



## PROSIDING

### SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA III

"Teori dan Aplikasi Sains dalam Isu Globalisasi Lingkungan, Profesionalisasi Pembelajaran dan Kewirausahaan"

Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS

Surakarta, 7 Mei 2011



MAKALAH PENDAMPING

KIMIA ANALITIK  
(Kode : B-15)

ISBN : 978-979-1533-85-0

## SISTIN TERMODIFIKASI SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA KARBON DALAM LARUTAN HCl 0,5 M

**Yayan Sunarya<sup>1\*</sup>, Ratnaningsih E. Sardjono<sup>1</sup>, Isrami Marsela<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

\*Tlp/Fax: (022) 2000579, email: [yayan\\_sunarya@upi.edu](mailto:yayan_sunarya@upi.edu)

### Abstrak

Sistin hasil ekstraksi dari bulu ayam dimodifikasi secara esterifikasi selanjutnya diuji sifat-sifat inhibisi korosinya terhadap baja karbon dalam media HCl 0,5 M menggunakan metode polarisasi dan impedansi. Berdasarkan hasil pengujian ditemukan bahwa sistin termodifikasi memiliki potensi sebagai inhibitor korosi baja karbon dalam medium HCl 0,5 M relatif sedang. Hal ini disebabkan oleh kekuatan antaraksi antara sistin termodifikasi dengan permukaan logam relatif rendah dan kemampuan gugus amina dalam menangkap ion-ion H<sup>+</sup> terbatas. Sistin tergolong inhibitor jenis katodik dengan cara menekan reaksi evolusi hidrogen di katode.

**Kata kunci:** Sistin, Inhibitor korosi, Tafel plot, EIS

### PENDAHULUAN

Senyawa-senyawa anorganik seperti garam-garam kromat, nitrit, dan silikat banyak digunakan sebagai inhibitor korosi, tetapi inhibitor-inhibitor tersebut cenderung kurang ramah lingkungan dan tidak bersifat teradsorpsi. Oleh sebab itu, pengembangan inhibitor korosi saat ini berorientasi pada senyawa-senyawa organik heteroatom yang mengandung atom nitrogen, belerang, oksigen, atau fosfor<sup>[1]</sup>. Pengembangan inhibitor korosi berbasis organik mensyaratkan pemahaman struktur molekul dan mekanismenya. Sampai saat ini diketahui ada tiga golongan senyawa organik yang berpotensi sebagai inhibitor korosi logam yaitu: (1) senyawa amina, (2) senyawa nitrogen heterosiklik, dan (3) senyawa yang mengandung gugus merkaptto, fosforil, amido, atau tiokarbamido<sup>[2]</sup>.

Bulu ayam mengandung protein kasar cukup tinggi, berkisar antara 80% - 91% dari

bahan kering, sisanya lemak kasar sebanyak 3,77% dan serat kasar 0,32%. Kandungan terbesar dalam protein bulu ayam adalah senyawa keratin dengan kadar sebanyak 85% - 90%. Di dalam keratin terkandung senyawa sistin dengan kadar beragam berkisar antara 7,5% - 17,4%, yang merupakan gabungan dua buah molekul sistin melalui ikatan disulfida<sup>[3]</sup>, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Dengan menerapkan teknik-teknik isolasi, pemurnian, dan reaksi-reaksi kimia maka limbah rambut yang semula tidak bernilai diharapkan menjadi material alternatif inhibitor korosi pada logam yang memiliki nilai komersial tinggi, khususnya sebagai inhibitor korosi pada proses pencucian logam menggunakan media asam (*pickling*).

Semua asam amino, termasuk sistin memiliki gugus amina yang berpotensi sebagai inhibitor korosi logam. Disamping itu, beberapa

gugus samping dalam asam amino juga memiliki potensi sebagai inhibitor pada korosi logam. Menurut Sunarya dkk., beberapa asam amino yang memiliki potensi tinggi sebagai inhibitor korosi pada baja karbon dalam medium NaCl 0,5M diantaranya adalah sistin dan triptofan

## METODE PENELITIAN

### 1. Persiapan alat dan bahan

#### *Persiapan spesimen uji*

C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Cu	W	Al	Fe
0,074	0,288	0,007	0,015	1,535	0,013	0,022	0,005	0,003	0,028	Sisa

Spesimen dibuat dengan cara memotong sampel baja karbon API 5LX65, dibubut sampai diameter 1,4 cm dan panjang 2 cm, dihubungkan dengan kawat tembaga (disolder), kemudian dilapisi dengan resin epoksi untuk memperoleh permukaan paparan seluas 1,5 cm<sup>2</sup>. Sebelum dipakai sebagai elektrode kerja, permukaan spesimen dihaluskan dengan ampelas silikon karbida (*grade* 400 sampai 1200), dicuci dengan air destilat diikuti dengan aseton kemudian dikeringkan.

#### *Persiapan larutan uji*

Larutan uji dibuat dengan melarutkan sejumlah tertentu zat kimia produksi Merck kualitas p.a. ke dalam air destilat, yaitu sebagai berikut:

1. Larutan HCl 0,5 M. Ke dalam 1000 ml air destilat dilarutkan HCl pekat (p.a) sebanyak 40,75 ml.
2. Larutan induk sistin termodifikasi 0,5 M. Ke dalam 100 mL air destilat dilarutkan sistin termodifikasi sebanyak 12,00 g.

### 2. Prosedur Percobaan

Ke dalam sel elektrokimia dituangkan 250 ml larutan uji (HCl 0,5 M), kemudian elektrode kerja (baja karbon), elektrode rujukan (elektrode kalomel jenuh, SCE), dan

dengan urutan sebagai berikut: sistin > triptofan > prolin > glisin > alanin > fenilalanin > treonin. Hal ini disebabkan dalam molekul sistin terdapat gugus merkaptido dan pada triptofan terdapat gugus benzilamina pada gugus sampingnya<sup>[4-6]</sup>.

Spesimen uji dibuat dari baja karbon jenis *American Petroleum Institute (API) 5L grade X65* dengan komposisi sebagai berikut (dalam persen):

elektrode bantu (platina) dicelupkan ke dalam larutan uji. Selanjutnya, ketiga elektrode ini dihubungkan dengan potensiostat/galvanostat buatan Radiometer (*Tacussel-Radiometer PGZ 301*). Data hasil pengukuran diolah menggunakan piranti lunak *Voltmaster 4*.

Sebelum dilakukan pengukuran, sel elektrokimia dibiarkan selama 30 menit agar tercapai keadaan kesetimbangan antarmuka antara medium dan permukaan elektrode kerja (*steady state*). Pengukuran dilakukan pada potensial korosi yang ditunjukkan oleh nilai *open circuit potential (OCP)*, dan pada temperatur ruang. Konsentrasi sistin yang diuji dalam (dalam mM): 0; 0,01; 0,03; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20. Selama pengadukan dilakukan pengaduk pada kecepatan 250 rpm.

#### **Teknik spektroskopi impedansi elektrokimia (EIS)**

Pengukuran dilakukan setelah tercapai *steady state* (30 menit) pada rentang frekuensi dari 50 kHz sampai 10 mHz dengan sepuluh titik per dekade pada potensial korosi (OCP). Gelombang sinus dengan amplitudo 10 mV diterapkan untuk mengganggu sistem dan potensial DC yang diterapkan adalah

free<sup>[7]</sup>. Diagram impedansi diungkapkan dalam bentuk kurva Nyquist. Persen efisiensi inhibisi ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$EI(\%) = \left( 1 - \frac{R_{ct}^0}{R_{ct}^i} \right) \times 100$$

dengan  $R_{ct}^j$  and  $R_{ct}^0$  adalah tahanan transfer muatan dengan dan tanpa inhibitor.

### **Teknik polarisasi (ekstrapolasi Tafel)**

Kurva polarisasi katodik dan anodik dicatat dengan laju sapuan konstan pada 0.5 mV.s<sup>-1</sup>, rentang potensial yang diterapkan ± 50 mV relatif terhadap potensial korosi (OCP). Laju korosi ditentukan dengan metode ekstrapolasi Tafel dan pengepasan bagian linear kurva terhadap polarisasi menggunakan persamaan:

$$CR = 0.00327 \frac{ai}{nD}$$

dengan  $CR$  = laju korosi (mm/th),  $a$  massa atom relatif Fe,  $n$  = jumlah elektron yang terlibat dalam reduksi ion Fe<sup>2+</sup>,  $D$  kerapatan logam (g/cm<sup>3</sup>),  $i$  = kerapatan arus korosi (mA/cm<sup>2</sup>). Persen efisiensi inhibisi ditentukan berdasarkan persamaan:

$$EI(\%) = \left( \frac{i_0 - i_1}{i_0} \right) \times 100\%$$

dengan  $i_0$  dan  $i_1$  adalah laju korosi sebelum dan sesudah penambahan inhibitor.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Sistin dikaji dalam interval konsentrasi cukup lebar pada rentang 0,1 mM sampai 1,0 mM. Batas interval ini ditentukan oleh capaian efek protektif dengan konsentrasi percobaan minimum.

### **1. Pengukuran polarisasi potensiodinamik**

Data potensial korosi dan arus korosi yang diperoleh dari hasil pengukuran secara polarisasi diolah dengan cara ekstrapolasi Tafel sehingga

diperoleh grafik seperti ditunjukkan pada gambar 2. Dari grafik tersebut dapat ditemukan parameter-parameter elektrokimia untuk korosi baja karbon dalam media uji dan parameter inhibisi dari sistin termodifikasi dengan konsentrasi yang divariasikan, seperti disajikan pada Tabel 1. Pada tabel tersebut ditunjukkan nilai potensial korosi,  $E_{kor}$ , kerapatan arus korosi,  $j_{kor}$ , kemiringan Tafel (tetapan Tafel katodik,  $b_c$  dan tetapan Tafel anodik,  $b_a$ ), laju korosi,  $V_{kor}$ , and persen efisiensi inhibisi,  $EI\%$ .

Sebelum sistin ditambahkan ke dalam media korosif (larutan blanko), laju korosi baja karbon mencapai 9 mm per tahun. Artinya pengikisan permukaan baja karbon oleh larutan HCl 0,5 M dalam satu tahun mencapai ketebalan sekira 9 mm. Penambahan sistin termodifikasi ke dalam media uji dengan konsentrasi 0,10 mM, laju korosi baja karbon menurun menjadi 7 mm per tahun, dan peningkatan konsentrasi sistin termodifikasi dalam media, laju korosinya makin menurun hingga mencapai 1,75 mm per tahun untuk konsentrasi sistin 1,00 mM. Laju korosi baja karbon dalam larutan HCl 0,5 M dan kemampuan inhibisi sistin termodifikasi ditunjukkan pada gambar 3.

Pada konsentrasi sistin 0,0 mM, nilai potensial korosi ( $E_{kor}$ ) sekira - 454,3 mV. Penambahan sistin ke dalam media menggeser potensial korosi ke arah lebih positif, seperti ditunjukkan pada gambar 4. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan sistin termodifikasi ke dalam media korosif mampu menurunkan tingkat energi elektron terluar pada permukaan baja karbon yang berdampak terhadap penurunan peluang bagi elektron-elektron terluar baja karbon untuk meninggalkan orbitalnya, sehingga laju korosi baja karbon menurun<sup>[8]</sup>. Dengan kata lain, pembentukan ion-ion Fe<sup>2+</sup> pada permukaan baja karbon berkurang.

Penambahan sistin ke dalam larutan HCl 0,5 M menurunkan tingkat energi elektron dengan cara menggeser  $E_{kor}$  ke arah yang lebih positif. Pergeseran nilai potensial korosi ini menunjukkan bahwa mekanisme inhibisi dari sistin termodifikasi melalui pembentukan selaput protektif pada permukaan baja karbon. Penurunan tingkat energi elektron pada permukaan baja karbon memberi peluang terhadap molekul-molekul sistin untuk berperan sebagai basa Lewis dan berinteraksi dengan ion-ion  $Fe^{2+}$  pada permukaan logam membentuk ikatan koordinasi atau antaraksi van der Waals sehingga menutupi permukaan baja karbon melalui pembentukan selaput protektif.

Apabila ditinjau dari nilai tetapan Tafel anodik dan katodik, penambahan sistin ke dalam media uji menurunkan baik nilai  $b_a$  maupun  $b_c$ . Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme inhibisi korosi oleh sistin termodifikasi selain melalui pembentukan selaput protektif pada proses anodik, juga melalui peningkatan energi potensial penghalang reaksi evolusi hidrogen pada proses katodik sehingga laju transfer elektron dari permukaan baja karbon menuju media berkurang. Akibatnya reaksi pembentukan ion-ion  $Fe^{2+}$  pada permukaan baja karbon maupun reaksi pembentukan gas hidrogen dalam media menjadi terhambat. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa sistin termodifikasi berperan sebagai inhibitor campuran (*mixed type inhibitor*).

Penambahan sistin ke dalam media uji menurunkan nilai kerapatan arus korosi ( $I_{kor}$ ). Makin tinggi konsentrasi sistin yang ditambahkan, makin kecil nilai  $I_{kor}$ , yang berdampak pada laju korosi yang makin menurun. Konsentrasi optimum yang dicapai oleh sistin dalam menghambat korosi baja karbon adalah sekira 0,65 mM dengan efisiensi inhibisi mencapai 75,25%, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5.

## 2. Pengukuran Impedansi

Data spektra impedansi hasil pengukuran dengan metode EIS disajikan dalam bentuk diagram Nyquist yang menyatakan hubungan antara impedansi real ( $Z_r$ ) dan impedansi imajiner ( $-Z_i$ ), seperti ditunjukkan pada gambar 6. Selanjutnya data tersebut diolah menggunakan teknik *circular regression* untuk memperoleh parameter kinetika korosi seperti tahanan larutan ( $R_s$ ), tahanan transfer muatan ( $R_{ct}$ ), dan kapasitansi lapis rangkap ( $C_{dl}$ ), hasilnya disajikan pada Tabel 2. Bentuk diagram impedansi hampir semilingkar yang mengindikasikan bahwa proses korosi baja karbon diendalikan oleh transfer muatan. Namun demikian, diagram impedansi tidak benar-benar semilingkar, hal ini disebabkan oleh adanya dispersi pada frekuensi tinggi.

Penambahan sistin termodifikasi ke dalam larutan HCl 0,5 M tidak mengubah tahanan larutan secara signifikan. Artinya, sistin yang ditambahkan bukan merupakan senyawa ionik melainkan dalam bentuk molekul polar sehingga sedikit menurunkan tahanan larutan atau meningkatkan daya hantar listrik. Di lain pihak, penambahan sistin meningkatkan tahanan transfer muatan dari permukaan baja karbon ke dalam larutan atau sebaliknya, yang berdampak proses oksidasi atom-atom Fe pada permukaan baja karbon dan proses reduksi ion-ion hidrogen dalam larutan berkurang sehingga laju korosi baja karbon menurun.

Kapasitansi lapis rangkap ( $C_{dl}$ ) diperoleh pada frekuensi maksimum,  $f_{maks}$ , yakni pada saat nilai komponen imajiner dari impedansi mencapai maksimum ( $-Z_{i,max}$ ) melalui persamaan berikut<sup>[9]</sup>:

$$f(-Z_{i,max}) = \frac{1}{2\pi C_{dl} R_{ct}}$$

Respon baja karbon terhadap impedansi berubah secara signifikan setelah penambahan sistin dan frekuensinya terus meningkat dengan bertambahnya konsentrasi sistin. Akibatnya nilai  $C_{dl}$  berkurang secara signifikan. Penurunan nilai

$C_{dl}$  boleh jadi akibat adsorpsi sistin pada permukaan baja karbon membentuk selaput protektif yang tidak larut sehingga terjadi penurunan tetapan dielektrik lokal.

Efisiensi inhibisi berdasarkan hasil pengukuran EIS ditunjukkan pada gambar 7. Tampak bahwa nilai efisiensi inhibisi yang diperoleh dari pengukuran EIS dan polarisasi tidak berbeda secara signifikan. Konsentrasi optimum yang dicapai oleh sistin dalam menginhibisi korosi baja karbon adalah sekira 0,67 mM dengan efisiensi inhibisi mencapai 76,25%.

### 3. Model rangkaian listrik ekuivalen pada antarmuka

Untuk menafsirkan sifat-sifat listrik pada antarmuka antara baja karbon dan larutan HCl 0,5 M dapat dipelajari melalui program *Zview* dari *Scribner Associates*<sup>12</sup>. Program ini berguna untuk menafsirkan model-model rangkaian listrik yang diduga sesuai dengan perilaku antarmuka antara baja karbon dan larutan. Hal ini dilakukan dengan cara pengepasan kurva (*curve fitting*) spektra impedansi hasil pengukuran dengan kurva spektra impedansi hasil simulasi model rangkaian listrik ekuivalen yang dikembangkan<sup>10</sup>. Berdasarkan hasil simulasi model-model rangkaian listrik diketahui bahwa antarmuka baja karbon dengan larutan HCl 0,5 M tanpa kehadiran sistin memiliki model rangkaian listrik seperti ditunjukkan pada gambar 8(a), kurva hasil pengepasan ditunjukkan pada gambar 8(b), dan tafsiran fisiknya pada gambar 8(c).

Model rangkaian di atas terdiri dari  $R_s$  (tahanan larutan),  $R_{ct}$  (tahanan transfer muatan) dan  $CPE_{dl}$  (kapasitansi lapis rangkap pada antarmuka baja karbon/larutan). Perilaku korosi baja karbon yang sesuai dengan model pada Gambar 8(a) yaitu bahwa laju korosi baja karbon dikendalikan oleh laju reaksi perpindahan muatan. Gejala seperti ini biasa ditemukan ketika baja

karbon dicelupkan ke dalam larutan, dimana lapisan pasif atau protektif belum terbentuk pada permukaan baja karbon, seperti ditunjukkan pada Gambar 8(c). Dengan demikian, sebelum penambahan sistin ke dalam larutan uji, baja karbon terkorosi akibat reaksi perpindahan elektron.

Model rangkaian listrik ekuivalen dengan hadirnya sistin dalam larutan memiliki bentuk seperti disajikan pada gambar 9(a) dan kurva hasil pengepasan ditunjukkan pada gambar 9(b). Model tersebut cocok untuk semua konsentrasi sistin yang diuji. Model tersebut mengindikasikan bahwa pada permukaan baja karbon terbentuk lapisan protektif dari molekul-molekul sistin yang teradsorpsi secara tidak sempurna dengan tahanan lapisan dan kapasitansi lapis rangkap ditunjukkan oleh  $R_{coat}$  dan  $C_{coat}$ . Ketidakefektifan ditunjukkan oleh adanya kapasitansi lapis rangkap listrik,  $C_{dl}$  di antara lapisan protektif dan permukaan baja karbon.

Berdasarkan model rangkaian listrik ekuivalen dapat dinyatakan bahwa sistin termodifikasi dapat menginhibisi korosi baja karbon dalam larutan HCl 0,5 M melalui pembentukan lapisan protektif pada permukaan baja karbon secara kimia (kemisorpsi) atau secara fisika (fisikosorpsi). Namun demikian, lapisan protektif yang terbentuk tidak sempurna disebabkan terdapat sejumlah pori yang masih dapat ditembus oleh ion-ion  $H^+$  dari larutan HCl sehingga efisiensi inhibisinya belum efektif.

### KESIMPULAN

Laju korosi baja karbon jenis API 5L X65 dalam larutan HCl 0,5 M mencapai ketebalan sebesar 9 mm per tahun. Penambahan sistin termodifikasi ke dalam larutan uji dapat menurunkan laju korosi hingga 1,75 mm per tahun pada konsentrasi sistin 1,00 mM. Efisiensi inhibisi maksimum sebesar 80% pada konsentrasi sistin



1,00 mM, dan efektifitas inhibisi sebesar 75,25% pada konsentrasi sistin 0,65 mM. Sistin tergolong inhibitor jenis campuran (*mixed type inhibitor*). Proses inhibisinya terjadi melalui pembentukan lapisan protektif yang tidak sempurna.

## UCAPAN TERIMA KASIH

1. Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Pendidikan Nasional atas bantuan biaya penelitian skim Hibah Bersaing
2. Universitas Pendidikan Indonesia melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) UPI atas bantuan informasi dan akomodasi
3. Program Studi Kimia ITB atas bantuan penyewaan instrumen untuk uji korosi
4. Adik-adik mahasiswa yang turut terlibat dalam penelitian ini

## DAFTAR PUSTAKA

1. Raicheva, *et.al.*, (1992): The Effect of The Chemical Structure of Some Nitrogen and Sulphur-Containing Organic Compounds on Their Corrosion Inhibiting Action, *Corrosion Science*, **34**(2), 343-350.
2. Şahin, M. Dan Bilgiç, S., (2003): The inhibition effects of some heterocyclic nitrogenous compounds on the corrosion of the steel in CO<sub>2</sub>-saturated NaCl solutions, *J. Anti-Corrosion Method and Materials*, **50**(1), 34-39.
3. K., BR., Nurjama`yah. (2008). *Pemanfaatan Limbah Bulu Ayam sebagai Sumber Protein Ayam Pedaging dalam*

*Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Medan: Universitas Sumatra Utara.

4. Sunarya, Y., Radiman, C.L., Sadijah A., B. Bundjali (2007), *Amino acids as Corrosion Inhibitor for Carbon steels.*, Proceeding of International Conference on Mathematics and Natural Sciences/ICMNS, November 29-30, 2006, Bandung, p 623 – 626.
5. Ismail, K.M.,(2007): Evaluation of cysteine as environmentally friendly corrosion inhibitor for copper in neutral and acidic chloride solutions, *Electrochim. Acta*, **52**, 7811–7819
6. Kiani, M. A., Mousavi, M. F., Ghasemi, S., Shamsipur, M., dan Kazemi, S. H., (2008): Inhibitory effect of some amino acids on corrosion of Pb-Ca-Sn alloy in sulfuric acid solution, *Corros. Sci.*, **xxx** (2008) xxx-xxx, 1-11.
7. ASTM G-106 (1989): Standard practice for verification of algorithm and Equipment for Electrochemical Impedance Measurement, *Annual Book of ASTM Standard, Metal Test Methods and Analytical Procedures*, American Society for Testing and Materials.
8. Sato, Norio, (1987): Some concepts of Corrosion Fundamentals, *Corrosion Science*, **27**(5), 421 – 433.
9. Loveday, D., Peterson, P., dan Rodgers, B., (2004): Evaluation of Organic Coatings with Electrochemical Impedance Spectroscopy: Fundamentals of Electrochemical Impedance Spectroscopy, *Analytical Series, JCT CoatingsTech*.
10. Scribner Associates, Inc., Zview Program, [www.scribner.com](http://www.scribner.com)

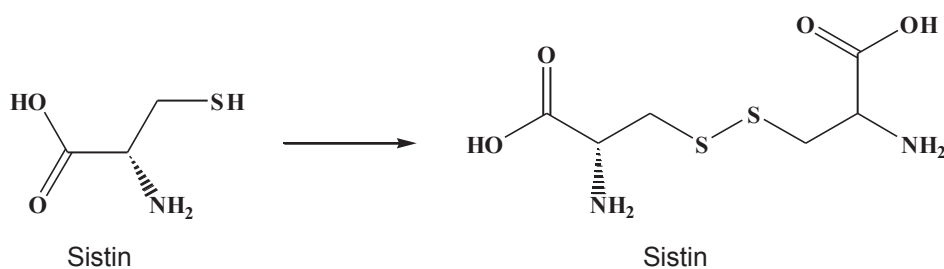
## LAMPIRAN

Tabel 1. Parameter ekstrapolasi Tafel pada korosi baja karbon dalam HCl 0,5 M dan parameter inhibisi dari sistin termodifikasi

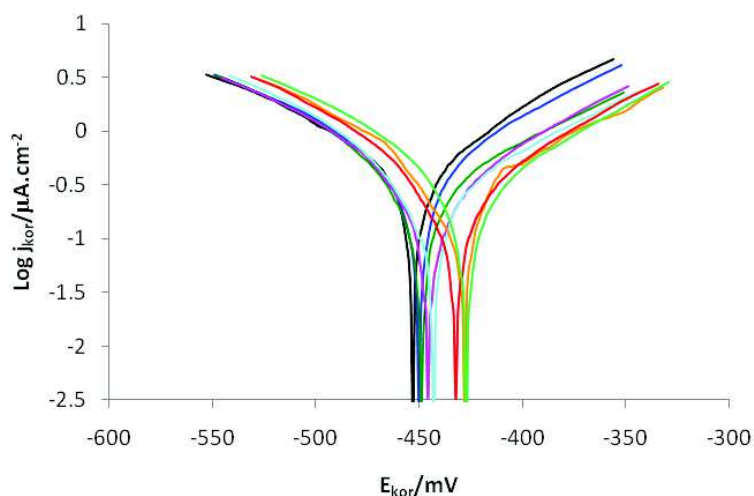
$C_{inh}$ (mM)	$E_{kor}$ (mV)	$b_a$ (mV/dec)	$b_c$ (mV/dec)	$I_{kor}$ ( $\mu A/cm^2$ )	$V_{kor}$ (mm/y)
-	-454.3	110.7	135.6	0.7764	8.9992
0,10	-450.3	109.8	122.6	0.6013	6.9766
0,20	-448.6	105.9	92.1	0.3622	4.2021
0,30	-444.9	98.2	88.3	0.3168	3.6761
0,40	-443.4	95.1	84.1	0.2596	3.0122
0,50	-432.3	94.9	81.3	0.2119	2.4580
0,75	-429.9	93.2	77.2	0.1992	2.0714
1,00	-426.5	92.2	75.5	0.1502	1,7427

Tabel 2. Parameter elektro-kinetika dari baja karbon dalam larutan HCl 0,5 M dengan dan tanpa adanya sistin termodifikasi

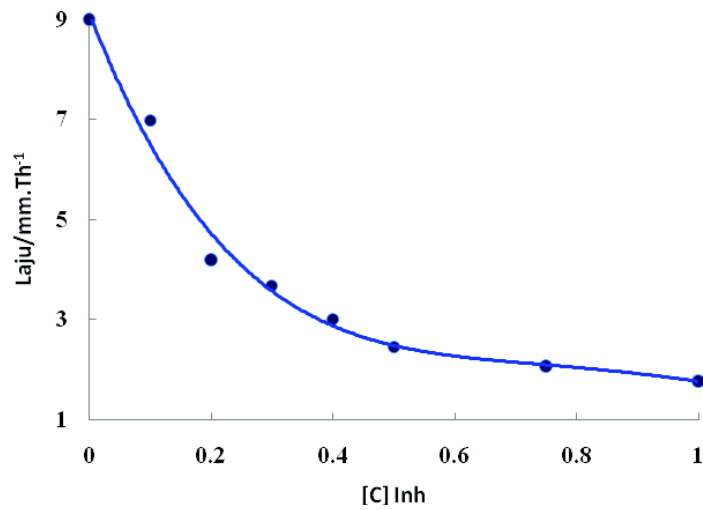
$C_{inh}$ (mM)	$R_s$ (ohm.cm <sup>2</sup> )	$R_{ct}$ (ohm.cm <sup>2</sup> )	$C_{dl}$ ( $\mu F/cm^2$ )
-	13,54	56,66	194,6
0,10	12,38	110,30	175,0
0,20	12,00	144,60	162,5
0,30	11,60	177,60	151,5
0,40	11,48	210,60	149,4
0,50	11,23	238,20	135,8
0,75	11,11	278,60	124,2
1,00	10,97	297,70	110,5



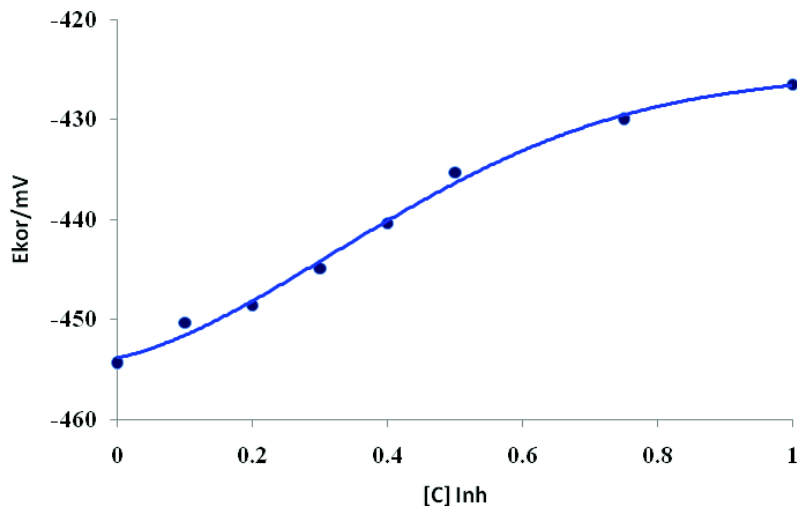
Gambar 1. Struktur Molekul sistin dan sistin



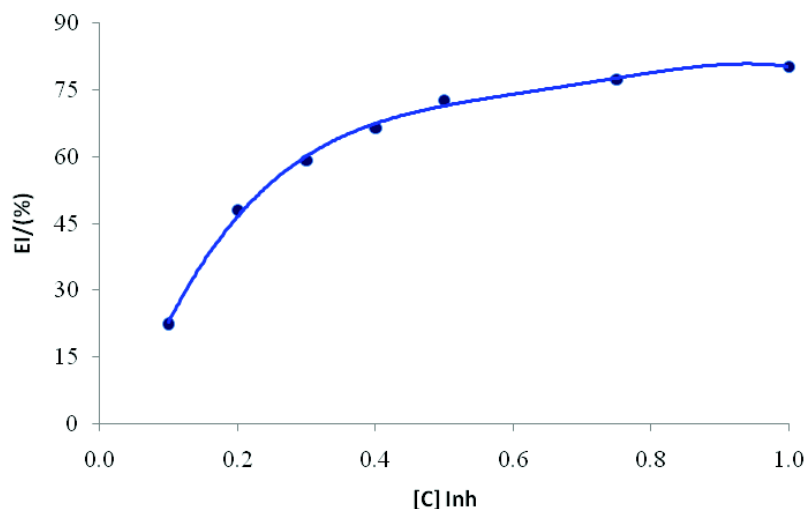
Gambar 2. Hubungan potensial korosi dan logaritma kerapatan arus korosi untuk baja karbon dalam HCl 0,5 dengan dan tanpa sistin termodifikasi



**Gambar 3.** Penurunan laju korosi baja karbon dalam HCl 0,5 M dengan adanya inhibisi sistin termodifikasi

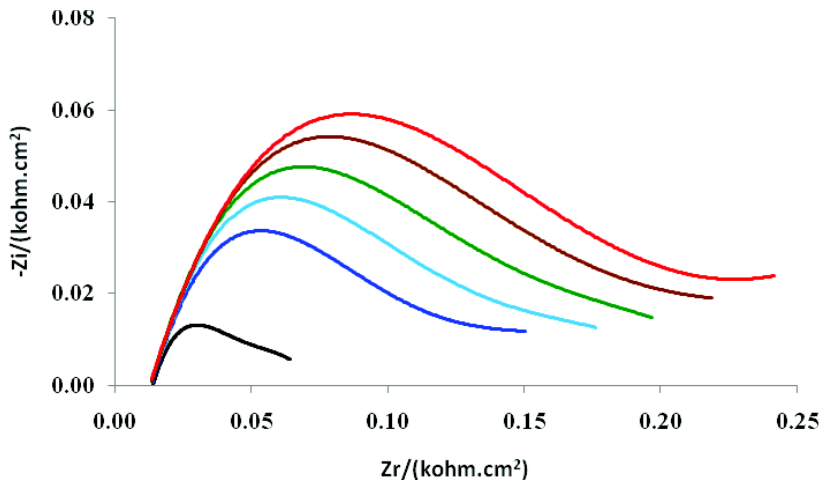


**Gambar 4.** Pengaruh penambahan sistin termodifikasi terhadap nilai potensial korosi baja karbon

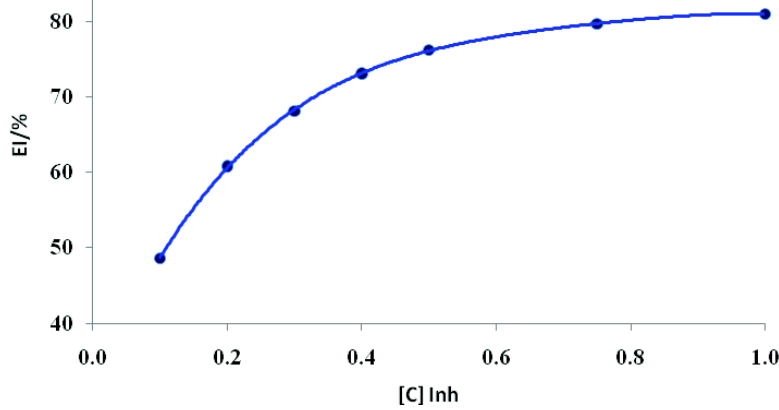


**Gambar 5.** Hubungan efisiensi inhibisi dan konsentrasi sistin termodifikasi berdasarkan hasil pengukuran polarisasi

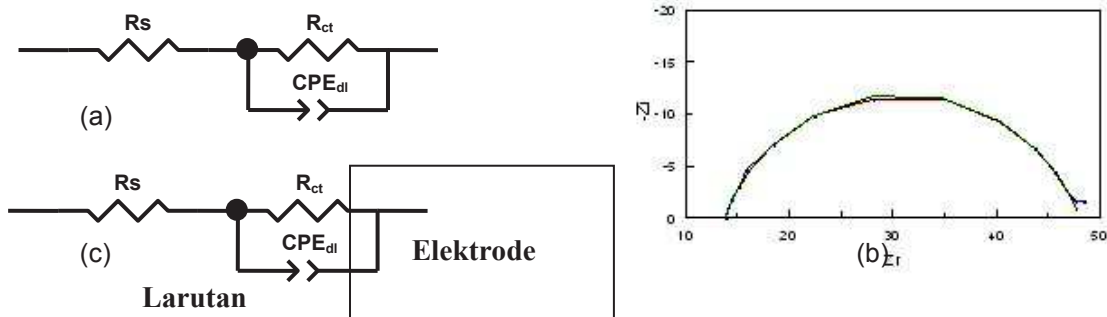




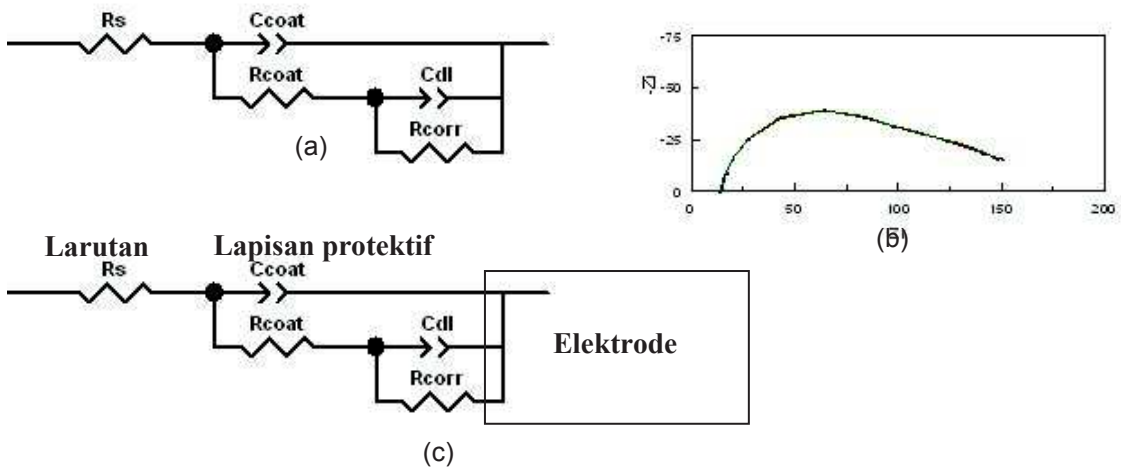
**Gambar 6.** Spektro impedansi dari baja karbon dalam larutan HCl 0,5 M dengan dan tanpa adanya sistin termodifikasi dengan konsentrasi tertentu



**Gambar 7.** Hubungan efisiensi inhibisi dan konsentrasi sistin termodifikasi berdasarkan hasil pengukuran EIS



**Gambar 8:** Model sifat-sifat listrik ekivalen pada antarmuka baja karbon dan HCl 0,5 M.



**Gambar 9:** Model sifat-sifat listrik ekivalen pada antarmuka baja karbon dan HCl 0,5 M dengan hadirnya sistin termodifikasi.