

*Original Research Paper**1st National Seminar of Marine and Fisheries 2017, Raja Ali Haji Maritime University, Indonesia*

Kandungan Logam Esensial Tembaga (Cu) di Lingkungan Tahun Karang *Porites lutea* dari Perairan Cagar Alam Pulau Sempu Malang

Oktyas Muzaky Luthfi¹, Sigit Rijatmoko¹, Andik Isdianto¹, Daduk Setyohadi², Alfian Jauhari², Ali Arman Lubis³¹ Department of Marine Science, University of Brawijaya, Malang, Indonesia² Department of Fisheries Resources Utilization, University of Brawijaya, Malang, Indonesia³ Marine and Environment Group Center for the Application of Isotopes and Radiation Technology National Nuclear Energy Agency (BATAN), Jakarta, Indonesia* Corresponding author: omuzakyl@ub.ac.id

Received: May 10, 2017

Accepted: May 15, 2017

Published: June 20, 2017

Copyright © by authors and
Scientific Research Publishing Inc.

Abstract

Sempu Island is a nature reserve that has fringing reef with percentage of living coral cover almost constant 37% from 2009 to 2016. Coral massive *Porites lutea* in this area has a growth rate about 1.09 cm/yr. in average and almost similar with others. Coral massive growth rate can be monitor through their skeletal annual banding. They have two type annual banding, low density for slow growth coral skeletal and high density for fast growth rate of coral skeletal. In this banding coral can record any environmental condition such as sea water temperature, tides and heavy metal. The aim of this research was to know the concentration of copper in Sempu Island Nature Reserve in the past used ICP-OES. The result showed that the Cu concentration in *P. lutea* skeletal band from 2009-2016 were: 5.213; 6.403; 5.825; 6.511; 6.132; 6.403; 6.467; 6.22 mg/kg. The coral skeletal can absorb the pollutant for hundred years, and it will give important information for palaeo environment that can used for climate modelling in the future.

Keywords: Annual band, nature reserve, ICP-OES, coral reef, south of Java Sea

Pendahuluan

Terumbu karang di Cagar Alam Pulau Sempu merupakan tipe *fringing reef*, dimana karang sebagai penyusun utamanya lebih banyak ditemukan di Selat Sempu atau sebelah utara dibandingkan sisi pulau yang lainnya. Karang masif *Porites lutea* sendiri tersebar membentuk koloni dengan berbagai ukuran di sebelah timur (Watu Mejo dan Waru-Waru) dan di sebelah barat pulau di sekitar Teluk Semut. Koloni karang ini juga ditemukan menempel di tebing karang sebelah timur Pulau Jawa (*main land*) dengan ukuran besar (>2m) dan terus ke barat hingga pelabuhan wisata (dengan ukuran kecil <60 cm).

Hampir semua karang keras sangat sensitif terhadap perubahan fisika dan kimia perairan, sehingga dapat dijadikan proksi yang berfungsi untuk menginterpretasikan kondisi lingkungan perairan beberapa dekade yang lalu. Proksi dapat didefinisikan sebagai rekaman yang diambil dari skeleton atau fosil atau karang untuk merekonstruksi kondisi iklim masa lalu yang didapatkan selama karang/fosil tersebut masih hidup (Ourbak *et al.* 2006; Helen 2011). Pertumbuhan internal karang masif yang membentuk lingkaran tahun (*internal growth band*) dapat merekam perubahan-perubahan kandungan fisika-kimia perairan, jumlah nutrisi dan polusi yang terjadi di lingkungan perairan air laut selama

hidupnya (*continuous time-series record*) yang kemudian dapat dijadikan suatu informasi yang runtut kondisi perairan dari tahun ke tahun (kronologis). Cara mendapatkan informasi tersebut adalah dengan mengambil sampel pada setiap lingkaran tahun yang telah terbentuk.

Karang dapat merekam pula logam berat akibat dari aktivitas manusia seperti pengerukan dermaga, reklamasi dan pembuangan limbah domestik (Blossom 2007). Logam berat tadi kemudian bergabung ke dalam skeleton karang (*aragonite*), masuk sebagai partikulat rongga-rongga skeleton, diserap pada permukaan hingga ke dalam skeleton, dan terikat pada matriks skeleton karang. Logam berat ini akan melekat selamanya pada skeleton karang karena akan tertutupi oleh jaringan kapur yang baru.

Tembaga (Cu) merupakan unsur esensial bagi karang dan dibutuhkan dalam jumlah kecil, peran tembaga adalah sebagai katalis enzim pada metabolisme karang. Tembaga (Cu) berperan menghambat transpor elektron pada proses oksidasi dari fotosistem II (Nyström *et al.* 2001). Beberapa invertebrata laut seperti anemon memerlukan senyawa yang mengandung *rubidium*, *vanadium*, *zinc*, *iron*, *cuprum*, *molybdenum*, *selenium* dan *iodine* untuk mengaktifkan berbagai enzim yang berkaitan dengan enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), glutathione peroksidase (GPx), katalase dan peroksiredoksin (Broun-Fohlronder dan Fronzel-Boymo 2007). Tembaga akan

dapat diurai total secara biologi memerlukan waktu kurang lebih 600 tahun (Blossom 2007).

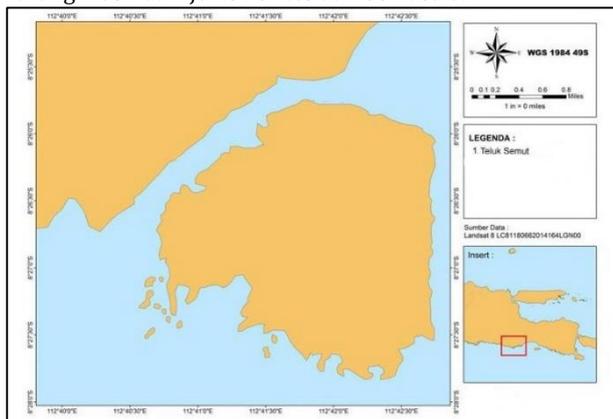
Tembaga (Cu), raksa (Hg), timah (Pb), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn) dan beberapa logam lainnya yang terperangkap pada skeleton karang merefleksikan pengaruh manusia dan atau pengaruh daratan terhadap ekosistem air laut (Al-Rousan *et al.* 2007). Sumber logam berat termasuk tembaga (Cu) adalah *coastal run-off*, penambangan lepas pantai, cat *anti-fouling*, tes nuklir dan limbah domestik (Al-Rousan *et al.* 2007; Nyström *et al.* 2001). Diperkirakan jumlah tembaga di dalam perairan mencapai 0.34 miliar metrik ton dengan konsentrasi rata-rata 0.25 µg/L dan volume air laut adalah 1.338 x 10⁹ km³. Sedangkan masukan tembaga untuk cat *anti-fouling* dapat mencapai 15 x 10⁶ kg/tahun (Blossom 2007).

Potensial sumber pencemar di perairan Cagar Alam Pulau Sempu adalah sangat besar karena pada lokasi yang sama dijadikan zona pemanfaatan pelabuhan perikanan yang memiliki aktivitas sandar kapal hingga 300 unit per hari. Pada penelitian ini karang masif *Porites lutea* yang dijadikan sampel adalah koloni dengan ukuran diameter 15-20 cm dengan harapan dapat merekam logam berat dari tahun 2009. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan konsentrasi logam berat tembaga (Cu) dari tahun ke tahun yang terperangkap di skeleton karang *P. lutea* dengan memanfaatkan lingkaran tahun yang dimilikinya.

Metode

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan di perairan Cagar Alam Pulau Sempu (8°26'11.01"LS 112°40'50.20"BT) (Gambar 1), pada bulan April 2016. Nama lokal pengambilan sampel *P. lutea* adalah Teluk Semut, yang memiliki kedalaman 1-4 m tergantung pada rentang pasang atau surut. Teluk Semut merupakan daerah teluk kecil yang terlindung sehingga perairan di daerah ini relatif tenang. Pada waktu musim hujan perairan di Teluk Semut akan sangat keruh dikarenakan banyak sedimen dari area mangrove sebelah selatannya yang terbawa air hujan. Karang keras di Teluk Semut didominasi oleh karang masif dari jenis *Porites* dan *Goniastrea*.



Gb. 1 Lokasi penelitian di perairan Cagar Alam Pulau Sempu, Malang

Teknik Pengambilan Sampel Karang *P. lutea*

Karang *P. lutea* diambil secara acak pada kedalaman 1-4 m dengan spesifikasi rentang diameternya antara 15-20 cm. Sampel karang kemudian diambil secara utuh (1 koloni) dan kemudian di masukkan ke dalam *cool box* hingga dilakukan *treatment bleaching* di Laboratorium Eksplorasi Sumberdaya Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang. Untuk proses

memutihkan karang maka dilakukan perendaman karang pada larutan klorin hingga 1 minggu dan kemudian setelah jaringan lunaknya mengelupas sempurna karang dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan sisa klorin yang terperangkap di dalam kerangka karang. Selanjutnya dilakukan pengeringan dengan memasukkan ke dalam oven dengan suhu 60°C selama 48 jam. Karang kemudian diidentifikasi secara morfologi dengan cara pengamatan struktur kerangka yang diambil dari permukaan koloni karang dengan ukuran sebesar 1 cm², pengamatan morfologi struktur kerangka karang dilakukan di bawah mikroskop USB dengan perbesaran 100 x menggunakan metode yang telah dideskripsikan oleh Veron (2000).

Paparan Sinar-X

Koloni karang selanjutnya dipotong menggunakan *mechanical saw* dengan ketebalan 1 cm yang kemudian dilakukan *X-ray*. Paparan sinar rontgen dilakukan di Klinik Higina dengan alat Radiografi sinar-X *Acoma-HF Digital Stationer type HI 500 69 KeV 250 mA* selama 8 detik dan hasilnya berupa film negatif dalam bentuk digital, kemudian hasil dari rontgen sampel karang diproses dengan *software Photoshop CS 6* dan kemudian dilihat secara manual dengan menentukan lapisan gelap dan lapisan terangnya.



Gb. 2 Hasil pemotongan koloni karang dengan tebal 1 cm

Teknik Sub-Sampling

Langkah awal yang dilakukan adalah sampel karang yang akan dianalisis dibersihkan menggunakan *bidest* dalam *Ultrasonic Bath* selama 30 menit. Sampel yang sudah dibersihkan selanjutnya dikeringkan menggunakan oven selama 7 hari dengan suhu 60°C. Sampel karang yang sudah kering kemudian di *milling* menggunakan bor tangan berdasarkan lingkaran tahun yang telah ditentukan, kemudian ditimbang sebanyak 20 mg dan dimasukkan ke dalam botol vial lalu ditambahkan 2 mL asam nitrat 25% dan di *vortex*, setelah itu ditambahkan *bidest* sebanyak 8 mL kemudian di-*centrifuge* selama 30 menit dengan kecepatan 2000 rpm. Sampel yang telah selesai di-*centrifuge* siap dilakukan uji ICP-OES.

Teknik Pengukuran Tembaga (Cu)

Penguatifikasian keberadaan logam tembaga (Cu) pada skeleton karang menggunakan ICP-OES iCAP 7400 Series dengan *auto-sampler ASX 520* dan *software Qtegra* di Laboratorium Kelautan, Bidang Industri dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR),

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Larutan standar dan sampel yang ditempatkan pada rak *auto-sampler* secara bergantian akan di uji untuk mengukur intensitas energi menggunakan panjang gelombang Cu 327.396.

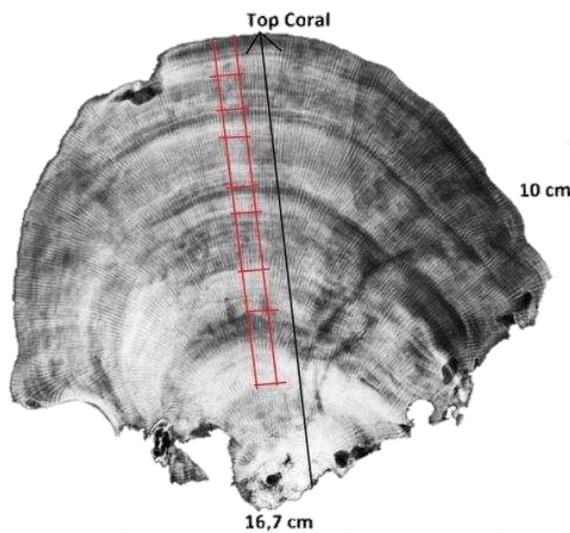
Hasil dan Pembahasan

Umur dan Laju Pertumbuhan Karang

Gambar 3 menunjukkan hasil dari foto sinar-X karang *P. lutea* yang diambil dari CA P. Sempu. Terlihat jelas garis hitam tebal dan tipis yang menunjukkan densitas dari skeleton karang *P. lutea*. Satu garis gelap dan 1 garis terang adalah menunjukkan 1 tahun usia karang. Berdasarkan perhitungan maka diperoleh usia karang *P. lutea* yang dijadikan sampel adalah 88 tahun dengan rerata pertumbuhannya adalah 1.42 cm/tahun (Tabel 1).

Tb. 1 Pertumbuhan *annual* karang *P. lutea* per tahun

Tahun	Pertumbuhan <i>annual</i> karang <i>P. lutea</i> (cm/tahun)
2009	2.38
2010	1.85
2011	1.34
2012	1.15
2013	1.46
2014	0.79
2015	1.13
2016	1.24
Rata-rata	1.42



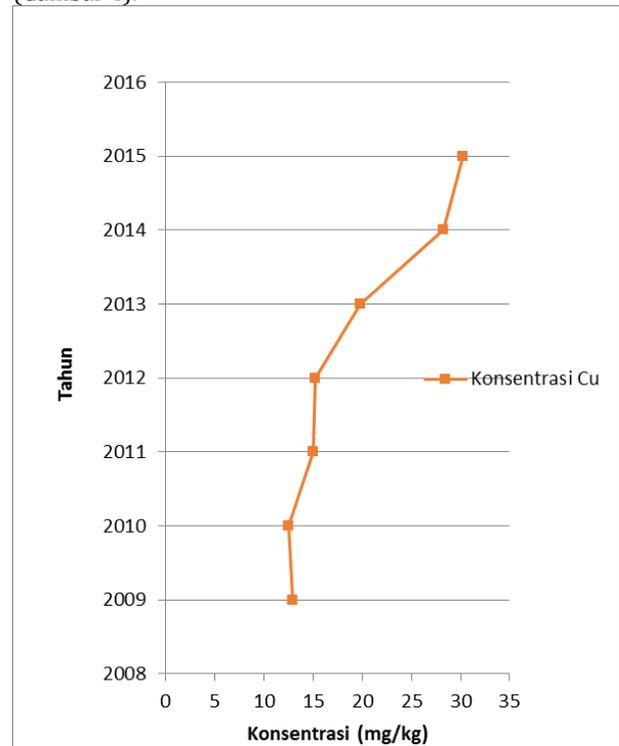
Gb. 3 Hasil paparan sinar-X karang *Porites lutea* yang diambil dari CA P. Sempu, Malang

Garis merah pada Gambar 3 menunjukkan lokasi pengambilan sub-sampling pada karang *P. lutea* yang nanti akan dikunatifikasi jumlah logam berat Cu yang terkandung di dalamnya. Pengukuran diameter karang menggunakan diameter terpanjang yang didapat yakni pada hasil sinar-X terlihat diameter *P. lutea* adalah 16.7 dan tinggi maksimal yang didapatkan adalah 10 cm.

Profil Logam Berat Cu

Berdasarkan hasil analisis ICP-OES dapat diketahui konsentrasi tembaga setiap tahun pada karang *P. lutea* berbeda-beda, pada tahun pertama tumbuh kandungan

logam berat sebesar 12.98 ppm dan menurun menjadi 12.5 ppm pada 2010. Konsentrasi logam Cu terus mengalami kenaikan hingga pada 2015 mencapai 30.288 ppm (Gambar 4).



Gb. 4 Rekaman konsentrasi Cu pada karang *P. lutea* dari 2009-2015 di CA P. Sempu Malang

Laju Pertumbuhan Karang *P. lutea*

Laju pertumbuhan karang tidak hanya dapat dilihat dari pertambahan lingkaran tahun pada karang, namun harus dilihat lebih detil secara mikro yakni melihat laju klasifikasi karang yakni kecepatan karang untuk membuat skeleton (Michael dan Edinger 2011). Klasifikasi pada karang terjadi di dalam *calcifying fluid* yang terletak di antara kalikodermis dan skeleton. Diduga transfer proton akan menaikkan pH dan kejenuhan fluida sehingga $CaCO_3$ akan terkrystalisasi ke skeleton karang menjadi *aragonite*. Energi sangat diperlukan untuk menjaga proses kristalisasi ini terus berlanjut dan diperkirakan karang mengalokasikan sekitar 30% energinya untuk proses ini (Jokiel et al. 2016). Allemand et al. (2004; 2011) membagi karang menjadi 4 lapisan yaitu epidermis, gastrodermis, kalikodermis dan skeleton. Bikarbonat (HCO_3^-) dari kolom air akan menuju kalikodermis dan akan bereaksi dengan kalsium (Ca^{2+}) yang akan bereaksi menjadi kalsium karbonat ($CaCO_3$) dan akan mengkristal mengendap di skeleton karang. H^+ yang dihasilkan dari proses klasifikasi akan dinetralsir oleh hidroksida (OH^-) yang dihasilkan oleh hasil fotosintesis zooxanthella di grastordermis. Perubahan iklim global ternyata membawa dampak penurunan laju pertumbuhan dan laju klasifikasi karang *P. lutea*, berdasarkan studi Tanzil et al. (2009) karang *P. lutea* dari 8 lokasi di Laut Andaman menunjukkan penurunan laju pertumbuhan karang 19.4-23.4% dan laju klasifikasi karang sebesar 23.5% akibat kenaikan suhu permukaan air laut sebesar 0.161 selama 46 tahun terakhir.

Profil Logam Berat Cu pada Karang *P. lutea*

Perbedaan kondisi selama masa pertumbuhan karang *P. lutea* akan dapat memberikan profil gambaran secara logam berat di perairan saat itu. Logam berat masuk ke dalam kerangka karang melalui proses makan (*feeding*)

atau diserap oleh jaringan lunak karang (Al-Rousan *et al.* 2007). Konsentrasi logam berat tertinggi ternyata ditemukan di zooxanthella karang dibandingkan jaringan lunak ataupun skeleton karang. Sehingga diduga zooxanthella memiliki peran yang sangat besar dalam pengambilan logam berat ke tubuh karang (Shah dan Lovell 2011). Beberapa penelitian menunjukkan logam berat di *Porites spp.* memiliki konsentrasi logam berat lebih sedikit dibandingkan dengan karang lain. Lokasi juga dapat menentukan absorpsi logam berat di dalam karang, dimana karang yang hidup di laut yang jauh dari pesisir akan memiliki konsentrasi logam berat lebih sedikit dibandingkan karang-karang yang hidup di daerah pesisir dan *fringing reef*.

Apabila dilihat data dari Gambar 4 dapat dibandingkan, jelas konsentrasi logam berat Cu dari tahun 2010 ke 2015 mengalami kenaikan hingga 2.42 kali. Sebenarnya pada akhir 2009 adalah akhir reklamasi di pelabuhan perikanan Sendang Biru dengan tutupan lahan seluas 10 ha, namun dapat dilihat justru awal tahun 2009 dan 2010 konsentrasi Cu yang diserap oleh skeleton karang adalah sangat rendah dibandingkan konsentrasi Cu pada tahun 2015. Berdasarkan penelitian Nguyen *et al.* (2013) di Nha Trang Bay di barat Laut Cina Selatan bahwa tingginya logam Cu di *P. lutea* salah satunya diakibatkan oleh pengerukan pelabuhan dan pengerukan sungai di sekitar perairan tersebut. Hal ini wajar karena diperkirakan Cu yang terdeposit di dalam sedimen kemudian akan tersuspensi di perairan kembali dan kemungkinan diserap oleh karang sangat tinggi. Konsentrasi Cu di sedimen sangat tinggi dapat mencapai lebih dari 100 ppm (Blossom 2007).

Keunikan terjadi di perairan CA P. Sempu, dimana ketika terjadi reklamasi justru serapan Cu lebih sedikit dibandingkan dengan kondisi normal. Memang aktifitas pelabuhan perikanan di Sendang Biru semakin lama semakin ramai, yang memungkinkan pasokan Cu berasal dari berbagai kegiatan yang bersifat kepelabuhan. Pada tahun 2009-2010 terjadi *El Niño* yang sangat kuat di tengah Pasifik namun terjadi keanehan yakni terjadi pelemahan seketika sehingga terjadilah *La Niña*. Akibatnya terjadi anomali suhu permukaan air laut di Samudera Hindia dan memicu *up-welling* Kelving (Kim *et al.* 2011). Kondisi ini juga mengakibatkan pemutihan pada karang di sekitar wilayah ini termasuk di perairan CA P. Sempu (Carballo *et al.* 2011). Pada masa *bleaching* karang, karang akan sedikit melakukan metabolisme di dalam tubuhnya, pada masa tersebut kegiatan zooxanthella untuk melakukan fotosintesis akan berkurang sehingga karang hanya memanfaatkan lipid, karbohidrat dan protein untuk bertahan hidup (Rodrigues dan Grottoli 2007) dan memakan plankton berukuran nano yang terperangkap di dalam mukusnya (Casareto *et al.* 2016). Zooxanthella diduga juga terlibat dan berperan dalam proses bio-kimia klasifikasi karang, dikarenakan klasifikasi sangat erat hubungannya dengan adanya cahaya matahari (Jokiel *et al.* 2016). Turunnya laju klasifikasi karang akan mempengaruhi pengikatan Cu ke dalam matrik *aragonite* karang. Shah dan Lovell (2011) menambahkan adanya peran zooxanthella ke dalam masuknya logam berat ke skeleton karang, sehingga apabila zooxanthella banyak mengalami kerusakan atau mati selama even *bleaching* maka dapat diperkirakan jumlah logam berat yang masuk terikat di dalam skeleton karang juga akan berkurang.

Perbandingan dengan Penelitian Lain

Cu adalah logam esensial bagi semua makhluk hidup juga bagi karang *P. lutea*. Pada studi ini konsentrasi Cu yang terdapat pada skeleton *P. lutea* berada pada kisaran 12.5-30.288 ppm. Di Vietnam berada pada kisaran 2.15-44.12 ppm dengan rerata 5.53 ppm (Nguyen *et al.* 2013). Di Teluk Aqaba konsentrasi Cu sebesar 4.7-5.36 ppm (Al-Rousan *et al.* 2007); di Venezuela konsentrasi Cu sebesar 3.3-89.5 ppm (Bastidas dan Garcia 1999). Kemudian terakhir di Ihatub Reef, Marinduque Island, Filipina sebesar 9.6 ppm (David 2003). Perbedaan daya serap karang terhadap logam berat esensial Cu beragam di setiap negara, mungkin dalam satu lokasi pun daya serap koloni karang akan berbeda-beda pula.

Kesimpulan

Karang *P. lutea* dapat dijadikan proksi untuk melihat kondisi lingkungan di masa lalu. Pada penelitian ini karang *P. lutea* memberikan data konsentrasi logam Cu dari tahun 2009 hingga 2015 dengan konsentrasi adalah: 5.213; 6.403; 5.825; 6.511; 6.132; 6.403; 6.467; 6.22 ppm. Tingginya kandungan Cu pada kerangka karang tidak tergantung pada kontinuitas sumbernya, banyak sekali faktor yang mempengaruhinya termasuk kemampuan biologi koloni karang dalam mengasimilasi logam berat tersebut di dalam skeletonnya. Belum diketahui secara pasti berapa dosis letal Cu pada karang dan ini menjadi ide penelitian selanjutnya.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Siddiq Pratomo Al-Idrus, Kahindra Donny Anggara, R. M. Agung M. Rizqon S, Saifur Rijal Fakri dan Maulana Abdurrahman yang telah banyak membantu pengambilan data di lapangan dan bekerja di lab. Juga kami ucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui DIPA Universitas Brawijaya Nomor: 063/SP2H/LT/DRPM/IV/2017.

Daftar Pustaka

- Allemand D, Ferrier-Pagès C, Furla P, Houlbrèque F, Puverel S, Reynaud S, Tambutté É, Tambutté S and Zoccola D. 2004. Biomineralisation in reef-building corals: from molecular mechanisms to environmental control. *Comptes Rendus Palevol.* 3 (6): 453-467.
- Allemand D, Tambutté É, Zoccola D and Tambutté S. 2011. Coral calcification, cells to reefs. In coral reefs: an ecosystem in transition (pp. 119-150). *Springer Netherlands*.
- Al-Rousan SA, Al-Shloul RN, Al-Horani FA and Abu-Hilal AH. 2007. Heavy metal contents in growth bands of *Porites* corals: record of anthropogenic and human developments from the Jordanian Gulf of Aqaba. *Marine Pollution Bulletin.* 54 (12): 1912-1922.
- Blossom N. 2007. Copper in the Ocean Environment. *Am Chemet Corp:* 1-8.
- Broun-Fohrlonder C and Fronzel-Boymo R. 2007. Evolution of dietary antioxidant defenses. *European Epi-Marker.* 11 (3): 1-12.
- Carballo JL, Bautista E, Nava H, Cruz-Barraza JA and Chávez JA. 2013. Boring sponges, an increasing threat for coral reefs affected by bleaching events. *Ecology and evolution.* 3 (4): 872-886.
- Casareto BE, Suzuki T and Suzuki Y. 2016. Chemical and Biological Characteristics of Coral Reef Ecosystem at Micro scale/Nano scale: Effect of Multiple and Synergistic Stresses. In *Coral Reef Science* (pp. 25-45). Springer Japan.
- Helen V. McGregor. 2011. *Paleoclimate from Corals*. Encyclopedia of Modern Coral Reefs (pp. 777-785). Springer Netherlands.

- Jokiel PL, Jury CP and Kuffner IB. 2016. *Coral Calcification and Ocean Acidification*. In *Coral Reefs at the Crossroads* (pp. 7-45). Springer Netherlands.
- Kim W, Yeh SW, Kim JH, Kug JS and Kwon M. 2011. The unique 2009–2010 El Niño event: A fast phase transition of warm pool El Niño to La Niña. *Geophysical Research Letters*. 38(15).
- Michael J. Risk and Evan Edinger. 2011. *Impacts of Sediment on Coral Reefs*. *Encyclopedia of Modern Coral Reefs* (pp. 573-586). Springer Netherlands.
- Nguyen AD, Zhao JX, Feng YX, Hu WP, Yu KF, Gasparon M, Pham TB and Clark TR. 2013. Impact of recent coastal development and human activities on Nha Trang Bay, Vietnam: evidence from a *Porites lutea* geochemical record. *Coral Reefs*. 32 (1): 181-193.
- Nyström M, Nordemar I and Tedengren M. 2001. Simultaneous and sequential stress from increased temperature and copper on the metabolism of the hermatypic coral *Porites cylindrical*. *Marine Biology*. 138 (6): 1225-1231.
- Ourbak T, Corrège T, Malaizé B, Le Cornec F, Charlier K and Peypouquet J. 2006. A high-resolution investigation of temperature, salinity and upwelling activity proxies in corals. *Geochemistry, Geophysics. Geosystems*, 7, Q03013. DOI: 10.1029/2005GC001064.
- Rodrigues LJ and Grottoli AG. 2007. Energy reserves and metabolism as indicators of coral recovery from bleaching. *Limnology and oceanography*. 52 (5): 1874-1882.
- Shah S and Lovell E. 2011. Heavy Metal Accumulation in Scleractinian Corals. In *Encyclopedia of Modern Coral Reefs* (pp. 553-554). Springer Netherlands.
- Tanzil JTI, Brown BE, Tudhope AW and Dunne RP. 2009. Decline in skeletal growth of the coral *Porites lutea* from the Andaman Sea, South Thailand between 1984 and 2005. *Coral reefs*. 28 (2): 519-528.
- Veron JEN. 2000. *Corals of the World, Volumes 1–3*. Australian Institute of Marine Science.