-3520 (2301-928X Print).

Santana, I., Pepe, A., Schreiner, W., Pellice, S., Cere, S. 2016. *Hybrid Sol-Gel Coatings Containing Clay Nanoparticles for Corrosion Protection of Mild Steel*. Electrochimica Acta.S0013-4686(16)30241-9. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.electacta.2016.01.214>.

Santana, I., Pepe, A., Schreiner, W., Pellice, S., Ceré, S. 2016. *Hybrid sol-gel coatings containing clay nanoparticles for corrosion protection of mild steel*. Electrochimica Acta. Volume 203, 10 June 2016, Pages 396-403.

Sastrohamidjojo, H., 1991, *Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty.

Sastrohamidjojo, H., 1992, *Spektroskoipi Inframerah*, Yogyakarta: Edisi Pertama, Liberty.

Saxena, A., Sharma, A., Saxena, D., Jain, P. 2012. *Corrosion Inhibition and Adsorption Behavior of Clove Oil on Iron in Acidic Medium*. E-Journal of Chemistry. 9 (4). 2044-2051.

Senel, S., Mc Clure, S.J., 2004. *Potential Applications Of Chitosan In Veterinary Medicine*. ADV Drug. Deliv. Rev. 2004 Jun 23; 56 (10). 1467-80.

Sharma, S. K. 2012. *Green Corrosion Chemistry and Engineering-Opportunities and Challenges*. Germany: John Wiley Publications.

Sharmin, H. K. 2012. *Gemini Surfactants: a new Class of Corrosion Inhibitors for brass In 3 N HNO₃ Solution*. Faculty of Engineering, Al-Jabal Al-Gharbi university, Zawra, Libya. Emerald Group Publishing Limited.

Singh R. K., Kumar, R. 2018. *Corrosion Protection of Stainless Steel by Organic Inhibitors in Phosphate Industries in 15% H₂SO₄*. Powder Metallurgy & Mining. <http://dx.doi.org/10.4172/2168-9806.1000124>.

Solmaz, R., Kardaş, G., Culha, M., Yazıcı, B., Erbil, M. 2008. Investigation of adsorption and inhibitive effect of 2-mercaptothiazoline on corrosion of mild steel in hydrochloric acid media, *Electrochim. Acta* 53 (20) (2008) 5941–5952.

Supartha, Rai, I. G. G. 2007. *Studi Pengaruh Inhibitor Oil Soluble Terhadap Laju Korosi Pipa Penyalur Minyak*. Depok: Departemen Kimia Fakultas MIPA. UI.

Supomo, H. 2003. *Buku Ajar Korosi*. Jurusan Teknik Perkapalan. FTK-ITS Surabaya.

Suprpto, W., Soenoko, R., Suprpto, A., Gapsari, F. 2017. The Inhibition Of 304ss In Hydrochloric Acid Solution By *Cera Alba* Extract. *Journal Of Engineering Science And Technology* Vol. 12, No. 8 (2017) 2078 – 2090.

Syahra, D. M. T., Munasir. 2015. Analisis Sifat Korosi Material Pelapis Pani-SiO₂/Cat Pada Medium NaCl 1 M Dengan Metode Eis. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia* Volume 04 Nomor 03 Tahun 2015, hal 101-105.

Szubert, K., Wojciechowski, J., Karasiewicz, J., Maciejewski, H., Lota, G., *Corrosion-Protective Coatings based on fluoro Carbo Silane*. *Progress in organic Coatings* 123 (2018) 374-383.

Thariq, M. R. A., Fadli, A., Rahmat, A., Handayani, R. 2016. Pengembangan Kitosan Terkini pada Berbagai Aplikasi Kehidupan: Review. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau.

Tracton, A.A., 2006. *Coatings Technology Hand Book*. Third Edition. CRC Press. Boca Raton.

Trethewey, K. R. And J. Chamberlain.1991. *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Umoren, S. A., Eduok, U. M., Solomon, M. M., Udoh, A.P. 2011. *Corrosion Inhibition by Leaves and Stem Extracts of Sida acuta for Mild Steel in 1 M H₂SO₄ Solutions Investigated by Chemical and Spectroscopic Techniques*. *Arabian Journal of Chemistry*. Doi:10.1016/j.arabjc.2011.03.008.

- Utami, S. D. 2016. Kinerja Antikorosi Dan Model Isoterm Adsorpsi Mangan Diisoamilditiofosfat Dengan Teknik Polarisasi Potensiodinamik. Departemen Kimia. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Verma, C., Quraishi, M. A., Kluza, K., Makowska-Janusik, M., Lukman, O., Olasunkanmi, Ebenso, E. E. 2017. *Corrosion inhibition of mild steel in 1M HCl by D-glucose derivatives of dihydropyrido [2,3-d:6,5-d'] dipyrimidine-2, 4, 6, 8(1H,3H, 5H,7H)-tetraone*. Scientific Reports. DOI: 10.1038/srep44432.
- Wang, Y., Guo, X., Pan, R., Han, D., Chen, T., Geng, Z., Xiong, Y., Chen, Y. 2015. *Electrodeposition of chitosan/gelatin/nanosilver: A new method for constructing biopolymer/nanoparticle composite films with conductivity and antibacterial activity*. Materials Science and Engineering: C. Volume 53, 1 August 2015, Pages 222-228.
- Wardani, L.A., & Harmami. 2014. *Optimasi Pelapisan ss 304 Dengan Kitosan Secara Electroforesis*. Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Ala. ITS. Surabaya.
- Widyanti, A. P. 2009. Pemanfaatan Kitosan dari Cangkang Rajungan pada Proses Adsorpsi Logam Nikel dari Larutan NiSO₄. Depok: Skripsi Fakultas Teknik. Program Sarjana Teknik Kimia. UI. Juli 2009.
- Wu, L., Zang, J., Hu, J., Zhang, J. 2012. *Improved Corrosion performance of electrophoretic coatings by silane addition*. Corrosion Science 56 (2012) 58-66.
- Yao, H. T., Luo, M. N., Hung, L.B., Chiang, M.T., Lin, J.H., Lii, C.K., Huang, C.Y. 2012. *Effects Of Chitosan Oligosaccharides On Drug-Metabolizing Enzymes In Rat Liver And Kidneys*. Food Chem Toxicol 2012 May; 50 (5): 1171-7. Doi:10.1016/J. Fct 2012. 02. 022; Epub 2012 Feb 22.
- Yaro, A. S., Khadom, A. A., Wael, R. K. 2013. *Apricot Juice as Green Corrosion Inhibitor of Mild Steel in Phosphoric Acid*. Alexandria Engineering Journal. (2013) 52, 129-135.
- Yufita, E., Fitriana, D., Zulfalina. 2018. *Pengendalian Laju Korosi Pada Baja Plat Hitam A36 Dalam Medium Korosif Menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Salam*. J. Aceh Phys. Soc., Vol.7, No.2 pp. 67-71, 2018. ISSN online:2355-8229.

Zakaria, K., Hamdy, A., Abbas, M. A., Abo-Elenien, O. M. 2016. New organic compounds based on siloxane moiety as corrosion inhibitors for carbon steel in HCl solution: Weight loss, electrochemical and surface studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.* (2016) 1–14.

Zemlyanov, D. 2007. *Introduction To X-ray Photoelectron Spectroscopy and XPS Application for Biologically Related Objects.* Birck Nanotechnology Center, Purdue University.

Zhang, X., Jiang, P., Zhang, C., Buhe, B., Liu, B., Zhao, Y., Zhang, T., Meng, G., Wang, F. 2018. Anticorrosion Performance Of LDH Coating Prepared by CO₂ Pressurization Method. *International Journal of Corrosion*, v. 2018, Article ID 9696549, 10 Pages. <http://doi.org/10.1155/2018/9696549>.

Zhitomirsky, I., Hashambhoy, A. 2007. *Chitosan-Mediated Electrosynthesis of Organic-Inorganic Nano Composites.* *J. Mater. Process. Technology.* 191. P. 68-72.

Ziovanj, R. 2016. Kinerja Antikorosi dan Model Isoterm Adsorpsi Mangan Disikloheksilditiofosfat dengan Teknik Polarisasi Potensiodinamik. Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor.