

Pengaruh Suhu pada Inhibitor Daun Pandan Terhadap Laju Korosi pada Baja SS-304 dalam Larutan Asam HCL 0,1M

Laras Andria Wardani¹, Hernowo Widodo², Lisa Adhani³, Everlita Sabrina⁴, dan Amaliah Annisa⁵

^{1,2,3,4,5}Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya

laras.andria.wardani@dsn.ubharajaya.ac.id, hernowo.widodo@dsn.ubharajaya.ac.id,

lisa.adhani@dsn.ubharajaya.ac.id, everlitasabrina17@gmail.com, amaliah.annisa@ubharajaya.ac.id

Abstrak

Fenomena korosi tidak bisa dihindari dalam penggunaan industri logam, oleh karena itu dibutuhkan inhibitor korosi untuk menghambat laju korosi pada baja. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan inhibitor alami yang efektif menghambat laju korosi. Pada penelitian ini sampel yang dipakai adalah baja tahan karat yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari yaitu SS (*Stainless Steel*)-304. Beberapa inhibitor organik atau alami yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun pandan. Variabel yang digunakan adalah waktu perendaman dan temperatur. Selanjutnya, parameter yang diteliti adalah laju korosi baja dan morfologi pada baja SS-304 dengan menggunakan uji SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi dan morfologi paling baik menggunakan daun pandan dengan suhu 60°C yang di rendam dengan larutan HCL 0,1 N selama 5 minggu.

Kata kunci: baja SS-304, laju korosi, inhibitor alami, daun pandan

Abstract

The phenomenon of corrosion cannot be avoided in the use of the metal industry, therefore a corrosion inhibitor is needed to inhibit the corrosion rate of steel. The aim of this research is to obtain natural inhibitors that are effective in inhibiting the corrosion rate. In this study, the sample used is stainless steel which is most often used in everyday life, namely SS (*Stainless Steel*)-304. Some of the organic or natural inhibitors used in this study is pandan leaves. The variables used were immersion time and temperature. Furthermore, the parameters studied were the corrosion rate of steel and the morphology of SS-304 steel using the SEM test. The results showed that the best corrosion rate and morphology using pandan leaves at a temperature of 60°C soaked with 0,1 N HCL solution for 5 weeks.

Keywords: SS-304 steel, corrosion rate, natural inhibitor, pandan leaves

1. Pendahuluan

Sejak tahun 1950-an, baja tahan karat/*stainless steel* (SS) telah menjadi bahan yang paling banyak digunakan karena sifat-sifatnya yang sangat baik seperti kemampuan proses, kekuatan mekanik, ketahanan korosi, dan biokompatibilitasnya (K.T Oh et al., 2005 dan F.L Nie 2011). Pada penelitian ini digunakan baja SS-304, dimana baja SS tipe 304 merupakan baja yang multifungsi dan banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena harganya yang relatif terjangkau. *Stainless steel* tipe 304 ini banyak digunakan baik dalam dunia industri skala besar maupun skala kecil. Penggunaan baja *stainless steel* tipe 304 ini antara lain sebagai tanki dan *container* untuk berbagai macam cairan dan padatan, peralatan pertambangan, kimia, makanan, dan industri farmasi (Sumarji, 2011). Baja SS-304 ini adalah salah satu jenis baja yang tahan terhadap karat yang memiliki komposisi unsur karbon 0,42%; 8,15% Ni; 18,24% Cr; 0,049% Si; 0,006% S; 0,034% P; 1,19% Mn; dan sisanya adalah besi/Fe. Selain komposisinya, baja SS-304 juga memiliki sifat mekanik yaitu kekerasan sebesar 82 HRB; *elongation* sebesar 50%; *yield strength* sebesar 270 Mpa; serta kekuatan tarik sebesar 646 Mpa. Walaupun memiliki kekuatan Tarik yang besar, mudah dibersihkan, dan tahan terhadap kondisi lingkungan yang dingin maupun panas, namun konsentrasi asam mineral dengan kereaktifan yang cukup tinggi dapat mengakibatkan terjadinya korosi (Mardhani & Harmami, 2013). Korosi logam adalah proses yang disebabkan oleh reaksi reduksi dan oksidasi logam dengan lingkungannya dan mengakibatkan degradasi permukaan logam itu sendiri, baik dimulai dari aktivitas alami maupun terjadi akibat perbuatan manusia. Sifat penghambatan korosi dari inhibitor bergantung pada banyak faktor seperti sifat lingkungan korosif, suhu larutan, struktur elektronik dari inhibitor, dll (Goyal et al., 2018). Hal ini juga didukung dengan pendapat Hakim yang menyatakan bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi dalam sistem elektrolit larutan (*aqueous*) yaitu: (1) konsentrasi larutan dan komponen ionnya: Konsentrasi larutan menyatakan jumlah zat terlarut dalam pelarut atau setiap satuan larutan. Sebuah larutan dengan suatu konsentrasi tertentu memiliki zat yang dapat terurai

Info Makalah:

Dikirim : 10-09-2020;

Revisi : 04-18-2021;

Diterima : 05-23-2021.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-813-19177867

e-mail : laras.andria.wardani@dsn.ubharajaya.ac.id

menjadi ion-ion (baik berupa kation maupun anion) pembentuknya dan (2) kadar oksigen: Oksigen yang terlarut akan meningkatkan reaksi pada katoda sehingga logam akan semakin terkorosi atau teroksidasi (Hakim, 2011). Selain itu, Suhu memiliki efek yang sangat nyata pada karakteristik penghambatan molekul inhibitor. Mirip dengan kebanyakan laju reaksi kimia, laju korosi juga meningkat secara linier dengan meningkatnya suhu sekitar (Abdel-

Azim et al., 2014). Kehadiran kelembaban, garam dan kotoran organik dan anorganik meningkatkan laju korosi karena peningkatan konduktivitas muatan elektrolit (Glass & Page, 1991); (Abd El Haleem *et al.*, 2013). Seiring dengan semua faktor lingkungan ini, laju korosi logam juga dipengaruhi secara alami oleh sifat produk korosi yang terkumpul di permukaan (Mazères *et al.*, 2016). Sifat produk korosi bisa didapat ketika proses pelapisan baja. Keseluruhan proses korosi ini dapat berlangsung dalam media atau larutan asam, seperti asam klorida dan asam sulfat (Bentiss *et al.*, 2000). Korosi juga dapat menyebabkan kerusakan bertingkat pada lapisan baja akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya.

Proses korosi termasuk proses pelarutan material logam secara spontan dapat mengakibatkan kerugian ekonomi yang sangat besar (Revie & Uhlig, 2008); (Verma *et al.*, 2016). Kerugian ekonomi yang dimaksud adalah karena adanya penurunan mutu dan daya guna logam tersebut. Dibalik sifatnya yang relatif kuat, keras, mengkilap, mudah dibersihkan dan tahan terhadap kondisi dingin maupun panas, penurunan kualitas baja SS-304 juga dapat terjadi secara alamiah dalam jangka waktu yang lama, maupun jika terpapar oleh asam-asam mineral di lingkungannya yang dapat mempercepat proses korosi itu sendiri. Berdasarkan hal tersebut, maka dibutuhkan suatu pencegahan yang bersifat alami untuk menghindari kerugian-kerugian yang dapat ditimbulkan akibat dari proses oksidasi yaitu korosi. Salah satu cara untuk mencegah kerugian tersebut adalah dengan menambahkan atau melapiskan suatu senyawa atau inhibitor korosi pada logam (Scendo, 2007). Inhibitor dapat ditambahkan langsung ke dalam zat atau pelapis sehingga dapat meningkatkan sifat lapisan pelindung dalam menghadapi proses oksidasi. Selain berfungsi sebagai lapisan pasif anodik, inhibitor juga dapat meningkatkan sifat adhesi lapisan. Selain itu, daerah aktif senyawa juga mampu melindungi logam dari pengaruh lain karena adanya efek penghalang sterik dan interaksi polaritas (A. Thom *et al.*, 2006 dan D. Li *et al.*, 2011). jika suatu zat atau senyawa kimia yang apabila ditambahkan ke dalamnya dan dapat menurunkan laju korosi terhadap suatu logam maka zat tersebut dinamakan inhibitor korosi (Yanuar *et al.*, 2017). Sedangkan menurut penelitian terdahulu, penambahan senyawa atau zat ke dalam lingkungan yang korosif, dalam dosis kecil dan berfungsi untuk mengurangi laju korosi adalah makna dari inhibitor (Hye-Young Klose, 1997). Jika dilihat dilapangan, penambahan jumlah inhibitor haruslah sedikit namun dilakukan baik secara periodik maupun kontinu dengan selang waktu tertentu (Saputra, 2011). Senyawa atau zat inhibitor ini jika diklasifikasikan berdasarkan kandungan dan bahan pembuatannya terbagi atas dua yaitu inhibitor alami yang berasal dari bahan baku alam dan anorganik atau zat buatan. Pemilihan penggunaan antara inhibitor organik dan inhibitor anorganik harus didasari pengetahuan mengenai toksisitas yang dihasilkannya, selain hanya melihat keefektifannya dalam menghambat korosi. Selain itu, pertimbangan pemilihan inhibitor juga harus mempertimbangkan dampak negatifnya yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Perihal ini juga telah di atur oleh Lembaga lingkungan di berbagai negara, tentang pemberlakuan aturan penggunaan dan pembuangan inhibitor korosi (Yanuar *et al.*, 2017). Peraturan lingkungan tersebut mengatur penuh tentang inhibitor korosi yang dapat digunakan, bersifat ramah lingkungan serta aman bagi kesehatan (Sastri, 2011). Berdasarkan peraturan-peraturan tersebut, penggunaan inhibitor anorganik mulai dibatasi, dan inhibitor alami atau organik yang berasal dari bahan alam seperti contohnya tanaman dan buah-buahan mulai banyak diteliti. Inhibitor organik ini memiliki sifat yang ramah lingkungan, dapat diperbaharui, mudah didapatkan dan tidak bersifat toksik (Karim & Yusuf, 2012). Berdasarkan pernyataan tersebut, maka pada penelitian ini digunakan senyawa inhibitor organik yang berasal dari alam.

Semakin berkembangnya zaman, perkembangan ilmu pengetahuan akan bahan inhibitor korosi alami semakin banyak ditemukan. Hal ini terjadi karena sifatnya yang ramah lingkungan dan aman, serta sebagai inhibitor efektif untuk logam. Beberapa penelitian tentang inhibitor alami diantaranya adalah Souza pada tahun 2012 melaporkan penelitiannya bahwa ekstrak tumbuhan dapat memperlambat laju korosi spesimen logam lebih efisien dan efektif dalam media asam sulfat (Fernando Sílvio De Souza *et al.*, 2012). Sejalan dengan hal tersebut, peneliti lain juga meneliti bahwa ekstrak *Zenthoxylum alatum* digunakan sebagai penghambat korosi hijau ramah lingkungan untuk baja ringan dalam larutan asam fosfat melalui metode penurunan bobot dan elektrokimia (Gunasekaran & Chauhan, 2004). Selain itu, Gunasekaran dan Chauhan juga melaporkan bahwa pengaruh temperatur juga dapat bertindak sebagai inhibitor yang baik untuk baja ringan, variable temperatur dibuat antara 50°C-80°C, dan hasil terbaik yaitu 70°C dalam larutan asam fosfat (Gunasekaran & Chauhan, 2004). Penelitian Singh mengenai inhibitor ramah lingkungan, yaitu ekstrak *Hibiscus cannabinus* dipelajari dalam larutan 0,5M H₂SO₄ menghasilkan bahwa efisiensi penghambatan *Hibiscus cannabinus* meningkat dengan meningkatnya konsentrasi (Singh & Singh, 2012).

Saat ini, ada banyak sekali senyawa organik yang diketahui bekerja secara efisien dalam menurunkan laju korosi tembaga, sebagaimana ditinjau secara komprehensif oleh (Antonijevic & Petrovic Mihajlovic, 2015). Raja dan Sethuraman juga telah meninjau penggunaan produk alami sebagai penghambat korosi untuk logam (Raja & Sethuraman, 2008). Senyawa inhibitor secara keseluruhan memiliki sifat yang netral, tetapi gugus nitrogen pada senyawa memiliki pasangan elektron bebas yang menyebabkan inhibitor cenderung bermuatan negatif, sehingga senyawa inhibitor akan tertarik ke permukaan logam dan membentuk lapisan (Yanuar *et al.*, 2017). Lapisan tersebut yang nantinya akan membentuk film dan melindungi baja dari korosifitas. Senyawa-senyawa inhibitor alami di Indonesia sangat banyak dan beragam jenisnya, namun yang sering kita jumpai di kehidupan sehari-hari dan mudah didapat menjadi kunci pemanfaatannya dalam penelitian ini. Oleh karena itu, peneliti menggunakan inhibitor organik yang berasal dari alam yaitu daun pandan (*Pandanus amaryllifolius Roxb*). Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah

mendapatkan inhibitor alami yang efektif menghambat laju korosi. Percobaan dilakukan dengan menambahkan ekstrak senyawa inhibitor organik kepada baja SS-304 dengan variabel waktu perendaman dan temperatur.

2. Material dan Metode

Pada penelitian ini akan dijelaskan mengenai bahan, peralatan, dan perhitungan laju korosi yang digunakan, serta persiapan pengujiannya:

a. Bahan dan peralatan

Bahan pada penelitian ini dibagi menjadi 3 yaitu: inhibitor alami, sampel baja SS-304, dan medium korosi: HCL 0,1N. Beberapa inhibitor alami yang digunakan pada penelitian ini adalah daun pandan (*Pandanus amaryllifous Roxb*). Peralatan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah timbangan analitik, oven, beaker glass, gelas ukur, pipet ukur, lemari asam, gelas kaca, lumping & alu, dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

b. Perhitungan laju korosi

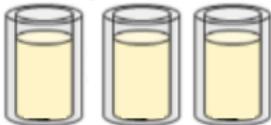
Laju korosi dipengaruhi oleh kehilangan berat, luas permukaan, waktu tepapar, dan masa jenis logamnya. Perhitungan laju korosi dapat dilihat sebagai berikut:

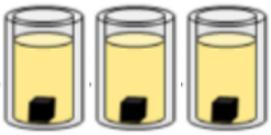
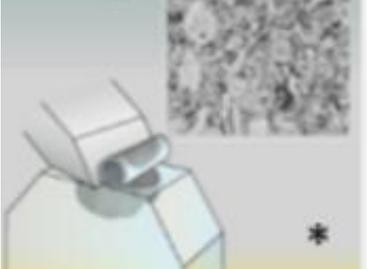
$$\text{Laju Korosi (mm/tahun)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (1)$$

c. Tahapan Pengujian

Secara terperinci tahapan persiapan dan pengujian akan diuraikan pada Tabel 1, sebagai berikut:

Tabel 1. Tahapan Pengujian

Keterangan Proses	Tahapan proses
a. Potong <i>specimen</i> baja SS-304 masing-masing menjadi 5 cm panjangnya menggunakan alat pemotong baja khusus, dan dilakukan secara triplo, kemudian catat berat awal baja yaitu kurang lebih 31 gram per potongan baja	 <p>3 potongan <i>specimen</i> baja SS-304</p>
b. Siapkan medium korosi yang akan dipakai yaitu larutan HCL dengan konsentrasi 0,1 N. Larutan HCL terdiri atas ion H ⁺ dan Cl ⁻ , maka keberadaan ion asam atau H ⁺ dapat mengakibatkan sifat agresif terhadap pelarutan logam	 <p>3 gelas larutan HCL dengan konsentrasi 0,1N</p>
c. Siapkan inhibitor alami yaitu daun pandan. Lalu tumbuk semua daun pandan hingga keluar air dari daun (larutan inhibitor alami). Penumbukan daun pandan dilakukan dengan menambahkan air/aquades dengan perbandingan 1:1 antara daun pandan dan air. Lalu diambil ekstraknya.	 <p>Daun Pandan. Larutan inhibitor alam</p> <p>Sesuai dengan penelitian Kayadoe, menyatakan bahwa semakin banyak jumlah atau konsentrasi inhibitor yang digunakan, maka persen EI atau efisiensi inhibisinya akan juga menjadi semakin besar. Hal ini akan membuat laju korosifitas pada baja <i>Stainless steel-304</i> juga menjadi akan semakin menurun (Kayadoe & Dkk, 2009). Penurunan laju korosifitas dapat disebabkan karena adanya bahan aktif yang dihasilkan dari ekstrak daun pandan, dimana senyawa tersebut dapat menurunkan frekuensi interaksi aktif antara larutan korosif dengan permukaan baja langsung. Sisi aktif dari bahan aktif yang dihasilkan dari ekstrak daunpandan akan membentuk lapisan pasif (<i>passive layer</i>) yang stabil. Berdasarkan hal tersebut, maka semakin besar area permukaan baja yang tertutupi senyawa inhibitor maka akan melindungi logam dari larutan yang bersifat korosif (Soltani et al., 2012); (Amin & Ibrahim, 2011).</p>
d. balurkan inhibitor alami terhadap baja SS-304 secara bergantian dengan cara digosokkan merata keseluruhan permukaan baja SS-304	

Keterangan Proses	Tahapan proses
e. Selanjutnya Baja yang sudah dibalurkan ekstrak daun pandan secara merata segera dimasukkan kedalam oven dan dipanaskan sesuai dengan suhu variabel yang diinginkan yaitu 50°C dan 60°C. Rentang variabel suhu tersebut dipilih berdasarkan suhu efektif penelitian Gunasekaran dan Chauhan tahun 2004.	 <p>Potongan <i>specimen</i> baja SS-304 yang telah dioles dengan larutan inhibitor dan dipanaskan dan pada variabel temperatur yang diinginkan.</p>
f. Setelah dikeluarkan baja dari dalam oven, lalu rendam baja ke dalam medium korosi yang sudah di siapkan yaitu HCl 0,1N dengan kondisi seluruh permukaan potongan baja terendam ke dalam medium korosi HCl sekitar 100ml, dan juga dengan kondisi tertutup untuk mencegah senyawa lain masuk ke dalam larutan	 <p>Perendaman baja ke dalam medium korosi HCl 0,1N</p>
g. Setelah seminggu kemudian ambil baja yang sudah terendam medium korosi selama seminggu lamanya, dibersihkan, diseka hingga kering dan timbang beratnya.	 <p>Uji SEM dan didapatkan hasil gambar dan analisis</p>
h. Setelah itu baja direndam kembali didalam medium korosi dan diperlakukan sama dengan sebelumnya hingga minggu kelima, sehingga dapat dihitung persamaan laju korosinya	
i. Selanjutnya dipilih sampel dengan persen terkorosi yang paling tinggi, kemudian sampel dilakukan uji SEM di laboratorium untuk melihat permukaan baja yang terkorosi.	

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan tahap terakhir pengujian, didapat dua sampel yang memiliki korosititas tertinggi yaitu satu hasil dari perlakuan suhu 50°C dan yang satunya berasal dari sampel hasil dari perlakuan 60°C. Selanjutnya kedua sampel tersebut diamati dengan menghitung akumulatif beratnya dan dilanjutkan pengujian SEM.

3.1 Tabel Hasil Pengamatan Kehilangan Berat Baja SS-304

Hasil ekstrak daun pandan yang dijadikan sebagai inhibitor organik alami diaplikasikan kepada baja dengan dua perlakuan suhu yaitu pada suhu 50°C dan 60°C, serta diamati setiap minggunya hingga minggu ke lima. Terlihat pada Tabel 2, bahwa di dalam metode ini juga dapat diketahui berat baja yang terlarut karena adanya proses oksidasi.

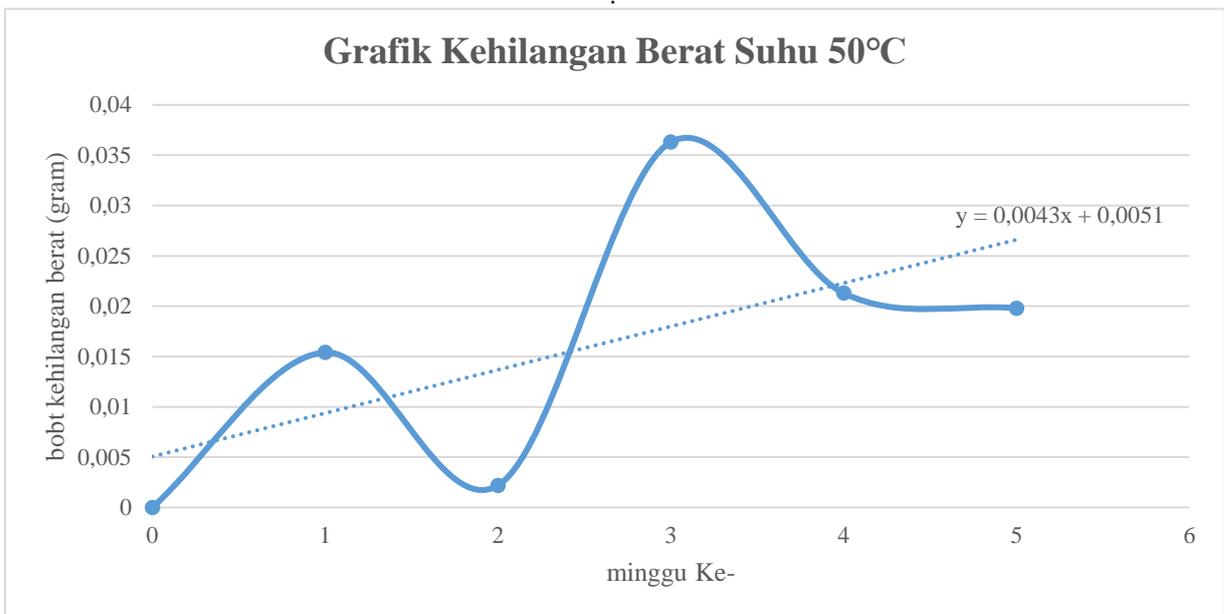
Tabel 2. Kehilangan Berat di Suhu 50°C dan 60°C

Waktu	Suhu 50°C	Akumulatif Kehilangan berat	Suhu 60°C	Akumulatif Kehilangan berat
Minggu ke 0 (M ₀)	31,4945 gram		31,3362 gram	
Minggu ke 1 (M ₁)	31,4791 gram	0,0154 gram	31,3353 gram	0,0009 gram
Minggu ke 2 (M ₂)	31,4769 gram	0,0176 gram	31,3345 gram	0,0017 gram
Minggu ke 3 (M ₃)	31,4406 gram	0,0539 gram	31,3329 gram	0,0033 gram
Minggu ke 4 (M ₄)	31,4283 gram	0,0662 gram	31,3269 gram	0,0093 gram
Minggu ke 5 (M ₅)	31,4085 gram	0,086 gram	31,3250 gram	0,0112 gram
Rata-rata kehilangan berat		0,019 gram		0,00224 gram
% Korosi pada Minggu ke 5	0,2730%		0,0357%	

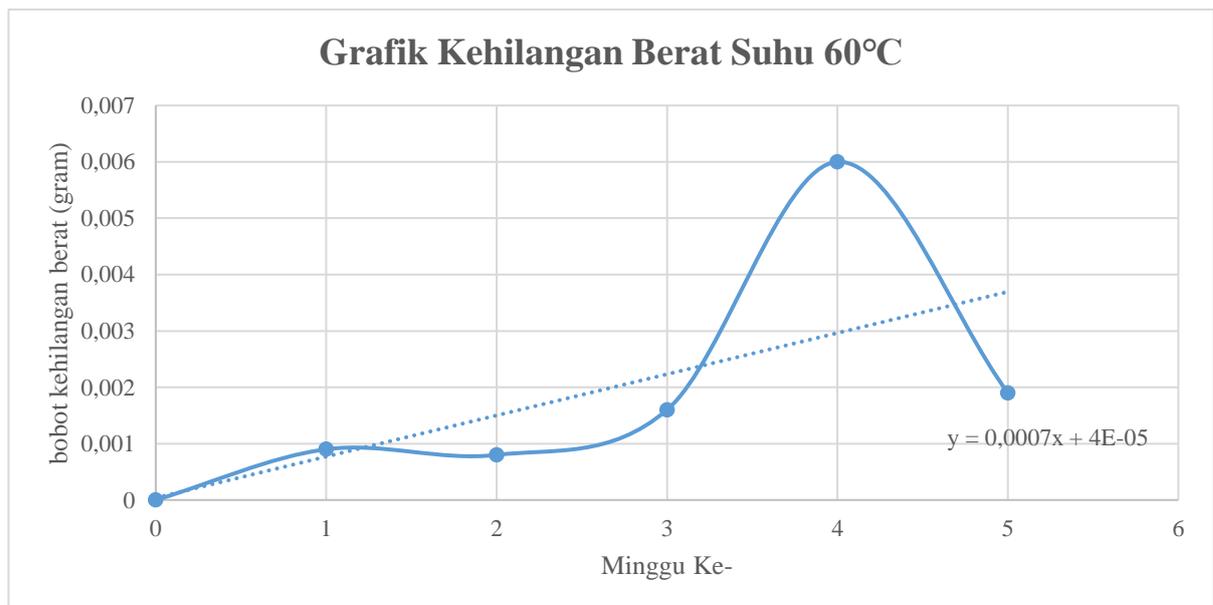
Berdasarkan Tabel 2. dapat dilihat bahwa baja SS-304 yang telah ditambahkan dengan inhibitor alami daun pandan yang telah diatur pada suhu 50°C, lalu direndam dengan medium korosi larutan HCl dengan konsentrasi 0,1N, maka didapat pada minggu ke 5 terdapat pengurangan akumulatif berat baja sebesar 0,0856 gram dan dengan berat kehilangan rata-rata sebesar 0,019 gram perminggu. Persen korosi yang didapat pada minggu ke 5 suhu 50°C dapat dihitung dengan perbandingan antara berat awal potongan baja yaitu 31,4945 gram dengan kehilangan berat akumulatif diminggu ke-5 yaitu 0,086 gram, maka didapatkan perhitungannya adalah 0,2730%. Sedangkan potongan baja SS-304 yang telah ditambahkan dengan inhibitor alami daun pandan yang telah diatur pada suhu 60°C, lalu direndam dengan medium korosi larutan HCl dengan konsentrasi 0,1N, maka pada minggu ke 5 terdapat pengurangan akumulatif berat baja sebesar 0,0112 gram, dan dengan berat kehilangan rata-rata sebesar gram perminggu. Persen korosi yang didapat pada minggu ke 5 suhu 60°C juga dapat dihitung dengan perbandingan

antara berat awal potongan baja yaitu 31,3362 gram dengan kehilangan berat akumulatif diminggu ke-5 yaitu 0,0112 gram, maka didapatkan perhitungannya adalah 0,0357%.

Perbandingan akumulatif kehilangan berat antara suhu 50°C lebih besar dibandingkan dengan suhu 60°C, hal ini menunjukkan pertanda bahwa semakin tinggi suhu juga mempengaruhi akumulatif berat baja SS-304. Hal ini dapat terjadi karena inhibitor alami dapat menyerap secara lebih sempurna pada lapisan permukaan baja disuhu 60°C dibandingkan dengan temperatur oven 50°C. Penyerapan ekstrak inhibitor alami yang lebih sempurna pada permukaan baja dapat menghambat laju korosi dan hal ini dibuktikan pada Tabel 2. Kehilangan berat di suhu 50°C dan 60°C. Jika disajikan dalam bentuk grafik maka, hasil yang didapat yaitu berat baja SS-304 semakin lama semakin berkurang, namun pada suhu 60°C kehilangan beratnya lebih sedikit dibandingkan dengan suhu 50°C yang cukup signifikan. Hasil akumulatif kehilangan berat pada suhu pemanasan 50°C dan 60°C berbanding dengan waktu terpapar (minggu ke-) ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Grafik Kehilangan Berat Suhu 50°C



Gambar 2. Grafik Kehilangan Berat Suhu 60°C

Berdasarkan Gambar 1 tentang grafik kehilangan berat pada suhu 50°C, didapatkan degradasi linier yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu paparan larutan korosi. Hal ini sejalan dengan penelitian Gunasekaran dan Chauhan yang menyatakan bahwa tempertaur dan waktu lama papar dapat meningkatkan bobot kehilangan berat pada logam (Gunasekaran & Chauhan, 2004). Persamaan kehilangan berat pada suhu 50°C yang diperoleh adalah $y = 0,0043x + 0,0051$, dimana x adalah jumlah minggu dan y adalah bobot kehilangan berat dalam gram. Sesuai dengan data yang diperoleh standar deviasi yang dihasilkan oleh data kehilangan berat pada suhu 50°C adalah 0,013 gram. Jika spesimen baja tersebut direndam terus menerus, maka sesuai dengan rumus perhitungan tersebut didapat pada minggu ke 7323 potongan baja akan habis (dengan mengabaikan faktor hambatan lain). Sedangkan jika dilihat pada Gambar 2 tentang grafik kehilangan berat pada suhu 60°C, didapatkan degradasi linier yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu paparan larutan korosi, namun grafik masih cenderung lebih landai dibandingkan dengan grafik kehilangan bobot pada suhu 50°C. Persamaan kehilangan berat pada suhu 60°C yang diperoleh adalah $y = 0,0007X + 0,00004$, dimana x adalah jumlah minggu dan y adalah bobot kehilangan berat dalam gram. Sesuai dengan data yang diperoleh standar deviasi yang dihasilkan oleh data kehilangan berat pada suhu 60°C adalah 0,0021 gram. Jika spesimen baja tersebut direndam terus menerus, maka sesuai dengan rumus perhitungan tersebut didapat pada minggu ke 44767 potongan baja akan habis (dengan mengabaikan faktor hambatan lain).

Tahap selanjutnya, kedua sampel (sampel 1 perlakuan suhu 50°C dan sampel 2 perlakuan suhu 60°C) yang memiliki korosititas tertinggi tersebut di analisis lebih lanjut untuk melihat permukaan baja yang terkorosi dengan menggunakan uji SEM, dan diuraikan pada sub bab selanjutnya.

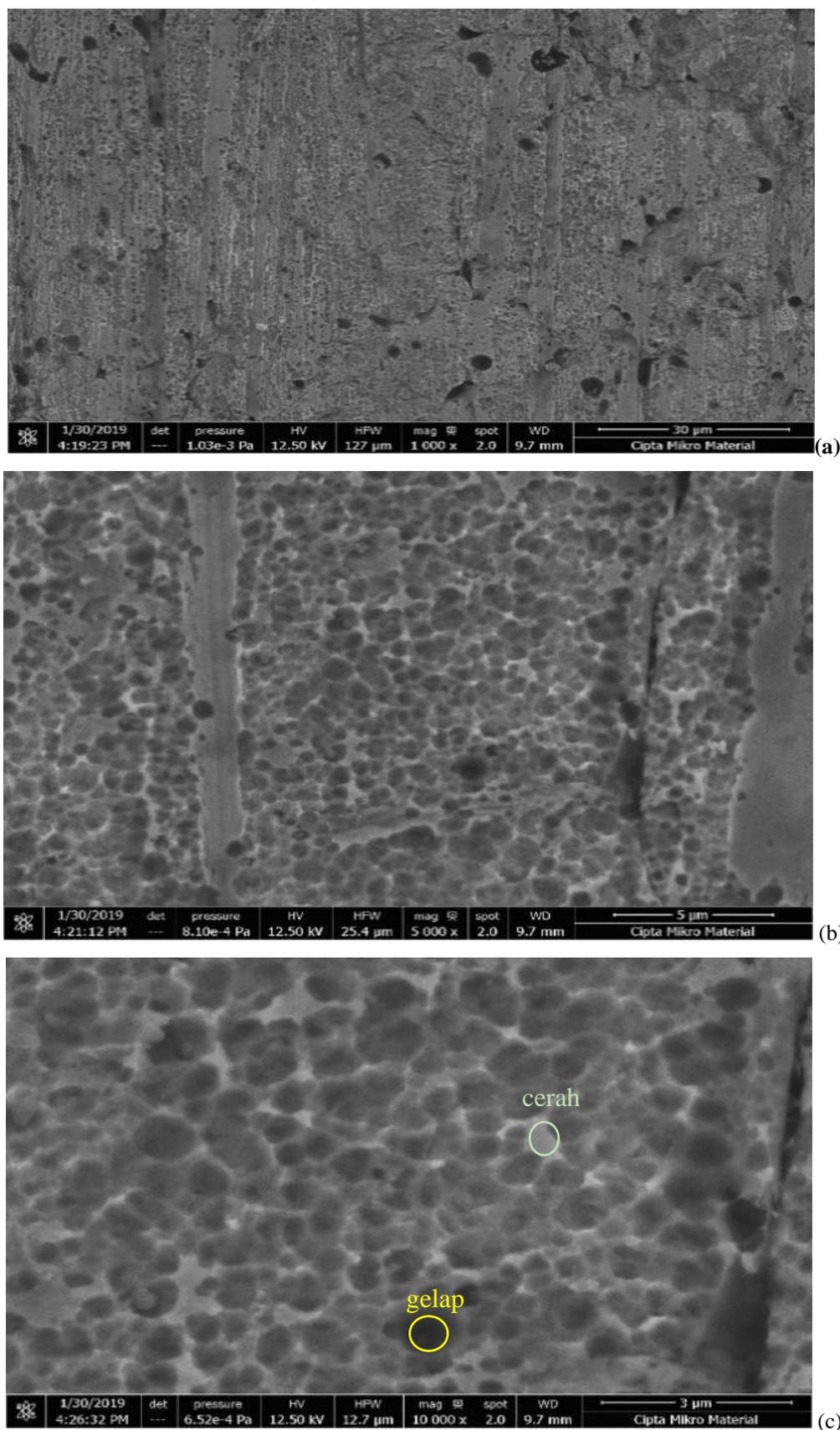
3.2 Hasil Uji SEM

Dibawah ini adalah gambar hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui bentuk struktur atau permukaan material baja SS-304 pada suhu 50°C dan 60°C yang telah dilapisi pelindung ekstrak daun pandan. Prinsip uji SEM ini adalah menggunakan elektron yang memiliki resolusi lebih tinggi dari pada cahanya. Resolusi yang dihasilkan dari SEM ini dapat memperbesar resolusi gambar dan hasil ukuran hingga mencapai 2000 kali dibanding cahaya. Oleh karena itu, pengujian SEM pada permukaan sampel SS-304 ini diarahkan untuk mengamati terbentuknya lapisan oksida pada permukaan sampel.

Prinsip pencitraan SEM dapat melihat dari warna permukaannya, dimana permukaan yang rendah akan memiliki warna yang lebih gelap dibandingkan dengan permukaan yang tinggi. Selain tingginya permukaan, berat atom-atom penyusun baja tersebut juga dapat mempengaruhi pencitraan uji SEM ini, dimana berat molekul yang lebih kecil akan memberikan warna gelap jika dibandingkan dengan atom yang memiliki berat molekul lebih besar. Atau dengan kata lain bahwa warna cerah yang dihasilkan pada permukaan baja yang lebih tinggi dapat disebabkan oleh berat molekul yang lebih besar, sedangkan warna gelap yang dihasilkan pada permukaan baja yang lebih rendah dapat disebabkan oleh berat molekul yang lebih kecil. Perbedaan warna tersebut dapat dilihat pada gambar-gambar hasil uji SEM di bawah ini.

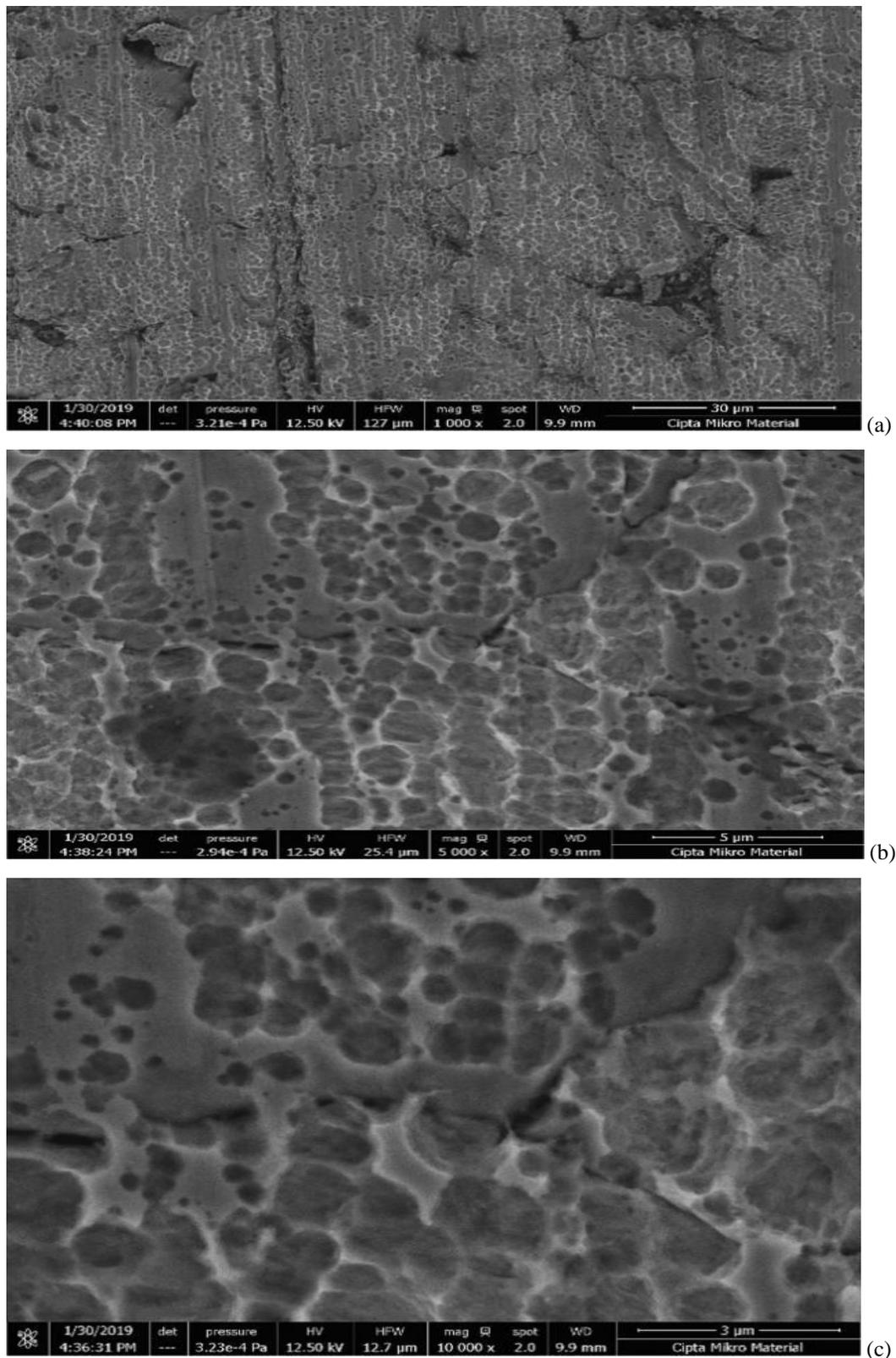
Mekanisme perubahan warna pada permukaan baja SS-304 tersebut dapat terjadi karena permukaan yang lebih tinggi akan lebih banyak melepaskan elektron dan menghasilkan gambar yang lebih cerah atau terang dibandingkan dengan permukaan yang lebih rendah. Begitu juga mekanisme ini terjadi juga secara prinsip atom, dimana densitas atau massa jenis atau berat molekul atom yang lebih besar akan memantulkan elektron yang lebih banyak sehingga warna yang didapat dari hasil uji SEM ini menjadi lebih cerah dari pada atom yang memiliki densitas yang lebih rendah akan memantulkan elektron yang lebih sedikit sehingga warna yang didapat dari hasil uji SEM ini menjadi lebih gelap. Berdasarkan hasil pencitraan uji SEM tersebut juga dapat terlihat jelas, bahwa walaupun permukaan baja telah teroksidasi, namun pembentukan film pelapis atau penambahan keberadaan senyawa organik yaitu daun pandan pada permukaan logam baja SS-304 ini tetap dapat menghambat korosifitas dan melindungi morfologi permukaan baja SS-304. Pada prinsipnya ekstrak daun pandan menghasilkan lapisan pelindung yang mencegah air dan/atau molekul oksigen berinteraksi dengan permukaan logam yang dapat menghasilkan oksidasi atau pengkaratan. Ekstrak daun pandan yang di uji fitokimia dalam laboratorium, memiliki senyawa metabolit sekunder seperti tannin, antrakuinon, alkaloid, steroid, flavonoid, dan polifenol (Kayadoe *et al.*, 2015). Senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam ekstrak daun pandan tersebut dapat berperan sebagai inhibitor korosi karena memenuhi karakteristik inhibitor senyawa organik seperti adanya hetero atom, gugus polar, ikatan π , serta pasangan elektron bebas yang menjadi sarana bagi inhibitor berikatan dengan logam secara koordinasi (F. S. de Souza & Spinelli, 2009).

Berdasarkan keterangan tersebut, maka untuk lebih jelasnya hasil uji pencitraan SEM untuk struktur mikro pada sampel pemanasan suhu 50°C pada minggu ke 5 dengan struktur permukaan baja yang diperbesar dari 1000 kali, 5000 kali, hingga 10.000 kali, dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Hasil Uji SEM pada Suhu 50°C dengan Perbesaran 1000× (b) Hasil Uji SEM pada Suhu 50°C dengan Perbesaran 5000× (c) Hasil Uji SEM pada Suhu 50°C dengan Perbesaran 10.000×.

Proses oksidasi ini juga terjadi pada pada struktur permukaan baja SS-304 pemanasan suhu 60°C, yang telah dilapisi dengan inhibitor alami. Hasil uji SEM untuk struktur mikro pada sampel pemanasan suhu 60°C pada minggu ke 5, dengan struktur permukaan baja yang diperbesar dari 1000 kali, 5000 kali, hingga 10.000 kali ditunjukkan pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. (a) Hasil Uji SEM pada Suhu 60°C dengan Perbesaran 1000× (b) Hasil Uji SEM pada Suhu 60°C dengan Perbesaran 5000× (c) Hasil Uji SEM pada Suhu 60°C dengan Perbesaran 10000×

Korosifitas terjadi karena adanya pelepasan (*flaking*) lapisan oksida secara lokal yang terjadi selama proses oksidasi. Selain itu, proses oksidasi juga dapat teramati dengan timbulnya gelembung-gelembung udara yang berasal dari gas yang dihasilkan dari atom H dan teramati pada lapisan permukaan *baja*, hal ini menunjukkan bahwa proses korosi pada reaksi katodik akibat *discharge* ion hidrogen yang berasal dari larutan asam (Caliskan & Akbas, 2011). Hal ini sesuai dengan pengamatan langsung pada keadaan uji perendaman baja SS-304 di dalam larutan asam laboratorium yang dilakukan, bahwa selama proses korosifitas berlangsung terdapat gelembung-gelembung gas yang menempel pada permukaan baja SS-304, walaupun jumlahnya hanya sedikit karena adanya penambahan senyawa inhibitor alami yaitu daun pandan lapisan permukaan baja SS-304.

Tanpa adanya larutan inhibitor organik alami daun pandan, seharusnya morfologi permukaan baja SS-304 dapat berubah secara drastis sebagai akibat dari korosi asam yang menghasilkan permukaan logam berpori dan tidak teratur. Namun terlihat pada Gambar 3 dan 4 tersebut hasil uji SEM dengan jelas menunjukkan bahwa proses korosi jauh lebih ringan karena lapisan pelindung dari senyawa organik daun pandan. Jika dilihat morfologi kedua sampel ini (perbedaan antara Suhu 50°C dan Suhu 60°C), hanya menunjukkan sedikit perbedaan yang terlihat dari ketebalan lapisan oksidanya pada sampel yang teroksidasi. Berdasarkan percobaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa ekstrak daun pandan secara spontan teradsorpsi dan menghasilkan lapisan pelindung pada permukaan logam SS-304 dan mengurangi proses korosi dalam larutan HCl. Dimana, proses korosi cenderung mengubah distribusi komposisi di atas permukaan, menciptakan permukaan yang heterogen yang juga dapat mempengaruhi sudut kontak karena peningkatan karakter hidrofilik permukaan elektroda (Fernando Sílvia De Souza et al., 2012). Perbandingan gambar yang terjelas yaitu antara Gambar 3c dan Gambar 4c mendeskripsikan bahwa hasil uji SEM pada suhu 50°C dengan perbesaran 10000× memiliki warna yang lebih cerah atau terang dibandingkan dengan hasil uji SEM pada suhu 60°C dengan perbesaran 10000×. Hal ini terjadi karena adanya lapisan oksida, dimana jika lapisan oksidanya lebih tebal maka hal ini menunjukkan laju oksidasi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, pengujian SEM ini berfungsi untuk mengetahui hasil mikrostruktur material baja SS-304 serta analisis ketahanan oksidasi pada setiap variabel temperatur dan waktu terpapar.

3.3 Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi baja SS-304 juga terbagi menjadi dua perlakuan suhu yaitu pada suhu 50°C dan 60°C, dan dapat dihitung:

1. Perhitungan laju korosi (mm/tahun) *Stainless Steel* -304 dengan penambahan inhibitor alami daun pandan pada suhu 50°C

$$\begin{aligned} \text{Laju Korosi (mm/tahun)} &= \frac{K \times W}{A \times T \times D} \\ &= \frac{87,6 \times 112000}{14,3079 \times 840 \times 7,2114} \\ &= \frac{9811200}{86671,1917} \\ &= 113,2002 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi *Stainless Steel* -304 dengan inhibitor alami daun pandan pada suhu 50°C yang didapat adalah 113,2002 mm/tahun.

2. L Perhitungan laju korosi (mm/tahun) *Stainless Steel* -304 dengan penambahan inhibitor alami daun pandan pada suhu 60°C

$$\begin{aligned} \text{Laju Korosi (mm/tahun)} &= \frac{K \times W}{A \times T \times D} \\ &= \frac{87,6 \times 86000}{14,5991 \times 840 \times 7,4289} \\ &= \frac{7533600}{91102,4134} \\ &= 82,6937 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi *Stainless Steel* -304 dengan inhibitor alami daun pandan suhu 60°C yang didapat adalah 82,6937 mm/tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat, terlihat bahwa pada suhu 60°C, laju korosi yang didapat hanya 82,6937 mm/tahun atau lebih kecil dibandingkan dengan hasil perhitungan laju korosi pada suhu 50°C yaitu sebesar **113,2002** mm/tahun. Hal ini dapat terjadi karena meningkatnya suhu juga dapat membuat reaksi antara

ekstrak daun pandan dengan permukaan baja SS-304 semakin menyatu dan meresap sehingga kecepatan proses korosif dalam larutan HCl akan terhambat. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu yang digunakan maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya. Pada peningkatan suhu tertentu, laju difusi reaktan akan meningkat dua kali lipat dan dapat mengakibatkan proses aktivasi meningkat menjadi 10-100 kali lipat (Shreir & Burstein, 2013). Dengan adanya suhu tinggi, ionisasi larutan asam akan semakin cepat dan pori-pori permukaan logam akan semakin besar. Kondisi ini mengakibatkan difusi zat asam dan molekul oksigen pada permukaan logam akan semakin cepat, sehingga pelarutan logam akan semakin cepat. Peningkatan suhu menyebabkan tingkat energi molekul pada permukaan logam mengalami persaingan antara gaya adsorpsi dan gaya desorpsi dari logam (Wahyuningsih *et al.*, 2010). Oleh karena itu Baja SS-304 pada suhu pemanasan 60°C ketahanan korosinya lebih baik dibandingkan suhu 50°C.

Kesimpulan

Baja SS-304 pada suhu pemanasan 60°C memiliki ketahanan korosi lebih baik dibandingkan suhu 50°C. Begitu pula yang terjadi pada inhibitor daun pandan di suhu 60°C memiliki laju korosi 82,6937 mm/tahun atau lebih rendah dibandingkan dengan kondisi suhu 50°C yaitu 113,2002 mm/tahun. Inhibitor organik alami daun pandan cukup efektif dalam menghambat korosifitas baja SS-304.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan dan memberikan bantuan dalam penelitian ini, sehingga dapat dituangkan dalam bentuk tulisan dan dapat diinformasikan serta bermanfaat bagi khalayak umum.

Daftar Notasi

- K = Faktor Konstanta
- W = Kehilangan Berat [gram]
- A = Luas Permukaan [cm²]
- T = Waktu Terpapar [jam]
- D = Densitas specimen [gram/cm³]

Daftar Pustaka

- A. Thorn, A. Adam, T. Gichuhi, W. Novelli, M.A. Sapp. (2006). Improved corrosion control through nontoxic corrosion inhibitors synergies, *J. Coat. Technol.* 3 (2006) 24–30.
- Abd El Haleem, S. M., Abd El Wanees, S., Abd El Aal, E. E., & Farouk, A. (2013). Factors affecting the corrosion behaviour of aluminium in acid solutions. I. Nitrogen and/or sulphur-containing organic compounds as corrosion inhibitors for Al in HCl solutions. *Corrosion Science*, 68, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.03.021>
- Abdel-Azim, A. A., Milad, R., El-Ghazawy, R., & Kamal, R. (2014). Corrosion inhibition efficiency of water soluble ethoxylated trimethylol propane by gravimetric analysis. *Egyptian Journal of Petroleum*, 23(1), 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2014.02.003>
- Amin, M. A., & Ibrahim, M. M. (2011). Corrosion and corrosion control of mild steel in concentrated H₂SO₄ solutions by a newly synthesized glycine derivative. *Corrosion Science*, 53(3), 873–885. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.10.022>
- Antonijevic, M. M., & Petrovic Mihajlovic, M. B. (2015). Copper Corrosion Inhibitors. Period 2008-2014. A Review. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(2), 1027–1053. <http://electrochemsci.org/papers/vol10/100201027.pdf>
- Bentiss, F., Traisnel, M., & Lagrenee, M. (2000). The substituted 1,3,4-oxadiazoles: A new class of corrosion inhibitors of mild steel in acidic media. *Corrosion Science*, 42(1), 127–146. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(99\)00049-9](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(99)00049-9)
- Caliskan, N., & Akbas, E. (2011). The inhibition effect of some pyrimidine derivatives on austenitic stainless steel in acidic media. *Materials Chemistry and Physics*, 126(3), 983–988. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.11.051>
- D. Li, F. Wang, X. Yu, J. Wang, Q. Liu, P. Yang, et al., (2011). Anticorrosion organic coating with layered double hydroxide loaded with corrosion inhibitor of tungstate, *Prog. Org. Coat.* 71 (2011) 302–309, <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2011.03.023>
- De Souza, F. S., Giacomelli, C., Gonçalves, R. S., & Spinelli, A. (2012). Adsorption behavior of caffeine as a green corrosion inhibitor for copper. *Materials Science and Engineering C*, 32(8), 2436–2444. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2012.07.019>

- de Souza, F. S., & Spinelli, A. (2009). Caffeic acid as a green corrosion inhibitor for mild steel. *Corrosion Science*, 51(3), 642–649. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.12.013>
- F.L. Nie, S.G. Wang, Y.B. Wang, S.C. Wei, Y.F. Zheng. (2011). *Dental Mater.* 27, 677–683.
- Glass, G. K., & Page, C. L. (1991). *FACTORS AFFECTING THE CORROSION RATE OF STEEL IN CARBONATED MORTARS.* 32(12), 1283–1294.
- Goyal, M., Kumar, S., Bahadur, I., Verma, C., & Ebenso, E. E. (2018). Organic corrosion inhibitors for industrial cleaning of ferrous and non-ferrous metals in acidic solutions: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 256(2017), 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.045>
- Gunasekaran, G., & Chauhan, L. R. (2004). Eco friendly inhibitor for corrosion inhibition of mild steel in phosphoric acid medium. *Electrochimica Acta*, 49(25), 4387–4395. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2004.04.030>
- Hakim, A. Al. (2011). Pengaruh Inhibitor Korosi Berbasis Sunyawa Fenolik untuk Proteksi Pipa Baja Karbon pada Lingkungan 0.5, 1.5, 2.5, 3.5% NaCl yang Mengandung Gas CO₂. *Universitas Indonesia, Depok*.
- Hye-Young Klose, A. (1997). *vapor phase corrosion inhibitors for navy application.* 21(3), 295–316.
- K.T. Oh, S.U. Choo, K.M. Kim, K.N. Kim, Eur. J. (2005). *Orthodontics* 27, 237–244.
- Karim, A. A. ., & Yusuf, Z. A. (2012). Analisa Pengaruh Penambahan Inhibitor Kalsium Karbonat dan Tapioka Terhadap Tingkat Laju Korosi pada Pelat Baja Tangki Ballast Air Laut. *Jurnal Riset Dan Teknologi Kelautan*, 10(2), 205–2011. <http://repository.unhas.ac.id/bitstream/handle/123456789/4363/8.20ASIS20dan20P.zul20master.pdf?sequence=1>
- Kayadoe, & Dkk. (2009). *Ekstrak daun pandan.* 88–96.
- Mardhani, & Harmami. (2013). Pengaruh Suhu Terhadap Korosi Baja SS 304 dalam Media 1 M HCL dengan Adanya Inhibitor Kinina. *Sains Dan Seni Pomits*, 2(2), 2–4.
- Mazères, B., Desgranges, C., Toffolon-Masclat, C., & Monceau, D. (2016). Experimental study and numerical simulation of high temperature (1100–1250°C) oxidation of prior-oxidized zirconium alloy. *Corrosion Science*, 103, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2015.10.018>
- Raja, P. B., & Sethuraman, M. G. (2008). Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media - A review. *Materials Letters*, 62(1), 113–116. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.04.079>
- Revie, R. W., & Uhlig, H. H. (2008). Definition and Importance of Corrosion. *Corrosion and Corrosion Control*, 1–8. <https://doi.org/10.1002/9780470277270.ch1>
- Saputra, R. (2011). Studi pengaruh konsentrasi ekstrak the rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) sebagai green corrosion inhibitor untuk material baja karbon rendah di lingkungan NaCl 3,5% pada Temperatur 40 derajat celcius, Roni Saputra, FT UI, 2011. *Skripsi*.
- Sastri, V. S. (2011). *green corrosion inhibitors. Theory and Practice.* Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Scendo, M. (2007). The effect of purine on the corrosion of copper in chloride solutions. *Corrosion Science*, 49(2), 373–390. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2006.06.022>
- Shreir, L. L., & Burstein, G. T. (2013). Outline of Chemical Thermodynamics. *Corrosion: Third Edition*, 2, 20:57–20:75. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-052351-4.50145-X>
- Singh, M. R., & Singh, G. (2012). Hibiscus cannabinus extract as a potential green inhibitor for corrosion of mild steel in 0.5 M H₂SO₄ solution. *Journal of Materials and Environmental Science*, 3(4), 698–705.
- Soltani, N., Tavakkoli, N., Khayat Kashani, M., Jalali, M. R., & Mosavizade, A. (2012). Green approach to corrosion inhibition of 304 stainless steel in hydrochloric acid solution by the extract of *Salvia officinalis* leaves. *Corrosion Science*, 62, 122–135. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.05.003>
- Sumarji. (2011). Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe Ss 304 Dan Ss 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu Dan Ph. *Jurnal ROTOR*, 4(1), 1–8.
- Verma, C., Olanakanmi, L. O., Ebenso, E. E., Quraishi, M. A., & Obot, I. B. (2016). Adsorption Behavior of Glucosamine-Based, Pyrimidine-Fused Heterocycles as Green Corrosion Inhibitors for Mild Steel: Experimental and Theoretical Studies. *Journal of Physical Chemistry C*, 120(21), 11598–11611. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b04429>
- Wahyuningsih, A., Sunarya, Y., & Aisyah, S. (2010). Metanamina sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon dalam Lingkungan Sesuai Kondisi Pertambangan Minyak Bumi. *Jurnal Sains Dan Teknologi Kimia*, 1(1), 17–29.
- Yanuar, A. P., Pratikno, H., & Titah, H. S. (2017). Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 8–13. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.18938>