

Studi Laju *Biocorrosion* Pada Baja Karbon Rendah Di Lingkungan Laut *Tropics*

Ni Putu Waisna Ariesta Santhi, Tjokorda Gede Tirta Nindhia, dan Dewa Ngakan Ketut Putra Negara

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Masalah keselamatan akibat korosi logam tidak dapat diabaikan dan secara serius memengaruhi perkembangan ekonomi. Di antaranya korosi laut menyumbang 40% dari total kerugian korosi, dan korosi yang dipengaruhi mikrobiologi (MIC) adalah jenis korosi yang paling parah dengan faktor yang paling kompleks. Sejak abad ke-20, semakin banyak pesawat terbang, kapal, anjungan minyak dan gas lepas pantai, dan instalasi lainnya yang terpapar atmosfer laut. Baja karbon banyak digunakan di berbagai industri, termasuk pembuatan kapal dan konstruksi, karena sifat mekaniknya yang menguntungkan dan efisiensi biaya. Penelitian ini menguji ketahanan baja karbon rendah terhadap korosi dengan memvariasikan air laut tropis menjadi 2 yaitu air laut dengan microorganism dan air laut tanpa microorganism dengan cara perendaman yang dilakukan di laboratorium untuk 4 variasi waktu yang berbeda, yaitu selama 1 bulan, 2 bulan, 3 bulan, 4 bulan. Pada penelitian ini didapatkan bahwa pengujian dengan menggunakan 2 variasi air yang berbeda menghasilkan hasil yang berbeda dimana pengujian dengan menggunakan air laut dengan microorganism mengalami laju korosi yang lebih besar dibandingkan dengan air laut tanpa microorganism hal ini disebabkan oleh mikroorganisme yang masih hidup pada air laut tawar yang mempengaruhi terjadinya korosi

Kata Kunci : Korosi, Biokorosi, Baja Karbon Rendah, Laut Tropis

Abstract

Safety issues resulting from metal corrosion cannot be ignored and seriously affect economic development, among which marine corrosion accounted for 40% of the total corrosion loss, and microbiologically influenced corrosion (MIC) is the most severe type of corrosion with the most complex influencing factors. Since the 20th century, an increasing number of aircraft, ships, offshore oil and gas rigs, and other installations have been exposed to the marine atmosphere. Carbon steel is extensively employed in various industries, including shipbuilding and construction, owing to its favourable mechanical properties and cost efficiency. This study examines the resistance of low carbon steel to corrosion by varying tropical seawater into 2, namely fresh seawater and sterilized by immersion carried out in the laboratory for 4 different time variations, namely for 1 month, 2 months, 3 months, 4 months. In this study found that testing using 2 different water variations produced different results where testing using fresh seawater experienced a greater corrosion rate than seawater that had been sterilized. This is caused by microorganisms that are still alive in fresh seawater which affects the occurrence of corrosion.

Keywords : Corrosion – Biocorrosion - Low-carbon Steel - Tropical Marine

1. Pendahuluan

Masalah keselamatan akibat korosi logam sudah tidak dapat diabaikan lagi dan secara serius telah mempengaruhi perkembangan ekonomi [1]. Sejak abad ke-20 semakin banyak pesawat terbang, kapal, anjungan minyak dan gas yang terpapar korosi air laut [2]. Selain itu, ada jenis mikroorganisme yang menempel pada permukaan baja di lingkungan laut tropis, perilaku ini mempengaruhi kemajuan korosi dan menerima lebih banyak perhatian secara bertahap. [3]

Mekanisme korosi baja yang dipengaruhi oleh mikroorganisme di laut [4]. Bakteri ditemukan ada di lingkungan laut [5]. Di antaranya korosi laut menyumbang 40% dari total kerugian korosi, dan korosi yang dipengaruhi secara mikrobiologis (MIC) adalah jenis korosi yang paling parah dengan faktor yang paling kompleks yang mempengaruhi [6].

Korespondensi: Tel./Fax.: 081339799554 / -
E-mail: soldier.of.rasta@gmail.com

Oleh karena itu, data uji korosi lapangan jangka panjang di lingkungan laut merupakan informasi penting untuk desain dan aplikasi teknik kelautan. Perlu dilakukan lebih banyak uji paparan laut di lapangan daripada simulasi laboratorium, sesuai dengan kompleksitas dan variabilitas lingkungan korosi laut, dengan berkembangnya industri lepas pantai, penyebab penghambat korosi telah berubah secara signifikan, dan berbagai teknologi penghambat karat berefisiensi tinggi di dalam dan luar negeri telah dikembangkan satu demi satu [7].

Faktor-faktor ini merusak integritas lapisan karat, memperburuk korosi, dan secara signifikan mengurangi masa pakai baja pelat kapal [8]. Baja karbon banyak digunakan di berbagai industri, termasuk pembuatan kapal dan konstruksi, karena sifat mekaniknya yang menguntungkan dan efisiensi biaya. Namun, ketahanan korosinya yang terbatas membuatnya

semakin tidak cocok untuk aplikasi ini. Sebaliknya, baja tahan karat menunjukkan ketahanan korosi yang sangat baik dengan penambahan elemen seperti Ni dan Cr, yang mendorong pembentukan lapisan oksida tipis yang stabil secara kimiawi pada permukaan baja, yang melindunginya dari media korosif [9].

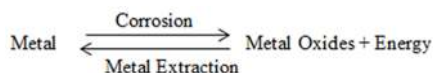
Pelat komposit baja tahan karat-baja karbon telah muncul sebagai jenis material teknik baru yang digunakan secara progresif dalam teknik kelautan, transportasi, perminyakan, kimia, dan industri lainnya. Struktur baja karbon yang dibangun untuk penggunaan di luar ruangan dapat bertahan selama beberapa dekade tanpa perlindungan tambahan. Baja karbon adalah bahan pilihan di tempat-tempat yang tidak memerlukan penggunaan paduan yang sangat tahan korosi, seperti baja tahan cuaca [10].

Di laut, di mana produk korosi yang stabil tidak terjadi, baja tahan cuaca diketahui tidak efektif, aja karbon dapat dilindungi dengan lapisan yang tepat, berdasarkan perilaku logam yang diharapkan dalam lingkungan penggunaan yang dimaksudkan. Keuntungan utama dari baja karbon sebagai bahan konstruksi, serta alasan mengapa pemasangan substansial dari logam ini masih dipertimbangkan untuk digunakan dalam proyek-proyek konstruksi untuk industri kelautan, perminyakan, dan kereta api, adalah karena baja karbon merupakan alternatif yang murah dengan kekuatan mekanik yang unggul [11].

2. Dasar Teori

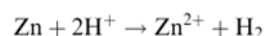
2.1. Fenomena Korosi

Istilah 'korosi' mengacu pada berbagai fenomena elektrokimia yang merusak yang secara luas didefinisikan sebagai degradasi material yang berinteraksi dengan lingkungannya. Karena sebagian besar logam berada dalam bentuk oksida, maka selama ekstraksi menjadi keadaan bebas, banyak energi yang diberikan kepadanya. Energi yang diberikan ini memungkinkan mereka untuk kembali ke keadaan gabungan mereka ketika mereka terpapar ke lingkungan eksternal seperti kelembaban, oksigen, dll. Sebagai contoh: ketika besi terpapar pada kondisi eksternal, besi mengalami korosi dan menghasilkan oksida besi terhidrasi berwarna coklat. Hal ini menunjukkan bahwa korosi adalah proses yang berlawanan dengan ekstraksi logam.

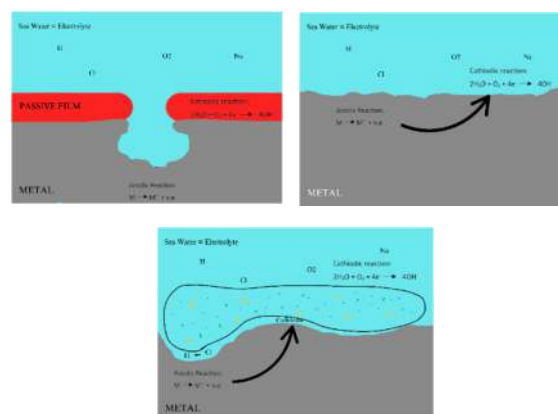


Sebagian besar fenomena korosi bersifat elektrokimia. Mereka menyiratkan dua atau lebih reaksi elektroda: agen pengoksidasi (reaksi parsial katodik). Untuk memahami reaksi korosi, kita perlu mempelajari termodinamika elektrokimia dan kinetika elektrokimia dari reaksi parsial. Sebagai contoh, korosi seng dalam lingkungan asam berlangsung sesuai dengan reaksi keseluruhan [12]

2.2. Tipe dari korosi



Korosi yang terjadi pada loga terjadi tergantung dari faktor yang medasari erjadinya



korosi, berikut merupakan tipe dari korosi [13].

Gambar 1. (1) Principle of pitting corrosion (2) Principle of uniform corrosion (3) Principle of biocorrosion

1) Principle of pitting corrosion

Jenis korosi lokal yang penting. Jenis korosi ini awalnya terjadi di area yang relatif kecil pada suatu material. Setelah beberapa waktu, area tersebut menjadi lebih besar dan lebih dalam, yang membentuk lubang di permukaan. Pada jenis korosi lokal ini, lubang (atau lubang) terbentuk di permukaan material. Area yang tertutupi oleh pengotor atau air memiliki konsentrasi oksigen yang lebih rendah sehingga bertindak sebagai anoda sementara yang lain bertindak sebagai katoda. Seharusnya mekanisme elektrokimia bertanggung jawab atas pelarutan logam.

2) Principle of uniform corrosion

Jenis korosi yang merusak permukaan logam yang tandus kurang lebih secara seragam. Korosi ini juga dapat didefinisikan sebagai jenis korosi yang berlangsung dengan kecepatan yang sama di seluruh area tandus. Oksigen bertindak sebagai penyebab utama korosi ini. Bahan yang paling umum yang menunjukkan korosi umum adalah besi tuang dan baja.

3) Principle of biocorrosion

Ketika organisme, yang hidup berkelompok pada permukaan logam dan mempengaruhi salah satu atau kedua reaksi tersebut, inilah yang

disebut dengan biografi zion. Karena, secara biografis zion biasanya melibatkan pertumbuhan dan akumulasi mikroba di permukaan, istilah mikrobidilusi zion (mic) sering digunakan sebagai reaksi kortikal terhadap pengaruh biologis. Mikroorganisme, dengan keberadaannya di permukaan dan kemampuannya untuk melakukan reaksi biokimia tertentu, dapat mengubah kondisi fisik atau kimiawi permukaan logam

2.3. Perhitungan Laju Korosi

Dalam menghitung laju korelasi adalah proses penghitungan dimana nilai material yang benar ditentukan, dengan massa awal material dan massa akhir setelah proses Satuan yang digunakan dapat berupa (gram). Metode kehilangan berat adalah menghitung kehilangan berat yang terjadi setelah beberapa waktu baja direndam dalam larutan. Pada penelitian ini, digunakan metode kehilangan berat dimana dilakukan perhitungan selisih antara berat awal dan berat akhir [14]. Rumus Kehilangan Massa :

$$\text{Weight lost (g)} = \text{massa awal (g)} - \text{massa akhir (g)} \quad (1)$$

Dari persamaan diatas untuk mendapatkan hasil dalam bentuk (gram/month) hasil akan di *average* terlebih dahulu kemudian dapat diturunkan menjadi, Rumus (gram/month) :

$$\frac{\text{average weightlost}}{\text{Month}} = \text{gram/month} \quad (2)$$

2.4. Baja Karbon

Baja adalah paduan FeC yang mengandung karbon sampai 1,7%. Diantara berbagai jenis baja terdapat baja karbon, yaitu baja yang sifatnya ditentukan oleh kandungan karbonnya. Kandungan karbon secara khusus memberikan pengaruh ekstrim terhadap sifat-sifat mekaniknya dan mikrostrukturnya. terdapat 3 klasifikasi baja jika dilihat pada total karbon yang ada pada strukturnya [15].

Tabel. 1. Jenis baja karbon dam Presentasi Unsur Karbon

Jenis Baja karbon	Presentase Unsur Karbon (% C)
Baja Karbon Rendah	< 0,25%
Baja Karbon Madium	0,25% - 0,55%
Baja Karbon Tinggi	>0,55%

2.5. Air Laut

Air laut, sumber daya yang paling melimpah di bumi, menutupi 71% permukaan bumi. Elektrolit ini mendekati larutan natrium klorida dengan kadar 3,5 persen berat, namun jauh lebih kompleks, mengandung hampir semua elemen yang terjadi secara alami.

Konstituen kimiawi utama air laut konsisten di seluruh dunia. Konstituen minor, termasuk elemen dan gas terlarut, dapat sangat bervariasi. Organisme biologis, yang dikombinasikan dengan konstituen minor, sering kali mengendalikan laju reaksi korosi yang terjadi pada logam dalam air laut. Selain itu, konsentrasi garam air laut dapat bervariasi dari air laut dengan kekuatan penuh hingga air laut pesisir atau kondisi payau [16].

3. Metode penelitian

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

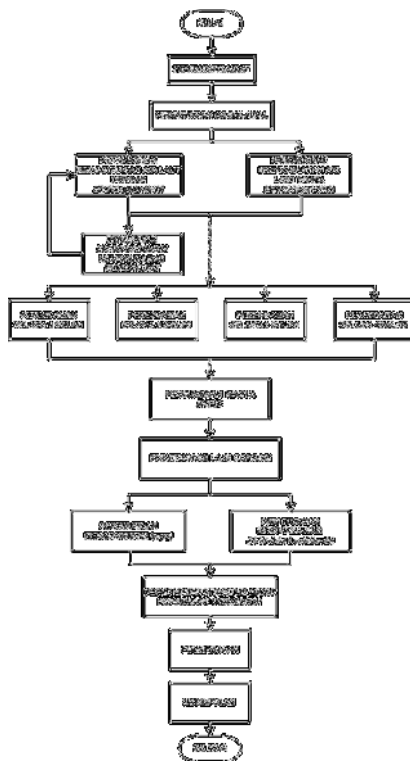
3.1. Alat

1. Timbangan yang digunakan untuk mengukur massa *spesiment*.
2. Gunting untuk memotong *spesiment* sesuai ukuran yang ditentukan
3. Tang jepit digunakan untuk menjepit *spesiment* yang akan di bersihkan
4. Sikat untuk membersihkan *spesiment*
5. Pinset untuk mengambil *spesiment* yang telah di rendam
6. *Hairdryer* digunakan untuk mengeringkan *spesiment* sebelum ditimbang
7. Wadah *stainless* untuk menampung *spesiment* sebelum pengukuran massa akhir agar tidak terkontaminasi kotoran lain
8. Pipa dan Kaca digunakan sebagai wadah untuk meresin *spesiment* dan pipa digunakan sebagai mall
9. Resin dan *epoxy* digunakan untuk mounting *spesiment*
10. Alat ukur, jangka sorong dan penggaris digunakan untuk menyesuaikan ukuran *spesiment* yang telah ditentukan
11. Wadah plastic digunakan sebagai penyimpanan saat proses perendaman
12. *Microscope* metalurgi untuk pengamatan struktur mikro pada permukaan korosi
13. Alat poles meliputi, amplas, autosol, bludru untuk memoles *spesiment* sebelum pengamatan struktur mikro
14. *Microscope Phase Conrrent* untuk pengamatan *microorganism* pada air laut untuk proses perendaman.

4.2. Bahan

Bahan yang digunakan baja karbon rendah dan air laut yang dibagi menjadi 2 jenis air yaitu air laut dengan *microorganism* dan air laut tanpa *microorganism*.

4.3. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

4.4. Prosedur Penelitian

1. Pengukuran massa awal

Pengukuran massa awal dilakukan setelah *spesiment* di potong sesuai ukuran yang telah ditentukan.

2. Perendaman Menggunakan Air Laut Dengan *Microorganism*

Perendaman menggunakan metode ini dilakukan selama 1,2,3 dan 4 bulan untuk mengetahui perbandingan laju korosi yang terjadi.

3. Perendaman Menggunakan Air Laut Tanpa *Microorganism*

Perendaman menggunakan air laut tanpa *microorganism* dilakukan selama 1 bulan, 2 bulan, 3 bulan, 4 bulan.

4. Pengamatan *Microorganism* Menggunakan *Microscope*.

Pengamatan dilakukan menggunakan *microscope* untuk mengetahui apakah pada air laut yang digunakan mengandung *microorganism* yang aktif.

5. Waktu Perendaman Selama 4 Bulan

Waktu perendaman terhadap *spesiment* divariasikan menjadi bulan 1, bulan 2, bulan 3, bulan 4.

6. Pengukuran Massa Akhir

Proses pengukuran massa akhir dimulai dengan membersihkan *spesiment* dari Biofilm yang terdapat pada permukaan *spesiment*

Pengukuran massa akhir dilakukan sesuai variasi waktu perendaman

7. Perhitungan Laju *Corrosion*

Perhitungan laju *corrosi* dilakukan menggunakan dua metode yang berbeda yaitu perhitungan (% *gram/mounth*) yaitu perhitungan dengan menghitung jumlah persentase penurunan massa dengan membagi persentase penurunan massa dengan waktu perendaman.

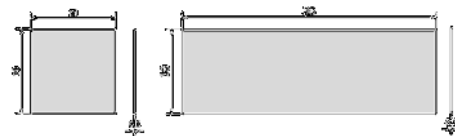
8. Pengamatan Struktur *Micro Permukaan Corrosion*

Pengamatan struktur *micro permukaan corrosi* menggunakan *microscope* metalurgi, hal ini dilakukan untuk mengetahui *corrosion* yang terjadi pada *spesiment* yang telah melawati perendaman selama 4 bulan lamanya, selain itu juga untuk melihat kedalaman *pitting corrosion* yang disebabkan oleh *microorganism* terhadap baja karbon rendah.

4.5. Spesiment Uji

Spesiment yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah, dengan 2 ukuran *spesiment* yang berbeda, sebagai berikut :

- Spesiment dengan ukuran lebar 10mm, Panjang 10mm dan tebal 0,1mm
- Spesiment dengan ukuran lebar 10mm, Panjang 30mm serta tebal 0,1mm



Gambar 3. *Spesiment*

4.6. Metode Uji

Penelitian ini menggunakan dua metode penelitian antara lain:

1. Pengujian menggunakan air laut dengan *microorganism* dan air laut tanpa *microorganism*

Pengujian menggunakan air laut dengan *microorganism* ini dilakukan dengan cara merendam specimen di dalam wadah yang berisi air laut hingga semua permukaan terendam selama 1,2,3 dan 4 bulan.



Gambar 4. Perendaman *Spesiment*

2. Pengujian Struktur *Micro* pada permukaan korosi

Pengujian ini dilakukan menggunakan *microscope* metalurgi dengan pembesaran x40 dan spesimen sebelum di uji dilakukan pemolesan terlebih dahulu.

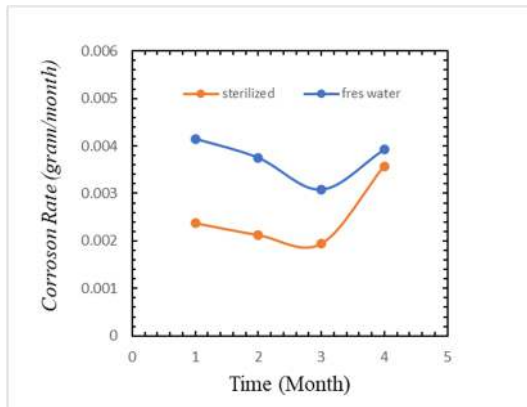


Gambar 5. *Microscope* Metalurgi

5. Hasil dan Pembahasan

5.1. Hasil penelitian

Dari data penelitian yang dilakukan selama 4 bulan, kami mendapatkan hasil pada tabel 2 yang menunjukkan bahwa setiap perbandingan korosi dengan menggunakan air laut dengan *microorganism* dan air laut tanpa *microorganism* menunjukkan hasil yang berbeda pada setiap sampel baja karbon. Kami menghitung pengurangan massa dengan jelas dan lebih mudah dipahami dengan menggunakan (gram/bulan) menyertakan persentase berat yang hilang pada setiap sampel baja karbon dari perendaman selama 4 bulan terakhir, Untuk mendapatkan hasil yang lebih jelas dan sesuai dengan standar.



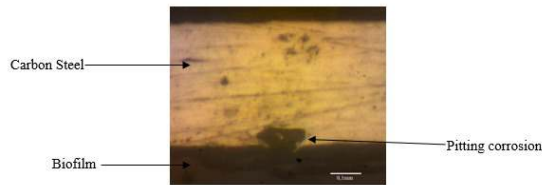
Gambar 6. Grafik laju korosi

Tabel 2. Data penelitian gram/month

Month		Initial weight (gram)	Weight after corroded (gram)	Weight lost (gram)	Weight lost (%)	Average corrosion rate (% weight Lost /month)
1st Month	with <i>microorganism</i>	0.16195	0.1589	0.00305	1.883297	2.552275742
		0.15786	0.15338	0.00448	2.837958	
		0.16794	0.16301	0.00493	2.935572	
	without <i>microorganism</i>	0.15948	0.15684	0.00264	1.65538	1.636989931
		0.12873	0.12633	0.0024	1.864367	
		0.14879	0.14672	0.00207	1.391223	
2nd Month	with <i>microorganism</i>	0.17055	0.16324	0.00731	4.286133	2.467818226
		0.13732	0.12972	0.0076	5.534518	
		0.15282	0.1452	0.00762	4.986258	
	without <i>microorganism</i>	0.16064	0.16132	0.00532	3.192311	1.330859201
		0.15737	0.15443	0.00294	1.868209	
		0.15285	0.14838	0.00447	2.924436	
3rd Month	with <i>microorganism</i>	0.16109	0.15081	0.01028	6.381526	2.12189741
		0.15197	0.14225	0.00972	6.395999	
		0.12311	0.11533	0.00778	6.319552	
	without <i>microorganism</i>	0.14665	0.14169	0.00496	3.382203	1.262081581
		0.15753	0.15065	0.00688	4.367422	
		0.15544	0.14983	0.00561	3.60911	
4th Month	with <i>microorganism</i>	0.15053	0.13345	0.01708	11.34658	2.595590745
		0.14718	0.13375	0.01343	9.124881	
		0.15615	0.13948	0.01667	10.67563	
	without <i>microorganism</i>	0.15432	0.1389	0.01542	9.992224	2.124430617
		0.23828	0.22752	0.01076	4.515696	
		0.15184	0.13516	0.01668	10.98525	

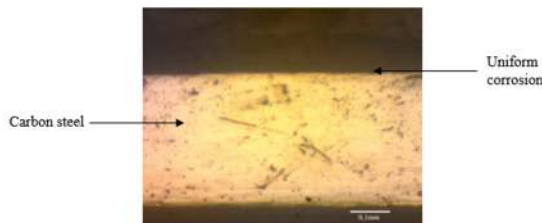
Hasil penelitian yang telah dilakukan selama 4 bulan ditunjukkan pada table 2 dimana penurunan massa paling tinggi terjadi di perendaman menggunakan air laut dengan *microorganism* yang mencapai 2,522 gram/month sedangkan yang direndam menggunakan air laut tanpa *microorganism* mengalami penurunan massa sebanyak 1,636 gram/month dan gambar 6 ditunjukan bahwa pola penurunan massa yang terjadi pada perendaman menggunakan air laut dengan *microorganism* pada bulan pertama merupakan penurunan massa paling tinggi lalu mulai menurun pada bulan kedua dan ketiga kemudian meningkat kembali pada bulan keempat, sedangkan pada perendaman menggunakan air laut tanpa *microorganism* mengalami penurunan massa paling tinggi pada bulan keempat dan pada bulan pertama mengalami penurun massa yang lebih tinggi dibandingkan bulan kedua dan ketiga.

5.2. Hasil Pengamatan Struktur *Micro* pada Permukaan Korosi



Gambar 7. Pitting Corrosion pada baja karbon yang direndam menggunakan air laut dengan *Microorganism*

Pada tampilan mikroskop ini terlihat bahwa logam tidak diserang secara seragam tetapi dengan cara yang terlokalisasi seperti yang dijelaskan di atas. Dapat dilihat di atas bahwa bakteri memainkan peran penting dalam proses korosi yang difasilitasi oleh efek O₂ dan aktivitas metabolisme bakteri yang tidak dipanaskan dalam air laut, menciptakan zona anaerobik, yang memungkinkan pertumbuhan bakteri



Gambar 8. Uniform Corrosion pada baja karbon rendah yang direndam menggunakan air laut tanpa *microorganism*

Dari pandangan ini jelas bahwa sampel karbon yang terbentuk secara seragam membuktikan bahwa bakteri memainkan peran penting dalam korosi, dari kesimpulan yang dihasilkan oleh (Gambar 6. Dan Gambar 7.) bahwa material yang diserap dalam air laut dengan *microorganism* menyebabkan lebih banyak korosi dibandingkan air laut tanpa *microorganism*, hal ini membuktikan bahwa bakteri memiliki korelasi terhadap laju korosi.

6. Kesimpulan

Pada penelitian ini, kami mengkaji ketahanan baja karbon rendah terhadap biokorosi di pantai laut tropis dengan memvariasikan 2 air laut yaitu air laut dengan *microorganism* dan air laut tanpa *microorganism* dan mendapatkan hasil bahwa penurunan massa yang terjadi pada spesimen yang direndam menggunakan air laut dengan *microorganism* lebih tinggi dibandingkan dengan air laut tanpa *microorganism*, hal ini membuktikan bahwa *microorganism* berperan penting dalam proses terjadinya korosi pada air laut.

Daftar Pustaka

- [1] S. Wu, Q. Jiang, D. Han, S. Yuan, dan X. Zhao, "International Journal of Biological Macromolecules An ecofriendly coaxial antibacterial and anticorrosion nanofiber pullulan-ethyl cellulose embedded with carvacrol coating for protection against marine corrosion," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 246, no. April, hal. 125653, 2023, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125653.
- [2] B. Zhang, Y. Wang, H. Wan, J. Deng, W. Li, dan F. Liu, "Actual Xisha marine atmospheric corrosion behavior of 30CrMnSiA steel in different parts of the aircraft," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 154, no. May, hal. 107684, 2023, doi: 10.1016/j.engfailanal.2023.107684.
- [3] Y. Su *et al.*, "Corrosion behavior on carbon steel affected by iron-reducing bacteria via dissimilatory Fe(III) reduction in simulated marine atmospheric environment," *Corros. Sci.*, vol. 220, no. May, hal. 111283, 2023, doi: 10.1016/j.corsci.2023.111283.
- [4] A. A. Abuin, R. A. Seco, A. M. González, K. S. Hrabal, dan A. S. Coña, "Accelerated atmospheric corrosion in a cast astm a48 gray iron," *Rev. Mater.*, vol. 23, no. 2, 2018, doi: 10.1590/S1517-707620180002.0382.
- [5] J. Wang, M. Du, X. Shan, T. Xu, dan P. Shi, "Corrosion inhibition study of marine Streptomyces against sulfate-reducing bacteria in oilfield produced water," *Corros. Sci.*, vol. 223, no. May, hal. 111441, 2023, doi: 10.1016/j.corsci.2023.111441.
- [6] S. Li, Z. Jin, B. Pang, dan J. Li, "Durability performance of an RC beam under real marine all corrosion zones exposure for 7 years," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 17, no. July, hal. e01516, 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01516.
- [7] Z. Xu *et al.*, "Effective corrosion inhibitor of mild steel in marine environments: Synthesis and application of hydrazides," *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 38, no. September, 2023, doi: 10.1016/j.susmat.2023.e00747.
- [8] F. Gao *et al.*, "Investigating the corrosion performance of hull steel with different microstructure in a tropical marine atmosphere," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 27, hal. 2600–2614, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.10.061.
- [9] Y. Liu *et al.*, "Corrosion behaviour of hot-rolled 316L stainless steel-A6 carbon steel composite steel plate for marine environment," *J. Mater. Res.*

- Technol.*, vol. 26, hal. 556–570, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.07.227.
- [10] B. X. Liu *et al.*, “The tensile behaviors and fracture characteristics of stainless steel clad plates with different interfacial status,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 679, no. October 2016, hal. 172–182, 2017, doi: 10.1016/j.msea.2016.10.033.
- [11] Y. Seechurn, B. Y. R. Surnam, dan J. A. Wharton, “Marine atmospheric corrosion of carbon steel in Mauritius,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.07.140.
- [12] S. Harsimran, K. Santosh, dan K. Rakesh, “Overview of Corrosion and Its Control: a Critical Review,” *Proc. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 1, hal. 13–24, 2021, doi: 10.24874/PES03.01.002.
- [13] L. L. Barton, *Characteristics and Activities of Sulfate-Reducing Bacteria*, no. July. 2014. doi: 10.1007/978-1-4899-1582-5.
- [14] Y. K. Afandi, I. S. Arief, J. Teknik, S. Perkapalan, dan F. T. Kelautan, “Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating,” *J. Korosi*, vol. 4, no. 1, hal. 1–5, 2015.
- [15] R. A. Efendy, “Peningkatan Ketahanan Korosi Baja AISI 1010 Sebagai Komponen Mobil Listrik,” *Teknosia*, vol. 15, no. 2, hal. 37–44, 2022, doi: 10.33369/teknosia.v15i2.19180.
- [16] Y. Zhao, X. Hu, C. Shi, Z. Zhang, dan D. Zhu, “A review on seawater sea-sand concrete: Mixture proportion, hydration, microstructure and properties,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 295, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123602.

	Ni Putu Waisna Ariesta Santhi, mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, dari tahun 2021 sampai 2025 yang telah menyelesaikan Pendidikan dengan topik penelitian STUDI LAJU <i>BIOCORROSION</i> PADA BAJA KARBON RENDAH DILINGKUNGAN LAUT <i>TROPICS</i>. Dengan konsentrasi REKAYASA MANUFAKTUR.
---	--