

***Analysis of Phenol and Chemical Oxygen Demand (COD) Levels on  
Tinplate Electroplating Waste at PT Latinusa, Tbk Cilegon***

**Analisis Kadar Fenol dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada  
Limbah Hasil Elektroplating Tinplate di PT Latinusa, Tbk Cilegon**

**Salsa Widya Pratiwi and Maisari Utami\***

*Program Studi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang KM.14,5, Yogyakarta 55584, Indonesia*

\*Corresponding author: maisariutami@uii.ac.id

Diterima: 2 Oktober 2021, Direvisi: 15 November 2021, Diterbitkan: 4 Desember 2021

**Abstract**

*This study aims to determine the value of phenol and Chemical Oxygen Demand (COD) in wastewater in tinplate manufacture process at QA PT Latinusa, Tbk Laboratory. The value of phenol and Chemical Oxygen Demand (COD) was analyzed by Spectrophotometer UV-Vis HACH at a wavelength of 500 nm. The value of phenol was analyzed using  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  and antipyrine. In addition, the value of COD was analyzed using reagent A ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  and  $\text{HgSO}_4$ ) and reagent B ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  and  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). The analyses were carried out everyday in one month. According to data, the average phenol level of the final wastewater was  $0,32 \text{ mgL}^{-1}$  and had met the quality standard after the retest on 6th, 17th, 19th, and 23th, meanwhile the COD value of  $28,15 \text{ mgL}^{-1}$  had met the quality standard for the environment so it was not harmful for living organisms.*

**Keywords:** *electroplating waste, phenol, COD*

**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai kadar fenol dan Chemical Oxygen Demand (COD) pada air buangan final proses pembuatan tinplate di laboratorium QA PT Latinusa, Tbk. Metode yang digunakan untuk analisis kadar fenol dan Chemical Oxygen Demand (COD) yaitu dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis HACH pada panjang gelombang 500 nm. Analisis kadar fenol dilakukan dengan menggunakan reagen  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  dan antipirin, sedangkan analisis COD dilakukan dengan menggunakan reagen A ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HgSO}_4$ ) serta reagen B ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Analisis dilakukan setiap hari dalam satu bulan. Dari hasil analisis yang dilakukan diperoleh rata-rata kadar fenol pada air buangan final yaitu sebesar  $0,32 \text{ mgL}^{-1}$  dan sudah memenuhi baku mutu setelah dilakukan retest pada tanggal 6, 17, 19 dan 23 sedangkan untuk nilai COD sebesar  $28,15 \text{ mgL}^{-1}$  sudah memenuhi baku mutu sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan maupun makhluk hidup jika dibuang ke lingkungan.

**Kata kunci:** limbah elektroplating, fenol, COD

## PENDAHULUAN

Perkembangan pada sektor industri electroplating di berbagai negara berkembang sangat maju. Pada proses pelapisan logam dengan listrik ini sudah menjadi pilihan utama kebutuhan pada bidang perindustrian. Di Indonesia sendiri sudah banyak industri yang menyediakan jasa pelapisan logam. Elektroplating merupakan suatu proses pengendapan zat (ion-ion logam) pada suatu logam dasar (katoda) melalui proses elektrolisa (Paridawati, 2013).

Salah satu industri yang bergerak dibidang tersebut yaitu PT Latinusa, Tbk. Industri tersebut menghasilkan kemasan berbahan dasar tinsplate. Kemasan kaleng yang berbahan dasar tinsplate merupakan kemasan yang terbuat dari baja lembaran berlapis timah berbentuk silinder yang umum digunakan untuk kemasan minuman dan makanan (Ariesmayana dan Zaman, 2018).

*Tinsplate* merupakan baja karbon yang telah dilapisi timah murni pada kedua sisinya (Zakaria, dkk., 2016). Dalam aktivitas produksi *tinsplate* berbagai larutan dan bahan-bahan pelapis menimbulkan limbah hasil produksi, dapat berupa limbah padat, cair maupun emisi gas. Limbah padat dapat berasal dari proses penghilangan kerak, *polishing*, maupun kotoran sisa pada bak elektroplating.

Limbah berupa emisi gas pada umumnya berasal dari penguapan larutan elektrolit, uap asam, maupun cairan pembersih (Raditya dan Hendiyanto, 2016). Sedangkan Limbah cair bersumber dari larutan sisa pada proses elektroplating dan juga larutan pembilasan, dimana logam yang akan dilapisi perlu dimasukkan ke dalam tangki-tangki yang berisi larutan asam maupun garam logam yang kemudian dibilas dengan air (Amri dkk., 2020).

Timah dan pelat timah merupakan sumber daya logam timah di dunia tersebar di beberapa negara di antaranya Cina (30,5%), Indonesia (16,3%), Brasil (14,5%), Rusia (7,1%), Peru (6,3%), Malaysia (5,1%), Bolivia (8,1%), Australia (4,9%), dan Thailand (3,5%) dengan total keseluruhan sekitar 4,9 juta ton. Sebagai salah satu komoditi ekspor unggulan di Indonesia, proporsi timah sekitar 11% pada tahun 2010 jika ditinjau dari pendapatan ekspor mineral logam. Indonesia merupakan salah satu negara pemasok timah di pasar internasional 2 dengan pangsa pasar 40% dari total produksi dunia (Nurtia, 2014).

Timah merupakan sebuah unsur kimia yang memiliki simbol Sn (*stannum*) dengan nomor atom 50, titik lebur 449,47 °F dan titik didih 4716 °F dan berat jenis sebesar 7,3 gcm<sup>-3</sup>. Timah adalah logam sedikit keperakan, dapat ditempa (*malleable*),

ditemukan dalam banyak *alloy*, dengan warna abu-abu keperakan mengkilap (Wulandari dkk., 2012)

Timah juga memiliki sifat kekerasan yang rendah, sifat konduktivitas panas dan listrik yang tinggi serta tidak mudah teroksidasi dalam udara (tahan karat). Timah diperoleh dari mineral cassiterite yang terbentuk sebagai oksida, terbentuk sebagai endapan primer yang terdapat pada batuan granit dan batuan endapan metamorf serta sebagai endapan sekunder, yang terdiri dari endapan alluvium, elluvial, dan koluvium (Yulianti dkk., 2020).

Kegunaan dari timah sangat banyak sekali diantaranya sebagai pelapis logam lainnya untuk mencegah karat, bahan baku pembuatan cendera mata seperti perhiasan, sebagai bahan paduan logam, bahan solder, pelindung kayu, dan casing untuk telepon genggam. Selain itu timah juga termasuk dalam logam ramah lingkungan yang tidak berbahaya bagi kesehatan manusia sehingga dapat digunakan sebagai wadah kaleng untuk produk makanan maupun minuman (Surya dkk., 2020).

Timah yang digunakan sebagai kemasan sering disebut dengan pelat timah (*tinplate*). *Tinplate* merupakan bahan yang ideal untuk wadah dari makanan dan minuman. Meskipun tidak selalu bersifat inert secara sempurna terhadap setiap jenis produk makanan, akan tetapi dengan

memperhatikan persyaratan-persyaratan tertentu serta memilih kombinasi yang tepat dari material-material yang bersangkutan, maka interaksi antara keduanya bisa ditekan sedemikian sehingga tidak melampaui batas yang dianggap aman.

Pelat timah adalah lembaran atau gulungan baja berkarbon rendah dengan ketebalan 0,15-0,5 mm. Kandungan timah putih pada kaleng pelat timah berkisar antara 1,0-1,25% dari berat kaleng. Kandungan timah putih ini biasanya dinyatakan dengan TP yang diikuti dengan angka yang menunjukkan banyaknya timah putih, misalnya pada TP25 mengandung timah putih sebanyak 2,8 gm<sup>-2</sup>, TP50 sebanyak 5,6 gm<sup>-2</sup>, TP75 sebanyak 8,4 gm<sup>-2</sup> dan TP100 sebanyak 11,2 gm<sup>-2</sup> (Bakhori, 2017).

Fenol merupakan limbah organik yang terdapat dalam air limbah berbagai industri seperti penyulingan minyak, farmasi, petrokimia, gas batu bara, cat, tekstil, *fiber glass*, plastik, industri rumah tangga maupun industri minyak tanah (Liu, dkk., 2018). Limbah yang mengandung fenol bersifat cukup berbahaya dan beracun bagi perairan maupun kesehatan makhluk hidup.

*Chemical Oxygen Demand* (COD) atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang

ada dalam satu liter sampel air, dimana pengoksidasinya adalah kalium dikromat atau kalium permanganat. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air (Nurmalasari, dkk., 2019).

Limbah cair elektroplating yang dihasilkan oleh PT Latinusa diuji berdasarkan beberapa parameter uji yang terdiri dari parameter fisika dan kimia. Untuk parameter fisika terdiri dari TSS dan TDS, sedangkan untuk parameter kimia terdiri dari pH, krom heksavalent, krom total, COD dan fenol.

Pada Laboratorium PT Latinusa Tbk, dilakukan pemeriksaan air limbah dengan parameter fisika dan kimia yang telah ditetapkan. Dalam hal ini pada Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium PT Latinusa Tbk, penulis melakukan penentuan parameter kimia meliputi kadar fenol dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) menggunakan metode Spektrofotometer HACH agar limbah hasil produksi yang diperoleh tidak berbahaya bagi lingkungan.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan yaitu limbah elektroplating, kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ),

asam sulfat pekat ( $H_2SO_4$ ), merkuri (II) sulfat ( $HgSO_4$ ), perak sulfat ( $Ag_2SO_4$ ), amonium hidroksida ( $NH_4OH$ ) 0,5 N, kalium ferisianida  $K_3[Fe(CN)_6]$  8%, antipirin 2%, dan akuades.

Alat yang digunakan yaitu *spectrophotometer* UV-VIS tipe Hach DR 5000, tabung reaksi, pipet, reaktor, pipet volume 1 mL, botol akuades, tabung *coloring comparison tube*, dan tabung CCT 50 mL.

### Pengambilan Sampel Air Limbah Harian

Botol dan wadah sampel yang akan digunakan sampling dipastikan telah dicuci bersih dan kering. Pengambilan sampel air limbah dilakukan pada titik koordinat, LS = 06 00' 25.40" dan BT= 106o 00' 43.70". Air limbah diambil dengan wadah sampel lalu diukur temperatur air kemudian dicatat pada form Hasil Analisa Laboratorium (For-1510-02). Botol sampel dibilas dengan air limbah satu kali, setelah bersih botol sampel diisi penuh dengan air limbah. Pengujian laboratorium dilakukan pada sampel limbah tersebut. Kemudian laporan hasil pengujian dibagikan ke bagian Produksi (Fluid) dan keselamatan kesehatan lingkungan (K2L).

### Analisa Fenol Dengan Spektrofotometer HACH

Pembuatan reagen amonia 0,5 N dilakukan dengan cara dipipet 15,5 mL dari

larutan amonia 15% kemudian dilarutkan ke dalam 200 mL akuades dan diperoleh larutan amonia 0,5 N. Selanjutnya pembuatan larutan  $K_3[Fe(CN)_6]$  8% dengan cara, padatan  $K_3[Fe(CN)_6]$  ditimbang sebanyak 8 gr kemudian dilarutkan ke dalam 100 mL akuades. Kemudian dilakukan pembuatan larutan antipirin 2% dengan cara, Antipirin ditimbang sebanyak 2 gr kemudian dilarutkan ke dalam 100 mL akuades.

Tabung CCT disiapkan lalu dimasukkan 50 mL akuades (blanko) dan 50 mL sampel air buangan limbah final ke dalamnya, kemudian ditambahkan 2,5 mL  $NH_4OH$  0,5 N, 1 mL  $K_3[Fe(CN)_6]$  8%, dan 1 mL Antipirin 2% lalu digojog hingga homogen kemudian diukur konsentrasi fenol dengan spektro UV-Vis pada panjang gelombang 500 nm.

### **Analisa COD dengan Metode Spektrofotometer HACH**

Pembuatan reagen A dibuat dengan cara ditambahkan 10,216 g  $K_2Cr_2O_7$  yang telah dikeringkan pada suhu  $150^\circ C$  selama 2 jam ke dalam 500 mL destilat kemudian ditambahkan 167 mL  $H_2SO_4$  pekat dan 33,3 g  $HgSO_4$  lalu dilarutkan dan didinginkan pada suhu ruang, kemudian diencerkan sampai 1000 mL. Pembuatan reagen B dibuat dengan cara  $Ag_2SO_4$  serbuk ditimbang sebanyak 10,12 g dan dilarutkan

dalam 1000 mL  $H_2SO_4$  pekat dan diaduk hingga homogen.

Sebanyak 2 tabung reagen COD disiapkan dan masing-masing diisi reagen sebanyak 2 ml (sampel dan destilat) lalu reagen A ditambahkan 3,5 ml dan reagen B ditambahkan 1,5 ml kemudian dimasukkan ke dalam alat COD (COD reaktor) selama 2 jam pada suhu  $150^\circ C$ . Setelah 2 jam diangkat reagen COD dari reaktor dan didinginkan. Kemudian diukur konsentrasi COD dengan spektro UV-Vis pada panjang gelombang 420 nm.

### **PEMBAHASAN**

Elektroplating merupakan suatu proses pengendapan zat (ion-ion logam) pada suatu logam dasar (katoda) melalui proses elektrolisa. Dalam proses elektroplating dihasilkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan karna mengandung fenol, krom, seng, nikel sehingga perlu dilakukan analisis kadar agar tidak berdampak buruk terhadap kesehatan makhluk hidup dan lingkungan.

Fenol merupakan limbah organik yang terdapat dalam air limbah berbagai industri. Limbah yang mengandung fenol tergolong limbah yang berbahaya karna bersifat beracun dan korosif. Terdapat limbah fenol karna pada proses elektroplating menggunakan larutan phenol sulfonic acid (PSA).

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Nilai COD yang tinggi mengindikasikan bahwa air telah tercemar karena disebabkan berkurangnya oksigen terlarut. Berkurangnya oksigen terlarut akan menyebabkan kematian pada biota air sehingga merusak ekosistem yang terdapat di dalamnya.

Pada penelitian ini dilakukan analisis untuk mengetahui konsentrasi fenol dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada sampel air buangan final hasil elektroplating tinsplate sesuai standar. Penentuan parameter dalam air limbah buangan dilakukan setiap hari. Limbah yang telah diolah pada bagian produksi (fluid), kemudian diberikan kepada bagian laboratorium QA untuk dilakukan pemeriksaan ulang terkait parameter-parameter tersebut apakah sudah sesuai standar atau belum dan apabila melebihi standar perlu dilakukan retest.

### Penentuan Kadar Fenol

Prinsip dalam penentuan kadar (ppm) fenol dengan menggunakan metode spektrofotometer HACH yang didasarkan pada apabila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap ( $I$ ), sebagian dipantulkan ( $I_r$ ), dan sebagian lagi dipancarkan ( $I_t$ ). Penentuan kadar fenol

dalam air limbah sangatlah penting, karena fenol merupakan kontaminan yang sangat berbahaya bagi lingkungan apabila melebihi standar yang telah ditetapkan.

Berdasarkan standar, batas maksimum konsentrasi fenol dalam perairan sebesar  $1 \text{ mgL}^{-1}$  dengan kontrol sebesar  $0,9 \text{ mgL}^{-1}$ . Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang diperoleh di laboratorium QA, nilai fenol pada air buangan final setiap harinya terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil fenol pada air buangan final

Tanggal	Ppm (mg/L)	Tanggal	Ppm (mg/L)
3	0,40	17	1,63
4	0,29	18	0,24
5	0,028	19	1,51
6	1,05	20	0,911
7	0,72	21	0,04
8	0,90	23	2,99
9	0,489	24	0,142
10	0,04	25	0,11
11	0,14	26	0,091
12	0,31	27	0,06
13	0,896	28	0,04
14	0,16	29	0,03
15	0,16	30	0,019
16	0,85	31	0,33

Terlihat pada tanggal 6, 17, 19 dan 23 diperoleh konsentrasi fenol yang melebihi baku mutu, yang menyebabkan perlu adanya retest untuk mengecek kembali fenol yang terdapat dalam air

buangan tersebut. Retest dilakukan sekali dan diperoleh konsentrasi fenol menjadi berturut-turut sebesar 0,18; 0,44; 0,46 dan 0,35 mgL<sup>-1</sup>. Setelah dilakukan retest ternyata konsentrasi fenol menjadi menurun yang menandakan air buangan tersebut telah aman untuk dibuang ke lingkungan. Diperoleh rata-rata kadar fenol pada air buangan final yang sudah dilakukan retest yaitu sebesar 0,32 mgL<sup>-1</sup>. Konsentrasi fenol dalam perairan harus sangat diperhatikan, karena efeknya yang sangat berbahaya hingga menyebabkan kematian makhluk hidup sehingga perlu di cek setiap hari dan harus benar benar diperhatikan konsentrasinya agar tidak melebihi baku mutu.

**Tabel 2.** Hasil Nilai COD Pada Air Buangan Final

Tanggal	Ppm (mg/L)	Tanggal	Ppm (mg/L)
3	19,10	17	29,36
4	32,80	18	27,96
5	29,45	19	28,68
6	31,28	20	32,16
7	32,60	21	31,40
8	26,70	23	32,43
9	27,36	24	25,67
10	26,85	25	27,16
11	29,16	26	30,14
12	21,80	27	26,12
13	15,17	28	29,47
14	30,21	29	32,19
15	30,20	30	28,45
16	31,40	31	22,81

## Penentuan COD

Pada penentuan nilai ppm COD dengan menggunakan metode spektrofotometer HACH berdasarkan standar, batas maksimum nilai COD dalam perairan sebesar 300 mgL<sup>-1</sup> dengan kontrol sebesar 275 mgL<sup>-1</sup>. Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang diperoleh di laboratorium QA, nilai COD pada air buangan final setiap harinya terlihat pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil yang diperoleh untuk nilai COD pada air buangan final di laboratorium QA PT Latinusa, Tbk tidak melebihi standar dan kontrol yang telah ditetapkan oleh instansi. Dan diperoleh nilai rata-rata sebesar 28,15 mgL<sup>-1</sup>. Nilai COD yang tinggi dapat memberikan dampak negatif terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Jika nilai COD melebihi standar maka akan berdampak terhadap kualitas air yang dapat menyebabkan penurunan kualitas air dan harus dilakukan retest terhadap analisis nilai COD.

## KESIMPULAN

Dalam menentukan kadar fenol dalam air limbah elektroplating tinplate di PT Latinusa, Tbk dapat menggunakan metode spektrofotometer UV-Vis, dalam hal ini digunakan spetro UV-VIS jenis HACH DR 5000. Hasil yang diperoleh kadar fenol sebesar 0,32 mgL<sup>-1</sup>. Namun

pada tanggal 6, 17, 19 dan 23 diperoleh konsentrasi fenol yang melebihi baku mutu, yang menyebabkan perlu adanya retest dan setelah dilakukan retest sekali konsentrasi fenol menjadi menurun yang menandakan air buangan tersebut telah aman untuk dibuang ke lingkungan, hal ini terjadi karna limbah yang diolah pada bagian produksi (fluid) terlalu tinggi yang menyebabkan kadar fenol melebihi baku mutu.

Dalam menentukan nilai konsentrasi COD dalam air limbah elektroplating tinplate di PT Latinusa, Tbk dapat menggunakan metode spektrofotometer UV-Vis, dalam hal ini digunakan spetro UV-Uvis jenis HACH DR 5000. Hasil yang diperoleh konsentrasi COD sebesar 28,15 mgL<sup>-1</sup>. Hasil tersebut telah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan sehingga aman apabila dibuang ke lingkungan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Amri, I., Awalsya, F., dan Irdoni, 2020. Pengolahan Limbah Cair Industri Pelapisan Logam dengan Proses Elektrokoagulasi secara Kontinyu. *Chempublish J.* 5, 15–26.
- Ariesmayan, A., dan Zaman, A.S., 2018. Efisiensi Sistem Evaporator dan Karbon Aktif Untuk Mengurangi Kadar Fenol Pada Hasil Air Buangan Produksi PT Latinusa, Tbk. *Jurnal* 1, 74–86.
- Bakhori, A., 2017. Tinjauan Aspek Korosi Pada Makanan Dalam Kemasan Kaleng. *Pist. (Jurnal Ilm. Tek. Mesin Fak. Tek. UISU)* 2, 30–38.
- Liu, Z., Meng, H., Zhang, H., Cao, J., Zhou, K., dan Lian, J., 2018. Highly Efficient Degradation of Phenol Wastewater by Microwave Induced H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-CuOx/GAC Catalytic Oxidation Process. *Sep. Purif. Technol.* 193, 49–57.
- Nurmalasari, D.P., Yuliestyan, A., dan Budi Aman, I.G.S., 2019. Influence of Sodium Carbonate Activator Concentration and Activated Carbon Size on The Reduction of Total Dissolved Solid (TDS) and Chemical Oxygen Demand (COD) of Water, in: *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia* Yogyakarta. pp. 1–7.
- Nurtia, N.E., 2014. Pengaruh Pasar Timah Indonesia (INATIN) terhadap Posisi Tawar Timah Indonesia. *J. Online Mhs. Fak. Ilmu Sos. dan Ilmu Polit. Univ. Riau* 1, 1–15.
- Paridawati, 2013. Analisa Besar pengaruh Tegangan Listrik terhadap Ketebalan Pelapisan Chrome pada Pelat Baja dengan Proses Electroplating. *J. Imiah Tek. Mesin* 1, 36–44.
- Raditya, B., dan Hendiyanto, O., 2016. Pemanfaatan Kulit Durian Sebagai Adsorben Logam Berat Pb Pada Limbah Cair Elektroplating. *Envirotek J. Ilm. Tek. Lingkung.* 8, 10–18.
- Surya, K., Yusuf, M., dan Mukiat, 2020. Potensi Investasi Tin Can dalam



Peningkatan Nilai Tambah Logam Timah Bangka Belitung. *J. Pertamb.* 4, 121–127.

Wulandari, N., Afkar, Z., dan Kurniawati, D., 2012. Analisis Kadar Logam Timah (Sn) dan Kromium (Cr) Pada Susu Kental Manis Kemasan Kaleng dengan Metoda Spektroskopi Serapan Atom. *Chem. J. State Univ. Padang* 1, 34–38.

Yulianti, Bani, B., dan Albana, 2020. Analisa Pertambangan Timah Di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *J. Ekon.* 22, 54–62.

Zakaria, Z.A., dan Harmami, Ulfin, I., 2016. Efisiensi Inhibisi L-citrulline pada Korosi Tinsplate dalam Media NaCl. *J. Sains dan Seni ITS* 5, C-14-C–16.