

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Organologam**

Senyawa organologam merupakan senyawa dimana minimal terdapat satu atom karbon dari gugus organik yang berikatan langsung dengan logam. Tetapi untuk senyawa yang mengandung ikatan antara atom logam dengan oksigen, belerang, nitrogen, ataupun dengan suatu halogen tidak termasuk sebagai senyawa organologam. 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 kereaktifan senyawaan ionik ditentukan dalam satu bagian oleh

kestabilan ion karbon. Adapun contoh gugus organik dalam garam-garaman tersebut seperti  $(C_6H_5)_3CNa^+$  dan  $(C_5H_5)_2Ca^{2+}$ .

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

Senyawaan 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 keelektronegatifan yang relatif lebih 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 nonklasik**

Dalam banyak senyawaan organologam terdapat suatu jenis ikatan logam pada karbon yang tidak dapat dijelaskan dalam bentuk ionik atau pasangan elektron/kovalensi. Misalnya, salah satu kelas alkil terdiri dari Li, Be, dan Al yang memiliki gugus-gugus alkil berjembatan. Dalam hal ini, terdapat atom 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 senyawanya. Ada kecenderungan untuk memanfaatkan orbital-orbital kosong pada atom B dengan menggabungkannya pada gugus suatu senyawa yang memiliki kelebihan pasangan elektron menyendiri. Senyawa ini terbagi menjadi dua golongan:

1. Senyawa organologam yang terbentuk antara logam-logam transisi dengan alkena, alkuna, benzena, dan senyawa organik tak jenuh lainnya.
2. Senyawa organologam yang memiliki gugus-gugus alkil berjembatan (Cotton dan Wilkinson, 1989).

## **B. Organotimah**

Senyawa organotimah(IV) dikarakterisasi oleh sedikitnya ada satu ikatan kovalen C-Sn. Senyawanya terdiri dari pusat yang tetravalent (Sn) dan diklasifikasikan sebagai mono-, di-, tri-, dan tetra organotimah(IV), tergantung jumlah gugus alkil (R) atau aril (Ar). Anion biasanya  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{-COO}^-$  atau  $\text{-S}^-$ . Aktivitas biologi yang penting ditentukan oleh jumlah dan sifat dasar dari gugus organik yang mengelilingi atom pusat (Sn) (Pellerito *et al.*, 2006).

Hampir semua senyawa organotimah memiliki atom pusat Sn, dengan hibridisasi  $\text{sp}^3$ , yang berikatan secara kovalen dengan 4 gugus maksimum. Timah adalah unsur yang mempunyai jumlah terbesar turunan organologam dalam penggunaannya secara komersial. Penggunaan secara komersial dari timah dan senyawa timah anorganik lebih rendah daripada senyawa organotimah. Kimia U.S. High Production Volume (HPV) memasukkan 31 list senyawa organotimah

(contohnya, bis(tri-n-butiltimah) oksida, trifeniltimah hidroksida, di-n-butiltimah diklorida). Hanya senyawa mono-, di- and tri organotimah yang mempunyai aplikasi dalam skala besar dan tidak beresiko pada kesehatan manusia (Singh *et al.*, 2010).

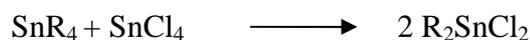
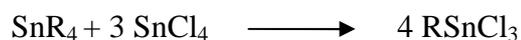
### 1. Senyawa organotimah halida

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 melalui persamaan reaksi:



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 reaksi berikut:



Ketiga persamaan reaksi di atas merupakan reaksi *redistribusi Kocheshkov*. Reaksinya berlangsung dalam atmosfer bebas uap air. Hasil yang diperoleh dengan metode di atas cukup tinggi.

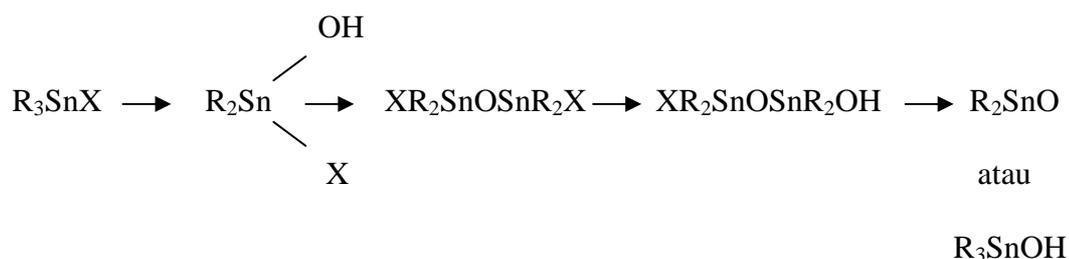
Senyawa organotimah klorida digunakan sebagai kloridanya dengan memakai logam halida lain yang sesuai seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi berikut:



(X = F, Br atau I; M = K, Na, NH<sub>4</sub>) (Wilkinson, 1982).

## 2. Senyawa organotimah hidroksida dan oksida

Produk kompleks yang diperoleh melalui hidrolisis dari trialkiltimah halida dan senyawa yang berikatan R<sub>3</sub>SnX merupakan rute utama pada trialkiltimah oksida dan trialkiltimah hidroksida. Prinsip tahapan intermediet ditunjukkan pada reaksi berikut ini:



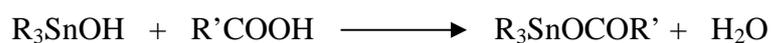
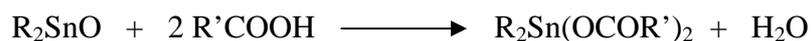
(Wilkinson, 1982).

## 3. Senyawa organotimah karboksilat

Senyawa organotimah karboksilat pada umumnya dapat disintesis melalui dua cara yaitu dari organotimah oksida atau organotimah hidroksidanya dengan asam karboksilat, dan dari organotimah 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. Reaksinya adalah sebagai berikut:



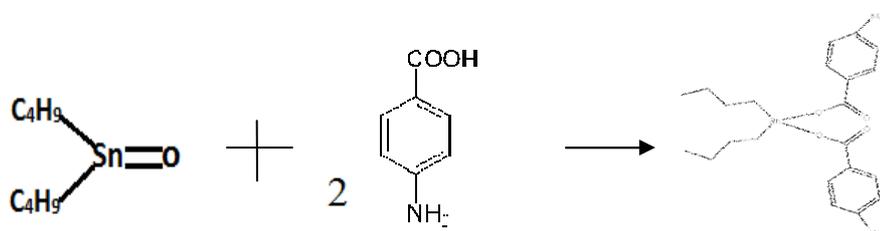
Reaksi esterifikasi dari asam karboksilat dengan organotin oksida atau hidroksida dilakukan melalui dehidrasi azeotropik dari reaktan dalam toluena, seperti ditunjukkan pada reaksi berikut:



(Wilkinson, 1982).

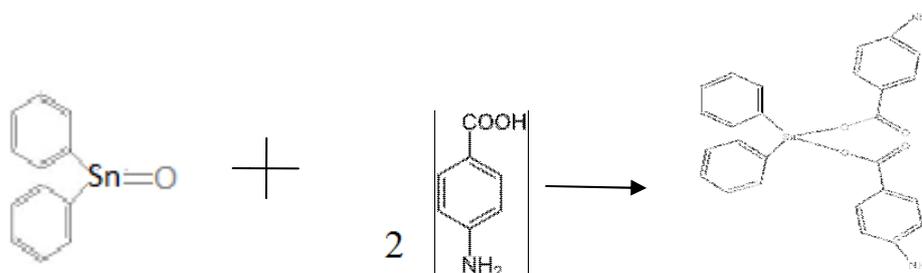
Pada penelitian ini dilakukan sintesis senyawa dibutyltin(IV) di-4-aminobenzoat dan difenyltin(IV) di-4-aminobenzoat seperti reaksi pada Gambar 1 dan 2.

- Reaksi antara dibutyltin(IV) oksida dengan asam 4-aminobenzoat



**Gambar 1.** Reaksi sintesis senyawa dibutyltin(IV) di-4-aminobenzoat

- Reaksi antara difenyltin(IV) oksida dengan asam 4-aminobenzoat



**Gambar 2.** Reaksi sintesis senyawa difenyltin(IV) di-4-aminobenzoat

## C. Analisis Senyawa Organotimah

Pada penelitian yang dilakukan, hasil yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan spektroskopi *IR*, spektroskopi *UV-Vis* dan analisis unsur menggunakan *microelemental analyzer*.

### 1. Analisis spektroskopi *IR* senyawa organotimah

Spektra *IR* memberikan absorpsi yang bersifat aditif atau bisa juga sebaliknya. Sifat aditif disebabkan karena *overtone* dari vibrasi-vibrasinya. Penurunan absorpsi disebabkan karena kesimetrian molekul, sensitifitas alat, dan aturan seleksi. Aturan seleksi yang mempengaruhi intensitas serapan *IR* ialah perubahan momen dipol selama vibrasi yang dapat menyebabkan molekul menyerap radiasi *IR*. Dengan demikian, jenis ikatan yang berlainan (C-H, C-C, atau O-H) menyerap radiasi *IR* pada panjang gelombang yang berlainan. Suatu ikatan dalam molekul dapat mengalami berbagai jenis getaran, oleh sebab itu suatu ikatan tertentu dapat menyerap energi lebih dari satu panjang gelombang. Puncak-puncak yang muncul pada daerah  $4000\text{-}1450\text{ cm}^{-1}$  biasanya berhubungan dengan energi untuk vibrasi uluran diatomik. Daerahnya dikenal dengan *group frequency region* (Sudjadi, 1985).

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

- a. Inframerah dekat, dengan bilangan gelombang antara  $14.300$  hingga  $4.000\text{ cm}^{-1}$ . Fenomena yang terjadi ialah absorpsi *overtone* C-H.
- b. Inframerah sedang, dengan bilangan gelombang antara  $4.000$  hingga

650  $\text{cm}^{-1}$ . Fenomena yang terjadi ialah vibrasi dan rotasi.

- c. Inframerah jauh, dengan bilangan gelombang 650 hingga 200  $\text{cm}^{-1}$ .

Fenomena yang terjadi ialah penyerapan oleh ligan atau spesi lainnya yang berenergi rendah.

Dari daerah *IR* yang luas, yang biasa dikenal dan dipakai untuk spektrofotometri *IR* dengan batas bilangan gelombang ( $\nu$ ) 4000-670  $\text{cm}^{-1}$ . Terdapat dua jenis informasi yang dapat dimanfaatkan dalam spektrum *IR*, yaitu informasi daerah gugus fungsi (4000-1600  $\text{cm}^{-1}$ ). Dengan menggunakan analisis spektroskopi *IR* terhadap senyawa organotimah karboksilat, dapat ditunjukkan adanya serapan vibrasi ulur Sn-O pada bilangan gelombang 600-500  $\text{cm}^{-1}$ . Selain itu dapat pula ditunjukkan beberapa karakteristik absorpsi gelombang *IR* dari asam karboksilat seperti yang terdapat pada Tabel 1.

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

Tipe Getaran	Posisi serapan	
	$\text{cm}^{-1}$	$\mu\text{m}$
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

(Fessenden dan Fessenden, 1986)

## 2. Analisis spektroskopi UV-Vis senyawa organotimah

Panjang gelombang cahaya UV dan tampak jauh lebih pendek daripada panjang gelombang radiasi inframerah. Satuan yang akan digunakan untuk panjang

gelombang cahaya UV dan tampak adalah *nanometer* ( $1 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ cm}$ ). Spektrum tampak terentang dari sekitar 400 nm (ungu) sampai 750 nm (merah), sedangkan spektrum ultraviolet terentang dari 100 sampai 400 nm. Absorpsi cahaya ultraviolet atau cahaya tampak mengakibatkan transisi elektronik, yaitu promosi elektron-elektron dari orbital keadaan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan tereksitasi berenergi lebih tinggi (Fessenden dan Fessenden, 1986).

Di atas 200 nm merupakan daerah eksitasi elektron dari orbital p, d, dan orbital  $\pi$  terutama sistem  $\pi$  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).

Elektron pada ikatan kovalen tunggal terikat dengan kuat dan diperlukan radiasi berenergi tinggi atau panjang gelombang yang pendek untuk eksitasinya. Hal ini berarti suatu elektron dalam orbital ikatan (*bonding*) dieksitasikan ke orbital antiikatan. 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 menggunakan *microelemental analyzer***

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

### **4. Analisis senyawa menggunakan spektrometer *NMR (Nuclear Magnetic Resonance)***

Spektrometri *NMR* atau dalam bahasa Indonesia disebut spektrometri resonansi magnet inti (RMI) berhubungan dengan sifat magnet dari inti atom. Mempelajari molekul senyawa organik secara spektrometri resonansi magnet inti akan memperoleh gambaran perbedaan sifat magnet dari berbagai inti yang ada dan untuk menduga letak inti tersebut dalam molekul. Semua inti bermuatan. Dalam beberapa inti, muatan ini berputar pada sumbu inti dan putaran muatan inti ini menghasilkan suatu dipol magnet sepanjang sumbu dengan momentum ini  $\mu$ . Momentum sudut dari muatan yang berputar dapat dinyatakan dalam bilangan spin  $I$ , bilangan ini mempunyai harga  $0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}$  sampai  $\frac{9}{2}$ , tergantung dari macam

intinya. Inti atom seperti  $^1\text{H}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{13}\text{C}$ , dan  $^{31}\text{P}$  mempunyai bilangan spin  $I = \frac{1}{2}$  dan mempunyai distribusi muatan berbentuk bola yang seragam.

Proton yang terikat pada atom yang bersifat elektronegatif, seperti pada OH, SH, dan NH, pergeseran kimianya dipengaruhi oleh konsentrasi dan suhu. Pada beberapa sistem, dimana ada gugus OH, SH, atau NH dan kecepatan pertukaran proton diantara lingkungan yang berbeda ini dapat lebih lambat dibandingkan dengan waktu transisi diantara tingkat energi magnetik (Sudjadi, 1985).

#### **D. Aplikasi senyawa organotimah**

Senyawa organotimah memiliki aplikasi yang luas dalam kehidupan sehari-hari. Aplikasi senyawa organotimah dalam industri antara lain sebagai senyawa penyetabil polivinilklorida, pestisida nonsistematik, katalis antioksidan, agen *antifouling* dalam cat, penyetabil pada plastik dan karet sintetis, penyetabil 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). Senyawa organotimah yang umum digunakan sebagai katalis dalam sintesis kimia yaitu katalis mono- dan di-organotimah. Senyawa organotimah merupakan katalis yang bersifat homogen yang baik untuk pembuatan polisilikon, poliuretan, dan untuk sintesis poliester (Van der Weij, 1981).

Perkembangan cepat dalam industri (katalis pada PVC dan produksi busa), pertanian (contoh, sebagai fungisida dan acarida, bahan pengawet kayu dan batu, dan lain-lain) dan aplikasi biologi dari senyawa organotin(IV) selama beberapa dekade terakhir diakumulasikan dalam lingkungan dan hasilnya pada sistem biologi. Sehingga, diketahui bahwa senyawa organotin(IV) menampilkan aktivitas biologi yang kuat (Pellerito *et al.*, 2006).

Dalam beberapa penelitian, telah didapat dan diisolasi senyawa organotin(IV) karboksilat yang menunjukkan sifat sebagai anti mikroorganisme sehingga dapat berfungsi sebagai antifungi dan antimikroba (Bonire *et al.*, 1998). Diketahui kompleks di- dan tri-organotin halida dengan berbagai ligan yang mengandung nitrogen, oksigen, dan sulfur memiliki aktivitas biologi dan farmakologi, serta digunakan sebagai fungisida dalam pertanian, bakterisida, dan agen antitumor (Jain *et al.*, 2002).

### **E. Baja lunak**

Baja lunak adalah logam yang paling serbaguna, murah dan secara luas digunakan pada bahan permesinan yang aplikasinya dapat ditemukan dalam berbagai industri. Ini digunakan secara besar-besaran dalam aplikasi kelautan, tenaga nuklir, dan bahan bakar dari fosil tumbuhan, transportasi, proses kimia, produksi bensin dan penyulingan, pipa saluran, pertambangan, konstruksi maupun peralatan pemrosesan logam. Bagaimanapun, daya tahan korosi baja lunak relatif terbatas (Nik *et al.*, 2011).

Baja ringan digunakan dalam suatu lingkungan karena banyak tersedia sehingga mudah mendapatkannya, harganya murah dan memiliki sifat fisik yang sangat baik, namun penggunaan dan daya tahannya dibatasi karena kerentanan terhadap korosi (Durowaye *et al.*, 2014).

## **F. Korosi**

Korosi adalah degradasi atau penurunan mutu logam akibat reaksi kimia suatu logam dengan lingkungannya. Korosi menjadi masalah besar bagi peralatan yang menggunakan bahan dasar logam seperti mobil, jembatan, mesin, pipa, kapal dan lain sebagainya (Asdim, 2007).

Proses korosi merupakan fenomena elektrokimia pada penggunaan bahan logam di berbagai macam kondisi lingkungan. Fenomena ini tentu saja tidak terhindarkan walaupun dapat dihambat dan diharapkan dapat dikendalikan untuk mengurangi dan bahkan mencegah dampak negatifnya. Karena peristiwa korosi merupakan suatu proses elektrokimia, maka metode elektrokimia dapat digunakan untuk mempelajari dan mengukur suatu sistem terkorosi. Bila logam kontak dengan lingkungan yang mengandung air maka akan terjadi reaksi elektrokimia yang karakteristik pada antarmuka antara logam dengan larutan. Permukaan logam akan dilapisi oleh lapisan oksida tipis yang tersebar tidak merata yang mengakibatkan terjadinya beda potensial antara sistem dengan oksidanya menjadi suatu sel elektrokimia. Pada reaksi elektrokimia tersebut menghasilkan suatu potensial yang disebut potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) (Haidir, 2007).

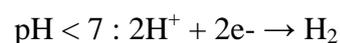
Korosi yang disebabkan oleh garam klorida, asam organik, dan gas CO<sub>2</sub> pada temperatur tinggi merupakan masalah utama pada pertambangan minyak bumi dan gas alam. Dalam sumur produksi minyak bumi, korosi pada permukaan bagian luar pipa dapat ditanggulangi dengan pelapisan atau proteksi katodik, tetapi pada permukaan bagian dalam pipa hanya dapat dikendalikan dengan cara menambahkan inhibitor korosi (Sunarya dkk., 2008).

Terkorosinya suatu logam dalam lingkungan elektrolit (air) adalah suatu proses elektrokimia. Proses ini terjadi bila ada reaksi setengah sel yang melepaskan elektron (reaksi oksidasi pada anodik) dan reaksi setengah sel yang menerima elektron tersebut (reaksi reduksi pada katodik). Kedua reaksi ini akan terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan dinamis dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan jumlah elektron yang diterima. Suatu logam yang dicelupkan pada suatu larutan elektrolit, maka akan terbentuk dua lokasi yang disebut anoda dan katoda. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi dan pada katoda terjadi reaksi reduksi seperti dinyatakan dalam persamaan reaksi di bawah ini.

- Pada anoda, tempat terjadinya reaksi oksidasi dan biasanya terkorosi :



- Pada katoda, tempat terjadinya reaksi reduksi dan tidak mengalami korosi. Dua reaksi penting yang umum terjadi pada katoda, tergantung pH larutan bersangkutan, adalah :



(Butarbutar dan Geni, 2011).

## **G. Jenis-jenis korosi**

Adapun beberapa jenis korosi yang umum terjadi pada logam sebagai berikut.

### **1. Korosi Galvanis**

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 (Fontana, 1986).

### **2. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)**

Korosi sumuran adalah bentuk penyerangan korosi setempat yang menghasilkan sumur pada logam ditempat tertentu (Fontana, 1986). Logam mula-mula terserang korosi pada suatu titik pada permukaannya 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 *potential pitting* (Fontana, 1986).

### **3. Korosi Erosi (*Errosion Corrosion*)**

Korosi erosi disebabkan oleh gabungan peristiwa korosi akibat aliran fluida sehingga proses korosi lebih cepat. Korosi ini dicirikan oleh adanya gelombang, lembah yang biasanya merupakan suatu pola tertentu (Fontana, 1986).

### **4. 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 karat regangan (Fontana, 1986).

### **5. 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 oksida pada logam tersebut (Fontana, 1986).

### **6. Korosi Kavitasi (*Cavitation Corrosion*)**

Terjadi karena tingginya kecepatan cairan 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.

Karena bagian tersebut menjadi anodik terhadap bagian yang terlindungi (Fontana, 1986).

### **7. Korosi Lelah (*Fatigue Corrosion*)**

Bila logam mendapat beban siklus yang berulang-ulang, tetapi masih di bawah batas kekuatan luluhnya, maka setelah sekian lama akan patah karena terjadinya kelelahan logam. Kelelahan dapat dipercepat dengan adanya serangan korosi. Kombinasi antara kelelahan dan korosi yang mengakibatkan kegagalan disebut korosi lelah (Fontana, 1986).

### **8. Korosi batas butir**

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 *strees 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 (Fontana, 1986).

## **H. Faktor-faktor penyebab korosi**

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

## **1. Atmosfer atau udara**

Udara yang dimaksud disini adalah udara luar. Udara luar ini dapat dibedakan atas udara kering dan udara basah (lembab). Udara kering hanya mengandung sedikit sekali uap air, sedangkan udara lembab dapat mengandung lebih banyak uap air. Udara yang kering dan basah, proses korosi berjalan sangat lambat. Logam yang mudah terkena korosi sekalipun seperti baja atau besi akan tahan dalam udara seperti ini, sedangkan pada udara lembab korosi dapat terjadi dengan lebih cepat. Hal ini terjadi karena udara yang jenuh dengan uap air banyak mengandung garam-garam, asam, zat-zat kimia, dan gas-gas (Trethewey dan Chamberlin, 1991).

## **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, karbon dioksida, dan sebagainya, akan mempercepat laju korosi (Trethewey dan Chamberlin, 1991).

### **3. Tanah**

Korosi di dalam tanah selain terjadi pada pipa-pipa dan kabel-kabel juga terjadi pada pondasi-pondasi logam yang terendam di dalamnya. Tiang- tiang baja yang dikubur jauh di dalam tanah yang sudah lama tidak digali, lama sekali terkena korosi, karena kurangnya oksigen dalam tanah. 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 (Trethewey dan Chamberlin, 1991).

### **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 (Trethewey dan Chamberlin, 1991).

## I. Metode Analisis Korosi

### 1. Polarisasi potensiodinamik

Polarisasi potensiodinamik adalah suatu metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik atau katodik. Jika logam berada kontak dengan larutan yang bersifat korosif, maka pada permukaan logam dapat terjadi reaksi reduksi dan reaksi oksidasi secara bersamaan, hal ini disebabkan pada permukaan logam terbentuk banyak mikrosel (mikroanoda dan mikrokatoda). Korosi logam terjadi jika terdapat arus anodik yang besarnya sama dengan arus katodik, walaupun tidak ada arus yang diberikan dari luar sistem. Hal ini disebabkan ada perbedaan potensial antara logam dan larutan sebagai lingkungannya. Beda potensial ini dinamakan sebagai potensial korosi,  $E_{\text{korr}}$  (Sunarya, 2008).

Jika ke dalam sistem sel elektrokimia diberikan arus searah dari luar (sumber DC) atau ditambahkan zat yang dapat mempengaruhi potensial sel, maka potensial logam akan lebih positif atau lebih negatif dibanding potensial korosinya, menghasilkan arus anodik atau katodik. Perubahan potensial dinamakan polarisasi (*over potential*). Karakteristik polarisasi logam ditentukan berdasarkan kurva polarisasi potensiodinamik yang menyatakan aluran respon arus atau log arus sebagai fungsi potensial yang dibangkitkan.

Polarisasi adalah perubahan potensial elektroda setengah sel dari posisi kesetimbangan dengan lingkungannya pada suatu proses elektrodik. Hubungan potensial lebih dan arus dapat digunakan untuk mengungkapkan laju korosi.

Untuk menghitung persentase inhibisi pada metode ini digunakan Persamaan (1):

$$\% \text{ proteksi}(\%EI) = \frac{I_{corr0} - I_{corri}}{I_{corr0}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

dengan %EI adalah persentase efektivitas penghambatan,  $I_{corr0}$  adalah arus sebelum ditambahkan inhibitor,  $I_{corri}$  adalah arus sesudah ditambahkan inhibitor (Butarbutar dan Febrianto, 2009).

Dalam metode polarisasi potensiodinamik terdapat 3 elektroda, yaitu elektroda pembanding AgCl, elektroda bantu platina, dan elektroda kerja baja lunak. Ketiga elektroda tersebut dibilas dengan akuades. Setelah itu dirangkai pada suatu sel korosi yang disebut sebagai sel tiga elektroda dengan larutan medium korosif sebagai elektrolitnya. Lalu elektroda–elektroda tersebut dihubungkan dengan alat potensiostat dan komputer. Data yang didapat dari metode ini adalah kurva polarisasi anodik atau katodik yang menyatakan hubungan antara arus ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) sebagai fungsi potensial (mV). Selanjutnya kurva tersebut diekstraposisi untuk dapat menentukan laju korosi (Butarbutar dan Febrianto, 2009). Laju korosi dapat ditentukan dengan persamaan :

$$Rmpy = 0,1288 J_{corr} (E/D) \dots \dots \dots (2)$$

dengan

$Rmpy$  : laju korosi (*mili inch/year*)

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

E : berat ekivalen material

D : densitas ( $g/cm^3$ ) (Rastogi *et al.*, 2011).

Untuk proses kimia yang dikendalikan oleh transfer muatan (kinetika) berlaku persamaan Butler –Volmer yang dirumuskan pada persamaan berikut:

$$I = I_0 \left\{ \exp \alpha \left( \frac{nF}{RT} \eta \right) - \exp \left( 1 - \alpha \right) \frac{nF}{RT} \eta \right\} \dots \dots \dots (4)$$

Potensial lebih pada persamaan tersebut adalah selisih antara potensial sembarang akibat gangguan terhadap sistem dan potensial korosi, atau  $\eta = E - E_{\text{korr}}$  (Butarbutar dan Febrianto, 2009).

## 2. Metode Tafel

Analisa Tafel digunakan untuk mendapatkan data-data tentang arus korosi ( $I_{\text{kor}}$ ) dan laju korosi (*CorrRate*) yaitu dengan mengolah data hasil mesin EDAQ untuk mendapatkan arus korosi yang selanjutnya dikonversi untuk mendapatkan nilai laju korosi (Butarbutar dan Geni, 2011).

## 3. Laju korosi

Dalam suatu sistem reaksi, terdapat suatu reaksi antara komponen-komponen didalamnya, yang secara mikro melibatkan elektron-elektron. Begitu juga dalam proses korosi, transfer elektron menuju ke permukaan logam berlangsung secara kesinambungan hingga secara kesetimbangan. Untuk mencapainya, biasanya dilakukan OCP (*Open Circuit Potensial*) dengan cara menstabilkan interaksi

antara larutan dengan logam (arus korosi) selama beberapa saat. Transfer elektron tersebut merupakan parameter menentukan laju korosi logam (Sunarya, 2008). Laju korosi dapat dilakukan dengan metode polarisasi potensiodinamik. Data yang didapat dari metode ini adalah kurva polarisasi anodik atau katodik yang menyatakan hubungan arus antara arus ( $\mu\text{A. cm}^{-2}$ ) sebagai fungsi potensial (mV). Selanjutnya kurva tersebut diekstrapolasi untuk menentukan laju korosi dan arus melalui Persamaan 2 dan Persamaan 3 (Sunarya, 2008).

## **J. Inhibitor Korosi dan Jenisnya**

Suatu inhibitor kimia adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Secara khusus, inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan tertentu, dapat menurunkan laju penyerangan lingkungan itu terhadap suatu logam (Dalimunthe, 2004).

Inhibitor korosi merupakan senyawa kimia yang bisa memperlambat laju korosi. Inhibitor korosi bekerja dengan membentuk lapisan pasif berupa lapisan tipis atau film dipermukaan material yang berfungsi sebagai penghalang antara logam dengan media yang korosif. Banyak jenis inhibitor yang tersedia yang dapat dipilih untuk mengatasi permasalahan korosi. Banyak tipe inhibitor korosi untuk berbagai keperluan. Inhibitor korosi di bagi atas dua katagori yakni inhibitor organik dan anorganik. Inhibitor anorganik sering dipakai untuk *air cooling tower*, pendingin/pemanas. Secara umum inhibitor korosi di bagi atas

beberapa katagori yakni;

### **1. Inhibitor Korosi Katodik**

Inhibitor katodik menurunkan laju korosi dengan cara memperlambat reaksi katodik. Inhibitor katodik membentuk senyawa tak larut yang mengendap pada katodik dengan membentuk lapisan penghalang. Senyawa yang biasa dipakai sebagai inhibitor katodik yaitu garam kalsium (kalsium karbonat dan kalsium fosfat), garam magnesium dan poli fosfat.

### **2. Inhibitor Korosi Anodik**

Inhibitor anodik menurunkan laju korosi dengan cara memperlambat reaksi anodik. Berkurangnya daerah anodik yang efektif menyebabkan turunnya laju korosi. Senyawa di bawah ini biasa digunakan sebagai inhibitor anodik yaitu Kromat ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2^{2-}$ ), Molibdat ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ), dan Ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

### **3. Inhibitor Korosi Organik**

Inhibitor organik sering dipakai untuk *cooling tower*, pendingin/pemanas.

Inhibitor korosi organik paling umum digunakan di *oil field*. Inhibitor korosi organik biasanya berupa garam logam yang berperan mempasifkan permukaan logam. Inhibitor korosi organik pemakaiannya agak terbatas karena memerlukan konsentrasi yang tetap, pH yang sensitif dan kadang tidak efektif dengan adanya klorida.

#### 4. Inhibitor Korosi Adsorpsi

Inhibitor korosi adsorpsi menurunkan laju korosi disebabkan polarisasi logam dengan lapisan tipis dari molekul inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan.

Berkurangnya luas permukaan efektif bisa menurunkan laju korosi. Senyawa yang biasa dipakai sebagai inhibitor adsorpsi yaitu amin ( $R-NH_2$ ), karboksil ( $R-COOH$ ), thiourea ( $NH_2CSNH_2$ ), fosfonat ( $R-PO_3H_2$ ), benzonat ( $C_6H_5COO^-$ ), dan antimoni triklorida ( $SbCl_3$ ) (Febrianto, 2010).

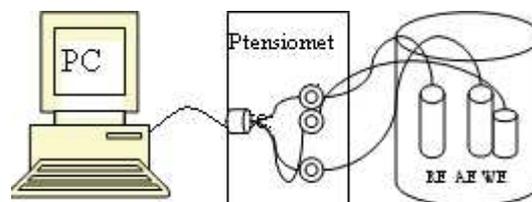
Mekanisme kerja inhibitor dapat dibedakan sebagai berikut :

- a. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
- b. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
- c. Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
- d. Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungannya (Butarbutar dan Geni, 2011).

## K. Potensiostat

Potensiostat merupakan peralatan yang digunakan pada penelitian elektrokimia untuk mengamati fenomena yang terjadi selama proses korosi terjadi. Potensiostat akan mengaplikasikan tegangan listrik inputan kepada benda uji sehingga nilai arus selama proses korosi dapat diperoleh. Peralatan potensiostat biasanya dilengkapi dengan tiga jenis elektroda yaitu:

- a. Elektroda kerja (*working electrode*): elektroda ini dibentuk dari logam benda uji yang akan diteliti, terkoneksi dengan sambungan listrik, dan permukaannya harus digerinda atau diampelas untuk menghilangkan oksida-oksida yang mungkin ada.
- b. Elektroda bantu (*auxiliary electrode*): elektroda yang khusus digunakan untuk mengalirkan arus hasil proses korosi yang terjadi dalam rangkaian sel.
- c. Elektroda acuan (*reference electrode*): Adalah suatu elektroda yang tegangan sirkuit terbukanya (*open-circuit potential*) konstan dan digunakan untuk mengukur potensial elektroda kerja. Rangkaian alat potensiostat dan tiga elektrodanya ditunjukkan pada Gambar 3.



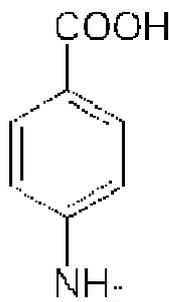
**Gambar 3.** Sketsa instrumen eDAQ dan benda uji (Butarbutar dan Febrianto, 2009).

Alat ini merupakan peralatan elektronik yang sangat penting dan berfungsi untuk :

1. Mengontrol potensial yang diberikan antara elektroda kerja (*working electrode*) dan elektrode pembanding (*reference electrode*). Potensial ini merupakan potensial yang dipakai ( $E_{app}$ ).
2. Mengukur besarnya arus yang mengalir antara elektroda kerja dan elektroda pembantu (*counter electrode*) yang merupakan arus total ( $I_{Total}$ ) (Chaidir, 2008).

#### L. Asam 4-aminobenzoat

Asam 4-aminobenzoat (juga disebut sebagai para-asam aminobenzoat atau PABA karena karbon nomor 4 pada cincin benzen juga diketahui sebagai posisi *para*) adalah suatu senyawa organik dengan formula  $H_2NC_6H_4CO_2H$ . PABA adalah kristal zat kimia putih-abu yang hanya sedikit larut dalam air. Senyawa ini terdiri dari cincin benzen yang disubstitusi dengan suatu gugus amino dan sebuah gugus karboksil. Struktur asam 4-aminobenzoat dapat dilihat dalam Gambar 4.



**Gambar 4.** Struktur asam 4-aminobenzoat

Sifat asam 4-aminobenzoat yaitu memiliki rumus kimia umum  $C_7H_7NO_2$ , memiliki massa molar  $137.14 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , berbentuk kristal putih keabu-abuan, memiliki densitas  $1.374 \text{ g/mL}$ , memiliki titik leleh dan titik didih masing-masing  $187$  hingga  $189 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $369$  hingga  $372 \text{ }^\circ\text{F}$ ;  $460$  hingga  $462 \text{ K}$ ) dan  $340 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $644 \text{ }^\circ\text{F}$ ;  $613 \text{ K}$ ), kelarutan dalam airnya adalah  $1 \text{ g}/170 \text{ mL}$  pada suhu  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $1 \text{ g}/90 \text{ mL}$  pada suhu  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  (Wikipedia, 2014).

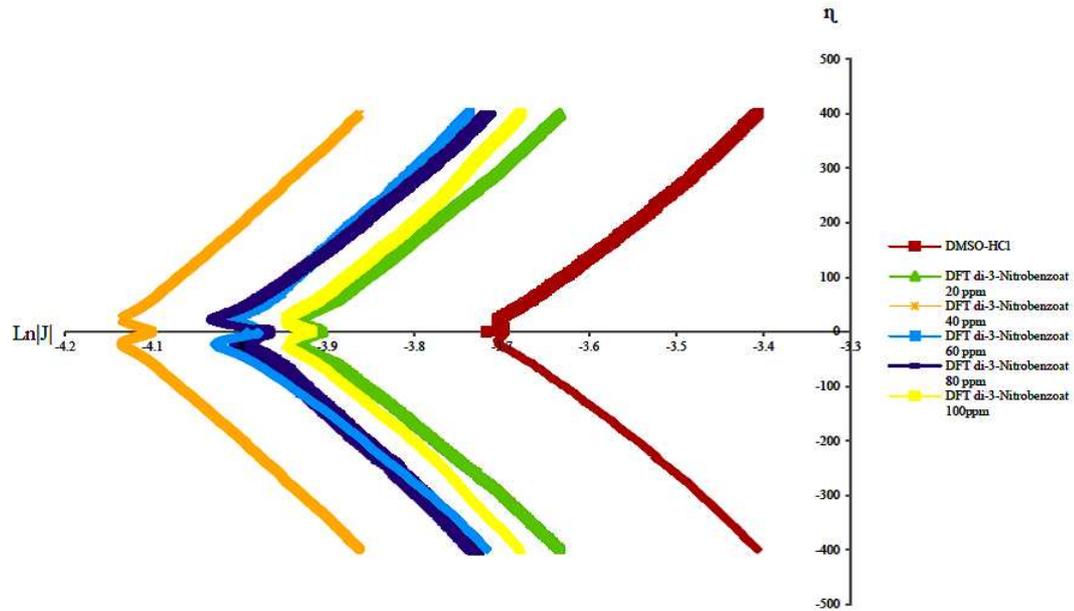
## **M. Uji Aktivitas Antikorosi Senyawa Organotimah**

Aplikasi senyawa turunan organotimah sebagai anti korosi telah dilakukan oleh Afriyani (2014) dan Anggraini (2014). Senyawa organotimah yang digunakan yaitu turunan senyawa organotimah(IV) 3-nitrobenzoat dan turunan senyawa organotimah(IV) 2-nitrobenzoat.

### **1. Senyawa Turunan Organotimah(IV) 3-Nitrobenzoat**

- Pengujian Aktivitas Antikorosi Difeniltimah(IV) Di-3-nitrobenzoat

Senyawa difeniltimah(IV) di-3-nitrobenzoat yang digunakan adalah senyawa dengan variasi konsentrasi  $20, 40, 60, 80$  dan  $100 \text{ mg/L}$  yang diperoleh dari pengenceran larutan stok  $400 \text{ mg/L}$ . Hasil pemindaian menunjukkan penambahan senyawa difeniltimah(IV) di-3-nitrobenzoat menyebabkan nilai  $\text{Ln}|J_{corr}|$  yang semakin menurun dari  $-3910 \text{ } \mu\text{A}/\text{cm}^2$  pada konsentrasi  $20 \text{ mg/L}$  hingga  $-4105 \text{ } \mu\text{A}/\text{cm}^2$  pada konsentrasi  $100 \text{ mg/L}$  seperti disajikan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik hasil pemindaian senyawa difeniltimah(IV) di-3-nitrobenzoat terhadap kontrol medium korosif tanpa inhibitor.

Dari Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa peningkatan konsentrasi difeniltimah(IV) di-3-nitrobenzoat yang ditambahkan ke dalam sistem larutan menyebabkan turunnya arus korosi yang menyebabkan naiknya persen proteksi inhibisi.

Besarnya persen proteksi inhibisi dari masing-masing variasi konsentrasi senyawa yang ditambahkan dapat dilihat pada Tabel 2.

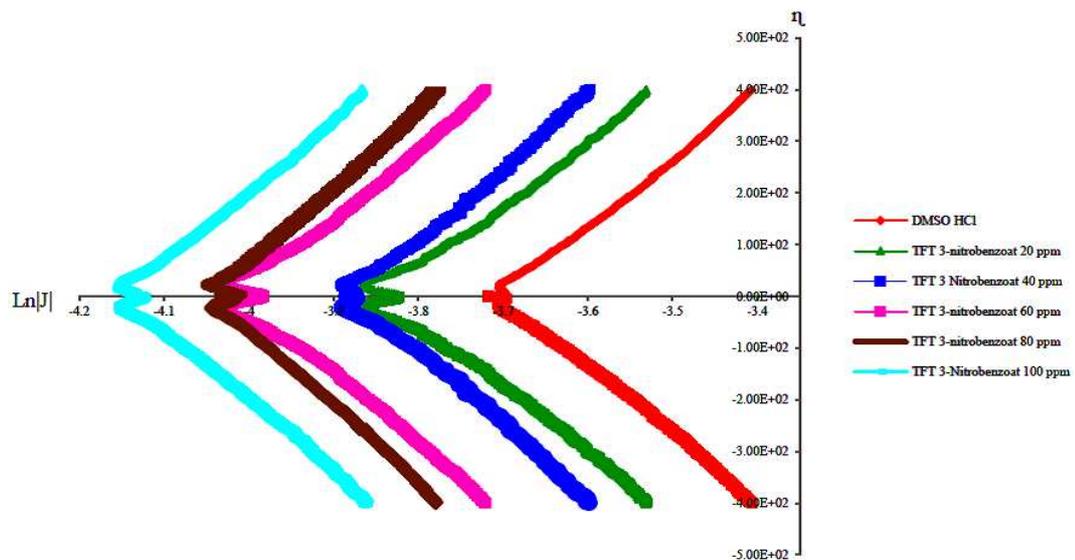
**Tabel 2.** Data pH larutan dan efisiensi inhibisi penambahan senyawa difeniltimah(IV) di-3-nitrobenzoat dibandingkan kontrol DMSO-HCl

Konsentrasi (mg/L)	pH	$\text{Ln} J_{\text{corr}} $	$J_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$I_{\text{corr}}$ (mA)	% EI (%)
0 (Kontrol)	0,98	-3,717	24,3	55,8	0
20	1,17	-3,910	20,0	46,0	17,531
40	1,15	-3,920	19,8	45,6	18,370
60	1,14	-3,980	18,6	42,9	23,132
80	1,15	-3,991	18,4	42,4	23,970
100	1,15	-4,105	16,4	37,9	32,155

Persen efisiensi inhibisi dari senyawa difeniltimah(IV) di-3-nitrobenzoat terus meningkat dari 17,531 % pada konsentrasi 20 mg/L hingga 32,155 % pada konsentrasi 100 mg/L (Afriyani, 2014).

- Pengujian Aktivitas Antikorosi Trifeniltimah(IV) 3-Nitrobenzoat

Senyawa trifeniltimah(IV) 3-nitrobenzoat yang digunakan adalah senyawa dengan variasi konsentrasi 20, 40, 60, 80, 100 mg/L yang masing-masing diencerkan dari larutan stok inhibitor 400 mg/L. Hasil pemindaian menunjukkan penambahan larutan trifeniltimah(IV) 3-nitrobenzoat pada sel elektrolisis menyebabkan turunnya nilai  $\ln|J_{corr}|$  dari  $-3832 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  pada konsentrasi 20 mg/L hingga  $-4136 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  pada konsentrasi 100 mg/L seperti dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Grafik hasil pemindaian senyawa trifeniltimah(IV) 3-nitrobenzoat terhadap kontrol medium korosif tanpa inhibitor.

Dari Gambar 6 dapat dijelaskan bahwa penambahan trifeniltimah(IV) 3-nitrobenzoat dengan konsentrasi yang lebih tinggi ke dalam sel elektrolisis menyebabkan turunnya arus yang menyebabkan naiknya persen proteksi inhibisi.

Besarnya persen efisiensi inhibisi dari masing-masing variasi konsentrasi senyawa yang ditambahkan dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Data pH larutan dan efisiensi inhibisi penambahan senyawa trifeniltimah(IV) 3-nitrobenzoat dibandingkan kontrol DMSO-HCl

Konsentrasi (mg/L)	pH	$\ln J_{\text{corr}} $	$J_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$I_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}$ )	% EI (%)
0 (Kontrol)	0,98	-3,717	24,3	55,8	0
20	1,14	-3,832	21,6	49,8	10,863
40	1,13	-3,885	20,5	47,2	15,448
60	1,16	-3,987	18,5	42,6	23,646
80	1,16	-4,029	17,7	40,9	26,753
100	1,16	-4,136	15,9	36,7	34,250

Dari data pada Tabel 3 dapat dijelaskan bahwa senyawa trifeniltimah(IV) 3-nitrobenzoat pada konsentrasi 100 mg/L memiliki tingkat penghambatan tertinggi terhadap korosi baja lunak tipe HRP dalam medium korosif DMSO-HCl dengan nilai efisiensi inhibisi 34,250 % dibandingkan dengan senyawa difeniltimah(IV) di-3-nitrobenzoat (Afriyani, 2014).

## 2. Senyawa Turunan Organotimah(IV) 2-Nitrobenzoat

Aktivitas korosi pada penambahan senyawa turunan organotimah(IV) 2-nitrobenzoat dapat ditunjukkan dari nilai efisiensi inhibisi yang diperoleh. Nilai efisiensi inhibisi masing-masing pada penambahan senyawa asam 2-nitrobenzoat, difeniltimah(IV) diklorida, trifeniltimah(IV) klorida, difeniltimah(IV) di-2-nitrobenzoat dan trifeniltimah(IV) 2-nitrobenzoat dengan konsentrasi 100 ppm

yaitu -20,27; 20,56; 21,32; 32,06; dan 51,55 %, sehingga dapat diketahui bahwa pada penambahan senyawa asam 2-nitrobenzoat menunjukkan nilai efisiensi inhibisi yang paling rendah yaitu -20, 27 % dan nilai efisiensi inhibisi paling tinggi pada senyawa trifeniltimah(IV) 2-nitrobenzoat yaitu 51, 55 % (Anggraini, 2014).

### **3. Mekanisme Kerja Inhibitor**

Pada penelitian antara kompleks trifeniltimah(IV) 2-nitrobenzoat dengan difeniltimah(IV) di-2-nitrobenzoat, nilai efisiensi inhibisi relatif lebih tinggi dihasilkan oleh kompleks trifeniltimah(IV) 2-nitrobenzoat yaitu sebesar 51,55 %. Hal ini dapat disebabkan pada kompleks trifeniltimah(IV) 2-nitrobenzoat memiliki gugus fenil yang lebih banyak yaitu tiga gugus fenil dibandingkan pada kompleks difeniltimah(IV) di-2-nitrobenzoat yg memiliki dua gugus fenil (Anggraini, 2014). Dengan adanya gugus-gugus fenil yang lebih banyak ini maka akan semakin banyak juga menarik elektron-elektron bebas yang mudah untuk melepaskan  $\text{Cl}^-$  pada senyawa awalnya dan menyebabkan pada difeniltimah(IV) di-2-nitrobenzoat tidak membentuk kompleks yang lebih kuat dibandingkan dengan trifeniltimah(IV) 2-nitrobenzoat (Rastogi, 2005).

Pada senyawa difeniltimah(IV) di-2-nitrobenzoat memiliki struktur yang simetri sedangkan trifeniltimah(IV) 2-nitrobenzoat memiliki struktur yang asimetri. Struktur asimetri lebih disukai dibandingkan dengan struktur yang simetri, hal ini dikarenakan pada struktur simetri kurang sterik dan memiliki lebih besar gaya

tolakan energi dibandingkan bentuk asimetri yang lebih sulit untuk menolak energi sehingga lebih stabil (Fessenden dan Fessenden, 1982).

Senyawa difeniltimah(IV) di-2-nitrobenzoat dan trifeniltimah(IV) 2-nitrobenzoat merupakan inhibitor katodik yang memperlambat atau menghambat reaksi katodik pada baja lunak maka logam  $\text{Sn}^{4+}$  yang bersifat elektropositif akan berinteraksi dengan oksigen ( $\text{O}_2$ ) pada reaksi reduksi pada katoda karena tidak mungkin  $\text{Sn}^{4+}$  akan berinteraksi dengan  $\text{H}^+$  daripada reaksi reduksi juga karena sama-sama elektropositif. Dengan adanya penambahan ligan pada senyawa kompleks ini maka terdapat gugus aktif yang akan menaikkan karakteristik elektropositif dari  $\text{Sn}^{4+}$  sehingga semakin elektropositif  $\text{Sn}^{4+}$  maka reaksi reduksi pada proses elektrolisis akan terhambat dan reaksi oksidasinya pun akan terhambat dan menyebabkan proses terjadinya korosi juga terhambat (Anggraini, 2014).