



## Pelapisan Silika pada *Stainless Steel* secara Elektroforesis Disertai Anodisasi untuk Perlindungan Korosi

### Silica Coating on Stainless Steel by Electrophoresis with Anodization for Corrosion Protection

Ni Made Intan Putri Suari\*, Delyana Ratnasari, Sahara Tulaini, Widiyastuti, Heru Setyawan

Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia.

\*E-mail: [madeintan@chem-eng.its.ac.id](mailto:madeintan@chem-eng.its.ac.id)

Terima draft: 22 Februari 2019; Terima draft revisi: 13 Juni 2019; Disetujui: 15 Juni 2019

#### Abstrak

Penelitian ini mempelajari pengaruh anodisasi terhadap karakteristik perlindungan korosi lapisan silika pada permukaan *stainless steel*. Anodisasi dilakukan menggunakan larutan asam oksalat dengan memvariasikan waktu anodisasi dan beda tegangan. Elektroforesis dilakukan menggunakan campuran sol silika, isopropanol dan asam asetat dengan perbandingan mol 0,0028 : 0,5048 : 0,1938 selama 10 menit dengan amplitudo 0,5 V, frekuensi 80 Hz dan *duty cycle* 60%. Uji *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan terhadap sol silika. Distribusi ukuran partikel dan zeta potensial yang diperoleh adalah sebesar 3,19 nm dan zeta potensial -31,68 mV. Analisa polarisasi linier dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dengan larutan NaCl 3,5% serta *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan terhadap lapisan yang terbentuk pada permukaan *stainless steel*. Dari hasil analisa diperoleh logam yang telah dianodisasi dan elektroforesis memiliki kemampuan perlindungan korosi lebih baik dibanding logam tanpa perlakuan. Waktu dan beda tegangan saat anodisasi berpengaruh terhadap karakteristik perlindungan korosi lapisan pada logam. Waktu anodisasi optimum diperoleh selama 20 menit dan voltase 10 volt dengan laju korosi sebesar 0,0051 mm/tahun. Untuk uji EIS, nilai admitan dan nilai tahanan pori masing-masing sebesar 0,0010226 Mho dan 1.774 ohm. Hasil SEM menunjukkan bahwa setelah dilakukan anodisasi terbentuk lapisan yang berpori yang nantinya menjadi tempat menempelnya silika pada proses elektroforesis.

Kata kunci: anodisasi, korosi, silika, elektroforesis, polarisasi linier

#### Abstract

This research studied the effect of anodization on corrosion protection characteristics of silica layer on stainless steel surface. Anodization was carried out using oxalic acid solution by varying the anodization time and the voltage difference. Electrophoresis was carried out using a mixture of silica sol, isopropanol and acetic acid with a mole ratio of 0.0028: 0.5048: 0.1938 for 10 minutes with a constant amplitude, frequency and duty cycle of 0,5 V, 80 Hz and 60%, respectively. The silica sol was characterized by Particle Size Analyzer (PSA). The particle size distribution was obtained at 3.19 nm and zeta potential of -31.68 mV. Linear polarization and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) were analyzed by 3.5 % wt NaCl solution and Scanning Electron Microscopy (SEM) used to characterized the layers formed on the stainless steel surface. The result showed that the anodized and electrophorized stainless steel has better corrosion protection capabilities than metal without treatment. The anodization time and voltage difference affected the corrosion protection characteristics of the metal. The optimum anodization time was obtained at 20 minutes and voltage of 10 volts with a corrosion rate of 0.0051 mm / year. For the EIS analysis, the admittance value and pore resistance value were 0.0010226 Mho and 1,774 ohm, respectively. SEM results showed that after anodization a porous layer was formed which later becomes the place where silica attaches on the electrophoresis process.

Keywords: anodization, corrosion, silica, electrophoresis, linear polarization

#### 1. Pendahuluan

Logam merupakan salah satu biomaterial sintetik yaitu material yang dapat digunakan untuk menggantikan atau memperbaiki

fungsi jaringan tubuh secara berkelanjutan atau sekedar bersentuhan dengan jaringan tubuh. Dalam ortopedi, implantasi bahan logam digunakan pada pembedahan *cardiovaskular*, sebagai material yang

berhubungan dengan gigi dan juga sebagai tulang sendi buatan untuk pangkal lutut, bahu, pergelangan kaki dan banyak lagi. Selain di bidang biomedis logam juga banyak digunakan di industri otomotif, bahan peralatan di pabrik dan peralatan rumah tangga. Namun hal yang perlu diperhatikan adalah sifat logam yang mudah terkorosi sehingga dapat berakibat buruk dan menimbulkan kerugian yang cukup besar. Karena itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan ketahanan korosi logam.

Pelapisan dengan kromat telah digunakan secara luas sejak beberapa tahun lalu, khususnya di industri otomotif untuk melindungi baja dari korosi. Namun bahan antikorosi ini berbahaya karena garam kromium heksavalennya memiliki toksisitas yang tinggi. Sehingga belakangan ini dilakukan pembatasan penggunaan kromat karena limbah yang dihasilkan bersifat racun dan berbahaya bagi lingkungan. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan usaha untuk memperoleh bahan pelindung korosi yang tidak hanya anti korosi tetapi juga memiliki daya adhesi yang baik (Dalbin dkk., 2005).

Salah satu bahan yang digunakan sebagai alternatif pelapis adalah silika. Beberapa sifat dari lapisan silika yang mendukung penggunaannya sebagai alternatif pelapis pada permukaan logam adalah daya adhesi yang kuat, sifat penahan yang baik sehingga memungkinkan untuk menahan difusi uap air, ion-ion maupun oksigen ke permukaan logam sehingga dapat melindungi logam dari korosi. Selain itu silika juga memiliki ketahanan terhadap suhu dan zat-zat kimia yang cukup stabil.

Penelitian oleh Castro dkk. (2008) mengenai pelapisan *stainless steel* dengan silika menggunakan sol-gel berbahan dasar TEOS (*tetraethoxysilane*), MTES (*methyltriethoxysilane*) dan *sodium hydroxide* menggunakan metode *dip coating* dan *electrophoresis deposition* (EPD) menunjukkan bahwa dari segi ketahanan terhadap korosi, pelapisan logam dengan EPD menghasilkan lapisan yang lebih tebal dan padat dengan sifat perlindungan yang lebih baik dibandingkan *dip coating* jika menggunakan sol yang encer dan stabil. Selain itu, beberapa kelebihan metode EPD adalah biaya yang dibutuhkan lebih murah, lebih ramah lingkungan dan laju deposisi lebih cepat (Besra, Liu, 2007). Jika ditinjau dari segi ekonomis penggunaan TEOS dan MTES sangat tidak efektif pada industri skala

besar karena harganya tinggi, sulit didapatkan dan mempunyai sifat beracun. Saat ini *water glass* (natrium silikat) mulai menarik perhatian sebagai bahan alternatif pengganti TEOS dan MTES sebagai bahan dasar silika karena lebih murah, mudah didapat, dan ramah lingkungan.

(Suari, Manulang, 2011) menggunakan metode pelapisan EPD pada kawat sebagai objek yang akan dilapisi dengan menggunakan *constant direct current* (CDC). Pada penelitian ini dihasilkan lapisan silika yang dapat meningkatkan ketahanan korosi kawat, namun dengan metode ini masih menunjukkan adanya kekurangan yaitu kurang kuatnya penempelan silika pada logam dan lapisan yang terbentuk kurang merata. Lapisan pada kawat rontok saat dilakukan penggosokan secara kuat. Hal ini membuktikan masih perlunya penelitian lebih lanjut untuk memperbaiki lapisan pada logam. Kurang kuatnya lapisan silika pada kawat bisa disebabkan karena permukaan kawat yang halus sehingga lapisan mudah rontok atau larutan yang digunakan saat elektrodeposisi banyak mengandung air sehingga mengganggu proses pelapisan. Sedangkan kurang meratanya lapisan yang terbentuk bisa disebabkan karena terjadi agglomerasi partikel pada permukaan logam karena menggunakan arus konstan. Dengan *pulse electrophoretic deposition* (PDC), Naim dkk. (2010) berhasil memperkecil distribusi ukuran partikel  $TiO_2$  dalam suspensi dan menghasilkan lapisan partikel yang seragam. Dengan anodisasi berulang Li dkk. (1998) dapat menghasilkan lapisan tipis alumina yang memiliki struktur domain heksagonal. Ukuran strukturnya linear terhadap waktu anodisasi dan suhu anodisasi. Kerapatan pori bernilai besar di awal proses, namun semakin berkurang dengan meningkatnya waktu anodisasi. Pertumbuhan pori dimulai ketika medan listrik meningkat di dasar pori dan asam melarutkan oksida secara lokal.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dicoba untuk memberikan perlakuan khusus pada logam dengan melakukan anodisasi yang dilanjutkan dengan elektroforesis dengan arus *pulsed*. Anodisasi merupakan suatu proses pembentukan oksida logam yang dilakukan dengan bantuan arus listrik sehingga terbentuk pori-pori pada logam yang mampu memperbaiki performa material. Pada proses anodisasi, permukaan logam akan teroksidasi membentuk oksida dan semakin lama akan membentuk pori dan membuat permukaan logam tidak rata. Proses ini mampu menghasilkan material yang tahan aus dan tahan lama, serta

mampu meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Dengan adanya anodisasi dan deposisi dengan arus *pulsed* diharapkan mampu meningkatkan kerapatan dan kekuatan lapisan serta ketahanan korosi logam.

## 2. Metodologi

Penelitian ini terdiri dari empat tahapan proses meliputi pembuatan sol silika, anodisasi dan elektroforesis *stainless steel*. Selanjutnya produk yang dihasilkan dikarakterisasi dengan polarisasi linier, EIS serta SEM.

### 2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Natrium Silikat, NaCl (Merck), KOH (Merck), Asam Oksalat (Merck), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> teknis, Aquadest, Aseton, Asam Asetat Glacial (Merck) dan Isopropanol teknis.

### 2.2. Pembuatan Sol Silika

Sol silika dibuat dari *water glass* konsentrasi 2,5% berat. Larutan dilewatkan resin penukar ion H<sup>+</sup> dengan perbandingan volume 1:1 selama 30 menit dan disertai pengadukan sehingga terbentuk *silicic acid* dengan pH 2. *Silicic acid* dengan laju aliran 10 mL/menit dengan pompa peristaltik ditambahkan ke dalam larutan KOH 1% berat dengan perbandingan volume KOH : *silicic acid* = 1 : 10 dengan suhu dijaga konstan 60°C disertai dengan pengadukan. Hal ini berguna untuk mengontrol ukuran partikel silika dalam sol (Tsai, 2004). Sol silika yang diperoleh dicampurkan dengan CH<sub>3</sub>COOH dan isopropanol dengan perbandingan mol CH<sub>3</sub>COOH : isopropanol : SiO<sub>2</sub> sebesar 0,1938 : 0,5048 : 0,0028 (Plsko dkk., 2014).

### 2.3. Anodisasi *Stainless Steel*

Sebelum proses anodisasi dilakukan, *stainless steel* yang akan dianodisasi diampelas terlebih dahulu, kemudian direndam di dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M kurang lebih selama sepuluh menit, dibilas dengan aquadest dan terakhir dibilas dengan larutan aseton. Perlakuan tersebut bertujuan untuk menghilangkan kotoran dan karat yang masih menempel pada *stainless steel* karena saat proses anodisasi permukaan logam harus bersih.

Selanjutnya dilakukan anodisasi pada *stainless steel* yang telah dipreparasi. Anodisasi dilakukan dengan asam oksalat

sebagai larutan elektrolit. Plat *stainless steel* (1,5 cm x 5 cm x 0,2 cm) ditempatkan sebagai anoda dan lempeng karbon (1,5 cm x 5 cm x 0,2 cm) sebagai katoda dengan jarak antar elektroda sebesar 2 cm. Kedua elektroda dihubungkan dengan catu daya DC yang berfungsi untuk memberi beda potensial antara kedua elektroda. Waktu anodisasi divariasikan 10 – 30 menit dan beda potensial divariasikan 2 – 10 V.

### 2.4. Deposisi Elektroforesis

Pada proses elektroforesis larutan CH<sub>3</sub>COOH-isopropanol-SiO<sub>2</sub> digunakan sebagai larutan elektrolit dan *function generator* sebagai sumber arus. *Stainless steel* dihubungkan dengan kutub positif (sebagai anoda) dan karbon dihubungkan dengan kutub negatif (sebagai katoda). Jarak antara *stainless steel* dan karbon dibuat tetap 2 cm, dengan amplitudo 0,5 V; *duty cycle* 60% dan elektroforesis dilakukan selama 10 menit. Setelah terbentuk lapisan silika, *stainless steel* yang telah terlapis dikeringkan dalam oven dengan suhu 120 °C selama 2 jam.

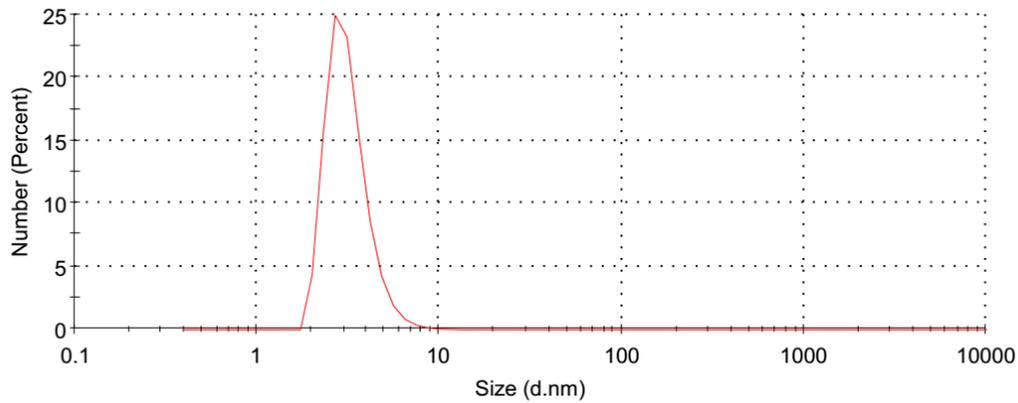
### 2.5. Karakterisasi

Sol silika yang dihasilkan dianalisa *Particle Size Analysis* (PSA) untuk memperoleh distribusi ukuran partikel dan zeta potensial sol silika. *Stainless steel* yang telah dianodisasi dan elektroforesis dianalisa polarisasi linier dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk melihat ketahanan korosi logam serta karakteristik perlindungan korosi logam. Selain itu juga dilakukan analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM) terhadap lapisan yang terbentuk pada permukaan *stainless steel* untuk melihat morfologinya.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Distribusi Ukuran Partikel Silika

Pada penelitian ini dilakukan pelapisan pada *stainless steel* dengan metode deposisi elektroforesis (EPD) yang disertai dengan anodisasi. *Stainless steel* dianodisasi dengan larutan elektrolit asam oksalat kemudian dilanjutkan dengan proses elektroforesis dengan larutan elektrolit asam asetat-isopropanol-sol silika. Sebelum proses elektroforesis, dilakukan analisa PSA terhadap sol silika untuk menentukan peletakan *stainless steel* saat proses elektroforesis. Hasil uji PSA ditunjukkan pada Gambar 1.



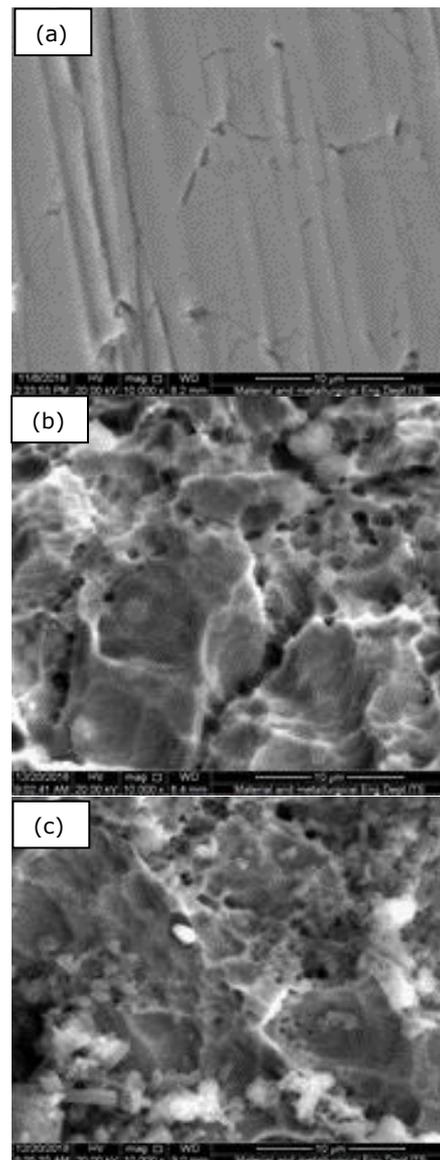
**Gambar 1.** Distribusi ukuran partikel sol silika

Dari data pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa distribusi ukuran partikel sebesar 3,190 nm dengan zeta potensial -31,68 mV. Dari analisa PSA diperoleh zeta potensial yang bernilai negatif, maka dapat ditetapkan bahwa *stainless steel* pada proses elektroforesis dihubungkan dengan kutub positif (anoda) dan karbon sebagai elektroda lawan (*counter electrode*) dihubungkan dengan kutub negatif (katoda).

### 3.2. Morfologi *Stainless Steel*

Setelah dilakukan anodisasi dan elektroforesis tampak pada permukaan *stainless steel* terdapat lapisan tipis berwarna putih keruh. Secara fisik, lapisan yang terbentuk pada permukaan *stainless steel* setelah anodisasi dan setelah elektroforesis terlihat tidak ada perbedaan. Hal ini disebabkan lapisan silika yang terbentuk berwarna abu transparan sehingga secara fisik tidak terlihat ada perbedaan dengan logam yang hanya diberi perlakuan anodisasi.

Morfologi lapisan yang terbentuk pada permukaan *stainless steel* ditunjukkan pada Gambar 2. Dari gambar tampak bahwa terdapat perbedaan morfologi antara *stainless steel* tanpa perlakuan (*bare steel*) (Gambar 2 (a)) dengan *stainless steel* setelah anodisasi dan elektroforesis. Gambar 2 (b) menunjukkan bahwa setelah dilakukan anodisasi terbentuk lapisan yang berpori pada permukaan *stainless steel*. Pori tersebut nantinya akan menjadi tempat menempelnya silika pada proses elektroforesis. Pada Gambar 2 (c) tampak bahwa setelah dielektroforesis terdapat silika yang menempel pada pori-pori lapisan hasil anodisasi. Hal ini ditunjukkan dengan adanya warna putih pada permukaan lapisan. Warna putih tersebut menempel hanya di beberapa bagian permukaan pori.



**Gambar 2.** Morfologi permukaan *stainless steel* (a) tanpa anodisasi dan EPD (b) dengan anodisasi (20 menit, voltase 10 volt) (c) dengan anodisasi dan EPD (20 menit, voltase 10 volt)

### 3.3. Pengaruh Waktu Anodisasi

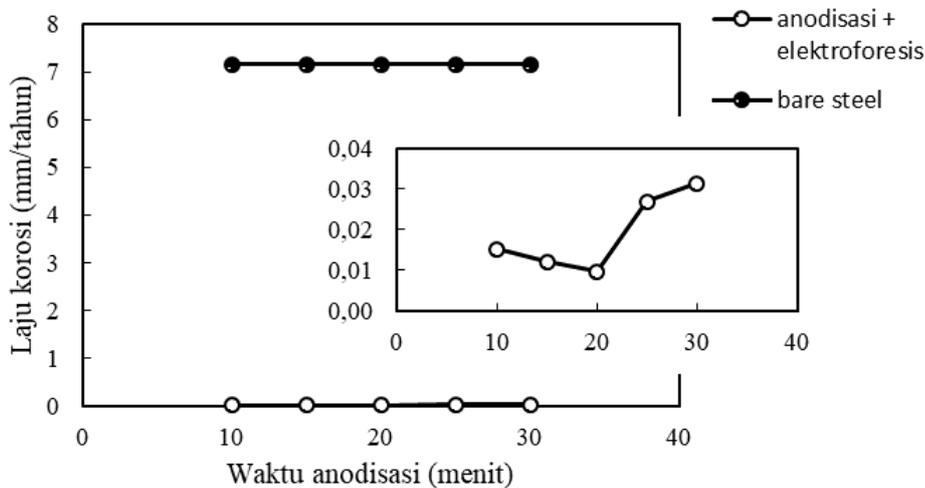
Sebelum elektroforesis, dilakukan anodisasi *stainless steel* menggunakan asam oksalat dengan konsentrasi 0,5 M dan beda tegangan 2 volt dengan memvariasikan waktu anodisasi. Dari Gambar 3 tampak bahwa waktu anodisasi berpengaruh terhadap ketahanan korosi logam. Tampak bahwa laju korosi logam tanpa perlakuan anodisasi dan elektroforesis (*bare steel*) lebih besar dibanding logam yang telah dianodisasi dan elektroforesis. Untuk logam yang telah dianodisasi dan elektroforesis, pada waktu anodisasi 10 menit hingga 20 menit terjadi penurunan laju korosi yang kemudian laju korosi meningkat setelah waktu anodisasi 20 menit. Hal tersebut terjadi karena semakin lama waktu anodisasi semakin tebal lapisan oksida yang terbentuk disebabkan oleh perpindahan ion-ion dalam larutan elektrolit semakin bertambah, dimana ion-ion tersebut merapat dan membentuk suatu lapisan oksida *stainless steel*. Dengan semakin tebalnya lapisan oksida yang terbentuk semakin banyak silika yang dapat menempel pada saat dilakukan elektroforesis. Namun dengan menaikkan lagi waktu anodisasi lapisan oksida menjadi makin tebal sehingga silika menjadi menempel secara tidak merata karena permukaan *stainless steel* sebagian besar sudah tertutup lapisan oksida saat anodisasi. Hal inilah yang mempengaruhi perbedaan ketahanan korosi logam. Apabila dibandingkan antara laju korosi *bare steel* dengan logam setelah anodisasi dan elektroforesis, maka terjadi penurunan. Laju korosi *bare steel* sebesar 7,156 mm/tahun

sedangkan laju korosi setelah anodisasi dan elektroforesis lebih kecil dibandingkan *bare steel*. Berdasarkan data diperoleh waktu terbaik anodisasi adalah 20 menit, dengan laju korosi sebesar 0,0096 mm/tahun.

Dari hasil analisa EIS diperoleh data seperti pada Tabel 1. Data pada Tabel 1 merupakan parameter yang diperoleh dari penyesuaian model sirkuit ekuivalen dari hasil spektra impedansi pada analisa EIS. Dimana  $R_s$  merupakan hambatan yang disebabkan oleh larutan yang terjadi antara elektroda acuan dan elektroda kerja.  $R_p$  merupakan tahanan lapisan (polarisasi).  $Y_0$  merupakan admittan yang menunjukkan mudahnya arus mengalir melalui lapisan karena adanya pori dan  $N$  merupakan suatu konstanta yang menunjukkan apakah lapisan bersifat sebagai resistor atau kapasitor (Bonora dkk., 1996). Karakteristik perlindungan korosi lapisan dikatakan bagus jika nilai admittansinya kecil, nilai tahanan lapisannya besar dan nilai  $N$  mendekati atau mencapai 1.

**Tabel 1.** Parameter sirkuit ekivalen hasil penyesuaian data spektra impedansi untuk variasi waktu

Ele men	Waktu (menit)				
	10	15	20	25	30
$R_s$	4,75	6,35	4,31	2,92	2,76
$R_p$	120,1	332,7	536,8	85,3	-
$Y_0$	0,0064	0,0051	0,004	0,0059	0,03
$N$	0,87	0,92	0,91	0,85	0,83



**Gambar 3.** Hubungan antara laju korosi dengan waktu anodisasi

Dari Tabel 1 tampak bahwa nilai tahanan lapisan semakin meningkat dan nilai admittansi semakin kecil dengan semakin lamanya waktu anodisasi. Akan tetapi, nilai tahanan lapisan mengalami penurunan dan nilai admittansi mengalami kenaikan setelah waktu anodisasi 20 menit. Hal ini disebabkan semakin lama waktu anodisasi semakin tebal lapisan oksida yang terbentuk sehingga pada saat dilakukan elektroforesis partikel silika yang menempel sedikit dan kemungkinan tidak merata. Tahanan lapisan yang paling besar dan nilai admittansi yang paling kecil diperoleh pada waktu anodisasi 20 menit. Hal ini menunjukkan bahwa waktu anodisasi 20 menit merupakan waktu terbaik untuk menghasilkan lapisan silika dengan karakteristik pelindung korosi yang baik. Selain itu, harga  $N$  yang didapat rata-rata di atas 0,8.  $N$  merupakan konstanta empirik yang bernilai 0 sampai 1. Jika  $N = 1$ , lapisan berperilaku sebagai kapasitor, jika  $N = 0$ , lapisan berperilaku sebagai resistor (Zhu dkk., 2011). Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan yang dihasilkan bersifat kapasitor.

Hasil analisa EIS dengan hasil analisa polarisasi linier saling berkesesuaian, dimana diperoleh ketahanan korosi dan karakteristik perlindungan korosi lapisan terbaik diperoleh pada lama anodisasi 20 menit.

### 3.4. Pengaruh Beda Tegangan Anodisasi terhadap Ketahanan Korosi dan Karakteristik Lapisan Silika

Selain waktu anodisasi, beda tegangan saat anodisasi juga berpengaruh terhadap laju korosi dan karakteristik lapisan silika yang terbentuk. Anodisasi dilakukan pada konsentrasi asam oksalat 0,5 M dan waktu anodisasi 20 menit dengan variasi beda tegangan (voltase). Untuk elektroforesis dilakukan selama 10 menit, *duty cycle* 60%, frekuensi 80 Hz dan amplitudo 0,5 V.

Berdasarkan analisa polarisasi linier, diperoleh data seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 tampak bahwa laju korosi *bare steel* lebih besar dibandingkan laju korosi setelah anodisasi dan elektroforesis. Pada variasi tegangan 2 hingga 10 Volt terjadi penurunan laju korosi yang disebabkan semakin meningkatnya tegangan listrik maka akan mengakibatkan peningkatan lapisan oksida yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena semakin meningkatnya tegangan listrik yang digunakan maka beda potensial yang terjadi akan semakin besar, ketika beda potensial yang terjadi semakin besar maka pergerakan muatan-muatan listrik akan meningkat. Peningkatan

pergerakan muatan-muatan listrik ini akan mempermudah ion-ion dalam larutan elektrolit berpindah ke permukaan *stainless steel* sehingga terbentuknya lapisan oksida yang stabil dan berkelanjutan pada seluruh permukaan *stainless steel*. Dengan lapisan oksida stabil dan berkelanjutan ini pada saat dilakukan elektroforesis silika yang menempel kemungkinan lebih banyak dan merata. Laju korosi paling baik diperoleh pada nilai beda tegangan anodisasi 10 V dengan nilai laju korosi sebesar 0,0051 mm/tahun.

**Tabel 2.** Hubungan beda tegangan terhadap laju korosi

Beda tegangan (Volt)	Laju korosi (mm/tahun)	
	<i>Bare steel</i>	Anodisasi dan elektroforesis
2		0,0096
4		0,0089
6	7,156	0,0082
8		0,0077
10		0,0051

Parameter hasil analisa EIS ditunjukkan pada Tabel 3. Dari tabel tampak bahwa dari beberapa variasi voltase yang digunakan, nilai admittansi paling kecil dan nilai tahanan lapisan paling besar diperoleh pada tegangan 10 volt. Nilai admittansi kecil menunjukkan bahwa hanya sedikit elektrolit yang terpenetrasi melewati pori dan nilai tahanan lapisan besar menunjukkan bahwa besarnya hambatan lapisan untuk menghalangi elektrolit masuk dan menyerang *stainless steel* (Pepe dkk., 2006). Selain itu, harga  $N$  yang didapat rata-rata di atas 0,8. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan yang dihasilkan bersifat kapasitor. Hasil penyesuaian spektra impedansi analisa EIS yang diperoleh saling berkesesuaian dengan hasil analisa polarisasi linier.

**Tabel 3.** Parameter sirkuit ekuivalen hasil penyesuaian data spektra impedansi untuk variasi beda tegangan

Elemen	Beda tegangan (volt)				
	2	4	6	8	10
$R_s$	4,31	4,74	3,41	6,91	6,71
$R_p$	536,8	1.305	413,2	360,0	1.774
$Y_0$	0,004	0,007	0,002	0,003	0,001
$N$	0,91	0,86	0,85	0,97	0,91

#### 4. Kesimpulan

Perlakuan anodisasi disertai elektroforesis pada *stainless steel* mampu meningkatkan ketahanan korosi *stainless steel*. Waktu dan beda tegangan saat anodisasi berpengaruh terhadap ketahanan korosi serta karakteristik perlindungan korosi lapisan pada permukaan *stainless steel*. Lapisan dengan karakteristik perlindungan korosi paling bagus diperoleh pada lama anodisasi 20 menit dan beda tegangan 10 volt. Hal ini ditunjukkan dari laju korosi *stainless steel*, nilai tahanan lapisan dan nilai admittansi pada lapisan. Diperoleh nilai laju korosi *stainless steel* dengan perlakuan anodisasi 20 menit, 10 volt paling kecil dibanding anodisasi dengan waktu dan voltase yang lain. Laju korosi yang diperoleh adalah sebesar 0,0051 mm/tahun dengan nilai admittansi dan tahanan lapisan masing-masing sebesar 0,0010226 Mho dan 1.774 ohm.

#### Daftar Pustaka

- Besra, L., Liu, M. (2007) A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD), *Progress in Materials Science*, 52, 1-61.
- Bonora, P.L., Deflorian, F., Fedrizzi, L. (1996) Electrochemical impedance spectroscopy as a tool for investigating underpaint corrosion, *Electrochimica Acta*, 41, 1073-1082.
- Burleigh, T. D., Dotson, T. C., Dotson, K. T., Gabay, S. J (2007) Anodizing steel in KOH and NaOH solutions, *Journal of The Electrochemical Society*, 154, C579-C586
- Castro, Y., Duran, A., Damborenea, J. J., Conde, A. (2008) Electrochemical Behaviour of Silica Basic Hybrid Coatings Deposited on Stainless Steel by Dip Coating and EPD, *Journal of Surface and Coating Technology*, 53, 6008-6017.
- Dalbin, S., Maurin, G., Nogueira, R. P., Persello, J., Pommier, N. (2005) Silica-based coating for corrosion protection of electrogalvanized steel, *Surface and Coatings Technology*, 194, 363-371.
- Gamry Instrument, Inc. (1999) Installation manual revision 3.1.
- Li, F., Zhang, L., Metzger, R.M. (1998) On the growth of highly ordered pores in anodized aluminum oxide, *Chemical Materials*, 10, 2470-2480.
- Liu, L. (2017) Study on the preparation of SiC coating by chemical vapor phase and the mechanical properties of ceramic matrix composites. *Chemical Engineering Transactions*, 59, 115-120.
- Marra, F., Baiamonte, L., Bartuli, C., Valente, M., Valente, T., Pulci, G. (2016) Tribological behaviour of alumina-titania nanostructured coatings produced by air plasma spray technique. *Chemical Engineering Transactions*, 47, 127-132.
- Naim, M. N., Iijima, M., Kamiyaa, H., Lenggoro, I. W. (2010) Electrophoretic packing structure from aqueous nanoparticle suspension in pulse DC charging, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 360, 13-19.
- Pepe, A., Galliano, P., Aparicio, M., Duran, A., Cere S. (2006) Sol-gel coatings on carbon steel: electrochemical evaluation, *Surface and Coatings Technology*, 200, 3486-3491.
- Plsko, A., Pagacova, J., Sulcova, J., Bielikova, B., Tomagova, M., Michalkova, K., Rodova, A. (2014) Nanocomposite films prepared from stabilized aqueous SiO<sub>2</sub> sols, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 401, 129-133.
- Suari, N. M. I. P. dan Manulang, A. L. S. O. (2011) Coating steel with silica by electrophoresis to prevent corrosion, Final project, Sepuluh Nopember Institute of Technology, Indonesia.
- Tsai, M. S. (2004) The study of formation colloidal silica via sodium silicate, *Materials Science and Engineering: B*, 106, 52-55.
- Zhu, C., Xie, R., Xue, J., Song, L. (2011) Studies of the impedance models and water transport behaviors of cathodically polarized coating, *Electrochimica Acta*, 56, 5828-5835.