

PENGARUH VARIASI KONSENTRASI INHIBITOR DARI KITOSAN SISIK IKAN TERHADAP PERILAKU KOROSI BESI ASTM A36: STUDI EKSTRAPOLARISASI TAFEL DAN EIS

Syarif Hidayatullah

Mahasiswa S2
Program Magister dan Doktor, Jurusan
Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya Malang.
syarif008@gmail.com

Femiana Gapsari

Dosen
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
femianagapsari@gmail.com

Putu Hadi Setyarini

Dosen
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
putu_hadi@ub.ac.id

Corrosion is the deterioration of metal that can reduce its yield strength, ultimate strength, financial losses, waste of natural resources, and endanger security. Thus, the corrosion rate must be slowed, or if possible, stopped. This study aimed to investigate the mechanism of corrosion protection by using corrosion inhibitors of chitosan extracted from fish scales on ASTM A36 steel. ASTM A36 steel was used as the specimen with a thickness of 3 mm. Fish scales powder was used as chitosan source extracted by using three mechanisms, i.e., deproteination (7% NaOH immersion), demineralization (immersion of 1 M HCl in 100 ml) and deacetylation (immersion process with 70% NaOH concentration). Corrosion inhibitor was composed of 8 g of chitosan from fish scales, 50 ml of distilled water, and 1 ml of CH₃COOH. Corrosion protection with the inhibition method was applied with variations in the inhibitor concentration (1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, 5000 ppm, and 6000 ppm). The corrosion rate was tested by the polarization method and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). The result demonstrated that the effectiveness of corrosion protection started to increase from the concentration of 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm to 4000 ppm, with an effective value of 46.444%, 56.386%, 59.691%, and 72.630%, respectively. However, the effectiveness level started to decline from the concentrations of 5000 ppm to 6000 ppm, with 67.388% and 59.276%, respectively. This phenomenon occurs due to the inhibitor concentration has exceeded the maximum limit, so the interaction between inhibitor molecules was higher than the interaction between the inhibitor and the metal surface.

Keywords: ASTM A36 Steel, Chitosan Fish Scales, Corrosion Rate, EIS, Corrosion Inhibitor.

1. PENDAHULUAN

Besi ASTM A36 merupakan salah satu jenis material yang paling sering digunakan dalam berbagai macam aplikasi di industri struktur dan peralatan/ perlengkapan lainnya, dikarenakan harganya relatif murah dan sifat tarik yang baik dengan kandungan karbon sekitar 0.5–0.26 % [1,2].

Masalah utama dalam penggunaan industri baja ringan yaitu ketika terjadi kontak atau terendam dalam/dengan media (larutan) asam. Sifat ketahanannya yang sangat lemah terhadap korosi membuat baja ringan mudah mengalami korosi. Beberapa industri yang menggunakan baja ringan yaitu industri pembersih, ladang minyak, pemrosesan petrokimia, penukar panas, tangki dan lain sebagainya [2].

Korosi merupakan salah satu penyakit pada material yang dapat mengurangi *yield strength*, *ultimate strength*, dan *ductility* [3]. Korosi dapat dibagi lagi menjadi dua jenis yaitu korosi kering dan basah. Korosi kering terjadi ketika terjadi kontak langsung antara gas atmosfer seperti gas oksigen dengan logam. Kontak langsung logam dengan gas atmosfer ini menyebabkan pembentukan lapisan oksida logam yang disebut dengan 'Theory of Wagner' [4]. sedangkan untuk korosi basah, korosi ini terjadi ketika media cair terlibat atau logam terkena media cair. Dalam proses ini, salah satu bagian akan

bertindak sebagai anoda dan mengalami proses oksidasi, sementara yang bagian yang lain bertindak sebagai katoda dan mengalami proses reduksi [2]. Pada korosi basah, pencegahan laju korosi pada besi ASTM A36 dalam larutan HCl 1 M menggunakan inhibitor korosi berbahan senyawa organik [5]. Inhibitor korosi didefinisikan sebagai kemampuan zat untuk secara efektif mengurangi laju korosi logam ketika ditambahkan pada konsentrasi rendah ke lingkungan atau media korosi yang aktif [6,7].

Secara umum, inhibitor korosi dapat dibagi menjadi inhibitor organik dan inhibitor anorganik, pembagian ini berdasarkan sesuai dengan kandungan kimia dan sumber inhibitor tersebut [8]. Dalam beberapa literatur ditemukan bahwa beberapa inhibitor anorganik yang digunakan seperti fosfat dan dikromat serta inhibitor anorganik lainnya biasanya penggunaannya dihindari karena memiliki biaya penggunaan yang mahal, beracun dan sulit didegradasi oleh lingkungan. Oleh karena itu, menggunakan inhibitor korosi organik yang *nontoxic* merupakan keputusan yang baik dalam proses pencegahan korosi pada material logam [9]. Tumbuh-tumbuhan seperti (*Asparagus racemosus*, *Halopm itys incurvus*, *Cinnamomum verum*, *Myristica fragrans*, ekstrak biji apel akee dan ekstrak *Borage flower aqueous* [10-13, 17] dan beberapa cangkang/kulit hewan seperti udang & kepiting merupakan beberapa sumber kitosan sebagai bahan inhibitor yang ramah lingkungan, tidak beracun dan dapat diperbaharui.

Beberapa hasil penelitian mengenai penggunaan inhibitor organik sebagai media inhibisi diantaranya, EL-Hajjaji et al. (2018) [14] mengungkapkan bahwa cairan ionik berbasis *pyridazinium* berfungsi sebagai inhibitor yang baik untuk baja dalam media korosi 1 M HCl dengan tingkat perlindungan mencapai 84%. Dalam studi penelitian yang dilakukan oleh Haldhar et al. (2018) [15] Efisiensi sebesar 87,81% diperoleh pada konsentrasi 500 ppm ekstrak *Myristica fragrans* pada substrat baja dalam 0,5 M H₂SO₄. Kemudian, efek penghambatan korosi *lipid Lepidium sativum* dianalisis oleh Chatoui et al. (2018) [16], dan nilai penghambatan 86% dicapai dalam lingkungan HCl 1 M dengan menambahkan inhibitor korosi dari *lipid Lepidium sativum* dengan konsentrasi sebesar 2000 ppm. Dari beberapa penelitian tersebut di atas menunjukkan bahwa beberapa senyawa yang bersumber dari alam mampu menurunkan laju korosi dalam penambahan pada konsentrasi tertentu.

Pada penelitian ini, peneliti melihat konsumsi ikan masyarakat Indonesia yang cukup besar menghasilkan limbah sisik ikan yang tidak dimanfaatkan secara optimal dan potensi atau kandungan kimia sisik ikan yang hampir sama dengan berbagai kitosan lainnya, sehingga mendorong peneliti untuk meneliti potensi sisik ikan sebagai kitosan bahan inhibitor penghambat laju korosi pada besi ASTM A36 dalam media HCl 1 M. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui laju korosi dan efektivitas penambahan inhibitor korosi dari kitosan sisik ikan menggunakan metode ekstrapolasi tafel dan metode EIS.

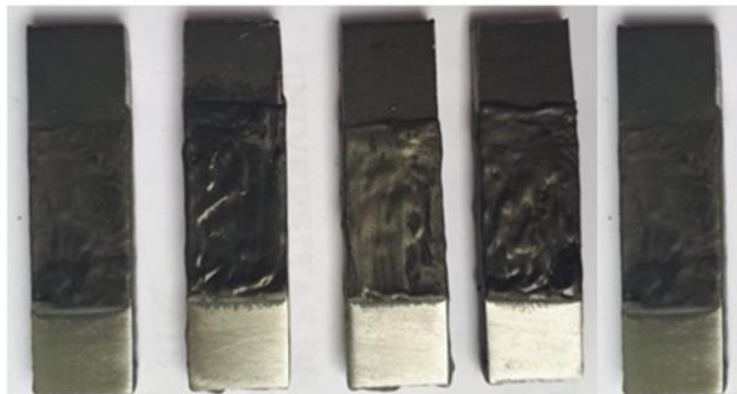
2. METODE DAN BAHAN

2.1 BAHAN.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu besi ASTM A36 dengan kandungan, karbon (C) = 0.25 %, copper (Cu) = 0,20 %, iron (Fe) = 98 %, phosphorous (P) = 0.04 %, manganese (Mn) = 1.03 %, silicon (Si) = 0.28 %, sulfur (S) = 0,05 % [18]. Sisik ikan nila untuk dijadikan kitosan, asam asetat (CH₃COOH), asam klorida (HCl 1 M) sebagai media korosif, natrium hidroksida (NaOH).

2.2 Preparasi Spesimen Uji Besi ASTM A36.

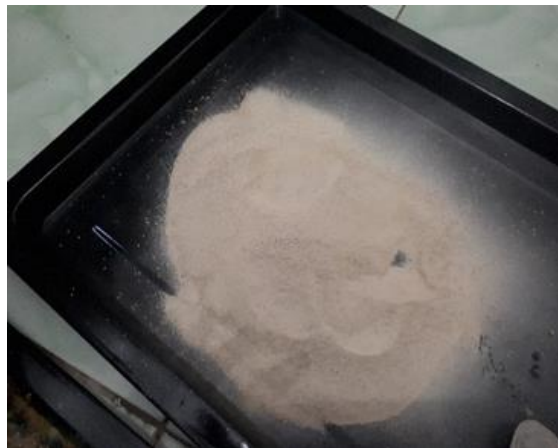
Plat besi ASTM A36 dengan ketebalan 0,3 mm dipotong dengan ukuran 4 cm x 1 cm x 0,3 mm. *Plat baja* selanjutnya dicat dengan lem epoxy hingga bagian plat besi ASTM A36 yang tidak terkena lem epoxy tersisa 1x1 cm² pada kedua sisi. Pada bagian permukaan uji spesimen besi ASTM A36 dihaluskan dengan *sandpaper* dengan grade 1000, 2000 dan 3000. Spesimen plat besi ASTM A36 seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. spesimen uji korosi besi ASTM A36

2.3 Preparasi sisik ikan menjadi kitosan

Sisik ikan yang didapat dicuci terlebih dahulu menggunakan air sampai bersih lalu dikeringkan dibawah sinar matahari (musim kemarau) selama 7 jam dengan suhu sekitar 27-29 °C. Sisik ikan kemudian dibuat menjadi serbuk dengan cara diblender. Setelah itu, serbuk sisik ikan diayak untuk mendapatkan ukuran serbuk yang seragam dengan ayakan 4000 mesh. Tahap selanjutnya yaitu serbuk sisik ikan dirubah menjadi kitin dengan cara direndam dengan larutan NaOH 7% selama 2 jam atau disebut dengan proses deproteinasi. kemudian dicuci bersih menggunakan aquades, yang dilanjutkan dengan proses pengeringan menggunakan oven selama 30 menit dengan suhu 100 °C. Kitin selanjutnya direndam dengan larutan 1 molar HCl untuk menghilangkan kandungan mineralnya, yang dilanjutkan dengan proses pencucian dengan aquades dan pengeringan menggunakan oven dengan suhu 100 °C selama 30 menit. Proses terakhir yaitu merubah kitin menjadi kitosan dengan cara direndam menggunakan larutan alkali NaOH konsentrasi 70% selama 2 jam lalu dicuci bersih dengan aquades kemudian dioven selama 30 menit pada suhu 100 °C.



Gambar 2. serbuk kitosan sisik ikan.

2.4 Persiapan inhibitor korosi kitosan sisik ikan.

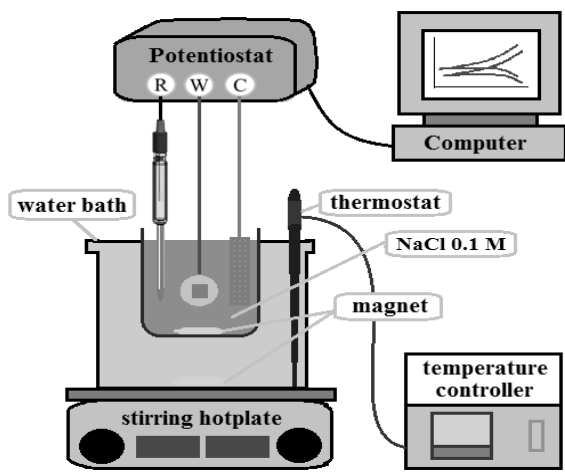
Inhibitor korosi dibuat dengan cara mencampurkan 8 g kitosan sisik ikan dengan 100 ml aquades dan 1 ml CH₃COOH, yang kemudian disimpan pada botol kaca.

Tabel 1: variasi konsentrasi penambahan inhibitor pada pengujian laju korosi (dalam 50 ml HCl).

KONSENTRASI INHIBITOR (PPM)	JUMLAH (TETES)
1000	1
2000	2
3000	3
4000	4
5000	5
6000	6

2.5 Pengukuran Laju Korosi Besi ASTM A36 Dengan Ekstrapolasi Tafel Metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).

Dalam penelitian laju korosi besi ASTM A36 dengan kitosan sisik ikan ini alat yang digunakan yaitu alat uji laju korosi merk Autolab Metrohm tipe AUT84948 yang terdapat di lab. Sains dan Analitik, Jurusan Kimia Fakultas MIPA, ITS Surabaya. Skema pengujian ditampilkan seperti yang ditampilkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Skema Autolab Metrohm tipe AUT84948 [19].

Dari pengujian laju korosi besi ASTM A36 dengan metode tafel dan EIS, kemudian didapat beberapa parameter-parameter perilaku korosi. Adapun parameter-parameter yang didapat yaitu tahanan transfer/polarisasi (R_p) dari besi ASTM A36, laju korosi dan nilai efektivitas inhibitor dari kitosan sisik ikan dalam menghambat laju korosi. Persamaan 1 digunakan untuk menghitung nilai efektivitas η (%) inhibitor kitosan sisik ikan sebagai berikut.

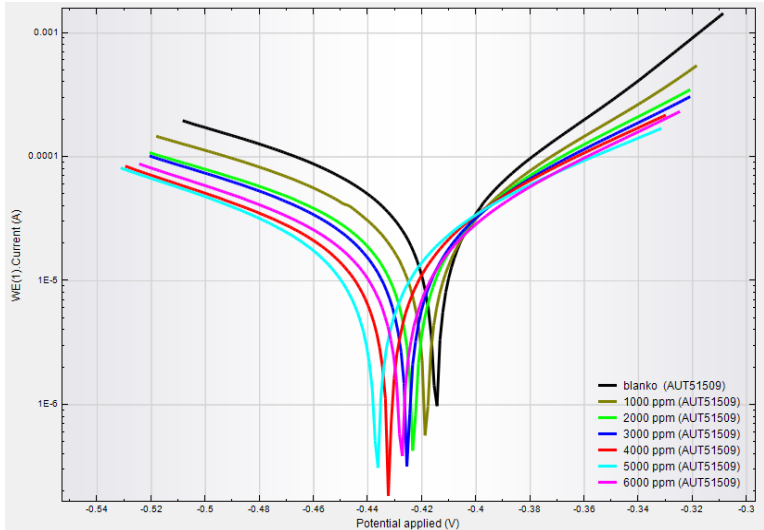
$$\eta_{EIS} (\%) = 1 - \frac{R_p^0}{R_p} \times 100 \tag{1}$$

Dengan R_p^0 merupakan tahanan transfer besi ASTM A36 tanpa penambahan inhibitor korosi, sedangkan R_p merupakan tahanan transfer besi ASTM A36 dengan adanya penambahan inhibitor korosi untuk masing-masing variasi.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pengujian Tafel

Hasil pengujian laju korosi dengan ekstrapolasi tafel menggunakan *software* NOVA 1.11 pada besi ASTM A36 dengan variasi inhibitor korosi sisik ikan ditampilkan pada tabel 1. Menurut Gapsari, et al (2018) [20]. Beberapa parameter korosi yang didapatkan pada pengujian besi ASTM A36 seperti I_{corr} (current density), E_{corr} (potensial), β_a (konstanta tafel anodik) β_c (konstanta tafel katodik). Berdasarkan variasi pengujian dengan inhibitor korosi yaitu blanko, 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm, 5000 ppm dan 6000 ppm yang diuji polarisasi, maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. kurva polarisasi hubungan E dan i dengan variasi penambahan jumlah ppm inhibitor korosi sisik ikan pada pengujian korosi besi ASTM A36.

Dari Gambar 4 kurva polarisasi hubungan potensial dan arus korosi pada besi ASTM A36 dengan variasi jumlah ppm inhibitor kitosan sisik ikan, yang mengindikasikan bahwa arus korosi/laju korosi terjadi penurunan seiring dengan meningkatnya jumlah ppm inhibitor kitosan sisik ikan dari 1000 ppm sampai dengan 4000 ppm, akan tetapi arus korosi/laju korosi meningkat kembali pada konsentrasi 5000 ppm dan 6000 ppm. Hal ini berarti bahwa kondisi optimum penghambatan korosi dengan inhibitor kitosan sisik ikan pada besi ASTM A36 dalam media HCl 1 M diperoleh pada 4000 ppm dengan efisiensi sebesar 72,63013 %. Selanjutnya diketahui bahwa inhibitor kitosan sisik ikan bersifat katodik karena inhibitor tersebut menggeser kurva polarisasi spesimen dengan inhibitor semakin ke kiri dari kurva polarisasi spesimen tanpa inhibitor [21, 22].

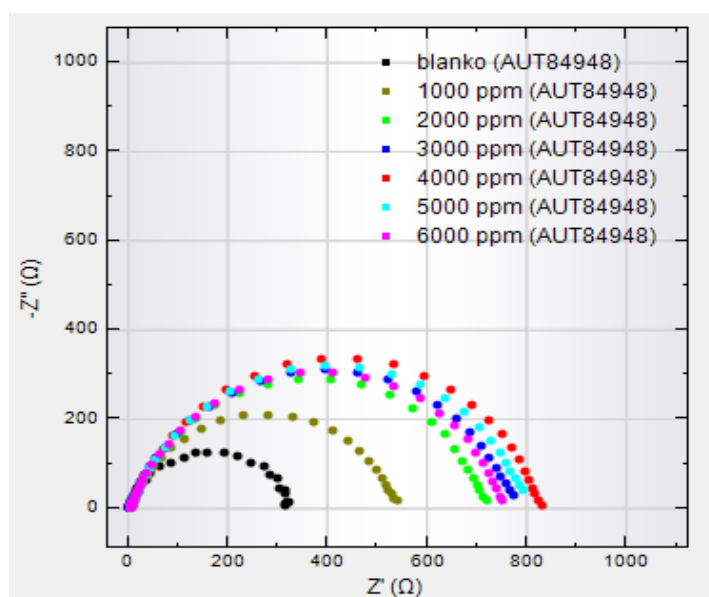
Dari hasil polarisasi tafel seperti pada Gambar 4 dengan menggunakan software Nova 1.11 maka secara otomatis didapatkan beberapa parameter seperti E_{corr} (potensial korosi), I_{corr} (arus korosi), β_a (konstanta tafel anodik), β_c (konstanta tafel katodik) serta *corrosion rate* dari besi ASTM A36 dan besarnya efisiensi inhibitor yang didapat dengan masing-masing variasi penambahan inhibitor korosi dari sisik ikan (lihat tabel 2).

Tabel 2: beberapa data parameter korosi dari inhibitor pada besi ASTM A36 dengan variasi jumlah ppm inhibitor korosi hasil ekstrapolasi tafel.

	j_{corr} (A/cm ²)	i_{corr} (A)	Corrosion rate (mm/year)	Efisien Inhibitor (EI) (%)
blanko	0.000063785	0.000638	0.74118	
1000 ppm	0.000034158	0.000342	0.39691	46,44891
2000 ppm	0.000027819	0.000278	0.32326	56,38576
3000 ppm	0.000025711	0.000257	0.29876	59,6913
4000 ppm	0.000017458	0.000175	0.20286	72,63013
5000 ppm	0.000020801	0.000208	0.24171	67,38849
6000 ppm	0.000025976	0.00026	0.30184	59,27575

3.2 Pengujian EIS

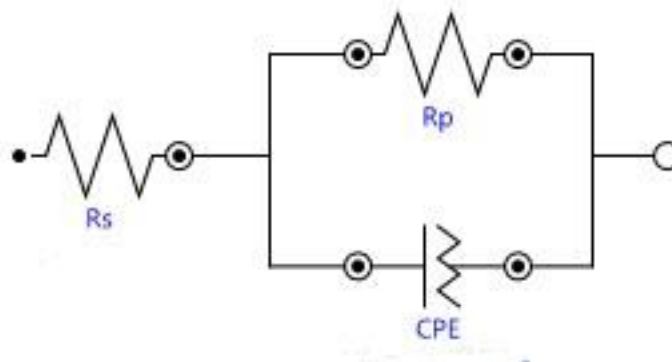
Pengujian laju korosi dengan metode EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) dilakukan pada spesimen dengan perlindungan inhibitor korosi. Hasil pengujian EIS pada spesimen besi ASTM A36 dengan masing-masing variasi penambahan inhibitor korosi ditampilkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. hasil plot Nyquist dari besi ASTM A36 dengan variasi penambahan inhibitor korosi.

Gambar 5 di atas merupakan hasil plot Nyquist dari besi ASTM A36 dengan variasi penambahan inhibitor korosi 1000 ppm, 2000 ppm, 3000 ppm 4000 ppm 5000 ppm dan 6000 ppm. Hasil plot Nyquist dari besi ASTM A36 dengan variasi penambahan inhibitor korosi 1000 ppm sampai 6000 ppm memiliki kurva dengan diameter setengah lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan diameter setengah lingkaran dari spesimen tanpa inhibitor (blanko). Yang mana diameter kapasitip setengah lingkaran meningkat tajam seiring dengan adanya penambahan atau peningkatan konsentrasi inhibitor korosi, sehingga dapat dikaitkan bahwa proses tahanan transfer memainkan peran utama dalam terjadinya peningkatan cakupan permukaan adsorpsi molekul inhibitor pada permukaan besi ASTM A36 (Zakaria, et al. 2016) [23]. Hasil uji EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) pada besi ASTM A36 dengan penambahan inhibitor korosi dari sisik ikan menunjukkan kesesuaian hasil dengan pengujian ekstrapolasi tafel. Yang mana laju korosi mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor dari 1000 ppm sampai 4000 ppm dan mengalami peningkatan laju korosi lagi pada konsentrasi 5000 dan 6000 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa inhibitor korosi dari sisik ikan mempunyai konsentrasi optimum dalam menghambat laju korosi, sehingga ketika penambahan inhibitor ditambahkan pada media korosi dan melebihi konsentrasi optimumnya maka inhibitor tersebut akan mengalami kejenuhan atau mungkin akan terjadi pelepasan lapisan inhibitor korosi [24].

Nilai dari perhitungan beberapa parameter impedansi pada pengujian korosi metode EIS mengacu pada model *circuit* equivalen ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. model sirkuit fitting EIS dari besi ASTM A36 dengan inhibitor korosi.

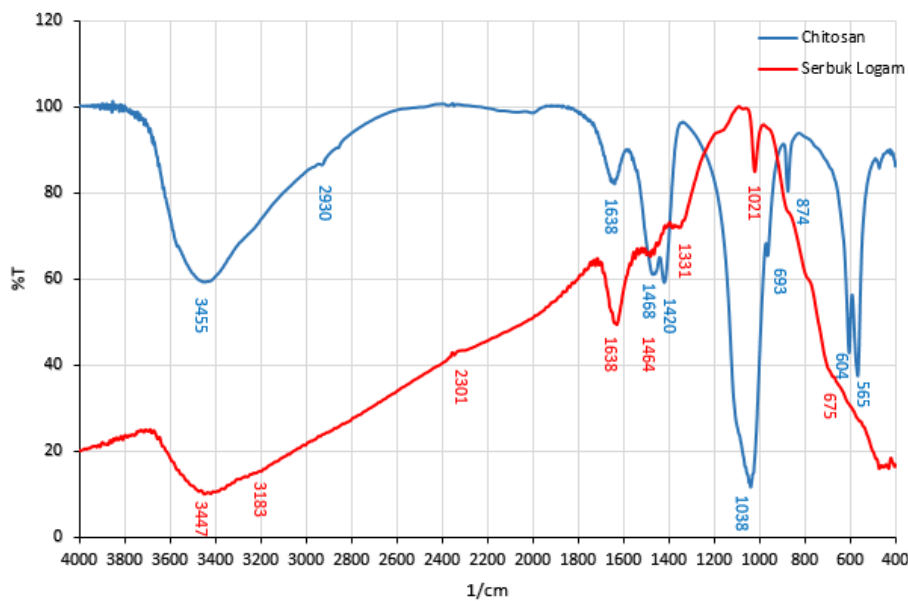
Model sirkuit yang terbentuk pada pengujian dengan metode EIS dengan inhibitor korosi kitosan sisik ikan ditunjukkan pada Gambar 6 di atas, yang mana sirkuit fitting EIS dengan inhibitor korosi tersebut terdiri dari 3 variabel penyusun sirkuit yaitu R_s (tahanan larutan), R_p (tahanan transfer muatan) dan CPE (*Constant Phase Element*). Model sirkuit fitting EIS pada inhibitor korosi yang terbentuk merupakan kombinasi yang paralel antara R_p dengan CPE. Sedangkan R_s membentuk rangkaian seri dengan R_p dan CPE. Adapun nilai dari beberapa parameter pengujian EIS ditampilkan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. hasil fitting data EIS dari besi ASTM A36 dengan variasi konsentrasi inhibitor dari kitosan sisik ikan.

Variasi konsentrasi inhibitor	CPE.Y0 (F)	Rp.R (Ω)	Rs.R (Ω)	CPE.N
Blanko	0.00013172	317.3	2.5169	0.99723
1000 ppm	7.16E-05	539.17	3.2609	0.99719
2000 ppm	4.66E-05	714.08	6.018	0.99756
3000 ppm	5.18E-05	775.39	3.7324	0.99741
4000 ppm	3.13E-05	820.96	7.8416	0.99769
5000 ppm	5.32E-05	793.61	7.802	0.99753
6000 ppm	4.74E-05	749.68	7.6904	0.99765

Tabel 3 hasil fitting data EIS dari besi ASTM A36 dengan variasi penambahan konsentrasi inhibitor dari kitosan sisik ikan terlihat bahwa nilai tahanan transfer muatan (R_p) tertinggi dimiliki oleh spesimen besi ASTM A36 dengan inhibitor 4000 ppm yaitu sebesar 820.96 ohm dan nilai tahanan transfer (R_p) terendah dimiliki oleh spesimen tanpa adanya inhibitor (blanko) dengan nilai 317.3 ohm. Hal ini sesuai dengan data nilai laju korosi yang dimiliki oleh spesimen tersebut, yang mana spesimen dengan inhibitor 4000 ppm memiliki laju korosi terendah dan spesimen tanpa pelapisan dengan laju korosi tertinggi. Hal ini dikarenakan oleh semakin besar tahanan transfer spesimen uji maka laju pelepasan ion-ion atau atom besi semakin lama sehingga laju korosinya semakin rendah demikian pula dengan hal sebaliknya.

Hasil pengujian FTIR antara serbuk besi ASTM A36 yang telah direndam dalam HCl 1 M dengan kitosan sisik ikan konsentrasi 4000 ppm ditampilkan pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. perbandingan spektrum serapan yang terjadi pada kitosan sisik ikan dengan partikel besi ASTM A36.

Hasil pengujian FTIR kitosan sisik ikan dan serbuk besi ASTM A36 didapat serapan bilangan gelombang dengan gugus fungsi ditampilkan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4 Data FTIR kitosan sisik ikan dengan serbuk besi ASTM A36.

Chitosan	Gugus Fungsi	Kandungan	Serbuk Logam	Gugus Fungsi	Kandungan
3455.03	O-H	Alkohol	3447.32	O-H	Alkohol
2930.43	C-H	Alkane	3183.09	N-H	Alkanes
1638.21	C=C	aromatic	1638.21	C-C	aromatic
1468.49	C=C	aromatic	1464.63	C-H	aromatic
1420.27	C=C	aromatic	1331.55	C=C	Aromatic
1038.39	C-O	Ether	1021.04	C-O	Ether
963.18	=C-H	Alkene	675.8	C-H	Aromatic
874.46	=C-H	Alkene			

Dari Gambar 7 terlihat bahwa pita serapan kitosan sisik ikan lebih tinggi dibandingkan dengan serbuk besi ASTM A36, hal ini diduga merupakan pengaruh terhadap lapisan inhibisi dari kitosan yang terbentuk pada permukaan sampel besi ASTM A36. Sedangkan dari Tabel 4 dan Gambar 7 juga terlihat bahwa adanya

kesamaan gugus fungsi dan kandungan yang terdapat pada kitosan sisik ikan dengan serbuk besi ASTM A36 yang direndam dalam HCl 1 M dengan inhibitor, yang mana hal ini kemungkinan adanya kitosan sisik ikan yang membentuk lapisan inhibisi korosi pada serbuk besi ASTM A36. Kesamaan-kesamaan tersebut dengan jelas terlihat pada serapan bilangan gelombang 3400-3500 cm^{-1} yang merupakan serapan senyawa phenol OH dari kitosan pada serbuk besi ASTM A36, bilangan gelombang pada 1400-1700 cm^{-1} merupakan karboaromatik serta gugus alkane yang terdapat pada bilangan gelombang 3183.09 cm^{-1} . Dari ketiga senyawa flavonoid kitosan sisik ikan seperti fenol, alkane dan karbonil dengan jelas terdapat juga pada spectrum serapan dari serbuk besi ASTM A36 yang direndam dalam HCl 1 M dengan inhibitor kitosan sisik ikan 4000 ppm [25].

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian laju korosi pada besi ASTM A36 dalam media korosi HCl 1 M dengan inhibitor korosi kitosan sisik ikan berdasarkan metode EIS maka dapat diambil kesimpulan yaitu, terjadi kesesuaian data hasil pengujian laju korosi dengan metode polarisasi tafel dan metode EIS pada besi ASTM A36. Yang mana efektifitas perlindungan optimal terhadap korosi didapat pada konsentrasi inhibitor sebesar 4000 ppm.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada pembimbing tesis ibu Femiana Gapsari dan ibu Putu Hadi Setyarini serta kepada semua pihak atas dukungan berupa materil maupun nonmateril serta saran dan masukan dalam pelaksanaan penelitian sampai penulisan karya tulis ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] VERMA, C., QURAIISHI, M. A., KLUZA, K., MAKOWSKA-JANUSIK, M., LUKMAN, O., OLASUNKANMI, EBENSO, E. E. "Corrosion inhibition of mild steel in 1M HCl by D-glucose derivatives of dihydropyrido [2,3-d:6,5-d'] dipyrimidine-2, 4, 6, 8(1H,3H, 5H,7H)-tetraone". *Scientific Reports*. DOI: 10.1038/srep44432. 2017.
- [2] HABEEB, H. J., LUAIBI, H. M., DAKHIL, R. M., KADHUM, A. A. H., AL-AMIERY, A. A., GAAZ, T. S. "Development of new corrosion inhibitor tested on mild steel supported by electrochemical study". *Results in Physics*, v. 8, pp. 1260–1267, 2018.
- [3] LI, L., MAHMOODIAN, M., LI, C-Q., ROBERT, D. "Effect of Corrosion and Hydrogen Embrittlement on Microstructure and Properties of Mild Steel". *Construction and Building Materials*, v. 170 pp. 78-90. 2018.
- [4] JAMIL D, AL-OKBI A, AL-BAGHDADI S, AL-AMIERY A, KADHIM A, GAAZ T, KADHUM A, MOHAMAD, A. "Experimental and theoretical studies of Schiff bases as corrosion inhibitors". *Chem Central J*, v. 12, pp. 1–9, 2018.
- [5] SADEGHI ERAMI R, AMIRNASR M, MEGHDADI S, TALEBIAN M, FARROKHPOUR H, RAEISSI K. "Carboxamide derivatives as new corrosion inhibitors for mild steel protection in hydrochloric acid solution". *Corrosion Science*. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2019.02.019>. 2019.
- [6] SAMIEE, R., RAMEZANZADEH, B., ALIBAKHSHI, E. "Corrosion inhibition performance and healing ability of a hybrid silane coating in the presence of praseodymium (III) cations". *J. Electrochem. Soc*, v. 165, pp. 777–786. <https://doi.org/10.1149/2.0841811jes>. 2018.
- [7] ALIBAKHSHI, E., RAMEZANZADEH, M., HADDADI, S. A., BAHLAKEH, G., RAMEZANZADEH, B., MAHDAVIAN, M. "Persian Liquorice extract as a highly efficient sustainable corrosion inhibitor for mild steel in sodium chloride solution". *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2018.11.053. 2018.
- [8] AL-AZAWI, K., AL-BAGHDADI, S., MOHAMED, A., AL-AMIERY, A., ABED, T., MOHAMMED, S., KADHUM, A., MOHAMAD, A. "Synthesis, inhibition effects and quantum chemical studies of a novel coumarin derivative on the corrosion of mild steel in a hydrochloric acid solution". *Chem Cent J*, v. 10, n. 1, pp. 1–23, 2016.
- [9] YADAV, M, GOPE L, SARKAR T. K. "Synthesized amino acid compounds as ecofriendly corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid solution: electrochemical and quantum studies". *Res Chem Intermed*, v. 42, pp. 2641–60, 2016.
- [10] DEHGHANI, A., BAHLAKEH, G., RAMEZANZADEH, B., RAMEZANZADEH, M. "Potential of Borage flower aqueous extract as an environmentally sustainable corrosion inhibitor for acid corrosion of mild steel: Electrochemical and theoretical studies". *Molliq*. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.008>. 2019.
- [11] SAXENA, A. PRASAD, D. HALDHAR, R. Use of Asparagus racemosus extract as green corrosion

- inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄. *Journal of Materials Science*, v. 53, pp. 8523-8535, 2018.
- [12] BENABBOUHA, T., SINI, M., EL-ATTARI, H., CHEFIRA, K., CHIBI, F., NMILA, R., RCHID, H. "Red Algae *Halopitys Incurvus* Extract as a Green Corrosion Inhibitor of Carbon Steel in Hydrochloric Acid". *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, v. 4, n 39. 2018.
- [13] ANUPAMA, K., JOSEPH, A. "Experimental and Theoretical Studies on *Cinnamomum verum* Leaf Extract and One of Its Major Components, Eugenol as Environmentally Benign Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Acid Media". *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, v. 4, pp 1-14, 2018.
- [14] EL-HAJJAJI, F., MESSALI, M., ALJUHAN, A., AOUAD, M., HAMMOUTI, B., BELGHITI, M., CHAUHAN, D., QURAISHI, M. "Pyridazinium-based ionic liquids as novel and green corrosion inhibitors of carbonsteel in acid medium: Electrochemical and molecular dynamics simulation studies". *Journal of Molecular Liquids*, v. 249, pp. 997-1008, 2018.
- [15] HALDHAR, R. PRASAD, D. SAXENA, A. "Myristica fragrans extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄ solution". *J. Environ. Chem. Eng*, v. 6, pp. 2290-2301, 2018.
- [16] CHATOUI, K. ECHIHI, S. HARHAR, H. ZARROUK, A. TABYAOUL, M. "An investigation of carbon steel corrosion inhibition in 1 M HCl 1 M by *Lepidium sativum* oil as green inhibitor". DOI (2018). 2018.
- [17] STEPHEN, J. ADEBAYO, A. "Inhibition of Corrosion of Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution Using Akee Apple Seed Extract". *Journal of Failure Analysis and Prevention*, v. 18, pp. 350-355, 2018.
- [18] AL-SARAIREH, F. M. "The effect of current and voltage on mechanical properties of low carbon steel products". *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* 9, v. 3, pp. 134-142, 2018.
- [19] ANGGRIAWAN, O. B., CHOIRON, M. A., LIN, J-C. "Pengaruh Waktu Pemanasan (Anil) terhadap Ketahanan Korosi pada Gelas Metalik Berbasis Zirkonium". *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 5, no.3, pp. 193-199, 2014.
- [20] GAPSARI, F., WIJAYA, A. H. "Corrosion behavior of brass in nitric acid". *Metalurgija*, 57 v. 4, pp. 333-336, 2018.
- [21] AL-AMIERY, A. A., KASSIM, F. A. B., KADHUM, A. A. H., MOHAMAD, A. B. "Synthesis and characterization of a novel eco-friendly corrosion inhibition for mild steel in 1 M hydrochloric acid". *Scientific Reports*, v. 6. 2016.
- [22] AL-AMIERY, A. A., AHMED, M. H. O., ABDULLAH, T. A. GAAZ, T. S., KADHUM A. A. H. "Electrochemical studies of novel corrosion inhibitor for mild steel in 1M hydrochloric acid". *Results in Physics*, v. 9, pp. 978–981, 2018.
- [23] ZAKARIA, K., HAMDY, A., ABBAS, M. A., ABO-ELENIEN, O. M. "New organic compounds based on siloxane moiety as corrosion inhibitors for carbon steel in HCl solution: Weight loss, electrochemical and surface studies". *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 65, pp. 1–14, 2016.
- [24] GAPSARI, M. F., *Modifikasi daerah aktif-pasif diagram pourbaix stainless steel dalam inhibitor bee wax propolis*. Dr., Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. 2016.
- [25] MOOSA, A. A., RIDHA, A. M., KADHIM, N. A. "Use of biocomposite adsorbents for the removal of methylene blue dye from aqueous solution". *American Journal of Materials Science*, v. 6, pp. 135-146, 2016.