

UJI KUALITATIF DAN KUANTITATIF EKSTRAK *Sargassum sp.* DAN *Gracilaria sp.* SEBAGAI INHIBITOR BIO-KOROSI PADA BAJA KARBON

Isriyanti Affifah¹, Fida Madayanti Warganegara², Bunbun Bundjali³

¹Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,
Jl. Raya Ciwaru No. 25 Serang-Banten, Indonesia

²Laboratorium Biokimia, Program Studi Kimia, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

³Laboratorium Kimia Fisika dan Material, Program Studi Kimia, Institut Teknologi Bandung, Bandung,
Indonesia

E-mail : isriyantiaffifah@gmail.com

Abstract: Corrosion is a process of metal oxidation by air or electrolyte which the air or electrolyte will be reduced, so that the process of corrosion is an electrochemical process. In the previous study is known that corrosion caused by microorganisms oxidizing iron (*Thiobacillus ferrooxidans*) has a significant role towards the economic losses for industry. Biofilm on metal surface caused by microorganism can alter the electrochemical characteristics of the metal surface and can induce the occurrence of corrosion. To overcome these problems, extraction of *Sargassum sp.* and *Gracilaria sp.* that is suspected as an antimicrobial agent is used in this study. Yield of extraction macroalgal using methanol-chloroform (1:1) as solvent was 44,5% for *Sargassum sp.* and 36,5% for *Gracilaria sp.* Those extract was tested to inhibit the growth of *Thiobacillus ferrooxidans* qualitatively (visible) and quantitatively (weight-loss method). Through the growth curve is known that *T. ferrooxidans* was able to grow until day 7 and had a stationary phase on day 8. Analysis of weight-loss method is performed using a coupon with a surface area of 3,6 cm². The analysis showed that extract of *Gracilaria* have antibacterial activity against the growth of *T. ferrooxidans* 29.3% more effective than commercial biocide.

Keyword: anti corrosion; bioactivity; macroalgae; *T. ferrooxidans*

Abstrak: Korosi atau perkaratan logam merupakan proses oksidasi suatu logam dengan udara atau elektrolit. Udara atau elektrolit tersebut akan mengalami reduksi, sehingga proses korosi merupakan proses elektrokimia. Pada penelitian sebelumnya diketahui bahwa korosi yang disebabkan mikroorganisme pengoksidasi besi (*Thiobacillus ferrooxidans*) memiliki peranan yang cukup signifikan terhadap kerugian ekonomi bagi industri. Lapisan biofilm yang dihasilkan mikroorganisme pada permukaan logam dapat mengubah karakteristik elektrokimia permukaan logam tersebut dan dapat menginduksi terjadinya korosi. Untuk mengatasi masalah tersebut, pada penelitian ini dilakukan ekstraksi *Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.* yang diduga efektif menghambat pertumbuhan mikroba pengoksidasi besi (*Thiobacillus ferrooxidans*) yang biasanya terdapat di bangunan bawah laut. Hasil ekstraksi *Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.* menggunakan pelarut metanol-kloroform (1:1) memberikan *yield* terhadap berat basah sebesar 44,5% dan 36,5%. Ekstrak tersebut diuji bioaktivitasnya terhadap pertumbuhan *T. ferrooxidans* secara kualitatif (kasat mata) dan kuantitatif (metode *weight-loss*). Melalui kurva pertumbuhan diketahui bahwa *T. ferrooxidans*

mampu tumbuh sampai hari ke-7 dan mengalami fasa stasioner pada hari ke-8. Analisis metode *weight-loss* dilakukan menggunakan *coupon* dengan luas permukaan 3,6 cm². Hasil analisis menunjukkan bahwa ekstrak *Gracilaria sp* mampu menghambat 29,3% lebih efektif daripada *biocide* komersial.

Kata kunci : anti korosi; bioaktivitas; makroalga; *T. ferrooxidans*

PENDAHULUAN

Korosi adalah kerusakan logam akibat berinteraksi dengan lingkungannya. Korosi atau perkaratan logam merupakan proses oksidasi logam dengan udara atau elektrolit lainnya, dimana udara atau elektrolit akan mengalami reduksi, sehingga proses korosi merupakan proses elektrokimia (Akhadi 2000). Korosi dapat terjadi oleh air yang mengandung garam, karena logam akan bereaksi secara elektrokimia dalam larutan garam (elektrolit). Proses korosi logam dalam larutan akuatik (mengandung air) merupakan reaksi elektrokimia yang meliputi proses perpindahan massa dan perpindahan muatan. Bila suatu logam dicelupkan dalam larutan elektrolit, terjadi dua lokasi yang disebut anoda dan katoda. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi dan pada katoda terjadi reaksi reduksi.

Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur

bahan, bentuk kristal, unsur-unsur kelumit yang ada dalam bahan, teknik pencampuran bahan dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi beberapa faktor, yaitu gas terlarut, temperatur, pH, bakteri, dan padatan terlarut.

Korosi yang terjadi pada logam berbeda-beda bergantung pada faktor penyebab terjadinya korosi tersebut. Ada beberapa tipe korosi yang terjadi pada logam (Halimatuddahlia 2003), yaitu:

1. *Uniform Corrosion*

Korosi pada permukaan logam yang berbentuk pengikisan permukaan logam secara merata sehingga ketebalan logam berkurang sebagai akibat permukaan terkonversi oleh produk karat.

2. *Pitting Corrosion*

Korosi yang berbentuk lubang-lubang pada permukaan logam karena hancurnya film dari proteksi logam yang disebabkan oleh laju korosi yang berbeda antara satu tempat dengan tempat yang lainnya pada permukaan logam tersebut.

3. *Stress Corrosion Cracking*

Korosi berbentuk retak-retak yang tidak mudah dilihat, terbentuk di permukaan

logam sampai bagian dalam logam. Korosi tipe ini banyak terjadi pada logam yang mendapat tekanan. Hal ini disebabkan oleh kombinasi dari tegangan tarik dan lingkungan yang korosif sehingga struktur logam melemah.

4. *Errosion Corrosion*

Korosi yang terjadi akibat terhambatnya pembentukan film pelindung yang disebabkan oleh kecepatan alir fluida yang tinggi, misalnya abrasi pasir,

5. *Galvanic Corrosion*

Korosi yang terjadi karena terdapat hubungan antara dua logam yang disambung dan terdapat perbedaan potensial antara keduanya.

6. *Crevice Corrosion*

Korosi yang terjadi di sela-sela gasket, sambungan bertindih, sekrup-sekrup atau kelingan yang terbentuk oleh kotoran-kotoran endapan atau timbul dari produk-produk karat.

7. *Selective Leaching*

Korosi ini berhubungan dengan lepasnya suatu elemen dari campuran logam.

Inhibitor korosi adalah zat yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan, secara sinambung atau berkala, dapat menurunkan laju korosi logam. Pemakaian inhibitor korosi adalah salah satu upaya untuk mencegah korosi. Ada

berbagai jenis inhibitor yang dikenal, dan diklasifikasikan berdasarkan bahan dasarnya, reaksi yang dihambat, serta mekanisme inhibisinya (Priandani 2001).

Inhibitor menurut bahan dasarnya:

- **Inhibitor Organik:** Menghambat korosi dengan cara teradsorpsi kimiawi pada permukaan logam, melalui ikatan logam-heteroatom. Inhibitor ini terbuat dari bahan organik. Contohnya adalah : gugus amin, tio, fosfo, dan eter. Gugus amin biasa dipakai di sistem boiler.
- **Inhibitor Anorganik:** Inhibitor yang terbuat dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon dalam senyawanya (bahan anorganik). Material dasar dari inhibitor inorganic ini adalah nitrit, kromat, silikat dan posfat.

Inhibitor menurut reaksi yang dihambat:

- **Inhibitor katodik**
Inhibitor katodik menghambat reaksi reduksi. Molekul organik netral teradsorpsi di permukaan logam, sehingga mengurangi akses ion hidrogen menuju permukaan elektroda. Dengan berkurangnya akses ion hidrogen yang menuju permukaan elektroda, maka *hydrogen overvoltage* akan meningkat, sehingga menghambat reaksi evolusi hidrogen yang berakibat menurunkan

laju korosi. Inhibitor katodik dibedakan menjadi inhibitor racun, inhibitor presipitasi katodik, dan *oxygen scavenger*.

- Inhibitor Anodik

Inhibitor Anodik adalah inhibitor yang menghambat reaksi oksidasi. Inhibitor ini biasanya membentuk lapisan pasif pada permukaan logam agar logam tersebut tidak teroksidasi.

- Inhibitor campuran

Campuran dari inhibitor katodik dan anodik.

Adapun mekanisme kerja inhibitor dapat dibedakan sebagai berikut:

- (1) Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
- (2) Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
- (3) Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui

peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.

- (4) Inhibitor menghilangkan komponen yang agresif dari lingkungannya.

Korosi merupakan suatu fenomena alam yang tidak dapat dihindari. Masalah ini akan terus terjadi, baik pada bangunan di darat maupun di laut. Pada penelitian sebelumnya diketahui bahwa 70% korosi yang terjadi pada pipa di laut adalah akibat pertumbuhan mikroba (Bazes, Adkk. 2009). Mikroba tersebut merupakan mikroba pereduksi sulfat dan pengoksidasi besi yang menempel dan tumbuh pada bangunan di bawah laut dan memproduksi asam (Priandani 2001). Aktivitas mikroorganisme dapat menginduksi terjadinya korosi dan menyebabkan kerugian ekonomi serius bagi industri (Li, Songmei dkk. 2008). Saat mikroorganisme mengadsorpsi permukaan material, polimer ekstraseluler yang disekresikan oleh bakteri (seperti polisakarida ekstraseluler) akan menyebabkan bakteri tersebut dan hasil metabolitnya berikatan dengan substrat dan membentuk lapisan biofilm (Li, Songmei dkk. 2008). Lapisan biofilm yang dihasilkan mikroorganisme pada permukaan logam dapat mengubah karakteristik elektrokimia permukaan logam tersebut dan dapat menginduksi

terjadinya korosi. Untuk mengatasi masalah tersebut, telah dilakukan studi mengenai senyawa antibakteri yang berasal dari logam berat, *booster biocide* dan inhibitor anorganik untuk mencegah biokorosi tersebut. Namun, antibakteri tersebut memiliki toksisitas yang tinggi sehingga tidak ramah lingkungan (Bazes A dkk. 2009).

Makroalga atau dalam bahasa Indonesia sering disebut rumput laut, merupakan ganggang multiseluler yang termasuk divisi Thallophyta. Berbeda dengan tanaman tingkat tinggi, akar, batang dan daun pada rumput laut memiliki fungsi yang sama. Bentuk rumput laut beragam, ada yang bulat, pipih, tabung atau seperti ranting dahan. Habitat makroalga antara lain laut, air payau, tanah, dan tambak.

Rumput laut berperan penting dalam ekosistemnya karena kemampuannya berfotosintesis. Selain mengandung klorofil, rumput laut mengandung beberapa pigmen lain seperti pigmen merah, coklat, dan biru kehijauan. Berdasarkan pigmen yang dikandungnya, alga atau ganggang dikelompokkan menjadi empat kelas, yaitu Rhodophyceae (alga merah), Phaeophyceae (alga coklat), Chlorophyceae (alga hijau), dan Cyanophyceae (alga biru-hijau).

Keragaman jenis makroalga dan kandungan biokimianya bervariasi tergantung dari jenis spesies, lokasi geografis, musim, dan temperatur (Manivannan dkk. 2008). Kandungan biokimia antara lain karbohidrat, protein, lipid bervariasi tergantung jenis spesies, letak geografis, dan cuaca (Nelson dkk. 2002).

Rumput laut merupakan salah satu sumber devisa negara dan pendapatan bagi masyarakat pesisir. Selama ini rumput laut dimanfaatkan untuk berbagai keperluan antara lain untuk makanan (salad, agar-agar), pertanian (pupuk, makanan hewan, hidroponik, 14 akuaponik), serta bahan baku di bidang kesehatan, medis, dan kosmetik (Lee dkk. 2008). Selain itu, pada dekade terakhir ini telah dilakukan beberapa studi mengenai kemampuan ekstrak makroalga sebagai anti bakteri, anti jamur, anti inflamasi dan anti oksidan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa makroalga dari genus *Sargassum sp.* memiliki aktivitas sebagai anti biofouling (Bazes, A dkk, 2009). Hal ini merupakan suatu nilai istimewa bagi makroalga itu sendiri di bidang industri farmasi dan kedokteran. Namun, pemanfaatan rumput laut di Indonesia masih belum optimal dan masih terbatas pada industri makanan. Untuk itu perlu dilakukannya usaha

pemanfaatan ekstrak rumput laut di berbagai bidang mengingat melimpahnya ketersediaan rumput laut di Indonesia.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan studi mengenai senyawa antibakteri ramah lingkungan dalam makroalga (*Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.*) yang diduga efektif menghambat pertumbuhan mikroba pengoksidasi besi yang biasanya terdapat di pipa bawah laut.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Biokimia Program Studi Kimia Institut Teknologi Bandung. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rumput laut *Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.* yang diperoleh dari Pantai Sayang Heulang Pameungpeuk Garut, kultur *Thiobacillus ferrooxidans* yang diperoleh dari laboratorium Mikrobiologi ITB dan bahan kimia yang diperoleh dari gudang bahan Program Studi Kimia ITB. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari gudang alat Laboratorium Biokimia ITB.

Ekstraksi makroalga

Ekstraksi rumput laut dilakukan menggunakan soxhlet dengan pelarut kloroform p.a (Merck) dan metanol p.a (Merck) dengan perbandingan 1:1. Proses

ini diawali dengan ekstraksi rumput laut secara fisik (maserasi) dengan pelarut metanol. Ekstraksi menggunakan soxhlet dilakukan selama 4 jam sampai semua minyak terekstrak. Selanjutnya ditambahkan MgSO₄ anhidrat (Merck) untuk menarik sisa air yang ada dalam ekstrak lipid. Pelarut diuapkan menggunakan alat destilasi pada suhu pelarut. Semua ekstrak yang dihasilkan disimpan pada suhu -20°C.

Kultivasi Bakteri Thiobacillus ferrooxidans

Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* diperoleh dari koleksi Laboratorium Mikrobiologi SITH ITB dalam bentuk cair. Bakteri ini lalu diremajakan dengan komposisi media : K₂HPO₄ 0,04%; MgSO₄·7H₂O 0,04%; (NH₄)₂SO₄ 0,04%, FeSO₄·7H₂O 3,34%, H₂SO₄ 2M 0,4% (agar 3% untuk media padat) dalam pelarut aquades. Media di *adjust* menggunakan NaOH 2M sampai pH 2,5-3. Bakteri ini tumbuh optimal dalam keadaan gelap (tidak terkena cahaya) dalam waktu 3 hari, ditandai dengan berubahnya warna media menjadi warna jingga pekat.

Uji Kualitatif Ekstrak Makroalga

Uji kualitatif dilakukan pada media padat dalam cawan petri dengan paku

sebagai sumber besi. Sebanyak 10 μ L bakteri di *spread* ke dalam media padat cawan petri yang sudah mengandung masing-masing 10 μ L ekstrak alga dalam berbagai fraksi. Pengamatan dilakukan secara kasat mata terhadap banyaknya korosi yang terdapat pada paku besi tersebut.

Uji Kuantitatif Ekstrak Makroalga dan Penentuan Laju Inhibisi Korosi

Uji kuantitatif dilakukan pada media cair dengan menggunakan *coupon* besi dengan luas permukaan 3,6 cm². Pada awalnya ditentukan nilai dosis optimum untuk menghambat pertumbuhan *T. ferrooxidans* melalui variasi konsentrasi ekstrak pada selang waktu yang sama. Selanjutnya dengan dosis tersebut, ditentukan laju inhibisi korosi dengan variasi hari. Laju inhibisi ekstrak makroalga terhadap korosi pada *coupon* ditentukan melalui metode pengurangan berat sampel (*weight loss*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

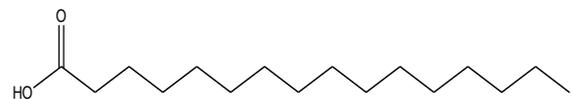
Kelimpahan Rumput Laut

Sampel rumput laut diambil dari pantai Sayang Heulang, Pameungpeuk Garut mewakili dua kelas makroalga yaitu *Gracilaria sp.* (Rhodophyta) dan *Sargassum sp.* (Phaeophyta). Sampel diambil di pagi hari pada kedalaman 20-

50 cm dari permukaan laut dengan kondisi cuaca mendung, suhu air laut \pm 26°C dan pH 6. Pada saat sampling, kelimpahan *Sargassum sp.* lebih banyak dibandingkan dengan kelimpahan *Gracilaria sp.*. Hal ini dikarenakan di pantai Sayang Heulang ini terdapat terumbu karang dengan jumlah yang banyak sebagai tempat tumbuhnya *Sargassum sp.*, sedangkan *Gracilaria sp.* menggunakan pasir sebagai dasar tumbuhnya yang jumlahnya relatif sedikit.

Ekstraksi Sargassum sp. dan Gracillaria sp.

Ekstraksi makroalga dilakukan dengan menggunakan pelarut kloroform metanol yang memiliki tingkat kepolaran yang sesuai dengan tingkat kepolaran asam palmitat (Gambar 1) yang diduga memiliki aktivitas anti bio-korosi (Bazes, dkk., 2009).



Gambar 1. Struktur Asam Palmitat

Hasil ekstraksi soxhlet menunjukkan adanya dua fasa baik pada *Sargassum sp.* maupun *Gracilaria sp* (Tabel 1).

Tabel 1. Yield Ekstraksi Makroalga Terhadap Berat Basah % (w/w)

Makroalga	Yield (%) Hasil ekstraksi soxhlet			Yield (%) Hasil Destilasi Fasa Metanol
	Fasa Klorofom	Fasa Metanol	Fasa Air	
	<i>Gracilaria sp.</i>	70	25	5
<i>Sargassum sp.</i>	15	82	3	44,5

Kultivasi Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*

Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* merupakan bakteri asidofilik obligat, sehingga selama proses kultivasi, bakteri ini ditumbuhkan dalam media yang memiliki nilai pH 2,5-3. Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* memperoleh sumber nitrogen dari ammonium sulfat yang ditambahkan sebanyak 0,04% ke dalam media dan sumber energi dari $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Lazaroff 1962). Waktu optimal pertumbuhannya adalah 72 jam dengan aerasi yang cukup baik. Selama pertumbuhannya, bakteri ini diinkubasi pada *shaker* suhu ruang dengan kecepatan 150 rpm dan ditutupi kantong plastik warna hitam untuk mencegah adanya cahaya yang masuk.

Pertumbuhan *Thiobacillus ferrooxidans* pada media cair ditandai dengan berubahnya warna medium menjadi kuning karat (Hazra dkk. 2004). Hal ini dikarenakan bakteri ini

mendapatkan energinya melalui oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} (Gambar 2). Melalui kultivasi pada media padat, dapat diketahui bahwa koloni tunggal dari *T. ferrooxidans* membentuk koloni satu sama lain dan berwarna putih bening.



Gambar 2 Hasil Kultivasi *Thiobacillus ferrooxidans* pada Media Cair. Blanko media (kiri), media + *T. ferrooxidans* (kanan)

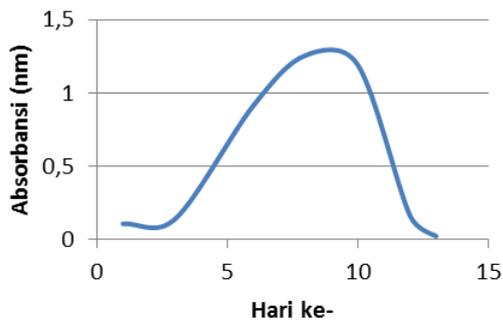
Berikut adalah gambar hasil peremajaan *Thiobacillus ferrooxidans* pada media padat cawan petri (Gambar 3).



Gambar 3. Hasil Kultivasi *Thiobacillus ferrooxidans* pada Media Padat

Masa hidup *T. ferrooxidans* dapat diketahui dengan cara membuat kurva pertumbuhan *T. ferrooxidans* yang diinkubasi pada shaker suhu ruang 150

rpm dengan mengukur nilai *Optical Density (OD)* pada panjang gelombang 600 nm. Melalui kurva tersebut dapat diketahui bahwa *T. ferrooxidans* mengalami fasa lag selama tiga hari sedangkan fasa log berlangsung sampai hari ke-7. Fasa saturated berlangsung singkat yaitu pada hari ke-8 & 9. Bakteri ini mulai mengalami kematian sel pada hari ke-10. Berikut adalah kurva pertumbuhan *T. ferrooxidans* (Gambar 4).



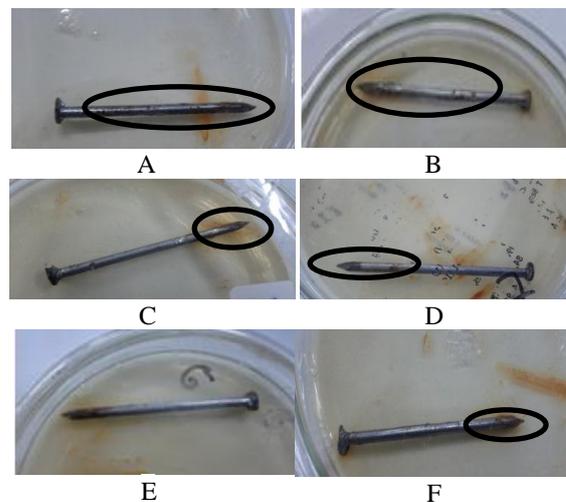
Gambar 4. Kurva Pertumbuhan *Thiobacillus ferrooxidans*

Uji Kualitatif dan Kuantitatif Ekstrak Makroalga Terhadap Bakteri *T. ferrooxidans*

Uji kualitatif dilakukan pada media padat yang berisi paku dengan enam kondisi berbeda berdasarkan variasi ekstrak yang diperoleh. (Gambar 5). Media tanpa ekstrak digunakan sebagai blanko sedangkan methanol digunakan sebagai kontrol.

Melalui hasil uji kualitatif dapat diketahui bahwa fasa metanol dari kedua

ekstrak memiliki daya inhibisi yang lebih besar daripada fasa kloroform. Hal ini dilihat dari jumlah korosi yang ditimbulkan pada paku dalam media tersebut. Media yang mengandung ekstrak dalam fasa metanol memberikan efek korosif yang lebih rendah daripada media dengan ekstrak fasa kloroform.

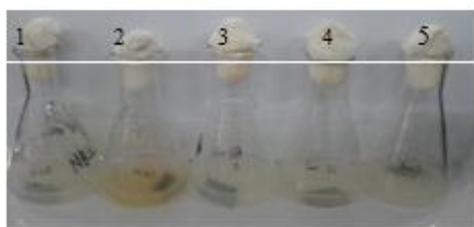


Gambar 5. Uji Kualitatif pada media padat. (A) media + bakteri + paku, (B) media + bakteri + paku + methanol, (C) media + bakteri + paku + ekstrak *Sargassum fasa methanol*, (D) media + bakteri + paku + ekstrak *Sargassum fasa kloroform*, (E) media + bakteri + paku + ekstrak *Gracilaria fasa kloroform*, (F) media + bakteri + paku + ekstrak *Gracilaria fasa metanol*

Pada penelitian sebelumnya, metanol dilaporkan memiliki aktivitas antibakteri terhadap bakteri tertentu (Selvin dkk. 2004). Oleh karena itu, pada uji ini dilakukan pula uji media + metanol yang berfungsi sebagai kontrol. Namun, ternyata korosi yang ditimbulkan pada media dengan metanol lebih banyak

daripada korosi yang ditimbulkan pada kedua ekstrak dalam fasa metanol. Hal ini menunjukkan bahwa ada suatu senyawa lain dalam ekstrak fasa metanol yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* sehingga korosi yang ditimbulkannya lebih sedikit.

Selanjutnya dilakukan uji kuantitatif pada media cair dengan fraksi aktif tersebut. Uji dilakukan dengan 5 kondisi berbeda. (Gambar 6).



Hari pertama



Hari kelima

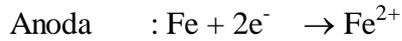
Gambar 6. Uji Kuantitatif *Thiobacillus ferrooxidans* dalam Media Padat
 1. Media+coupon, 2. Media+coupon+*T. ferrooxidans*, 3. Media+coupon+*T. ferrooxidans*+ekstrak *Gracilaria*, 4. Media+coupon+*T. ferrooxidans*+ekstrak *Sargassum*, 5. Media+coupon+*T. ferrooxidans*+*Biocide*

Pada kondisi pertama, dilakukan uji pada media yang hanya berisi *coupon*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui

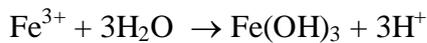
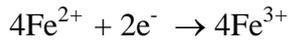
pengaruh lingkungan (media) terhadap korosi yang ditimbulkan, mengingat bahwa media yang digunakan merupakan media asam yang memiliki pH ~2,5 - 3. Pada kondisi ini tentu ada sebagian kecil dari *coupon* yang terkorosi sehingga kondisi ini digunakan sebagai faktor koreksi dalam penelitian ini. Kondisi kedua adalah media berisi *T. ferrooxidans* dan *coupon* yang berperan sebagai kontrol sehingga dapat diketahui besarnya korosi yang ditimbulkan oleh bakteri pengoksidasi tersebut, sedangkan kondisi ketiga dan keempat adalah kondisi media yang berisi *T. ferrooxidans*, *coupon* dan ekstrak makroalga. Kondisi kelima adalah kondisi dimana ekstrak makroalga digantikan oleh *biocide* komersial. *Biocide* ini digunakan sebagai pembanding efektivitas dari ekstrak makroalga tersebut sebagai inhibitor biokorosi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada hari pertama, diketahui bahwa media tanpa ekstrak berwarna kuning jingga sedangkan media lainnya berwarna kuning pucat sama dengan warna blanko (media + *coupon*). Hal ini mengindikasikan bahwa bakteri *T. ferrooxidans* memberikan efek yang signifikan terhadap terjadinya proses korosi pada tahap awal. Bakteri *T. ferrooxidans* ini memperoleh energi

melalui reaksi oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} .

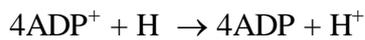
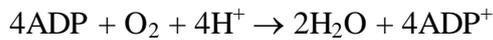
Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



Reaksi yang dikatalisis *T. ferrooxidans*:



Reaksi metabolisme *T. ferrooxidans* :



Pada hari ke-5 semua media menunjukkan warna kuning jingga yang menunjukkan telah terjadi proses korosi pada semua media. Untuk mengetahui pengaruh penambahan ekstrak *Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.* terhadap korosi yang ditimbulkan, dilakukan uji kuantitatif dalam media cair melalui metode *weight-loss*. Data hasil pengamatan setelah lima hari disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 menjelaskan bahwa kedua ekstrak makroalga dengan konsentrasi 100 μ L dalam 10 ml media memberikan efek inhibisi yang cukup signifikan dibanding dengan konsentrasi 10 μ L. Hal ini dilihat dari pengurangan berat yang

lebih kecil dibandingkan dengan media tanpa ekstrak.

Tabel 2. Hasil Pengamatan Uji Kuantitatif setelah 5 hari

Sampel	Pengurangan Berat <i>coupon</i> (g)
Media + <i>coupon</i> (lingkungan)	0,0103
Media+ <i>T. ferrooxidans</i> + <i>coupon</i>	0,0122
Media+ <i>T. ferrooxidans</i> + <i>coupon</i> + ekstrak <i>Gracilaria sp.</i> 10 μ L	0,0112
Media+ <i>T. ferrooxidans</i> + <i>coupon</i> + ekstrak <i>Gracilaria sp.</i> 100 μ L	0,00845
Media+ <i>T. ferrooxidans</i> + <i>coupon</i> + ekstrak <i>Sargassum sp.</i> 10 μ L	0,0535
Media+ <i>T. ferrooxidans</i> + <i>coupon</i> + ekstrak <i>Sargassum sp.</i> 100 μ L	0,0110
Media+ <i>T. ferrooxidans</i> + <i>coupon</i> + <i>Biocide</i> 10 μ L	0,0093

Efisiensi inhibisi ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$P = \frac{k_{g0} - k_g}{k_{g0}} \times 100$$

k_{g0} = laju korosi tanpa inhibitor (mg/m^2 hari)

k_g = laju korosi dengan inhibitor (mg/m^2 hari)

Melalui perhitungan di atas, diketahui bahwa efisiensi inhibisi ekstrak *Gracilaria sp.* 10 μ L dan 100 μ L dalam 10 ml media berturut-turut adalah 8, 2% dan 30, 74%. Sedangkan ekstrak *Sargassum sp.* 10 μ L dan 100 μ L berturut-turut adalah 33,8, 52% dan 9, 84%. *Biocide* 10 μ L memberikan efisiensi inhibisi sebesar 23,77%. Ekstrak *Gracilaria sp.* memiliki nilai inhibisi yang lebih besar daripada ekstrak *Sargassum sp.* pada konsentrasi yang sama. Namun, dengan konsentrasi

10 kali lipatnya, ekstrak *Gracilaria sp* mampu menghambat 29,3% lebih efektif daripada *biocide* komersial. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan konsentrasi ekstrak makroalga dapat meningkatkan laju inhibisi.

Korosi yang terjadi merupakan *pitting corrosion*, yaitu korosi yang berbentuk lubang-lubang pada permukaan logam karena hancurnya film dari proteksi logam. Hal ini terlihat dari adanya lubang-lubang kecil pada *coupon* yang terkorosi (Gambar 7).



Gambar 7. Permukaan Logam yang terkorosi

Dilihat dari mekanisme inhibisinya, ekstrak makroalga *Sargassum sp* menghambat dengan membentuk lapisan pasif di permukaan logam. Hal ini terlihat dari adanya suatu lapisan berwarna merah bata keemasan pada logam

tersebut yang susah dihilangkan menggunakan cairan penghapus karat setelah diinkubasi. Lapisan pasif tersebut dapat melindungi logam dari serangan lingkungan yang dapat menyebabkan korosi. Namun kelemahannya, logam mengalami korosi terlebih dahulu sebelum terbentuk lapisan pasif tersebut, sehingga terdapat pengurangan berat yang cukup memberikan pengaruh pada kerugian ekonomi akibat korosi. Namun, pada ekstrak *Gracilaria sp*, tidak terdapat lapisan pasif berwarna merah keunguan tersebut. Kemungkinan mekanisme inhibisi pada ekstrak *Gracilaria sp*, adalah melalui pembentukan suatu lapisan tipis tak kasat mata dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor.

KESIMPULAN

Ekstrak makroalga *Gracilaria sp*. dan *Sargassum sp*. memiliki potensi sebagai agen anti korosi yang disebabkan oleh pertumbuhan bakteri *T. ferrooxidans*. Dilihat dari mekanisme inhibisinya, ekstrak makroalga *Sargassum sp* menghambat dengan membentuk lapisan pasif di permukaan logam, sedangkan mekanisme inhibisi pada ekstrak *Gracilaria sp*. melalui pembentukan suatu lapisan tipis tak kasat mata.

DAFTAR RUJUKAN

- Akhadi, M. 2000, Korosi pada Alat Elektronika. *Elektro Indonesia*, Tahun VI, no. 32, hh.32.
- Bazes, A., Silkina, A., Douzenel, P., Fay, F., Kervarec, N., Morin, D., Berge, JP., Bourgougnon, N. 2009, Investigation of the antifouling constituents from the brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt, *Journal of Applied Phycology*, vol. 21, no. 4, hh. 395-403.
- Cetrullo, S., Tantini, B., Flamigni, F., Pazzini, C., Facchini, A., Stefanelli, C., Caldarera, CM., Pignatti, C. 2012, *Antiapoptotic and Antiautophagic Effects of Eicosapentaenoic Acid in Cardiac Myoblasts Exposed to Palmitic Acid. Nutrients*, vol. 4, hh. 78-90.
- Dalimunthe, Indra S. 2004, *Kimia dari Inhibitor Korosi*, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara.
- Halimatuddahlia 2003, *Pencegahan Korosi Dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi*, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara
- Hazra, F., dan Widyati, E. 2004, Isolation, Carriers Selection and Inoculum Formulation of *Thiobacillus* sp.p. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, vol. 9, no. 2, hh. 71-76.
- Indriani, H, dan E. Suminarsih 2004, *Rumput Laut*, PT. Penebar Swadaya, Bogor, IPTEKnet, Sentra Informasi IPTEK, BPPT, Jakarta.
- Isa, I. 2004, Bioremediation of Heavy Metals from Sediments Using *Thiobacillus ferrooxidans*, *JBP*, vol. 6, no. 2, hh. 59-62.
- Lazaroff, N. 1962, *Sulfate Requirement For Iron Oxidation By Thiobacillus ferrooxidans*, *British Columbia Research Council*, hh. 78-83.
- Lee, B. 2008, Seaweed Potential as a marine vegetable and other Opportunities, *RIRDC Publication* no.08/009, ISSN 1440-6845, hh.3-19.
- Li, Songmei., Zhang, Yuanyuang., Liu, Jianhua., Yu, Mei. 2008, Corrosion Behavior of Steel A3 Influenced by *Thiobacillus Ferrooxidans*, *Acta Physico-Chimica Sinica*, vol. 24, no. 9, hh. 1553-1557.
- Liu, Jianhua., Liang, Xin., Li, Songmei. 2007, Corrosion Behavior of Steel A3 Exposed to *Thiobacillus Ferrooxidans*, *Journal Material Science and Technology*, vol. 24, no. 5, hh. 766-770.

- Manivannan, K., Thirumaran, G., Karthikai, G.E., Hemalatha, A. and Anantharaman, P. 2008, Biochemical Composition of Seaweeds from Mandapam Coastal Regions along Southeast Coast of India, *American-Eurasian Journal of Botany*, vol. 1, no. 2, hh. 32-37.
- Nelson, M., Phleger, C. F., Nichols, P.D., 2002, Seasonal Lipid Composition in Macroalgae of the Northeastern Pacific Ocean, *Botanica Marina* vol. 45, hh. 58-65.
- Nowaczyk, K., Juszczak, A., Domka, F., Siepak, J. 1998, The Use of Thiobacillus Ferrooxidans Bacteria in the Process of Chalcopyrite Leaching, *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 7, No. 5, hh. 307-312.
- Priandani, M. 2001, *Studi Pengaruh Inhibitor Formaldehid Terhadap Korosi Baja Karbon ASTM A 283 oleh Bakteri Pereduksi Sulfat (SRB) di dalam Air Laut*, Master Thesis, Program Khusus Rekayasa Korosi, Program Studi Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.
- Pronk, J.T., Bruyn, C De., Bos, P., and Kuenen, J.G. 1992, Anaerobic Growth of Thiobacillus ferrooxidans, *Applied And Environmental Microbiology*, vol. 58, no. 7, hh. 2227-2230.
- Rawling, DE and Kusano, T. 1994, Molecular Genetics of Thiobacillus ferrooxidans, *Microbiological Reviews*, vol. 58, no. 1, hh. 39-55.
- Purwadi, Stevani O. 2012, *Karakterisasi Komponen Rumput Laut Gracilaria sp.* Tesis, Program Studi Kimia. ITB.
- Selvin, J and Lipton, A.P. 2004. *Antifouling activity of bioactive substances extracted from Holothuria scabra*. *Hydrobiologia* 513, hh. 251-253.
- Tsuyoshisugio,., Domatsu, C., Tano, T., Imai, K. 1984, Role of Ferrous Ions in Synthetic Cobaltous Sulfide Leaching of Thiobacillus ferrooxidans, *American Society for Microbiology*, vol. 48, no. 3, hh. 461-467.
- Wiraswati, Hesti L. 2011, *Isolasi dan Identifikasi Lipid dari Rumput Laut untuk Produksi Biodiesel*, Tesis, Program Studi Kimia, ITB.