

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SERTA UJI AKTIVITAS
ANTIKOROSI SENYAWA TURUNAN ORGANOTIMAH(IV) BENZOAT
TERHADAP BAJA LUNAK DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl**

(Skripsi)

Oleh

SUKAMTO



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI SERTA UJI AKTIVITAS ANTIKOROSI SENYAWA TURUNAN ORGANOTIMAH(IV) BENZOAT TERHADAP BAJA LUNAK DALAM MEDIUM KOROSIF NACl

Oleh

Sukanto

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis senyawa difeniltimah(IV) dibenzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat dengan cara mereaksikan senyawa awal difeniltimah(IV) oksida dan trifeniltimah(IV) hidroksida dengan asam benzoat sebagai ligannya. Kedua senyawa yang diperoleh berupa serbuk berwarna putih dengan rendemen masing-masing 89,49% dan 83,51%. Senyawa hasil sintesis telah divalidasi dengan spektrofotometer *IR*, *UV-Vis* dan *microelemental analyzer*. Senyawa hasil sintesis selanjutnya diuji aktivitas antikorosinya terhadap baja lunak dalam medium korosif larutan NaCl dengan metode potensiodinamik menggunakan instrumentasi ER410 *Integrated Potensiostat System eDAQ*. Hasil pengujian menggunakan metode potensiodinamik menunjukkan bahwa senyawa difeniltimah(IV) dibenzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat memiliki kemampuan yang baik dalam menghambat proses korosi yang terjadi pada baja lunak dengan nilai persentase inhibisi tertinggi masing-masing 77,4% dan 79,79% pada konsentrasi 100 mg/L serta nilai laju korosi sebesar 1,37 Rmpy dan 1,26 Rmpy.

Kata Kunci : antikorosi, baja lunak, potensiodinamik, organotimah(IV) benzoat

ABSTRACT

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND ANTICORROSION ACTIVITY TEST OF ORGANOTIN(IV) BENZOATE DERIVATE FOR MILD STEEL IN THE CORROSIVE MEDIUM OF NaCl

By

Sukamto

In this research, the synthesis of diphenyltin(IV) dibenzoate and triphenyltin(IV) benzoate have been performed by the reaction between diphenyltin(IV) oxide and triphenyltin(IV) hydroxide with benzoic acid as a ligand. Both of the compounds were produced as white solid with the yield of 89.49% and 83.51%, respectively. The yields were validated using infrared, *UV-Vis* spectroscopies and *microelemental analyzer*. The compounds synthesized were tested of the corrosion activity towards hot roller plate (HRP) mild steel in the corrosive medium of NaCl by potentiodynamic method using ER410 *Integrated Potensiostat System* eDAQ. The result showed that diphenyltin(IV) dibenzoate and triphenyltin(IV) benzoate have good ability to prevent corrosion process on the mild steel with the highest percentage of inhibition at concentration at 100 mg/L were 77.4% and 79.79% and the rate of corrosion were 1,37 Rmpy and 1,26 Rmpy, respectively.

Keywords: anticorrosion, mild steel, potentiodynamic, organotin(IV) benzoate

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SERTA UJI AKTIVITAS
ANTI KOROSI SENYAWA TURUNAN ORGANOTIMAH(IV) BENZOAT
TERHADAP BAJA LUNAK DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl**

Oleh

Sukanto

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

: **SINTESIS DAN KARAKTERISASI SERTA UJI
AKTIVITAS ANTIKOROSI SENYAWA TURUNAN
ORGANOTIMAH(IV) BENZOAT TERHADAP
BAJA LUNAK DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl**

Nama Mahasiswa

: **Sukanto**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1217011056

Jurusan

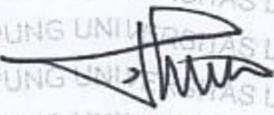
: **Kimia**

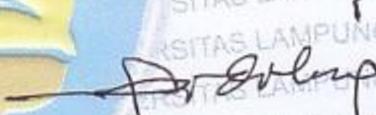
Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

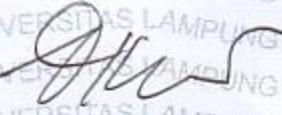
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Prof. Sutopo Hadi, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19710415 199512 1 001


Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.
NIP. 19610203 198703 1 002

2. Ketua Jurusan Kimia

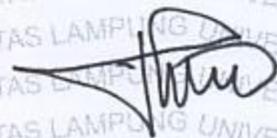

Dr. Eng. Sripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 19740705 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

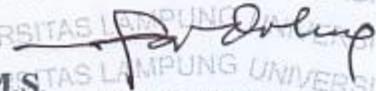
Ketua

Prof. Sutopo Hadi, M.Sc., Ph.D.



Sekretaris

Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.



Penguji

Bukan Pembimbing

Prof. Suharso, Ph.D.

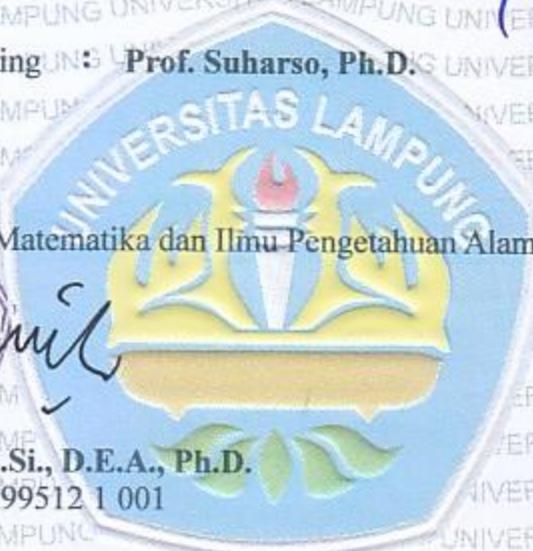


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.

NIP 19710212 199512 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 April 2016

RIWAYAT HIDUP



Sukamto dilahirkan di Talang Curup, Tanggamus pada tanggal 05 September 1994. Penulis merupakan putra bungsu dari enam bersaudara pasangan Bapak Karyadi dan Ibu Ngatemi. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDNK Sinar Sekampung pada tahun 2006, kemudian melanjutkan Pendidikan Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Pulau Panggung pada tahun 2009, dan Pendidikan Menengah Atas di SMA Negeri 1 Pulau Panggung pada tahun 2012. Pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa di Universitas Lampung, program strata 1 Jurusan Kimia melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) tertulis dan merupakan penerima beasiswa Bidik Misi angkatan ketiga.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi finalis di *Indonesia Scientific Forum 2015* yang diselenggarakan oleh Ikatan Alumni Universitas Jendral Soedirman serta penerima hibah Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) tahun 2015. Selain itu, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Kimia Dasar Jurusan Budidaya Perairan Fakultas Pertanian tahun 2015, asisten matakuliah Kimia Anorganik 2 angkatan 2013 tahun 2015, asisten Sains Dasar Bidang Kimia Jurusan Biologi tahun 2015, asisten Kimia Dasar Jurusan Kimia

angkatan 2015 tahun 2016, dan asisten Kimia Anorganik 1 Jurusan Kimia angkatan 2014 tahun 2016. Penulis juga mengikuti beberapa aktivitas organisasi, dimulai dengan menjadi Kader Muda Himaki (KAMI) 2012, Kader Muda Unit Kegiatan Mahasiswa Penelitian (UKMP) Universitas Lampung 2012. Penulis juga pernah menjadi anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia Himaki FMIPA Unila tahun 2013-2014, anggota Departemen Eksakta Unit Kegiatan Mahasiswa Penelitian (UKMP) Unila tahun 2013-2014, anggota Departemen Infokom Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Unila Tahun 2013-2014, Ketua Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia Himaki FMIPA Unila tahun 2014-2015, dan Wakil Ketua Umum Unit Kegiatan Mahasiswa Penelitian(UKMP) Universitas Lampung tahun 2015.

Barang siapa menginginkan soal-soal yang berhubungan dengan dunia, wajiblah ia memiliki ilmunya ; dan barang siapa yang ingin (selamat dan berbakagia) di akhirat, wajiblah ia mengetahui ilmunya pula; dan barangsiapa yang menginginkan kedua-duanya, wajiblah ia memiliki ilmu kedua-duanya pula".

(HR. Bukhari dan Muslim)

*"Ilmu itu lebih baik daripada harta, ilmu menjaga engkau dan engkau menjaga harta.
Ilmu itu penghukum (hakim) dan harta terhukum"*

(Ali bin Abi Thalib)

"You should not assume that education will get you to where you want to go; what will get you there is you."

(Jcampo)

"Waktu itu seperti ombak saat kita berselancar, ketika kita bisa mengendalikannya maka kita akan melompat setinggi-tingginya tetapi jika kita tak bisa mengendalikannya. Maka hati-hati ia yang akan menenggelamkanmu"

(Sukanto)

Dengan mengucap Alhamdulillahil'alamin kepada Allah SWT yang membolak-balikan hati.

Kupersembahkan goresan tinta dalam karya kecil ini sebagai wujud tanggungjawabku terhadap kedua malaiikat dalam hidupku, Bapak dan Ibu yang tak pernah lelah berjabat dengan kasarnya gagang pacul, keringat yang selalu menjadi saksi akan perjuangannya. Bapak dan Ibu, lewat karya ini ananda ingin berterimakasih atas segala ketulusan, pengorbanan, serta kasih sayang yang tidak akan pernah terbayar sampai kapanpun.

Prof. Sutopo Hadi, M.Sc., Ph.D dan Bapak Ibu Dosen Jurusan Kimia atas dedikasi dan semua ilmu yang telah diberikan kepada ananda selama menempuh pendidikan di Kampus.

Kelima saudara wanitaku, bidadari-bidadari yang juga selalu memberikan dukungan serta kasih sayang.

Kelima keponakanku, pasukan yang selalu membuat api semangat ini terus berkobar.

Semua Bapak dan Ibu Guru yang telah memberikan ananda ilmu, bimbingan, dan yang selalu mengajarkan tentang mimpi dan prestasi.

Teman-teman yang selalu mengajarkan tentang arti berbagi, cinta, dan kebersamaan.

Serta Almamaterku Tercinta...

SANWACANA

Alhamdulillahirobil'alamin, segala puji bagi Allah *Rabb* semesta alam atas segala nikmat dan karunianya yang tak terhingga, kasih dan sayang yang selalu mengalir lewat pancaran mentari, serta rahmatnya yang tak pernah terputus sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “ **Sintesis, Karakterisasi Serta Uji Aktivitas Antikorosi Senyawa Turunan Organotimah(IV) Benzoat Terhadap Baja Lunak Dalam Medium Korosif NaCl** “ sebagai syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Teriring doa dan segenap ketulusan hati, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Sutopo Hadi, M.Sc., Ph.D selaku pembimbing I atas segala dedikasi yang telah beliau berikan selama menempuh pendidikan di kampus, atas semua kebaikan, keikhlasan, kesabaran, bimbingan, dan ilmu sehingga penelitian dan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Atas semua yang telah beliau berikan, semoga Allah SWT akan selalu memberikan kemudahan serta keberkahan atas ilmu yang telah diberikan.

2. Bapak Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan serta arahan dengan ikhlas dan penuh kesabaran. Semoga Allah SWT akan selalu memberikan pertolongan dan membalas semuanya dengan kebaikan.
3. Bapak Prof. Suharso, Ph.D. selaku pembahas atas bimbingan, arahan, dan semua ilmu yang telah diberikan. Semoga Allah SWT selalu memberikan keberkahan atas semua yang telah diberikan.
4. Bapak Prof. Dr. Warsito, DEA. Selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
5. Ibu Dian Septiani Pratama, M.Si. selaku pembimbing akademik atas bimbingan, nasehat, serta motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
6. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila atas seluruh ilmu dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis selama mengikuti perkuliahan di kampus. Semoga Allah akan membalasnya dengan kebaikan.
8. Bapak Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc. selaku kepala laboratorium Kimia Anorganik-Fisik, Dra. Nuning Nurcahyani, M.Sc. selaku ketua jurusan biologi, dan Dra. Yulianty, M.Si. selaku kepala Laboratorium Botani yang telah memberikan izin dan kemudahan bagi penulis untuk melakukan penelitian.
9. Dengan segala ketulusan, *matur sembah nuwun kagem* Bapak Karyadi lan Ibu Ngatemi atas seluruh cinta, kasih sayang, kesabaran, keikhlasan, dan ketulusan

doa yang selalu beliau senandungkan. Semoga Allah SWT membalas cintanya dengan *jannah-Nya, aamiin Allahuma aamiin.*

10. Terimakasih kepada kelima bidadari cantik Alm. yuk Kurniati, yuk Tumira, yuk Narni, yuk Mah, yuk Ti yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, serta pengertian kepada adik yang nakal ini. Semoga Allah SWT selalu memberikan kemudahan dan kebahagiaan. Semoga Allah SWT menempatkan Alm. yuk kurniati dalam surganya yang indah, *aamiin Allahuma aamiin.*
11. Kepada keempat kakak iparku kang Turino, kang Suroto, kang Mardi, kang Ari yang selalu bersedia untuk direpotkan baik pikiran maupun tenaganya, semoga Allah SWT akan membalas semua rasa lelahnya dengan barokah-Nya.
12. Kelima keponakanku Yetno, Dika, Dwi, Akbar, Afif pasukan yang selalu mengobarkan api semangat ini. Terimakasih atas canda tawa yang selalu menjadi motivasi bagi penulis.
13. Terimakasih kepada keluarga Bapak Baheramsyah dan Ibu Marsiyem, Gita Suci Trisetiawati (Ita), Bang Ardi, Diyah, Rizka, Alm. Mbak Prima yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan bantuan kepada penulis. Semoga setiap kebaikan yang beliau berikan akan dibalas oleh Allah SWT.
14. Keluarga Bapak Suharno dan Ibu Sudarsih selaku induk semang dalam kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN), Mbak Wiwik, Mas Darto, Winda, adek Atta terimakasih atas segala kebaikan hati.
15. Bapak Ibu Dewan guru dari SD, SMP, dan SMA yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pendidikan akhlak serta pengalaman kepada penulis. Terimakasih yang tiada terkira, semoga bapak ibu selalu dalam lindungan dan diberikan *Jannah-Nya.*

16. Teruntuk *soulmate* terbaikku Edi Purwanto yang sedang mengejar gelar Sarjana Sains di bumi Rafflesia dan Erlina Ain Andini sipendiam yang sebenarnya tidak diam (*hehehehe*). Tetap semangat, ingat janji kita untuk dipertemukan di puncak kesuksesan.
17. Sahabat-sahabatku Fenti Visiamah (Fentul), Siti Nur Halimah (Cin Imah), Siti Aisah (Mbak Ais Mukaromah), Sofian Sumilat Rizki, Arya Rifansyah terimakasih atas persahabatan ini. Semoga Allah SWT selalu meridhoi tali *ukhuwah* ini.
18. Sahabat *bradasanku* M. Arif Rifai, Suradi, M. Fihayatun Nufus yang penuh dengan kejutan. Terimakasih banyak atas semua canda dan tangis yang pernah kita alami, semoga apa yang pernah kita alami akan menjadi catatan indah yang akan selalu kita kenang. Semangat mengejar mimpi, kutunggu di puncak kesuksesan.
19. *Sutopo Hadi's Research Group*: Bundadari Hapin Apriyani yang telah banyak membantu, *My best partner* Murni Fitria jangan lupa masa-masa ngurus surat bebas laboratorium (*Nyeseke cin huhu*), Adi Cong, teh Jeje tetap semangat dan percayalah bahwa segala yang indah akan datang pada saatnya, kita hanya butuh untuk berdoa dan bersabar, Della, Kartika, Ismi, Nova, Febri remaja-remaja yang sebenarnya sudah tua (Iyakan?) tetap semangat dan jalani apa yang telah digariskan Allah untuk kita, yakin dan percaya tiada proses yang menghinai hasil.
20. Keluarga kecilku angkatan 2012 *peergroup anorganik* : Mak Nila, Tum Anwar, mbak Ais, Reno, aa Rifki, Indry Yani, Iin, cin Imah Adi cong, Murni racun, teh jeje. *Peergroup organik* : Arif, mbak simi, Ajeng W, Susy, Tri, Intan, Mbokde Dewi, Yepi nyep, Tiara, Dona, Radius, Ningrum (Si suara nyaring), Tazkiya Aya. *Peergroup Biokimia*: Ruwaida (Mak wai), Erlita (Mak Ita), Maria Ulfa (Maul), Fifi, Putri (*Gadis Korea part 1*), Syathira (*Gadis Korea part 2*), Diani Iska (didi), Rizal Robbani, Ayu Imani (Gadis

Judi), Meta Fosfi. *Peergroup Analitik*: Dwi Anggraini (ledom dudung), Deborah Jovita (Debi), Ulfatun (Upeh), Eka (Gadis Cetar), Yungsi'U, Riandra, Rio (Bujang Korea), Febita, Atma (Si cantik), Elsa, Welda, Wiwin, Zubaidi (Bang Zuu), Derry, Adit (Si kalong), Adam (Abang). *Peergroup Fisik*: Fenti Visiamah (Fentul), Dul Tiurma (Abang Debo), Ruliana (Dul Ruli), Ferdinan (Si tak nampak), Lim Feby, Ana Maria, Sofian (Ncop), Arya Rifansyah, Suwarda Dela, Edi Suryadi (Eyang). Terimakasih banyak atas kebersamaan ini, *I love you so much, I'll remembers and save you in my heart. Don't forget, we are family forever (Ingat: Persaudaraan 10 kali)*.

21. Teman-teman kecilku Susan, Santi, Puji (Ceplis), Ngatini (Si suara merdu), Desti, Rafli, Wahyu Hastuti, Wadi, Garma, Serli, Nur syamsiah (Eneng), Salimah. Ingatkah saat kita masih kecil dulu, banyak hal yang telah kita lalui. Terimakasih atas senyuman, canda, semangat dan pastinya doa yang telah kalian berikan. *Friends not only they who always stand up here with me, but also they who always give me pray and support. Thanks so much.*
22. Sepupuku yang paling cantik Della Wahyu Rianti yang sedang memperjuangkan studinya, terimakasih doa dan dukungannya selama ini. Semoga suatu saat kita mampu memberikan kebanggaan untuk kedua orang tua kita. Aamiin
23. Sahabat-sahabat konyolku Serliani, Icsni Poppy (Tante), Khusnul Khotimah (mba Cenul), Diaz Albar (mbah). Jangan pernah lupakan masa-masa dulu saat dunia maya jadi dunia nyata, terimakasih atas persahabatan ini. Sukses selalu buat kita semua.
24. Teman-teman seperjuangan dari SMAN 1 Pulau Pangung, Kak Andrian, Yolanda, Nopiani (Kak Nuk), Eni Jubaidah, Widia Anggraeni, Hanifah Serliana, Sinta Novita, Riska Martina. Terimakasih atas semangat dan dukungan selama ini, semoga kita dipertemukan di puncak kesuksesan. Aamiin.

25. Teman-teman Kuliah Kerja Nyata Tiyuh Mulya Jaya, Putri Rizki Ananda (mba Put), Ria Aulia (Aul), Indah Retno (Eno), Ria Putri (Si mama), Idham Saputra Jaya (Si papa), I Gusti Putu (Guswindi). Terimakasih atas pengalaman selama ini, terimakasih juga telah mengajarkanku banyak hal tentang sabar, kerjasama, dan yang pasti tentang kegilaan. Tak lupa *thanks* atas kejutan saat itu, kalian keluarga paling gila yang pernah saya temui. Semoga kita akan dipertemukan di masa depan yang cerah. Aamiin.
26. Pasukan Erlangga yang selalu heboh, Arif (Penjaga Gerbang), Rifki, Regi Andica (tetap jadi pemimpi yang tak pernah takut untuk jatuh, semoga sukses), Dandi, Basri, Aldo, Wahyu, Sofian *My best Roomate* yang selalu mengingatkan untuk sholat, Novanda (Raja Tidur). Terimakasih atas kebersamaan selama ini, semoga kita selalu dalam lindungan Allah SWT.
27. Anton (Cabe), Siti Mudmainah, Arief dan adik-adik 2013 yang telah banyak membantu saya dalam memahami arti hidup. Ingat, hidup ini penuh dengan tanggungjawab dan amanah. Lakukan yang terbaik, maka kita akan memperoleh yang terbaik. Semoga kita bisa menjadi insan yang semakin lebih baik.
28. Yusuf *and the genk*, Lutfi, Bayu, Daus, Fendi, Ganjar, Fikri, Hafid, Deni, Widia, Kartika, dan semua adik-adik 2014 yang tidak bisa saya sebutkan. Terimakasih atas dukungan dan bantuan selama ini. Jalan masih panjang, masih butuh energi untuk menjalani ini. Percayalah, hidup akan indah jika kita jalani dengan baik, tetap berusaha dan berdoa. *We were born as a champion, no matter what people said you just need to believe in yourself. Keep fight and dreaming on.*
29. Adik-adik angkatan 2015 yang tidak bisa saya sebutkan. Terimakasih atas persaudaraan dan kekeluargaan ini, semoga kita semua akan menjadi orang-orang sukses yang siap mengubah dunia. Lakukanlah apa yang harus kau lakukan, kerjakan dengan sebaik-baiknya agar kita memperoleh yang terbaik.

30. Terimakasih juga untuk kakak-kakak 2010 dan 2011 serta senior yang lain yang telah memberikan banyak pelajaran untukku, semoga apa yang pernah kita lakukan memberikan perubahan di masa depan. Sukses selalu dan tetap menjadi yang terbaik.

31. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala ketulusan dan bantuannya. Semoga kebaikan yang telah dilakukan mendapat balasan dari Allah SWT.

Bandar Lampung, April 2016

Penulis,

Sukamto

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Timah	6
B. Organologam	7
C. Senyawa Organotimah	9
1. Senyawa organotimah halida	12
2. Senyawa organotimah hidroksida dan oksida	13
3. Senyawa organotimah karboksilat	13
D. Aplikasi Senyawa Organotimah	14
E. Analisis Senyawa Organotimah	16
1. Analisis spektroskopi <i>IR</i> senyawa organotimah	16
2. Analisis spektroskopi UV-Vis senyawa organotimah	18
3. Analisis unsur dengan menggunakan <i>microelemental analyzer</i>	20
F. Baja Lunak	20
G. Korosi	22
H. Proses Korosi	23
1. Proses korosi kering	23
2. Proses korosi basah	23
I. Faktor-faktor penyebab korosi	24

1. Atmosfer atau udara.....	25
2. Air.....	25
3. Tanah	25
4. Zat-zat kimia.....	26
J. Bentuk-bentuk korosi	26
1. Korosi merata (<i>uniform corrosion</i>)	27
2. Korosi galvanik (<i>galvanic Corrosion</i>).....	27
3. Korosi celah (<i>crevice corrosion</i>).....	27
4. Korosi sumuran (<i>pitting corrosion</i>).....	28
5. Korosi batas butir (<i>intergranular corrosion</i>).....	28
6. Korosi kavitasi	28
7. Korosi erosi (<i>erosion corrosion</i>)	29
8. Korosi regangan (<i>stress corrosion</i>)	29
K. Inhibitor Korosi	29
L. Metode Analisis Korosi.....	34
M. <i>Integrated Potentiostat System</i>	36

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	39
B. Alat dan Bahan.....	39
C. Cara Kerja	40
1. Sintesis senyawa trifeniltimah(IV) benzoat	40
2. Sintesis senyawa difeniltimah(IV) dibenzoat	41
3. Preparasi baja lunak	41
4. Pembuatan medium korosif.....	41
5. Pembuatan larutan inhibitor	42
6. Pengujian korosi.....	42
7. Analisis data	43
8. Analisis kualitatif permukaan baja.....	44

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis	
1. Sintesis senyawa difeniltimah(IV) dibenzoat.....	45
2. Sintesis senyawa trifeniltimah(IV) benzoat	47
B. Karakterisasi Menggunakan Spektrofotometri <i>UV-Vis</i>	
1. Senyawa asam benzoat.....	50
2. Senyawa difeniltimah(IV) oksida dan difeniltimah(IV) dibenzoat	52
3. Senyawa trifeniltimah(IV) hidroksida dan trifeniltimah(IV) benzoat	53
C. Karakterisasi Menggunakan Spektrofotometer <i>IR</i>	
1. Asam benzoat	55
2. Senyawa difeniltimah(IV) oksida dan difeniltimah(IV) dibenzoat	56
3. Senyawa trifeniltimah(IV) hidroksida dan trifeniltimah(IV)	

benzoat	57
D. Analisis Unsur Menggunakan <i>Microelemental Analyzer</i>	59
E. Uji Aktivitas Antikorosi Terhadap Baja Lunak	
1. Preparasi baja lunak	60
2. Pengujian aktivitas antikorosi ligan asam benzoat.....	62
3. Pengujian aktivitas antikorosi senyawa difeniltimah(IV) oksida	65
4. Pengujian aktivitas antikorosi senyawa difeniltimah(IV) dibenzoat	68
5. Pengujian aktivitas antikorosi senyawa trifeniltimah(IV) hidroksida.....	72
6. Pengujian aktivitas antikorosi senyawa trifeniltimah(IV) benzoat	77
7. Penentuan laju korosi baja lunak	81
8. Analisis kualitatif permukaan baja lunak.....	85
9. Mekanisme inhibisi korosi senyawa organotimah(IV) benzoat	87

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	97
B. Saran.....	98

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Serapan karakteristik <i>IR</i> untuk asam-asam karboksilat	18
2. Pergeseran bilangan gelombang senyawa difeniltimah(IV) oksida dan difeniltimah(IV) benzoat	57
3. Pergeseran bilangan gelombang senyawa trifeniltimah(IV) hidroksida dan trifeniltimah(IV) benzoat	59
4. Hasil analisis unsur senyawa hasil sintesis	60
5. Data efisiensi inhibisi ligan asam benzoat dibandingkan dengan kontrol NaCl	64
6. Data efisiensi inhibisi senyawa difeniltimah(IV) oksida dibandingkan kontrol NaCl	67
7. Data efisiensi inhibisi senyawa difeniltimah(IV) benzoat dibandingkan kontrol NaCl	70
8. Data efisiensi inhibisi senyawa trifeniltimah(IV) hidroksida dibandingkan kontrol NaCl	74
9. Data nilai efisiensi inhibisi senyawa trifeniltimah(IV) benzoat dibandingkan dengan kontrol NaCl.....	79
10. Data nilai laju korosi senyawa difeniltimah(IV) benzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat dibandingkan dengan medium korosif tanpa inhibitor	83
11. Data nilai kerapatan arus korosi dan arus korosi untuk seluruh pemindaian	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema transisi elektronik dari tingkat energi rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi.....	19
2. <i>Hot Roller Plate</i>	22
3. Proses korosi kering dengan dua elektroda.....	23
4. Proses korosi basah dengan dua elektroda.....	24
5. Sketsa instrumentasi eDAQ dan benda uji.....	36
6. Contoh voltammogram selusur tunggal	37
7. Senyawa difeniltimah(IV) benzoat	45
8. Reaksi pembentukan senyawa difeniltimah(IV) benzoat.....	46
9. Senyawa trifeniltimah(IV) benzoat	47
10. Reaksi pembentukan senyawa trifeniltimah(IV) benzoat	48
11. Deret spektrokimia	49
12. Spektrum UV asam benzoat.....	51
13. Spektrum UV difeniltimah(IV) oksida dan difeniltimah(IV) benzoat	52
14. Spektrum UV trifeniltimah(IV) hidroksida dan trifeniltimah(IV) benzoat	54

15. Spektrum IR asam benzoat	55
16. Spektra IR difeniltimah(IV) oksida dan difeniltimah(IV) Dibenzoat	56
17. Spektrum IR trifeniltimah(IV) hidroksida dan trifeniltimah(IV) benzoat	58
18. Potongan baja sebelum diamplas dan sesudah diamplas	61
19. Asam benzoat	62
20. Grafik hasil pemindaian ligan asam benzoat dibandingkan dengan kontrol NaCl	63
21. Grafik hasil pemindaian senyawa difeniltimah(IV) oksida terhadap kontrol medium korosif tanpa inhibitor.....	66
22. Grafik hasil pemindaian senyawa difeniltimah(IV) dibenzoat terhadap kontrol medium korosif tanpa inhibitor.....	69
23. Perbandingan nilai efisiensi inhibisi senyawa difeniltimah(IV) oksida dan difeniltimah(IV) dibenzoat.....	71
24. Grafik hasil pemindaian senyawa trifeniltimah(IV) hidroksida terhadap kontrol NaCl.....	73
25. Larutan hasil elektrolisis	77
26. Grafik hasil pemindaian senyawa trifeniltimah(IV) benzoat dibandingkan dengan kontrol NaCl	78
27. Perbandingan nilai efisiensi inhibisi senyawa trifeniltimah(IV) benzoat, trifeniltimah(IV) hidroksida, dan asam benzoat	80
28. Grafik perbandingan nilai laju korosi baja lunak pada penambahan senyawa difeniltimah(IV) dibenzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat.....	84
29. Permukaan baja lunak pada medium korosif NaCl dan penambahan senyawa trifeniltimah(IV) benzoat.....	85
30. Mekanisme korosi sumuran pada permukaan logam	86
31. Difeniltimah(IV) dibenzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat.....	88
32. Grafik polarisasi anoda difeniltimah(IV) benzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat.....	90

33. Grafik polarisasi katoda difeniltimah(IV) dibenzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat.....	91
34. Mekanisme korosi pada baja lunak dalam medium korosif NaCl.....	93
35. Mekanisme pembentukan lapisan tipis pada permukaan logam oleh senyawa organotimah(IV) benzoat.....	94
36. Deskripsi penentuan luas baja yang terukur dalam pemindaian	110

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema lengkap tahap penelitian.....	104
2. Perhitungan persentase berat senyawa hasil sintesis.....	105
3. Perhitungan data mikroanalisis untuk senyawa difeniltimah(IV) dibenzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat	107
4. Perhitungan efisiensi inhibisi	110
5. Perhitungan nilai laju korosi	120

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Korosi merupakan suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan yang disebabkan oleh terjadinya reaksi dengan lingkungannya. Korosi juga dapat diartikan sebagai degradasi atau penurunan mutu logam akibat reaksi kimia suatu logam dengan lingkungannya (Priest, 1992). Korosi pada logam yaitu peristiwa perusakan pada logam yang disebabkan oleh reaksi oksidasi. Kerusakan tersebut dipengaruhi oleh adanya oksigen, amonia, air, larutan garam, basa, asam, dan juga akibat arus listrik (Fontana, 1986).

Korosi akan mengurangi kekuatan struktur bangunan terutama yang berbahan dasar baja seperti pada gedung-gedung perindustrian dan jembatan. Bahkan, korosi dapat terjadi pada pondasi beton sehingga bangunan menjadi rapuh dan dapat membahayakan keselamatan bagi penggunanya. Selain itu, dampak yang dapat ditimbulkan akibat kerusakan oleh korosi akan sangat besar pengaruhnya terhadap kehidupan manusia, antara lain dari segi ekonomi dan lingkungan. Dari segi ekonomi misalnya tingginya biaya perawatan, kerugian produksi pada suatu industri akibat adanya pekerjaan yang terhenti pada waktu perbaikan bahan yang

terserang korosi, dan dari segi lingkungan misalnya adanya proses pengkaratan besi yang berasal dari berbagai konstruksi yang dapat mencemarkan lingkungan (Trethew and Chamberlein, 1991). Beberapa cara yang dapat memperlambat laju reaksi korosi antara lain dengan cara pelapisan permukaan logam agar terpisah dari medium korosif, membuat paduan logam yang cocok sehingga tahan korosi, dan dengan penambahan zat tertentu yang berfungsi sebagai inhibitor korosi (Haryono dkk, 2010). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa senyawa organotin(IV) karboksilat memiliki potensi untuk digunakan sebagai inhibitor korosi.

Senyawa organotin merupakan senyawa yang mengandung sedikitnya satu ikatan kovalen C-Sn. Sebagian besar senyawa organotin dapat dianggap sebagai turunan dari R_nSnX_{4-n} ($n = 1-4$) dan diklasifikasikan sebagai mono-, di-, tri-, dan tetra- organotin(IV) tergantung pada jumlah gugus alkil (R) atau aril (Ar) yang terikat. Gugus (R) pada senyawa organotin biasanya metil, butil, oktil atau fenil, sedangkan anion (X) biasanya adalah klorida, fluorida, oksida, hidroksida, suatu karboksilat atau suatu tiolat (Pellerito and Nagy, 2002). Ketertarikan terhadap senyawa organotin(IV) tidak hanya karena sifat kimia dan strukturnya yang sangat menarik (Tiekink, 1991), tetapi juga karena penggunaannya yang terus meningkat diantaranya sebagai biosida pertanian (Pellerito and Nagy, 2002; Gielen, 2003), antifouling bagi cat kapal di lautan (Blunden and Hill, 1987), pengawet kayu (Blunden and Hill, 1991), antifungi (Bonire *et al.*, 1998; Hadi *et al.*, 2009), sebagai katalis (Blunden *et al.*, 1987), antikanker (de Vos *et al.*, 1998; Gielen, 2003; Hadi and Rilyanti, 2010; Hadi *et*

al., 2012) dan penelitian terbaru menerangkan bahwa turunan senyawa organotimah(IV) karboksilat memiliki aktivitas sebagai inhibitor korosi (Rastogi *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2010; Rastogi *et al.*, 2011).

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Afriyani, 2014) diketahui bahwa senyawa organotimah(IV) karboksilat dengan menggunakan ligan turunan asam benzoat yaitu asam 3-nitrobenzoat memiliki aktivitas antikorosi dengan efisiensi inhibisi tertinggi sebesar 34,25% , (Anggraini, 2014) dengan menggunakan ligan asam 2-nitrobenzoat sebagai ligan karboksilat menghasilkan efisiensi inhibisi tertinggi sebesar 51,55% dan (Aini, 2015) dengan menggunakan asam 3-aminobenzoat menghasilkan efisiensi inhibisi tertinggi sebesar 50,34 %. Ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa senyawa organotimah(IV) dengan menggunakan ligan turunan asam benzoat memiliki aktivitas antikorosi yang baik dengan efektivitas inhibisi tertinggi yaitu pada senyawa trifeniltimah(IV) pada konsentrasi tertinggi 100 mg/L. Penelitian yang dilakukan sebelumnya hanya menggunakan ligan turunan asam benzoat. Sedangkan aktivitas antikorosi dari senyawa organotimah(IV) dengan menggunakan ligan asam benzoat belum diketahui. Berdasarkan penelitian dan informasi tersebut, maka pada penelitian ini telah dilakukan sintesis dan karakterisasi turunan senyawa organotimah(IV) benzoat dengan menggunakan asam benzoat sebagai ligan karboksilat serta uji aktivitasnya sebagai inhibitor antikorosi.

Pada penelitian ini, telah dilakukan sintesis dengan mereaksikan senyawa trifeniltimah(IV) hidroksida dan difeniltimah(IV) dihidroksida sebagai prekursor dengan ligan asam benzoat sehingga menghasilkan senyawa trifeniltimah(IV) benzoat dan difeniltimah(IV) dibenzoat. Kedua senyawa akhir selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer *UV-Vis*, spektrofotometer *IR*, dan *microelemental analyzer*. Senyawa awal, ligan dan senyawa hasil sintesis selanjutnya diuji aktivitas antikorosinya terhadap baja lunak tipe HRP (*Hot Roller Plate*) yang dibandingkan kontrol medium korosif tanpa inhibitor. Pengujian aktivitas antikorosinya dilakukan dalam medium korosif NaCl dan pengukurannya dilakukan dengan polarisasi potensiodinamik menggunakan instrumen ER466 *Integrated Potentiostat System* eDAQ.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis senyawa trifeniltimah(IV) benzoat dan difeniltimah(IV) dibenzoat.
2. Mengkarakterisasi senyawa trifeniltimah(IV) hidroksida, difeniltimah(IV) oksida, asam benzoat, trifeniltimah(IV) benzoat, dan difeniltimah(IV) dibenzoat.
3. Membandingkan efektivitas inhibitor antara senyawa trifeniltimah(IV) benzoat dan difeniltimah(IV) dibenzoat.

C. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai senyawa organotin(IV) karboksilat yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi, serta memberikan kontribusi dalam menangani masalah korosi di Indonesia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Timah

Timah merupakan unsur golongan golongan IVA (grup 14) dalam tabel periodik, bersama dengan karbon, silikon, germanium, dan timbal. Timah menunjukkan kesamaan sifat kimia dengan Ge dan Pb seperti pembentukan keadaan oksidasi +2 dan +4. Sebagai anggota dalam golongan IVA, struktur geometri SnCl_4 yang telah dikarakterisasi ialah tetrahedral seperti CCl_4 . Pada suhu ruang, keduanya cairan tidak berwarna dengan titik didih masing-masing 114°C dan 77°C (pada tekanan atmosfer). Di luar keadaan tersebut, keduanya menunjukkan karakter yang cukup berbeda. Perbedaan tersebut dapat dijelaskan karena ukuran atom Sn lebih besar dibandingkan atom C dan dimilikinya orbital 5d pada atom Sn. Kedua faktor tersebut, membuat Sn memungkinkan untuk “berikatan lebih” (ekstra koordinasi) dengan ligan-ligannya. Dalam hal tersebut, timah memiliki fleksibilitas valensi yang lebih besar, yaitu memiliki bilangan koordinasi yang dapat lebih dari empat. Timah dalam bentuk senyawanya memiliki tingkat oksidasi +2 dan +4, tingkat oksidasi +4 lebih stabil daripada +2. Pada tingkat oksidasi +4, timah menggunakan seluruh elektron valensinya, yaitu $5s^2 5p^2$ dalam ikatan, pada tingkat oksidasi +2, timah hanya menggunakan elektron valensi $5p^2$ saja (Cotton dan Wilkinson, 1989).

Timah atau *Stannum* (Sn) memiliki tiga bentuk alotrop, yaitu timah abu-abu (α), timah putih (β) dan timah rombik (γ). Pada suhu ruang, timah lebih labil sebagai logam timah putih (-Sn) dalam bentuk tetragonal. Sedangkan pada suhu rendah, timah putih berubah menjadi timah abu-abu (-Sn) berbentuk intan kubik berupa nonlogam. Perubahan ini terjadi cepat karena timah membentuk oksida film. Peristiwa ini dikenal sebagai plak hitam atau timah plague. Timah putih mempunyai densitas yang lebih tinggi daripada timah abu-abu (Petrucci, 1999).

B. Senyawa Organologam

Senyawa organologam merupakan senyawa dimana minimal terdapat satu atom karbon dari gugus organik yang berikatan langsung dengan logam. Istilah organologam biasanya didefinisikan agak longgar, dan senyawa yang mengandung ikatan karbon dengan fosfor, arsen, silikon, ataupun boron termasuk dalam kategori ini. Tetapi untuk semua senyawa yang mengandung ikatan antara atom logam dalam oksigen, belerang, nitrogen, ataupun dengan satu halogen tidak termasuk sebagai senyawa organologam. Sebagai contoh suatu alkoksida seperti $(C_3H_7O)_4Ti$ tidaklah termasuk senyawa organologam, karena gugus organiknya terikat pada Ti melalui atom oksigen sedangkan senyawa $(C_6H_5)Ti(OC_3H_7)_3$ adalah senyawa organologam karena terdapat satu ikatan langsung antara karbon C dari gugus fenil dengan logam Ti. Dari bentuk ikatan pada senyawa organologam, senyawa ini dapat dikatakan sebagai jembatan antara kimia organik dan anorganik.

Sifat senyawa organologam yang umum ialah dimilikinya atom karbon yang lebih elektronegatif daripada kebanyakan logamnya. Terdapat beberapa kecenderungan jenis-jenis ikatan yang terbentuk pada senyawaan organologam:

a. Senyawaan ionik dari logam elektropositif

Senyawaan organo dari logam yang relatif sangat elektropositif umumnya bersifat ionik, tidak larut dalam pelarut organik, dan sangat reaktif terhadap udara dan air. Senyawa ini terbentuk bila suatu radikal pada logam terikat pada logam dengan keelektropositifan yang sangat tinggi, misalnya logam alkali atau alkali tanah. Kestabilan dan kerekatifan senyawaan ion ditentukan dalam satu bagian oleh kestabilan ion karbon. Garam logam ion-ion karbon yang diperkuat oleh delokalisasi elektron lebih stabil walaupun masih relatif. Adapun contoh gugus organik dalam garam-garam tersebut seperti $(C_6H_5)_3C^-Na^+$ dan $(C_5H_5)_2Ca^{2+}$.

b. Senyawaan yang memiliki ikatan $-\sigma$ (sigma)

Senyawa organo dimana sisa organiknya terikat pada suatu atom logam dengan suatu ikatan yang digolongkan sebagai ikatan kovalen (walaupun masih ada karakter-karakter ionik dari senyawaan ini) yang dibentuk oleh kebanyakan logam dengan keelektropositifan yang relatif rendah dari golongan pertama di atas, dan sehubungan dengan beberapa faktor berikut:

1. Kemungkinan penggunaan orbital d yang lebih tinggi, seperti pada SiR_4 yang tidak tampak dalam CR_4 .
2. Kemampuan donor alkil atau aril dengan pasangan elektron menyendiri.

3. Keasaman lewis sehubungan dengan kulit valensi yang tidak penuh seperti ada BR_2 atau koordinasi tak jenuh seperti ZnR_2 .
4. Pengaruh perbedaan keelektronegatifan antara ikatan logam-karbon (M-C) atau karbon-karbon (C-C).

c. Senyawaan yang terikat secara non klasik

Dalam banyak senyawaan organologam terdapat suatu jenis ikatan logam pada karbon yang tidak dapat dijelaskan dalam bentuk ionik atau pasangan elektron/valensi. Misalnya, salah satu kelas alkil terdiri dari Li, Be, dan Al yang memiliki sifat kekurangan elektron seperti atom boron pada $B(CH_3)_3$. Atom B termasuk atom golongan IIIA, memiliki 3 elektron valensi, sehingga cukup sulit untuk membentuk konfigurasi oktet dalam senyawaannya. Ada kecenderungan untuk memanfaatkan orbital-orbital kosong pada atom B dengan menggabungkannya pada gugus suatu senyawa yang memiliki kelebihan pasangan elektron menyendiri. Senyawaan ini terbagi menjadi dua golongan :

1. Senyawa organologam yang terbentuk antara logam-logam transisi dengan alkena, alkuna, benzena, dan senyawaan organik tak jenuh lainnya.
2. Senyawa organologam yang memiliki gugus-gugus alkil berjembatan

(Cotton dan Wilkinson, 1989).

C. Senyawa Organotimah

Senyawa organotimah adalah senyawa-senyawa yang setidaknya mengandung satu ikatan kovalen C-Sn. Sebagian besar senyawa organotimah dapat dianggap

sebagai turunan dari $R_n\text{Sn(IV)X}_{4-n}$ ($n = 1-4$) dan diklasifikasikan sebagai mono-, di-, tri-, dan tetra- organotin(IV), tergantung dari jumlah gugus alkil (R) atau aril (Ar) yang terikat. Anion yang terikat (X) biasanya adalah klorida, fluorida, oksida, hidroksida, suatu karboksilat atau suatu thiolat (Pellerito and Nagy, 2002). Ikatan Sn-X memiliki derajat ion tertentu bergantung pada anion (X) dan alkil (R). Sebagai contoh, titik leleh dari $(\text{CH}_3)_3\text{SnX}$ bervariasi untuk fluorida (300°C) > klorida (37°C) > bromida (27°C) > iodida ($3,4^\circ\text{C}$) (Tayer, 1988). Kecenderungan terhidrolisis dari senyawa organotin lebih lemah dibandingkan senyawa Si atau Ge yang terikat dan ikatan Sn-O dapat bereaksi dengan larutan asam. Senyawa organotin tahan terhadap hidrolisis atau oksidasi pada kondisi normal walaupun dibakar menjadi SnO_2 , CO_2 , dan H_2O . Kemudahan putusannya ikatan Sn-C oleh halogen atau reagen lainnya bervariasi berdasarkan gugus organiknya dan urutannya meningkat dengan urutan: Bu (paling stabil) < Pr < et < me < vinil < Ph < Bz < alil < CH_2CN < $\text{CH}_2\text{CO}_2\text{R}$ (paling tidak stabil).

Penggabungan SnR_4 melalui gugus alkil tidak teramati sama sekali. Senyawa-senyawa dengan rumus R_3SnX atau R_2SnX_2 tergabung secara luas melalui jembatan X sehingga meningkatkan bilangan koordinasi Sn menjadi lima, enam atau bahkan tujuh. Dalam hal ini, F lebih efektif dibandingkan unsur-unsur halogen lainnya. Sebagai contoh Me_3SnF memiliki struktur trigonal bipiramida, Me_2SnF_2 memiliki struktur oktahedral sedangkan jembatan Cl yang lebih lemah memiliki struktur terdistorsi (Van der Weij, 1981).

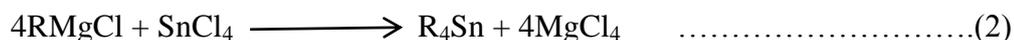
Dari sisi fisika dan kimia, senyawa organotin merupakan monomer yang dapat membentuk makromolekul stabil, padat (metiltimah, feniltimah, dan dimetiltimah)

dan cairan (butiltimah) yang sangat mudah menguap, menyublim, dan tidak berwarna serta stabil terhadap hidrolisis dan oksidasi. Atom halogen, khususnya klor yang dimiliki oleh senyawa organotimah mudah lepas dan berikatan dengan senyawa-senyawa yang mengandung atom dari golongan IA atau golongan IIA sistem periodik atau ion logam positif lainnya. Meskipun kekuatan ikatannya bervariasi, akan tetapi atas dasar sifat itulah senyawa organotimah dapat disintesis (Greenwood and Earshaw, 1990).

Beberapa metode untuk sintesis senyawaan organotimah telah banyak dikenal. *Starting material* seperti SnCl_4 dan triorganotimah halida lazim digunakan sebagai *starting material* untuk mensintesis berbagai senyawaan organotimah.

Beberapa metode yang umum digunakan diantaranya:

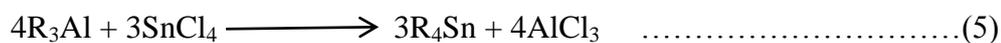
- a. Metode Grignard, metode ini merupakan pertama yang dilakukan di USA dan Eropa barat dalam memproduksi senyawa organotimah. Metode ini memerlukan kondisi reaksi yang *inert*, jauh dari nyala api secara langsung dan bersifat *in situ*. Adapun reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Persamaan 1 dan 2.



- b. Metode Wurst, persamaan reaksinya dituliskan pada persamaan 3 dan 4.



- c. Metode dengan menggunakan reagen alkil aluminium, metode ini mulai dikenal pada awal tahun 1960-an. Adapun reaksinya dituliskan pada Persamaan 5.



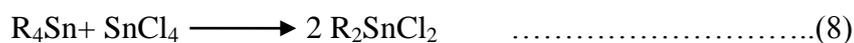
(Cotton dan Wilkinson, 1989).

1. Senyawa organotimah halida

Senyawa organotimah halida dengan rumus umum R_nSnX_{4-n} ($n = 1-3$; $X = Cl, Br, I$) pada umumnya merupakan padatan kristalin dan sangat reaktif. Organotimah halida ini dapat disintesis secara langsung melalui logam timah, Sn(II) atau Sn(IV) dengan alkil halida yang reaktif. Metode ini secara luas digunakan untuk pembuatan dialkiltimah dihalida. Sintesis langsung ini ditinjau ulang oleh Murphy dan Poller. Persamaan reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Persamaan 6.



Metode lain yang sering digunakan untuk pembuatan organotimah halida adalah reaksi disproportionasi tetraalkiltimah dengan timah(IV) klorida. Caranya dengan mengubah perbandingan material awal, seperti pada persamaan 7 dan 8.



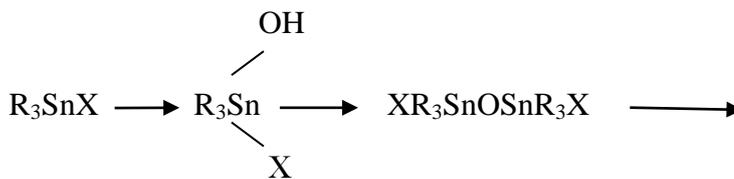
Senyawa organotin klorida digunakan sebagai kloridanya dengan memakai logam halida lain yang sesuai seperti ditunjukkan pada Persamaan 9.



(X = F, Br atau I; M = K, Na, NH₄) (Wilkinson, 1982).

2. Senyawa organotin hidroksida dan oksida

Produk kompleks yang diperoleh melalui hidrolisis dari trialkiltimah halida dan senyawa yang berikatan R₃SnX merupakan rute utama pada trialkiltimah oksida dan trialkiltimah hidroksida. Prinsip tahapan intermediet ditunjukkan pada Persamaan 10.



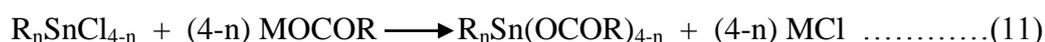
(Wilkinson, 1982).

3. Senyawa organotin karboksilat

Senyawa organotin karboksilat pada umumnya dapat disintesis melalui dua cara yaitu dari organotin oksida atau organotin hidroksidanya dengan asam karboksilat, dan dari organotin halidanya dengan garam karboksilat. Metode

yang biasa digunakan untuk sintesis organotimah karboksilat adalah dengan menggunakan organotimah halida sebagai material awal.

Organotimah halida direaksikan dengan garam karboksilat dalam pelarut yang sesuai, biasanya aseton atau karbon tetraklorida. Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Persamaan 11.



Reaksi esterifikasi dari asam karboksilat dengan organotimah oksida atau hidroksida dilakukan melalui dehidrasi azeotropik dari reaktan dalam toluena, seperti ditunjukkan pada Persamaan reaksi 12 dan 13.



(Wilkinson, 1982).

D. Aplikasi Senyawa Organotimah

Senyawa organotimah memiliki aplikasi yang luas dalam kehidupan sehari-hari.

Aplikasi senyawa organotimah dalam industri antara lain sebagai senyawa stabilizer polivinilklorida, pestisida nonsistematik, katalis antioksidan, antifouling agents dalam cat, stabilizer pada plastik dan karet sintetik, stabilizer untuk parfum dan berbagai macam peralatan yang berhubungan dengan medis dan gigi. Untuk penggunaan tersebut, kurang lebih 25.000 ton timah dipergunakan per tahun (Pellerito and Nagy, 2002).

Mono dan diorganotimah digunakan secara luas sebagai stabilizer polivinilklorida untuk mengurangi degradasi polimer polivinilklorida tersebut. Empat tipe utama penstabil timah berdasarkan gugus alkilnya yaitu: oktil, butil, fenil, dan metil.

Dimana oktildimah memiliki kandungan timah paling sedikit, paling kurang efisien. Ligan-ligan utama yang digunakan untuk membedakan berbagai penstabil timah yaitu, asam tioglikolat ester, dan asam karboksilat. Senyawa organotimah yang paling umum digunakan sebagai katalis dalam sintesis kimia yaitu katalis mono dan diorganotimah. Senyawa organotimah merupakan katalis yang bersifat homogen yang baik untuk pembuatan polisilikon, poliuretan dan untuk sintesis poliester. Senyawa organotimah ditemukan berikutnya antara lain sebagai *biocide* (senyawa yang mudah terdegradasi), sebagai pestisida yang pertama kali diperkenalkan di Jerman yaitu dari senyawa trifeniltimah asetat pada akhir 1950-an. Kegunaan yang utama dari agrokimia senyawa organotimah karena senyawa ini relatif memiliki fitotoksisitas (daya racun pada tanaman) yang rendah dan terdegradasi dengan cepat sehingga residunya tidak berbahaya terhadap lingkungan (Cotton dan Wilkinson, 1989). Senyawa organotimah(IV) telah diketahui memiliki aktivitas biologis yang kuat. Sebagian besar senyawa organotimah(IV) bersifat toksik walaupun pada konsentrasi rendah. Aktivitas biologi ini ditentukan oleh jumlah gugus organik yang terikat pada pusat atom Sn. Senyawa organotimah karboksilat diberikan perhatian khusus dikarenakan senyawa ini memiliki kemampuan biologi yang kuat dibandingkan senyawa organotimah lainnya (Mahmood *et al.*, 2003; Pellerito and Nagy, 2002).

Dalam beberapa penelitian, diketahui senyawa organotin(IV) karboksilat yang menunjukkan sifat sebagai antimikroorganisme sehingga dapat berfungsi sebagai antifungi dan antimikroba (Bonire *et al.*, 1998). Diketahui bahwa kompleks di dan triorganotin halida dengan berbagai ligan yang mengandung nitrogen, oksigen, dan sulfur memiliki aktivitas biologi dan farmakologi dan digunakan sebagai fungisida dalam pertanian, bakterisida, dan agen antitumor (Jain *et al.*, 2003). Penelitian terbaru menjelaskan bahwa senyawa organotin dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi (Rastogi *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2010; Rastogi *et al.*, 2011; Afriyani, 2014; Anggraini, 2014; Aini, 2015).

E. Analisis Senyawa Organotin

Pada penelitian ini, hasil yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer *IR*, spektrofotometer *UV-Vis*, dan analisis unsur C dan H menggunakan alat *microelemental analyzer*.

1. Analisis spektroskopi *IR* senyawa organotin

Spektrofotometri inframerah (*IR*) merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk menganalisa senyawa kimia. Spektra inframerah suatu senyawa dapat memberikan gambaran dan struktur molekul senyawa tersebut. Spektra *IR* dapat dihasilkan dengan mengukur absorpsi radiasi, refleksi atau emisi di daerah *IR*.

Pada temperatur di atas temperatur nol absolut, semua atom di dalam molekul bervibrasi antara satu dengan yang lainnya. Ketika frekuensi dari vibrasi spesifik sama dengan frekuensi dari radiasi inframerah yang mengenai langsung pada molekul, molekul tersebut akan menyerap radiasi.

Setiap molekul mempunyai derajat kebebasan sebesar jumlah derajat kebebasan atom-atomnya. Setiap atom di dalam koordinat Cartesius mempunyai tiga derajat kebebasan yang menyatakan kedudukannya relatif terhadap atom-atom lainnya di dalam molekul.

Syarat suatu gugus fungsi dalam suatu senyawa dapat terukur pada spektra IR adalah adanya perbedaan momen dipol pada gugus tersebut. Vibrasi ikatan akan menimbulkan fluktuasi momen dipol yang menghasilkan gelombang listrik.

Untuk pengukuran menggunakan IR biasanya berada pada daerah bilangan gelombang 400-4500 cm^{-1} . Daerah pada bilangan gelombang ini disebut daerah IR sedang, dan merupakan daerah optimum untuk penyerapan sinar IR bagi ikatan-ikatan dalam senyawa organik (Harjono, 1992).

Secara umum, spektrum serapan IR dapat dibagi menjadi tiga daerah:

- a. Inframerah dekat, dengan bilangan gelombang antara 14.300 hingga 4.000 cm^{-1} . Fenomena yang terjadi ialah absorpsi *overtone* C-H.
- b. Inframerah sedang, dengan bilangan gelombang antara 4.000 hingga 650 cm^{-1} . Fenomena yang terjadi ialah vibrasi dan rotasi.
- c. Inframerah jauh, dengan bilangan gelombang 650 hingga 200 cm^{-1} . Fenomena yang terjadi ialah penyerapan oleh ligan atau spesi lainnya yang berenergi rendah.

Dengan menggunakan analisis spektroskopi IR terhadap senyawa organotin karboksilat, dapat ditunjukkan adanya vibrasi ulur Sn-O pada bilangan gelombang 500 – 400 cm^{-1} dan Sn-C pada bilangan gelombang 600 – 500 cm^{-1} . Selain itu

dapat pula ditunjukkan beberapa karakteristik adsorpsi gelombang *IR* dari asam karboksilat seperti yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Serapan karakteristik *IR* untuk asam-asam karboksilat

Tipe Getaran	Posisi serapan	
	cm ⁻¹	μm
Uluran O-H	2860 – 3300	3,0 – 3,5
Uluran C=O	1700 – 1725	5,8 – 5,88
Uluran C-O	1210 – 1330	7,5 – 8,26
Tekukan O-H	1300 – 1440	6,94 – 7,71
Tekukan O-H dimer	~925	~10,8

(Fessenden dan Fessenden, 1986).

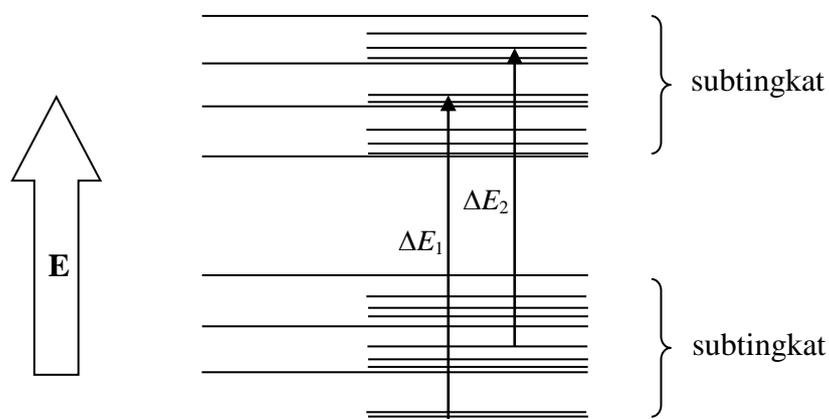
2. Analisis spektroskopi *UV-Vis* senyawa organotimah

Pada spektroskopi *UV-Vis*, senyawa yang dianalisis akan mengalami transisi elektronik sebagai akibat penyerapan radiasi sinar *UV* dan sinar tampak oleh senyawa yang dianalisis. Transisi tersebut pada umumnya antara orbital ikatan atau pasangan elektron bebas dan orbital anti ikatan. Panjang gelombang serapan merupakan ukuran perbedaan tingkat-tingkat energi dari orbital-orbital. Agar elektron dalam ikatan sigma tereksitasi maka diperlukan energi paling tinggi dan akan memberikan serapan pada 120-200 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ cm} = 10 \text{ \AA}$). Daerah ini dikenal sebagai daerah ultraviolet hampa, karena pada pengukuran tidak boleh ada udara, sehingga sukar dilakukan dan relatif tidak banyak memberikan keterangan untuk penentuan struktur.

Serapan di atas 200 nm merupakan daerah eksitasi elektron dari orbital p, d, dan orbital π terutama sistem π terkonjugasi mudah pengukurannya dan spektrumnya memberikan banyak keterangan. Kegunaan spektrofotometer *UV-Vis* ini terletak

pada kemampuannya mengukur jumlah ikatan rangkap atau konjugasi aromatik di dalam suatu molekul. Spektrofotometer ini dapat secara umum membedakan diena terkonjugasi dari diena tak terkonjugasi, diena terkonjugasi dari triena dan sebagainya. Letak serapan dapat dipengaruhi oleh substituen dan terutama yang berhubungan dengan substituen yang menimbulkan pergeseran dalam diena terkonjugasi dari senyawa karbonil (Sudjadi, 1985).

Spektrum *UV* maupun tampak terdiri dari pita absorpsi lebar pada daerah panjang gelombang yang lebar. Hal ini disebabkan transisi elektronik yaitu suatu elektron dalam orbital ikatan (*bonding*) dieksitasikan ke orbital *antibonding*. Transisi elektronik dapat terjadi dari subtingkat apa saja dari keadaan dasar ke subtingkat apa saja dari keadaan eksitasi seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema transisi elektronik dari tingkat energi rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi

Identifikasi kualitatif senyawa organik dalam daerah ini jauh lebih terbatas daripada dalam daerah inframerah, dikarenakan pita serapan pada daerah *UV-Vis* terlalu lebar dan kurang terperinci. Tetapi gugus-gugus fungsional tertentu seperti

karbonil, nitro, dan sistem tergabung menunjukkan puncak karakteristik dan dapat diperoleh informasi yang berguna mengenai ada tidaknya gugus tersebut dalam molekul (Day dan Underwood, 1998).

3. Analisis unsur dengan menggunakan *microelemental analyzer*

Mikroanalisis adalah penentuan kandungan unsur penyusun suatu senyawa yang dilakukan dengan menggunakan *microelemental analyzer*. Unsur yang umum ditentukan adalah karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), dan sulfur (S).

Sehingga alat yang biasanya digunakan untuk tujuan mikroanalisis ini dikenal sebagai CHNS *microelemental analyzer*. Hasil yang diperoleh dari mikroanalisis ini dibandingkan dengan perhitungan secara teori. Walaupun seringkali hasil yang diperoleh berbeda, perbedaan biasanya antara 1–5%, namun analisis ini tetap sangat bermanfaat untuk mengetahui kemurnian suatu sampel (Costech Analytical Technologies, 2011).

F. Baja Lunak Tipe HRP

Menurut komposisi kimianya, baja dibedakan menjadi dua yaitu baja karbon dan baja padanan. Baja karbon adalah baja yang bukan hanya tersusun atas padanan besi dan karbon, tetapi juga unsur lain yang tidak mengubah sifat baja. Baja karbon diproduksi dalam bentuk balok, profil, lembaran dan kawat. Ada beberapa jenis baja karbon antara lain sebagai berikut:

- Baja karbon rendah yang mengandung 0,022 – 0,3 % C yang dibagi menjadi empat bagian menurut kandungannya yaitu :

- Baja karbon rendah mengandung 0,04 % C digunakan untuk plat-plat strip.
 - Baja karbon rendah mengandung 0,05 % C digunakan untuk badan kendaraan.
 - Baja karbon rendah mengandung 0,05 – 0,25 % C digunakan untuk konstruksi jembatan dan bangunan.
 - Baja karbon rendah mengandung 0,05 – 0,3 % digunakan untuk baut paku keling, karena kepalanya harus di bentuk.
- Baja karbon menengah memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik dari pada baja karbon rendah. Baja karbon menengah mengandung 0,3 – 0,6 % C dan memiliki ciri khas yang lebih kuat dan keras daripada baja karbon rendah. Tidak mudah dibentuk dengan mesin, lebih sulit dilakukan untuk pengelasan dan dapat dikeraskan dengan baik.
 - Baja karbon tinggi.

Baja karbon tinggi memiliki kandungan antara karbon antara 0,6 – 1,7 % karbon. Memiliki ciri-ciri sangat kuat, getas/rapuh, sulit dibentuk mesin, mengandung unsur sulfur dan posfor, dan dapat dilakukan proses *heat treatment* dengan baik (Amanto dan Daryanto, 2006).

Pada penelitian ini digunakan baja berkarbon rendah dengan kadar karbon berkisar 0,04% yang diproses melalui pemanasan dan berupa lembaran, jenis ini dikenal dengan nama *hot roller plate* atau HRP. Contoh baja jenis ini seperti terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Hot Roller Plate* (sumber: www.tokobesionline.com)

G. Korosi

Korosi secara umum didefinisikan sebagai suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan yang disebabkan oleh terjadinya reaksi dengan lingkungannya. Korosi pada logam (peralatan) yaitu peristiwa perusakan pada logam yang disebabkan oleh reaksi oksidasi. Kerusakan terhadap logam-logam tersebut dipengaruhi oleh adanya gas oksigen, amoniak, klorida, air, larutan garam, basa, asam, dan juga akibat arus listrik. Pada umumnya korosi yang paling banyak terjadi adalah korosi oleh udara dan air (Fontana, 1986).

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses korosi diantaranya:

1. Fisika : Panas, perubahan temperatur, pendinginan, radiasi matahari.
2. Kimia : Larutan asam, basa, garam, bahan-bahan organik, gas buangan.
2. Biologi : Mikroorganisme, jamur, ganggang, binatang laut, bakteri.

H. Proses Korosi

Berdasarkan proses terjadinya, korosi dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu proses korosi kering dan proses korosi basah (Trethewey and Chamberlein, 1991).

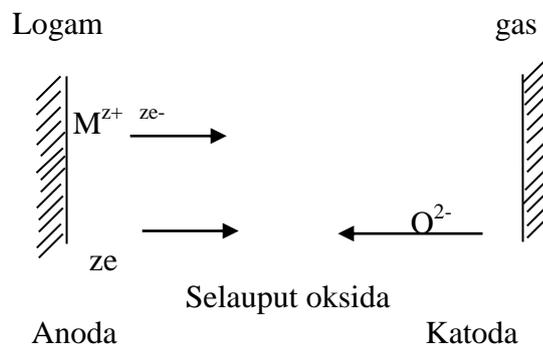
1. Proses korosi kering

Proses korosi kering yaitu korosi yang tidak mengikutsertakan air atau larutan dalam reaksinya. Reaksinya ditunjukkan oleh Persamaan 14.



Keterangan : M^{z+} : Ion logam pada lapisan oksida

ze^- : Elektron lapisan oksida Logam



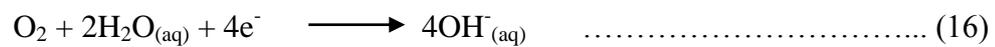
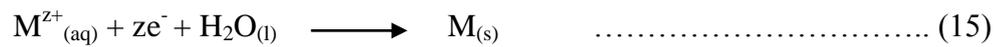
Gambar 3. Proses korosi kering dengan dua elektroda

Berdasarkan Gambar 3, permukaan batas logam atau oksida dapat dianggap sebagai anoda dan permukaan batas gas atau oksida dapat dianggap sebagai katoda.

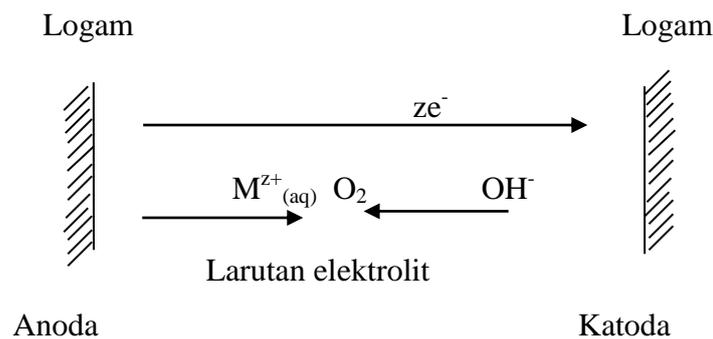
2. Proses korosi basah

Pada proses korosi ini, oksida logam dan reduksi nonlogam terjadi pada daerah berbeda pada permukaan logam, sehingga terjadi transfer elektron melalui logam dari anoda (logam teroksidasi) ke katoda (nonlogam tereduksi) seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Fase padat dan stabil yang terbentuk pada permukaan batas logam (larutan) dapat berupa senyawa padat atau ion terhidrasi (anion atau

kation). Fase padat ini dapat disingkirkan dari permukaan batas melalui proses seperti migrasi, difusi, atau konveksi (secara alami ataupun tidak). Pada keadaan ini reaktan-reaktan tidak akan terpisah oleh *barier* (batas) dan kecepatan cenderung linier. Reaksi korosi basah dapat ditulis seperti pada Persamaan 15, 16, dan 17.



atau



Gambar 4. Proses korosi basah dengan dua elektroda

I. Faktor-faktor penyebab korosi

Faktor-faktor penyebab terjadinya korosi antara lain adalah atmosfer atau udara, air, tanah, air, tanah, gas-gas korosif dan zat-zat kimia (Trethewey and Chamberlein, 1991).

1. Atmosfer atau udara

Udara penyebab korosi dibedakan menjadi 2 yaitu udara kering dan udara basah (lembab). Udara kering hanya mengandung sedikit sekali uap air, sedangkan udara lembab dapat mengandung lebih banyak uap air. Pada udara yang kering dan bersih, proses korosi berjalan sangat lambat, sedangkan pada udara lembab korosi dapat terjadi dengan lebih cepat. Ini dapat disebabkan karena udara yang jenuh dengan uap air banyak mengandung garam-garam, asam, zat-zat kimia dan gas-gas.

2. Air

Air dapat dibedakan atas air laut dan air tawar. Air laut merupakan larutan elektrolit yang mengandung garam-garam (terutama NaCl) yang sangat korosif. Air tawar seperti air sungai, air danau atau air tanah dapat mengandung berbagai macam garam alamiah, asam, oksigen dan zat-zat kimia lain yang berasal dari susunan geologi dan mineral dari daerah yang bersangkutan. Korosi akan dipercepat oleh air yang mengandung garam, karena sifat elektrolit memberikan suasana yang baik untuk terjadinya suatu reaksi reduksi-oksidasi. Biasanya zat terlarut yang membentuk asam, misalnya belerang dioksida dan karbon dioksida yang akan mempercepat laju korosi.

3. Tanah

Korosi didalam tanah selain terjadi pada pipa-pipa dan kabel-kabel juga terjadi pada pondasi-pondasi logam yang terpendam di dalamnya. Pada pemasangan pipa-pipa dalam tanah, tanah yang digali dan kemudian ditutup lagi

memungkinkan adanya oksigen terkurung di dalam tanah dapat menyebabkan korosi. Korosi elektrokimia dapat terjadi dalam tanah akibat adanya arus listrik yang disebabkan oleh kebocoran arus listrik dari kabel-kabel jalan rel kereta api atau sumber-sumber lain. Untuk menanggulangi masalah seperti itu dibutuhkan teknik isolasi yang baik terhadap kabel yang dikubur dalam tanah.

Tanah harus dianalisis terlebih dahulu sebelum logam-logam dimasukkan ke dalamnya, karena tanah dapat mengandung berbagai macam asam, zat-zat kimia dan mineral-mineral yang korosif. Setelah dianalisis, kita dapat menentukan usaha perlindungan yang tepat terhadap logam-logam tersebut dari serangan korosi di dalam tanah.

4. Zat-zat kimia

Zat-zat kimia yang dapat menyebabkan korosi antara lain adalah asam, basa dan garam baik dalam bentuk cair, padat maupun gas. Pada umumnya korosi oleh zat-zat kimia pada suatu material dapat terjadi bila material mengalami kontak langsung dengan zat-zat kimia tersebut.

J. Bentuk-bentuk korosi

Korosi dapat dibagi menjadi delapan jenis berdasarkan bentuknya diantaranya; korosi merata, korosi galvanik, korosi celah, korosi sumuran, korosi batas butir, korosi kavitasi, korosi erosi, dan korosi regangan (Fontana, 1986).

1. Korosi merata (*uniform corrosion*)

Korosi merata merupakan bentuk korosi yang sering terjadi dan banyak dijumpai pada besi yang mengalami perendaman dalam larutan asam. Logam besi akan menjadi tipis secara merata pada permukaannya dengan kecepatan yang hampir sama, sehingga daerah-daerah anoda dan katoda tersebar pada seluruh permukaan. Contohnya sebatang besi (Fe) atau seng (Zn) direndam dalam larutan H_2SO_4 . Keduanya akan larut dengan laju yang merata pada permukaan logam.

2. Korosi galvanik (*galvanic corrosion*)

Korosi galvanik terjadi karena perbedaan potensial antara dua logam yang tidak sama, bila kedua logam ini bersinggungan akan menghasilkan aliran elektron di antara kedua logam tersebut. Logam yang lebih mulia bersifat katodik dan akan diserang korosi lebih kecil, sedangkan logam yang kurang mulia bersifat anodik dan akan lebih mudah diserang korosi.

3. Korosi celah (*crevice corrosion*)

Korosi ini terjadi pada suatu logam di daerah yang berhubungan langsung dengan bahan lain yang bukan logam. Umumnya terjadi karena terdapat perbedaan konsentrasi larutan atau konsentrasi oksigen, sehingga menyebabkan adanya perbedaan potensial oksidasi pada logam tersebut.

4. Korosi sumuran (*pitting corrosion*)

Korosi sumuran adalah bentuk penyerangan korosi setempat yang menghasilkan sumur pada logam di tempat tertentu. Logam mula-mula terserang korosi pada suatu titik dipermukaannya atau pada daerah tertentu yang sangat kecil dan diteruskan menuju ke dalam logam. Penyebab korosi sumuran yang paling umum adalah serangan selektif terhadap logam di tempat-tempat yang lapisan pelindung permukaannya tergores atau pecah akibat perlakuan mekanik. Korosi ini terjadi pada permukaan oksida pelindung logam yang terjadi sebagai stimulasi dari reaksi anoda aktivasi anion dan reaksi katoda melalui kehadiran agen pengoksidasi dan melalui permukaan katoda efektif dengan polarisasi rendah. Korosi sumuran akan terjadi jika logam memenuhi potensial korosi minimum yang selanjutnya disebut sebagai *potensial pitting*.

5. Korosi batas butir (*intergranular corrosion*)

Korosi batas butir merupakan korosi yang terjadi pada batas butir logam. Dalam hal ini timbul keretakan pada logam akibat korosi melalui batas butir. Retak yang ditimbulkan korosi jenis ini disebut *stress corrosion cracking* (SCC) yang terdiri atas retak *intergranular* dan retak *transgranular*. Retak *intergranular* berjalan sepanjang batas butir, sedangkan retak *transgranular* berjalan tanpa menyusuri batas butir tersebut.

6. Korosi kavitasi

Korosi kavitasi terjadi karena tingginya kecepatan cairan yang menciptakan daerah-daerah bertekanan tinggi dan rendah secara berulang-ulang pada

permukaan peralatan cairan tersebut mengalir. Maka terjadi gelembung-gelembung uap air pada permukaan tersebut, yang apabila pecah kembali menjadi cairan akan menimbulkan pukulan pada permukaan yang cukup besar untuk memecahkan film oksida pelindung permukaan. Akibatnya bagian permukaan yang tidak terlindungi terserang korosi.

7. Korosi erosi (*erosion corrosion*)

Korosi erosi disebabkan oleh gabungan peristiwa korosi dan korosi akibat aliran fluida sehingga proses korosi lebih cepat. Korosi ini dicirikan oleh adanya gelombang, lembah yang biasanya merupakan suatu pola tertentu.

8. Korosi regangan (*stress corrosion*)

Gaya-gaya seperti tarikan (*tensile*) atau kompresi (*compressive*) berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan. Adanya kombinasi antara regangan tarik (*tensile stress*) dan lingkungan yang korosif, maka akan terjadi kegagalan material berupa retakan yang disebut retak korosi regangan.

K. Inhibitor korosi

Inhibitor korosi adalah suatu senyawa organik atau anorganik yang apabila ditambahkan dalam jumlah relatif sedikit kedalam sistem logam-media elektrolit akan menurunkan laju korosi logam (Fontana, 1986). Senyawa inhibitor ini dapat diadsorpsi oleh logam dari larutan penyebab korosi. Inhibitor korosi larut dalam air dan membentuk lapisan yang tidak larut pada permukaan logam yang

diproteksi dengan ketebalan tidak lebih dari suatu nanolayer. Lapisan ini disebut pelindung dan penghambat reaksi korosi dengan cara menghindari ion-ion logam atau reduksi oksigen terlarut pada permukaan logam. Fungsi lapisan ini berhubungan erat dengan efek penghambat korosi.

Mekanisme kerja inhibitor korosi ini diawali dengan proses adsorpsi pada permukaan logam, kemudian menutupi permukaan yang dapat mencegah proses elektrokimia. Efisiensi meningkat dengan bertambahnya permukaan yang tertutup. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi adsorpsi inhibitor, yaitu muatan pada permukaan logam, gugus fungsi dan struktur inhibitor, interaksi inhibitor dengan molekul air dan reaksi lain pada inhibitor. Inhibitor yang dapat digunakan diantaranya adalah amina, natrium nitrit, natrium hidrogen, natrium hidrogen fosfat, natrium silika dan boraks. Dalam penelitian ini yang digunakan sebagai inhibitor adalah turunan senyawa organotimah(IV) benzoat yang meliputi trifeniltimah(IV) benzoat dan difeniltimah(IV) dibenzoat.

Ada beberapa kemungkinan mekanisme penghambatan korosi oleh turunan senyawa organotimah(IV) yang dapat ditentukan berdasarkan kajian struktur, gugus aktif, dan kesterikan senyawa. Kemungkinan pertama yaitu interaksi baja pada elektroda kerja. Interaksi ini mungkin terjadi ketika anoda mengalami oksidasi, Fe lepas sebagai Fe^{2+} dan sumber elektron eksternal mengalir pada baja menyebabkan baja cenderung elektronegatif. Dalam deret volta, nilai potensial reduksi standar Sn lebih tinggi dibanding dengan Fe sehingga diharapkan baja akan lebih sulit terkorosi.

Kemungkinan kedua yaitu senyawa organotimah dapat mengganggu reaksi yang terjadi pada katoda melalui interaksi antara Sn, baik pada senyawa awal maupun senyawa akhir yang telah terinduksi elektropositif dengan adanya gugus fenil maupun gugus penarik elektron lain yang terikat pada ligan dengan oksigen bebas dalam larutan. Jika populasi oksigen bebas dalam larutan berkurang, maka proses reduksi oksigen oleh asam yang terjadi dalam katoda menjadi lebih lambat. Sehingga reaksi oksidasi pada anoda pun juga akan terhambat, dan proses korosi cenderung terjadi lebih lambat (Afriyani, 2014).

Pada penelitian sebelumnya senyawa kompleks trifeniltimah(IV) karboksilat memiliki nilai efisiensi lebih besar dibandingkan dengan senyawa kompleks difeniltimah(IV) karboksilat (Afriyani, 2014; Anggraini, 2014). Hal ini disebabkan senyawa difeniltimah(IV) karboksilat memiliki struktur molekul yang cenderung simetri dengan dua ligan yang sama terikat pada atom pusat timah. Sedangkan senyawa trifeniltimah(IV) karboksilat merupakan senyawa asimetri. Struktur asimetri ini yang justru lebih disukai karena banyaknya gugus fenil yang terikat pada atom pusat timah (Rastogi *et al*, 2011). Fenil merupakan gugus penarik elektron yang baik (Fessenden dan Fessenden, 1986), sehingga timah yang terinduksi elektropositif oleh gugus fenil lebih banyak cenderung akan lebih elektropositif sehingga akan meningkatkan kemampuannya untuk bereaksi dengan senyawa lain dalam proses penghambatan korosi.

Berdasarkan mekanisme proteksinya, inhibitor di bagi dalam beberapa jenis yaitu inhibitor anodik, katodik, campuran dan teradsorpsi (Fahrurrozie, 2009). Berikut ini jenis-jenis inhibitor dan mekanisme proteksinya:

a. Inhibitor anodik

Inhibitor yang menurunkan lajunya dengan cara menghambat transfer ion-ion logam ke dalam larutan karena berkurangnya daerah anoda akibat pasivasi.

Inhibitor anodik disebut juga inhibitor antar muka.

b. Inhibitor katodik

Inhibitor yang menurunkan laju korosi dengan cara salah satu tahap pada proses katodik seperti pembebasan ion-ion hidrogen dan penangkapan oksigen.

Inhibitor katodik disebut juga inhibitor antarfasa.

c. Inhibitor campuran

Inhibitor yang menurunkan laju korosi dengan cara menghambat proses anodik dan katodik secara bersamaan.

d. Inhibitor teradsorpsi

Merupakan jenis inhibitor senyawa-senyawa organik. Inhibitor teradsorpsi yaitu inhibitor yang menurunkan laju korosi dengan cara mengisolasi permukaan logam dari lingkungan korosif melalui pembentukan film teradsorpsi. Adsorpsi yang terjadi diakibatkan oleh sifat muatan atau kepolaran molekul organik atau spesi ionik yang membentuk film permukaan secara fisikosorpsi, dan distabilkan melalui kemisorpsi, atau bahkan secara kemisorpsi sempurna. Terdapat tiga cara yang dilakukan inhibitor teradsorpsi terhadap permukaan logam yaitu :

- Pembentukan penghalang secara fisika atau kimia.
- Isolasi langsung situs- situs anodik dan katoda, dan
- Berinteraksi dengan medium reaksi korosi.

Kemampuan inhibisi korosi dari senyawa karbon bergantung pada sifat adsorpsi dan konsentrasi inhibitor teradsorpsi dalam melindungi permukaan logam media korosif atau memodifikasi reaksi elektroda dari pelarutan logam pada proses anodik. Adanya adsorpsi senyawa organik pada permukaan elektroda memberikan informasi tentang lapis rangkap listrik, kinetika transfer elektron, dan peranan antar media dalam mekanisme inhibisi dari proses elektroda. Seperti pada sintesis elektroorganik dan elektroplating. Adsorpsi sangat bergantung pada sifat fisika dan kimia dari molekul inhibitor, seperti gugus fungsi, faktor sterik, sifat aromatis, rapat elektron atom donor, dan karakter orbital π dari donor elektron (Fahrurrozie, 2009).

Pendekatan secara termodinamika merupakan teknik utama dalam menentukan mekanisme inhibisi korosi melalui adsorpsi isothermal berdasarkan nilai energi bebas adsorpsi. Jika energi bebas yang terlihat lebih dari 40 kJ.mol^{-1} dikategorikan sebagai adsorpsi kimia (kemisorpsi), jika kurang dari 20 kJ.mol^{-1} dikategorikan sebagai adsorpsi fisik (fisiosorpsi) atau gaya Van der Waals.

Umumnya inhibitor korosi dari senyawa karbon yang mengandung atom nitrogen atau sulfur bekerja dengan cara teradsorpsi pada permukaan logam. Adsorpsi secara fisika bergantung pada fraksi penutupan permukaan, karakter lapisan pelindung teradsorpsi pada antarmuka logam atau media, karakter interaksi antara molekul-molekul inhibitor dengan atom-atom pada permukaan elektroda (Scendo *et al.*, 2003). Sedangkan adsorpsi secara kimia dipengaruhi oleh jumlah elektron π dan atau pasangan elektron bebas baik pada atom nitrogen maupun atom sulfur

dalam molekul inhibitor yang ditransfer kepada orbital-d dari atom-atom besi hingga terbentuk senyawa kompleks.

L. Metode Analisis Korosi

Pada penelitian ini analisis korosi dilakukan dengan metode polarisasi potensiodinamik. Polarisasi Potensiodinamik adalah metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik/katodik. Korosi logam terjadi jika terdapat arus anodik yang besarnya sama dengan arus katodik, walaupun tidak ada arus yang diberikan di luar sistem. Hal ini disebabkan ada perbedaan potensial antara logam dan larutan sebagai lingkungannya (Sunarya, 2008).

Data yang diperoleh dari metode ini adalah kurva polarisasi anodik/katodik yang menyatakan hubungan antara arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) sebagai fungsi potensial (mV). Selanjutnya kurva tersebut diekstrapolasi menggunakan metode analisis *Tafel* untuk dapat menentukan laju korosi yaitu melalui Persamaan 18.

$$R_{mpy} = 0,13 I_{corr} \frac{e}{\rho} \dots\dots\dots (18)$$

dengan

R_{mpy} : laju korosi (*mili inch/year*)

I_{corr} : densitas arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

e : berat ekuivalen material (g)

ρ : densitas material (g/cm^3) (Butarbutar dan Febrianto, 2009).

Sedangkan besarnya efisiensi inhibitor dalam menghambat korosi dapat diperoleh berdasarkan Persamaan 19.

$$\% \text{ proteksi}(\%EI) = \frac{I_{corr_0} - I_{corr_i}}{I_{corr_0}} \times 100 \dots \dots \dots (19)$$

dengan

%EI : persentase efektivitas penghambatan

I_{corr_0} : arus sebelum ditambahkan inhibitor

I_{corr_i} : arus sesudah ditambahkan inhibitor (Rastogi *et al.*, 2005).

Analisis *Tafel* digunakan untuk menentukan besarnya logaritma normal dari nilai kerapatan arus ($\ln |J|$) dengan *overpotensial* (η) yang selanjutnya diekstrapolasi ke dalam bentuk grafik. Melalui grafik yang diperoleh antara laju selusur katoda dan anoda, ditentukan titik potong ($\ln |J|$) kedua grafik tersebut pada $\eta=0$. Nilai $\ln |J|$ tersebut selanjutnya dieksponeensialkan sehingga diperoleh nilai kerapatan arus korosi (J_{corr}). Nilai kerapatan arus korosi selanjutnya dikalikan dengan luas permukaan elektroda kerja terukur untuk menentukan besarnya arus korosi (I_{corr}) sesuai dengan Persamaan 20.

$$I_{corr} = J_{corr} \times A \dots \dots \dots (20)$$

dengan

I_{corr} : Besaran arus korosi (mA)

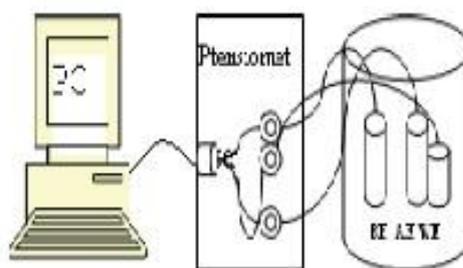
J_{corr} : Kerapatan arus korosi (mA/cm²)

A : Luas permukaan elektroda kerja terukur (cm²) (Afriyani, 2014)

Berdasarkan ekstrapolasi *Tafel* ini dapat diketahui dominasi reaksi yang terjadi antara anodik dan katodik. Jika potensial anodik dapat bergeser ke arah negatif maka polarisasi atau reaksi anodik yang berperan ditandai dengan terjadinya oksidasi pada baja karbon. Namun jika potensial korosi bergeser ke arah positif maka reaksi katodik yang berperan ditandai dengan terjadinya reduksi ion-ion H^+ yang banyak (Fahrurrozie, 2009).

M. *Integrated Potentiostat System*

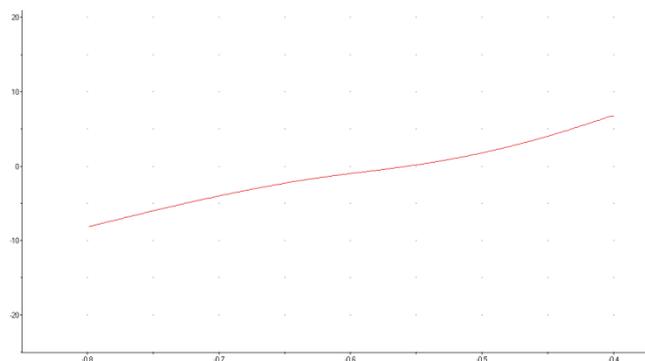
Instrumentasi *Integrated Potentiostat System* eDAQ terdiri dari potensiostat dan *E-chem*, seperti pada Gambar 5. Potensiostat berfungsi untuk mengontrol tegangan elektroda yang kemudian direkam datanya oleh *e-corder*. Sedangkan *E-chem* berfungsi dalam menampilkan data dalam bentuk grafis untuk selanjutnya dianalisis. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafis, kemudian diolah dengan metoda analisis *Tafel* untuk mendapatkan arus korosi. Arus korosi ini kemudian dapat dikonversi menjadi laju korosi.



Gambar 5. Sketsa Instrumentasi eDAQ dan benda uji

(Butarbutar dan Febrianto, 2009)

Potensiometri atau biasa dikenal dengan voltametri adalah metode analisis kimia yang memberikan informasi analit berdasarkan hubungan arus (ampere) dengan tegangan listrik (voltase) pada waktu proses elektrolisis sedang berlangsung. Hubungan arus dengan tegangan listrik dapat dinyatakan dalam voltammogram seperti contoh pada Gambar 6. Dari voltammogram dapat diperoleh informasi mengenai analit seperti kinetika kimia yang dapat ditinjau dari karakterisasi suatu bahan. Parameter analisis kimia kualitatifnya adalah nilai E_0 yang menyatakan besarnya potensial reduksi standard elektroda, sedangkan parameter analisis kimia kuantitatifnya ditinjau dari besarnya arus (Qudus, 2009).



Gambar 6. Contoh voltammogram selusur tunggal

Dalam pengukuran, umumnya digunakan 3 jenis elektroda yang terhubung ke alat potensiostat melalui kabel penghubung, kabel berwarna hijau terhubung ke elektroda kerja, kabel merah terhubung ke elektroda bantu sedangkan kabel kuning terhubung ke elektroda acuan/pembanding (eDAQ, 2011). Fungsi masing-masing elektroda antarlain sebagai berikut:

- Elektroda kerja (*working electrode*): elektroda ini dibentuk dari logam

benda uji yang akan diteliti berfungsi untuk melakukan proses elektrolisis.

- Elektroda bantu (*auxiliary electrode*): menyempurnakan proses faraday/elektrosisis, jika elektrode kerja sedang melakukan oksidasi, maka elektrode bantu melakukan reduksi atau sebaliknya, melindungi elektrode acuan akibat pengaruh arus listrik dengan cara membagi arus listrik yang melewati elektrode acuan.
- Elektroda acuan (*reference electrode*): Sebagai potensial acuan untuk menyatakan potensial analit yang muncul pada voltammogram (Qudus, 2009).

Prinsip kerja alat potensiostat adalah ketika sel dialiri arus, maka akan terjadi pergerakan elektron sehingga elektroda kerja mengalami proses elektrolisis (misal mengalami oksidasi) pada saat tersebut elektroda bantu menyempurnakan proses elektrolisis dengan mengalami proses reduksi sehingga menyebabkan terjadinya perubahan beda potensial. Nilai potensial dalam sel diperoleh sebagai hasil perbandingan dengan elektroda acuan. Beda potensial yang terukur diterima oleh alat kemudian setelah melalui proses konversi, data yang diperoleh dikirim ke rekorder untuk diterjemahkan ke *output* dalam bentuk voltammogram pada komputer.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November sampai Januari 2015 di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik. Analisis senyawa menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA Universitas Lampung dan analisis senyawa menggunakan spektrofotometer *IR* dilakukan di Laboratorium Instrumentasi FMIPA Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Analisis unsur dengan menggunakan *microelemental analyzer* dilakukan di *School of Chemical and Food Technology*, Universiti Kebangsaan Malaysia. Sedangkan pengujian aktivitas antikorosi dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas dalam laboratorium, *hot plate stirrer*, termometer, neraca analitik, satu set alat refluks, desikator, spektrofotometer *IR* (karakterisasi), spektrofotometer *UV-Vis* (karakterisasi), *microelemental analyzer* (analisis unsur) dan pengujian korosi

dilakukan dengan alat ER466 *Integrated Potentiostat System* eDAQ dan analisis kualitatif permukaan baja dilakukan dengan mikroskop.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zat-zat kimia dengan PA (*Pro Analysis*) yang terdiri dari: akuades, *water HPLC*, metanol, $(C_6H_5)_3SnOH$, $(C_6H_5)_2SnO$, HCl, aseton, DMSO ($(CH_3)_2SO$), NaCl 3,65%, asam benzoat, serta plat baja lunak tipe HRP.

C. Cara Kerja

Prosedur umum untuk sintesis senyawa $R_2Sn(OOCR)_2$ ataupun $R_3Sn(OOCR)$ dengan R baik alkil maupun fenil dilakukan berdasarkan prosedur yang telah digunakan sebelumnya (Hadi *et al.*, 2009; Hadi and Rilyanti, 2010; Hadi *et al.*, 2012) yang merupakan hasil adaptasi dari Szorcsik *et al.* (2002). Sedangkan prosedur uji aktivitas antikorosi dilakukan berdasarkan prosedur yang telah dilakukan oleh Afriyani (2014) dan Aini (2015). Skema lengkap tahap penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 1.

1. Sintesis Senyawa Trifeniltimah(IV) Benzoat

Trifeniltimah(IV) hidroksida [$(C_6H_5)_3SnOH$] sebanyak 1,101 gram direaksikan dengan asam benzoat (C_6H_5COOH) sebanyak 0,368 gram (perbandingan mol 1:1) dalam 30 mL pelarut metanol *p.a.* dan direfluks selama 4 jam pada suhu $60^\circ C$. Setelah reaksi sempurna, metanol diuapkan dalam desikator sampai diperoleh kristal kering. Kristal hasil sintesis dikarakterisasi dengan spektrofotometer *IR*,

microelementer analyzer, dan spektrofotometer *UV-Vis* yang diukur pada panjang gelombang 190-380 nm (Sudjadi,1985).

2. Sintesis Senyawa Difeniltimah(IV) dibenzoat

Difeniltimah(IV) oksida $[(C_6H_5)_2SnO]$ sebanyak 0,866 gram direaksikan dengan asam benzoat (C_6H_5COOH) sebanyak 0,732 gram (perbandingan mol 1:2) dalam 30 mL pelarut metanol *p.a.* dan direfluks selama 4 jam pada suhu $60^\circ C$. Setelah reaksi sempurna, metanol diuapkan dalam desikator sampai diperoleh kristal kering. Kristal hasil sintesis dikarakterisasi dengan spektrofotometer *IR*, *microelementer analyzer*, spektrofotometer *UV-Vis* yang diukur pada panjang gelombang 190-380 nm (Sudjadi,1985).

3. Preparasi Baja Lunak

Preparasi baja lunak dilakukan dengan memotong pelat berukuran (2x1) cm serta mengamplasnya dengan kertas abrasif mulai dari grit 240, 360, 400, 500, 600 sampai dengan grit 800. Setelah permukaan baja lunak homogen selanjutnya mencuci dengan akuades, larutan HCl encer dan aseton secara berturut-turut. Kemudian mengukur luas permukaan dan menimbang massa baja sehingga siap digunakan untuk menguji aktivitas antikorosi senyawa turunan organotimah(IV) benzoat.

4. Pembuatan Medium Korosif

Medium korosif yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah larutan NaCl 0,1 M. Larutan NaCl 0,1 M dibuat dengan melarutkan kristal NaCl sebanyak 5,85

gram ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan aquades hingga batas tera dan dihomogenkan.

5. Pembuatan Larutan Inhibitor

Larutan inhibitor dibuat dengan melarutkan 0,01 gram zat baik senyawa awal, ligan maupun senyawa hasil sintesis dalam 1,25 mL DMSO *p.a.* Selanjutnya setelah padatan terlarut sempurna ditambahkan dengan *water* HPLC hingga volume larutan tepat 25 mL dan diperoleh larutan stok inhibitor dengan konsentrasi 400 mg/L. Pembuatan larutan dengan variasi konsentrasi inhibitor 20, 40, 60, 80, dan 100 mg/L dilakukan dengan metode pengenceran menggunakan pelarut DMSO 5 % (Afriyani, 2014). Pelarut DMSO 5% dibuat dengan cara menyiapkan 5 mL DMSO dalam labu takar 100 mL lalu ditambahkan dengan *water* HPLC sampai batas tera.

6. Pengujian Korosi

Aktivitas antikorosi senyawa turunan organotin(IV) benzoat diukur dengan metode polarisasi potensiostatik dengan ER466 *Integrated Potentiostat System* eDAQ yang terdiri dari tiga elektroda, yaitu elektroda pembanding AgCl, elektroda bantu platina (Pt), dan elektroda kerja baja lunak. Sebelum melakukan pengujian, terlebih dahulu membilas elektroda bantu dan elektroda acuan dengan aquades serta mencuci elektroda kerja dengan aquades, HCl dan aseton secara berturut-turut. Selanjutnya merangkai dan mencelupkan elektroda-elektroda ke dalam larutan medium korosif sebagai elektrolitnya dan menghubungkannya pada alat potensiostat.

Langkah pertama yang akan dilakukan adalah mengukur laju korosi tanpa inhibitor dengan membiarkan ketiga elektroda tersebut selama 10 menit dalam medium larutan NaCl 0,1 M. Selanjutnya yaitu pengukuran laju dengan penambahan inhibitor senyawa turunan organotin(IV) benzoat dengan variasi masing-masing konsentrasi larutan inhibitor 0, 20, 40, 60, 80, 100 mg/L.

Pengaturan potensial akan dilakukan dengan mode selusur tunggal dengan besar initial 400 mV dan final 800 mV untuk pengukuran potensial anoda. Sedangkan -400 mV dan final -800 mV untuk pengukuran potensial katoda seperti yang dilakukan oleh Afriyani (2014) dan Aini (2015). Batasan arus pada keseluruhan pemindaian adalah 100 mA. Hal ini disebabkan karena pada pemindaian anoda, menunjukkan nilai arus yang sangat tinggi melebihi 50 mA sehingga digunakan rentang arus 100 mA untuk menghindari arus yang *overflow* sehingga akan mempengaruhi hasil pemindaian. Waktu pemindaian yang dibutuhkan untuk melakukan sekali pemindaian baik anoda maupun katoda adalah 200 s.

7. Analisis Data

Analisis *Tafel* akan dilakukan dengan *Microsoft Office Excel 2010* sehingga diperoleh data η dan $\ln |j|$ dari anoda dan katoda. Kemudian ditentukan titik potong $\ln |J|$ kedua grafik tersebut pada nilai $\eta_c = 0$. Nilai $\ln |J|$ tersebut selanjutnya dieksponensialkan sehingga diperoleh nilai kerapatan arus korosi (J_{corr}). Nilai kerapatan arus korosi selanjutnya dikalikan dengan luas permukaan elektroda kerja terukur untuk menentukan besarnya arus korosi (I_{corr}). Dari nilai tersebut selanjutnya dapat ditentukan besarnya laju korosi dan % efisiensi inhibisi menurut Persamaan 18 dan 19.

8. Analisis Kualitatif Korosi

Setelah dilakukan analisis laju korosi dengan menggunakan metode potensiodinamik, maka diperoleh data mengenai inhibitor yang memiliki tingkat proteksi tertinggi. Kemudian baja lunak yang digunakan dalam pengujian menggunakan larutan inhibitor dengan tingkat proteksi terbaik tersebut diamati permukaannya dengan menggunakan mikroskop dibandingkan dengan baja yang diinteraksikan dengan mesium korosif tanpa inhibitor sehingga diperoleh perbandingan kondisi permukaan baja.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Hasil sintesis senyawa difeniltimah(IV) dibenzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat berupa padatan putih dengan rendemen masing-masing sebesar 89,49% dan 83,51%.
2. Sintesis senyawa difeniltimah(IV) dibenzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat telah berhasil dilakukan dengan karakterisasi menggunakan spektrofotometer *UV-Vis*, spektrofotometer *IR*, dan analisis unsur dengan menggunakan *microelemental analyzer* menunjukkan bahwa senyawa hasil sintesis adalah murni.
3. Senyawa hasil sintesis difeniltimah(IV) dibenzoat maupun trifeniltimah(IV) benzoat memiliki kemampuan dalam menghambat korosi yang cukup tinggi dibuktikan dengan nilai efisiensi inhibisi pada penambahan inhibitor dengan konsentrasi 100 mg/L berturut-turut 77,4% dan 79,79 % dengan nilai laju korosi sebesar 1,37 Rmpy dan 1,26 Rmpy.

4. Senyawa difeniltimah(IV) benzoat dan trifeniltimah(IV) benzoat berperan sebagai inhibitor anodik dibuktikan dengan kurva polarisasi anodik kedua senyawa yang menunjukkan penurunan nilai arus korosi pada baja lunak.
5. Berdasarkan analisis kualitatif permukaan baja lunak menunjukkan bahwa senyawa trifeniltimah(IV) benzoat mampu menghambat korosi sumuran (*pitting*) yang terjadi pada permukaan baja lunak.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka untuk penelitian yang selanjutnya disarankan untuk menentukan nilai ΔG reaksi sehingga dapat diketahui mekanisme penghambatan korosi yang terjadi secara pasti.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyani, H. 2014. Kajian Aktivitas Antikorosi Beberapa Senyawa Turunan Organotimah(IV) 3-Nitrobenzoat pada Baja Lunak dalam Medium Korosif DMSO-HCl. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 76 hlm.
- Aini, A.N.2015. Sintesis dan Karakterisasi Serta Uji Aktivitas Antikorosi Senyawa Turunan Organotimah(IV) 3-Amino Benzoat Pada Baja Lunak dalam Medium Korosif. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Amanto, H dan Daryanto. 2006. *Ilmu Bahan. Penerbit Bumi Aksara*. Jakarta.
- Anggraini, W. D. 2014. Kajian Senyawa Turunan Organotimah(IV) 2-Nitrobenzoat Sebagai Inhibitor Korosi pada Baja Lunak dalam Medium Korosif. [*Skripsi*]. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 95 hlm.
- Aryani, S. D. 2013. Sintesis dan Karakterisasi serta Uji Pendahuluan Aktivitas Antikanker Beberapa Senyawa Organotimah(IV) 3-Nitrobenzoat terhadap Sel Leukemia L-1210. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Blunden, S.J., P. A. Cusack, R. Hill. 1987. *in The Industrial Uses of Tin Chemicals*. The Royal Society of Chemistry. London.
- Blunden, S.J. and R. Hill. 1987. *in Surface Coating I*. Wilson, A.D., J.W Nicholson,. and H.J. Prosser. (Eds). Elsevier Applied Science Publisher, pp. 17 – 167.

- Blunden, S.J. and R. Hill. 1991. Bis(tributyltin) Oxide as a Wood Preservative: Its Conversion to Tributyltin Carboxylates in *Pinus sylvestris*. *Applied Organometallic Chemistry*, 4: 63-68.
- Bonire, J. J., G. A., Ayoko, P. F., Olurinola, J. O., Ehinmidu, N. S. N., Jalil, and A. A., Omachi. 1998. Synthesis and Antifungal Activity of Some Organotin(IV) Carboxylates. *Metal-Based Drugs*. 5 (4): 233-236.
- Butarbutar, S. L. dan Febrianto. 2009. Pengujian Mesin eDAQ untuk Mengukur Laju Korosi. *Sigma Epsilon*. 13 (2): 54-58.
- Chang, R. 2005. Kimia Dasar Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 1. Erlangga. Jakarta
- Costech Analytical Technologies. 2011. *Elemental Combustion System CHNS*. <http://costechanalytical.com/>. Diakses pada 28 Desember 2014.
- Cotton, F. A. dan G. Wilkinson. 2007. *Kimia Anorganik Dasar* alih bahasa S. Suharto. Penerbit UI Press. Jakarta.
- Dalimunthe, I.S. 2004. Kimia dari Inhibitor Korosi.e-USU Repository. Medan.
- Day, R.A. dan A.L. Underwood. 1998. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Keenam*. Alih bahasa A.H. Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta.
- De Vos, D., R., Willem, M., Gielen, K. E., Van Wingerden, and K., Nooter. 1998. The Development of Novel Organotin Anti-Tumor Drugs: Structure and Activity. *Metal Based Drugs*. 5 (4): 179-188.
- Fahrurrozie, A. 2009. Efisiensi Inhibisi Cairan Ionik Turunan Imidazolin Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon dalam Larutan Elektrolit Jenuh Karbon Dioksida. *[Skripsi]*. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Fessenden, R. J. dan J. S. Fessenden. 1982. *Kimia Organik Dasar*. Jilid 2. Terjemahan oleh A. H. Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta.
- Fontana, M.G. 1986. *Corrosion Engineering, Third Edition*. McGraw Hill Book Company. New York.

- Gielen, M. 2003. An Overview of Forty Years Organotin Chemistry Developed at the Free Universities of Brussels ULB and VUB. *Journal Brazilian Chemical Society*. 14 (6): 870-877.
- Greenwood, N.N. and A. Earnshaw. 1990. *Chemie der Elemente*. Willey-VCH Verlagsgesellschaft mbH. Weinheim.
- Hadi, S., M. Rilyanti, Nurhasanah. 2009. Comparative Study on the Antifungal Activity of Some Di- and Tributyltin(IV) Carboxylate Compounds. *Modern Applied Science*. 3 (2): 12-17.
- Hadi, S. and M. Rilyanti. 2010. Synthesis and *In Vitro* Anticancer Activity of some Organotin(IV) Benzoate Compounds. *Oriental Journal of Chemistry*. 26 (3): 775-779.
- Hadi, S., M. Rilyanti and Suharso. 2012. *In Vitro* Activity and Comparative Studies of Some Organotin(IV) benzoate Compounds. *Indonesian Journal of Chemistry*. 12 (1): 172-177.
- Harjono.S. 1992. *Spektroskopi Inframerah Edisi Pertama*. Liberty. Yogyakarta.
- Haryono, G., B. Sugiarto., H. Farid., dan Y. Tanoto. 2010. Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi. *Prosiding Seminar nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. 189-194.
- Jain, M. G., K., Agarwal, and R. V., Singh. 2003. Studies on Nematicidal, Fungicidal, and Bacterial Activities of Organotin(IV) Complexes with Heterocyclic Sulphonamide Azomethine. *Chemistry: An Indian Journal*. 1: 378-391.
- Jones, Denny A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. Singapore: Macmillan Publishing Company.
- Mahmood, S., S., Ali, M. H., Bhatti, M., Mazhar, and R., Iqbal. 2003. Synthesis, Characterization, and Biological Applications of Organotin(IV) Derivates of 2-(2-Fluoro-4-biphenyl) Propanoic Acid. *Turkish Journal Chemistry*. 27: 657-666.

- Marcus, P. 2012. *Corrosion Mechanism in Theory and Practice*. CRC Press. USA.
- Nurissalam, M. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Trifeniltimah(IV) Klorobenzoat Sebagai Antikorosi Pada Baja Lunak. (Tesis). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Othmer K, (1992), Kroschwitz, J.I., Howe – Grant, M., (EDS.), *Encyclopedia of chemical Technology*, 4th edition. John Wiley & Sons, New York.
- Pellerito, L. and L. Nagy. 2002. Organotin(IV)ⁿ⁺ Complexes Formed with Biologically Active Ligands: Equilibrium and Structural Studies, and Some Biological Aspects. *Coordination Chemistry Reviews*. 224: 111- 150.
- Petruci, R. H. 1999. *Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Modern*. Alih Bahasa oleh Suminar. Erlangga. Jakarta.
- Priest, D. 1992. Measuring Corrosion Rates Fast. *Journal of Chemical Engineering*. Hlm 169-172.
- Purcell, K.F. and F. Keith. 1980. *An Introduction To Inorganic Chemistry*. Souders collage. Philadelphia.
- Rastogi, R.B., M.M. Singh, K. Singh and M. Yadav. 2005. Organotin Dithiohydrazodicarbonamides as Corrosion Inhibitors for Mild Steel Dimethyl Sulfoxide Containing HCl. *Portugaliae Electrochimica Acta*. 22: 315–332.
- Rastogi, R.B., M.M. Singh, K. Singh and M. Yadav. 2011. Organotin Dithiobiuretsas Corrosion Inhibitors for Mild Steel-Dimethyl Sulfoxide Containing HCl. *Afr. J. of Pure Appl. Chem*. 5(2): 19-33.
- Ruzika, A. L., Dostal, R., Jambor, V., Butcha, J., Bruss, I., Cisarova, M., Holcapek, and J., Holecek. 2002. Structure and In Vitro Antifungal Activity of [2,6-Bis(Dimethyl-minomethyl)Phenyl] Diphenyltin(IV) Compounds. *Applied Organometallic Chem*. 16 (6): 315-322.
- Scendo, M., D. Poddebniak and J. Malyszko. 2003. 287-Indole And 5-Chloroindole as Inhibitors of Anodic Dissolution and Cathodic Deposition of Copper in Acidic Chloride Solutions. *Electrochemistry*. 33: 287.

- Szorscik, A., L. Nagy, L. Pellerito, T. Yamaguchi, and K. Yoshida. 2002. Preparation and Structural Studies of Organotin(IV) Complexes Formed with Organic Carboxylic Acids. *Journal Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 256 (1): 3-10.
- Singh, R., P. Chaudhary and N. K. Kaushik. 2010. A Review Organotin Compounds in Corrosion Inhibition. *Reviews in Inorganic Chemistry*. 30 (4): 275-294.
- Sudjadi. 1985. *Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Ghalia Indonesia. Jakarta.
- Sukarjo. 1992. *Kimia Koordinasi*. P.T. Bina Aksara. Jakarta.
- Sunarya, Y. 2008. *Mekanisme dan Efisiensi Inhibisi Sistein pada Korosi Baja Karbon dalam Larutan Elektrolit Jenuh Gas Karbondioksida*. Desertasi. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Tayer, J. 1988. *Organometallic Chemistry and Overview*. VCH Publisher Inc/ United State. P 7, 12, 14.
- Tiekink, E.R.T. 1991. Structural Chemistry of Organotin Carboxylates: a Review of the Crystallographic Literature. *App. Organomet. Chem.* 5: 1-30.
- Trethewey, K.R. and J. Chamberlein. 1991. *Korosi, untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasawan*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Van Der Weij, F. W. 1981. Kinetics and Mechanism of Urethane Formation Catalysed by Organotin Compound. *Journal Science Polymer Chemistry*. 19 (2): 381-388.
- Wilkinson, G. 1982. *Compreherensive Organometallic Chemistry*. International Tin Research Institute, Publication No. 618, Pergamon Press.
- Zor, S. 2002. *The Effects of Benzoic Acid in Chloride Solutions on the Corrosion of Iron and Aluminum*. *Turk J Chem.* 26: 403-408.