

Analisis Efektivitas *Pinus Merkusii* Sebagai Inhibitor Korosi Biodegradable Dalam Aplikasi Boiler Header Tubes

**Agus Solehudin^{a*)}, Yusep Sukrawan^{a)} Aditia Rachman^{a)}, Enda Permana^{a)},
Haipan Salam^{a)}**

^{a)}Departemen Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154

^{*)}Korespondensi : asolehudin@upi.edu

Abstrak

Boiler merupakan salah satu unit penting dalam dunia industri, termasuk di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Kinerja, efisiensi dan umur pakai boiler perlu diperhatikan untuk menghindari potensi kerusakan sehingga dapat meminimalisir potensi kecelakaan kerja. Kerusakan pada boiler umumnya terjadi pada pipa seperti pipa water wall, superheater dan header. Salah satu penyebab kerusakan boiler adalah korosi yang disebabkan oleh oksigen dan karbon dioksida dalam uap yang terkondensasi serta ion-ion korosif yang terkandung dalam air umpan yang masuk melalui pipa-pipa tersebut. Jenis korosi yang menyerang pipa-pipa boiler diantaranya korosi seragam, korosi sumuran dan korosi erosi. Pengendalian korosi tersebut dilakukan dengan penggunaan inhibitor korosi. Saat ini telah dikembangkan jenis inhibitor korosi dari senyawa organik berbahan alam yang mudah diperoleh, ramah lingkungan dan bersifat biodegradable. Dalam penelitian ini, digunakan ekstrak getah Pinus merkusii sebagai inhibitor korosi organik yang mengandung senyawa α -pinena. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas ekstrak getah Pinus merkusii dalam menghambat laju korosi material pipa air boiler. Penelitian eksperimen ini meliputi proses ekstraksi getah Pinus merkusii, pengujian komposisi kimia spesimen pipa air boiler, dan pengujian laju korosi spesimen pipa air boiler dengan metode uji kehilangan berat pada tiga variasi lingkungan korosif (HCl , H_2CO_3 dan $NaCl$) dengan variasi konsentrasi inhibitor sebesar 250 ppm dan 500 ppm, dalam waktu pengujian selama 7 hari. Berdasarkan hasil pengujian, spesimen material pipa air boiler teridentifikasi sebagai baja paduan standar ASTM A213/A grade T91, dan ekstrak getah Pinus merkusii terbukti efektif mampu menghambat laju korosi spesimen pada ketiga lingkungan korosif berbeda dengan nilai efisiensi inhibisi rata-rata mencapai 60%.

Kata kunci: Boiler, pipa air, standar ASTM A213, inhibitor korosi, Pinus merkusii.

PENDAHULUAN

*Boiler merupakan salah satu unit pendukung yang penting dalam sektor industri. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) termasuk salah satu industri pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas dari uap (*steam*) boiler untuk memutar sudu turbin sehingga dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik melalui generator. Berdasarkan data *hazard identification* di PT. Indonesia Power UPJP Bali Sub Unit PLTU Barru (2014), terdapat 51 risiko bahaya pada kegiatan operasi dan 39 risiko bahaya pada kegiatan pemeliharaan boiler yang diantaranya risiko tersandung, terpeleset, terjepit, tertimpa objek, panas, sling terputus,*

jatuh dari ketinggian, terkena bahan kimia dan gangguan pendengaran (Kimia, K3 dan Lingkungan PLTU Barru, 2014).

Kinerja, efisiensi dan umur layanan *boiler* merupakan hasil langsung dari pemilihan dan pengendalian air umpan (*feed water*) yang digunakan dalam *boiler*. Dalam penggunaannya, umur pakai *boiler* sangat dipengaruhi oleh laju korosi yang terjadi. Lingkungan yang korosif akan memperpendek umur pakai dari *boiler*. Umur pakai *boiler* dapat dipertahankan dengan melakukan pengendalian terhadap korosi yang diakibatkan lingkungannya tersebut. Di sisi lain, sangat penting mengetahui umur pakai *boiler* sehingga akan meminimalisir potensi kecelakaan kerja (Naibaho, 1980).

Boiler menggunakan media kerja air, air yang dipasok ke *boiler* ini mengandung O₂ terlarut, CO₂, dan ion-ion korosif lainnya sehingga dapat menyebabkan adanya reaksi dengan logam yang jika tidak diperhatikan akan sangat mudah menyebabkan korosi pada bagian-bagian *boiler*, khususnya yang langsung berhubungan dengan air seperti pipa-pipa air (*header boiler*). Air murni yang hanya tersusun oleh molekul H₂O pun menjadi salah satu pemicu air memiliki sifat yang korosif, sedangkan oksigen menjadi salah satu gas yang mudah larut dalam air dan dapat menyebabkan terjadinya korosi pada *boiler* (Djokosetyardjo, 1990).

Korosi merupakan suatu proses alam yang tidak bisa dicegah tetapi dapat dikendalikan. Jenis korosi yang menyerang pipa-pipa air *boiler* diantaranya korosi seragam, korosi sumuran dan korosi erosi. Salah satu cara pengendalian terhadap korosi tersebut dapat dilakukan dengan penggunaan inhibitor korosi. Pada umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus atom yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, dan senyawa-senyawa amina.

Perkembangannya ilmu pengetahuan dan teknologi telah banyak menciptakan inhibitor korosi berbahan kimia, tetapi justru dapat mencemari lingkungan. Hal ini diperparah dengan tidak bijaknya pemakaian bahan kimia sehingga pencemaran lingkungan semakin tidak terkendali. Penanganan dari masalah tersebut diperlukan adanya pembaharuan dalam penggunaan inhibitor korosi yang lebih ramah lingkungan. Salah satu caranya adalah dengan mengurangi penggunaan inhibitor korosi berbahan kimia yang berbahaya dan menggantinya dengan inhibitor korosi berbahan alam yang ramah lingkungan dan bersifat *biodegradable*.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu dilakukan pencarian inhibitor organik berbahan alam yang mudah didapatkan. Penelitian yang dilakukan oleh Gogot Haryono, Bambang Sugiarto, Hanima Farid, dan Yudi Tanoto (2010), mengemukakan bahwa terdapat bahan alam yang terbukti mampu menghambat laju korosi pada baja yaitu ekstrak daun kopi, daun gambir, daun tembakau, dan getah pinus. Hal ini disebabkan karena ekstrak bahan alam tersebut memiliki kandungan nitrogen (N) dalam senyawa kimianya. Kesimpulan dalam penelitian tersebut diperoleh ekstrak yang memiliki daya hambat korosi paling efektif yaitu ekstrak getah pinus (*Pinus merkusii*) dengan nilai efisiensi inhibisi sebesar 87,22%.

Penelitian terkait lainnya yang dilakukan oleh Rekfa Wika Amini, Masruri, dan Mohamad Farid Rahman (2014), mengemukakan bahwa telah diperoleh senyawa kimia dari minyak terpentin *pinus merkusii* sebanyak 13 komponen. Komponen utama dari minyak terpentin adalah α -*Pinena* sebanyak 57-86%. Senyawa α -*pinena* inilah yang menurut penelitian oleh Gogot Haryono dan kawan-kawan (2010), mengandung gugus atom nitrogen (N) yang akan menyumbangkan pasangan elektron bebasnya untuk didonorkan pada logam besi (Fe) sehingga membentuk senyawa kompleks. Senyawa kompleks ini bersifat stabil, tidak mudah teroksidasi, dan akan menyelubungi permukaan logam dengan membentuk suatu lapisan/*film* sehingga korosi dapat dihambat.

Tahun 2016, Muhamad Iqbal Nugraha dalam penelitian (Tugas Akhir) eksperimennya yang berjudul “Studi *Aloe Vera* sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan untuk Aplikasi pada *Boiler*” menyimpulkan bahwa ekstrak lidah buaya dapat digunakan sebagai inhibitor

untuk mengurangi laju korosi dalam lingkungan *boiler*, dimana laju korosi dapat diturunkan hingga 2-17%. Berdasarkan data tersebut, penulis melihat bahwa pada penggunaan ekstrak *Aloe vera* sebagai inhibitor korosi pada *boiler* ini dapat disimpulkan belum efektif karena nilai efisiensi inhibisinya tergolong rendah. Di sisi lain *boiler* merupakan salah satu unit pendukung yang sangat penting dalam sektor industri, sehingga diperlukan penanganan terbaik ketika terjadi suatu permasalahan seperti korosi.

Berdasarkan data terakhir di atas, ada gagasan untuk dilakukannya penelitian baru terkait penggunaan ekstrak getah *Pinus merkusii* sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan untuk diaplikasikan pada *boiler*. Jenis *boiler* yang diteliti adalah *boiler* pipa air atau *Water Tube Boiler* pada bagian pipa-pipa air (*header*). Material pipa air *boiler* yang diteliti merupakan baja paduan (*alloy steel*) yang belum diketahui spesifikasinya.

KAJIAN LITERATUR

1. Boiler

Djokosetyardjo (1990) mengemukakan bahwa “fungsi utama dari *boiler* pada umumnya untuk mengubah air menjadi uap (*steam*), dimana uap ini diperoleh dengan memberikan sejumlah kalor terhadap air yang merupakan bahan bakarnya.”

2. Korosi

Korosi adalah proses kerusakan material logam karena pengaruh lingkungannya yang dapat mengurangi daya guna material tersebut. Lingkungan yang dapat menimbulkan terjadinya korosi memiliki ruang lingkup yang sangat luas, misalnya lingkungan laut, lingkungan bawah tanah, lingkungan suhu tinggi, lingkungan mekanik dan lain sebagainya (Nurlaini, 1980).

3. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi adalah suatu zat yang dapat menghambat serangan korosi dari lingkungan terhadap material logam di sekitarnya. Fungsi inhibitor dapat mereduksi laju korosi dengan cara peningkatan atau penurunan reaksi pada anodik dan katodik, penurunan laju difusi untuk reaktan pada permukaan logam dan penurunan resistensi elektrik pada permukaan logam (Widharto, 2004).

METODE PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen adalah metode penelitian kuantitatif yang dilakukan di laboratorium dengan adanya perlakuan (*treatment*) yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan (Sugiyono, 2011: 109).

2. Desain Penelitian

Penelitian ini meliputi 3 jenis pekerjaan utama yaitu proses ekstraksi getah *Pinus merkusii* yang terdiri dari proses maserasi, proses filtrasi dan proses evaporasi. Kedua, pengujian komposisi kimia material pipa *boiler*, dimana material pipa *boiler* yang digunakan merupakan potongan pipa baja paduan untuk *boiler* yang belum diketahui spesifikasinya. Ketiga, pengujian laju korosi material pipa *boiler* dengan metode *weight loss test* (uji kehilangan berat) pada tiga jenis lingkungan korosif (larutan uji) yaitu HCl 1 M, H₂CO₃ buatan, dan NaCl 0,5 M, dalam dua waktu pengujian (7 hari dan 14 hari), dengan variasi konsentrasi ekstrak getah *Pinus merkusii* (0 ppm, 250 ppm, 500 ppm), yang dilakukan pada suhu kamar (25 °C).

a. Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia material pipa *boiler* ini dilakukan melalui pengujian *Optical Emission Spectrometer* (OES) untuk mengetahui komposisi jenis dan presentase unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. Berdasarkan data hasil uji komposisi kimianya, kemudian dilakukan perbandingan kesesuaian jenis dan presentase unsur-unsur yang terkandung dalam sampel uji dengan standar spesifikasi yang sudah ada seperti dimuat dalam *Handbook of Comparative World Steel Standard 3rd Edition* (ASTM DS67B, 2004). Hasil perbandingan tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan standar spesifikasi mana yang paling sesuai sehingga dapat ditarik kesimpulan terkait spesifikasi material pipa *boiler* yang digunakan dalam penelitian ini.

b. Uji Kehilangan Berat

Uji kehilangan berat (*weight loss test*) merupakan salah satu metode pengujian laju korosi untuk mengetahui selisih berat spesimen uji sebelum (berat awal) dan sesudah pengujian (berat akhir). Standar pengujian korosi yang digunakan yaitu ASTM G 31-72 (*Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*).

3. Teknik Analisis Data

a. Analisis Laju Korosi

Berdasarkan metode uji kehilangan berat, perhitungan nilai laju korosi spesimen uji dapat dilakukan menggunakan persamaan (1).

$$CR = \frac{534 W}{D A T} \quad (1)$$

Dimana CR = laju korosi (mpy), W = kehilangan massa (gram), D = massa jenis (g/cm^3), A = luas daerah (inci^2), dan T = waktu pengujian (jam).

b. Analisis Efektivitas Inhibitor Korosi

Berdasarkan hasil perhitungan laju korosi, dapat diketahui nilai efisiensi inhibisi dari ekstrak getah *Pinus merkusii* dengan membandingkan antara nilai laju korosi spesimen uji yang menggunakan inhibitor korosi dengan nilai laju korosi spesimen uji yang tidak menggunakan inhibitor korosi. Nilai efisiensi inhibisi (EI) suatu inhibitor korosi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

$$EI (\%) = \frac{(CR \text{ non inh} - CR \text{ inh})}{CR \text{ non inhibitor}} \times 100\% \quad (2)$$

Setelah diperoleh nilai efisiensi inhibisi, dapat dilakukan penggolongan nilai efisiensi inhibisi seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penggolongan Nilai Efisiensi Inhibisi

Golongan	Nilai Efisiensi Inhibisi
Sangat Baik	> 71%
Baik	41 – 70 %
Cukup	16 – 40 %
Rendah	1 - 15 %

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Uji Komposisi Kimia

Berdasarkan hasil pengujian OES, diperoleh data presentase komposisi unsur material yang jika dibandingkan dengan standar spesifikasi yang ada menurut *Handbook of Comparative World Steel Standard 3rd Edition* (ASTM DS67B, 2004; John E. Bringas, Editor) pada *Chapter 5 (Steel Tubes and Pipes)* dalam *Sub-chapter 5.8 (Alloy Steel Tubes and Pipes for Pressure Purposes at High Temperatures)* di *Section 5.8.8A (Chemical Composition of 9Cr-1Mo Alloy Steel Tubes and Pipes for Pressure Purpose at High Temperatures)*, sampel uji yang digunakan termasuk ke dalam standar spesifikasi ASTM A213/A grade T91 atau EN 10216-2:2002 tipe X10CrMoVNb9-1. Hasil perbandingannya seperti diperlihatkan pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Perbandingan Komposisi Kimia Sampel Uji OES

No.	Unsur	Presentase Unsur (%) dalam Material/Baja Paduan		
		Sampel Uji OES	ASTM A213/A - T91	X10CrMoVNb9-1
1	C	0,088	0,08 - 0,12	0,08 - 0,12
2	Si	0,28	0,20 - 0,50	0,20 - 0,50
3	S	0,00	0,01	0,01
4	P	0,014	0,02	0,02
5	Mn	0,439	0,30 - 0,60	0,30 - 0,60
6	Ni	0,09	0,4	0,4
7	Cr	8,63	8,00 - 9,50	8,00 - 9,50
8	Mo	0,991	0,85 - 1,05	0,85 - 1,05
9	V	0,203	0,18 - 0,25	0,18 - 0,25
10	Cu	0,036	0,000	0,3
11	W	0,000	0,000	0,000
12	Ti	0,001	0,000	0,000
13	Sn	0,005	0,000	0,000
14	Al	0,00	0,04	0,04
15	Nb	0,00	0,00	0,06 - 0,10
16	Cb	0,00	0,06 - 0,10	0,00
17	Fe	89,25	87,30 - 89,75	87,00 - 89,45

b. Hasil Uji Kehilangan Berat

Hasil pengujian laju korosi spesimen uji dengan metode *weight loss test* memunculkan data seperti yang disajikan pada Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Data Hasil Kehilangan Berat Spesimen Uji

Kode Spesimen	Konsentrasi Inhibitor (ppm)	Dimensi (mm)			Berat (gr)	
		<i>p</i>	<i>l</i>	<i>t</i>	<i>w_o</i>	<i>w_a</i>
1 – 7a	0	19,80	12,90	3,00	5,5803	5,4294
1 – 7b	250	19,90	12,90	3,00	5,5152	5,4424
1 – 7c	500	19,90	12,80	3,00	5,6092	5,5461
1 – 14a	0	20,00	12,75	3,00	5,6760	5,5095
1 – 14b	250	19,80	12,85	3,00	5,5660	5,4221
1 – 14c	500	19,60	12,90	3,00	5,4693	5,3665
2 – 7a	0	20,00	12,85	2,95	5,5352	5,5312
2 – 7b	250	19,90	12,85	2,95	5,4426	5,4402
2 – 7c	500	19,90	12,50	3,00	5,3317	5,3305
3 – 7a	0	19,80	12,90	3,00	5,4087	5,3877
3 – 7b	250	19,90	12,90	3,00	5,4424	5,4243
3 – 7c	500	19,90	12,80	3,00	5,5461	5,5376

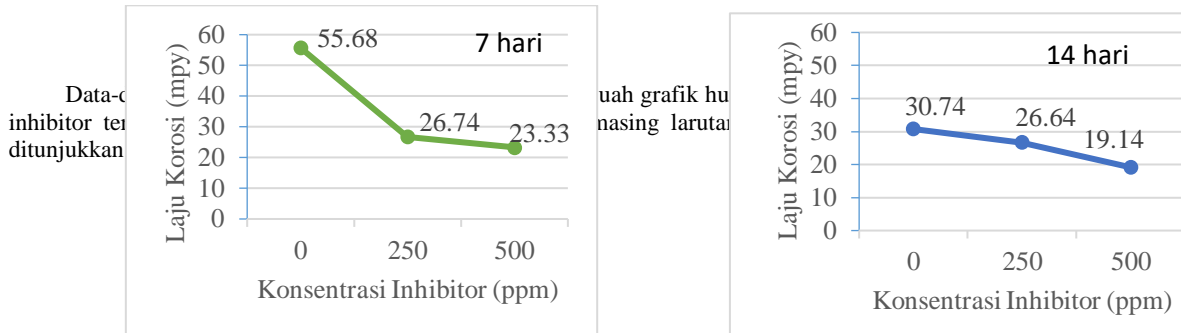
Ket. kode spesimen (*t – nx*): *t*(larutan uji ke-*t*); *n*(waktu pengujian); *x*(*a*, konsentrasi inhibitor 0 ppm), (*b*, konsentrasi inhibitor 250 ppm), (*c*, konsentrasi inhibitor 500 ppm)

c. Analisis Laju Korosi

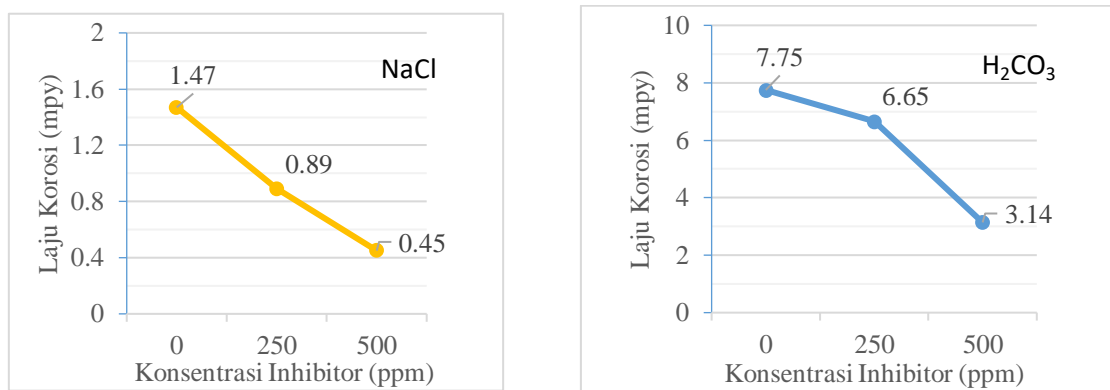
Berdasarkan data pada Tabel 3, dapat diperoleh nilai kehilangan berat spesimen (*W*), nilai luas permukaan spesimen (*A*), nilai waktu pengujian (*T*), dan nilai massa jenis spesimen (*D*), sehingga dapat dihitung nilai laju korosi (*CR*) untuk setiap spesimen uji yang kemudian data hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Nilai Laju Korosi Spesimen Uji

Kode spesimen	K	W	A	T	D	CR
1 – 7a	534	150,9	1,0952	168	7,86	55,68
1 – 7b	534	72,8	1,1008	168	7,86	26,74
1 – 7c	534	63,1	1,0937	168	7,86	23,33
1 – 14a	534	166,5	1,0951	336	7,86	30,74
1 – 14b	534	143,9	1,0924	336	7,86	26,64
1 – 14c	534	102,8	1,0861	336	7,86	19,14
2 – 7a	534	4	1,0971	168	7,86	1,47
2 – 7b	534	2,4	1,0922	168	7,86	0,89
2 – 7c	534	1,2	1,0724	168	7,86	0,45
3 – 7a	534	21	1,0959	168	7,86	7,75
3 – 7b	534	18,1	1,1008	168	7,86	6,65
3 – 7c	534	8,5	1,0937	168	7,86	3,14



Gambar 1. Laju korosi terhadap konsnetrasi inhibitor dalam larutan HCl

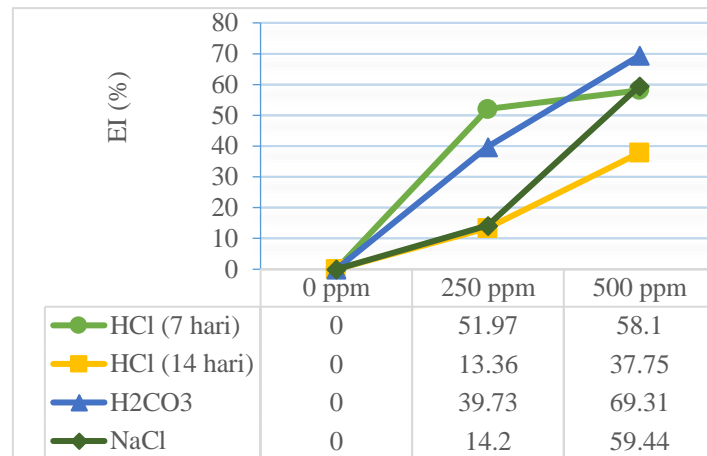


Gambar 2. Laju korosi terhadap konsnetrasi inhibitor selama 7 hari dalam larutan uji

Berdasarkan gambar 1 dan 2, secara keseluruhan grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan ekstrak getah *Pinus merkusii* pada setiap larutan uji mampu menurunkan laju korosi spesimen uji. Konsentrasi inhibitor korosi sangat berpengaruh, dimana semakin besar konsentrasi inhibitor menyebabkan nilai laju korosi menjadi semakin rendah.

d. Analisis Efektivitas Inhibitor Korosi

Penurunan laju korosi spesimen uji akibat penambahan inhibitor korosi menunjukkan bahwa ekstrak getah *Pinus merkusii* terbukti efektif mampu menghambat laju korosi material pipa air boiler standar ASTM A213/A grade T91 pada lingkungan korosif. Tingkat efektivitas suatu inhibitor korosi dapat diketahui dengan menghitung nilai efisiensi inhibisinya. Berdasarkan data nilai laju korosi spesimen uji pada Tabel 4, setelah dilakukan perhitungan nilai efisiensi inhibisi dari ekstrak getah *Pinus merkusii* pada beberapa lingkungan korosif dengan variasi konsentrasi inhibitor yang ditambahkan, data nilai efisiensi inhibisinya disajikan ke dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi Inhibitor terhadap Efisiensi Inhibisi Ekstrak Getah *Pinus merkusii* pada Beberapa Lingkungan Korosif

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai efisiensi inhibisi tertinggi mencapai 69,31% (kategori baik) yang diperoleh ketika penambahan 500 ppm ekstrak getah pinus dalam lingkungan H₂CO₃ (larutan uji 3), sedangkan nilai terendah diperoleh ketika penambahan 250 ppm inhibitor pada lingkungan HCl (larutan uji 1 dalam 14 hari) yang mencapai 13,36% (kategori rendah). Hasil secara keseluruhan pada grafik menggambarkan bahwa penambahan konsentrasi inhibitor pada ketiga lingkungan korosif (larutan uji) tersebut dapat meningkatkan nilai efisiensi inhibisi dari ekstrak getah pinus, dimana semakin besar konsentrasi inhibitor menyebabkan laju korosi spesimen uji menjadi semakin rendah dikarenakan kemampuan inhibitor korosi untuk menginhibisi semakin cepat, sehingga nilai efisiensi inhibisinya semakin tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Hasil pengujian OES menunjukkan bahwa material pipa *boiler* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis baja paduan 9Cr-1Mo Alloy Steel Tubes and Pipes for Pressure Purpose at High Temperatures standar spesifikasi ASTM A213/A grade T91.
- 2) Hasil uji kehilangan berat menunjukkan bahwa laju korosi material pipa *boiler* standar ASTM A213/A grade T91 tergolong relatif tinggi pada lingkungan HCl yang nilai rata-ratanya sebesar 30,38 mpy, pada lingkungan H₂CO₃ tergolong relatif rendah yaitu sebesar 0,94 mpy, dan tergolong relatif sedang pada lingkungan NaCl yaitu sebesar 5,85 mpy.
- 3) Ekstrak getah *Pinus merkusii* teruji efektif dalam menghambat laju korosi material pipa *boiler* standar ASTM A213/A grade T91, dimana nilai laju korosi mengalami penurunan setelah 250 ppm dan 500 ppm inhibitor ditambahkan ke dalam setiap lingkungan korosif.
- 4) Nilai efisiensi inhibisi rata-rata dari ekstrak getah *Pinus merkusii* dalam penggunaan 500 ppm pada setiap lingkungan korosif yaitu sebesar 62,28% (baik), sedangkan dalam penggunaan 250 ppm yaitu sebesar 35,3% (cukup).

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Makalah hasil penelitian ini didanai oleh Riset Hibah Dikti Tahun 2019.

REFERENSI

1. Bringas, J. E. (2004). *Handbook of Comparative World Steel Standards 3rd Edition*. ASTM International.
2. Djokosetyardjo, M. J. (1990). *Penjelasan Lebih Lanjut tentang Ketel Uap*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
3. Haryono, G., dkk. (2010). "Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi". *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia* (hlm. 1-6). Yogyakarta: FTI UPN "Veteran".
4. Hasnah, Nur., dkk. (2018). *Studi Penilaian Risiko Keselamatan Kerja di Bagian Boiler PT Indonesia Power UPJP Bali Sub Unit PLTU Barru*. *Higiene*, 4, (ISSN: 2541-5301), 82-92.
5. Naibaho, P. M. (1980). *Teknologi Boiler*. Pusat Penelitian Teknologi Medan.
6. Nurlaini. (1980). *Korosi dan Penanggulangannya*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
7. Nurmiati. (2016). *Efektivitas Ekstrak Getah Pinus (Pinus Merkusii) dalam Menghambat Laju Korosi Kawat Ortodonsi Berbahan Stainless Steel*. (Skripsi). FKG Universitas Hasanuddin, Makassar.
8. Widharto, S. (2004). *Karat dan Pencegahannya*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.