

LAJU KOROSI DAN MEKANISME INHIBISI ALUMINIUM MURNI MENGUNAKAN KALIUM DAN KALSIMUM STEARAT

Tiurlina Siregar

Universitas Cenderawasih, Jalan Raya Abepura, Kampus UNCEN Jayapura – Papua
Telp. (0967) 582806, Fax. (0967) 572102

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian laju korosi dan mekanisme inhibisi aluminium murni menggunakan kalium stearat dan kalsium stearat. Penelitian ini bertujuan untuk memperluas jenis inhibitor dari garam-garam kalium dan kalsium dari stearat, dan menjelaskan mekanisme reaksi inhibisi korosi aluminium serta pengaruhnya terhadap laju korosi dalam suasana asam.

Garam-garam kalium dan kalsium stearat dapat menghambat terjadinya korosi aluminium murni pada konsentrasi 60 ppm, suasana asam (pH 3), temperatur 25 °C. Efisiensi inhibisi dan laju korosi relatif sebagai berikut : kalsium stearat (76 % ;0,31), kalium stearat (73 % ; 0,35). Hasil kajian adsorpsi secara kromatografis dan spektroskopis mendukung kesimpulan bahwa mekanisme yang terjadi pada proses inhibisi aluminium oleh kalium stearat dan kalsium stearat, akibat terjadinya kompleks antara atom/ion aluminium dengan stearat (ligan bidentat) yang menyumbangkan pasangan elektron bebas pada aluminium.

Kata kunci : Korosi, inhibisi, aluminium

ABSTRACT

A research on corrosion rate and inhibition mechanism of pure aluminum using potassium stearate and calcium stearate has been carried out. The objectives of this research were to explore the type of inhibitor of potassium stearate and calcium stearate, to understand the reaction mechanism of corrosion inhibition of aluminum, and to study the effect of the salts toward corrosion rate of aluminum in acidic condition.

Potassium and calcium citrates were found to inhibit the corrosion of pure aluminum at concentration of 60 ppm, in acidic (pH 3) condition, at 25°C. The inhibition efficiencies and relative corrosion rates were : 76 %; 0,31 (calcium stearate) and 73 %; 0,31 (potassium stearate). The result of the study on surface adsorption, by chromatography and spectroscopy suggested that the aluminum inhibition mechanism by the potassium stearate and calcium stearate anions was due to the formation of surface film as a consequence of the formation of complex between aluminum surface atoms / ions with stearate (monodentate ligands) which donate their lone pair electrons toward aluminum.

Keywords : Corrosion, inhibition, aluminium

PENDAHULUAN

Sifat tahan korosi suatu logam merupakan parameter yang harus dipertimbangkan dalam memilih logam yang dapat digunakan pada suatu konstruksi, peralatan industri maupun keperluan sehari-hari. Dari beberapa logam seperti baja, tembaga, seng, aluminium dan paduannya, maka aluminium memiliki keunggulan-

an, 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 / minuman (Bradford,1992).

Aluminium maupun paduannya memiliki sifat tahan terhadap korosi karena

terbentuknya lapisan tipis pasifasi yang bersifat protektif. Korosi aluminium membentuk lapisan Al_2O_3 , dimana lapisan tersebut terbentuk secara spontan pada permukaan logam, karena logam mempunyai komposisi kimia yang tidak homogen. Lapisan Al_2O_3 stabil pada lingkungan pH 4 s/d pH 9 (pasifasi) sehingga lapisan tersebut dapat melindungi logam bagian dalam dari serangan pengkorosi, namun aluminium dapat juga terkorosi dalam lingkungan yang agresif yaitu di luar kisaran pH tersebut terutama suasana asam maupun basa.

Dalam kenyataannya, logam sulit dibuat betul-betul homogen karena memiliki fase-fase yang berbeda, adanya pengotor, dan cara preparasi yang memodifikasi struktur dan sifatnya. Akibatnya, akan terjadi perbedaan-perbedaan potensial yang dapat menimbulkan korosi galvanis (adanya anoda, katoda, elektrolit dan konduktor) diantara butir-butir dalam logam tersebut. Proses korosi pada logam adalah peristiwa spontan yang berlangsung bersamaan dengan adanya elektron yang mengalir di dalam logam dari bagian yang berfungsi sebagai anoda ke bagian logam yang bertindak sebagai katoda.

Korosi pada logam merupakan proses elektrokimia. Jenis korosi yang umum terjadi pada aluminium adalah korosi sumuran (Jones, 1992). Korosi sumuran dapat terjadi pada permukaan logam yang kontak langsung dengan udara lembab, umumnya dengan logam yang memiliki lapisan tipis oksida. Korosi sumuran menghasilkan lubang-lubang kecil pada logam, tetapi karena pertumbuhan lubang tersebut ke arah dalam dengan ukuran lubang awalnya tidak dapat dilihat dengan kasat mata, maka korosi sumuran dapat berakibat fatal, misalnya kebocoran tanpa sempat diketahui awalnya. Karena hal-hal tersebut di atas, pada berbagai proses di industri. Logam-logam perlu mendapat perlakuan khusus untuk meningkatkan ketahanan logam terhadap korosi dari pengaruh lingkungan; yaitu dengan penambahan inhibitor korosi. Inhibitor korosi merupakan bahan aditif pada fluida yang dapat memperlambat laju korosi. Pemilihan inhibitor korosi ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi sistem di mana korosi terjadi (Fontana, 1987).

Penurunan laju korosi dapat terjadi karena berkurangnya daerah anodik, hal ini

disebabkan akibat terbentuknya lapisan pasif sehingga laju transfer ion-ion logam ke dalam larutan menjadi berkurang atau menurun. Nyoman (2000), melaporkan bahwa natrium benzoat, pada konsentrasi 60 ppm, dan pH 3 pada paduan aluminium menghasilkan efisiensi inhibisi sebesar 70%, tanpa penjelasan rinci tentang mekanisme inhibisinya. Shao (2002), menggunakan kalium tartrat dengan konsentrasi 60 ppm, dan pada pH 3 sebagai inhibitor pada korosi aluminium murni, yang menghasilkan efisiensi inhibisi 71% tanpa penjelasan lanjut bagaimana mekanisme inhibisinya. Kalium tartrat adalah inhibitor anodik yang merupakan senyawa organik ampifilik yaitu garam organik yang anionnya mempunyai gugus polar dan gugus non polar.

Natrium benzoat dan kalium tartrat adalah garam ampifilik yang keduanya dikenal sebagai zat aditif makanan/minuman. Pada percobaan Nyoman (2000) dan Shao (2002), menunjukkan bahwa keduanya dapat berperan sebagai inhibitor pada korosi aluminium. Temuan ini sangat menarik dan membuka wawasan untuk mencoba garam-garam ampifilik serupa sebagai inhibitor korosi pada aluminium, yang ramah lingkungan mengingat garam benzoat pada kadar yang tinggi merusak lingkungan. Pada percobaan ini akan diteliti pengaruh peranan garam-garam kalium dan kalsium dari stearat (struktur molekul stearat memiliki ligan monodentat) sebagai inhibitor. Kondisi percobaan mengacu kepada kondisi penelitian yang terdahulu (Nyoman, 2000; Shao, 2002) yaitu pada konsentrasi 60 ppm; pH 3; dan temperatur $25^{\circ}C$.

Asam stearat yaitu asam oktadekanoat, memiliki rumus kimia $C_{18}H_{36}O_2$ dan rumus molekulnya adalah $CH_3(CH_2)_{16}COOH$ (massa relatif = 284,48). Sedangkan kalium stearat, $KC_{18}H_{35}O_2$ (massa relatif = 322,48), dan kalsium stearat, $Ca(C_{18}H_{35}O_2)_2$ (massa relatif = 607,03). Untuk mengetahui efisiensi inhibisi dilakukan penentuan laju korosi menggunakan metode pengukuran tahanan polarisasi linear. Polarisasi terjadi bila suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya.

Polarisasi atau penyimpangan dari potensial kesetimbangan sama dengan gabungan

polarisasi anoda pada logam dan polarisasi katoda pada lingkungannya. Selisih polarisasi ini menyatakan beda potensial antara katoda dan anoda, yang dapat diukur dengan elektroda kalomel (elektroda acuan). Akibat beda potensial menimbulkan transfer elektron dan menghasilkan arus listrik. Besarnya arus listrik yang mengalir dapat diukur dengan elektroda pembantu.

Penelitian bertujuan memperluas/diversifikasi penggunaan inhibitor garam-garam kalium dan kalsium dari stearat, dan menjelaskan mekanisme reaksi pada inhibisi korosi aluminium, serta pengaruhnya terhadap laju korosi dalam suasana asam.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah buah kelapa tua, ragi tape,

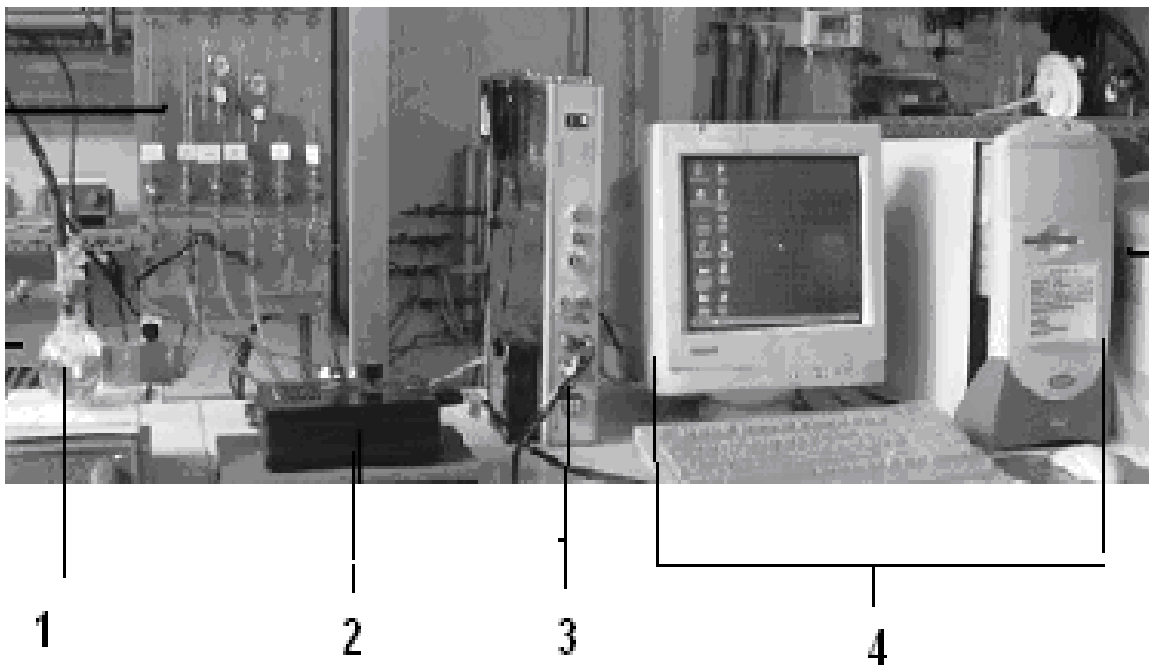
kloroform, etanol, indikator fenolftalein, KOH, asam oksalat, dan akuades

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi dua yaitu peralatan untuk pembuatan minyak dan peralatan untuk analisis kimia. Peralatan pembuatan minyak antara lain adalah parutan kelapa, saringan santan, wadah plastik, selang plastik kecil, kompor, dan wajan (penggorengan). Peralatan analisis kimianya antara lain parangkat buret, desikator, neraca analitik, peralatan gelas seperti erlenmeyer, gelas piala, labu ukur, dan pipet volume.

Cara Kerja

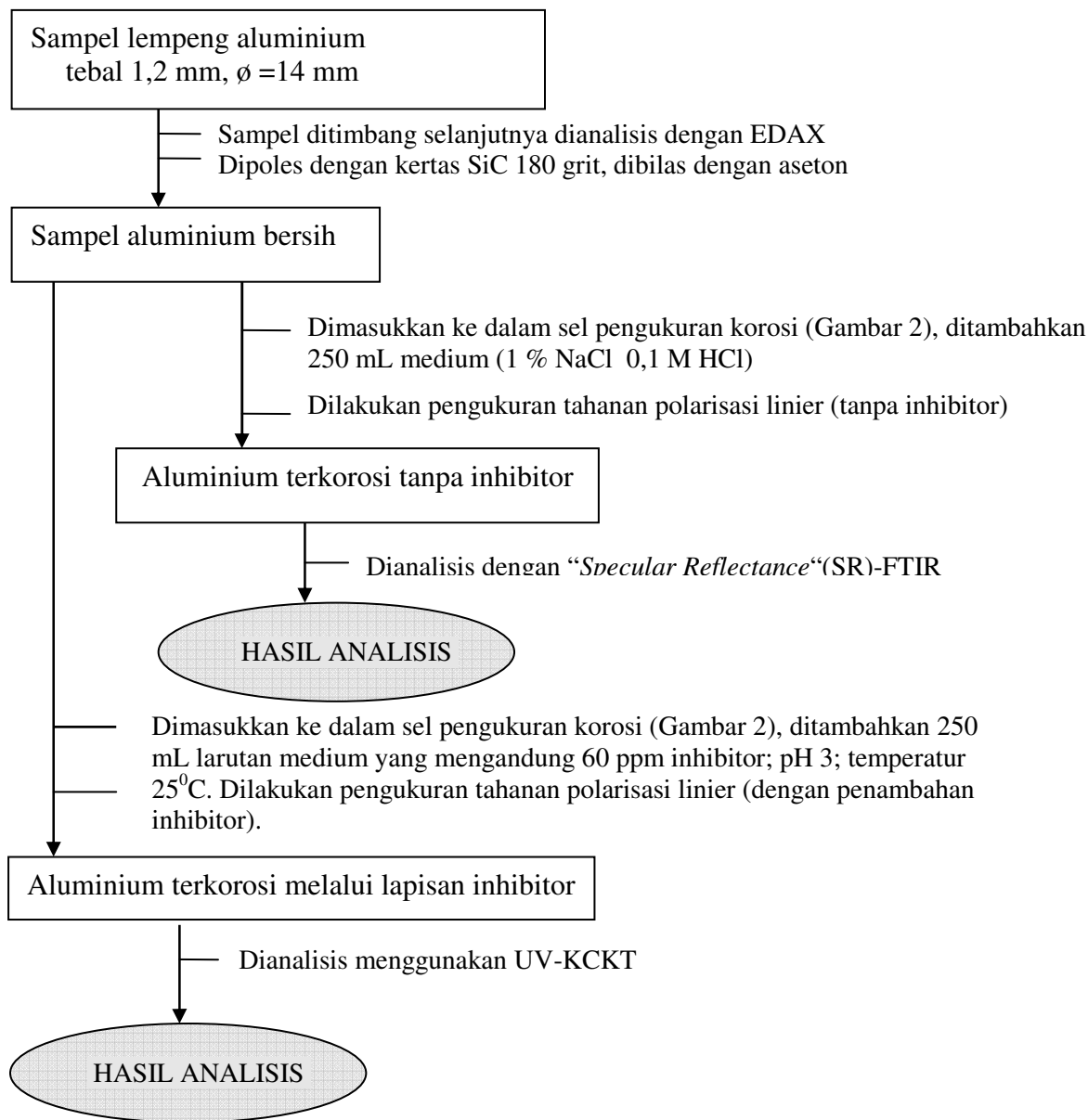
Proses terjadinya korosi dalam penelitian ini berlangsung di dalam sel pengukuran korosi seperti dijelaskan pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Perlengkapan untuk pengukuran polarisasi linier yang terdiri dari : 1. sel polarisasi linier dengan tiga elektrode, 2. potensiostat, 3. voltameter, dan 4. sistem komputer PC

Metode penelitian yang digunakan adalah metoda eksperimental laboratorium

secara elektrokimia. Langkah kerja disajikan sebagai berikut :



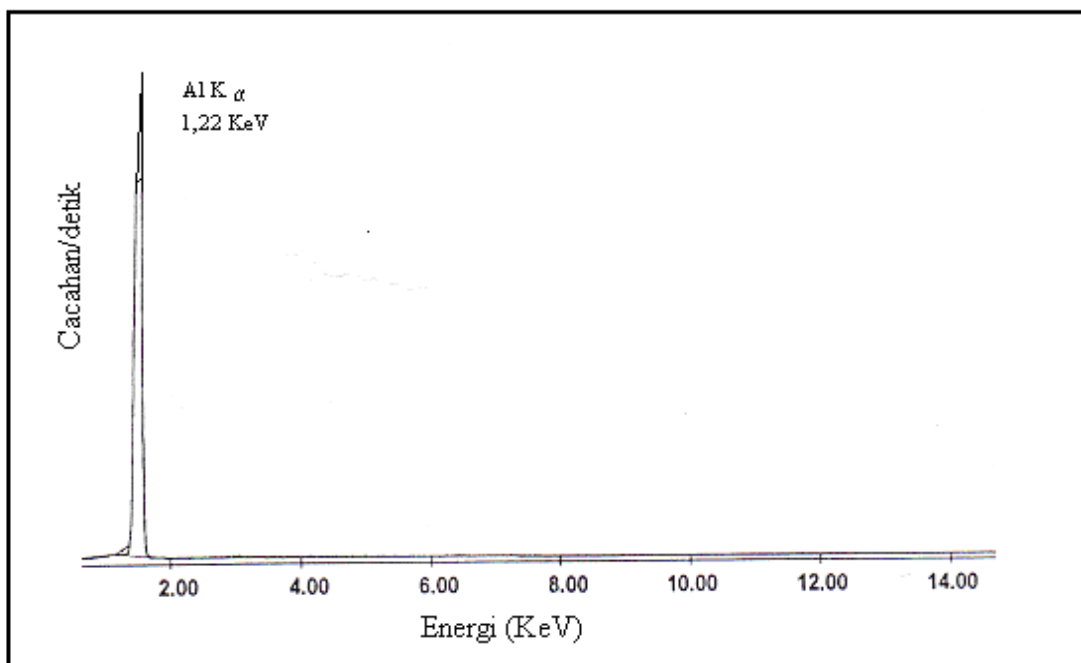
Gambar 2. Skema kerja pengaruh inhibitor kalium dan kalsium dari stearat terhadap korosi aluminium oleh 1% NaCl 0,1 M HCl melalui: metode pengukuran tahanan polarisasi linear

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis dengan menggunakan *Energy Dispersive Analysis X-ray (EDAX)*

Dari spektrum EDAX (Gambar 3) untuk lempeng aluminium, terlihat adanya puncak yang kuat pada energi 1,22 KeV yang sesuai dengan

energi yang dilepaskan saat elektron dari kulit L atom aluminium ($Al_{K\alpha}$) yang pindah ke kulit K yang telah kehilangan 1 elektron. Kemurnian permukaan aluminium cukup tinggi karena pada daerah energi lainnya hanya tampak signal yang sangat lemah.

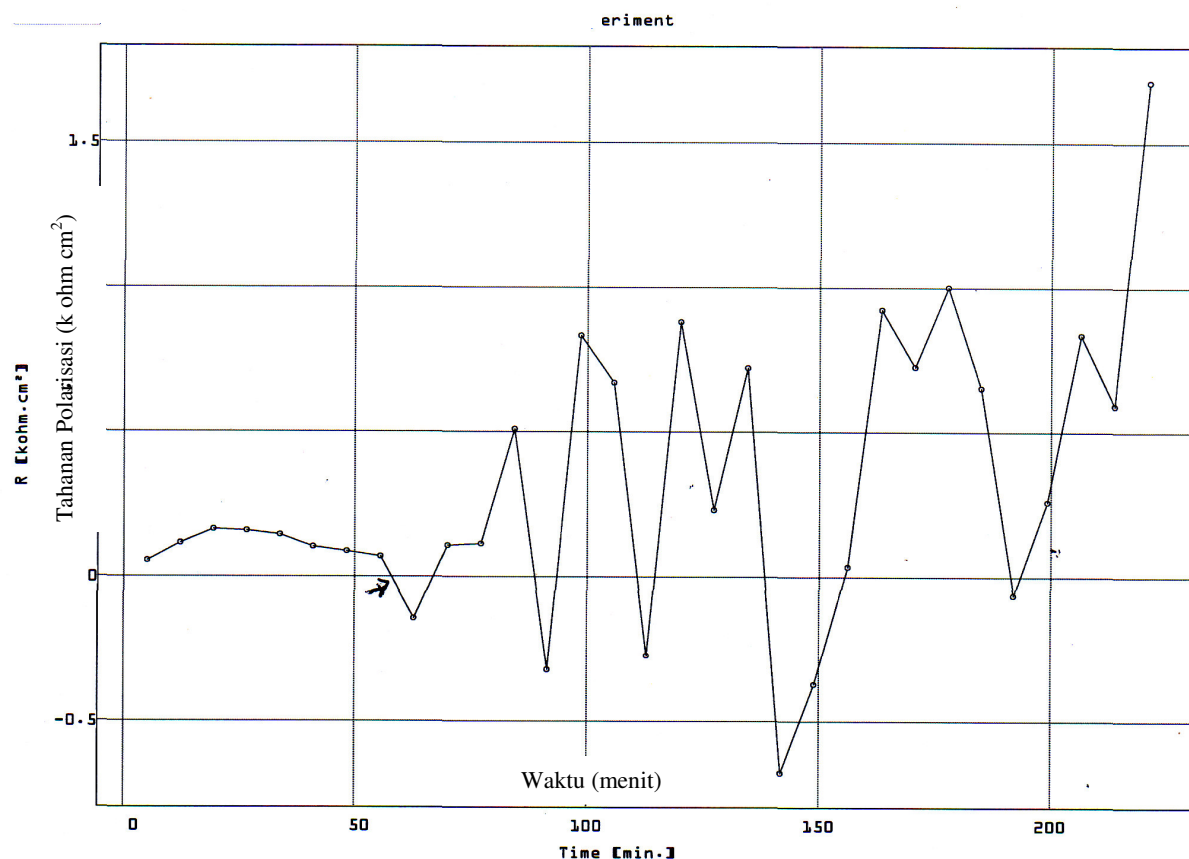


Gambar 4. Spektrum energi terhadap cacahan/detik untuk lempeng aluminium

Hasil Uji Korosi Dengan Menggunakan Tahanan Polarisasi Linear

Uji korosi dilakukan pada sel pengukuran korosi dengan menggunakan tahanan polarisasi linear. Pada percobaan pertama, lempeng aluminium dimasukkan ke sel pengukuran korosi, kemudian dimasukkan

larutan medium 1% NaCl 0,1 M HCl. Setelah aluminium berinteraksi dengan medium dan mencapai kesetimbangan, dimasukkan inhibitor kalium stearat (60 ppm; pH 3; temperatur 25⁰C). Gambar 4 berikut menjelaskan kurva yang terjadi antara tahanan polarisasi terhadap waktu pada kondisi percobaan tersebut.

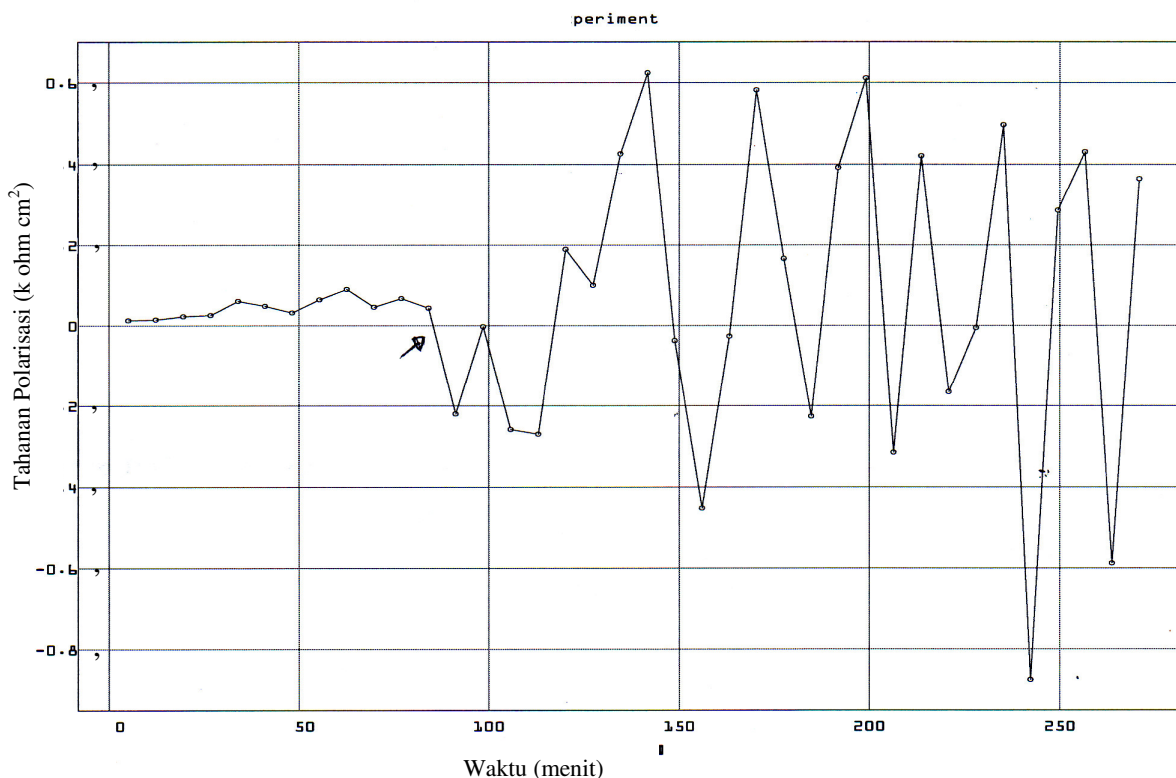


Gambar 4. Kurva antara tahanan polarisasi terhadap waktu pada uji korosi aluminium dengan inhibitor Kalium stearat (60 ppm; pH 3; 25⁰C).

Gambar 4 menjelaskan bahwa pada rentang waktu 0-55 menit diperoleh, perubahan tahanan polarisasi yang terjadi akibat aluminium berinteraksi dengan medium dan interaksi mencapai kesetimbangan pada rentang waktu optimal antara 48-55 menit. Setelah mencapai keadaan setimbang penambahan inhibitor kalium stearat meningkatkan polarisasi elektroda kerja seperti pada rentang waktu 66-239 menit. Adanya osilasi pada grafik diakibatkan oleh derau yaitu adanya proses transfer elektron dipermukaan elektroda. Harga IE yaitu perubahan tahanan polarisasi sebelum dan sesudah penambahan inhibitor. Hal ini

menunjukkan bahwa inhibitor kalium stearat memberikan efisiensi inhibisi sebesar 73 % pada aluminium murni.

Pada percobaan keempat kalsium stearat diuji sebagai inhibitor pada kondisi yang sama seperti pada percobaan ketiga. Lempeng aluminium dimasukkan ke sel pengukuran korosi kemudian dimasukkan larutan medium 1% NaCl 0,1 M HCl. Setelah aluminium dengan medium berinteraksi dan mencapai kesetimbangan, lalu dimasukkan inhibitor kalsium sitrat (60 ppm; pH 3; temperatur 25⁰C) dimasukkan ke dalam sel pengukuran korosi tersebut.



Gambar 5. Kurva antara tahanan polarisasi terhadap waktu pada uji korosi aluminium dengan inhibitor Kalium stearat (60 ppm; pH 3; 25 °C).

Gambar 5 menjelaskan bahwa pada rentang waktu 0-80 menit terjadi perubahan tahanan polarisasi terjadi akibat aluminium berinteraksi dengan medium. Interaksi mencapai kesetimbangan pada rentang waktu 75-80 menit. Setelah mencapai keadaan setimbang penambahan inhibitor kalsium stearat meningkatkan polarisasi elektroda kerja pada rentang waktu 90-275 menit. Munculnya osilasi pada grafik diakibatkan oleh derau yaitu adanya transfer elektron dipermukaan elektroda. Harga IE berdasarkan perubahan tahanan polarisasi sebelum dan sesudah penambahan inhibitor. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi inhibisi 76% yang ditimbulkan oleh kalsium stearat mendekati harga efisiensi inhibisi oleh kalium stearat (73%).

Tabel 1. Efisiensi inhibisi dari inhibitor terhadap aluminium murni

Inhibitor (60 ppm)	Waktu Korosi (menit)	Waktu Inhibisi (menit)	Efisiensi Inhibisi (%)
K-stearat	55	173	73
Ca-stearat	80	185	76

Dari Tabel 1 terlihat bahwa efisiensi inhibisi (%) Ca-stearat > K-stearat. Hal tersebut disebabkan anion dari stearat mempunyai satu ikatan kovalen koordinasi yang kuat untuk menghambat aluminium.

Perhitungan Laju Korosi.

Hasil perhitungan dari laju korosi sebelum dan setelah ditambahkan inhibitor dapat dilihat pada Tabel 2.

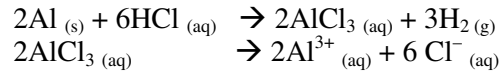
Tabel 2. Hasil perhitungan laju korosi sebelum dan setelah ditambahkan inhibitor

No	Tahanan polarisasi (Rp) (k ohm.cm ²)	Arus korosi (i _{kor}) (μA/cm ²)	Laju Korosi (μm / th)	Keterangan
1 a	0,23	0,11	1,20	Blanko
b	0,85	0,03	0,32	K- stearat
2 a	0,09	0,29	3,06	Blanko
b	0,38	0,07	0,72	Ca-stearat

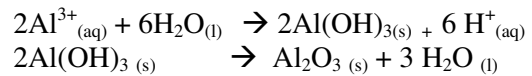
Dari Tabel 2 terlihat bahwa dengan penambahan inhibitor, tahanan polarisasi semakin besar, arus korosi, dan laju korosi semakin kecil. Harga tahanan polarisasi berbanding terbalik dengan arus korosi dan laju korosi. Hal ini berarti dengan penambahan inhibitor garam-garam kalium dan kalsium dari anion ampifilik stearat dapat menghasilkan laju korosi yang lebih kecil, yang berarti laju korosi pada aluminium semakin diperlambat.

Mekanisme Inhibisi Korosi Aluminium dengan Garam-garam Kalium dan Kalsium dari Anion Ampifilik Stearat.

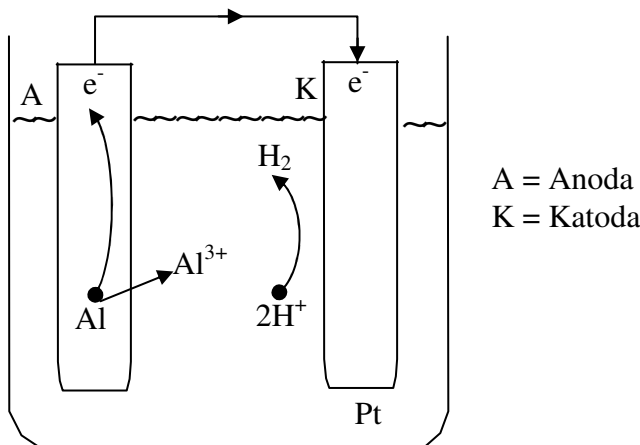
Reaksi korosi aluminium di dalam medium HCl tanpa inhibitor :



seterusnya :



Setelah aluminium terkorosi terjadi kesetimbangan polarisasi; kemudian ditambahkan inhibitor kalium dan kalsium dari stearat. Dengan penambahan garam tersebut, anion stearat akan teradsorpsi berupa lapisan tipis di permukaan aluminium; selanjutnya lapisan tersebut berperan sebagai penahan korosi. Mekanisme reaksi elektrokimia pada korosi aluminium tanpa, dan dengan inhibitor ditunjukkan pada Gambar 6 berikut :

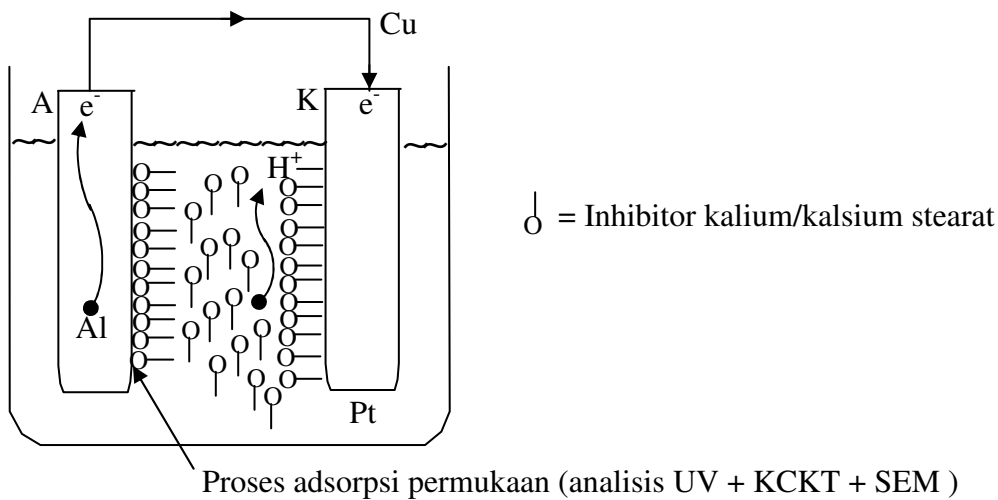


Gambar 6. Model reaksi elektrokimia pada korosi aluminum tanpa inhibitor

Pada anoda (Gambar 6) aluminium melepaskan elektron melalui reaksi $Al_{(p)} \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$ (oksidasi). Elektron mengalir melalui kawat tembaga (Cu), menuju elektroda platina (katoda). Di katoda, ion-ion H^+ dari HCl menerima elektron membentuk reaksi $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2(g)$ (reduksi). Selanjutnya ion Al^{3+} bereaksi dengan H_2O membentuk $Al(OH)_3$ kemudian $Al(OH)_3$ terurai menjadi $Al_2O_3 + 3 H_2O$ sebagai produk korosi.

Mekanisme inhibisi korosi aluminium dengan inhibitor :

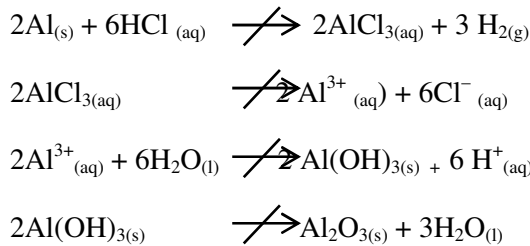
Setelah inhibitor ditambahkan pada sistim tersebut, ternyata laju korosi turun (dapat dilihat dari hasil perhitungan Tabel 2). Penurunan laju korosi terjadi karena adsorpsi inhibitor oleh permukaan aluminium. Dengan adanya lapisan inhibitor pada permukaan maka reaksi korosi aluminium di dalam medium HCl ($Al \rightarrow Al_2O_3 + H_2O$) dihambat, sehingga reaksi korosi menjadi terhambat.



Gambar 7. Model inhibisi reaksi elektrokimia korosi aluminium dengan inhibitor kalium / kalsium stearat

Gambar 7 menjelaskan terjadinya adsorpsi inhibitor stearat di permukaan anoda dengan dua ikatan kovalen koordinasi mengarah ke anoda. Gambar 7 menjelaskan hal serupa dengan inhibitor stearat yang satu ikatan kovalen koordinasinya mengarah ke anoda.

Dari Gambar 6 dan 7 dengan adanya lapisan inhibitor pada aluminium terjadi penghambatan reaksi berikut ini :



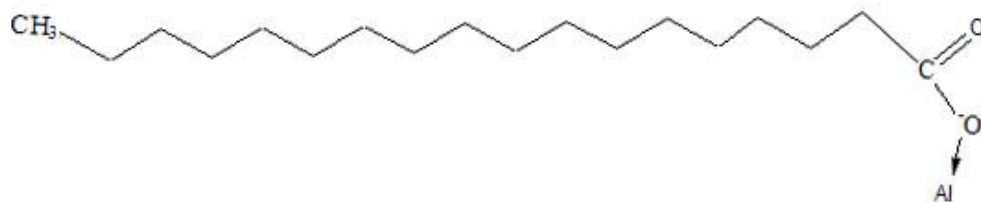
Hasil gabungan perhitungan data UV dan KCKT untuk tiap inhibitor disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah masing-masing inhibitor yang diadsorpsi aluminium

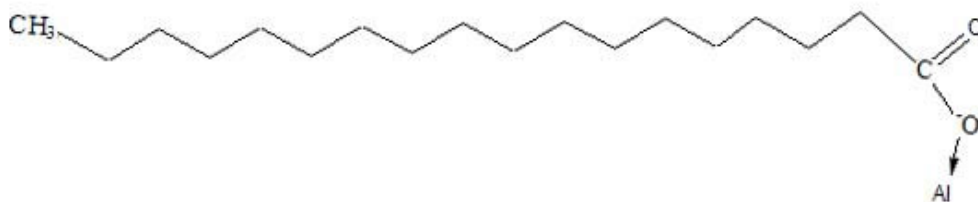
Inhibitor	UV (mol/g)	KCKT (mol/g)
K-stearat	0,0156	0,0137
Ca-stearat	0,0207	0,0212

Dari Tabel 2 terlihat jelas bahwa jumlah inhibitor anion dari garam stearat baik secara pengukuran UV dan KCKT, relatif lebih tinggi dari pada anion garam stearat. Hal ini terjadi

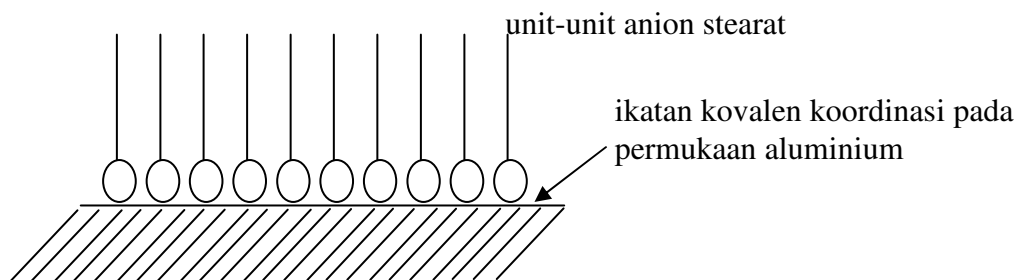
karena anion sitrat mempunyai dua ikatan kovalen koordinasi yang lebih kuat untuk diadsorpsi pada permukaan aluminium.



Gambar 8. Anion dari garam stearat yang mempunyai satu ikatan kovalen koordinasi diadsorpsi pada permukaan aluminium



Gambar 9. ikatan kovalen koordinasi antara anion stearat dengan logam Al



Gambar 10. Model adsorpsi kalium / kalsium stearat pada permukaan aluminium

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil penelitian diperoleh disimpulan sebagai berikut :

1. Jenis korosi yang terjadi dari permukaan aluminium dalam medium 1% NaCl 0,1M HCl adalah korosi sumuran.

2. Garam-garam kalium dan kalsium dari stearat yang digunakan sebagai inhibitor pada korosi lempeng aluminium (konsentrasi inhibitor 60 ppm, pH 3 dan temperatur 25⁰C) memiliki efisiensi inhibisi dan laju korosi relatif dengan urutan masing-masing sebagai berikut : kalsium stearat (76%; 0,24) > kalium stearat (73% ; 0,27).

3. Urutan efektifitas inhibitor (60 ppm; pH 3; dan temperatur 25⁰C) terhadap korosi aluminium adalah Ca-stearat > K-stearat.
4. Garam-garam kalium dan kalsium dari anion ampifilik sitrat dapat digunakan sebagai inhibitor korosi aluminium murni pada konsentrasi 60 ppm, pH 3 dan temperatur 25⁰C.
5. Mekanisme yang terjadi pada proses inhibisi korosi aluminium murni oleh garam-garam kalium dan kalsium dan anion stearat adalah : terbentuknya lapisan yang teradsorpsi di permukaan aluminium berupa kompleks antara aluminium dengan ion stearat (ligan monodentat) yang menyumbangkan pasangan elektron bebas ikatan kovalen koordinasi dengan permukaan aluminium

Saran

Perlu dibuat penelitian lanjut dengan menggunakan senyawa organik ampifilik sebagai inihitor untuk menginhibisi logam aluminium murni.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. H. R. Hadiman, Prof. Dr. Muljadi Agma, Dr. Bambang Ariwahjoedi, dan Dr. Bambang Widyanto, serta Dinas Pendidikan dan Pariwisata Propinsi Papua yang banyak membantu baik berupa dana maupun arahan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bardford, A. J. and Faulkner, L. R., 1992, *Electrochemical Methods*, John Wiley & Sons.,Inc., New York
- Burleigh, T. D., Ludwiczak, E., and Petri, R. A., 1995, Intergranular Corrosion of an Aluminum-Magnesium-Silicon-Copper Alloy, *Journal of Corrosion Science* : 50-55
- Fontana, M. G., 1987, *Corrosion Engineering Third Edition*, McGraw-Hill Book Company, New York
- Jones, D. A., 1992, *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York
- Kenneth, R., 1995, *Corrosion, 2nd Edition*, Longman, Singapore
- Liu, X. F., Huang, J., and Gu, H. C., 2002, Corrosion Protection of an Aluminum Alloy with Nontoxic Compound Inhibitors in Chloride Media, *Journal of Corrosion Science Section* : 826-833
- Lukovits, I., 2001, Corrosion Inhibitors-Correlation between Electronic Structure and Efficiency, *Journal of Corrosion Science Section* : 3-8
- McCafferty, E., 1998, Effect of Electrolyte Volume on the Acid Dissolution of Aluminum Alloy 7075, *Journal of Corrosion Science Section* : 862-868
- Meguid, E. A. and Mahmoud, E. A., 2003, Inhibition of Bromide-Pitting Corrosion of Type 904L Stainless Steel, *Journal of Corrosion Science Section* : 104-111
- Nyoman, 2000, Pengendalian Korosi Paduan Aluminium Menggunakan Inhibitor Natrium Benzoat, *Disertasi*, Jurusan Teknik Kimia, ITB, Bandung
- Pourbaix, M., 1974, *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*, National Association of Corrosion Engineers, Houston, Texas, USA
- Sastri, V. A., 1998., *Corrosion Inhibitors Principles and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, New York
- Sato, F. and Newman, R. C., 1998, Mechanism of Activation of Aluminum by Low Melting Point Elements : Part 1-Effect of Zinc on Activation of Aluminum in Metastable Pitting, *Journal of Corrosion Science Section* : 955-963
- Sato, F. and Newman, R. C., 1999. Mechanism of Activation of Aluminum by Low Melting Point Elements : Part 2-Effect of Zinc on Activation of Aluminum in Metastable Pitting, *Journal of Corrosion Science Section* : 3-9
- Shao, H. B., 2001, Inhibition Effect of Calcium Tartrate on the Corrosion of Pure Aluminum in an Alkaline Solution, *Journal of Corrosion Science Section*, 577-580

Shao, H. B., 2002, Inhibition Effect of Potassium Tartrate on the Corrosion of Pure Aluminum in chloride acid, *Journal of Corrosion Science Section* : 432-435

Scully, J. R., 2000, Polarization Resistance Method for Determination of Instantaneous Corrosion Rates, *Corrosion* : 199-218