

PENGASAMAN LAUT DI PERAIRAN INDONESIA

Camellia Kusuma Tito^{a,*} dan Eko Susilo^a

^aBalai Riset dan Observasi Laut, Pusat Riset Kelautan, Badan Riset Sumber Daya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jl. Baru Perancak, Jembrana, Bali, Indonesia

*Koresponden penulis: camellia.tito@gmail.com

Abstrak

Penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia mulai berkembang sejak 10 tahun terakhir, meskipun tidak signifikan jika dibandingkan dengan penelitian serupa di luar Indonesia. Untuk mengkompilasi data hasil penelitian tersebut, telah dilakukan identifikasi publikasi dari bentuk *paper*, laporan kegiatan, laporan tugas akhir (skripsi/thesis/desertasi) maupun bahan presentasi seminar/workshop/*focus group discussion*. Dari identifikasi publikasi didapatkan 24 hasil penelitian yang relevan dengan topik pengasaman laut di Perairan Indonesia. Beberapa kegiatan penelitian dalam upaya untuk memprediksi implikasi pengasaman laut terhadap ekosistem perairan telah dilakukan dengan berbagai metode, jenis sampel, perlakuan dan parameter penelitian, serta lokasi yang juga berbeda, menunjukkan hasil yang bervariasi. Pemutakhiran kompilasi data hasil penelitian perlu dilakukan secara kontinu sehingga dapat menjadi acuan untuk pengembangan kegiatan penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia selanjutnya.

Kata kunci: Indonesia, pengasaman laut

Abstract

There is growing concern of research on ocean acidification (OA) in Indonesian waters in the last 10 years. However, it still lacks of information to similar studies overseas. To compile the data from OA research in Indonesian waters, research identification has been carried out from paper, activity reports, final project reports (thesis/dissertation) as well as seminar/workshop/presentation/*focus group* presentation materials. From the research identification, it was found 24 research results that relevant to the topic of OA in Indonesian waters. Several research activities, an effort to predict the implications of OA to aquatic ecosystems, have been carried out with various methods, samples, treatments, parameters, and different locations, showing varying results. Updating the compilation of research data needs to be carried out continuously, due to the needs of further development of OA research in Indonesian waters.

Keywords: Indonesia, ocean acidification

PENDAHULUAN

Laut memiliki peranan yang sangat penting dalam siklus karbon global. Melalui proses-proses fisis dan biologis yang terjadi, laut mampu menyerap dan melepaskan karbon dioksida (CO₂) dari dan ke atmosfer. Dalam proses penyerapan CO₂ atmosferik oleh laut akan dihasilkan asam karbonik (H₂CO₃) yang dinetralisasi relatif cepat melalui reaksi dengan senyawa karbonat yang berasal dari proses pelapukan batuan karbonat daratan dan pemecahan bahan kimia kerangka organisme laut yang mati, sehingga level pH di laut relatif konstan, yaitu sekitar 8 – 8,3 [1]. Peningkatan konsentrasi CO₂ atmosferik akibat aktivitas manusia dapat menurunkan pH air laut hingga

0,3 – 0,5 unit hingga akhir abad ini, kecenderungan inilah yang dikenal sebagai pengasaman laut [2].

Penelitian di bidang pengasaman laut berkembang cukup pesat selama beberapa dekade terakhir dalam upaya untuk memprediksi implikasinya terhadap ekosistem perairan laut. Sejak tahun 2008, PANGAEA (*Data Publisher for Earth & Environmental Science* - <https://www.pangaea.de>) telah melakukan kompilasi data hasil penelitian pengasaman laut dari seluruh dunia. Pada akhir Januari 2015, tercatat sebanyak 539 *paper* pengasaman laut telah diarsipkan. Dari hasil kompilasi data didapatkan bahwa lebih dari 90% data yang diarsipkan tersebut berasal dari *paper* yang diterbitkan sesudah tahun 2007.

Article history:

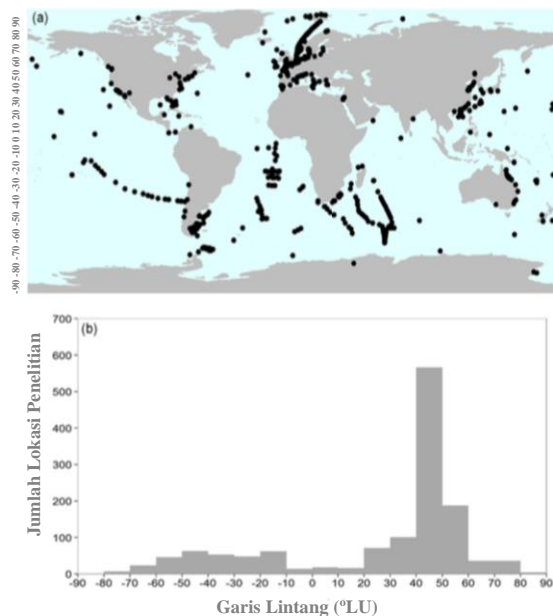
Diterima / Received 25-05-2021

Disetujui / Accepted 31-07-2021

Diterbitkan / Published 31-07-2021

©2021 at <http://jfmr.ub.ac.id>

Sebagian besar *paper* tersebut adalah hasil penelitian yang dilakukan di daerah perairan lintang tinggi di belahan bumi utara (79%), sebagian kecil lainnya di belahan bumi selatan dan perairan kutub (Gambar 1) [3].



Gambar 1. (a) Identifikasi lokasi penelitian dari kompilasi data oleh PANGAEA dan (b) Distribusi lokasi penelitian berdasarkan garis lintang (Yang *et al.*, 2016)

Meskipun belum teridentifikasi dalam *database* PANGAEA, telah dilakukan beberapa penelitian dengan topik pengasaman laut di Perairan Indonesia. Dalam studi ini dilakukan identifikasi hasil penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia selama kurun waktu 10 tahun terakhir.

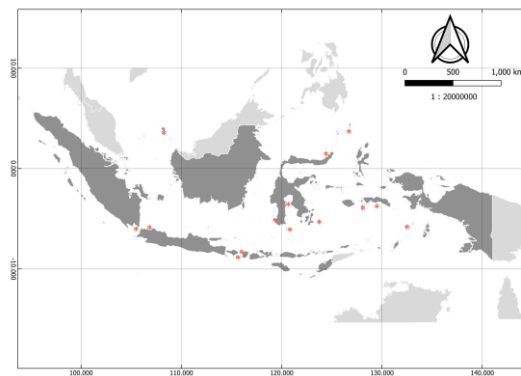
IDENTIFIKASI HASIL PENELITIAN

Identifikasi publikasi hasil penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia dilakukan dengan menggunakan kata kunci: pH perairan Indonesia, pengasaman laut Indonesia, *ocean acidification* Indonesia, karbon dioksida perairan Indonesia dan *carbon dioxide* Indonesia. Hasil penelitian yang disajikan dalam studi ini memenuhi kriteria sebagai berikut: (1) penelitian dilakukan di Perairan Indonesia, (2) hasil penelitian telah dipublikasikan dalam bentuk *paper*, laporan kegiatan, laporan tugas akhir (skripsi/thesis/desertasi) maupun bahan

presentasi seminar/workshop/*focus group discussion*.

LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian menunjukkan titik sampling pengambilan sampel (biota dan air), pengukuran *in situ* dan cakupan area analisis dalam pemodelan oseanografi. Dari kompilasi hasil penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia didapatkan sebanyak 63% penelitian dilakukan di Perairan Indonesia Tengah (Bali, Lombok, dan Sulawesi) [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], 21% di Perairan Indonesia Barat (Natuna dan Pulau Seribu) [20], [21], [22], [23], [24], [25], dan sebagian lainnya di Perairan Indonesia Timur (Maluku) [8], [26], [27] (Gambar 2). Sementara itu, 2 penelitian dengan cakupan lokasi seluruh Perairan Indonesia adalah penelitian dengan metode pemodelan oseanografi dan penelitian kebijakan [28], [29].



Gambar 2. Identifikasi lokasi (tanda bintang berwarna merah) penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia.

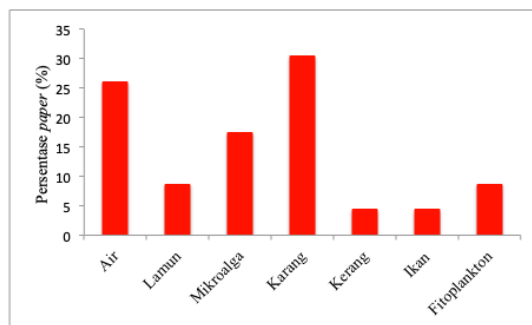
METODE PENELITIAN

Berdasarkan identifikasi publikasi didapatkan 24 hasil penelitian yang relevan dengan topik pengasaman laut di Perairan Indonesia. Dari jumlah tersebut, 50% diantaranya adalah hasil eksperimen laboratorium dengan perlakuan tertentu terhadap sampel biota, analisis dan identifikasi sampel air dan karang di laboratorium [5], [6], [11], [12], [13], [14], [15], [20], [21], [22], [24], [25], [26], 21% dari hasil pengukuran beberapa parameter secara *in situ* dan

eksperimen secara *in situ* (*mesocosm*) [4], [7], [9], [24], [27], dan 8% penelitian dilakukan dengan pemodelan oseanografi [19], [28]. Teridentifikasi pula sebanyak 16% penelitian lainnya merupakan gabungan dari beberapa metode tersebut [8], [10], [15], [16], [17], [18] dan sebuah penelitian tentang kebijakan mitigasi dan adaptasi pengasaman laut [29].

OBJEK PENELITIAN

Sebanyak 25% penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia merupakan hasil pengukuran beberapa parameter perairan, baik pengukuran secara *in situ* maupun analisis sampel air di laboratorium [7], [10], [27], [28]. Selain sampel air, beberapa penelitian menggunakan biota karang sebagai sampel untuk dianalisis di laboratorium yaitu: 17% penelitian menggunakan sampel karang lunak dari jenis *Sarcophyton* [6], [20], [22], [26], 8% karang keras dari jenis *Porites* [16], [17], [18], [21], dan 4% karang bercabang dari jenis *Acropora* [11]. Teridentifikasi pula biota mikroalga (16%) [5], [6], [13], [14], fitoplankton (8%) [4], [9], dan lamun (8%) [23], [25] digunakan sebagai sampel pada eksperimen laboratorium dengan perlakuan pH yang bervariasi. Sebagian kecil penelitian lainnya menggunakan biota kerang dan ikan sebagai obyek penelitiannya [12], [19].



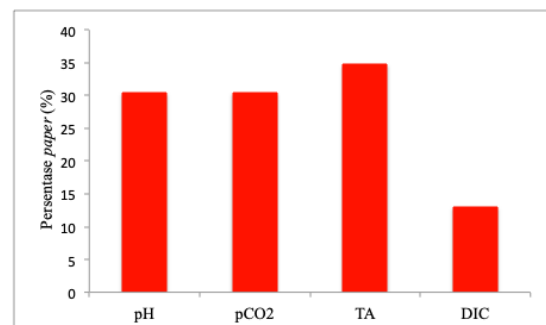
Gambar 3. Identifikasi obyek penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia.

PARAMETER PENELITIAN

Dalam setiap penelitian, sampel dan perlakuan akan menentukan parameter apa saja yang dapat terukur. Penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia melakukan

pengukuran beberapa parameter perairan dan pertumbuhan. Penelitian dengan sampel air laut mengukur parameter sistem karbonat air laut (tekanan parsial CO_2 (pCO_2), *dissolved inorganic carbon* (DIC), alkalinitas total (TA), dan pH), parameter fisik (suhu, konduktivitas, *daily light internal*), parameter kimia (salinitas, alkalinitas, oksigen terlarut, nitrat, nitrit, fosfat, ammonia, silikat), dan parameter biologi (klorofil). Pada sampel biota, beberapa parameter pertumbuhan yang diukur yaitu laju pertumbuhan, laju fotosintesis, laju kalsifikasi, densitas sel, komposisi, kelimpahan, keanekaragaman, dan jaringan histopatologi. Dari sampel karang keras *Porites* dapat diukur laju pertumbuhan dan proksi paleo-suhu dan paleo-salinitas (isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca) serta paleo-pH (isotop $\delta^{11}\text{B}$).

Sebanyak 35% penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia telah melakukan pengukuran parameter sistem karbonat air laut baik secara *in situ* maupun dengan analisis sampel air di laboratorium [7], [8], [10], [15], [16], [17], [18], [20], [22], [28]. Sebagian besar penelitian (43%) yang menggunakan sampel biota melakukan pengukuran beberapa parameter pertumbuhan [4], [5], [6], [9], [11], [13], [14], [23], [25], [26]. Sementara itu, sebagian penelitian lainnya mengukur parameter fisik, kimia [12], [21], dan juga gabungan beberapa parameter tersebut [19], [24], [27].



Gambar 4. Identifikasi parameter sistem karbonat air laut pada penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia.

Parameter sistem karbonat air laut merupakan parameter yang paling banyak digunakan untuk mengindikasikan terjadinya pengasaman laut [30]. Dalam penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia

(Gambar 4), pH (69 %) [5], [6], [7], [10], [11], [12], [15], [16], [17], [18], [20], [22], [23], [24], [25], [27], [28], dan pCO₂ (61%) [4], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [22] adalah parameter sistem karbonat air laut yang paling banyak diukur. Parameter karbonat air laut lainnya yang diukur yaitu, TA (44%) [4], [7], [8], [10], [11], [15], [16], [17], [18], [20], [22], [28], dan DIC (17%) [4], [15], [16], [17], [18], [28].

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia yang menggunakan sampel biota, sebanyak 67% hasil penelitian menunjukkan dampak negatif penurunan pH terhadap pertumbuhan biota fitoplankton [4],[9], *Halimeda sp.* [5],[6], *Acropora sp.* [11], *Perna viridis* [12], *Chaetoceros sp.* [13], *Tetraselmis chui* [14], *Cymodocea rotundata* [23], dan *Thalassia hemprichii* [25]. Sebanyak 26% penelitian lainnya menggunakan biota *Sarcophyton sp.* yang diambil dari 4 lokasi berbeda yaitu Pesisir Minahasa di Sulawesi Utara [8], Pulau Gunung Api di Banda Neira [20], Pulau Panggang di Kepulauan Seribu [26], dan Pulau Umang-umang di Lampung Selatan [22], menunjukkan bahwa biota ini cukup resisten dan mampu beradaptasi terhadap penurunan pH lingkungannya. Sementara itu, hasil penelitian pada 2 spesies ikan tuna menunjukkan respon yang berbeda terhadap penurunan pH. Spesies *Thunnus albacares* cenderung memberikan respon negatif (konsentrasi larva dan juvenile menurun), sebaliknya, *Katsuwonus pelamis* cenderung memberikan respon positif (konsentrasi larva dan juvenile naik) dengan menurunnya pH perairan [19]. Perbedaan respon ini dipengaruhi oleh kemampuan spesies untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungannya, dalam hal ini penurunan pH, melalui adaptasi lokal dan plastisitas fenotipik secara kontinu dan bertahap. Kemampuan adaptasi ini mencakup segala aspek biologi yang dapat dipengaruhi lingkungan, termasuk morfologi, fisiologi, genetika molekuler, respon individu, dan fenologi yang dapat [31], [32].

Hasil penelitian dengan menggunakan metode pemodelan oseanografi secara umum menunjukkan bahwa pada musim barat

(Desember-Januari-Februari) pH di Perairan Indonesia lebih tinggi daripada musim timur (Juni-Juli-Agustus). Variabilitas pH selama 18 tahun (1992-2009) tidak berubah signifikan, namun trend perubahan pH menunjukkan adanya kenaikan pH di Perairan Indonesia Barat dan sebaliknya, terjadi penurunan pH di Perairan Indonesia Timur. Lebih lanjut hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fenomenan El Nino Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Oscillation Dipole (IOD) tidak berpengaruh signifikan terhadap pH di Perairan Indonesia [28].

Sebanyak 13% penelitian dengan menggunakan metode pengukuran *in situ* secara temporal dan spasial, belum dapat memberikan gambaran tentang terjadinya pengasaman laut di lokasi penelitian, karena monitoring pH di ekosistem perairan membutuhkan observasi secara kontinu dalam jangka waktu yang panjang (*time series*). Salah satu hasil penelitian observasi pengasaman laut di Perairan Atlantik Utara, yang telah dilakukan selama 3 dekade (1983-2011), mengamati adanya penurunan pH sebesar 0,05 dengan laju penurunan rata-rata sebesar -0,0017/tahun [33]. Namun demikian, inisiatif untuk memulai sebuah penelitian harus dilakukan sehingga dapat dilanjutkan secara kontinu untuk mendapatkan hasil yang komprehensif.

Berdasarkan hasil penelitian tentang kebijakan mitigasi dan adaptasi pengasaman laut di Indonesia, direkomendasikan sebuah program untuk melakukan monitoring pengasaman laut dan kondisi terumbu karang dan perlunya dilakukan identifikasi kapasitas adaptif lokal yang telah dimiliki, pentingnya ekologi dan solusi sosial-ekonomi dalam menghadapi dampak pengasaman laut terhadap terumbu karang di Indonesia. Namun yang paling efektif untuk menekan pengasaman laut adalah dengan mengurangi emisi gas CO₂ ke atmosfer [34]. Yang juga tidak kalah pentingnya adalah peningkatan resiliensi terumbu karang dengan meminimalisir tekanan terhadap terumbu karang, antara lain penerapan strategi untuk mengurangi pencemaran dan pengelolaan perikanan dengan membatasi kegiatan penangkapan ikan dengan cara-cara yang dapat merusak ekosistem [29].

REKOMENDASI

Perkembangan penelitian pengasaman laut di Perairan Indonesia belum menunjukkan hasil yang signifikan. Beberapa hal yang menjadi tantangan dalam kegiatan penelitian ini adalah keterbatasan instrumen pengukuran, fasilitas laboratorium, komitmen untuk melaksanakan penelitian secara bertahap dalam jangka waktu panjang dan juga karakteristik Perairan Indonesia yang berbeda di tiap lokasi. Kontribusi hasil penelitian pengasaman laut perlu terus ditingkatkan untuk memahami dampaknya terhadap ekosistem perairan di Indonesia. Monitoring pengasaman laut secara *in situ* di perairan terbuka dan pesisir perlu terus dilakukan secara kontinu sesuai standar pengukuran yang akurat untuk memahami pengaruh tekanan lingkungan terhadap organisme dalam ekosistem. Eksperimen di laboratorium untuk memahami respon spesies terhadap skenario penurunan pH juga perlu terus dilakukan agar dapat diketahui kemampuan organisme untuk beradaptasi terhadap perubahan di lingkungannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penyusunan *review* perkembangan penelitian pengasaman laut di Indonesia. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada segenap *Editor* dan *Reviewer* atas masukan untuk perbaikan substansi maupun redaksional karya tulis ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. C. Doney, "The dangers of ocean acidification, " *Sci. Am. Scientific American*, vol. 294, no. 3, hal. 58-65, Apr 2006.
- [2] E. H. Buck dan P. Folger, "Ocean acidification," *Congressional Research Service Report for Congress, Prepared for Members and Committees of Congress*, 15 hal., Jul 2009.
- [3] Y. Yang, L. Hanson, dan J. -P. Gattuso, "Data compilation on the biological response to ocean acidification: an update," *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 8, hal. 79-87, Feb 2016.
- [4] N. Rukminasari, M. Lukman dan S. Sahabuddin, "Increasing CO₂ concentration impact upon natural phytoplankton community at Spermonde Island, Indonesia: Mesocosm Study," *International Journal of Marine Science*, vol.4, no.18, hal. 166-178, Feb 2014.
- [5] N. Rukminasari, N. Nadiarti dan K. Awaluddin, "Pengaruh derajat keasaman (pH) air laut terhadap konsentrasi kalsium dan laju pertumbuhan *Halimeda sp.*," *Torani (Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan)*, vol. 24, no. 1, hal. 28-34, Apr 2014.
- [6] S. Sahabuddin, J. Jompa, dan N. Rukminasari, "Peningkatan konsentrasi karbondioksida dan suhu terhadap pertumbuhan dan histopatologi makroalgatropik *Halimeda sp.*," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 7, no. 2, hal. 681-694, Des 2015.
- [7] E. F. Camp, D. J. Suggett, G. Gendron, J. Jompa, C. Manfrino, dan D. J. Smith, "Mangrove and seagrass beds provide different biogeochemical services for corals threatened by climate change," *Front. Mar. Sci.*, vol. 3, no. 52, hal. 1-16, Apr 2016.
- [8] H. I. Januar, N. P. Zamani, D. Soedarma, dan E. Chasanah, "Changes in soft coral *Sarcophyton sp.* abundance and cytotoxicity at volcanic CO₂ seeps in Indonesia," *AIMS Environmental Science*, vol. 3, no.2, hal. 239-248, Apr 2016.
- [9] N. Rukminasari, S. Sahabuddin, dan M. Lukman, "Do increasing CO₂ concentration impacted on changing phytoplankton assemblages?," *AACL Bioflux*, vol. 11, no. 1, hal. 91-100, Jan 2018.
- [10] F. P. Priyanto, "Earth observation of ocean acidification: the case of Nusa Penida, Klungkung, East Bali," *Master's Thesis*, 58 hal., Feb 2019.
- [11] M. Y. Yusuf, N. Rukminasari, D. Yanuarita, J. Jompa dan S. Suharto, "Effect of increased CO₂ concentration on the growth rate of *Isopora palifera* and *Acropora hyacinthus* from different

- cross-shelf reef zones,” *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 253, 012022, Apr 2019.
- [12] A. Kabangnga dan K. Yaqin, “Penggunaan imunitas kerang hijau (*Perna viridis*) sebagai biomarker untuk mendeteksi pengaruh pengasaman laut terhadap toksisitas logam Pb,” *Octopus Jurnal Ilmu Perikanan*, vol. 8, no. 2, hal. 8-14, Des 2019.
- [13] S. Sahabuddin, J. Jompa dan N. Rukminasari, “Photophysiology response of non-calcifying microalgae *Chaetoceros sp.* on increasing anthropogenic carbon dioxide and temperature,” *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 521, 012025, Jul 2020.
- [14] A. Tahir, N. Rukminasari, K. Yaqin dan M. Lukman, “Increasing CO₂ concentration impact upon nutrient absorption and removal efficiency of supra intensive shrimp pond wastewater by marine microalgae *Tetraselmis chui*,” *International Journal of Phytoremediation*, vol. 23, no. 1, hal. 64-71, Jul 2020.
- [15] H. B. Prayitno, R. Puspitasari, S. Jandang, K. Triana, E. Taufiqurrahman, L. Lestari, A. Afdal, I. Wulandari, H. Harmesa, H. Meirinawati, S. Lastrini, M. T. Kaisupy, dan A. J. Wahyudi, “Establishing an ocean acidification monitoring system for the tropical waters of Indonesia facing regional climate variability,” *ASEAN Journal on Science & Technology for Development*, vol. 37, no. 3, hal. 123–133, Des 2020.
- [16] Balai Penelitian dan Observasi Laut, “Studi implikasi pengasaman laut pada ekosistem terumbu karang di kawasan Coral Triangle Initiative (CTI),” *Laporan Kegiatan*, 51 hal., Des 2012.
- [17] Balai Penelitian dan Observasi Laut, “Studi implikasi pengasaman laut pada ekosistem terumbu karang di kawasan Coral Triangle Initiative (CTI),” *Laporan Kegiatan*, 52 hal., Des 2013.
- [18] Balai Penelitian dan Observasi Laut, “Studi implikasi pengasaman laut pada ekosistem terumbu karang di kawasan Coral Triangle Initiative (CTI),” *Laporan Kegiatan*, 67 hal., Des 2014.
- [19] C. K. Tito dan E. Susilo, “The response of tuna larvae to ocean acidification in the Indonesian fisheries management area 713: case study in the Gulf of Bone, Indonesia,” *in prep.*
- [20] H. I. Januar, N. P. Zamani, D. Soedarma, dan E. Chasanah, “Bioactive cembranoid composition in the soft coral *Sarcophyton glaccum* the response to changing pH,” *Ilmu Kelautan*, vol. 22, no. 1, hal. 25-30, Mar 2017.
- [21] I. S. Nurhati, M. Wall, F. Muhammad, J. Fietzke, S. Y. Cahyarini, dan E. A. Boyle, “Coral records of ocean acidification and coral calcification variations in Western Indonesia over the past centuries,” *Presented at IOC-WESTPAC 10th Intl Scientific Conference*, Apr 2017.
- [22] T. N. Sujatmiko, P. Hasanah, T. D. Wibisono, A. T. Mahadi, H. I. Januar, dan N. P. Zamani, “The potency of soft coral *Sarcophyton* in Krakatau Seas as cytotoxic test and its relation towards water acidification,” *Omni-Akuatika*, vol. 15, no. 2, hal. 12-19, Nop 2019.
- [23] Y. Andika, M. Kawaroe, H. Effendi, dan N. P. Zamani, “Pengaruh kondisi pH terhadap respons fisiologis daun lamun jenis *Cymodocea rotundata*,” *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 12, no. 2, hal. 485-493, Agu 2020.
- [24] M. J. Rugebregt dan I. S. Nurhati2, “Preliminary study of ocean acidification: relationship of pH, temperature, and salinity in Ohoililir, Southeast Maluku,” *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 618, 012004, Dec 2020.
- [25] B. T. K. Ilhami, M. Kawaroe, H. Effendi, dan N. P. Zamani, “The effect of acidification on growth and photosynthesis rate of seagrass *Thalassia hemprichii* (Ehrenberg.) Ascherson,” *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 12, no. 3, hal. 687-696, Des 2020.
- [26] H. I. Januar, N. P. Zamani, D. Soedarma, dan E. Chasanah, “Cembranoids content of soft coral *Sarcophyton* from acidified environment at Volcano Island, Indonesia,” *Squalen Bull. of Mar. and*

- Fish. Postharvest and Biotech.*, vol. 12, no. 1, hal. 35-40, Mei 2017.
- [27] I. Y. Ikhsani, D. M. Siahaya, F. R. T. Saputra, dan S. Likumahua, "Coastal acidification as nutrients over enrichment impact: a case study in Ambon Bay, Indonesia," *Omni-Akuatika*, vol. 13, no. 1, hal. 86-95, Mei 2017.
- [28] M. R. Putri, A. Setiawan, dan M. Safitri, "Variation of Ocean pH in the Indonesia Waters," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1677, 060021, Sep 2015.
- [29] V. W. Y. Lam, S. Chavanich, S. Djoundourian, S. Dupont, F. Gaill, G. Holzer, K. Isensee, S. Katua, F. Mars, M. Metian, dan J. M. Hall-Spencer, "Dealing with the effects of ocean acidification on coral reefs in the Indian Ocean and Asia," *Regional Studies in Marine Science*, vol. 28, 100560, Mar 2019.
- [30] C. Cantoni, A. Luchetta, M. Celio, S. Cozzi, F. Raicich, dan G. Catalano, "Carbonate system variability in the Gulf of Trieste (North Adriatic Sea)," *Estuar Coast Shelf Sci.*, vol. 115, hal. 51-62, Des 2012.
- [31] T. G. Evans dan G. E. Hofmann, "Defining the limits of physiological plasticity: how gene expression can assess and predict the consequences of ocean change," *Phil. Trans. R. Soc. B*, vol. 367, hal. 1733-1745, Jun 2012.
- [32] C. A. Vargas, N. A. Lagos, M. A. Lardies, C. Duarte, P. H. Manríquez, V. M. Aguilera, B. Broitman, S. Widdicombe, dan S. Dupont, "Species-specific responses to ocean acidification should account for local adaptation and adaptive plasticity," *Nat. Ecol. Evol.*, vol. 1, no. 0084, hal. 1-7, Mar 2017.
- [33] N.R. Bates, M. H. P. Best, K. Neely, R. Garley, A.G. Dickson, dan R. J. Johnson, "Detecting anthropogenic carbon dioxide uptake and ocean acidification in the North Atlantic Ocean," *Biogeosciences*, vol. 9, no. 7, hal. 2509-2522, Jul 2012.
- [34] IPCC, "Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty," *World Meteorological Organization*, Geneva, Switzerland, 32 hal., 2018.