



Reaksi Kimia pada Aplikasi Teknologi *Biorock* di Akuarium Menggunakan Anoda Karbon, Timbal, dan Aluminium

Salasi Wasis Widyanto^{1*}

¹ Loka Perencanaan Teknologi Kelautan, BRSDM-KP, Kementerian Kelautan dan Perikanan RI

*abuyumna26@mail.com

Info Artikel

Kata kunci:

akresi mineral, anoda, akuarium, elektrolisis, ramah lingkungan

Abstrak

Teknologi *biorock* dikenali sebagai sebuah teknologi yang memanfaatkan proses elektrolisis untuk upaya konservasi terumbu karang. Aplikasi teknologi ini secara eksitu memerlukan penelitian terhadap perubahan kualitas air laut di akuarium baik secara fisik maupun kimia sesuai dengan anoda teroksidasi yang digunakan. Berdasarkan latar belakang ini, dirumuskanlah tujuan penelitian yaitu melakukan analisa terhadap reaksi kimia yang terjadi pada proses akresi mineral di akuarium dengan maksud mendapatkan hasil anoda terbaik yang ramah lingkungan sehingga tidak mengganggu perkembangan biota laut dalam akuarium. Metode yang dipergunakan meliputi desain konseptual, eksplorasi, observasi, pengujian, dan interpretasi hasil pengujian. Rangkaian ini merupakan metode yang umum digunakan dalam kegiatan perencanaan. Hasil yang didapatkan adalah proses akresi mineral dengan anoda karbon lebih lambat, tetapi lebih ramah lingkungan, sedangkan proses akresi mineral dengan anoda timbal dan aluminium berlangsung lebih cepat, tetapi tidak ramah lingkungan. Kemunculan gas klorin pada reaksi dengan anoda timbal dan tersebarnya residu berwarna putih hasil oksidasi aluminium merupakan indikasi bahan ini tidak ramah terhadap lingkungan. Kesimpulan yang dapat diambil yaitu analisa terhadap reaksi kimia yang terjadi pada proses akresi mineral di akuarium menggunakan beberapa jenis anoda telah dapat teridentifikasi, sehingga disarankan untuk mengintegrasikan anoda-anoda tersebut dalam rangka menemukan bahan anoda yang cepat proses akresi mineralnya sekaligus ramah terhadap lingkungan.

How to Cite: Widyanto, S.W. (2020). Reaksi Kimia pada Aplikasi Teknologi *Biorock* di Akuarium Menggunakan Anoda Karbon, Timbal, dan Aluminium. *Prosiding Seminar Nasional Sains 2020*, 1(1): 200-210.

PENDAHULUAN

Penerapan teknologi *biorock* di laut lepas sudah banyak dilakukan dan umumnya tidak ditemukan permasalahan pencemaran pada air laut. Hal ini disebabkan jumlah air laut jauh lebih banyak dibandingkan dengan bahan-bahan pencemar yang mungkin saja digunakan dalam aplikasi teknologi *biorock*. Hal ini memiliki perbedaan mendasar jika teknologi ini diterapkan pada akuarium, mengingat air laut dalam akuarium tidak sebanyak di laut lepas, sehingga memerlukan pemantauan kualitas air secara cermat. Arus dan tegangan listrik yang dialirkan ke dalam sistem *biorock* di akuarium selain harus diperhitungkan dengan matang sesuai dengan luasan selimut katoda dan volume air laut dalam akuarium, juga memerlukan analisis terhadap sejauh mana hasil reaksi kimia yang terjadi mempengaruhi kualitas air laut di dalamnya. Reaksi kimia yang terjadi umumnya menghasilkan akresi kalsium karbonat yang bermanfaat untuk mempercepat pertumbuhan biota karang. Sedangkan hasil reaksi kimia sampingannya berbeda-beda, tergantung jenis atau bahan anoda yang digunakan. Bahan anoda yang umumnya dari logam rentan menimbulkan pencemaran. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian terhadap hasil reaksi kimia sampingan yang terjadi apabila bahan anoda tertentu diujicobakan. Langkah ujicoba anoda ini merupakan salah satu rencana pemecahan masalah bagi

kemungkinan terjadinya penurunan kualitas air laut dalam akuarium akibat bahan anoda yang bereaksi dengan listrik. Tujuan ujicoba ini merupakan rumusan tujuan utama yakni untuk menganalisa reaksi kimia yang terjadi pada aplikasi teknologi *birock* di akuarium menggunakan bahan anoda karbon, timbal, dan aluminium. Harapannya adalah dapat diketahui bahan anoda yang ramah lingkungan dan direkomendasikan untuk dimanfaatkan pada aplikasi di akuarium.

Reaksi kimia adalah peristiwa perubahan kimia dari zat-zat yang bereaksi (reaktan) menjadi zat-zat hasil reaksi (produk). Pada reaksi kimia selalu dihasilkan zat-zat yang baru dengan sifat-sifat yang baru, sehingga kadangkala menimbulkan perubahan warna, membentuk endapan, menimbulkan perubahan suhu, dan menimbulkan gas. Jenis-jenis reaksi kimia meliputi reaksi pembentukan yaitu penggabungan atom-atom dari beberapa unsur membentuk senyawa baru, reaksi penguraian yang merupakan reaksi kebalikan dari reaksi pembentukan, reaksi pengendapan yaitu reaksi yang salah satu produknya berbentuk endapan, reaksi pertukaran yaitu pertukaran antar kation atau pertukaran antar anion, Reaksi netralisasi yaitu reaksi penetralan asam oleh basa yang menghasilkan air, reaksi pembakaran yaitu reaksi dari unsur atau senyawa dengan oksigen, dan reaksi oksidasi-reduksi yang sering diistilahkan dengan “reaksi redoks”, yaitu reaksi yang berlangsung secara simultan berupa reaksi pelepasan elektron (oksidasi) yang terjadi bersamaan dengan reaksi penangkapan elektron (reduksi).

Reaksi kimia dituliskan dengan menggunakan lambang unsur dan dituliskan ke dalam bentuk persamaan kimia. Suatu persamaan kimia menunjukkan rumus pereaksi (zat yang bereaksi) di sebelah kiri, suatu anak panah, dan rumus hasil reaksi di sebelah kanan, dengan banyaknya atom tiap unsur di sebelah kiri sama dengan jumlah atom tiap unsur di sebelah kanan anak panah sebagaimana bunyi hukum konservasi materi yang menyatakan bahwa dalam reaksi kimia biasa tidak ada materi yang hilang meskipun mungkin berubah, sehingga persamaan reaksinya dikatakan setimbang. Suatu pereaksi ialah zat apa saja yang mula-mula ada dan kemudian diubah ketika reaksi kimia berlangsung. Suatu hasil reaksi ialah zat apa saja yang dihasilkan selama reaksi kimia. Berikut ini merupakan sebuah contoh dari persamaan reaksi kimia yang setimbang:



Persamaan reaksi di atas memberi informasi tentang zat-zat yang bereaksi yaitu logam tembaga (Cu) dan asam sulfat (H_2SO_4), menghasilkan tembaga (II) sulfat (CuSO_4), air (H_2O) dan sulfur dioksida (SO_2). Persamaan ini juga mengindikasikan bentuk-bentuk zat yang bereaksi yakni padatan dengan notasi (*s*), terlarut dalam air dengan notasi (*aq*), cairan dengan notasi (*l*), dan gas dengan notasi (*g*). Informasi lain yang didapatkan adalah perbandingan mol dari zat-zat yang bereaksi maupun hasil reaksi. Dalam suatu perubahan kimia diikuti dengan reaksi kimia karena dalam perubahan tersebut terjadi perubahan struktur akibat interaksi antara unsur atau senyawa. Perubahan struktur tersebut diakibatkan oleh pemutusan atau pembentukan ikatan kimia. Dalam perubahan tersebut juga akan diikuti dengan perubahan energi yaitu ada yang dilepaskan ataupun dibentuk (Putri, 2016).

Elektrolisis adalah salah satu jenis reaksi kimia yang merupakan perubahan kimia atau reaksi dekomposisi dalam suatu elektrolit oleh arus listrik (Isana, 2010). Elektrolit larut dalam pelarut polar dengan terdisosiasi menjadi ion-ion positif (kation-kation) dan ion-ion negatif (anion-anion). Ion negatif disebut anion karena melalui larutan tertarik ke muatan positif pada anoda, sedangkan ion positif disebut katoda karena melalui larutan akan bergerak menuju muatan negatif pada katoda (Marlina, 2016). Teknologi *birock* dikenali sebagai sebuah teknologi yang memanfaatkan proses elektrolisis untuk upaya konservasi terumbu karang dimana teknologi ini merupakan suatu proses deposit elektro mineral yang berlangsung di dalam laut, sehingga disebut juga teknologi akresi mineral. Metode ini dapat mempercepat pertumbuhan karang di daerah yang rusak dan mengembalikan habitat terumbu karang yang sudah ada. Struktur yang dibentuk sangat cepat ditumbuhi dan didiami oleh berbagai macam organisme karang, termasuk ikan, kepiting, kima, gurita, lobster dan bulu babi yang biasanya ditemukan pada terumbu karang yang sehat (Ndahawali et. Al., 2016). Prinsip dari metode ini adalah membuat padatan mineral pada kerangka besi sebagai katoda. Mineral padatan yang terbentuk merupakan hasil dari perubahan pH di daerah katoda selama proses elektrolisis air laut berlangsung (Munandar et.al, 2018). Prinsip kerja *birock* terjadi ketika tegangan melewati elektroda, maka katoda akan menjadi cukup negatif untuk menarik ion hidrogen dari air laut dan menyumbangkan elektron untuk mengubah ion hidrogen menjadi gas yang akan naik ke permukaan. Dengan demikian, ion hidrogen di sekitar elektroda akan habis. Pada saat ion hidrogen di dekat katoda habis, berdasarkan

prinsip Le Chatelier's reaksi akan bergerak ke kanan untuk membentuk ion H^+ pada perairan, sehingga akan meningkatkan konsentrasi ion karbonat (CO_3^{2-}) pada perairan. Ion karbonat kemudian menarik ion kalsium (Ca^{2+}), sehingga terbentuklah endapan kalsium karbonat ($CaCO_3$). Ketika ion H^+ di sekitar katoda berubah menjadi gas hidrogen, daerah di dekat katoda menjadi kehabisan ion H^+ , dan sesuai dengan hukum kesetimbangan kimia, maka hal ini akan meningkatkan pH dan larutan menjadi basa. Kesetimbangan tersebut mendorong ion H^+ kembali seperti semula dan membuat konsentrasi ion OH^- meningkat, sehingga ion ini menarik ion magnesium (Mg^{2+}) membentuk magnesium hidroksida ($Mg(OH)_2$) atau *brucite* (Muhammad, 2009).

Bahan yang umum dipakai sebagai anoda dalam proses elektrolisis adalah grafit. Grafit merupakan logam *inert* yang sangat baik sebagai elektrokatalis dan tahan terhadap kondisi larutan (Hermawan & Syafila, 2017). Bahan ini memiliki kekuatan dan ketahanan fisik yang baik pada kondisi elektrolisis biasa (potensial tidak terlalu tinggi), tidak mengalami pasivasi, dan dapat digunakan dalam waktu yang lama pada densitas arus tinggi (Widodo et.al, 2008). Menurut Ridaningtyas et.al (2013), karbon mempunyai efektivitas yang lebih baik dalam upaya mengurangi kandungan ion-ion logam, stabil, tidak bereaksi dengan larutan yang di elektrolisis, dapat menghantarkan arus listrik dan panas dengan baik, serta mudah didapat dan murah. Pemanfaatannya diaplikasikan untuk berbagai keperluan, seperti sebagai elektrode dalam oksidasi ion CN^- , oksidasi asam sulfat, oksidasi EDTA dan oksidasi limbah organik. Fakta tersebut menunjukkan bahwa grafit (karbon) dapat digunakan sebagai elektrode yang cukup baik untuk berbagai proses dan kondisi elektrolisis (Widodo et.al, 2008). Bahan anoda lain yang juga umum digunakan, khususnya pada aplikasi *biorock* di laut lepas sejak diterapkannya teknologi ini adalah titanium. Harganya yang mahal menjadikan kendala tersendiri dalam penggunaannya di Indonesia. Guna mencari bahan anoda yang lebih ekonomis, beberapa anoda jenis lain seperti magnesium dan aluminium juga diujicobakan dalam berbagai parameter perlakuan (Zamani et.al., 2010).

Larutan elektrolit diperlukan dalam proses elektrolisis. Elektrolisis yang dimanfaatkan pada aplikasi teknologi *biorock* menggunakan air laut sebagai larutan elektrolitnya, baik pada aplikasi insitu di laut lepas maupun eksitu di akuarium. Konsentrasi elektrolit, waktu, tegangan, dan kuat arus harus diperhatikan dalam elektrolisis (Widodo & Rahmiati, 2009). Air laut merupakan larutan elektrolit yang kompleks karena kandungan dan konsentrasi elektrolitnya yang bervariasi. Kandungannya merupakan campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam-garam, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Kadar garam air laut rata-rata 3,5%, sehingga terasa asin jika dirasakan oleh lidah (Prastuti, 2017). Elemen kimia air laut terbagi menjadi elemen kimia utama (mayor) dan elemen kimia tambahan (minor). Elemen kimia utama terdapat di laut dalam kadar yang besar, yaitu terdapat dalam jumlah lebih dari 31,67 miligram elemen dalam 1 liter air laut atau 21,5 g/l. Diantara elemen mayor yang mempunyai ukuran > 1 ppm yaitu Natrium (Na), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Kalium (K), Klor (Cl), Sulfat (SO_4) dan Bikarbonat (HCO_3). Sedangkan yang tergolong ke dalam elemen minor antara lain: Boron (B), Silikon (Si), Flour (F), Argon (Ar), Nitrogen (N), Litium (Li), Rubidium (Rb), dan Fosfor (P). Kelompok ini terdapat dalam kadar yang lebih kecil dibandingkan dengan kelompok elemen kimia utama. Kadarnya di laut mempunyai nilai kisaran antara 5,52 mg sampai 0,079 mg dalam satu liter air laut (Anugrah, 2013). Kandungan air laut khususnya elemen mayornya diperlihatkan pada Tabel 1.

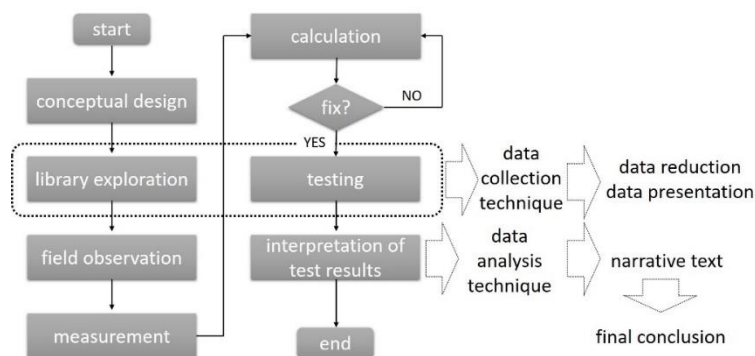
Tabel 1. Kandungan elemen mayor air laut

Unsur	Simbol	Konsentrasi (mg/l atau ppm)	Peluang Terlarut	Jumlah (ton)
Klorin	Cl	$1,95 \times 10^4$	Cl^-	$2,57 \times 10^{16}$
Natrium	Na	$1,077 \times 10^4$	Na^+	$1,42 \times 10^{16}$
Magnesium	Mg	$1,290 \times 10^3$	Mg^{2+}	$1,71 \times 10^{15}$
Sulfur	S	$9,05 \times 10^2$	SO_4^{2-}	$1,2 \times 10^{15}$
Kalsium	Ca	$4,12 \times 10^2$	Ca^{2+}	$5,45 \times 10^{14}$
Kalium	K	$3,80 \times 10^2$	K^+	$5,02 \times 10^{14}$
Bromin	Br	67	Br^-	$8,86 \times 10^{13}$
Karbon	C	28	HCO_3^- , CO_3^{2-} , CO_2	$3,7 \times 10^{15}$

Sumber: Anugrah, 2013

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Loka Perencanaan Teknologi Kelautan, Wakatobi, Sulawesi Tenggara pada bulan Agustus hingga Oktober Tahun 2019 dan rancangan metodologinya disusun berdasarkan metode perencana yang mengacu pada Petunjuk Teknis Jabatan Fungsional Perencana dan Angka Kreditnya yang ditetapkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT, 2013). Tahapan yang dirancang secara keseluruhan meliputi desain konseptual, eksplorasi pustaka, observasi lapangan, pengukuran, perhitungan, pengujian, dan interpretasi hasil pengujian. Teknik pengumpulan data yang berkaitan dengan disiplin ilmu yang dikaji hanya diperoleh dari kegiatan eksplorasi sebagai bentuk eksekusi reduksi data dan pengujian sebagai langkah yang harus dilalui untuk penyajian data. Sedangkan instrumen atau alat pengumpul data meliputi komputer yang terhubung dengan jaringan internet sebagai alat untuk melakukan eksplorasi dan perangkat sistem teknologi *bio-rock* pada akuarium yang terdiri atas empat komponen utama yaitu katoda dari bahan besi ram beton, anoda berbahan karbon-semen, timbal, dan aluminium, catu daya dengan output 12 Volt 0,5 Ampere, dan air laut sebagai larutan elektrolit yang berfungsi mengalirkan listrik pada sistem sehingga terjadi proses elektrolisis. Teknik analisa data yang dipilih adalah teknik analisa kualitatif dengan cara mempertajam, mengkategorikan, membuang yang tidak diperlukan, mengarahkan data, dan menyajikan data dalam bentuk teks naratif sehingga kesimpulan akhir dapat diambil. Keseluruhan proses dalam rancangan metode penelitian yang ditempuh diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan Penelitian Berbasis Metode Perencanaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapatkan dari pengujian teknologi *bio-rock* di akuarium dengan tiga anoda berbeda (karbon-semen, timbal, dan aluminium) secara terpisah berdasarkan analisis reaksi kimia yang timbul dan hasil reaksi kimia yang terjadi adalah anoda berbahan karbon lebih ramah lingkungan daripada bahan timbal dan aluminium. Karbon merupakan bahan *inert* yang tidak ikut teroksidasi selama reaksi berlangsung, sehingga bisa mempertahankan kondisi kualitas air laut dalam akuarium. Terciumnya bau gas klorin pada reaksi dengan anoda timbal menunjukkan bahan ini mencemari udara pada ruangan dimana akuarium ditempatkan, meskipun tidak menimbulkan kekeruhan pada air lautnya. Tersebaranya residu berwarna putih hasil oksidasi aluminium menyumbang efek kekeruhan pada air laut dalam akuarium, sehingga secara kasat mata dapat dikatakan bahwa bahan ini juga tidak bersahabat terhadap biota laut yang dipelihara. Sedangkan jika ditinjau dari sisi kecepatan reaksi yang terjadi, proses akresi mineral pada teknologi *bio-rock* yang diimplementasikan menggunakan anoda berbahan karbon-semen berjalan lebih lambat jika dibandingkan dengan dua bahan lainnya.



Gambar 2 (a). Bentuk silinder



Gambar 2 (b). Bentuk balok horizontal



Gambar 2 (c). bentuk balok vertikal

Gambar 2. Tingkat kejernihan air dalam akuarium tak terganggu dengan variasi bentuk dan volume anoda karbon

Reaksi kimia yang timbul ketika sistem *bio-rock* memanfaatkan karbon sebagai anoda dapat dideteksi dari karakteristik bahan karbon itu sendiri dan unsur-unsur apa saja yang terkandung dalam air laut di akuarium.

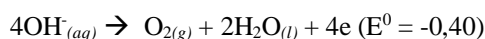
Karbon dikenal sebagai bahan *inert* yaitu bahan yang tidak ikut teroksidasi saat terjadi proses elektrolisis. Sementara unsur-unsur yang terkandung dalam air laut meliputi Natrium (Na), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Kalium (K), Klor (Cl), Sulfat (SO₄), dan Bikarbonat (HCO₃) dengan dominasi terbesar adalah Klor (Cl) dan Natrium (Na). Ketika listrik dialirkan pada sistem *bioreock*, elektron dari kutub negatif sumber arus searah akan menuju elektroda katoda, sehingga ion-ion yang ada dalam air laut menuju pada pasangannya masing-masing. Ion-ion positif (kation) menuju elektroda negatif (katoda besi), sedangkan ion-ion negatif (anion) menuju elektroda positif (anoda karbon), sehingga anion yang berada di sekitar anoda karbon adalah Cl⁻, SO₄²⁻, OH⁻, dan HCO₃⁻. Sedangkan kation yang berada di sekitar katoda yaitu H⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, dan K⁺. Mengingat anion dan kation yang berada di sekitar anoda maupun katoda tidak hanya satu jenis, maka diperlukan tabel potensial reduksi standar yang diperlihatkan pada Tabel 2 untuk menentukan anion mana yang lebih mudah teroksidasi dan kation mana yang lebih mudah tereduksi.

Tabel 2. Potensial reduksi standar elemen mayor air laut, bahan anoda, dan bahan katoda

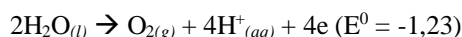
Setengah reaksi	E ⁰ (V)
Cl _{2(g)} + 2e → 2Cl ⁻ (aq)	+1,36
O _{2(g)} + 4H ⁺ (aq) + 4e → 2H ₂ O(l)	+1,23
Fe ³⁺ (aq) + 3e → Fe(s)	+0,77
O _{2(g)} + 2H ₂ O(l) + 4e → 4OH ⁻ (aq)	+0,40
SO ₄ ²⁻ (aq) + 4H ⁺ (aq) + 2e → SO _{2(g)} + 2H ₂ O(l)	+0,20
2H ⁺ (aq) + 2e → H _{2(g)}	0,00
Pb ²⁺ (aq) + 2e → Pb(s)	-0,13
Fe ²⁺ (aq) + 2e → Fe(s)	-0,44
2H ₂ O + 2e → H _{2(g)} + 2OH ⁻ (aq)	-0,83
Al ³⁺ (aq) + 3e → Al(s)	-1,66
Mg ²⁺ (aq) + 2e → Mg(s)	-2,37
Na ⁺ (aq) + e → Na(s)	-2,71
Ca ²⁺ (aq) + 2e → Ca(s)	-2,87
K ⁺ (aq) + e → K(s)	-2,93

Sumber: Harnanto & Ruminten, 2013

Reaksi oksidasi pada anoda terjadi pada elektroda yang digunakan, kecuali jika bahannya *inert* (seperti karbon, platina, dan emas), maka yang teroksidasi adalah ion-ion negatif (anion-anion) nya. Sedangkan jika anionnya merupakan sisa asam oksida, maka yang teroksidasi adalah air. Berdasarkan peringkat potensial reduksi standar pada Tabel 1, klor (Cl) memiliki nilai potensial reduksi paling positif. Maknanya Klor (Cl) merupakan oksidator paling kuat yakni unsur yang paling mudah mengalami reduksi. Oleh karena itu, ketika di sekitar anoda karbon berkumpul anion klorida (Cl⁻), sulfat (SO₄²⁻), dan bikarbonat (HCO₃⁻), anion yang paling akhir teroksidasi adalah klor (Cl⁻). Sedangkan anion lainnya yaitu sulfat (SO₄²⁻) dan bikarbonat (HCO₃⁻) tidak teroksidasi secara langsung karena merupakan sisa asam oksida, sehingga yang teroksidasi adalah pelarutnya yaitu air. Jumlah konsentrasi sulfat (SO₄²⁻) dan bikarbonat (HCO₃⁻) pun tidaklah banyak jika dibandingkan dengan konsentrasi anion klorida (Cl⁻) yang mendominasi volume air laut dalam akuarium. Adapun anion OH⁻ lebih mendominasi daripada anion lain dari sisi nilai potensial reduksinya yang paling rendah. Jika dituliskan dalam bentuk persamaan reaksi, maka reaksi oksidasi yang terjadi pertama kali di anoda karbon-semen sebagai berikut,



Reaksi oksidasi hidroksida terbukti dengan munculnya gelembung-gelembung udara yang keluar dari elektroda karbon-semen yang diujicobakan. Hal ini menunjukkan adanya gas oksigen yang dihasilkan. Setelah anion OH⁻ mengalami penurunan drastis, reaksi oksidasi akan digantikan oleh air dengan reaksi sebagai berikut,



Reaksi oksidasi air akan terus terjadi meskipun ion sulfat sedikit, karena sulfat tidak mengalami oksidasi lagi. Sedangkan ion bikarbonat akan terus ada karena selain tidak mengalami oksidasi, air laut dalam akuarium akan terus melakukan reaksi kesetimbangan karbondioksida seperti diperlihatkan pada gambar 3. Sementara itu pada waktu yang sama, reaksi reduksi juga terjadi di katoda. Reaksi ini tidak terjadi pada elektroda yang digunakan (besi), tetapi terjadi pada kation-kationnya (H⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, dan K⁺). Kation-kation yang berasal dari golongan IA dan IIA pada sistem periodik unsur sukar mengalami reduksi (Utami et.al, 2009), sehingga Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, dan K⁺ yang merupakan golongan IA dan IIA tidak tereduksi. Sebagai gantinya, air yang mengalami reduksi. Sedangkan kation H⁺ yang berasal dari asam akan mengalami reduksi secara langsung (Harnanto & Ruminten, 2009). Jika memperhatikan nilai potensial reduksi pada Tabel 2, kation H⁺ memiliki nilai

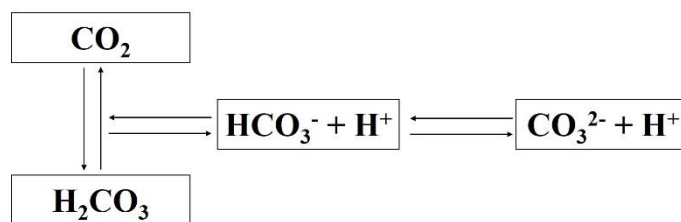
potensial yang paling tinggi dibanding kation-kation lain yang berada di sekitar katoda, sehingga kation ini yang paling awal mengalami reduksi. Gambaran reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut,



Reaksi ini juga terbukti dengan ujicoba yang dilakukan yakni keluarnya gelembung-gelembung udara dari elektroda katoda yang disinyalir merupakan gas hidrogen. Jika kation H^+ semakin menipis akibat reaksi reduksi ion hidrogen, maka reaksi reduksi yang terjadi dialami oleh air dengan gambaran reaksi sebagai berikut,

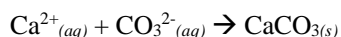


Namun, air laut memiliki kemampuan mengembalikan kation H^+ melalui reaksi keseimbangan yang diperlihatkan pada Gambar 3 (Susana, 1988), sehingga saat kation H^+ menyusut, air laut berusaha menyeimbangkannya dan reaksi akan bergeser ke arah kanan.

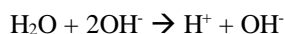


Gambar 3. Reaksi Keseimbangan Karbondioksida di Air Laut

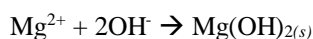
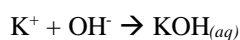
Reaksi keseimbangan yang terjadi mengakibatkan reaksi reduksi air tidak berjalan, sehingga pada katoda akan berlangsung reaksi reduksi ion H^+ secara kontinyu. Reaksi inilah yang memicu produksi ion karbonat (CO_3^{2-}) dalam jumlah besar. Hal ini menyebabkan kation-kation (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+}) akan melakukan ikatan kimia dengan ion ini. Berdasarkan sifat-sifat unsur dalam satu golongan pada sistem periodik unsur, semakin ke bawah sifat kereaktifan semakin bertambah, sehingga kalsium lebih reaktif dibandingkan dengan magnesium, dan kalium lebih reaktif daripada natrium. Sedangkan dalam satu periode, semakin ke kanan sifat kereaktifannya semakin berkurang, sehingga kalium lebih reaktif daripada kalsium, dan natrium lebih reaktif daripada magnesium. Mengingat kalium adalah logam yang sangat aktif bereaksi dengan oksigen di air membentuk kalium hidroksida yang larut dalam air dan baru membentuk kalium karbonat setelah melewati fase kalium hidroksida (Burkhardt & Elizabeth, 2006), sedangkan magnesium tidak lebih reaktif daripada kalsium, bahkan cenderung lama bereaksi pada air dingin, maka kalsium merupakan unsur yang paling mungkin untuk melakukan ikatan dengan ion karbonat yang konsentrasinya melimpah akibat reaksi keseimbangan yang terjadi, sehingga membentuk endapan kalsium karbonat yang menempel pada katoda setelah melewati titik jenuhnya. Ilustrasi reaksi yang terjadi dituliskan sebagai berikut,



Reaksi lain juga akan terjadi ketika ion H^+ di sekitar katoda berubah menjadi gas H_2 yang mengakibatkan kehabisan ion H^+ , sehingga meningkatkan pH di daerah sekitar katoda (larutan menjadi basa yaitu kandungan ion OH^- meningkat). Reaksi yang terjadi antara air dengan ion hidroksida untuk menghasilkan ion H^+ baru pun memberikan hasil sampingan ion OH^- yang baru seperti digambarkan dalam persamaan reaksi berikut,

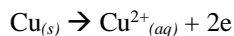


Hal ini membuat konsentrasi ion OH^- semakin meningkat, sehingga selain ion kalium berikatan dengannya membentuk kalium hidroksida yang terlarut dalam larutan, ion Mg^{2+} juga membentuk ikatan dengannya menghasilkan magnesium hidroksida (*brucite*) yang tidak larut dalam larutan. Persamaan reaksinya dituliskan sebagai berikut,

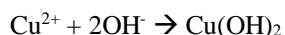


Berdasarkan hasil-hasil reaksi yang terjadi selama proses elektrolisis berlangsung, dapat disimpulkan bahwa bahan karbon-semen sebagai elektroda positif menunjukkan sebagai bahan yang ramah lingkungan karena

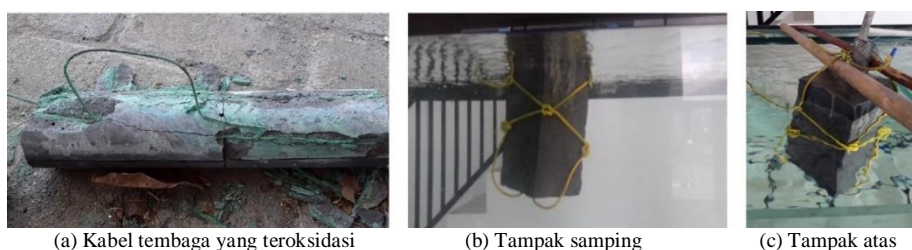
tidak menghasilkan zat-zat yang berbahaya baik bagi air laut dalam akuarium maupun udara di sekitar akuarium. Adapun sebagian hasil ujicoba yang tidak sesuai dengan ekspektasi yang diharapkan adalah semata-mata karena kesalahan prosedural dalam instalasi anoda dan adonan yang tidak tepat untuk mencampur karbon dengan semen. Kabel tembaga yang merupakan konektor dari catu daya menuju elektroda ikut tercelup ke dalam air. Akibatnya, muncul bubuk berwarna kehijauan dari elektroda karbon yang disinyalir merupakan hasil oksidasi tembaga yang bereaksi dengan air seperti ditunjukkan oleh Gambar 4. Persamaan reaksi yang terjadi ketika tembaga ikut teroksidasi dituliskan sebagai berikut,



Ion tembaga hasil oksidasi akan berikatan dengan hidroksida membentuk tembaga (II) hidroksida yang dituliskan dalam persamaan reaksi berikut,



Reaksi ini terbukti dengan warna biru pucat kehijauan atau hijau kebiruan yang muncul dari kabel tembaga pada elektroda karbon (Patnaik, 2003) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4(a).

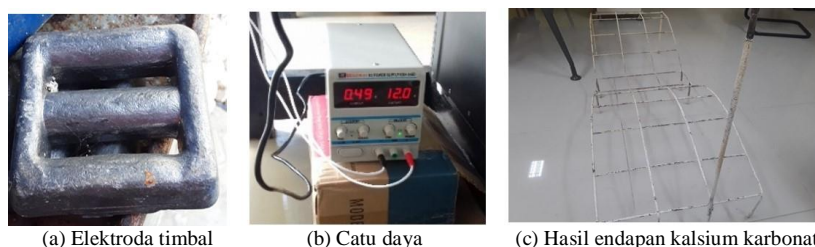


Gambar 4. Instalasi Elektroda Anoda yang Benar (Kabel Tidak Ikut Tercelup) agar Konektor Tidak Ikut Teroksidasi

Reaksi kimia yang timbul ketika sistem *birock* memanfaatkan timbal (Pb) sebagai anoda dapat dijabarkan sesuai dengan kaidah-kaidah ilmu kimia. Pb merupakan logam yang tidak *inert*, sehingga ketika dimanfaatkan sebagai anoda, bahan ini akan mengalami oksidasi dengan reaksi sebagai berikut,



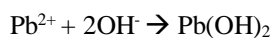
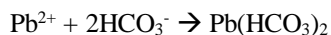
Ion timbal (II) atau Pb^{2+} biasanya tidak berwarna dalam larutan (Hunt, 2014), sehingga air laut dalam akuarium tampak bening dan seperti tidak ada tanda-tanda ion ini ada dalam air. Analisis kualitatif untuk mendeteksi ion Pb^{2+} biasanya dilakukan dengan larutan asam klorida encer yang akan menghasilkan endapan timbal (II) klorida (PbCl_2). Namun, analisis ini tidak dapat mendeteksi ion Pb^{2+} yang sangat encer, karena PbCl_2 tidak mengendap jika konsentrasinya sangat kecil. Untuk mendeteksi larutan Pb^{2+} sangat encer, ditiupkan gas hidrogen sulfida, yang menghasilkan endapan timbal (II) sulfida atau PbS (Greenwood & Earnshaw, 1998). Air laut yang tampak bening dalam akuarium tidak selamanya mengindikasikan kualitas air yang bagus jika ion timbal ada di dalamnya. Berdasarkan beberapa penelitian, timbal bukan merupakan bahan yang ramah terhadap lingkungan perairan. Kandungannya dalam air laut akan membahayakan biota yang ada di dalamnya (Marwah et al., 2015), apalagi jika air lautnya dalam skala kecil berupa akuarium.



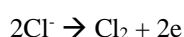
Gambar 5. Elektroda Timbal dan Catu Daya yang Diaplikasikan dalam Ujicoba Sistem *Biorock* dan Hasil Endapan CaCO_3 pada Katoda Besi

Logam berat Pb dalam jumlah yang besar dapat mempengaruhi berbagai aspek dalam perairan, baik aspek biologis maupun aspek ekologis. Bahan pencemar ini jika berada di atas ambang batas dalam suatu perairan, maka akan terjadi ketidakseimbangan lingkungan perairan yang akhirnya mengganggu kehidupan perairan (Harifuddin & Patang, 2018). Air laut yang berkarbondiosida akan mengikat timbal menjadi Timbal bikarbonat

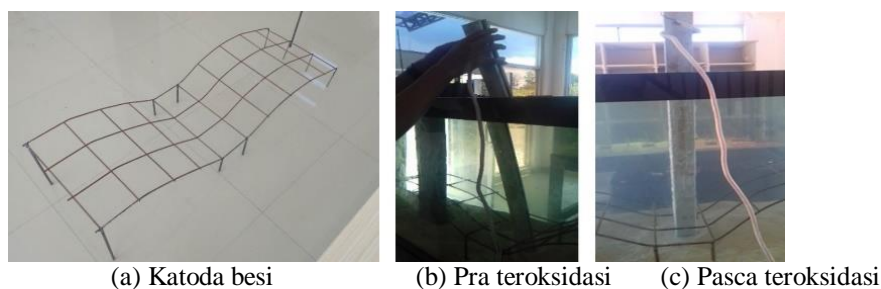
dan yang beroksigen akan menyerap timbal menjadi Timbal (II) Hidroksida. Kedua senyawa ini memiliki kesamaan dalam hal sifat ketidakrahmannya terhadap biota air. Reaksi yang terjadi dituliskan sebagai berikut,



Seiring dengan berkurangnya kadar timbal, selain karena berukuran kecil juga disebabkan mengalami reaksi oksidasi secara kontinyu, maka zat yang mudah mengalami oksidasi berikutnya adalah yang memiliki E^0 oksidasi lebih positif. Berdasarkan hal ini, maka yang akan tereduksi adalah air, tetapi fakta percobaan menunjukkan bahwa yang terbentuk di anoda adalah gas Cl_2 . Karena voltase yang dibutuhkan untuk suatu reaksi jauh lebih tinggi dibandingkan yang ditunjukkan oleh potensial elektrodanya (*overvoltase*). Selisih antara potensial elektroda dan voltase sebenarnya yang diperlukan untuk terjadinya elektrolisis. *Overvoltase* pembentukan O_2 cukup tinggi, sehingga pada kondisi kerja normal yang terbentuk di anoda adalah gas Cl_2 (Wahyono et.al., 2017). Akibatnya, peran reduktor digantikan oleh ion klorida (Cl^-), sehingga reaksi oksidasi tahap kedua dapat dituliskan sebagai berikut,

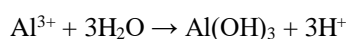
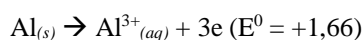


Hal ini ditandai dengan terciumnya bau gas klorin yang khas seperti bau bahan pemutih pakaian muncul dari akuarium setelah bahan anoda timbal diujicobakan beberapa waktu. Gas ini dapat merangsang iritasi terhadap selaput lendir pada mata/*conjunctiva*, selaput lendir hidung, selaput lendir tenggorokan, tali suara, dan paru-paru. Menurut *World Health Organization (WHO)* nilai ambang batas residu klorin dalam air adalah 0,5 ppm. Menghisap gas klor dalam konsentrasi mencapai 1000 ppm dapat mengakibatkan kematian mendadak di tempat. Orang yang menghirup gas klor akan merasakan sakit dan rasa panas/pedih pada tenggorokan. Hal ini disebabkan pengaruh rangsangan/iritasi terhadap selaput lendir (*mucus membrane*) yang menimbulkan batuk-batuk kering yang terasa pedih dan panas, waktu menarik napas terasa sakit dan sukar untuk bernapas, waktu bernapas terdengar suara desing seperti penderita asma/*bronchitis* (Rosita et.al, 2016). Resiko ini dikhawatirkan bisa terjadi, mengingat ruangan dimana akuarium ditempatkan lebih cocok dalam ruangan tertutup ber-AC yang tidak terkena sinar matahari secara langsung untuk memaksimalkan pencahayaan dengan lampu *LED*. Berdasarkan hasil-hasil reaksi yang terjadi selama proses elektrolisis berlangsung, dapat disimpulkan bahwa bahan timbal sebagai elektroda positif menunjukkan sebagai bahan yang tidak ramah lingkungan karena menghasilkan zat-zat yang mencemari air laut dalam akuarium maupun udara di sekitar akuarium. Sedangkan reaksi reduksi yang terjadi pada elektroda katoda sama persis dengan reaksi reduksi yang terjadi saat anoda yang dipakai dari bahan karbon. Termasuk pembentukan endapan CaCO_3 dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ juga persis sama seperti ketika anodanya menggunakan karbon.



Gambar 6. Katoda Besi Sebelum Dirangkai dalam Sistem *Biorock* dan Elektroda Anoda Aluminium Sebelum dan Sesudah Teroksidasi

Reaksi kimia yang terjadi ketika sistem *biorock* mengaplikasikan aluminium (Al) sebagai anoda dapat disesuaikan dengan hasil ujicoba yang dilakukan. Elektrolisis anoda aluminium menghasilkan spesi monomerik kationik seperti Al^{3+} dan $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ pada pH rendah, selanjutnya pada pH yang sesuai akan berubah menjadi $\text{Al}(\text{OH})_3$ sesuai dengan reaksi berikut:



Padatan berbentuk serbuk kristal, granul, atau gel berwarna putih, dan tidak berbau semakin banyak diproduksi saat ujicoba aluminium sebagai anoda dilakukan pada sistem *birock*. Hal ini menunjukkan bukti bahwa hasil oksidasi aluminium segera bereaksi dengan air membentuk aluminium hidroksida yang memiliki sifat fisik seperti yang telah disebutkan. Kondisi kejernihan air laut dalam akuarium mengalami penurunan akibat *sweep coagulation* yang menyertai elektrokoagulasi dari aluminium hidroksida yakni penangkapan koloid negatif yang ikut mengendap saat aluminium hidroksida terbentuk melalui proses penggumpalan dan pengendapan partikel-partikel halus yang terdapat dalam air dengan menggunakan energi listrik (Yusbarina, 2015). Meskipun kejernihan air bukan satu-satunya indikator kualitas air, tetapi air yang keruh menjadi tolok ukur awal kualitas air yang menurun. Semakin keruh bisa berarti semakin menurun pula kualitas airnya, sehingga pemakaian aluminium sebagai bahan anoda sistem *birock* pada akuarium tidak direkomendasikan karena tidak mendukung kehidupan biota laut di dalamnya, bahkan cenderung mengancam kehidupan biota laut tersebut. Sedangkan reaksi reduksi yang terjadi pada elektroda katoda sama persis dengan reaksi reduksi yang terjadi saat anoda yang dipakai dari bahan karbon. Termasuk pembentukan endapan CaCO_3 dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ juga persis sama seperti ketika anodanya menggunakan karbon.

Beralih pada proses akresi mineral yang terjadi, ditemukan fenomena bahwa proses akresi mineral dengan anoda berbahan karbon-semen berjalan lebih lambat dibandingkan menggunakan dua elektroda lainnya, bahkan terjadi kecenderungan turunnya arus listrik dalam waktu relatif singkat secara kontinyu. Pada 10 menit pertama terjadi penurunan arus listrik sebesar 0.07 Ampere, 10 menit kedua terjadi penurunan arus listrik sebesar 0.01 Ampere, 10 menit ketiga terjadi penurunan arus listrik sebesar 0.02 Ampere, 10 menit keempat dan seterusnya terjadi penurunan arus listrik sebesar 0.01 Ampere.

Tabel 2. Pengukuran keluaran catu daya saat sistem *birock* menggunakan anoda karbon

Waktu (WITA)	Arus listrik (Ampere)	Tegangan listrik (Volt)
10.00	0.5	12
10.10	0.43	12
10.20	0.42	12
10.30	0.40	12
10.40	0.39	12
10.50	0.38	12
11.00	0.37	12
11.10	0.36	12
11.20	0.35	12
11.30	0.34	12
11.40	0.33	12
11.50	0.32	12
12.00	0.31	12

Adapun penyebab proses akresi mineral dengan anoda berbahan karbon-semen berjalan lebih lambat dipetakan menjadi dua. Pertama, campuran dengan semen sebagai perekat karbon tanpa melalui proses karbonisasi mengurangi kualitas daya hantar listrik pada karbon, karena biasanya karbon yang diaplikasikan dibuat dengan cara karbonisasi pada suhu tinggi dimana semakin tinggi suhu yang diberikan, maka semakin memperbesar nilai konduktivitas listriknya (Destyorini et.al., 2010). Kedua, karbon merupakan bahan non logam yang sifat daya hantar listriknya tidak lebih baik dari aluminium dan timbal yang notabene merupakan logam. Logam pada umumnya mempunyai sifat kuat, liat, keras, penghantar listrik, penghantar panas, serta mempunyai titik cair yang tinggi. Aluminium sendiri merupakan logam *non ferro* yang bahan dasarnya adalah bauksit dan kreolit yang memiliki beberapa kelebihan diantaranya sebagai konduktor panas dan listrik yang baik (Setyawan, 2006). Aluminium mempunyai daya hantar listrik 65% dari tembaga, sedangkan massa jenisnya kira-kira 1/3 massa jenis tembaga, karena daya hantar listrik yang baik ini, aluminium banyak digunakan sebagai penghantar listrik (Setiawan, 2013). Sedangkan timbal memiliki sifat kurang baik sebagai penghantar listrik (Harifuddin & Patang, 2018), meskipun sebagai logam. Timbal memiliki resistansi jenis (ρ) 192 nanoohm-meter ($\text{n}\Omega\cdot\text{m}$) pada suhu 20°C , hampir 10 kali lebih besar dibanding logam-logam yang banyak digunakan industri, seperti tembaga ($15,43 \text{ n}\Omega\cdot\text{m}$), emas ($20,51 \text{ n}\Omega\cdot\text{m}$), dan aluminium ($24,15 \text{ n}\Omega\cdot\text{m}$). Angka-angka ini menunjukkan bahwa timbal adalah penghantar arus listrik yang lebih buruk dibandingkan logam-logam tersebut (Lide, 2005). Jika dibandingkan dengan aluminium, daya hantar

listrik timbal lebih buruk, namun masih lebih baik daripada karbon, karena karbon merupakan non logam. Dalam sistem periodik unsur, timbal terletak di bawah karbon pada golongan IVA. Berdasarkan kecenderungan sifat logam dalam sistem periodik unsur, unsur yang berada dalam satu golongan memiliki sifat logam semakin besar dari atas ke bawah (Permana, 2009). Berdasarkan hal itu, maka karbon memiliki daya hantar listrik yang paling kecil, tetapi bukan sama sekali tidak bisa menghantarkan listrik, karena grafit sudah dikenali bisa menghantarkan listrik dari penggunaannya dalam baterai dan proses elektrolisis secara luas.

PENUTUP

Kesimpulan yang dapat diambil yaitu analisa terhadap reaksi kimia yang terjadi pada proses akresi mineral di akuarium menggunakan beberapa jenis anoda telah dapat teridentifikasi, sehingga disarankan untuk mengintegrasikan anoda-anoda tersebut dalam rangka menemukan bahan anoda yang cepat proses akresi mineralnya sekaligus ramah terhadap lingkungan

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan pada Dr. La Harimu, M.Si selaku Dosen Pendidikan Kimia Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Halu Oleo, Kendari atas masukannya yang sangat berharga dalam penelitian ini. Demikian pula ungkapan terima kasih ditujukan pada Loka Perekayasaan Teknologi Kelautan atas DIPA yang dikucurkan untuk mendukung berjalannya penelitian teknologi *bio-rock* di akuarium.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, P.T. (2013). *Oceanografi Komponen Mayor dan Minor Air Laut*. Malang: Program Studi Ilmu Kelautan Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya.
- BPPT. (2013). *Peraturan Kepala Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Nomor 105 Tahun 2013 tentang Petunjuk Teknis Jabatan Fungsional Perekayasa dan Angka Kreditnya Edisi Revisi*. Jakarta: Pusat Pembinaan, Pendidikan dan Pelatihan Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi.
- Burkhardt, Elizabeth R. (2006). Potassium and Potassium Alloys. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, A22, 31–38. doi:10.1002/14356007.a22_031.pub2
- Destyorini, F., Suhandi, A., Subhan, A., & Indayaningsih, N. (2010). Pengaruh Suhu Karbonisasi Terhadap Struktur dan Konduktivitas Listrik Arang Serabut Kelapa. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, 10(2), 122 – 132.
- Greenwood, N. N. & Earnshaw, A. (1998). *Chemistry of the Elements (second edition)*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Harifuddin & Patang. (2018). *Analisis Pola Distribusi Logam Berat Timbal serta Pengaruh Terhadap Kualitas Air dan Organisme di Sepanjang Sungai Jeneberang*. Makassar: Universitas Negeri Makassar.
- Harnanto, A. & Ruminten. (2009). *Kimia 3 untuk SMA/MA Kelas XII*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Hermawan, R. & Syafila, M. (2017). Pengaruh Plat Grafit dan Tembaga Terhadap Kinerja Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Yang Mengandung Logam Zn Menggunakan Metode Elektrolisis. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 23 (1), 13-21.
- Hunt, A. (2014). *Dictionary of Chemistry*. London: Routledge
- Isana, S.Y.L. (2010). Perilaku sel elektrolisis air dengan elektroda stainless steel. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*.
- Lide, D.R. (2005). *CRC Handbook of Chemistry and Physics Internet Version 2005*. Boca Raton: CRC Press.
- Marlina, E. (2016). Pengaruh Variasi Larutan Elektrolit terhadap Produksi Brown's Gas. *Info Teknik*, 17(2), 187-196.

- Marwah, R.A., Supriharyono, & Haeruddin. (2015). Analisis Konsentrasi Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Air dan Ikan dari Perairan Sungai Wakak Kendal. *Diponegoro Journal of Maquares Management of Aquatic Resources*, 4(3), 37- 41.
- Muhammad, Y. (2009). *Struktur Komunitas Ikan Karang Pada Biorock Di Kawasan Perlindungan Laut Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Jakarta*. Bogor: Program Studi Ilmu Dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Munandar, Mahendra, Rani, C., & Faizal, A. (2018). Struktur Komunitas Ikan Karang Pada Lokasi Biorock Di Taman Wisata Alam Laut Sabang. *Prosiding Seminar Nasional Pertanian dan Perikanan*, 1, 319-328.
- Ndahawali, D. H., Hamel, S., Barokah, & Ticoalu, D. (2016). Rancang Bangun Struktur Biorock Dengan Sumber Energi Tenaga Surya. *Buletin Matric*, 13(1), 3-11.
- Patnaik, P. (2003). *Handbook of Inorganic Chemicals*. New York: McGraw-Hill
- Permana, I. (2009). Memahami Kimia SMA/MA untuk Kelas X Semester 1 dan 2. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Prastuti, O.P. (2017). Pengaruh Komposisi Air Laut dan Pasir Laut Sebagai Sumber Energi Listrik. *Jurnal Teknik Kimia Lingkungan*, 1(1), 35-41.
- Putri, P. (2016). *Modul Guru Pembelajar Paket Keahlian Kimia Kesehatan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)*. Jakarta: Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bisnis dan Pariwisata, Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan.
- Ridaningtyas, Y.W., Widodo, D.S., & Hastuti, R. (2013). Pengolahan Limbah Cair Industri Percetakan Secara Elektrolisis dengan Elektroda Karbon. *Jurnal Skripsi Kimia Universitas Diponegoro*, 1(1), 51 – 58.
- Rosita, D., Zaenab, S., & Budiyanto, M.A.K. (2016). Analisis Kandungan Klorin Pada Beras Yang Beredar Di Pasar Besar Kota Malang Sebagai Sumber Belajar Biologi. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 2(1), 88-93.
- Setiawan, U., Margianto, & Hartono, P. (2013). Pengaruh Beda Potensial Listrik Saat Anodizing terhadap Kekerasan Aluminium Hasil Anodizing. *Jurnal Sains dan Teknologi Teknik Mesin Unisma*, 2(2), 33-37.
- Setyawan, S. (2006). *Pengaruh Variasi Penambahan Tembaga (Cu) dan Jenis Cetakan pada Proses Pengecoran Terhadap Tingkat Kekerasan Paduan Alumunium Silikon (Al-Si)*. Surakarta: Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret.
- Susana, T. (1988). Karbon dioksida. *Oseana*, 13(1), 1 – 11
- Utami et.al. (2009). *Kimia untuk SMA dan MA Kelas XII Program Ilmu Alam*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Wahyono, Y., Sutanto, H., & Hidayanto, E. (2017). Produksi gas hydrogen menggunakan metode elektrolisis dari elektrolit air dan air laut dengan penambahan katalis NaOH. *Youngster Physics Journal*, 6(4), 353 - 359.
- Widodo, D.S., Gunawan, & Kristanto, W.A. (2008). Elektroremediasi Perairan Tercemar: Penggunaan Grafit pada Elektrokolorisasi Larutan Remazol Black B. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 11(2), 34 – 37.
- Widodo, G. & Rahmiati. (2009). Pengaruh Konsentrasi Elektrolit, Tegangan Dan Waktu Terhadap Kadar Uranium Pada Elektrolisis PEB U₃Si₂-Al. *Jurnal Teknik Bahan Nuklir*, 5(2), 53-105.
- Yusbarina. (2015). Optimasi pH Awal Dan Penambahan Elektrolit Garam Dalam Pengolahan Limbah Surfaktan Secara Elektrokoagulasi. *Jurnal Photon* 5(2), 37 – 42.
- Zamani, N.P. et.al. (2010). Study On Biorock Technique Using Three Different Anode Materials (Magnesium, Aluminum, And Titanium). *E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 2(1), 1-8.