

Mekanisme dan Laju reaksi inhibisi korosi baja oleh tanin

Emriadi dan Yeni Stiadi

Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Andalas

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang mekanisme dan laju reaksi inhibisi korosi baja dalam air laut dan udara atmosfer oleh tanin dari ekstrak daun gambir. Metoda yang digunakan untuk pengukuran proses korosi adalah secara gravimetri. Pengekstraksian tanin dari daun gambir dilakukan dengan metoda perebusan. Permukaan baja dianalisis dengan menggunakan mikroskop optik dan gugus fungsi tanin dan kompleks tanin-Fe dianalisis dengan FTIR. Ekstrak tanin dari daun gambir dapat menurunkan korosi baja ASSAB 760 dengan efisiensi dalam medium korosif air laut dan udara masing-masing : 20,6980 % dan 30,4630 %. Analisis permukaan menunjukkan terbentuknya lapisan ungu dari kompleks Fe-tanin dan adanya perbedaan serapan antara tanin murni dan tanin ekstrak serta kompleks Fe-tanin.

PENDAHULUAN

Baja banyak digunakan dalam berbagai keperluan, khususnya untuk bahan bangunan, bahan kendaraan bermotor dan berbagai peralatan industri. Baja yang unsur penyusun utamanya besi mempunyai kekurangan, yakni sifatnya yang dapat terkorosi, sehingga dapat menimbulkan kerugian miliaran rupiah. Salah satu cara pencegahan korosi adalah dengan menggunakan inhibitor korosi. Inhibitor ini mungkin berupa senyawa anorganik maupun organik. Korosi merupakan fenomena elektrokimia, yang dapat ditimbulkan oleh keadaan sekitar seperti udara lembab, bahan kimia, air laut, garam dan sebagainya.^(1,2,3,4)

Untuk menghalangi terjadinya korosi pada logam digunakan suatu bahan yang mempunyai ketahanan terhadap korosi. Peningkatan ketahanan terhadap korosi akan menyebabkan peningkatan biaya. Untuk itu dibutuhkan suatu Inhibitor sebagai penghalang korosi yang ekonomis dan tidak berbahaya.⁽⁵⁾

Tanin merupakan senyawa organik non-toksik yang dapat terbiodegradasi. Tanin merupakan inhibitor yang baik untuk menghambat terjadinya korosi, khususnya untuk logam besi. Tanin dapat diekstraksi dari tumbuh-tumbuhan, salah satunya adalah tanaman gambir.

Tanaman ini banyak terdapat di Indonesia khususnya Sumatera Barat. Tanin dapat diekstraksi dengan cara yang sederhana yaitu dengan perebusan, menggunakan air sebagai pelarut.^(5,6,7,8,9)

Korosi dapat terjadi dalam berbagai media, diantaranya air laut dan atmosfer. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap % pengurangan berat, laju korosi dan efisiensi korosi pada baja didalam air laut dan atmosfer dengan dan tanpa penggunaan inhibitor. Inhibitor yang digunakan adalah tanin hasil ekstrak daun gambir dan tanin murni sebagai pembanding. Analisis permukaan dilakukan terhadap spesimen baja sebelum dan sesudah terjadinya korosi dengan melakukan foto optik perbesaran 100 x. Untuk gugus fungsi pada karat dan tanin dilakukan analisis gugus fungsi menggunakan Fourier Transform Infra Red (FTIR).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui laju korosi dan efisiensi inhibisi korosi pada baja dengan menggunakan tanin hasil ekstrak daun gambir dan tanin murni di dalam air laut dan atmosfer. Selain itu juga bertujuan untuk melihat permukaan baja sebelum dan sesudah korosi baik tanpa tanin ataupun dengan tanin dan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada tanin serta perubahannya setelah terbentuknya kompleks dengan Fe. Lebih jauh dapat diketahui mekanisme terjadinya inhibisi korosi baja oleh tannin.

METODA PENELITIAN

Alat-alat Dan Bahan Kimia Yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah : neraca analitis, stopwatch, besi penjepit, oven, desikator, peralatan gelas yang biasa digunakan di laboratorium, amplas besi, Carton stereo trinokuler (foto optik), FTIR Perkin Elmer 1600 series Japan 1994.

Bahan yang digunakan adalah HNO₃ p.a., aseton p.a., aquadest, tanin, deterjen, Fe murni, air laut, dan sampel daun gambir segar.

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja dengan kode ASSAB 760 (AISI 1148, 0,50 %) yang diperoleh dari Toko ADEN, Padang.

Medium korosif yang digunakan adalah air laut yang diperoleh dari daerah Pasir Jambak Padang dengan jarak lebih kurang 3 mil dari tepi pantai dan atmosfer diluar Laboratorium Elektro/Fotokimia, Jurusan Kimia, FMIPA, UNAND

Cara Kerja

Pengerjaan awal dan persiapan permukaan spesimen

Sampel atau spesimen baja dengan diameter $\pm 2,5$ cm dan tebal $\pm 0,5$ cm dihaluskan permukaan dengan amplas besi. Permukaan yang telah dihaluskan dicuci dengan aquadest, deterjen dan kemudian disemprot dengan aseton, kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 40°C selama 15 menit.

Pembuatan larutan medium inhibitor

a. Tanin Murni

Larutan tanin 2000 ppm dibuat dengan menimbang 2 gram bubuk tanin, kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 1000 mL dan diencerkan sampai tanda batas dengan aquadest.

b. Tanin dari Ekstrak Daun Gambir

Daun gambir segar yang diperoleh dari Kanagarian Siguntur Mudo, Kecamatan Koto XI Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat ditimbang sebanyak 2,5 kg. Lalu daun segar digunting kecil-kecil dan dilakukan proses pengekstraksian dengan merebus daun tersebut selama ± 2 jam. Setelah itu dilakukan proses penyaringan. Hasil ekstrak didinginkan sampai terbentuk endapan. Endapan yang terbentuk disaring dan dikeringkan pada suhu kamar.

Untuk pembuatan larutan tanin ekstrak, tanin hasil ekstrak ditimbang sebanyak 7 gram, kemudian dilarutkan dalam labu 1000 mL dengan aquadest dan didapatkan larutan dengan konsentrasi 7000 ppm.

Perendaman spesimen

Sampel baja yang digunakan ada 3 macam : tanpa dilapisi tanin, dilapisi tanin murni, dan dilapisi dengan tanin hasil ekstrak daun gambir.

Ketiga jenis spesimen terlebih dahulu ditimbang, diukur diameter dan tebalnya dengan teliti, kemudian dilakukan perendaman. Perendaman dilakukan dalam larutan medium korosif air laut dengan volume medium 50 mL dan medium atmosfer dengan membiarkan spesimen di atmosfer tepatnya di luar laboratorium.

Pencucian dan penimbangan produk

Produk korosi dicelupkan kedalam asam nitrat, dibersihkan dengan sikat lembut dan dibilas dengan aquadest, dikeringkan kemudian ditimbang. Perbedaan berat sebelum dan sesudah

perendaman merupakan berat yang hilang selama proses korosi yang dinyatakan dengan persentase. Persentase kehilangan berat sebanding dengan laju korosi dan efisiensi inhibisi korosi. Dengan adanya persentase kehilangan berat dapat diketahui efisiensi inhibisi korosi dan laju korosi.

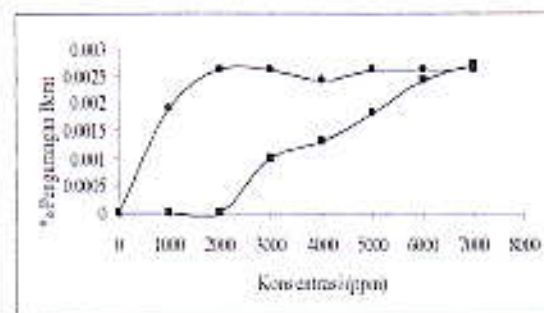
Analisis permukaan dan gugus fungsi

Spesimen baja awal, baja yang dilapisi tanin dan yang telah terkorosi dilakukan analisa permukaannya dengan foto optik menggunakan Carton stereo Trinokuler dengan perbesaran 100 kali.

Analisis dengan menggunakan FTIR ini dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Bandung (ITB) yang diteliti pada angka gelombang $4000 - 650 \text{ cm}^{-1}$. Analisis ini bertujuan untuk melihat gugus fungsi yang terdapat pada tanin murni, tanin ekstrak dan kompleks Fe-tanin.

HASIL DAN DISKUSI

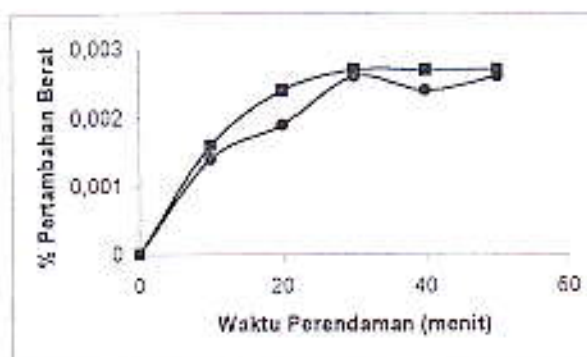
Dari Gambar 1 terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi tanin maka semakin besar pertambahan berat baja. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa tanin menempel ("teradsorpsi") pada permukaan baja. Pada konsentrasi tanin ekstrak sampai 2000 ppm belum terjadi pertambahan berat. Hal ini disebabkan oleh tanin ekstrak yang digunakan belum begitu murni atau konsentrasi tanin masih kecil. Dengan peningkatan konsentrasi tanin, kompleks besi-tanin sudah mulai terbentuk, tetapi belum merata pada permukaan baja. Pada konsentrasi 7000 ppm kompleks besi-tanin sudah terbentuk merata pada baja.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi tanin murni (●) dan tanin ekstrak (■) terhadap pertambahan berat baja ASSAB 760 pada perendaman selama 30 menit.

Pada tanin murni kondisi optimum berada pada konsentrasi 2000 ppm dan di atas konsentrasi tersebut penambahan berat baja sudah tetap, karena kompleks yang menempel pada baja sudah jenuh.

Dari Gambar 2, terlihat bahwa semakin lama waktu perendaman baja dalam larutan tanin, persentase penambahan berat baja semakin besar sampai tercapai keadaan maksimum, setelah itu penambahan berat baja cenderung tetap. Untuk waktu perendaman di dalam tanin murni 2000 ppm selama 10 dan 20 menit telah terbentuk kompleks tanin dengan besi yang terlihat dari timbulnya warna ungu pada permukaan baja, akan tetapi belum menutupi seluruh permukaan baja. Waktu yang terbaik untuk perendaman dengan tanin murni 2000 ppm adalah 30 menit. Untuk waktu perendaman 40 dan 50 menit kompleks yang terbentuk sudah lewat jenuh dan penambahan baja sama dengan waktu perendaman 30 menit.⁽¹⁹⁾



Gambar 2. Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Pertambahan Berat Baja ASSAB 760 pada Perendaman dengan Tanin Murni 2000 ppm (■) dan Tanin Ekstrak 7000 ppm (●)

Seperti halnya dengan tanin murni 2000 ppm, semakin lama waktu perendaman dalam tanin ekstrak 7000 ppm maka persentase penambahan berat semakin besar. Pada konsentrasi ini pembentukan kompleks tanin ekstrak daun gambir efektif terjadi pada waktu 30 menit. Setelah waktu itu penambahan berat baja cenderung sama. Pada waktu kurang dari 30 menit, kompleks yang terbentuk kurang merata dan tidak mampu menutupi seluruh permukaan baja sehingga masih terlihat adanya bagian baja yang tidak tertutupi kompleks. Sedangkan untuk waktu 40 dan 50 menit tidak ada lagi penambahan berat baja.

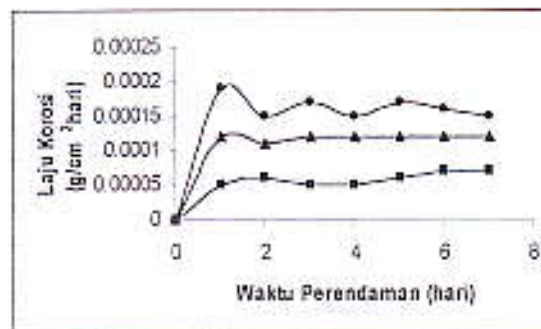
Persentase penambahan berat baja pada perendaman dengan tanin murni 2000 ppm dan tanin ekstrak 7000 ppm mempunyai nilai yang hampir sama, akan tetapi secara visual terlihat sedikit perbedaan dari kompleks yang terbentuk. Kompleks tanin murni dan Fe memperlihatkan warna ungu yang mengkilat, sedangkan dengan tanin ekstrak warna ungu yang terbentuk cenderung lebih gelap dan tidak mengkilat. Hal ini disebabkan oleh adanya

senyawa asam catechu tannat, quarselin dan senyawa pengotor lain yang teradsorpsi pada permukaan.⁽⁷⁾

Untuk tanin ekstrak, kompleks yang terbentuk tidak mampu menutupi seluruh permukaan baja, akan tetapi konsentrasi tanin tidak dapat ditingkatkan karena dengan konsentrasi yang lebih tinggi larutan tanin ekstrak yang terbentuk tidak homogen atau lewat jenuh. Hal ini disebabkan oleh adanya catechin dan zat lain yang larut baik di dalam air panas tetapi sedikit tidak larut di dalam air dingin.⁽⁷⁾

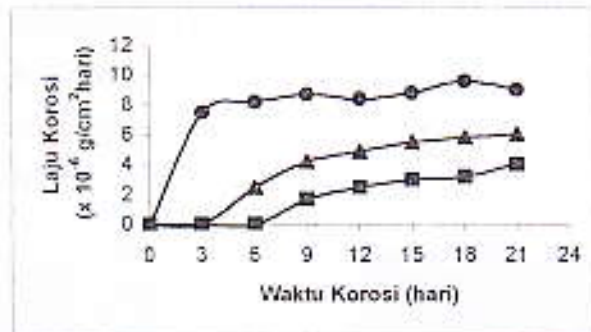
Kemampuan tanin murni untuk memperlambat korosi pada baja lebih tinggi dibandingkan tanin ekstrak. Hal ini disebabkan oleh lapisan pasif besi-tanin ekstrak tidak bisa menutupi seluruh permukaan baja, sehingga pada bagian yang tidak tertutupi Fe dapat terion dan mengalami korosi. Selain itu, ada pengotor-pengotor pada tanin ekstrak yang menempel pada permukaan baja juga mempengaruhi cepatnya terjadi korosi.^(1,2,3)

Seperti halnya dengan korosi di dalam medium air laut kemampuan inhibisi korosi dari tanin ekstrak lebih rendah dari tanin murni sehingga pengurangan berat juga lebih banyak terjadi pada baja dengan tanin ekstrak dibanding baja dengan tanin murni. Dibandingkan dalam air laut persentase pengurangan berat baja di atmosfer lebih rendah sehingga butuh waktu yang cukup lama untuk menentukan laju korosi, efisiensi korosi serta persentase pengurangan berat. Hal ini terjadi akibat lebih aktifnya faktor-faktor yang mempercepat laju korosi di dalam air laut seperti kelembaban tinggi dan konsentrasi kecepatan elektrolit jika dibandingkan dengan atmosfer. Di atmosfer baja akan mengalami korosi bila kelembaban relatifnya melebihi 60 %, laju korosinya juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti temperatur, kadar oksigen, pH dan ion-ion agresif seperti oksida belerang dan klorida.⁽²⁾



Gambar 3. Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi Baja ASSAB 760 dalam Air Laut tanpa Dilapisi Tanin (●), Dilapisi Tanin Murni 2000 ppm (■) dan Dilapisi Tanin Ekstrak 7000 ppm (▲)

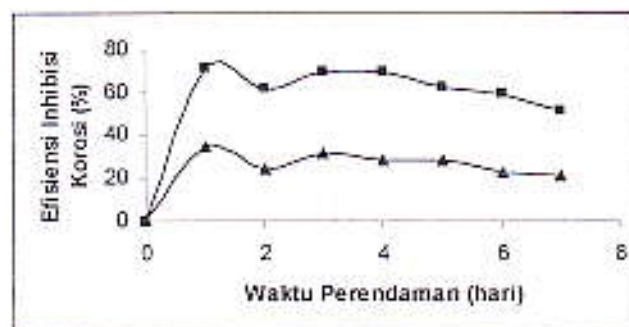
Dari Gambar 3. dapat terlihat bahwa pada tahap pertama laju korosi naik kemudian laju korosi cenderung konstan. Hal ini terjadi karena lapisan pasif yang terbentuk akibat proses korosi mulai menghalangi proses korosi pada bagian yang dilindunginya, namun karena FeOOH dapat melarut dalam lingkungan air maka korosi akan terus berlangsung.^(2,12)



Gambar 4. Pengaruh Waktu Korosi terhadap Laju Korosi Baja ASSAB 760 di Atmosfer tanpa Dilapisi Tanin (●), Dilapisi Tanin 2000 ppm (■) dan Dilapisi Tanin Ekstrak 7000 ppm (▲)

Dari Gambar 4, terlihat bahwa semakin lama waktu korosi maka laju korosi semakin meningkat sampai dicapai laju maksimum. Setelah itu laju korosi cenderung untuk tetap, hal ini berlaku untuk baja yang tidak atau dilapisi tanin.

Dari Gambar 5. dapat diketahui bahwa efisiensi inhibisi korosi pada awal proses korosi naik sampai dicapai nilai maksimum, setelah itu efisiensi inhibisi korosi cenderung konstan atau menurun. Hal ini berlaku untuk baja yang dilapisi tanin murni ataupun tanin ekstrak. Penurunan ini terjadi karena menurunnya kemampuan lapisan pasif kompleks menahan serangan dari ion-ion agresif yang terus-menerus. Kemampuan tanin ekstrak untuk menghambat laju korosi lebih kecil dibandingkan tanin murni yang terlihat dari kecilnya nilai efisiensi inhibisi korosi.^(2,12)



Gambar 5. Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Efisiensi Inhibisi Korosi Baja ASSAB 760 dalam Air Laut oleh Tanin Murni 2000 ppm (■) dan Tanin Ekstrak 7000 ppm (▲)

Pada Gambar 7 b terlihat adanya warna ungu agak kemerahan pada permukaan baja. Warna ungu ini menandakan adanya lapisan monolayer dari Fe dan tanin yang membentuk kompleks. Baja yang dilapisi tanin murni 2000 ppm menghasilkan baja yang mengkilat, namun kurang mengkilat jika dibandingkan spesimen awal.

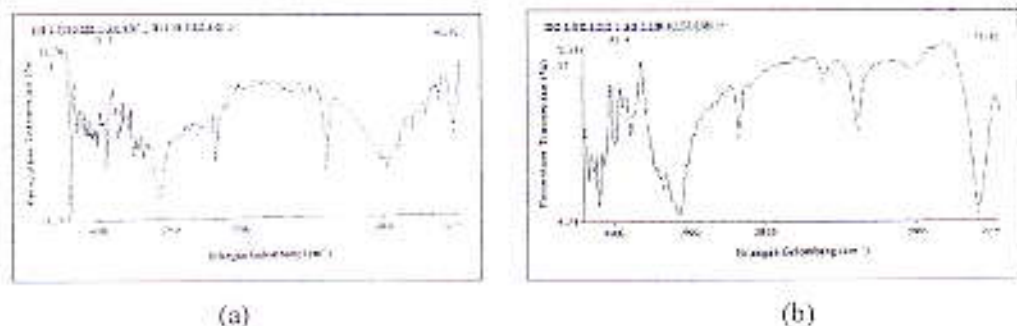
Baja yang telah dilapisi dengan tanin ekstrak 7000 ppm menghasilkan warna ungu yang lebih gelap dan kurang mengkilap dari tanin murni. Hal ini disebabkan oleh senyawa asam catechu tannat serta senyawa pengotor lain yang teradsorpsi pada permukaan. Selain itu pada foto terlihat adanya bagian baja yang tidak tertutupi kompleks tanin.⁽⁷⁾



Gambar 8. Foto Permukaan Produk Korosi Baja ASSAB 760 yang telah terkorosi di (a) dalam Air Laut dan (b) atmosfer dengan Perbesaran 100 x

Pada Gambar 8. terlihat permukaan baja yang telah terkorosi, permukaan berwarna lebih gelap dari spesimen awal. Korosi yang terjadi merupakan korosi basah. Pada korosi basah terjadi pelarutan logam dan bergabung dengan bukan logam membentuk produk korosi dan akibat adanya ion agresif dapat melarutkan produk korosi ke dalam medium.⁽¹¹⁾

Korosi yang terjadi merupakan penggabungan langsung logam atau ion logam dengan unsur bukan-logam yang disebut juga dengan korosi kering. Produk korosi yang dihasilkan berwarna jingga dan kemudian berubah menjadi hitam dalam waktu yang lama.^(11,14)

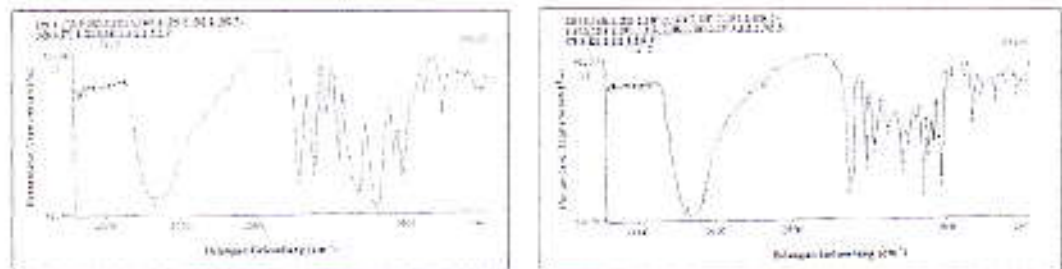


Gambar 9. Spektrum FTIR : (a) Sampel Fe, (b) Fe-karat

Dari spektrum FTIR dapat ditentukan gugus fungsi yang terdapat pada suatu sampel berdasarkan adanya vibrasi pada molekul. Fe merupakan suatu atom sehingga tidak menyerap inframerah dan tidak akan menghasilkan spektrum dengan FTIR. Namun Fe merupakan suatu logam yang dapat dipengaruhi oleh lingkungannya seperti uap air dan ion agresif di udara, sehingga korosi dapat terjadi. Dengan adanya proses korosi akan menghasilkan produk korosi dan kondensasi uap air yang dapat menyerap infra merah dengan spektrum seperti pada Gambar 9. ^(13,14,15)

Pada 3100-3200 cm^{-1} terdapat serapan lebar yang menandakan adanya kondensasi uap air. Serapan pada 1400 cm^{-1} juga disebabkan oleh air yang terserap pada sampel. Air yang terdapat pada sampel disebabkan oleh proses pengiriman yang memakan waktu serta penundaan analisis di Laboratorium Kimia ITB. ^(13,14,15)

Pada spektrum Gambar 9 b terdapat serapan yang melebar pada 3200-3400 cm^{-1} yang menandakan adanya gugus O-H. Daerah serapan yang tajam pada 1716 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=O dan pada 1610 cm^{-1} untuk C=C-C=C. Serapan pada 1400 menunjukkan adanya C-C. Adanya serapan pada 1000-1300 cm^{-1} menunjukkan adanya C-O. Daerah serapan 1225-960 cm^{-1} merupakan daerah serapan C-H.



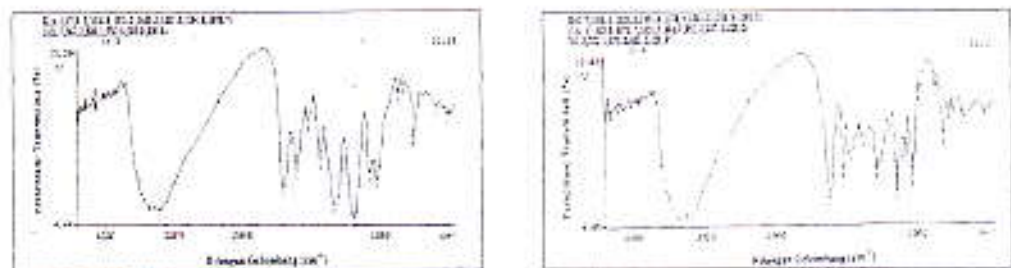
(a)

(b)

Gambar 10. Spektrum FTIR: (a) Tanin murni, (b) Tanin Ekstrak

Pada Gambar 10, terlihat adanya serapan gugus O-H dengan daerah serapan yang sama dengan tanin murni, namun intensitas serapan oleh tanin ekstrak lebih besar dibandingkan tanin murni. Tanin ekstrak juga menyerap pada 1610 cm^{-1} yang menandakan adanya C=C-C=C. Dibandingkan tanin murni spektrum tanin ekstrak memperlihatkan jumlah puncak yang lebih banyak pada daerah 1000-1300 cm^{-1} , hal ini disebabkan oleh banyaknya gugus C-O yang ada pada tanin ekstrak dengan posisi dan tempat terikat yang berbeda-beda. Serapan pada 1400 cm^{-1} menunjukkan adanya C-C. ^(13,14,15)

Spektrum FTIR Karat Fe yang terlihat pada Gambar 9a. hampir sama dengan sampel Fe pada Gambar 9b. Akan tetapi pada spektrum ini intensitas serapannya lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh banyaknya karat yang terbentuk jika dibandingkan dengan sampel Fe murni. Semakin banyak jumlah suatu gugus fungsi semakin tinggi intensitas serapannya. ^(13,14,15)



Gambar 11. Spektrum FTIR Kompleks Fe dengan: (a) Tanin Murni; (b) tanin ekstrak

Spektrum FTIR dari kompleks Fe dengan Tanin Murni (Gambar 11) tidak jauh berbeda dengan spektrum tanin murni. Pada spektrum ini terjadi pengurangan ketajaman spektrum pada sebagian besar spektrum pada daerah $1700-1000 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini disebabkan oleh pembentukan kompleks yang mengurangi jumlah penyerapan dari suatu gugus fungsi. Selain itu, daerah serapan O-H bergeser ke arah bilangan gelombang yang lebih kecil. Hal ini disebabkan oleh adanya ikatan Fe dengan O yang memperlemah ikatan antara O dengan H. ^(13,14,15)

Spektrum yang dihasilkan untuk kompleks Fe-tanin ekstrak (Gambar 11) tidak berbeda jauh dengan spektrum tanin ekstrak. Terjadinya pengurangan ketajaman yang disebabkan oleh berkurangnya gugus fungsi yang menyerap inframerah terlihat pada spektrum ini, akibat terbentuknya kompleks antara tanin ekstrak dengan Fe. Pergeseran terhadap bilangan gelombang serapan terjadi untuk daerah serapan O-H dan sebagian besar daerah serapan lain, hal ini disebabkan oleh adanya Fe yang terikat dengan O dengan membentuk kompleks sehingga mempengaruhi kekuatan ikatan dari gugus lain. ^(13,14,15)

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Tanin ekstrak yang diperoleh dari proses pengekstraksian adalah 3,2948 % dari berat sampel daun gambir segar total.

- dilapisi dengan tanin ekstrak daun gambir laju korosi yang didapatkan adalah $12 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^2\text{hari}$.
2. Laju korosi baja ASSAB 760 di atmosfer tanpa menggunakan tanin adalah $9 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2\text{hari}$ dan dengan menggunakan tanin murni adalah $4 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2\text{hari}$, sedangkan dengan tanin ekstrak diperoleh laju korosi sebesar $6 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2\text{hari}$.
 3. Efisiensi inhibisi korosi baja ASSAB 760 di dalam air laut dengan penggunaan tanin murni adalah 51,3839 % sedangkan dengan menggunakan tanin ekstrak daun gambir adalah 20,6980 %.
 4. Efisiensi inhibisi korosi baja ASSAB 760 di atmosfer dengan menggunakan tanin murni adalah 58,9404 % sedangkan dengan menggunakan tanin ekstrak daun gambir adalah 30,4636 %.
 5. Analisis permukaan memperlihatkan perubahan penampakan permukaan spesimen awal, setelah dilapisi tanin dan setelah terjadi korosi di dalam air laut dan atmosfer.
 6. Fe dapat merubah spektrum infra merah dari senyawa tanin dengan pembentukan kompleks Fe-tanin yang mengurangi intensitas dan menggeser bilangan gelombang.
 7. Mekanisme inhibisi korosi baja (dalam hal ini Fe) melalui terjadinya pembentukan kompleks antara Fe dengan tannin.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. D. Harrop, Chemical Inhibitors for Corrosion Control, in *The proceeding international symposium*, Manchester, April 21-22, 1988. pp. 1-4.
2. K.R. Trethewey and J. Chamberlain, *Korosi untuk mahasiswa dan rekayasawan*, Terjemahan A. T. K. Widodo, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991. Hal. 15, 228, 282-283.
3. L. Osipow, *Surface chemistry theory and industrial application*, Reinhold publishing corporation, New York, 1964. pp. 451-453.
4. B. J. M. Beumer, *Ilmu bahan logam*, Terjemahan BS Anwir / Matondang, Bharata Karya Aksara, Jakarta, 1985. Hal. 80-82.
5. Rohana Binti Adnan, Moleculer modelling study of the corrosion inhibition properties of ferric tannates, *Buletin The school of chemical sciences*, 1, Universiti Sains Malaysia, June 1, 2002. p.18.
6. I. Yolanda, *Inhibisi korosi baja dalam air laut dengan tanin*, Skripsi sarjana kimia, Universitas Andalas(1999).

7. N. Nazir, *Gambir budidaya, pengolahan dan prospek diversifikasinya*, Yayasan Hutanku, 2000. Hal. 1-10.
8. D. Edi, *Penentuan kadar tanin (zat samak) total dengan variasi umur dari daun gambir (Uncaria gambier. Roxb)*, Skripsi sarjana kimia, Universitas Andalas (2001)
9. Ullmann, Corrosion, Fundamentals of chemical engineering, *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*, volume B.1, Universitat Erlangen- Nurnberg, 1995. pp. 5,12,66,67.
10. Marina dan A. Puspitarini, Uji efektivitas senyawa aldehid sebagai inhibitor korosi baja dalam air laut sintetik, *Majalah korosi dan material*, III, Februari 2003. Hal. 17-18
11. D. Kindersley, Atmosphere, *The Dorling kindersley science encyclopedia*, London New York Stuttgart, 1997. p.248.
12. A. A. Rahim and M. J. N. M. Kassim, Mangrove tannin for anti-corrosive coating, *Buletin the school of chemical sciences*, 1, Universiti Sains Malaysia, June, 2002. pp.4.
13. Fessenden dan Fessenden, *Kimia organik*, Jilid 1, Terjemahan A.H Pudjaatmaka, Erlangga, Jakarta, 1995. Hal. 312-327.
14. D. Febrilyanti, *Studi interaksi antara besi (III) dengan tanin dalam bentuk kompleksnya*, Skripsi sarjana kimia, Universitas Andalas(2001).
15. Sudjadi, *Penentuan struktur senyawa organik*, Ghalia Indonesia, Jakarta, 1983. Hal. 202-256.