

STUDI AWAL POTENSI DAUN BELIMBING WULUH SEBAGAI INHIBITOR KOROSI PADA BAJA KARBON DI LARUTAN ASAM KLORIDA

Gadang Priyotomo^{1*}, Lutviasari Nuraini²

Pusat Penelitian Metalurgi & Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Tangerang Selatan
Jl. Kw. Puspipetek, Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten 15314, Indonesia
gadangp@gmail.com

ABSTRAK

Di Indonesia, pengembangan bahan dasar inhibitor korosi dari banyak tanaman dilakukan oleh para peneliti sebagai pengganti inhibitor komersial yang potensial. Khususnya, investigasi terhadap daun belimbing wuluh (DBW) sebagai inhibitor korosi alami dilakukan melalui pengujian elektrokimia antara lain *Tafel* dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), dimana dilakukan pada logam baja karbon di media larutan asam klorida (HCl). Penambahan konsentrasi ekstrak DBW dapat menurunkan laju korosi secara signifikan, dimana peningkatan nilai efisiensi inhibisi tertinggi 94,5% dan nilai tahanan transfer muatan (R_p) baja karbon 175,5 ohm pada konsentrasi DBW sebesar 6000 ppm. Inhibitor ekstrak DBW dikategorikan sebagai inhibitor campuran dengan melihat penurunan kedua nilai rapat arus anodik dan katodik yang terjadi seiring dengan penambahan konsentrasi inhibitor dan pergeseran nilai potensial korosi dibawah ± 85 mV. Berdasarkan hasil studi awal, peningkatan nilai R_p dan penurunan kapasitansi lapisan ganda (C_f) mengindikasikan keberadaan lapisan pasif akibat proses adsorpsi molekul ekstrak DBW di permukaan baja karbon.

Kata kunci: Inhibitor korosi, Baja karbon, Elektrokimia, Laju korosi, Efisiensi inhibisi.

ABSTRACT

The development of raw material for corrosion inhibitor from the variety of plants had been conducted by researchers as the potential candidate of commercial inhibitor. Especially, the investigation for the extract of belimbing wuluh leaves as green inhibitor is carried out with electrochemical test such as Tafel and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), where those tests applied on carbon steel in chloride acid (HCl) solutions. The addition of various concentration for DBW extracts could decrease corrosion rate significantly, where the highest corrosion inhibition efficiency and charge transfer resistance (R_p) are 94% and 175,5 Ohm at 6000 ppm of DBW concentration, respectively. The inhibitor of DBW extract was categorized as the type of mixed inhibitor with the decrease the magnitudes of both anodic and cathodic current densities, in which that took place in the addition corrosion inhibitor and the shift of corrosion potential below ± 85 mV. On the basis of this preliminary study, the increase of R_p and the decrease of double-Layer capacitancy (C_f) indicated the presence of protective layer due to the process of molecule adsorption for DBW extract on steel surface.

Keywords : Corrosion Inhibitor, Carbon steel, Electrochemistry, Corrosion rate, Inhibition efficiency

PENDAHULUAN

Korosi adalah degradasi logam akibat reaksi reduksi dan oksidasi antara material logam dengan lingkungan. Salah satu cara mengurangi potensi degradasi logam tersebut

akibat proses korosi adalah penambahan zat inhibitor dalam sistem. Inhibitor adalah senyawa yang dimasukkan dalam dosis kecil ke dalam lingkungan korosif berfungsi untuk mengurangi laju korosi material (Vasanth,2003). Inhibitor korosi dapat dibagi

menjadi dua jenis antara lain senyawa organik dan senyawa anorganik yang mengandung gugus-gugus dengan pasangan elektron bebas diantaranya nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amin (Roberge,1999). Disisi lain, inhibitor berbahan kimia sintesis tersebut merupakan bahan-bahan berbahaya dan tidak ramah lingkungan, namun industri-industri masih menggunakan inhibitor tersebut untuk diaplikasikan pada sistem pendingin, sistem pemipaan, sistem penukar panas dan sistem pengolahan air produksi.

Lebih jauh lagi, isu penggunaan bahan ramah lingkungan dan bersifat biodegradasi terus berlanjut di Indonesia. Oleh karena itu, para peneliti mulai mengeksplorasi bahan-bahan alami dari tumbuhan sebagai bahan potensi inhibitor korosi logam. Belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) merupakan tumbuhan yang berasal dari benua Amerika beriklim tropis, dan menyebar ke Negara Malaysia, Argentina, Australia, Brazil, India, Filipina, Singapura, Thailand, Indonesia dan Venezuela (Thomas,2007). Bagian tanaman belimbing wuluh selain buahnya adalah bagian daun dimana bagian ini mengandung senyawa polifenol sebagai antioksidan (Lestari,2016). Sebagai tambahan, tanaman yang mengandung senyawa polifenol memberikan efek menghambat laju korosi baja karbon rendah khususnya pada tanaman brotowali, bakau dan gambir (Kassim,2007).

Secara umum, inhibitor korosi dapat diklasifikasikan menurut proses kerjanya sebagai inhibitor anodik dimana bekerja menghambat proses oksidasi logam; inhibitor katodik dimana bekerja menghambat proses reduksi logam; dan inhibitor campuran dimana dapat menghambat kedua reaksi oksidasi dan reduksi logam (Schweitzer,2009). Penelitian tentang inhibitor korosi alami berbahan dasar ekstrak tumbuhan menjelaskan bahwa mekanisme inhibitor melalui proses adsorpsi molekul inhibitor korosi alami terjadi di permukaan logam (Leelavathi,2013;Shivakumar,2012;Pandian,2009). Di Indonesia, penelitian sebelumnya tentang potensi bahan daun belimbing wuluh (DBW) sebagai inhibitor korosi alami belum dilakukan secara detail dan komprehensif. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah (1) untuk mengetahui pengaruh nilai laju korosi baja karbon dengan penambahan

ekstrak DBW di dalam larutan asam klorida (HCl) ;(2) untuk menginvestigasi keefektifan penambahan ekstrak DBW sebagai bahan inhibitor alami ; (3) untuk mengindikasikan pembentukan lapisan protektif bahan ekstrak DBW di permukaan material dan (4) untuk mengetahui jenis inhibitor ekstrak DBW.

METODE

Persiapan bahan ekstrak, spesimen uji, larutan uji dan uji kadar senyawa polifenol

Daun belimbing wuluh (DBW) dibersihkan dengan air bersih dan dikeringkan di udara terbuka. Daun-daun yang telah kering, dihaluskan hingga menjadi serbuk. Proses selanjutnya adalah perendaman serbuk DBW dalam pelarut etanol 96% selama 72 jam. Selanjutnya proses penyaringan bahan ekstrak kasar dan penguapan pelarut organik dilakukan hingga mendapatkan ekstrak DBW yang kering. Selanjutnya, pembuatan spesimen uji yang digunakan untuk pengujian korosi dilakukan dengan memotong material baja karbon. Dimensi spesimen uji adalah 1 cm x 1 cm, dimana di koneksi dengan kabel dan dilakukan proses *mounting*. Lebih jauh lagi, spesimen uji yang telah di-*mounting* dilakukan proses penghalusan permukaan baja dengan mesin poles metalografi hingga grit 1200. Kemudian, spesimen baja karbon yang telah dipreparasi dibersihkan dengan *aquades* serta dipastikan langsung dilakukan pengujian korosi. Dalam pengujian korosi, larutan uji menggunakan media asam klorida (HCl) dengan konsentrasi 0,1 M. Penambahan ekstrak DBW dilakukan dengan bervariasi rentang konsentrasi hingga 9000 ppm (8.98 g/l) . Sebagai tambahan, kandungan senyawa polifenol dalam larutan ekstrak DBW menggunakan alat uji spektrofotometer UV-Vis.

Pengujian elektrokimia

Pengujian elektrokimia menggunakan metode Tafel dan EIS. Pengujian tersebut dilakukan dengan menggunakan peralatan uji potentiostat (GAMRY PCI4G750-50090), dihubungkan dengan komputer dengan *software* DC105 (Tafel) dan EIS300 (EIS) sesuai standar ASTM G-87 yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sel polarisasi dengan menggunakan 3 elektroda

Nilai potensial diukur dengan menggunakan elektroda referensi *saturated calomel electrode* (SCE) sehingga semua nilai uji potensial di dalam tulisan ini mengacu pada SCE. Kabel platina dipasang sebagai *counter electrode*, dimana elektroda kerja merupakan spesimen uji baja karbon dipasang di dalam sel gelas uji. Pengujian Tafel dilakukan dengan media larutan uji dengan volume 250 mL yang berisi variasi konsentrasi inhibitor DBW dalam larutan 0,1 M HCl. Sebelum pengujian ini, sampel direndam selama 15 menit hingga mencapai nilai potensial sirkuit terbuka yang stabil. Dalam pengujian ini, kurva tafel ditentukan dengan mempolarisasikan potensial anodik dan katodik dengan kondisi rentang ± 250 mV relatif terhadap potensial bebas korosi (E vs SCE) dan *scan rate* 1 mV/s. Pengujian impedansi (EIS) dilakukan dengan membangkitkan *peak-peak* dengan frekuensi ac rentang 1 Hz hingga 300 mHz. Analisa data-data pengujian menggunakan program Echem Analyst 6.25. Setiap pengujian dilakukan pengulangan minimal 3 kali. Semua pengujian dilakukan dalam kondisi udara terbuka dan suhu ruang. Efisiensi inhibitor (EI) sebagai ukuran penilaian efektivitas inhibitor diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$EI(\%) = ((X_o - X_i) / X_o) \times 100\%$$

Dimana X_o adalah laju korosi tanpa inhibitor, sedangkan X_i adalah laju korosi dengan inhibitor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

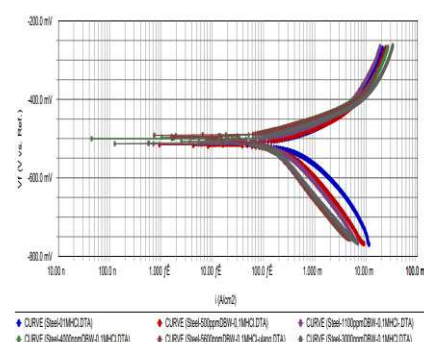
Uji kandungan senyawa polifenol

Hasil pengujian kandungan polifenol di dalam daun belimbing wuluh (DBW)

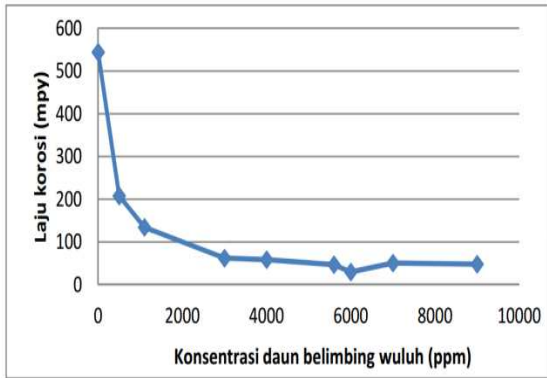
dengan metode spektrofotometri dilakukan sebesar 8,8 mg dalam setiap satu gram ekstrak DBW (0,88%). Ini mengindikasikan kadar polifenol tidak terlalu tinggi dibandingkan kadar polifenol yang telah diinvestigasi oleh Priyotomo pada ekstrak kulit buah kelengkeng berkisar 7,43% (Priyotomo, 2016). Lebih jauh lagi, kadar senyawa polifenol tanaman gambir, tanaman brotowali dan tanaman bakau dan kulit buah kelengkeng masing-masing sebesar 8,135%, 6,705%, 9,230% dan 7,43%, dimana ekstrak masing-masing bahan mempunyai potensi inhibisi terhadap proses korosi pada baja karbon dalam larutan asam klorida (Kassim, 2012 ; Priyotomo, 2016).

Kurva polarisasi Inhibitor

Gambar 2 menunjukkan kurva polarisasi baja karbon dalam media 0,1 M asam klorida dengan variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh (DBW). Data-data yang dihasilkan dari metode ekstrapolasi kurva tersebut adalah potensial korosi (E_{corr}), rapat arus korosi (I_{corr}) dan laju korosi. Rapat arus katodik dan rapat arus anodik menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak DBW, dimana perubahan nilai E_{corr} masing-masing penambahan konsentrasi ekstrak DBW dibawah 85 mV terhadap SCE. Lebih jauh lagi, perubahan nilai E_{corr} dibawah 85 mV juga terjadi di beberapa inhibitor korosi alami yang sama dengan penelitian inhibitor DBW (Manssouri, 2015; Bendaif, 2016; Manthinal, 2016; Verma, 2016; Priyotomo, 2016). Oleh karena itu, inhibitor korosi ekstrak KBK dapat dikategorikan sebagai inhibitor campuran.

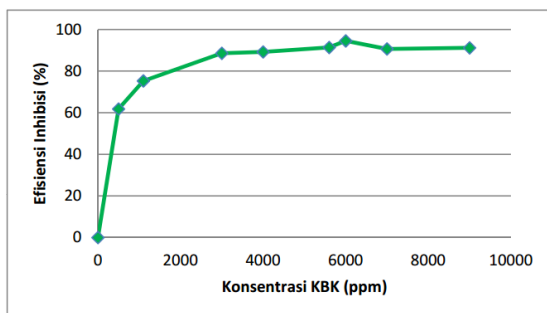


Gambar 2. Kurva polarisasi baja karbon dalam media 0,1 M HCl dengan variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh.



Gambar 3. Kurva laju korosi baja karbon sebagai fungsi dari variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh dalam larutan 0,1 M asam klorida.

Gambar 3 menunjukkan kurva laju korosi baja karbon sebagai fungsi dari variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh dalam larutan 0,1 M asam klorida. Penurunan laju korosi signifikan terlihat seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak DBW. Penurunan secara cepat untuk nilai laju korosi terjadi hingga pada konsentrasi DBW 3000 ppm kemudian menjadi landai hingga 9000 ppm. Lebih jauh lagi, laju korosi terendah terjadi pada konsentrasi DBW 6000 ppm kemudian mengalami sedikit kenaikan hingga 9000 ppm.



Gambar 4. Kurva efisiensi inhibitor korosi baja karbon sebagai fungsi dari variasi konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh dalam larutan 0,1 M asam klorida.

Gambar 4 menunjukkan kurva efisiensi inhibitor korosi baja karbon sebagai fungsi dari variasi konsentrasi ekstrak daun

belimbing wuluh dalam larutan 0,1 M asam klorida. Lebih jauh lagi, nilai keefektifan suatu inhibitor korosi dalam menghambat laju reaksi proses korosi dinilai dengan melihat prosentase efisiensi inhibisi yang terlihat pada persamaan 1.

$$EI(\%) = \frac{(Cr_o - Cr_{inh})}{Cr_o} \times 100 \quad (1)$$

Dimana Cr_o adalah laju korosi tanpa penambahan inhibitor dan Cr_{inh} adalah laju korosi dengan penambahan inhibitor. Hasil perhitungan prosentasi efisiensi inhibisi (EI) memperlihatkan nilai tertinggi EI adalah 94,5% pada konsentrasi ekstrak DBW 6000 ppm.

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh (DBW) terbukti dapat meningkatkan efisiensi inhibisi baja karbon. Peningkatan keefektifan kerja inhibisi ekstrak DBW dihubungkan dengan keberadaan lebih molekul inhibitor yang teradsorpsi di permukaan baja dengan penambahan konsentrasi tinggi, dimana dapat menyebabkan pembentukan lapisan protektif (Rao,2009). Lebih jauh lagi, peningkatan konsentrasi ekstrak DBW dapat meningkatkan nilai *surface coverage* (θ) suatu lapisan protektif adsorpsi molekul ekstrak DBW hingga 0,94 pada konsentrasi inhibitor 6000 ppm. Sebagai tambahan, nilai *surface coverage* yang tinggi disebabkan molekul inhibitor mempunyai kemampuan mengadsorpsi dan menutupi dua daerah aktif permukaan logam, dimana daerah tersebut merupakan proses anodik (pelarutan logam menjadi kation logam) dan/ atau proses katodik (evolusi hidrogen)(Cardozo da Rocha,2014).

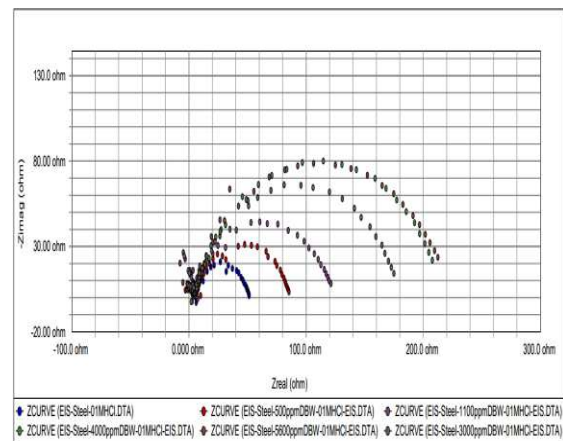
Tabel 1. Parameter korosi baja karbon dalam larutan 0,1 M asam klorida dengan penambahan konsentrasi ekstrak DBW yang diperoleh dari pengujian polarisasi

Konsentrasi Inhibitor KBK(ppm)	$E_{corr}(mV)$	$i_{corr}(A/cm^2)$	Beta(a/c)	Laju korosi (mpy)	Efisiensi Inhibisi (%)	Coverage area (θ)
0	-513.4	1.19E-03	2.44E-01	543.9	0	0
500	-515.4	4.55E-04	1.95E-01	207.8	61.79445	0.617944
1100	-513.5	1.94E-04	1.80E-01	134.5	75.27119	0.752712
3000	-513.2	1.36E-04	1.53E-01	62.3	88.54569	0.885457
4000	-500.3	1.29E-04	1.73E-01	58.83	89.18367	0.891837
5600	-491.5	1.03E-04	1.68E-01	47.08	91.344	0.91344
6000	-496	6.53E-05	1.57E-01	29.84	94.5137	0.945137
7000	-494.1	1.11E-04	1.53E-01	50.87	90.64718	0.906472
9000	-491.1	1.05E-04	1.73E-01	48.1	91.15646	0.911565

Kurva Impedansi

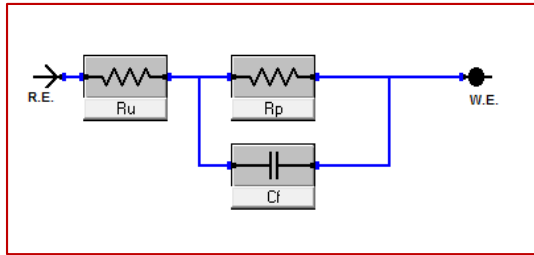
Perilaku proses elektrokimia dipermukaan material baja karbon dalam larutan HCl tanpa dan dengan ekstrak daun belimbing wuluh dapat dilakukan dengan alat *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS) pada temperatur ruang, dimana sebelum pengujian EIS dilakukan perendaman spesimen uji selama 15 menit. Perendaman spesimen uji tersebut dilakukan bertujuan untuk membiarkan proses adsorpsi molekul inhibitor berkerja di permukaan baja karbon.

Pada Gambar 5 memperlihatkan kurva *nyquist* pada baja karbon yang dihasilkan tanpa dan dengan variasi konsentrasi penambahan ekstrak DBW. Hasil pengujian EIS yang berisi kurva *capacitive loop* disimulasikan dengan sistem rangkaian setara listrik terlihat pada Gambar 6 yang merupakan sirkuit sederhana tipe *randles*. Keberadaan rangkaian permodelan tersebut bertujuan untuk menverifikasi atau mengesampingkan model mekanistik dan menghitung nilai numerik yang berhubungan dengan sifat kimia dan atau fisik sistem elektrokimia (Manssouri,2009).



Gambar 5. Kurva Nyquist tanpa dan dengan penambahan konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh dalam larutan 0,1 M asam klorida.

Lebih jauh lagi, model sirkuit yang terlihat pada Gambar 6 digunakan untuk menganalisa data-data impedansi yang terlihat pada Tabel 2 . Hasil model tersebut terdiri dari tahanan larutan (R_u), tahanan transfer muatan pada reaksi korosi antarmuka (R_p) dan kapasitansi lapisan ganda (C_f).



Gambar 6. Rangkaian setara listrik digunakan untuk permodelan antarmuka baja karbon dalam larutan 0,1 M asam klorida tanpa dan dengan penambahan konsentrasi ekstrak DBW.

Tahanan transfer muatan meningkat secara signifikan dan nilai frekuensi dari komponen imajinari impedansi (f_{max}) menurun dengan keberadaan inhibitor. Efek tersebut menurunkan nilai kapasitansi, dimana dapat disebabkan oleh penurunan pada konstanta dielektrikal lokal dan/atau oleh peningkatan pada ketebalan lapisan ganda elektrik. Hasil ini menunjukkan kehadiran inhibitor ini memodifikasi struktur lapisan ganda, dimana molekul inhibitor bertindak oleh adsorpsi pada antarmuka logam/larutan. Lebih jauh lagi, pada Gambar 5, adanya deviasi dari bentuk lingkaran sempurna menunjukkan peningkatan dispersi frekuensi impedansi antarmuka disebabkan adsorpsi inhibitor pada permukaan benda uji (Osman,1997), dimana kehadiran kurva semi lingkaran tunggal mengindikasikan keberadaan proses transfer muatan tunggal selama kelarutan baja karbon, dimana proses kelarutannya dihambat dengan kehadiran molekul inhibitor.

Tabel 2. Data-data hasil *electrochemical impedance spectroscopy*(EIS)

Konsentrasi inhibitor KBK(ppm)	Tahanan larutan/Ru(ohm)	Tahanan interface layer/Rp(ohm)	Cf(Farad)
0	4.424	42.77	5.65E-05
500	4.318	69.21	4.84E-05
1100	3.774	97.64	4.29E-05
3000	3.449	139.6	3.68E-05
4000	3.999	167.9	4.02E-05
5600	3.003	166	3.04E-05
6000	4.138	175.5	4.13E-05
7000	3.217	153.5	4.02E-05
9000	9.968	163.3	3.92E-05

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa

kedua nilai Rp meningkat dan nilai Cf menurun dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor, dimana mengindikasikan bahwa penurunan area permukaan aktif disebabkan oleh mekanisme adsorpsi inhibitor pada permukaan baja karbon (Cardozo da Rocha,2014). Oleh karena itu, penulis berhipotesis bahwa penurunan area permukaan aktif mengindikasikan dua daerah antara lain daerah anodik dan katodik, dimana inhibitor ini mempunyai kemampuan menghambat di dua daerah tersebut yang terlihat pada Gambar 2. Di sisi lain, penurunan di kedua permukaan aktif tersebut di baja karbon dapat menurunkan nilai laju korosi.

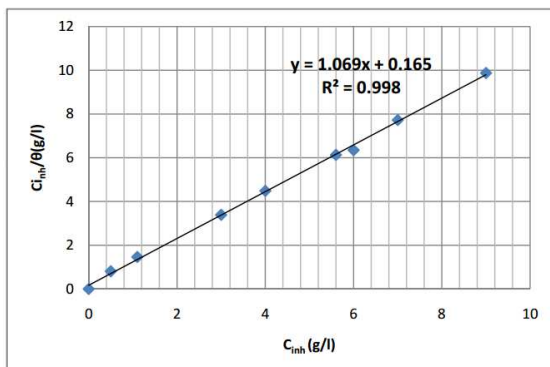
Disisi lain, di media larutan asam klorida, senyawa organik mengikuti kaidah Langmuir adsorption isotherm dengan persamaan :

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \quad (2)$$

Dimana, C_{inh} adalah konsentrasi inhibitor, K_{ads} merupakan konstanta kesetimbangan dari proses adsorpsi dan desorpsi, dan θ adalah *surface coverage*.

Pada Gambar 7 menunjukkan kurva *langmuir adsorption isotherm* inhibitor daun belimbing wuluh di permukaan baja karbon dalam larutan asam klorida, dimana adanya hubungan linear antara C_{inh}/θ and C_{inh} dengan metode regresi linear. Melalui metode regresi linear, nilai R^2 mendekati nilai 1 dan nilai kemiringan (slope) juga hampir sama dengan 1, dimana mengindikasikan permukaan baja mengikuti kaidah *Langmuir adsorption isotherm*. Lebih jauh lagi, dalam riset ini, nilai K_{ads} inhibitor ekstrak daun belimbing wuluh berkisar 6,06 lebih kecil dibandingkan nilai K_{ads} ekstrak kulit buah kelengkeng (KBK) (Priyotomo, 2016). Disisi lain, berdasarkan hasil uji bahwa penambahan ekstrak KBK hanya sebesar 500 ppm dapat meningkatkan efektifitas inhibitor hingga 93% (Priyotomo, 2016), dimana peningkatan efektivitas

inhibitor hingga 94% harus ditambahkan ekstrak DBW sebesar 6000 ppm. Ini berarti afinitas adsorpsi molekul ekstrak DBW lebih kecil dibandingkan ekstrak KBK terhadap permukaan baja karbon di larutan asam klorida. Oleh karena itu, nilai K_{ads} yang tinggi mengindikasikan lebih efisien proses adsorpsi dan lebih baik nilai efisiensi inhibisi (M.Yadav,2014).



Gambar 7. Kurva persamaan langmuir adsorption isotherm ekstrak daun belimbing wuluh di permukaan baja dalam larutan 0,1 M asam klorida di temperatur ruang.

SIMPULAN DAN SARAN

Keberadaan ekstrak daun belimbing wuluh (DBW) dapat menghambat terjadinya korosi pada baja karbon di dalam larutan asam klorida, dimana peningkatan konsentrasi ekstrak DBW menurunkan nilai laju korosi dan menaikkan nilai efisiensi inhibisi.

Nilai efisiensi inhibisi tertinggi sebesar 94,5%, dimana nilai tahanan transfer muatan baja karbon sebesar 175,5 ohm terjadi pada konsentrasi DBW sebesar 6000 ppm. Ekstrak DBW bertindak sebagai inhibitor campuran yang mereduksi laju reaksi anodik dan katodik. Peningkatan konsentrasi ekstrak DBW meningkatkan tahanan transfer muatan dan menurunkan nilai kapasitansi lapisan ganda. Mekanisme inhibisi ekstrak DBW di permukaan baja karbon merupakan proses adsorpsi molekul inhibitor sesuai dengan kaidah *Langmuir adsorption isotherm*.

Kegiatan riset ini merupakan awalan untuk mengeksplorasi potensi ekstrak DBW untuk menurunkan potensi degradasi logam akibat proses salami korosi. Sehingga parameter-parameter yang mempengaruhi aktivitas korosi antara lain temperature, nilai pH, kecepatan alir dan lain-lain bisa selanjutnya diinvestigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bendaif, H, Melhaoui, A, M. El Azzouzi, M, B. Legssyer, T. Hamat, A. Elyoussfi, A. Aouniti, Y. El Ouadi, M. Aziz, 2016, Eco-Friendly *Panacratium Foetidum* Pom Extracts as Corrosion inhibitors for Mild Steel in 1M HCl Media, *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (4) , 1276-1287
- Cardozo da Rocha,J,Antônio da Cunha Ponciano Gomes,J,D'Elia.E 2014. Aqueous Extracts of Mango and Orange Peel as Green Inhibitors for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solution, *Materials Research.*17(6): 1581-1587.
- Kassim, M.J, Wei,T.K. 2012. Plants Polyphenols: An Alternative Source for Green Corrosion Inhibitor, *The Proceedings of 2nd Annual International Conference Syiah Kuala University.*
- Leelavathi, S, Rajalakshmi,R. 2013. *Dodonaea viscosa* (L.) Leaves extract as acid Corrosion inhibitor for mild Steel – A Green approach. *J. Mater. Environ. Sci.* 4(5): 625-638.
- Lestari,E.E, Kurniawaty,E. 2016. Uji Efektivitas Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) sebagai Pengobatan Diabetes Melitus. *Majority*, 5(4):32-38
- M.Yadav, S. Kumar, I.Bahadur, D. Ramjugernath, 2014, Electrochemical and Quantum Chemical Studies on Synthesized Phenylazopyrimidone Dyes as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in a 15% HCl Solution, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 9: 3928 – 3950.
- Manssouri, M, El Ouadi, Y, M. Znini, J. Costa, A. , J-M. Desjobert, L. Majidi, 2015, Adsorption proprieties and inhibition of mild steel corrosion in HCl solution by the essential oil from fruit of Moroccan *Ammodaucus leucotrichus*,*Mater. Environ. Sci.* 6 (3), 631-646

- Mathinal,R. Rajalakshmi,R, 2016, Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acid Medium using Canna Indica as green Corrosion Inhibitor, *Rasayan J.chem*, 9(1),56-66
- Osman MM, Omar AM, Al-Sabagh AM.1997. Corrosion inhibition of benzyl triethanol ammonium chloride and its ethoxylate on steel in sulphuric acid solution. *Mater Chem Phys* 50(3):271–274
- Priyotomo, G.2016. *Studi Awal Potensi Limbah Organik Kulit Buah Kelengkeng Sebagai Inhibitor Korosi Alami pada Baja karbon di Media Larutan Asam Klorida*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Metalurgi dan Material IX (SENAMM IX) 2016, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 11 Oktober 2016
- Rao,V.S, Singhal,L.K. 2009. Corrosion Behavior and Passive Film Chemistry of 216 L Stainless Steel in Sulphuric Acid, *J. Mater. Sci.*, 44(9): 2327–2333.
- Vasanth,K.L.2003. Vapor Phase Corrosion Inhibitors, *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*, Vol 13A, ASM Handbook, ASM International : 871–877.
- Pandian, B, Sethuraman,R.M.G. 2009. Solanum Tuberosum as an Inhibitor of Mild Steel Corrosion in Acid Media, *Iran. J. Chem. Chem. Eng*,28(1): 77-84
- Roberge,P.R. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*, The MacGraw-Hill
- Schweitzer, P.A. 2009. *Fundamentals of Corrosion: Mechanisms, Causes, and Preventative Methods*, CRC Press : 309-327
- Schweitzer, P.A. 2009. *Fundamentals of Corrosion: Mechanisms, Causes, and Preventative Methods*, CRC Press : 309-327
- Thomas, ANS. 2007. *Tanaman obat tradisional 2*. Yogyakarta, Kanisius
- Shivakumar,S.S, Mohana,K.N.2012, Centella asiatica extracts as green corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M sulphuric acid medium, *Adv. Appl. Sci. Res.*, 3(5): 3097-3106
- Kassim,M.J, Wei,T.K. 2012. *Plants Polyphenols: An Alternative Source for Green Corrosion Inhibitor*, The Proceedings of 2nd Annual International Conference Syiah Kuala University.
- Verma, D,K, Khan,K. 2016, Electrochemical Study of Corrosion Inhibition of Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution by the Extract of Cuscuta Reflexa, *Chemistry and Materials Research*, 8(4), 1-7