

Korelasi Antara Daya Serap *Gracilaria* sp. Terhadap Konsentrasi Logam Berat Cu di Media Pemeliharaan

Regina Amanda*, Ria Azizah Tri Nuraini, Endang Supriyantini

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto S. H, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
*Corresponding author, email : reginaamanda201@gmail.com

ABSTRAK: Pencemaran air terhadap lingkungan dapat menyebabkan dampak membahayakan yang dapat dirasakan oleh makhluk hidup. Salah satu logam berat yang sering mencemari air adalah logam berat tembaga (Cu). Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kemampuan daya serap rumput laut *Gracilaria* sp. terhadap logam berat Cu dan pertumbuhannya. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan menggunakan 4 perlakuan penambahan konsentrasi Cu, yaitu kontrol (0,54 ppm, sesuai dengan konsentrasi Cu pada air laut), 3 ppm, 6 ppm, 9 ppm dengan 3 kali pengulangan. Pengukuran kandungan logam Cu terhadap *Gracilaria* sp. dengan menggunakan *Atomic Absorption Spektrofotometri* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyerapan logam berat Cu tertinggi terdapat pada konsentrasi 9 ppm, yaitu sebesar 3,63 ppm dan terendah pada kontrol yaitu sebesar 0,27 ppm.. Pertumbuhan *Gracilaria* sp. tertinggi terdapat pada perlakuan kontrol dengan penambahan berat sebesar 209,2 gram dan terendah pada konsentrasi 9 ppm, yaitu sebesar 162,9 gram. Semakin tinggi konsentrasi Cu yang diberikan maka semakin rendah pertumbuhan *Gracilaria* sp.

Kata kunci : *Gracilaria* sp.; Logam berat; Tembaga (Cu); Daya Serap

Correlation Between the Absorption Capacity of Gracilaria sp. Against Heavy Metal Cu Concentration in Maintenance Media

ABSTRACT: Water pollution to the environment can cause dangerous impacts that can be felt by living things. One of the heavy metals that often pollutes water is the heavy metal copper (Cu). The purpose of this study was to determine the absorption capacity of *Gracilaria* sp. to the heavy metal Cu and its growth. This study used a laboratory experimental method with a completely randomized design (RAL) using 4 additional treatments of Cu concentration, namely control (0.54 ppm, according to the Cu concentration in seawater), 3 ppm, 6 ppm, 9 ppm with 3 repetitions. Measurement of Cu metal content against *Gracilaria* sp. by using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results showed that the highest absorption of heavy metal Cu was at a concentration of 9 ppm, which was 3.63 ppm and the lowest was 0,27 ppm in control.. The Growth of *Gracilaria* sp. The highest was found in the control treatment with a weight gain of 209.2 grams and the lowest was at a concentration of 9 ppm, which was 162.9 grams. The higher the concentration of Cu given, the lower the growth of *Gracilaria* sp.

Keywords: *Gracilaria* sp.; Heavy Metal; Copper (Cu); Absorption

PENDAHULUAN

Pencemaran merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi di masa sekarang. Pencemaran air terhadap lingkungan dapat menyebabkan dampak yang membahayakan yang dapat di rasakan oleh makhluk hidup. Faktor utama penyebab pencemaran lingkungan adalah limbah industri, limbah domestik, serta limbah sarana rekreasi dan pariwisata. Limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri yang tanpa diolah terlebih dahulu menjadi penyebab pencemaran lingkungan yang sangat besar karena limbah yang dihasilkan dalam skala besar (Lestari dan Edward, 2004).

Logam Cu merupakan logam yang dihasilkan oleh industri. Logam Cu digolongkan kedalam

logam berat esensial dalam konsentrasi yang sangat kecil, apabila pada konsentrasi tinggi logam Cu akan menjadi racun bagi makhluk hidup. Logam berat Cu mengkontaminasi lingkungan air dapat memberikan pengaruh buruk pada biota dengan terhambatnya metabolisme karena terjadi kerusakan dan penurunan kerja enzim. Selain itu logam berat Cu juga memberikan efek negative pada tanaman jika terakumulasi terlalu tinggi (Elawati *et al.*, 2016). Menurut Samsundari dan Perwira (2011) rumput laut sebagai bioindicator pencemaran yang efisien untuk menduga pencemaran logam berat.

Rumput laut *Gracilaria* sp. mempunyai kemampuan menyerap logam berat Pb, Cu dan Cd. Kemampuan menyerap logam berat tersebut diduga karena *Gracilaria* mengandung polisakarida yang terdapat pada dinding selnya sehingga *Gracilaria* mampu mengikat ion logam berat yang ada disekitarnya dan membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat dalam *thallus* (Yulianto *et al.*, 2006; Raya & Ramlah, 2012). Menurut Suardika *et al.* (2017) rumput laut ditemukan dapat membersihkan polutan yang cukup efektif dari pembuangan limbah industri seperti logam berat, rumput laut mampu menyerap logam berat dalam air yang dibuang dari industri sebesar 95%.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian tentang daya serap *Gracilaria* yang diharapkan dapat memberikan informasi tentang potensi *Gracilaria* sp. dalam penyerapan logam Cu di media pemeliharaan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pertumbuhan dan kemampuan daya serap *Gracilaria* sp. terhadap logam berat Cu dengan konsentrasi yang berbeda.

MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan pada penelitian ini adalah rumput laut *Gracilaria* sp. yang berasal dari budidaya rumput laut di Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara. Sebelum dilakukan penelitian, *Gracilaria* sp. diaklimatisasi selama 7 hari agar beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Wadah uji yang digunakan adalah akuarium kaca berukuran 50 cm x 30 cm x 35 cm sebanyak 12 buah. Masing-masing akuarium diisi air laut sebanyak 30 L dengan salinitas 25 ppt (Widyorini, 2010; Atmadja *et al.*, 2012), dan tiap akuarium membutuhkan *Gracilaria* sp. sebanyak 400 gram yang dibagi menjadi dua ikatan, masing-masing 200 gram untuk sampel yang akan dianalisis absorpsinya dan 200 gram untuk pengukuran pertumbuhan. Media pemeliharaan ditambah dengan logam berat Cu yang berasal dari tembaga (II) sulfat pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

Metode yang digunakan yaitu eksperimental laboratoris menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan menggunakan 4 perlakuan, yang terdiri dari A (kontrol) = 0,54 ppm, sesuai dengan konsentrasi Cu pada air laut, B = konsentrasi Cu 3 ppm, C = konsentrasi Cu 6 ppm, dan D = konsentrasi Cu 9 ppm.

Parameter yang diukur meliputi, pengukuran berat basah, pertumbuhan mutlak, laju pertumbuhan spesifik (SGR), kandungan logam berat yang dilakukan setiap minggu sekali selama 28 hari, dan parameter kualitas air pada media, seperti suhu, salinitas, pH, DO diukur setiap hari selama 28 hari masa pemeliharaan. Analisis pengukuran konsentrasi Cu dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisa menunjukkan bahwa dengan penambahan konsentrasi logam Cu yang berbeda selama waktu pemeliharaan 28 hari akan mempengaruhi konsentrasi logam Cu pada rumput laut *Gracilaria* sp. Kemampuan daya serap *Gracilaria* sp. terhadap logam Cu menunjukkan pengaruh yang nyata antar perlakuan ($p < 0,05$). Hasil uji korelasi memperlihatkan adanya hubungan antara penambahan konsentrasi logam Cu dengan penyerapan logam Cu oleh *Gracilaria* sp. dengan nilai korelasi sebesar -0,429. Pernyataan ini dapat ditunjukkan pada Tabel 1, semakin ditingkatkan konsentrasi Cu maka semakin tinggi pula penyerapan *Gracilaria* terhadap logam Cu. Peningkatan ini terjadi pada semua perlakuan, penyerapan logam Cu tertinggi oleh *Gracilaria* terjadi pada perlakuan D (9 ppm) yaitu sebesar 3,63 ppm, sedangkan terendah terdapat pada kontrol yaitu sebesar 1,24 ppm. Hasil ini seiring dengan konsentrasi

logam Cu yang ada di dalam media pemeliharaan, yaitu konsentrasi logam Cu dalam media semakin berkurang hasil terendah terdapat pada perlakuan D(9 ppm) yaitu sebesar 0,36 ppm (Tabel 2). Hal ini membuktikan bahwa adanya proses penyerapan logam Cu yang dilakukan oleh rumput laut *Gracilaria* sp. Sesuai dengan pendapat Raya dan Ramlah (2012), bahwa konsentrasi logam berat yang ada dalam media pemeliharaan akan mempengaruhi jumlah logam berat yang diakumulasi oleh rumput laut. Kemampuan penyerapan logam Cu oleh rumput laut *Gracilaria* sp. diduga karena adanya kandungan polisakarida dan protein yang ada pada dinding sel rumput laut sehingga mampu mengikat ion logam berat dan membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat dalam *thallus* (Yulianto *et al.*, 2006; Das *et al.*, 2008; Raya & Ramlah, 2012). Proses penyerapan logam Cu oleh *Gracilaria* diduga dipengaruhi juga oleh bentuk *thallus*. Menurut Nduka (2012), bahan yang memiliki diameter lebih kecil memiliki tingkat penyerapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan (adsorben) yang berdiameter besar. Ihsan *et al.* (2015), menyatakan bahwa *Gracilaria* sp. memiliki bentuk *thallus* seperti tulang rawan dan bercabang-cabang sehingga memungkinkan mempunyai kemampuan menyerap logam berat lebih banyak dan lebih efektif. Dijelaskan pula oleh Angkasa *et al.* (2011), bahwa *thallus* *Gracilaria* berbentuk silindris dengan diameter 0,5 hingga 4,0 mm dan membentuk rumpun dengan jenis percabangan yang tidak teratur. Supriyantini *et al.* (2018), menyatakan bahwa proses perpindahan massa Cu secara difusi dan osmosis akan mempengaruhi proses penyerapan logam Cu *Gracilaria*, dimana konsentrasi yang tinggi akan berpindah ke media dengan konsentrasi yang rendah.

Tabel 1, terlihat bahwa hasil penyerapan logam Cu oleh *Gracilaria* semakin meningkat seiring dengan penambahan logam Cu dalam media, hal ini mengindikasikan bahwa rumput laut *Gracilaria* pada kondisi belum jenuh (belum tercapai keadaan setimbang), diduga sisi aktif pada rumput laut *Gracilaria* masih mempunyai kemampuan dalam mengikat ion logam Cu. Menurut Simatupang *et al.* (2017), bila permukaan sudah jenuh atau mendekati jenuh terhadap adsorbat, dapat terjadi dua hal yaitu terbentuk lapisan adsorpsi kedua dan seterusnya di atas adsorbat yang telah terikat di permukaan (adsorpsi multilayer), atau tidak terbentuk lapisan kedua dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi berdifusi keluar pori dan kembali ke arus fluida.

Menurut Yong *et al.* (2017) gugus aktif dari alga seperti karboksil, sulfat, sulfonat, dan amina mempunyai kemampuan dalam mengikat ion logam, sehingga baik digunakan untuk biosorben (Figueira *et al.*, 2000; Davis *et al.*, 2000; Davis *et al.*, 2003; Rodenas de la Rocha *et al.*, 2009). Meningkatnya penyerapan logam Cu oleh *Gracilaria* diduga juga karena proses metabolisme secara biologi melalui sintesis fitokelatin oleh *thallus* pada rumput laut berlangsung dalam jumlah lebih banyak, sehingga *Gracilaria* sp. bisa tetap bertahan hidup di dalam media tersebut dan tetap terus melakukan penyerapan. Sesuai dengan pendapat Nasuha *et al.* (2014), bahwa logam berat yang terakumulasi pada *thallus* *G. gigas* akan diminimumkan pengaruhnya dengan lokalisasi pada vakuola dan akan membentuk zat kelat dengan bantuan enzim phytochelatin sehingga tidak menghambat laju metabolismenya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan *Gracilaria* sp. pada setiap perlakuan memiliki hasil yang berbeda. Pada perlakuan A (kontrol) mengalami pertumbuhan setiap minggunya, hal ini memperlihatkan bahwa perlakuan A (kontrol) mengalami penambahan berat

Tabel 1. Konsentrasi Logam Cu dalam Rumput Laut *Gracilaria* sp. setelah 28 Hari Pemeliharaan dengan Konsentrasi yang Berbeda

Perlakuan	Konsentrasi Logam Cu (ppm) <i>Gracilaria</i> sp. Hari ke-				
	0	7	14	21	28
A	0,8± 0,00	0,27 ± 0,31	0,41 ± 0,18	0,81 ± 0,05	1,24 ± 0,29
B	0,8 ± 0,00	0,77 ± 0,62	0,78 ± 0,75	1,35 ± 0,45	1,30 ± 0,42
C	0,8 ± 0,00	1,50 ± 0,31	1,01 ± 0,25	1,04 ± 0,34	1,66 ± 0,16
D	0,8 ± 0,00	1,31 ± 0,22	2,74 ± 0,23	2,64 ± 0,45	3,63 ± 0,32

Keterangan: A = Kontrol; B = Konsentrasi Cu 3 ppm; C = Konsentrasi Cu 6 ppm; D = Konsentrasi Cu 9 ppm basah, dengan berat tertinggi sebesar 209,2 gram pada hari ke 28, sedangkan penurunan berat

basah terendah terdapat pada perlakuan D (9 ppm) dengan berat basah sebesar 162,9 gram. Penurunan berat basah juga terjadi pada perlakuan B (3 ppm) dan C (6 ppm). Penurunan berat basah diduga karena *Gracilaria* sp. terlalu banyak menyerap logam Cu yang ada pada media pemeliharaan sehingga mengganggu metabolisme dan menghambat pertumbuhan rumput laut tersebut. Supriyanti *et al.* (2018), menyatakan bahwa Cu merupakan mikronutrien yang esensial bagi tubuh, tetapi apabila jumlahnya melebihi batas toleransi suatu organisme maka akan bersifat toksik. Menurut Yulianto *et al.* (2006), bahwa semakin banyak mengakumulasi logam berat maka semakin tinggi tingkat kematiannya. Hal ini dibuktikan dengan berkurangnya berat basah yang terjadi pada pertumbuhan selama 28 hari masa pemeliharaan (Tabel 3).

Hasil pertumbuhan *Gracilaria* sp. juga didukung dengan hasil pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan (SGR) pada tiap perlakuan (Tabel 4 dan 5). Hasil pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan (SGR) tertinggi terdapat pada perlakuan A (kontrol) yaitu sebesar 7,57 gram dan 0,10 %. Sedangkan pada perlakuan B (3 ppm), C (6 ppm), dan D (9 ppm) tidak mengalami pertumbuhan pada *Gracilaria* sp. hal ini ditandai adanya tanda negatif (-) pada hasil pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan spesifik. Menurut Ihsan *et al.* (2015), beberapa gejala kelebihan logam berat akan mengakibatkan pengurangan dan penghambatan proses penyerapan nutrisi oleh tanaman, sehingga kehidupannya menjadi terhambat. Terhambatnya proses metabolisme ini diduga adanya gangguan fungsi enzim dan rusaknya struktur molekul enzim sehingga akan terjadi kerusakan anatomi makroalga. Hasil pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan spesifik terlihat pada (Tabel 4 dan 5).



Sebelum diberi logam Cu



Sesudah diberi logam Cu

Gambar 1. Kondisi *Gracilaria* sp. yang terpapar logam Cu

Tabel 2. Konsentrasi Logam Cu dalam Media Rumput Laut *Gracilaria* sp Setelah 28 Hari Pemeliharaan dengan Konsentrasi yang Berbeda

Perlakuan	Konsentrasi logam Cu (ppm) pada Hari ke-				
	0	7	14	21	28
A	0,54 ± 0,00	0,03 ± 0,10	0,03 ± 0,01	0,13 ± 0,16	0,39 ± 0,10
B	3,04 ± 0,00	0,18 ± 0,08	0,28 ± 0,09	0,33 ± 0,13	0,38 ± 0,10
C	6,06 ± 0,00	0,19 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,50 ± 0,08	0,43 ± 0,09
D	9,04 ± 0,00	0,32 ± 0,32	0,44 ± 0,06	0,48 ± 0,08	0,36 ± 0,07

Keterangan: A = Kontrol; B = Konsentrasi Cu 3 ppm; C = Konsentrasi Cu 6 ppm; D = Konsentrasi Cu 9 ppm

Tabel 3. Berat Basah *Gracilaria* sp. (gram) pada Media yang Mengandung Konsentrasi Cu yang Berbeda selama 28 Hari Masa Pemeliharaan

Perlakuan	Berat Basah (gram) <i>Gracilaria</i> sp. pada Hari ke-				
	0	7	14	21	28
A	200 ± 0,00	205,1 ± 0,43	207,4 ± 0,50	208,5 ± 0,49	209,2 ± 0,55
B	200 ± 0,00	192,5 ± 0,35	188,9 ± 1,18	181,2 ± 1,60	171,8 ± 2,31
C	200 ± 0,00	192,8 ± 0,6	184,8 ± 1,48	175,9 ± 1,82	169,2 ± 1,31
D	200 ± 0,00	192,1 ± 0,3	183,7 ± 1,83	173,1 ± 2,45	162,9 ± 1,05

Keterangan: A = Kontrol; B = Konsentrasi Cu 3 ppm; C = Konsentrasi Cu 6 ppm; D = Konsentrasi Cu 9 ppm

Tabel 4. Pertumbuhan Mutlak *Gracilaria* sp. pada Media yang Mengandung Konsentrasi Cu yang Berbeda selama 28 Hari Masa Pemeliharaan

Perlakuan	Berat Awal (W0)	Berat Akhir (Wt)	Pertumbuhan Mutlak (G)
A	200,00 ± 0,00	207,57 ± 1,80	7,57 ± 1,80
B	200,00 ± 0,00	183,61 ± 9,17	-7,04 ± 2,43
C	200,00 ± 0,00	180,67 ± 10,31	-7,7 ± 0,99
D	200,00 ± 0,00	177,95 ± 12,70	-9,27 ± 1,34

Keterangan: A = Kontrol; B = Konsentrasi Cu 3 ppm; C = Konsentrasi Cu 6 ppm; D = Konsentrasi Cu 9 ppm

Tabel 5. Laju Pertumbuhan Spesifik (SGR) *Gracilaria* sp. pada Media yang Mengandung Konsentrasi Cu yang Berbeda selama 28 Hari Masa Pemeliharaan

Perlakuan	Ln W0	Ln Wt	SGR (%)
A	5,30 ± 0,00	5,33 ± 0,58	0,10 ± 0,03
B	5,30 ± 0,00	5,21 ± 2,21	-0,32 ± 0,33
C	5,30 ± 0,00	5,19 ± 2,33	-0,39 ± 0,38
D	5,30 ± 0,00	5,18 ± 2,54	-0,42 ± 0,42

Keterangan: A = Kontrol; B = Konsentrasi Cu 3 ppm; C = Konsentrasi Cu 6 ppm; D = Konsentrasi Cu 9 ppm

Pengamatan visual pada *Gracilaria* sp. memperlihatkan bahwa pada perlakuan A (kontrol) tidak terjadi perubahan warna. Berbeda dengan B (3 ppm), C (6 ppm), dan D (9 ppm) dengan penambahan Cu terlihat perbedaan yang jelas pada warna dan tekstur *thallus*. Warna *thallus* yang awalnya coklat berubah menjadi warna hijau muda (Gambar 1) dan teksturnya -non elastis, mudah rapuh, dan berlendir. Menurut Yulianto *et al* (2006), bahwa ketidakmampuan tanaman dalam mentoleransi konsentrasi logam berat akan mengganggu sifat tanaman seperti *thallus* yang menjadi non elastis dan ujung *thallus* berwarna kekuningan. Hal ini diduga adanya proses gangguan metabolisme pada *Gracilaria* sp. akibat akumulasi Cu dan lamanya waktu pemaparan yang dipengaruhi oleh mekanisme penyerapan Cu yang ada pada media pemeliharaan. Ketidakmampuan dalam mentolerir adanya akumulasi Cu menyebabkan gangguan fisiologis yang mengakibatkan kerusakan organ sel tumbuhan (Supriyantini *et al.*, 2018).

KESIMPULAN

Perbedaan konsentrasi Cu yang diberikan dalam media terhadap kandungan logam Cu pada *Gracilaria* sp. memperlihatkan semakin tinggi konsentrasi Cu yang diberikan, maka kandungan logam Cu pada *Gracilaria* sp. meningkat. Lamanya waktu pemaparan oleh Cu mengakibatkan pertumbuhan *Gracilaria* sp. terganggu sehingga menyebabkan kematian. Pertumbuhan *Gracilaria* sp. pada media yang mengandung Cu dengan konsentrasi yang berbeda memperlihatkan semakin tinggi konsentrasi Cu yang diberikan maka pertumbuhannya akan menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Angkasa, W.I., Purwanto, H. & Anggadireja, J.T. 2011. Teknik Budidaya Rumput Laut. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Atmadja, W.S., Susanto, A.B. & Dhewani, N. 2012. Pengembangbiakan Rumput Laut (Makroalgae). Penerbit IFI. Jakarta.
- Das, N., Vimala, R. & Karthika, P. 2008. Biosorption of Heavy Metals. an Overview. *Indian Journal Biothecnology*, 7:159-169.
- Davis, T.A., Volesky, B. & Vieira, R.H.S.F. 2000. Sargassum Seaweed as Biosorbent for Heavy Metals. *Journal Water Research*, 34(17):4270-4278. DOI: 10.1016/S0043-1354(00)00177-9.
- Davis, T.A., Volesky, B., & Mucci, A. 2003. A Review of the Biochemistry of Heavy Metal Biosorption by Brown Algae. *Journal Water Research*, 37: 4311-4330. DOI: 10.1016/S0043-1354(03)00293-8.
- Elawati, Kandowangko, N.Y. & Lamondo, Dj. 2016. Efisiensi Penyerapan Logam Berat Tembaga (Cu) oleh Tumbuhan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forks) dengan Waktu Kontak yang Berbeda. *Jurnal Peradaban Sains*, 6(2):162-166.
- Figueira, M.M, Volesky, B., Ciminelli, V.S.T. & Roddick, F.A. 2000. Biosorption of Metals in Brown Seaweed Biomass, *Journal Water Research*, 34(1):196-204.
- Ihsan, Y.N., Aprodita, A., Rustikawati, I. & Pribadi, T.D.K. 2015. Kemampuan *Gracilaria* sp. sebagai Agen Bioremediasi dalam Menyerap Logam Berat Pb. *Jurnal Kelautan*, 8(1):10-18.
- Lestari & Edward. 2004. Dampak Pencemaran Logam Berat terhadap Kualitas Air Laut dan Sumberdaya Perikanan (Studi Kasus Kematian Massal Ikan-Ikan Di Teluk Jakarta). *Jurnal Sains*, 8(2):52-58.
- Nasuha, T., Yuliani, & Indah, N.K. 2014. Efektivitas *Gracilaria gigas* sebagai Biofilter Logam Berat Timbal (Pb) pada Media Tanam. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 3(1):91-96.
- Nduka, J.K. 2012. Application of Chemically Modified and Unmodified Waste Biological Sorbents in Treatment of Wastewater. *International Journal of Chemical Engineering*, DOI: 10.1155/2012/751240.
- Raya, I. & Ramlah. 2012. The Bioaccumulation of Cd (II) Ions on *Eucheuma cottonii* Seaweed. *Marina Chimica Acta*, 13(2):13-19.
- Rodenas de la Rocha, S., Sanchez-Muniz, F.J., Gomez-Juaristi, M., & Marin, M.T.L. 2009. Trace Elements Determination in Edible Seaweeds by an Optimized and Validated ICP-MS Method. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22:330-336. DOI: 10.1016/j.jfca.2008.10.021.
- Samsundari, S. & Perwira, I.Y. 2011. Kajian Dampak Pencemaran Logam Berat Di Daerah Sekitar Luapan Lumpur Sidoarjo Terhadap Kualitas Air Dan Budidaya Perikanan. *Jurnal Gamma*, 6(2):129-136.
- Simatupang, L., Oktavia, D.P. & Doloksaribu, M. 2017. Adsorpsi Logam Berat Pb (II) oleh Adsorben Berbasis Silika dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 9(2): 330-335. DOI: 10.24114/jpkim.v9i2.7682.
- Suardika, N.B.A., Atmaja, B.T. & Deseliane, S. 2017. Pemanfaatan Kappa-Karaginan dari Rumput Laut Merah (*Eucheuma cottonii*) sebagai Bahan Solidifikasi dan Stabilisasi Logam Berat Chromium pada Limbah Tekstil. *Dalam: Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan (PIMIMD-4) Institut Teknologi Padang, 27 Juli 2017, Padang*, pp. 10-16.
- Supriyantini, E., Gunawan, W.S. & Ladies, N.A. 2018. Pertumbuhan Rumput Laut Pada Media Yang Mengandung Tembaga (Cu) Dengan Konsentrasi Yang Berbeda. *Jurnal Buletin Oseanografi Marina*, 7(1):15-21.
- Widyorini, N. 2010. Analisis Pertumbuhan *Gracilaria* sp. di Tambak Udang Ditinjau dari Tingkat Sedimentasi. *Jurnal Saintek Perikanan*, 6(1):30-36.
- Yong, W.T.L., Chin, J.Y.Y., Thien, V.Y. & Yasir, S. 2017. Heavy Metal Accumulation in Field Cultured and Tissue Cultured *Kappaphycus alvarezii* and *Gracilaria changii*. *International Food Research Journal*, 24(3):970-975.
- Yulianto. B., Ario, R. & Triono, A. 2006. Daya Serap Rumput Laut (*Gracilaria* sp) Terhadap Logam Berat Tembaga (Cu) Sebagai Biofilter. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science* 11(2):72-78. DOI: 10.14710/ik.ijms. 11.2.72-78.