

STUDI DAN KARAKTERISASI LAJU KOROSI LOGAM ALUMINIUM DENGAN PELAPISAN MEMBRAN SOL-GEL

Rohadi Satrio Budi Utomo, Sagir Alva

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: rsatmesin@gmail.com

Abstrak--Dari beberapa logam seperti baja, tembaga, seng, aluminium dan paduannya, maka aluminium memiliki keunggulan, terutama dalam hal ketahanan terhadap korosi. Ketahanan korosi yang sangat baik oleh aluminium disebabkan oleh adanya lapisan oksida tipis yang menempel sangat kuat di permukaannya (Al_2O_3). Lapisan Al_2O_3 stabil pada lingkungan pH 4 s/d pH 9 (pasifasi) sehingga lapisan tersebut dapat melindungi logam bagian dalam dari serangan korosi lanjutan, namun aluminium dapat juga terkorosi dalam lingkungan yang agresif yaitu di luar kisaran pH tersebut terutama suasana asam maupun basa. Hal ini dapat diatasi dengan memberikan coating berupa cat logam terhadap aluminium. Akan tetapi pemberian cat logam tidak dapat dilakukan pada situasi tertentu yang mengharuskan adanya reaksi antara logam dengan lingkungan asam ataupun basa dengan tetap mempertimbangkan ketahanan korosi material tersebut, seperti yang terjadi pada baterai. Ini dikarenakan sifat cat yang membendung reaksi antara logam dengan lingkungannya. Oleh karena itu diperlukan penambahan inhibitor korosi dengan mempertimbangkan faktor di atas, yaitu dengan pelapisan membran Sol-Gel. Dari hasil pengujian Sol-Gel yang dilapisi pada aluminium mampu menahan laju korosi pada larutan HCl sebesar 24,26% dan larutan Asam Asetat sebesar 25,57% dibandingkan aluminium tanpa pelapisan. Kemudian membran Sol-Gel juga membuat lapisan pelindung laju korosi yang memiliki pori-pori dengan lebar celah $\pm 0,56 - 1,12 \mu m$ pada pengujian dengan larutan HCl dan $\pm 0,47 - 1,41 \mu m$ pada pengujian dengan larutan Asam Asetat sebagai jalan terjadinya reaksi antara logam dan cairan asam atau basa.

Kata kunci: korosi, aluminium, Sol-Gel

1. PENDAHULUAN

Dari beberapa logam seperti baja, tembaga, seng, aluminium dan paduannya, maka aluminium memiliki keunggulan, terutama dalam hal ketahanan terhadap korosi (dalam suasana netral), ringan, kaku, dan mudah dibentuk, sehingga logam aluminium memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai konstruksi pesawat terbang, peralatan industri, alat-alat rumah tangga sampai ke bahan pengemas makanan atau minuman (Bradford & Faulkner, 1992). Korosi merupakan suatu proses perusakan logam oleh suatu reaksi kimia atau elektrokimia sebagai akibat interaksi antara logam dengan lingkungannya (Jones, 1992).

Ketahanan korosi yang sangat baik oleh aluminium disebabkan oleh adanya lapisan oksida tipis yang menempel sangat kuat di permukaannya (Al_2O_3). Lapisan Al_2O_3 stabil pada lingkungan pH 4 s/d pH 9 (pasifasi) sehingga lapisan tersebut dapat melindungi logam bagian dalam dari serangan korosi lanjutan, namun aluminium dapat juga terkorosi dalam lingkungan yang agresif yaitu di luar kisaran pH tersebut terutama suasana asam maupun basa (Siregar, 2010). Hal ini dapat diatasi dengan memberikan coating berupa cat logam terhadap aluminium. Akan tetapi pemberian cat logam tidak dapat dilakukan pada situasi tertentu yang mengharuskan adanya reaksi antara logam dengan lingkungan asam ataupun basa dengan

tetap mempertimbangkan ketahanan korosi material tersebut, seperti yang terjadi pada baterai. Motoda sol-gel banyak dimanfaatkan untuk proses sintesis material, terutama memperlihatkan kemampuan, versatilitas, kemurnian, homogenitas, dan modifikasi sifat material dengan mengubah parameter sintesisnya. Contohnya untuk menghasilkan suatu keramik monolitik, gelas, fiber atau serat, membrane, aerogel, atau juga untuk mensintesis bubuk baik butiran mikro maupun nano (Hench & West, 1990).

Pada percobaan yang dilakukan oleh (Sari, 2017) pengendalian Korosi yang terjadi pada Aluminium di lingkungan yang agresif baik suasana asam ataupun basa menggunakan *Sellulosa Asetat* (CA). Dari percobaan tersebut, didapat *Sellulosa Asetat* tidak dapat melindungi logam aluminium pada saat perendaman dengan larutan asetat dan KOH. Sedangkan pada larutan HCl, *sellulosa asetat* mampu memperlambat laju korosi pada logam aluminium. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud membuat lapisan film atau membran pelindung Sol-Gel yang solid dan berpori yang diharapkan dapat memperlambat laju korosi yang terjadi pada Aluminium dengan tetap membiarkan terjadinya reaksi antara logam dengan lingkungan asam atau basa melalui pori-pori yang ada. Kondisi percobaan ini mengacu terhadap kondisi penelitian terdahulu (Sari, 2017), yaitu kaleng minuman bekas aluminium yang diampelas kemudian dibersihkan dengan alkohol 70% sampai bersih lalu disimpan dalam wadah

kedap udara. Dan bahan perendaman untuk percobaan laju korosi adalah HCl, Asam Asetat dan KOH.

2. METODOLOGI PELAKSANAAN

2.1 Pembuatan Material Uji

Material uji yang digunakan adalah plat aluminium yang diperoleh dari kaleng bekas minuman *Pocari Sweat* yang telah diampas dan dibersihkan dari lapisan yang melapisi sebelumnya. Kemudian plat dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm, dibersihkan lalu diukur berat dan tebalnya. Serta berikutnya dimasukkan ke dalam plastik klip untuk dilakukan pelapisan dengan Sol-Gel.

2.2 Pembuatan Sol-Gel

Pembuatan Sol-Gel dengan cara mencampurkan 0,4 ml aquades dan 1ml etanol. Lalu hasil campuran tersebut dicampur dengan 0,1 ml HCl 0,1 M dan 4,5 ml TEOS dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 4 jam. Setelah itu diamkan selama 24 jam untuk kemudian siap digunakan sebagai membran lapisan.

2.3 Pelapisan Material Uji dengan Sol-Gel

Pelapisan dilakukan dengan cara mencelupkan material uji beberapa kali ke dalam Sol-Gel lalu diamkan pada temperatur $\pm 50^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ (hingga lapisan Sol-Gel cukup kuat melapisi material uji $\pm 10 - 30$ detik), kemudian diamkan pada temperatur ruang (20°C sampai 25°C) selama 24 (dua puluh empat) jam hingga kering dan siap dilakukan proses perendaman larutan asam dan basa

2.4 Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan dengan perendaman material uji terhadap lingkungan Asam Asetat 0,1 M, 0,5 M, 1 M, 2 M, 3 M, 4 M, 5 M dan 6 M selama 24 jam. Lingkungan HCl 0,1 M hingga 3 M selama 5 menit. Kemudian lingkungan KOH 0,1 M hingga 6 M selama 5 menit. Laju korosi kemudian ditentukan dengan metode kehilangan berat (Fontana, 1987).

$$CR = K \frac{W}{A \times T \times D} \quad (1.1)$$

dimana,

CR = laju korosi (mpy = *mils penetration per year*)

K = konstanta laju korosi= 534

W = kehilangan berat (mg)

T = waktu perendaman (jam)

A = luas permukaan spesimen (in^2)

D = densitas spesimen (g/cm^3)

Diketahui densitas aluminium adalah $2,64 \text{ g}/\text{cm}^3$ (Ambrsoft, 2017). Sedangkan untuk waktu perendaman dapat divariasikan sesuai jenis material dan larutan yang digunakan dalam pengujian serta perubahan berat yang terjadi

pada material sebelum dan setelah proses pengujian. Sebagai contoh, untuk pengujian material pada perendaman asam kuat, dilakukan perendaman yang singkat sehingga material tidak terlarut dan habis seluruhnya karena sifat asam kuat (Nisa *et al*, 2014). Sedangkan pada perendaman Asam Lemah dapat dilakukan perendaman yang lama karena perubahan berat yang terjadi sangat sedikit.

Kemudian untuk menentukan efisiensi laju korosi aluminium yang telah dilapisi membran Sol-Gel dengan aluminium sebelum dilapisi, digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Inhibitor} = \frac{V_{ko} - V_{ki}}{V_{ko}} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

dimana,

V_{ko} = Nilai rata-rata laju korosi tanpa inhibitor

V_{ki} = Nilai rata-rata laju korosi dengan inhibitor

2.5 Pengujian Karakterisasi Permukaan

Setelah dilakukan *scanning* pada material uji. Analisis dilakukan dengan mengamati dan menganalisa permukaan, bentuk serta ukuran hasil uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) berdasarkan teori-teori yang telah valid.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Komposisi dan Perlakuan Sol-Gel

a) Optimasi Komposisi

Pada percobaan pertama, parameter yang digunakan sama seperti penelitian yang dilakukan oleh (Wong *et al.*, 2006) dalam pembuatan *optical biosensor*. Dalam penelitian ini, komposisi dari membran Sol-Gel adalah:

TEOS 4,5 ml + 0,1 M HCl 0,1 ml + akuades 1,4 ml

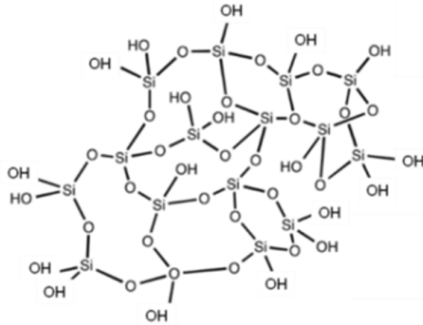
Adapun perlakuan yang diterapkan adalah sebagai berikut:

- 1) Proses pencampuran bahan dilakukan pada temperatur ruangan (20°C sampai dengan 25°C).
- 2) Pencampuran dilakukan menggunakan alat *magnetic stirrer* dan dilakukan selama 4 (empat) jam.
- 3) Pada tahap Pematangan (*Ageing*), Sol-Gel didiamkan pada temperatur ruangan selama 24 (dua puluh empat) jam hingga Sol-Gel siap untuk dilapisi



Gambar 3.1 Material Uji Sol-Gel percobaan pertama

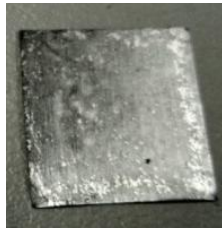
Dari gambar di atas, terlihat lapisan membran Sol-Gel belum dapat menempel dengan baik terhadap material uji yaitu Aluminium. Dimana Sol-Gel dilapisi pada material uji dan dilakukan pengeringan pada temperatur ruang (20°C sampai dengan 25°C) terdapat banyak bagian Sol-Gel yang pecah sehingga tidak dapat menempel dengan baik.



Gambar 3.2 Ilustrasi ikatan Sol-Gel komposisi akuades

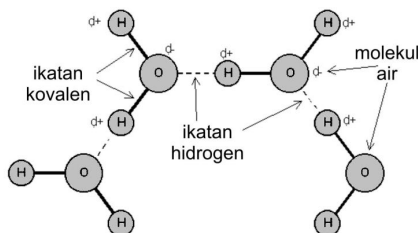
Pada percobaan kedua, parameter yang digunakan dalam pembuatan Sol-Gel ditambahkan etanol seperti yang dilakukan oleh (Brittain *et al.*, 2007) sehingga komposisi membran Sol-Gel adalah sebagai berikut:

TEOS 4,5ml + 0,1M HCl 0,1ml + (Etanol + akuades) 1,4ml



Gambar 3.3 Material Uji Sol-Gel percobaan kedua

Dari gambar di atas, terlihat penambahan etanol memiliki kekuatan melekat yang lebih baik terhadap aluminium dibandingkan pada percobaan pertama. Hal ini dikarenakan etanol memiliki ikatan kovalen (Ariyanti, 2010) yang lebih kuat ikatannya daripada air yang memiliki ikatan hidrogen yang saling mengikat tetapi tidak padat (berongga) (Kusuma, 2014). Akan tetapi, masih terdapat beberapa bagian dari Sol-Gel yang terlepas.

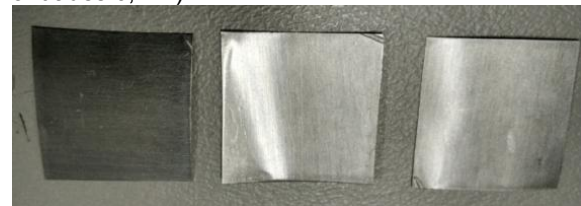


Gambar 3.4 Ikatan kovalen dan ikatan hidrogen

b) Optimasi Pengeringan

Pada percobaan ketiga, tahapan pengeringan (*drying*) dilakukan. Hal ini dimaksudkan agar membran Sol-Gel dapat membentuk lapisan film yang tidak pecah pada saat melapisi material uji. Pengeringan dilakukan pada temperatur 50°C sampai 60°C selama 10 sampai 30 detik. Menurut (Ahzan, Sri & Darminto, 2012) proses pengeringan berfungsi untuk menghilangkan pelarut etanol, air, dan gugus asam untuk membentuk partikel Sol-Gel yang seragam dan berpori. Pengeringan pada temperatur 500°C dapat membuat Sol-Gel memiliki orientasi kristal dan memiliki pori-pori sangat kecil. Lalu dilakukan pengeringan lanjutan pada temperatur ruang 20°C sampai 25°C selama 24 (dua puluh empat) jam untuk dapat dilakukan pengujian korosi. Adapun komposisi membran Sol-Gel sesuai pada optimasi komposisi setelah ditambahkan etanol sebagai berikut:

TEOS 4,5ml + 0,1M HCl 0,1ml + (Etanol 1ml + akuades 0,4ml)



Gambar 3.5 Material Uji Sol-Gel percobaan ketiga

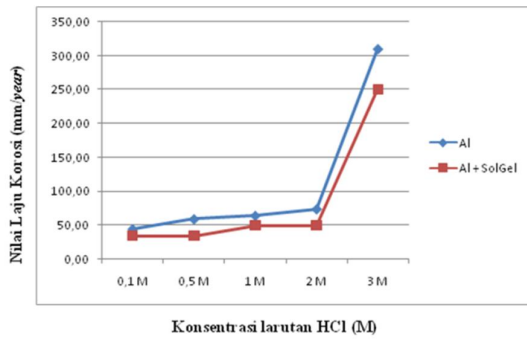
Dari gambar di atas, terlihat penambahan proses pengeringan pada temperatur 50°C sampai 60°C pada proses pelapisan material uji dengan Sol-Gel, dapat membuat membran Sol-Gel menempel dengan baik terhadap material uji yaitu Aluminium dengan kondisi yang merata dan transparan. Sehingga, peneliti menggunakan komposisi dan perlakuan Sol-Gel seperti percobaan ketiga.

3.2 Analisis Laju Korosi dan Karakterisasi Permukaan

a) Analisis pada perendaman larutan HCl
Laju korosi yang terjadi adalah sebagai berikut:

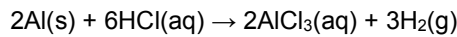
Tabel 3.1 Laju korosi material uji terhadap larutan HCl

Konsentrasi (M)	Aluminium	Aluminium + Sol-Gel	Efisiensi (%)
	Laju Korosi (mm/year)	Laju Korosi (mm/year)	
0,1 M	44,35	34,43	22,38
0,5 M	59,13	34,43	41,78
1 M	64,06	49,18	23,23
2 M	73,91	49,18	33,47
3 M	310,44	250,81	19,21



Gambar 3.6 Grafik hasil pengujian material terhadap larutan HCl

Dari tabel laju korosi di atas, dapat dilihat untuk Aluminium tanpa pelapisan memiliki laju korosi terendah 44,35 mm/year pada konsentrasi 0,1 M dan terus naik seiring peningkatan konsentrasi larutan HCl secara normal hingga 73,91 mm/year pada konsentrasi 2 M. Kemudian laju korosi pada aluminium naik cukup tinggi seperti yang terlihat pada grafik (Gambar 3.5) yaitu hingga 310,44 mm/year pada konsentrasi 3 M. Dan apabila proses ini dilanjutkan, baik dengan penambahan waktu perendaman maupun peningkatan konsentrasi dari larutan HCl akan menyebabkan aluminium semakin terabrasi dan larut menjadi $2AlCl_3(aq)$ dan $3H_2(g)$ (Graedel, 1989). Dimana gas hidrogen dapat dilihat pada saat melakukan perendaman berupa gelembung-gelembung gas (Nisa *et al*, 2014). Adapun reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Untuk aluminium yang telah dilapisi membran Sol-Gel dapat dilihat pada tabel memiliki ketahanan laju korosi yang lebih baik dibandingkan aluminium tanpa pelapisan dengan grafik laju korosi yang tidak terlalu berbeda. Dimana untuk konsentrasi 0,1 M dan 0,5 M memiliki laju korosi sebesar 34,43 mm/year dan pada konsentrasi 1 M dan 2 M memiliki laju korosi sebesar 49,18 mm/year. Kemudian seperti yang terlihat pada grafik untuk konsentrasi larutan HCl 3 M, terjadi lonjakan laju korosi yang cukup tinggi yaitu hingga 250,81 mm/year. Kemudian material uji tampak menghitam akibat endapan-endapan hasil reaksi logam aluminium dengan larutan HCl dan semakin menghitam serta menipis seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan HCl.

Adapun efisiensi inhibitor untuk perendaman pada larutan HCl adalah sebagai berikut:

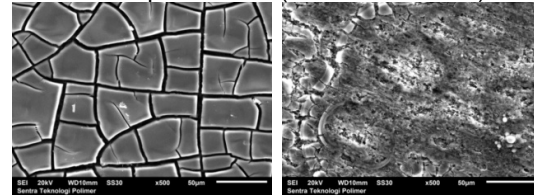
$$\text{Efisiensi Inhibitor} = \frac{V_{ko} - V_{ki}}{V_{ko}} \cdot 100\%$$

$$\text{Efisiensi Inhibitor} = \frac{110,379 - 83,604}{110,379} \cdot 100\%$$

$$\text{Efisiensi Inhibitor} = 24,26\%$$

Jadi, berdasarkan perhitungan dan data di atas, Aluminium dengan pelapisan Sol-Gel memiliki

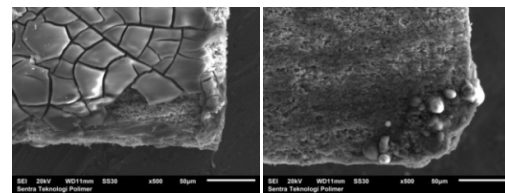
efisiensi inhibitor atau ketahanan laju korosi yang lebih baik sebesar 24,26% dibandingkan aluminium sebelum dilakukan pelapisan pada perendaman larutan HCl. Hal ini dikarenakan Sol-Gel membentuk lapisan pelindung korosi yang berpori seperti yang terlihat pada pengujian karakterisasi permukaan (Gambar 3.7 - 3.8).



Al + Sol-Gel

Al

Gambar 3.7 Hasil SEM pada material uji perendaman HCl 3 M posisi sudut



Al + Sol-Gel

Al

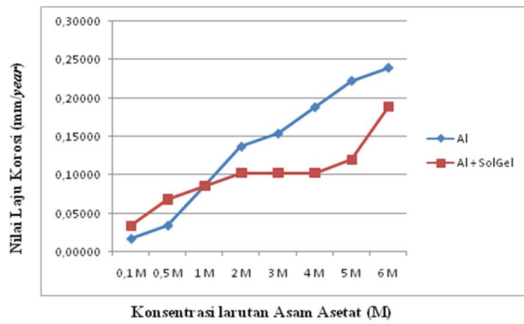
Gambar 3.8 Hasil SEM pada material uji perendaman HCl 3 M posisi sudut

Dari foto SEM diatas, terlihat membran Sol-Gel membentuk lapisan pelindung yang dapat menghambat terjadinya korosi. Lapisan tersebut juga memiliki pori-pori atau celah yang memungkinkan tetap terjadinya reaksi antara aluminium dengan larutan HCl sehingga tujuan penelitian tercapai. Dimana lebar celah dari pori-pori tersebut adalah $\pm 0,56 - 1,12 \mu m$. Dari gambar di atas juga terlihat jenis korosi yang terjadi pada aluminium dengan perendaman larutan HCl adalah korosi merata (*Uniform Attack*) (Hakim, 2012), dimana seluruh permukaan logam mengalami korosi dan semakin menipis bahkan dapat terlarut seluruhnya pada konsentrasi meningkat atau waktu perendaman yang lebih lama.

b) Analisis pada perendaman larutan Asam Asetat Laju korosi yang terjadi adalah:

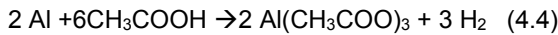
Tabel 3.2 Laju korosi material uji terhadap larutan Asam Asetat

Konsentrasi (M)	Aluminium	Aluminium + Sol-Gel	Efisiensi (%)
	Laju Korosi (mm/year)	Laju Korosi (mm/year)	
0,1 M	0,01702	0,03404	- 50,00
0,5 M	0,03429	0,06833	- 49,81
1 M	0,08560	0,08534	0,30
2 M	0,13691	0,10236	25,23
3 M	0,15392	0,10236	33,50
4 M	0,18821	0,10236	45,61
5 M	0,22250	0,11963	46,23
6 M	0,23952	0,18796	21,53



Gambar 3.9 Grafik hasil pengujian material uji terhadap larutan Asam Asetat

Dari tabel laju korosi di atas, dapat dilihat nilai laju korosi untuk material uji dengan perendaman asam asetat relatif lebih kecil dibandingkan perendaman pada larutan HCl. Dimana pada laju korosi pada aluminium tanpa pelapisan membran Sol-Gel memiliki grafik yang terus meningkat. Akan tetapi, dapat dilihat untuk konsentrasi asam asetat 0,1 M dan 0,5 M, aluminium tanpa lapisan Sol-Gel memiliki laju korosi yang lebih baik dibandingkan aluminium dengan lapisan membran Sol-Gel, yaitu 0,01702 mm/year berbanding 0,03404 mm/year pada konsentrasi 0,1 M dan 0,03429 mm/year berbanding 0,06833 mm/year pada konsentrasi 0,5 M. Hal ini dikarenakan lapisan pelindung Al₂O₃ dapat bekerja lebih baik dari pada lapisan Sol-Gel pada konsentrasi rendah. Sedangkan untuk reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Kemudian pada konsentrasi 1 M, kedua material uji memiliki laju korosi sebesar 0,08560 mm/year pada aluminium tanpa pelapisan dan 0,08534 mm/year dengan pelapisan Sol-Gel. Lalu pada konsentrasi 2 M hingga 6 M aluminium tanpa pelapisan memiliki laju korosi sebesar 0,13691 mm/year hingga 0,23952 mm/year, dimana nilai ini relatif lebih besar daripada laju korosi pada aluminium yang telah dilapisi oleh membran Sol-Gel yang stabil pada konsentrasi 2 M hingga 4 M sebesar 0,10236 mm/year dan meningkat pada konsentrasi 5 M sebesar 0,11963 mm/year lalu naik cukup tinggi tetapi masih dibawah laju korosi aluminium tanpa lapisan, yaitu sebesar 0,18796 mm/year. Efisiensi inhibitor untuk perendaman pada larutan Asam Asetat adalah sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Inhibitor} = \frac{V_{ko} - V_{ki}}{V_{ko}} \cdot 100\%$$

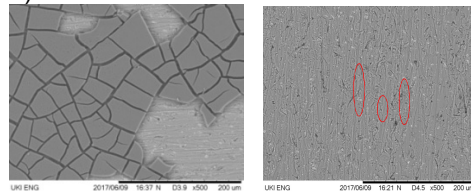
$$\text{Efisiensi Inhibitor} = \frac{0,1347 - 0,1003}{0,1347} \cdot 100\%$$

$$\text{Efisiensi Inhibitor} = 24,57\%$$

Jadi, berdasarkan perhitungan dan data di atas, Aluminium dengan pelapisan Sol-Gel memiliki efisiensi inhibitor atau ketahanan laju korosi yang

lebih baik sebesar 25,57% dibandingkan aluminium sebelum dilakukan pelapisan pada perendaman larutan asam asetat. Hal ini dikarenakan sama seperti pada perendaman menggunakan larutan HCl, pada perendaman larutan Asam Asetat Sol-Gel juga mampu membentuk lapisan pelindung korosi yang berpori seperti yang terlihat pada pengujian karakterisasi permukaan (gambar 3.10 & 3.11).

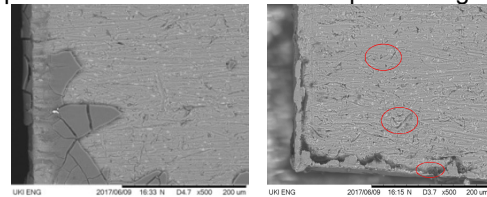
Dari hasil SEM pada material uji, terlihat lapisan Sol-Gel mampu melindungi aluminium dari korosi yang disebabkan oleh reaksi aluminium dan asam asetat. Juga terlihat pori-pori atau celah yang memungkinkan tetap terjadinya reaksi antara aluminium dengan larutan asam asetat sehingga tujuan penelitian tercapai. Dimana lebar celah dari pori-pori tersebut adalah ± 0,47 – 1,41 µm. Sedangkan jenis korosi yang terjadi pada aluminium dengan perendaman larutan asam asetat adalah korosi sumuran (*Pitting Corrosion*), dimana hal ini ditandai dengan terjadinya perubahan tampilan dan terbentuknya lubang-lubang terisolasi (gelap) (Handoko & Bayuseno, 2012).



Al + Sol-Gel

Al

Gambar 3.10 Hasil SEM pada material uji perendaman Asam Asetat 4 M posisi tengah



Al + Sol-Gel

Al

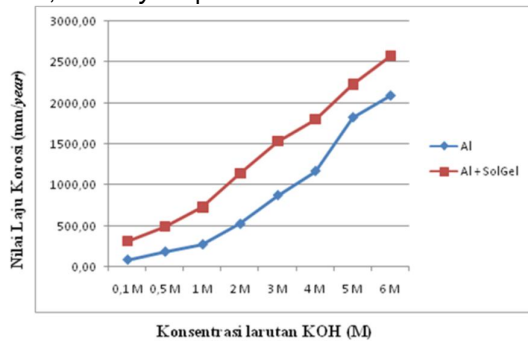
Gambar 3.11 Hasil SEM pada material uji perendaman Asam Asetat 4 M posisi sudut

c) Analisis pada perendaman larutan KOH
Nilai laju korosi yang terjadi adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Laju korosi material uji terhadap larutan KOH

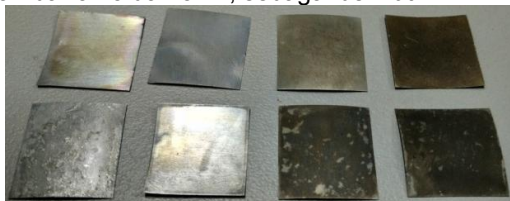
Konsentrasi (M)	Aluminium	Aluminium + Sol-Gel	Efisiensi (%)
	Laju Korosi (mm/year)	Laju Korosi (mm/year)	
0,1 M	83,77	309,83	- 72,96
0,5 M	182,32	486,87	- 62,55
1 M	271,02	722,93	- 62,51
2 M	522,33	1131,11	- 53,82
3 M	872,19	1529,46	- 42,97
4 M	1167,85	1799,94	- 35,12
5 M	1823,22	2222,88	- 17,98
6 M	2089,32	2572,05	- 18,77

Dari tabel, dapat dilihat laju korosi dengan metode kehilangan berat yang terjadi pada material uji pada perendaman KOH cukup tinggi. Dimana untuk aluminium tanpa pelapisan Sol-Gel memiliki nilai laju korosi terendah sebesar 83,77 mm/year pada konsentrasi 0,1 M larutan KOH dan nilai laju korosi tertinggi sebesar 2089,32 mm/year pada konsentrasi larutan 6 M. Sedangkan, untuk aluminium dengan pelapisan Sol-Gel juga mengalami kenaikan laju korosi pada setiap peningkatan konsentrasi larutan KOH. Dimana untuk konsentrasi terendah nilai laju korosi sebesar 309,83 mm/year pada konsentrasi 0,1 M larutan KOH dan nilai laju korosi tertinggi sebesar 2572,05 mm/year pada konsentrasi larutan 6 M.

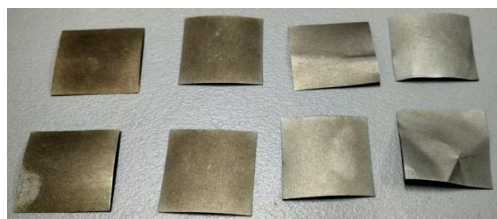


Gambar 3.12 Grafik hasil pengujian material terhadap larutan KOH

Sehingga, pengujian aluminium tanpa pelapisan Sol-Gel dengan menggunakan larutan KOH memiliki nilai laju korosi yang lebih baik dibandingkan Aluminium dengan pelapisan Sol-Gel. Hal ini terjadi karena adanya penambahan ukuran pori-pori Sol-Gel yang bereaksi dengan KOH (Jiang *et al.*, 2015) yang terlihat pada gambar 3.15 dan 3.16. Pori-pori akan semakin membesar dan Sol-Gel akan pecah. Sehingga membuat endapan aluminium akibat reaksi terhadap larutan KOH. Hal ini dapat terlihat pada gambar 3.13 dan 3.14, sebagai berikut:



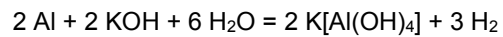
Gambar 3.13 Material uji setelah direndam larutan KOH konsentrasi 0,1M, 0,5M, 1M dan 2M



Gambar 3.14 Material uji setelah direndam larutan KOH konsentrasi 3M, 4M, 5M dan 6M

Dari gambar di atas, aluminium dengan lapisan Sol-Gel (bagian bawah setiap gambar), berwarna lebih kehitaman dibandingkan aluminium tanpa lapisan Sol-Gel. Pada konsentrasi 0,1 M Sol-Gel memiliki warna sedikit kehitaman dari pada aluminium pada umumnya, lalu pada konsentrasi 0,5 M lapisan Sol-gel semakin menipis dan mengubah sebagian warna aluminium menjadi mengkilat. Kemudian pada konsentrasi 1 M dan 2 M, warna aluminium berubah menjadi hitam akibat endapan aluminium yang semakin banyak. Untuk konsentrasi 3 M hingga 6 M warna aluminium berubah menjadi kuning lalu logam semakin menipis seiring pertambahan konsentrasi larutan.

Sedangkan untuk aluminium tanpa pelapisan Sol-Gel, tampak mengkilat pada konsentrasi 0,1 M dan semakin menguning pada konsentrasi 0,5M hingga 4M lalu semakin menipis pada konsentrasi 5 M hingga 6 M. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



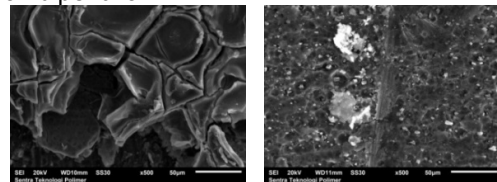
Adapun efisiensi inhibitor untuk perendaman pada larutan KOH adalah sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Inhibitor} = \frac{V_{ki} - V_{ko}}{V_{ki}} \cdot 100\%$$

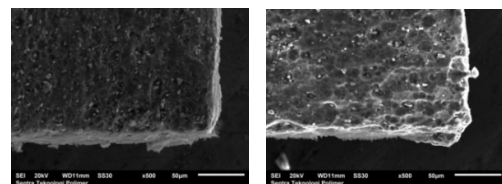
$$\text{Efisiensi Inhibitor} = \frac{876,502 - 1346,885}{876,502} \cdot 100\%$$

$$\text{Efisiensi Inhibitor} = -34,92\%$$

Dari hasil di atas dapat dilihat untuk aluminium tanpa lapisan Sol-Gel memiliki nilai laju korosi yang lebih baik sebesar 34,92% dibandingkan aluminium dengan lapisan Sol-Gel berdasarkan metode kehilangan berat. Sehingga pada perendaman dengan larutan KOH penggunaan Sol-Gel sebagai lapisan anti korosi aluminium tidak diperlukan.



Al + Sol-Gel Al
Gambar 3.15 Hasil SEM pada material uji perendaman KOH 4 M posisi tengah



Al + Sol-Gel Al
Gambar 3.16 Hasil SEM pada material uji perendaman KOH 4 M posisi sudut

Dari hasil SEM diatas, terlihat pori-pori Sol-Gel membesar sehingga memungkinkan larutan KOH untuk lebih cepat bereaksi dengan aluminium. Adapaun ukuran terkecil dari celah dari pori-pori tersebut adalah $\pm 0,96 \mu\text{m}$. Reaksi tersebut membuat endapan korosi pada aluminium seperti yang ditunjukkan dengan adanya bagian yang berwarna gelap pada gambar aluminium dengan pelapisan Sol-Gel lebih banyak dibandingkan aluminium tanpa pelapisan Sol-Gel. Sedangkan jenis korosi yang terjadi pada aluminium dengan perendaman larutan KOH adalah korosi merata (*Uniform Attack*) (Hakim, 2012), dimana seluruh permukaan logam mengalami korosi dan semakin menipis bahkan dapat terlarut seluruhnya pada konsentrasi meningkat atau waktu perendaman yang lebih lama.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian Studi dan karakterisasi Laju Korosi Logam Aluminium dengan Pelapisan Membran Sol-Gel, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai laju korosi yang terjadi pada aluminium dengan pelapisan Sol-Gel dan aluminium tanpa pelapisan, adalah sebagai berikut:
 - a. Laju korosi pada perendaman dengan larutan asam HCL, untuk aluminium dengan pelapisan Sol-Gel adalah $\pm 34,43 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 0,1 M dan meningkat hingga $\pm 250,81 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 3 M. Sedangkan pada aluminium tanpa pelapisan Sol-Gel adalah $\pm 44,35 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 0,1 M dan meningkat hingga $\pm 310,44 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 3 M. Kemudian Efisiensi inhobitor Sol-Gel dalam menahan laju korosi aluminium pada perendaman larutan HCl adalah 24,26% lebih baik dari pada aluminium tanpa pelapisan Sol-Gel.
 - b. Laju korosi pada perendaman dengan larutan asam asetat, untuk aluminium dengan pelapisan Sol-Gel adalah $\pm 0,03404 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 0,1 M dan meningkat hingga $\pm 0,18796 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 6 M. Sedangkan pada aluminium tanpa pelapisan Sol-Gel adalah $\pm 0,01702 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 0,1 M dan meningkat hingga $\pm 0,23952 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 6 M. Kemudian Efisiensi inhobitor Sol-Gel dalam menahan laju korosi aluminium pada perendaman larutan Asam Asetat adalah 25,57% lebih baik dari pada aluminium tanpa pelapisan Sol-Gel.
 - c. Laju korosi pada perendaman dengan larutan KOH, untuk aluminium dengan pelapisan Sol-Gel adalah $\pm 309,83 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 0,1 M dan meningkat hingga $\pm 2572,05 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 6 M. Sedangkan pada aluminium tanpa pelapisan Sol-Gel adalah $\pm 83,77 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 0,1 M dan meningkat hingga $\pm 2089,32 \text{ mm/year}$ pada konsentrasi 6 M. Kemudian pada pengujian dengan larutan KOH, aluminium dengan pelapisan Sol-Gel memiliki nilai laju korosi lebih tinggi sebesar 34,92% dari pada aluminium tanpa pelapisan Sol-Gel.
2. Komposisi yang tepat dalam pembuatan Sol-Gel adalah dengan menggunakan TEOS 4,5 ml + 0,1 M HCl 0,1 ml + (Etanol 1 ml + akuades 0,4 ml) dan diperlukan adanya pemanasan sekitar 50°C sampai 60°C selama 10 sampai 30 detik pada proses pelapisan untuk dapat membuat Sol-Gel melekat dengan baik pada permukaan Aluminium.
3. Pada pengujian HCl dan Asam Asetat, lapisan membran Sol-Gel membuat lapisan pelindung laju korosi yang memiliki pori-pori dengan lebar celah $\pm 0,56 - 1,12 \mu\text{m}$ pada pengujian dengan larutan HCl dan $\pm 0,47 - 1,41 \mu\text{m}$ pada pengujian dengan larutan Asam Asetat sebagai jalan terjadinya reaksi antara logam dan cairan asam atau basa. Pada pengujian KOH, adanya pertambahan ukuran pori-pori Sol-Gel yang bereaksi dengan KOH). Pori-pori akan semakin membesar dan Sol-Gel akan pecah. Sehingga membuat endapan aluminium akibat reaksi terhadap larutan KOH.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahzan, S., Sri, Y. P., & Darminto. (2012). *Sintesis Lapisan ZnO dengan metode Sol-gel Spincoating Dan Karakterisasi Sifat Optiknya* (Tesis, Universitas Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Indonesia). Diambil dari <http://digilib.its.ac.id/ITS-Master-3100012045562/17755>
- [2] Ambrsoft (2017) *Materials Density Table*. Diambil dari website: http://www.ambrsoft.com/CalcPhysics/Density/Table_2.htm
- [3] Ariyanti, D. (2010) *Perbandingan Sifat Fisika dan Kimia antar Senyawa Ion dengan Senyawa Kovalen*. Diambil dari website: <http://dwitaariyanti.blogspot.co.id/2010/10/perbandingan-sifat-fisika-dan-kimia.html>
- [4] Bardford, A. J. & Faulkner, L. R. (1992). *Electrochemical methods*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Brittain, W. J., Radhakrishnan, B., & Ranjan, R. (2007). *PCT/US2007/022761*. Ohio: USA. The University of Akron.
- [6] Fontana, M. G. (1987). *Corrosion engineering third edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.

- [7] Graedel, T. E. (1989). Corrosion Mechanisms for Aluminum Exposed to the Atmospher. *Journal Electrochem Soc*, 136, 204C-212C. Diambil dari: <http://jes.ecsdl.org/sci-hub.cc/content/136/4/204C.abstract>.
- [8] Handoko, E. D., & Bayuseno A. P. (2012). *Analisis Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Aliran Air Laut* (Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia). Diambil dari <http://eprints.undip.ac.id/41570/>
- [9] Hakim, A. R. (2012). *Analisa Korosi Atmosfer pada Material Baja Karbon-Sedang di Kota Semarang* (Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia). Diambil dari http://eprints.undip.ac.id/41465/3/BAB_II.pdf
- [10] Hench, L. L., & Jon K. W. (1990). The Sol-Gel Process. *Chemical Reviews*, 90, 33-72. doi: 10.1021/cr00099a003.
- [11] Jiang, J *et al.* (2015). Sol-gel process-derived rich nitrogen-doped porous carbon through KOH activation for supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 158, 229-236. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2015.01.144>.
- [12] Jones, D. A.. (1992). *Principles and prevention of corrosion*. New York: Macmillan Publishing Company.
- [13] Kusuma, A. (2014) *Ikatan Hidrogen*. Diambil dari website:
- [14] Nisa, F. *et al* (2014). *Pengukuran Nilai Laju Korosi Material Aluminium* (Tugas Praktikum, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia). Diambil dari http://web.unair.ac.id/admin/file/f_41131_kOr0siiiiiii.docx
- [15] Sari, A.K. (2017). Studi karakterisasi laju korosi logam aluminium dan pelapisan dengan menggunakan membran selulosa asetat. *Jurnal Teknik Mesin*, 6, 36-40. Diambil dari <http://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jtm/article/view/1204>
- [16] [15]. Siregar, T. (2010). Laju korosi dan mekanisme inhibisi aluminium murni menggunakan kalium dan kalsium stearat. *Jurnal Kimia*, 4, 113-124. Diambil dari <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jchem/article/view/2816>.
- [17] Wong, F. C. M., Ahmad, M., Heng, L. Y., & Peng, L. B. (2006). An optical biosensor for dichlovos using stacked Sol-Gel films containing acetylcholinesterase and a lipophilic choromoionophore. *Science Direct*, 69, 888-893. doi: 10.1016/j.talanta.2005.11.034