

BIOAKTIVITAS EKSTRAK MAKROALGA *Sargassum sp.* DAN *Gracilaria sp.* TERHADAP KOROSI MIKROBIAL *T. Ferrooxidans*

Isriyanti Affifah¹, Fida Madayanti Warganegara², Bunbun Bundjali³ Rahmat F
Septiyanto⁴, Irah Namirah¹, Rifdah Hanifah⁵

¹Jurusan Pendidikan Kimia, FKIP, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

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

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

⁴Jurusan Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

⁵Jurusan Biologi, FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

E-mail: isriyanti@untirta.ac.id

Diterima: 14 Juli 2019. Disetujui: 25 Juli 2019. Dipublikasikan: 30 Juli 2019

DOI: 10.30870/educhemia.v4i2.6047

Abstract: Microbial corrosion is corrosion caused by microbial growth. This type of corrosion can affect and accelerate the process of corrosion due to the presence of microbes. Underwater pipes are one material that is often overgrown with bacteria that cause corrosion. Corrosion due to microbial activity can cause leaks underwater pipes that can pollute the environment and other marine biota. These microbes grow and settle on the pipe for a long time and cause pipe solidification. One microbe that can cause microbial corrosion is an aerobic bacterium that plays an active role in the microbial corrosion process, namely the bacterium *Thiobacillus*. This type of bacteria is capable of producing corrosive acidic environmental conditions resulting from the oxidation of sulfur to sulfuric acid. In this study determined the corrosion inhibition rate and optimum macroalgae dose used to obtain optimal inhibition results. Methanol extract of *Gracilaria sp.* and *Sargassum sp.* were able to inhibit the growth of *T. ferrooxidans* at doses of 300 μ L and 400 μ L in 10 ml of media. LC50 value of *Sargassum sp.* Extract. is 483 μ L while for *Gracilaria sp.* is 461 μ L in 25 ml of media.

Keywords: bioactivity; microbial corrosion; macroalgae; *T. ferrooxidans*

Abstrak: Korosi mikrobial merupakan korosi yang disebabkan oleh adanya pertumbuhan mikroba. Korosi jenis ini dapat mempengaruhi dan mempercepat proses terjadinya korosi karena adanya mikroba. Pipa bawah laut merupakan salah satu material yang sering ditumbuhi bakteri penyebab korosi. Korosi akibat aktivitas mikroba dapat menyebabkan kebocoran pipa bawah laut yang dapat mencemari lingkungan dan biota laut lainnya. Mikroba tersebut tumbuh dan menetap pada pipa selama beberapa lama dan menyebabkan perkaratan pipa. Salah satu mikroba yang dapat menyebabkan korosi mikrobial adalah bakteri aerob yang berperan aktif dalam proses mikrobial korosi yaitu bakteri *Thiobacillus*. Bakteri jenis ini mampu menghasilkan kondisi lingkungan asam yang bersifat korosif hasil dari oksidasi sulfur menjadi asam sulfat. Pada penelitian ini ditentukan laju inhibisi korosi dan dosis optimum makroalga yang digunakan untuk mendapatkan hasil inhibisi yang optimal. Ekstrak metanol *Gracilaria*

sp. dan *Sargassum sp.* mampu menghambat pertumbuhan *T. ferrooxidans* pada dosis 300 μ L dan 400 μ L dalam 10 ml media. Nilai LC₅₀ ekstrak *Sargassum sp.* adalah 483 μ L sedangkan untuk ekstrak *Gracilaria sp.* adalah 461 μ L dalam 25 ml media.

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

PENDAHULUAN

Korosi microbial merupakan korosi yang disebabkan oleh adanya pertumbuhan mikroba. Aktivitas mikroorganisme mungkin menyebabkan korosi lubang (*pitting corrosion*) dan menyebabkan kerugian ekonomi yang serius bagi industri dalam beberapa tahun terakhir (Soe et al., 2011). Korosi jenis ini dapat mempengaruhi dan mempercepat proses terjadinya korosi karena adanya aktivitas mikroba. Mikroorganisme penyebab korosi ini berperan aktif dalam proses korosi melalui reaksi katoda-anoda, pembentukan biofilm, dan menghasilkan metabolit sekunder yang korosif (Chinedu, 2018). Setelah mikroorganisme menyerap ke permukaan material, zat polimer ekstraseluler (EPS) yang disekresikan oleh bakteri, seperti polisakarida ekstraseluler, akan membuat bakteri dan ikatan metabolitnya menyatu dengan substrat, dan kemudian membentuk semacam biofilm yang rumit pada permukaan logam. Biofilm heterogen dan film produk korosi dapat mengubah karakteristik elektrokimia permukaan material, bersama dengan metabolisme bakteri, pembentukan biofilm dapat menyebabkan korosi serius,

yang dapat menurunkan masa pakai material dan peralatan, dan bahkan membawa kerusakan maksimal pada material (Soe et al., 2011).

Pipa bawah laut merupakan salah satu material yang sering ditumbuhi bakteri penyebab korosi. Korosi akibat aktivitas mikroba dapat menyebabkan kebocoran pipa bawah laut yang dapat mencemari lingkungan dan biota laut lainnya. Mikroba tersebut tumbuh dan menetap pada pipa selama beberapa lama dan menyebabkan perkaratan pipa. Salah satu mikroba yang dapat menyebabkan korosi microbial adalah bakteri pereduksi sulfat (Gu et al., 2015). Bakteri yang tumbuh subur dalam tanah dan air yang kaya akan zat organik ini berkembang pada kondisi anaerob dengan kisaran pH 2-9. Mikroba Pereduksi Sulfat ini akan menghasilkan gas H₂S dan air yang akan bereaksi dengan besi membentuk FeS dan Fe(OH)₂. Selain bakteri pereduksi sulfat, terdapat pula bakteri aerob yang berperan aktif dalam proses microbial korosi yaitu bakteri *Thiobacillus*. Spesies *Thiobacillus ferrooxidans* adalah bakteri gram negatif dengan morfologi berbentuk basil dan memiliki flagellum polar (Ruiz et al., 2014). *Thiobacillus ferrooxidans* adalah

jenis strain industri yang umum digunakan dalam industri, yang awalnya dipisahkan dari air limbah asam di tambang oleh Colmer dan Hinkle pada tahun 1947. Bakteri jenis ini mampu menghasilkan kondisi lingkungan asam yang bersifat korosif hasil dari oksidasi sulfur menjadi asam sulfat (Soe et al., 2011).

Penelitian sebelumnya telah dilakukan studi mengenai senyawa antibakteri yang berasal dari logam berat, *booster biocide* dan inhibitor anorganik untuk mencegah korosi microbial tersebut. Namun, antibakteri tersebut memiliki toksisitas yang tinggi dan tidak ramah lingkungan (Bazes et al., 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. Ada tiga kelompok rumput laut laut yang dapat ditemukan di seluruh perairan Indonesia, yaitu rumput laut hijau, merah dan coklat (Kane et al., 2016). Selama beberapa dekade, rumput laut hijau dan merah, terutama dari genus *Kappaphycus* dan *Gracillaria*, telah dibudidayakan untuk karagenan dan agar-agar. Rumput laut juga dibedakan oleh polisakarida-nya tetapi juga oleh senyawa aktif yang telah dipelajari dan terbukti memiliki potensi

yang menjanjikan untuk industri nutraceutical, farmasi dan kosmetikal (Rodrigues et al., 2017). Oleh karena itu, tanaman laut ini telah menarik banyak perhatian selama eksplorasi produk alami alternatif. Produk alami yang berasal dari rumput laut menawarkan sumber daya berkelanjutan dengan aplikasi yang tak terbatas. Di antara tiga lainnya, rumput laut coklat dari kelas *Phaeophyceae* adalah salah satu tanaman laut yang belum sepenuhnya dieksplorasi dan dieksploitasi di Indonesia terlepas dari kelimpahan dan potensi mereka yang luar biasa. Sejumlah penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa polisakarida dan senyawa bioaktif dari rumput laut coklat menunjukkan potensi yang menggembirakan sebagai sumber produk alami dengan antimikroba (Liu et al., 2018) (Maftuch, Kurniawati, Adam, & Zamzami, 2016), antioksidan (de Almeida et al., 2011), antifouling, antivirus (Pramesti dkk., 2017), anti-proliferasi, antiinflamasi (Yende et al., 2014) dan banyak lainnya. Potensi ini dapat diterapkan lebih lanjut dalam makanan, obat-obatan dan kosmetik (Nurjanah dkk., 2017) untuk mengurangi penerapan produk kimia (Torres et al., 2019; de Almeida et al., 2011).

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan studi mengenai senyawa antibakteri ramah lingkungan dalam makroalga (*Sargassum sp.* dan *Gracilaria*

sp.) yang diduga efektif menghambat pertumbuhan mikroba pengoksidasi besi pada baja karbon secara kualitatif dan kuantitatif (Affifah dkk., 2016). Namun pada penelitian tersebut belum ditentukan laju inhibisi korosi dan dosis optimum makroalga yang digunakan untuk mendapatkan hasil inhibisi yang optimal. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan ditentukan kedua nilai tersebut.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Biokimia Program Studi Kimia Institut Teknologi Bandung. Makroalga yang digunakan pada penelitian ini adalah *Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.* yang diperoleh dari Pantai Sayang Heulang Pameungpeuk, Garut. Kultur mikroba *T. ferrooxidans* diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi ITB dan merupakan biakan murni.

Ekstraksi makroalga

Ekstraksi makroalga dilakukan menggunakan pelarut kloroform p.a (Merck) dan metanol p.a (Merck) dengan perbandingan 1:1. Proses ini diawali dengan maserasi menggunakan pelarut metanol. Proses ekstraksi berlangsung selama 4 jam dengan menggunakan ekstraktor Soxhlet. Penambahan $MgSO_4$ anhidrat (Merck) pada hasil ekstraksi dilakukan untuk menarik sisa air yang ada dalam ekstrak lipid makroalga.

Kultivasi Bakteri *T. ferrooxidans*

Bakteri *T. ferrooxidans* diperoleh dari koleksi Laboratorium Mikrobiologi SITH ITB dalam bentuk kultur cair. Bakteri ini dikultivasi pada media : K_2HPO_4 0,04%; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,04%; $(NH_4)_2SO_4$ 0,04%, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 3,34%, H_2SO_4 2M 0,4% (agar 3% untuk media padat) dalam pelarut aquades dengan pH 2,5-3 selama tiga hari pada kondisi minim cahaya.

Penentuan Laju Inhibisi Korosi Ekstrak Makroalga

Pada penelitian pendahuluan telah dilakukan uji kuantitatif pada media cair menggunakan *coupon* besi dengan luas permukaan 3,6 cm². Nilai dosis optimum inhibisi *T. ferrooxidans* ditentukan melalui variasi konsentrasi ekstrak pada selang waktu yang sama. Laju inhibisi korosi dengan variasi hari ditentukan menggunakan dosis optimum yang telah didapat sebelumnya melalui metode pengurangan berat sampel (*weight loss*).

Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri *T. ferrooxidans* di Media Padat

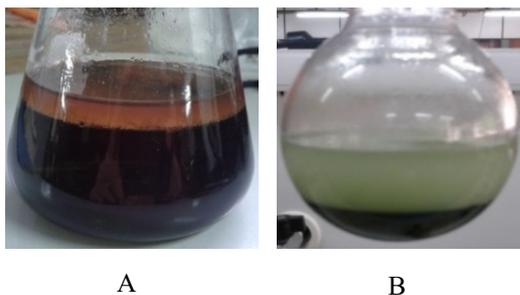
Sebanyak 30 μ L kultur cair *T. ferrooxidans* di pipet dan di *sp.read* ke dalam media padat dalam cawan petri. Media padat tersebut diinkubasi selama tiga hari pada suhu ruang. Koloni tunggal yang diperoleh dipindahkan melalui metode *replica plating* secara aseptik pada media padat yang telah ditambahkan ekstrak makroalga dengan variasi

konsentrasi. Perhitungan jumlah koloni dilakukan setelah inkubasi selama tiga hari dalam suhu ruang. Jumlah koloni dialurkan terhadap konsentrasi makroalga sehingga didapat nilai *Lethal Concentration*₅₀ (*LC*₅₀).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi Makroalga Sargassum sp. dan Gracilaria sp.

Makroalga yang digunakan pada penelitian ini adalah *Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.* Kedua makroalga tersebut diisolasi dari pantai Sayang Heulang Pameungpeuk Garut, Indonesia. Hasil ekstraksi Soxhlet pada makroalga menggunakan pelarut kloroform: methanol dengan perbandingan 1:1 menunjukkan adanya dua fasa baik pada *Sargassum sp.* maupun *Gracilaria sp.* (Gambar 1).



Gambar 1. Hasil Ekstraksi Soxhlet (A. *Sargassum sp.*; B. *Gracilaria sp.*)

Masing-masing fasa dipisahkan dan sebagian disimpan pada suhu -20°C untuk analisis lebih lanjut. Sebagian yang lain didestilasi pada titik didih pelarut untuk menghilangkan pelarutnya. Titik didih

methanol, kloroform, dan campuran azeotrop methanol, kloroform berturut-turut adalah 64°C , 62°C , dan 53°C . Hasil destilasi menunjukkan adanya dua fasa saat diuji kelarutan dalam air, namun batas fasa yang terbentuk tidak sejelas campuran minyak goreng dan air.

Uji Kelarutan Ekstrak Makroalga

Masing-masing fraksi dari ekstrak makroalga *Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.* ditentukan bioaktivitasnya melalui uji kualitatif terhadap kemampuan menghambat pertumbuhan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*. Selanjutnya dilakukan uji kelarutan pada fraksi aktif tersebut pada air, metanol, dan kloroform. Hasil uji kelarutan kedua ekstrak makroalga tersebut diberikan pada Gambar 2.



Ekstrak Sargassum sp.



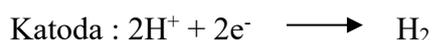
Ekstrak Gracilaria sp.

Gambar 2. Uji Kelarutan Ekstrak Makroalga (dari kiri ke kanan: metanol, kloroform, air)

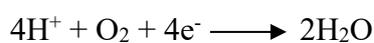
Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa fraksi aktif dari ekstrak makroalga *Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.* tidak larut dalam kloroform tetapi larut pada metanol dan air. Oleh karena itu, fraksi yang digunakan untuk uji bioaktivitas lebih lanjut adalah fraksi metanol dari ekstrak.

Kultivasi Bakteri *T. ferrooxidans*

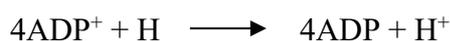
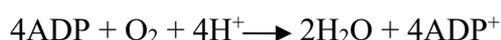
Bakteri *T. ferrooxidans* memperoleh energinya melalui oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} . Reaksi yang terjadi sebagai berikut.



Reaksi yang dikatalisis *T. ferrooxidans* :



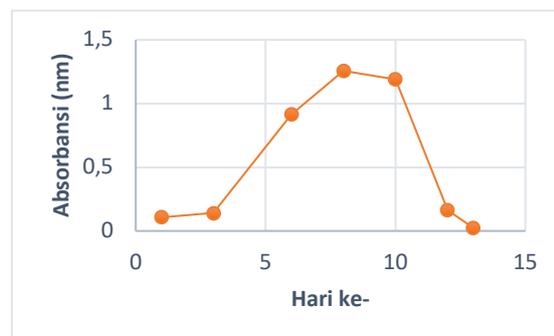
Reaksi metabolisme *T. ferrooxidans* :



Perubahan warna medium cair dari kuning cerah menjadi kuning karat merupakan salah satu indikator adanya pertumbuhan *T. ferrooxidans* (Hazra dkk., 2004).

Bakteri asidofilik obligat ini, 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 tumbuh optimalnya adalah 72 jam dengan aerasi yang cukup baik dan

minim cahaya. Berikut adalah kurva pertumbuhan *T. ferrooxidans* yang diperoleh melalui pengukuran *Optical Density* 600 nm (Gambar 3).



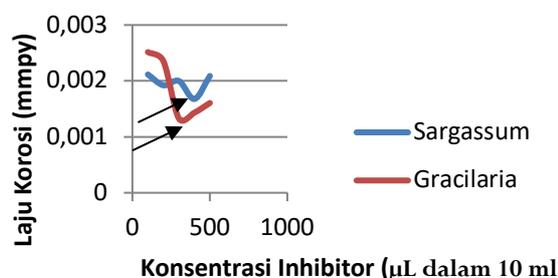
Gambar 3. Kurva Pertumbuhan *T. ferrooxidans*

Penentuan Laju Inhibisi Korosi Ekstrak Makroalga

Untuk mengetahui konsentrasi optimum dalam menghambat laju korosi yang disebabkan oleh pertumbuhan *T. ferrooxidans*, dilakukan uji kuantitatif variasi konsentrasi dengan waktu inkubasi tertentu, yaitu selama 7 hari. Laju korosi ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Laju korosi (mmpy)} = \frac{\Delta W \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}{1000 \times \rho \times A} \times 10$$

Hasil uji tersebut terlihat pada Gambar 4.

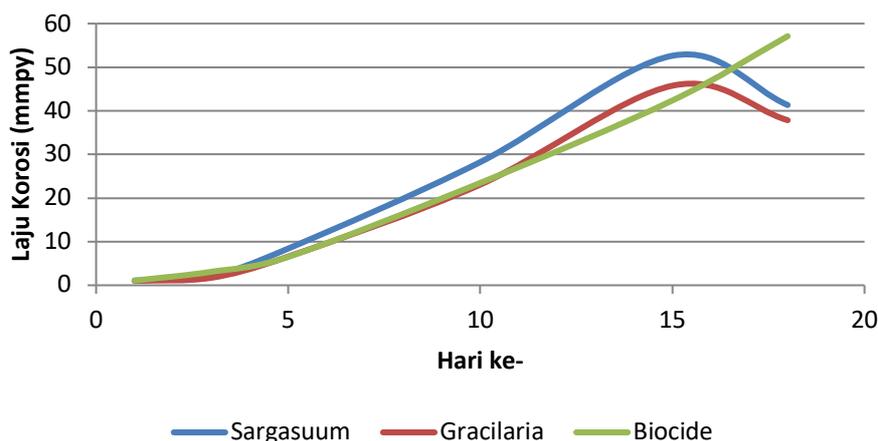


Gambar 4. Uji Kualitatif *T. ferrooxidans* Hari ke-7

Kurva pada Gambar 4 menunjukkan bahwa konsentrasi optimum ekstrak *Sargassum sp.* dan ekstrak *Gracilaria sp.* yang memberikan laju korosi paling kecil berada pada konsentrasi 400 μ L dan 300 μ L. Laju korosi di atas nilainya berbanding lurus dengan pengurangan berat logam akibat korosi. Pada konsentrasi kurang dari konsentrasi optimum tersebut, kedua ekstrak makroalga berperan sebagai *pro-oxidant* yaitu zat yang menyebabkan (men-*trigger*) terjadinya korosi tersebut. Begitu pula pada konsentrasi diatas 300 μ L (*Gracilaria*) dan 400 μ L (*Sargassum*), pengurangan berat meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ekstrak *Sargassum sp.* dan ekstrak *Gracilaria sp.* memiliki aktivitas anti-

biokorosi pada konsentrasi tertentu. Pada konsentrasi tertentu itulah kedua ekstrak berperan sebagai inhibitor biokorosi. Dengan konsentrasi optimum tersebut dilakukan uji kuantitatif variasi hari untuk dapat mengetahui besarnya laju korosi yang ditimbulkan (Gambar 5).

Berdasarkan Gambar 5, diketahui bahwa ekstrak *Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.* hanya mampu menghambat pertumbuhan bakteri *T. ferrooxidans* sampai hari ketiga. Hasil yang relatif sama ditunjukkan oleh *biocide* komersial yang dijadikan sebagai pembanding dalam penelitian ini. Ketiganya hanya mampu menghambat korosi sampai hari ketiga. Namun, kurva yang dihasilkan oleh *biocide* komersial lebih landai yang mengindikasikan pengurangan berat yang lebih kecil.



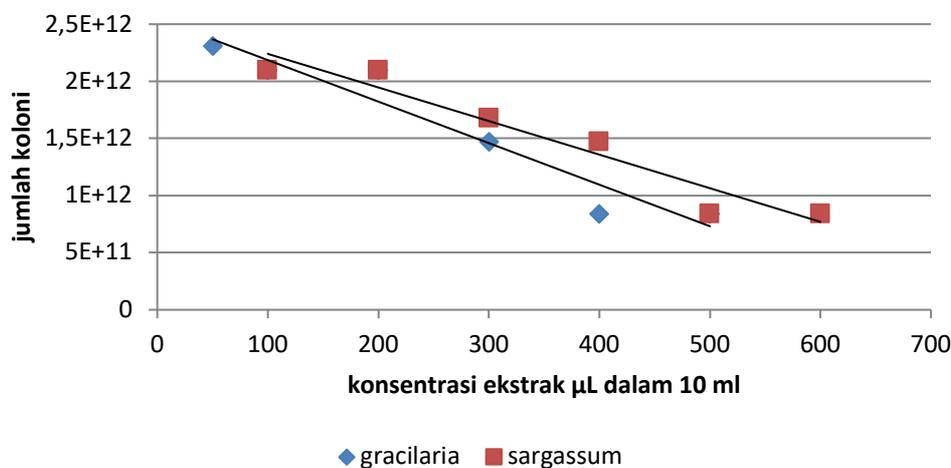
Gambar 5. Laju Korosi (mppy) *T.ferrooxidans* + Ekstrak Makroalga

Bioaktivitas ekstrak *Sargassum sp.* dan *Gracilaria sp.* juga ditentukan melalui perhitungan jumlah koloni dan penentuan

nilai *Lethal Concentration*₅₀ (*LC*₅₀) nya, yaitu konsentrasi yang mampu menghambat 50% dari jumlah koloni

bakteri tersebut. Uji dilakukan pada media padat dengan metode *replica plating*.

Berikut adalah kurva hasil penentuan nilai LC_{50} . (Gambar 6).



Gambar 6. Penentuan Nilai LC_{50} Ekstrak Makroalga terhadap Pertumbuhan *T. ferrooxidans* dalam Media Padat

Dari kurva di atas, nilai LC_{50} ekstrak *Sargassum sp.* adalah 483 µL sedangkan untuk ekstrak *Gracilaria sp.* adalah 461 µL dalam 25 ml media. Dosis tersebut

mampu menghambat 50% jumlah koloni bakteri *T. ferrooxidans* pada pengenceran 10^{-10} media.

KESIMPULAN

Ekstrak metanol *Gracilaria sp.* dan *Sargassum sp.* mampu menghambat pertumbuhan *T. ferrooxidans* pada dosis 300µL dan 400µL dalam 10 ml media.

Nilai LC_{50} ekstrak *Sargassum sp.* adalah 483 µL sedangkan untuk ekstrak *Gracilaria sp.* adalah 461 µL dalam 25 ml media.

DAFTAR PUSTAKA

Affifah, I., Warganegara, F. M., & Bundjali, B. (2016). Uji Kualitatif Dan Kuantitatif Ekstrak Bio-Korosi Pada Baja Karbon. *EduChemia*, 1(2), 110–123.

Bazes, A., Silkina, A., Douzenel, P., Faÿ,

F., Kervarec, N., Morin, D., ... Bourgougnon, N. (2009). Investigation of the antifouling constituents from the brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. *Journal of Applied*

- Phycology*, 21(4), 395–403.
<https://doi.org/10.1007/s10811-008-9382-9>
- Chinedu, I. (2018). *Journal of Chemical , Biological and Physical Sciences Mechanism of Microbial Corrosion : A Review*. (August 2016).
- de Almeida, C. L. F., Falcão, H. de S., Lima, G. R. d. M., Montenegro, C. de A., Lira, N. S., de Athayde-Filho, P. F., ... Batista, L. M. (2011). Bioactivities from marine algae of the genus *Gracilaria*. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(7), 4550–4573.
<https://doi.org/10.3390/ijms12074550>
- Gu, T., Xu, D., Zhang, P., Li, Y., & Lindenberger, A. (2015). Microbiologically Influenced Corrosion and Its Impact on Metals and Other Materials. *Microbiology for Minerals, Metals, Materials and the Environment*, 383–408.
<https://doi.org/10.1201/b18124-16>
- Kane, S. N., Mishra, A., & Dutta, A. K. (2016). Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016). *Journal of Physics: Conference Series*, 755(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Liu, N., Fu, X., Duan, D., Xu, J., Gao, X., & Zhao, L. (2018). Evaluation of bioactivity of phenolic compounds from the brown seaweed of *Sargassum fusiforme* and development of their stable emulsion. *Journal of Applied Phycology*, 30(3), 1955–1970.
<https://doi.org/10.1007/s10811-017-1383-0>
- Maftuch, Kurniawati, I., Adam, A., & Zamzami, I. (2016). Antibacterial effect of *Gracilaria verrucosa* bioactive on fish pathogenic bacteria. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 42(4), 405–410.
<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2016.10.005>
- Nurjanah, Mala Nurilmala, Effionora Anwar, Novi Luthfiyana, T. H., Luthfiyana, N., & Hidayat, T. (2017). Identification of Bioactive Compounds of Seaweed *Sargassum* sp. and *Euclima cottonii* Doty as a Raw Sunscreen Cream. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: Pakistan Academy of Sciences B. Life and Environmental Sciences*, 54(4), 311–318. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Taufik_Hidayat28/publication/323162708_Identification_of_Bioactive_Compounds_of_Seaweed_Sargassum_sp_and_Euclima_cottonii_Doty_as_a_Raw_Sunscreen_Cream/links/5a8385bc45851504fb3a5fae.pdf

- Pramesti, R., Setyati, W. A., Zainuddin, M., & Puspita, M. (2017). Bioecology of *Sargassum* sp. and its Extract Bioactivity as Anti-MDR Bacteria. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 22(4), 185.
<https://doi.org/10.14710/ik.ijms.22.4.185-192>
- Rodrigues, D., Freitas, A. C., Queirós, R., Rocha-Santos, T. A. P., Saraiva, J. A., Gomes, A. M. P., & Duarte, A. C. (2017). Bioactive Polysaccharides Extracts from *Sargassum muticum* by High Hydrostatic Pressure. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), 1–12.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.12977>.
- Ruiz, E., Aperador, W., & Mejia, A. (2014). Effects of thiobacillus ferrooxidans on corrosion of AISI 4140 Steel in presence of oil biodiesel. *International Journal of Electrochemical Science*, 9(11), 5937–5947.
- Soe, K., Li, S. M., Liu, J. H., & Yu, M. (2011). Corrosion Behavior of 10CrNiCu Steel Influenced by *Thiobacillus Ferrooxidans*. *Advanced Materials Research*, 233–235(9), 2633–2639.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.233-235.2633>
- Torres, P., Santos, J. P., Chow, F., & dos Santos, D. Y. A. C. (2019). A comprehensive review of traditional uses, bioactivity potential, and chemical diversity of the genus *Gracilaria* (Gracilariales, Rhodophyta). *Algal Research*, 37(December 2018), 288–306.
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.12.009>.
- Yende, S., Chaugule, B., & Harle, U. (2014). Therapeutic potential and health benefits of *Sargassum* species. *Pharmacognosy Reviews*, 8(15), 1.
<https://doi.org/10.4103/0973-7847.125514>.