



Teknologi Elektrolisis sebagai Metode Baru untuk Mempercepat Pembentukan Batu Kapur dalam Pertumbuhan Terumbu Karang

¹Winda Purnama Sari*, ¹Rosa Liliani

Corresponding Author: * winda.purnamasari@unmuhbabel.ac.id

¹ Universitas Muhammadiyah Bangka-Belitung, Indonesia

Abstrak

Kerusakan terumbu karang telah menjadi masalah global yang serius karena dampaknya terhadap lingkungan dan keberlangsungan hidup manusia. Artikel ini menggunakan metode penulisan dengan analisis literatur dan pengalaman penulis (opini) untuk menjelaskan teknologi elektrolisis yang dapat digunakan untuk mempercepat pembentukan batu kapur dan pertumbuhan terumbu karang. Teknologi ini didasarkan pada elektrolisis air laut untuk mengendapkan karbonat kalsium (batu kapur) pada rangka baja besar yang berfungsi sebagai anoda dan katoda (elektroda) dan memberikan struktur awal pada terumbu karang baru. Meskipun elektrolisis tidak terjadi pada proses pembentukan endapan kapur di laut secara alami, teknologi ini dapat mempercepat proses terjadinya batu kapur yang sangat kuat dan sulit larut dalam air, yang dapat digunakan sebagai tempat pertumbuhan karang. Pemilihan teknologi yang tepat tergantung pada kondisi dan sumber daya yang tersedia, serta tujuan dari proses pembentukan batu kapur itu sendiri. Oleh karena itu, teknologi elektrolisis dapat menjadi alternatif yang menarik untuk memperbaiki kerusakan terumbu karang dan mengembalikan keberlangsungan hidup laut.

Kata kunci: Batu Kapur, Biologi, Teknologi Elektrolisis, Terumbu Karang

Pendahuluan

Tingkat kerusakan terumbu karang di dunia sangat parah dan semakin memburuk dari waktu ke waktu, sedangkan sektor pariwisata terumbu karang berkembang pesat di Negara berkembang yang menyebabkan stress antropogenik bagi terumbu karang khususnya wisata yang memfasilitasi spot snorkeling serta diving [1]–[3]. Menurut laporan terbaru dari World Resources Institute (WRI) dan World Wildlife Fund (WWF), Sekitar 75% terumbu karang dunia berada dalam risiko tinggi akibat perubahan iklim, polusi, dan aktivitas manusia. Beberapa faktor yang menyebabkan kerusakan terumbu karang di antaranya adalah meningkatnya okupasi manusiadi wilayah pesisir dan dampak perubahan iklim yang telah mengubah dinamika batu kapur sehingga mempercepat kerusakan terumbu karang secara global [4], pemanasan global, asam laut, peningkatan suhu air laut, pencemaran, penangkapan ikan yang tidak bertanggung jawab, dan aktivitas pariwisata yang tidak terkelola dengan baik. Selain itu, terumbu karang juga terancam oleh praktek-praktek eksploitasi seperti penangkapan ikan secara berlebihan, penggunaan bahan peledak dalam penangkapan ikan, pengambilan bahan-bahan dari terumbu karang untuk keperluan industri [5], penambangan timah di laut [6] serta eksploitasi kerang [7].

Kerusakan terumbu karang memiliki dampak yang sangat besar bagi keberlangsungan hidup manusia dan ekosistem laut secara keseluruhan. Terumbu karang berperan sebagai tempat berlindung dan mencari makan bagi banyak spesies laut, serta sebagai penghasil oksigen dan sumber pangan bagi

manusia. Jika kerusakan terumbu karang terus berlanjut, maka akan berdampak pada hilangnya banyak spesies laut, kerugian ekonomi yang besar, dan bahkan mengancam keberlangsungan hidup manusia di masa depan [8]. Kerusakan terumbu karang menyebabkan terjadinya degradasi bagi ekosistem laut yang mempengaruhi fungsi ekologi dan memanfaatkan ekonomi dari ekosistem laut [9]–[12] seperti rusaknya habitat kepiting [13]. Terumbu karang sangat terancam disebabkan oleh empat faktor utama yaitu penangkapan ikan yang berlebihan, polusi dari daratan, kerusakan struktural akibat ulah manusia, dan pemutihan karang [14].

Oleh karena itu, perlindungan dan pengelolaan terumbu karang perlu menjadi perhatian yang serius bagi seluruh dunia. Banyak upaya yang telah dilakukan untuk memperbaiki terumbu karang baik secara tradisional maupun dengan teknologi. Restorasi terumbu karang dilakukan untuk memperbaiki terumbu karang yang telah rusak dengan menanam kembali karang atau memberikan dukungan untuk regenerasi alami terumbu karang. Teknik restorasi terumbu karang dapat dilakukan dengan cara penanaman bibit karang, penanaman substrat buatan, penempelan karang, atau penggunaan teknologi buatan seperti CCell's reef growing system. Fig. 1 menunjukkan fenomena kerusakan terumbu karang.



Fig. 1. Kerusakan terumbu karang (Sumber: https://bangazul.com/wp-content/uploads/bfi_thumb/kerusakan-terumbu-karang-6fh0waeedydkye3y9i8uls34kvlr77x116e1cilsgm0.jpg)

Pencegahan kerusakan juga dilakukan dengan pengurangan pencemaran. Pencemaran merupakan salah satu penyebab utama kerusakan terumbu karang. Upaya pengurangan pencemaran dapat dilakukan dengan mengurangi limbah industri dan domestik, meningkatkan sistem pengolahan limbah, dan mengurangi penggunaan bahan kimia seperti pupuk dan pestisida. Hal ini tidak mudah karena tuntutan pertumbuhan ekonomi berbasis industri di berbagai negara. Cara lain adalah perlindungan terumbu karang dilakukan dengan cara pembentukan kawasan konservasi terumbu karang, seperti taman laut atau kawasan lindung, yang melindungi terumbu karang dari kerusakan yang disebabkan oleh manusia dan aktivitas penangkapan ikan yang tidak bertanggung jawab. Semua upaya tersebut tentu dengan memperhatikan edukasi dan kesadaran masyarakat akan dampak kerusakan bagi keberlanjutan ekosistem laut. Upaya-upaya ini perlu dilakukan secara bersama-sama dan terus menerus agar dapat memperbaiki dan mempertahankan terumbu karang yang sehat dan berkelanjutan di masa depan.

Penggunaan teknologi untuk mempercepat terjadinya terumbu karang dapat membantu memperbaiki dan memperkuat terumbu karang yang rusak atau terancam rusak. Namun, teknologi bukanlah solusi tunggal untuk masalah terumbu karang dan harus digunakan dengan hati-hati dan terintegrasi dengan upaya konservasi dan pengelolaan yang berkelanjutan. Kajian ini menjelaskan salah satu teknologi elektrolisis dalam perbaikan kerusakan terumbu karang.

Metode

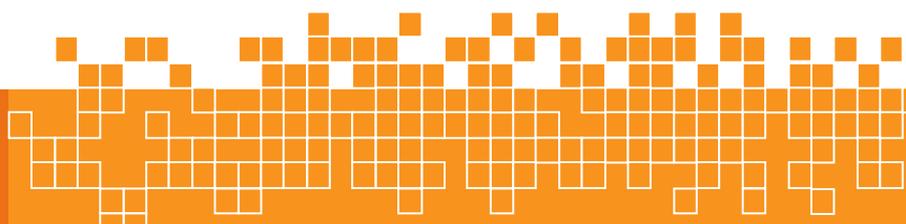
Metode yang digunakan adalah penjelasan secara naratif kualitatif berdasarkan pada literatur dan ilmu kimia populer. Dalam metode ini, penulis akan mengumpulkan literatur terkait topik yang akan dibahas, kemudian menafsirkan dan menggabungkan informasi tersebut untuk membuat sebuah penjelasan naratif yang kualitatif. Penjelasan berupa uraian atau deskripsi yang mengandung interpretasi penulis mengenai suatu topik berdasarkan pemahaman dan pengalaman yang dimilikinya. Penjelasan tersebut dapat didasarkan pada data yang diambil dari sumber-sumber teks seperti jurnal ilmiah, buku, atau artikel online. Penjelasan ini mencakup deskripsi tentang sifat-sifat kimia suatu senyawa atau zat, proses reaksi kimia, atau aplikasi dari konsep-konsep kimia dalam kehidupan sehari-hari. Penjelasan tersebut dapat membantu pembaca memahami topik secara lebih mendalam dan melihat keterkaitan antara informasi yang diberikan dengan ilmu kimia yang mendasarinya. Namun, metode ini memiliki keterbatasan dalam hal keakuratan dan validitas informasi, karena penjelasan yang disampaikan tidak didasarkan pada data kuantitatif dan tidak dapat diverifikasi secara empiris. Oleh karena itu, penulis harus berhati-hati dalam memilih sumber dan memastikan bahwa informasi yang disampaikan akurat dan relevan dengan topik yang dibahas.

Strategi pengelolaan terumbu karang harus dilandaskan pada upaya konservasi seperti zona karang tangkap yang dapat diterapkan di berbagai area pemulihan karang. Program restorasi seperti terumbu karang transplantasi yang diterapkan untuk area yang rusak parah [12]. Teknologi lain yang dimanfaatkan untuk mempertahankan dan membangun kembali ekosistem laut berkelanjutan melalui Low-Voltage Mineral Desposition Technology (LVMD) dan High-Voltage Mineral Deposition (HVMD) [15]. Teknologi tersebut dinilai dapat merestorasi terumbu karang seperti porositas tinggi, distribusi ukuran pori yang luas dan konektivitas serta kekuatan yang baik dalam memfasilitasi fungsi biologis serta daya tahannya. Tegangan arus yang sangat rendah dapat menginduksi arus listrik yang dimulai dengan penfendapan dan pertambahan mineral keras pada logam dalam air laut [15]. Teknologi tersebut sebagai langkah untuk mengatasi kerusakan terumbu karang yang membutuhkan waktu rehabilitasi sekitar 20-40 tahun [16].

Hasil dan Pembahasan

A. Proses elektrolisis

Elektrolisis adalah proses kimia yang menggunakan arus listrik untuk mengubah suatu senyawa menjadi senyawa lain yang memiliki sifat-sifat kimia yang berbeda. Proses elektrolisis dilakukan dengan menggunakan sebuah alat yang disebut sel elektrolisis, yang terdiri dari dua elektroda yaitu katoda (elektroda negatif) dan anoda (elektroda positif) yang terhubung dengan sebuah sumber listrik. Ketika listrik mengalir melalui elektrolit (larutan atau cairan yang mengandung senyawa yang akan diubah),



maka senyawa tersebut akan terurai menjadi ion-ion positif dan negatif. Ion-ion positif akan bergerak ke elektroda negatif (katoda) dan ion-ion negatif akan bergerak ke elektroda positif (anoda). Di elektroda negatif, ion-ion positif akan menerima elektron dan berubah menjadi atom-atom netral, sedangkan di elektroda positif, ion-ion negatif akan melepaskan elektron dan berubah menjadi atom-atom netral. Hasil dari reaksi di elektroda negatif dan positif ini adalah terbentuknya senyawa baru yang memiliki sifat-sifat kimia yang berbeda dari senyawa asal.

Sebagai contoh, pada elektrolisis air (H_2O), air terurai menjadi ion-ion H^+ dan OH^- . Ion-ion H^+ akan bergerak ke elektroda negatif dan menerima elektron untuk membentuk gas hidrogen (H_2), sedangkan ion-ion OH^- akan bergerak ke elektroda positif dan melepaskan elektron untuk membentuk gas oksigen (O_2). Dengan demikian, hasil dari elektrolisis air adalah terbentuknya gas hidrogen dan oksigen yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan industri.

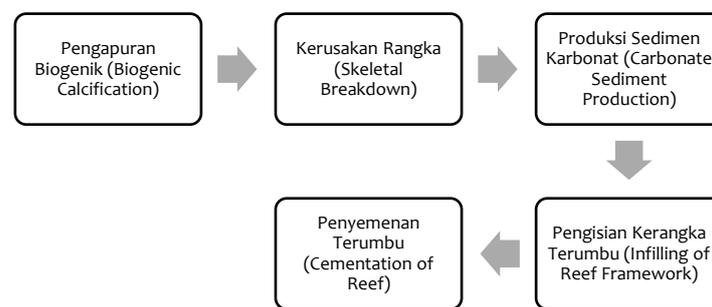
Proses elektrokimia yang menggunakan elektrolisis air netral untuk menghasilkan gradient pH sehingga $CaCO_3$ terdekarbonasi pada pH rendah dan $Ca(OH)_2$ diendapkan pada pH tinggi secara bersamaan sehingga menghasilkan O_2/CO_2 dengan kemurnian yang tinggi. Campuran gas dengan rasio molar 1:2 di anoda dan H_2 di katoda menunjukkan bahwa produk pada $Ca(OH)_2$ siap terurai dan bereaksi dengan SiO_2 untuk membentuk alite. Kalsinasi elektrokimia menghasilkan aliran gas terkonsentrasi dari CO_2 dengan mudah dipisahkan dan diasingkan, H_2 dan/atau O_2 dapat digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik melalui sel bahan bakar atau ruang bakar. O_2 dapat digunakan sebagai komponen oxyfuel di kiln semen untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan emisi CO_2 . Hasil analisis menunjukkan bahwa jika hydrogen yang dihasilkan oleh reactor dibakar untuk memanaskan kiln bersuhu tinggi, proses semen elektrokimia hanya dapat ditenagai oleh listrik terbarukan [17].

B. Elektrolisis dan Pembentukan Endapan Kapur

Pada proses pembentukan endapan kapur di laut, elektrolisis tidak terjadi secara langsung. Endapan kapur di laut dibentuk melalui reaksi kimia antara ion-ion karbonat (CO_3^{2-}) dan ion-ion kalsium (Ca^{2+}) yang terdapat dalam air laut. Ion-ion karbonat berasal dari larutan karbon dioksida (CO_2) yang terlarut di dalam air laut dan bereaksi dengan air untuk membentuk ion-ion karbonat dan ion-ion hidrogen (H^+), sedangkan ion-ion kalsium berasal dari mineral-mineral yang tererosi dari tanah dan masuk ke dalam air laut. Dalam proses pembentukan endapan kapur, ion-ion karbonat dan ion-ion kalsium bergabung dan membentuk senyawa karbonat kalsium ($CaCO_3$) yang bersifat padat dan sulit larut dalam air. Endapan kapur ini kemudian akan terendapkan di dasar laut dan membentuk struktur karang atau terumbu karang yang sangat penting bagi kehidupan laut.

Pengendapan kalsium karbonat di atas katoda terjadisaat tingkat kelarutan ion magnesium dan ion OH^- telah melebihi keadaan untuk dapat larut pada cairan. Bentuk solid dari magnesium hidroksida disebut dengan brucite yang memiliki tekstur endapan lebih lunak dan dapat larut dalam cairan dibandingkan dengan $CaCO_3$ [18]. Sistem pertumbuhan karang dengan teknologi elektrolisis didasarkan pada elektrolisis air laut untuk mengendapkan karbonat kalsium (batu kapur) pada rangka baja besar yang berfungsi sebagai anoda dan katoda (elektroda) dan memberikan struktur awal pada terumbu karang baru. Teknik ini revolusioner karena daripada memerlukan ratusan tahun, hanya

dibutuhkan lima tahun saja untuk menghasilkan batu kapur yang sangat kuat yang dapat digunakan sebagai tempat pertumbuhan karang. Fig. 2 menjelaskan proses terjadinya terumbu karang.



Source: <https://id.pinterest.com/pin/484488872387465134/>

Fig. 2. Proses pembentukan kapur pada batu karang

Teknologi yang dapat digunakan untuk mempercepat proses terjadinya batu kapur adalah teknologi elektrolisis. Contoh teknologi ini digunakan oleh CCell's reef growing system untuk mengendapkan karbonat kalsium pada rangka baja dan membentuk batu kapur. Selain itu, ada juga teknologi lain seperti teknologi pengendapan kimia, teknologi kristalisasi, atau teknologi biomineralisasi yang dapat digunakan untuk mempercepat proses terjadinya batu kapur. Dalam konteks ini, elektrolisis tidak terjadi karena tidak ada aliran listrik yang digunakan untuk memecah senyawa atau mengubah sifat kimianya. Namun, elektrolisis dapat digunakan untuk mempercepat proses terjadinya endapan kapur di laboratorium atau dalam teknologi pembuatan terumbu karang buatan. Namun, pemilihan teknologi yang tepat tergantung pada kondisi dan sumber daya yang tersedia, serta tujuan dari proses pembentukan batu kapur itu sendiri.

Transisi morfologi bertepatan dengan transisi dalam potensial sel dengan peningkatan intensitas percikan dan perubahan warna percikan, pembentukan fitur laporan dan peningkatan produksi gas. Transisi kedua terjadinya peningkatan overpotential yang menyebabkan lebih lambatnya pembentukan terumbu karang. Pembentukan bahan terumbu karang yang kaya akan silika dikaitkan dengan pelepasan lebih kuat dan suhu yang tinggi pada tahap pertumbuhan selanjutnya yang menghasilkan pori-pori lebih besar, peningkatan oksidasi substrat secara lokal dengan mengeluarkan oksida tantalum cair. Pengukuran elektrokimia dengan tidak adanya percikan anodik menunjukkan bahwa potensi berlebih untuk evolusi hidrogen memiliki ketergantungan ohmik pada kerapatan arus karena resistansi lapisan dan elektrolit. Potensi berlebih ditingkatkan oleh pelepasan anodik, yang diusulkan karena gas oksigen yang dihasilkan selama pelepasan anodik yang menghambat migrasi ionik selama polarisasi katodik sub-urutan [19].

Pengembangan struktur baru yang memiliki luas permukaan tinggi dan sifat fungsional dan elektrokimia yang unik, sangat menarik sebagai cara untuk memperluas aplikasi material berbasis magnesium. Mekanisme pertumbuhan struktur seperti terumbu karang pada permukaan lapisan cacat yang dibuat dengan elektrolisis plasma (PE) dari paduan AZ31 Mg. Lapisan PE direndam dalam larutan yang mengandung polivinil alkohol (PVA), asam fosfat (H₃PO₄) dan aluminosulfat (AlPO₄) pada suhu

~85°C di bawah kondisi pengadukan, dan hasilnya dibandingkan dengan lapisan PE yang direndam dalam larutan yang hanya terdiri dari PVA terfosforilasi parsial (PPVA). Pemeriksaan rinci morfologi lapisan PE yang direndam dalam larutan AlPO₄ menunjukkan bahwa pembentukan struktur seperti terumbu karang akan terjadi melalui mekanisme yang melibatkan pertumbuhan anisotropik komposit kompleks PPVA-AlPO₄. Dipastikan bahwa PPVA-AlPO₄ memiliki afinitas yang lebih kuat daripada PPVA untuk bereaksi dengan ion Mg²⁺ melalui ikatan kovalen koordinasi karena adanya gugus PO₄³⁻. Struktur seperti terumbu karang secara efektif menunda korosi substrat paduan Mg, menghasilkan sifat perlindungan korosi yang unggul. Sintesis yang dikontrol bentuk dari struktur seperti terumbu karang memberikan pendekatan ramah lingkungan yang diinginkan untuk aplikasi elektrokimia paduan berbasis magnesium [20].

Kesimpulan

Dari data yang ada, dapat disimpulkan bahwa endapan kapur di laut dibentuk melalui reaksi kimia antara ion-ion karbonat dan ion-ion kalsium dalam air laut. Proses ini tidak melibatkan elektrolisis. Endapan kapur kemudian terendap di dasar laut dan membentuk struktur karang atau terumbu karang yang sangat penting bagi kehidupan laut. Teknologi elektrolisis dapat digunakan untuk mempercepat terbentuknya batu kapur pada rangka baja yang berfungsi sebagai struktur awal bagi terumbu karang baru. Teknologi lain seperti pengendapan kimia, kristalisasi, atau biomineralisasi juga dapat digunakan. Pemilihan teknologi yang tepat tergantung pada kondisi dan sumber daya yang tersedia serta tujuan dari proses pembentukan batu kapur itu sendiri.

Referensi

- [1] K. De, M. Nanajkar, S. Mote, and B. Ingole, "Coral damage by recreational diving activities in a Marine Protected Area of India: Unaccountability leading to 'tragedy of the not so commons,'" *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 155, 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111190.
- [2] P. W. Purnomo, F. Purwanti, and D. S. Akhmad, "Coral Reef Conditions At the Snorkeling Spots of the Karimunjawa National Park, Indonesia," *Ribar. Croat. J. Fish.*, vol. 80, no. 2, pp. 77–86, 2022, doi: 10.2478/cjf-2022-0008.
- [3] Z. A. Harahap and I. E. Susetya, "Marine ecotourism potential in unggeh island tapanuli tengah regency, north sumatra, indonesia," *J. Ilm. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 12, no. 2, pp. 250–262, 2020, doi: 10.20473/jipk.v12i2.17940.
- [4] D. Susiloningtyas, T. Handayani, and A. N. Amalia, "The Impact of Coral Reefs Destruction and Climate Change in Nusa Dua and Nusa Penida, Bali, Indonesia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 145, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/145/1/012054.
- [5] R. Renggong, A. H. Hamid, and Y. Yulia, "Investigating law enforcement for coral reef conservation of the Spermonde Archipelago, Indonesia," *Asian J. Conserv. Biol.*, vol. 11, no. 1, pp. 3–11, 2022, doi: 10.53562/ajcb.61904.
- [6] W. Adi, I. Akhrianti, and M. Hudatwi, "Coral reef monitoring in Panjang Island, Central Bangka," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 926, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/926/1/012099.
- [7] W. Lazuardi, R. Ardiyanto, M. A. Marfai, B. W. Mutaqin, and D. W. Kusuma, "Coastal reef and seagrass monitoring for coastal ecosystem management," *Int. J. Sustain. Dev. Plan.*, vol. 16, no. 3, pp. 557–568, 2021, doi: 10.18280/IJSDP.160317.
- [8] P. F. Rachmawati and R. Puspasari, "Population parameters of several groupers (Famili Serranidae) in Labuan Bajo waters, East Nusa Tenggara," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 919, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/919/1/012001.
- [9] S. Siringong, J. D. True, and S. Piromvarakorn, "Number of tourists has less impact on coral reef health than the presence of tourism infrastructure," *Songklanakarinn J. Sci. Technol.*, vol. 40, no. 6, pp. 1437–1445, 2018, doi: 10.14456/sjst-psu.2018.175.
- [10] N. Zurba, "Pengenalan Terumbu Karang Sebagai Pondasi Utama Laut Kita," *Unimal Press*, p. 128,

- 2019.
- [11] F. M. Kanchiralla, S. Brynolf, E. Malmgren, J. Hansson, and M. Grahn, "Life-Cycle Assessment and Costing of Fuels and Propulsion Systems in Future Fossil-Free Shipping," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 56, no. 17, pp. 12517–12531, 2022, doi: 10.1021/acs.est.2c03016.
- [12] P. Wulandari *et al.*, "The health status of coral reef ecosystem in Taka Bonerate, Kepulauan Selayar Biosphere Reserve, Indonesia," *Biodiversitas*, vol. 23, no. 2, pp. 721–732, 2022, doi: 10.13057/biodiv/d230217.
- [13] L. Daris, A. N. A. Massiseng, M. E. Fachri, J. Jaya, and S. Zaenab, "The impact of fishermen's conflict on the sustainability of crab (*Portunus pelagicus*) resources in the coastal areas of Maros District, South Sulawesi, Indonesia," *Biodiversitas*, vol. 23, no. 10, pp. 5278–5289, 2022, doi: 10.13057/biodiv/d231037.
- [14] E. K. Eastwood, D. G. Clary, and D. J. Melnick, "Coral reef health and management on the verge of a tourism boom: A case study from Miches, Dominican Republic," *Ocean Coast. Manag.*, vol. 138, pp. 192–204, 2017, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2017.01.023.
- [15] L. Margheritini *et al.*, "Innovative Material Can Mimic Coral and Boulder Reefs Properties," *Front. Mar. Sci.*, vol. 8, no. June, pp. 1–10, 2021, doi: 10.3389/fmars.2021.652986.
- [16] N. Y. Puspita, T. Windayani, and A. A. Swantoro, "Indonesia's Responsibility for Coral Reef Damage in Kepulauan Seribu," *Mimb. Huk.*, vol. 25, no. 2, pp. 338–351, 2013.
- [17] L. D. Ellis, A. F. Badel, M. L. Chiang, R. J. Y. Park, and Y. M. Chiang, "Toward electrochemical synthesis of cement—An electrolyzer-based process for decarbonating CaCO₃ while producing useful gas streams," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 117, no. 23, pp. 12584–12591, 2020, doi: 10.1073/pnas.1821673116.
- [18] D. H. Ndahawali, S. Hamel, and D. Ticoalu, "Rancang Bangun Struktur Biorock Dengan Sumber Energi Tenaga Surya," vol. 13, no. 1, pp. 3–11, 2016.
- [19] Y. Cheng, Q. Zhang, Z. Zhu, W. Tu, Y. Cheng, and P. Skeldon, "Potential and morphological transitions during bipolar plasma electrolytic oxidation of tantalum in silicate electrolyte," *Ceram. Int.*, vol. 46, no. 9, pp. 13385–13396, 2020, doi: 10.1016/j.ceramint.2020.02.120.
- [20] M. Kaseem, T. Hussain, S. H. Baek, and Y. G. Ko, "Formation of stable coral reef-like structures via self-assembly of functionalized polyvinyl alcohol for superior corrosion performance of AZ31 Mg alloy," *Mater. Des.*, vol. 193, p. 108823, 2020, doi: 10.1016/j.matdes.2020.108823.

Penulis



Winda Purnama Sari, M.Pd. adalah seorang akademisi di Universitas Muhammadiyah Bangka-Belitung yang memiliki latar belakang pendidikan S1 di Pendidikan Biologi dari Universitas Ahmad Dahlan dan berhasil menyelesaikan pendidikan magister di bidang yang sama di Universitas Negeri Yogyakarta. Winda memiliki minat riset yang luas, meliputi teknologi pembelajaran, ekologi dan konservasi, STEM, dan TPACK. Selama ini telah melakukan pengembangan teknologi untuk mendukung pembelajaran, konservasi alam, dan pengembangan kurikulum. (email: winda.purnamasari@unmuhbabel.ac.id).



Rosa Liliani, M.Si. adalah seorang akademisi di Universitas Muhammadiyah Bangka-Belitung. Memiliki latar belakang pendidikan S1 di Pendidikan Biologi dari Universitas Ahmad Dahlan dan berhasil menyelesaikan pendidikan magister di bidang yang sama di Universitas Brawijaya pada tahun 2017. Dengan minat riset pada perairan, Rosa Liliani mungkin telah melakukan penelitian yang berkaitan dengan ekosistem perairan dan organisme yang hidup di dalamnya. (email: rosaliliani9494@gmail.com).