



NS-002

PENENTUAN UMUR DAN LAJU PERTUMBUHAN KARANG *PORITES LOBATA* DI WAKATOBI DAN TELUK LAMPUNG MENGUNAKAN SINAR-X

DETERMINATION AGE AND EXTENSION GROWTH OF MASSIVE CORAL PORITES LOBATA AT WAKATOBI AND LAMPUNG BAY USING X-RAY

A.D.P. Putra, U. Sugiharto, dan A.A. Lubis

ABSTRAK

Karang masif *Porites lobata* menyimpan informasi perubahan lingkungan di sekitarnya, penentuan lingkaran tahun pada kerangka karang akan menggambarkan umur dan laju pertumbuhan karang sebagai parameter waktu untuk mempelajari perubahan iklim yang terjadi pada masa lalu. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pertumbuhan karang *Porites lobata* menggunakan radiografi sinar-X di Wakatobi dan Teluk Lampung. Sampel karang diperoleh menggunakan bor pneumatik dengan penggerak tabung selam berdiameter 5 cm, sampel karang kemudian dipotong menjadi lempengan setebal 5 mm. Lempengan sampel karang dibersihkan dari senyawa organik dan jaringan karang dengan larutan asam peroksida dan kemudian direndam dalam bejana ultrasonik yang diisi air Mili-Q. Selanjutnya, sampel dikeringkan pada suhu 60°C selama lima hari. Lempengan sampel karang dipindai radiografi sinar-X pada energi 30 keV selama tiga detik. Hasil pindaian sinar-X dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ dalam penentuan umur, arah pertumbuhan, dan laju pertumbuhan. Diperoleh hasil laju pertumbuhan pada sampel Taman Nasional Wakatobi dan Teluk Lampung, yaitu $12,58 \pm 3,71$ mm/tahun dan $10,38 \pm 3.78$ mm/tahun, hal ini mungkin dipengaruhi oleh kondisi alam Arus Lintas Indonesia di area Taman Nasional Wakatobi dan aktivitas antropogenik di Teluk Lampung.

Kata Kunci: Laju Pertumbuhan; Lingkaran Tahun; *Porites Lobata*; Sinar-X.

ABSTRACT

Massive coral Porites lobata stores environment change information, the determination of its annual band and growth rate lead other parameters of past climate and environmental circumstances. The research was conducted to study the corals age and growing rate related to environment interference between Wakatobi and Lampung Bay using X-ray radiography. Porites lobata samples were collected using 5 cm diameter pneumatic drilling. Coral samples were cut in to 5 mm thick slab along the core.

A. D. P. Putra, U. Sugiharto, & A. Arman

*Pusat Riset Bahan Baku Obat dan Obat Tradisional BRIN, e-mail: adit005@brin.go.id, apermana@batan.go.id

@ 2023 Penerbit BRIN

Putra, A. D. P., Sugiharto, U., dan Arman, A, "Penentuan umur dan laju pertumbuhan karang *Porites lobata* di Wakatobi dan Teluk Lampung menggunakan sinar-x," Dalam *Prosiding Seminar APISORA 2021 "Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing,"* T. Wahyono, A. Citraresmini, D. P. Rahayu, Oktaviani, dan N. Robifahmi, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, November 2023, ch. 8, pp. 83–92, DOI: 10.55981/brin.690.c649, E-ISBN: 978-623-8372-02-7



Peroxide acid was used, and the coral slab then were soaked in ultrasonic instrument with milli-Q water removing attached material and coral tissue on the coral surface. The clean coral slab was dried at 60°C for five days. Slab corals were scanned through X-ray radiograph at 30 keV for 3 seconds. ImageJ software was used to determine age, growth direction, and linear growth rate. The results show that the growth rates in Wakatobi and Lampung Bay sample are $12,58 \pm 3,71$ mm/year and $10,38 \pm 3,78$ mm/year, this might be generated by natural condition of Indonesian Throughflow in Wakatobi National Park and anthropogenic activities in Lampung Bay.

Keywords: Annual Band; Growth Rate; *Porites Lobata*; X-ray.

PENDAHULUAN

Terumbu karang masif berkembang sebagai komponen utama di ekosistem pesisir [1], [2] dan dapat mempresentasikan kondisi lingkungan di sekitarnya [3]–[7]. Karang masif memiliki kerangka (skeleton) yang terbentuk dari pengendapan kalsium karbonat (CaCO_3) dari skala milimeter hingga centimeter per tahun [8]. Karang masif *Porites lobata* dapat menyimpan informasi perubahan iklim dan keadaan lingkungan di masa lampau [5], [6], [9], [10]. Penentuan lingkaran tahun dan laju pertumbuhan akan melengkapi parameter penting, seperti perubahan kimia air laut, kandungan nutrisi, dan bahkan juga polutan yang masuk ke lingkungan perairan [11], [12], [13]. Informasi keadaan lingkungan di masa lampau menyajikan data yang dibutuhkan dalam studi perubahan iklim mengingat terbatasnya data satelit yang dapat diakses.

Radiografi sinar-X merupakan salah satu pemanfaatan radiasi secara luas dalam bidang industri maupun penelitian. Dalam bidang penelitian radiografi, sinar-X digunakan untuk pengukuran umur terumbu karang, laju pertumbuhan, dan kalsifikasi yang terkait dengan studi perubahan iklim [14], [15], [16]. Foto sinar-X dari kerangka karang menunjukkan pola kerapatan gelap dan terang secara bergantian sepanjang arah pertumbuhan karang yang merupakan lingkaran tahun karang [17], [18], [19]. Foto sinar-X sangat esensial untuk memulai penelitian dalam menentukan arah pertumbuhan karang sebelum melakukan analisis selanjutnya, seperti perubahan temperatur permukaan air laut (*Sea Surface Temperature SST*), dan kesetimbangan kimia air laut, serta studi siklus El-Nino [20], [21], [22].

Aktivitas manusia (antropogenik) dapat memberi dampak pada kesehatan dan kerusakan terumbu karang. Faktor lingkungan seperti salinitas, pH, laju sedimentasi, dan SST memberi kontribusi terhadap laju pertumbuhan karang [1],[23]–[26]. Ekosistem pesisir di daerah Wakatobi yang merupakan kawasan konservasi nasional di bawah pengawasan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, dengan pertimbangan ini diharapkan daerah ini memiliki pengaruh antropogenik yang rendah bila dibandingkan Teluk Lampung yang terbuka untuk aktivitas industri, seperti perikanan, pertanian, dan pelabuhan, serta aktivitas rumah tangga. Tujuan penelitian ini adalah untuk menginvestigasi umur dan laju pertumbuhan karang masif *Porites lobata* pada daerah Wakatobi dan Teluk Lampung menggunakan radiografi sinar-X.



METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Karang masif *Porites lobata* dikoleksi dari Kawasan Nasional Wakatobi (5°25'28.70" S; 123°35'7.07" E) pada 2016 dan lokasi Teluk Lampung tepatnya Pulau Pahawang (5°38'43.03" S; 105°14'34.02" E) pada 2017.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel Teluk Lampung dan Kawasan Nasional Wakatobi.

Sampel karang masif diambil menggunakan peralatan bor pneumatik yang terhubung dengan tabung oksigen untuk menggerakkan pipa yang terbuat dari *stainless steel* dengan mata bor tungsten. Diameter pipa bor 5 cm dengan panjang 50 cm digunakan untuk pengeboran bagian tengah karang secara vertikal untuk memperoleh arah pertumbuhan yang berkesinambungan. Selama proses pengeboran ini selalu disertai aliran air di dalam selongsong bor yang mendorong butiran halus hasil gesekan antara karang dan mata bor sehingga mencegah pemblokiran perputaran mata bor [8].

Persiapan radiografi sinar-X diawali dengan membersihkan sampel karang dari material organik menggunakan air Milli-Q dalam bejana ultrasonik, kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 6 hari.

Tata Kerja

Sampel yang sudah kering dipotong menjadi lempengan dengan ketebalan 5 mm dengan alat gergaji potong, lempengan karang selanjutnya direndam dalam Milli-Q di bejana ultrasonik dan dikeringkan kembali pada suhu 60°C. Lempengan karang masif yang sudah kering kemudian dilakukan analisis menggunakan radiografi sinar-X (Rigaku RF-300EGM2) di Laboratorium Uji Tak Rusak NDT – Radiografi, BRIN dengan energi 30 keV selama 3 detik waktu paparan. Selanjutnya, perangkat lunak tidak berbayar ImageJ digunakan dalam penentuan umur, arah tumbuh, dan kecepatan pertumbuhan karang. Hasil analisis akan menggambarkan kronologi yang akurat apabila dikombinasikan



dengan inovasi proksi lain yang mewakili beberapa parameter lingkungan dalam mempelajari lebih dalam mengenai isu perubahan iklim.

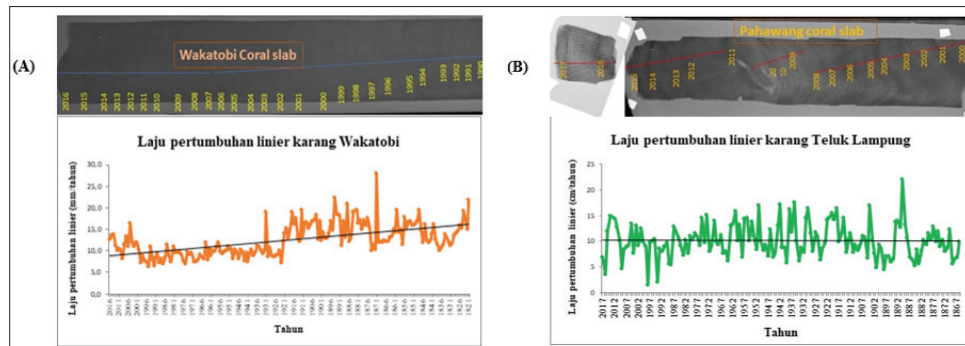
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis karang *Porites Lobata* di lokasi Taman Nasional Wakatobi dan Teluk Lampung telah berhasil dilakukan menggunakan radiografi sinar-X untuk pengukuran umur dan laju pertumbuhan linier (Tabel 1).

Tabel 1. Lokasi dan Informasi Sampel *Porites Lobata*

	Lokasi	
	Wakatobi	Lampung
Kedalaman (m)	± 10	± 3
Umur (tahun)	195	120
Panjang (mm)	2454	1568
Laju pertumbuhan (mm/tahun)	$12,58 \pm 3,71$	$10,38 \pm 3,78$

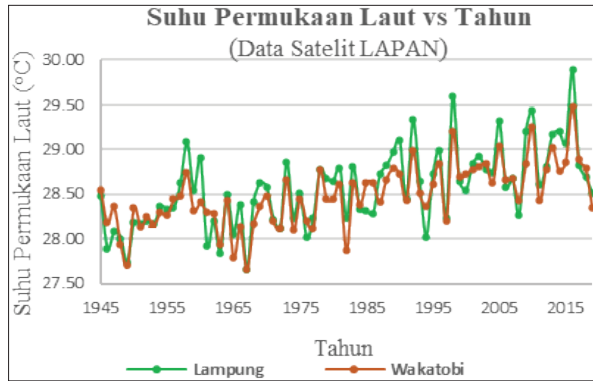
Berdasarkan Tabel 1, parameter kedalaman menggambarkan jarak permukaan air terhadap posisi karang saat dilakukannya pengambilan sampel, dan ini dapat berubah pada saat terjadinya pasang surut.



Keterangan: (A) Taman Nasional Wakatobi, (B) Teluk Lampung

Gambar 2. Foto Sinar-X dan Grafik Laju Pertumbuhan *Porites lobata*

Hasil pengukuran panjang sampel lokasi Wakatobi relatif lebih panjang dibandingkan sampel Lampung, dan ini berarti umur sampel karang Wakatobi lebih besar dibandingkan karang yang berasal dari Teluk Lampung. Sementara itu, terdapat perubahan arah yang cukup signifikan pada sampel Teluk Lampung dibandingkan sampel Wakatobi yang relatif stabil, hal ini mungkin dipengaruhi oleh kondisi lingkungan keadaan karang pada dua lokasi tersebut [18], [27], [28].



Gambar 3. Data suhu permukaan laut terhadap tahun melalui satelit LAPAN di Wakatobi dan Lampung.

Suatu perbedaan laju pertumbuhan karang dipengaruhi kondisi lingkungan sekitarnya, seperti halnya faktor tingkat kekeruhan air, arus, energi hidrolis, laju sedimentasi, dan curah hujan [29], [30], [31]. Selain faktor tersebut, suhu perairan merupakan faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan karang dan proses klasifikasi pembentukan kerangka karang, di mana dengan kondisi ideal, yakni suhu 18–30°C, dan berada di perairan dangkal sehingga menerima sinar matahari yang cukup akan mendukung pertumbuhan karang yang baik [7], [24], [32], [33], [34]. Pada Gambar 2, terlihat signifikan terjadinya tren penurunan laju pertumbuhan karang, baik di Lampung maupun Wakatobi mulai tahun 1945 hingga tahun terkini. Sementara itu, Gambar 3 data satelit LAPAN menunjukkan suhu permukaan laut yang memiliki tren meningkat cukup signifikan pada rentang tahun tersebut.

Kedua berlawanan dengan aktivitas antropogenik cukup tinggi, Teluk Lampung memiliki keadaan alam yang menguntungkan, di mana terlindungi oleh mulut pulau dari arus dan ombak yang berasal dari Samudera Indonesia dan Laut Jawa membuat perairan ini memiliki tinggi muka air pasang di sekitar 0,3–1,4 m (BMKG Lampung) dengan arus air yang relatif tenang sehingga cocok untuk budi daya laut [35]. Minimnya aktivitas antropogenik di Taman Nasional Wakatobi tidak menutup fakta bahwa lokasinya berada di perairan terbuka dan merupakan bagian dari *Indonesian Throughflow* (ITF) atau Arus Lintas Indonesia, yakni arus antar samudera yang memiliki kontribusi dalam pergerakan iklim global, yakni mendorong perpindahan arus air hangat menuju samudera Hindia dari samudera Pasifik. Arus Lintas Indonesia ini dapat membawa kondisi ekstrem, seperti fenomena El-Nino dan La-Nina yang dapat mempercepat proses pemutihan karang (*coral bleaching*) dikarenakan ketiadaan simbiosis antara alga *zooxanthellae* dengan terumbu karang dalam pembentukan kerangka karang [3], [36]–[39].

**Tabel 2.** Laju Pertumbuhan *Porites Lobata* di Beberapa Lokasi.

Lokasi	Laju Pertumbuhan (mm/tahun)
Hawaii and Pasifik Tengah (1974) [40], [41]	6,13
Enewetak (Laut Pasifik) (1972) [42]	13,5
Australia (1977) [43]	4-13
Galapagos (1983) [44]	8,1
Filipina (1984) [45]	13,0
Oucun, South China Sea (2016) [46]	18,1
Samudera Pasifik Meksiko (2016) [5]	4,7
Penelitian ini, Indonesia (Wakatobi)	12,58
Penelitian ini, Indonesia (Lampung)	10,38

Tabel 2 menunjukkan beberapa data penelitian sebelumnya mengenai laju pertumbuhan karang masif *Porites lobata*, dapat dilihat bahwa hasil penelitian ini baik di lokasi Wakatobi maupun Teluk Lampung memiliki laju pertumbuhan mendekati lokasi negara kepulauan lain seperti Filipina (1984) dan Enewetak (1972).

KESIMPULAN

Radiografi sinar-X menunjukkan data berupa umur, arah pertumbuhan, dan laju pertumbuhan karang masif *Porites lobata* di lokasi Taman Nasional Wakatobi dan Teluk Lampung, pada lokasi Wakatobi memiliki kondisi lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan karang baik dari segi minimnya aktivitas antropogenik maupun kondisi perairan yang lebih natural dibandingkan lokasi Teluk Lampung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Taman Nasional Wakatobi dan Balai Besar Perikanan Budi daya Laut Lampung dan untuk pendampingan lapangan dan pemberian akses ke lokasi pengambilan sampel karang. Serta kelompok Uji Tak Merusak Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, ORTN, BRIN (sebelumnya PRTAIR BATAN) untuk analisis radiografi sinar-X. Kegiatan ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian di unit kerja Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi, ORTN, BRIN yang didanai DIPA dan kegiatan kerja sama dengan IAEA melalui TC-INS7008.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. F. Precht, "Can *Porites* spp. corals be used as a bio-indicator for sediment stress on coral reefs?," *Ecol. Indic.*, vol. 106, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105538.
- [2] D. Hopley, *Encyclopedia of Modern Coral Reefs*, no. Figure 3. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011.
- [3] N. P. Zamani, A. Arman, dan Lalang, "The growth rate of coral *porites lutea* relating to



- the el niño phenomena at Tunda Island, Banten Bay, Indonesia,” *Procedia Environ. Sci.*, vol. 33, pp. 505–511, 2016, doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.103.
- [4] S. J. Fallon, J. C. White, dan M. T. McCulloch, “Porites corals as recorders of mining and environmental impacts: Misima Island, Papua New Guinea,” *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 66, no. 1, pp. 45–62, Jan. 2002, doi: 10.1016/S0016-7037(01)00715-3.
- [5] J. de J. A. Tortolero-Langarica dkk., “Differences in growth and calcification rates in the reef-building coral porites lobata: the implications of morphotype and gender on coral growth,” *Front. Mar. Sci.*, vol. 3, Sep. 2016, doi: 10.3389/fmars.2016.00179.
- [6] R. M. Yoshioka dkk., “Linking sewage pollution and water quality to spatial patterns of Porites lobata growth anomalies in Puako, Hawaii,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 104, no. 1–2, pp. 313–321, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.01.002.
- [7] J. J. A. Tortolero-Langarica dkk., “Skeletal extension, density and calcification rates of massive free-living coral Porites lobata Dana, 1846,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 478, pp. 68–76, Mei. 2016, doi: 10.1016/j.jembe.2016.02.005.
- [8] A. Arman, N. P. Zamani, dan T. Watanabe, “Studi penentuan umur dan laju pertumbuhan terumbu karang terkait dengan perubahan iklim ekstrim menggunakan sinar-x,” *A Sci. J. Appl. Isot. Radiat.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2013, doi: 10.17146/jair.2013.9.1.850.
- [9] L. W. S. Æ. D. B. Æ. C. Birkeland, “Phenotypic plasticity for skeletal growth , density and calcification of Porites lobata in response to habitat type,” *Coral Reefs*, vol. 26, no. 3, pp. 559–567, Agt. 2007, doi: 10.1007/s00338-007-0216-z.
- [10] E. N. Edinger dkk., “Heavy metal contamination from gold mining recorded in Porites lobata skeletons, Buyat–Ratototok district, North Sulawesi, Indonesia,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 56, no. 9, pp. 1553–1569, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.marpolbul.2008.05.028.
- [11] S. Krishnakumar dkk., “Metal concentrations in the growth bands of *Porites* sp.: a baseline record on the history of marine pollution in the Gulf of Mannar, India,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 101, no. 1, pp. 409–416, Des. 2015, doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.10.009.
- [12] T.-R. Chen dkk., “Heavy metal pollution recorded in Porites corals from Daya Bay, northern South China Sea,” *Mar. Environ. Res.*, vol. 70, no. 3–4, pp. 318–326, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.marenvres.2010.06.004.
- [13] S. A. Al-Rousan dkk., “Heavy metal contents in growth bands of *Porites* corals: record of anthropogenic and human developments from the Jordanian Gulf of Aqaba,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 54, no. 12, pp. 1912–1922, Des. 2007, doi: 10.1016/j.marpolbul.2007.08.014.
- [14] D. J. Barnes dan J. M. Lough, “Systematic variations in the depth of skeleton occupied by coral tissue in massive colonies of *Porites* from the Great barrier reef,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 159, no. 1, pp. 113–128, Jul. 1992, doi: 10.1016/0022-0981(92)90261-8.
- [15] J. M. Lough dan D. J. Barnes, “Several centuries of variation in skeletal extension, density and calcification in massive *Porites* colonies from the Great Barrier Reef: a proxy for seawater temperature and a background of variability against which to identify unnatural change,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 211, no. 1, pp. 29–67, Apr. 1997, doi: 10.1016/S0022-0981(96)02710-4.
- [16] T. Felis dan J. Pätzold, “Climate reconstructions from annually banded corals,” *Glob. Environ. Chang. Ocean L.*, pp. 205–227, 2004.
- [17] D. W. Knutson, R. W. Buddemeier, dan S. V. Smith, “Coral chronometers: seasonal



SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing

- growth bands in reef corals,” *Science (80-.)*, vol. 177, no. 4045, pp. 270–272, Jul. 1972, doi: 10.1126/science.177.4045.270.
- [18] H. Charry, E. M. Alvarado, dan J. A. Sánchez, “Annual skeletal extension of two reef-building corals from The Colombian Caribbean Sea,” *Bull. Mar. Coast. Res.*, vol. 33, pp. 209–222, Jan. 2016, doi: 10.25268/bimc.invemar.2004.33.0.255.
- [19] H. Guzmán dan A. Tudhope, “Seasonal variation in skeletal extension rate and stable isotopic ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) composition in response to several environmental variables in the Caribbean reef coral *Siderastrea siderea*,” *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 166, pp. 109–118, 1998, doi: 10.3354/meps166109.
- [20] M. A. Cane, “The evolution of El Niño, past and future,” *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 230, no. 3–4, pp. 227–240, Feb. 2005, doi: 10.1016/j.epsl.2004.12.003.
- [21] T. Ourbak dkk., “A high-resolution investigation of temperature, salinity, and upwelling activity proxies in corals,” *Geochemistry, Geophys. Geosystems*, vol. 7, no. 3, pp. 1–13, 2006, doi: 10.1029/2005GC001064.
- [22] M. K. Gagan dkk., “Temperature and surface-ocean water balance of the mid-holocene tropical western pacific,” *Science (80-.)*, vol. 279, no. 5353, pp. 1014–1018, Feb. 1998, doi: 10.1126/science.279.5353.1014.
- [23] H. Yan dkk., “Regional coral growth responses to seawater warming in the South China Sea,” *Sci. Total Environ.*, vol. 670, no. 164, pp. 595–605, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.135.
- [24] D. J. Barshis dkk., “High-frequency temperature variability mirrors fixed differences in thermal limits of the massive coral *Porites lobata* (Dana, 1846),” *J. Exp. Biol.*, vol. 221, no. 24, Jan. 2018, doi: 10.1242/jeb.188581.
- [25] D. Storz dan E. Gischler, “Coral extension rates in the NW Indian Ocean I: reconstruction of 20th century SST variability and monsoon current strength,” *Geo-Marine Lett.*, vol. 31, no. 3, pp. 141–154, Jun. 2011, doi: 10.1007/s00367-010-0221-z.
- [26] M. J. C. Crabbe dan D. J. Smith, “Sediment impacts on growth rates of *Acropora* and *Porites* corals from fringing reefs of Sulawesi, Indonesia,” *Coral Reefs*, vol. 24, no. 3, pp. 437–441, Nov. 2005, doi: 10.1007/s00338-005-0004-6.
- [27] M. Nyström, C. Folke, dan F. Moberg, “Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment,” *Trends Ecol. Evol.*, vol. 15, no. 10, pp. 413–417, Oct. 2000, doi: 10.1016/S0169-5347(00)01948-0.
- [28] J.-S. Hwang dkk., “Bioaccumulation of trace metals in octocorals depends on age and tissue compartmentalization,” *PLoS One*, vol. 13, no. 4, p. e0196222, Apr. 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0196222.
- [29] J. M. Lough dan D. J. Barnes, “Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 245, no. 2, pp. 225–243, Mar. 2000, doi: 10.1016/S0022-0981(99)00168-9.
- [30] O. M. Luthfi dan R. M. A. M. R. Sontodipoero, “Linear extension rate as express of growth rate coral *Porites lutea* of South Java Sea,” dalam AIP Conference Proceedings, 2019, p. 050010, doi: 10.1063/1.5061903.
- [31] M. J. C. Crabbe, M. E. J. Wilson, dan D. J. Smith, “Quaternary corals from reefs in the Wakatobi Marine National Park, SE Sulawesi, Indonesia, show similar growth rates to



- modern corals from the same area,” *J. Quat. Sci.*, vol. 21, no. 8, pp. 803–809, Des. 2006, doi: 10.1002/jqs.1001.
- [32] S. Reynaud dkk., “Light and temperature effects on Sr/Ca and Mg/Ca ratios in the scleractinian coral *Acropora* sp.,” *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 71, no. 2, pp. 354–362, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.gca.2006.09.009.
- [33] A. Armid dkk., “Seawater temperature proxies based on DSr, DMg, and DU from culture experiments using the branching coral *Porites cylindrica*,” *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 75, no. 15, pp. 4273–4285, Agu. 2011, doi: 10.1016/j.gca.2011.05.010.
- [34] C. Corvianawatie, S. Y. Cahyarini, dan M. R. Putri, “The effect of changes in sea surface temperature on linear growth of *Porites* coral in Ambon Bay,” dalam *AIP Conference Proceedings*, 2015, vol. 1677, p. 060008, doi: 10.1063/1.4930688.
- [35] H. Yulianto dkk., “Spatial analysis to evaluate the suitability of seaweed farming site in Lampung Bay, Indonesia,” *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 17, no. 6, pp. 1253–1261, Nov. 2017, doi: 10.4194/1303-2712-v17_6_18.
- [36] S. Wouthuyzen, M. Abrar, dan J. Lorwens, “A comparison between the 2010 and 2016 El-Ninō induced coral bleaching in the Indonesian waters,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 118, no. 1, Feb. 2018, doi: 10.1088/1755-1315/118/1/012051.
- [37] S. Yusuf and J. Jompa, “First quantitative assessment of coral bleaching on Indonesian reefs,” *Icrs2012. Com*, July, 2012, [Online]. Tersedia: http://www.icrs2012.com/proceedings/manuscripts/ICRS2012_17D_6.pdf.
- [38] C. J. S. Kim dkk., “The condition of coral reefs in Timor-Leste before and after the 2016–2017 marine heatwave,” *bioRxiv*, pp. 1–31, 2020.
- [39] J. S. Godfrey, “The effect of the Indonesian throughflow on ocean circulation and heat exchange with the atmosphere: A review,” *J. Geophys. Res. Ocean.*, vol. 101, no. C5, pp. 12217–12237, Mei. 1996, doi: 10.1029/95JC03860.
- [40] R. W. Buddemeier dan R. A. Kinzie, “Coral growth,” *Ocean. Mar Biol Annu Rev*, vol. 14, pp. 183–225, 1976.
- [41] R. W. Buddemeier, J. E. Maragos, dan D. W. Knutson, “Radiographic studies of reef coral exoskeletons: Rates and patterns of coral growth,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 14, no. 2, pp. 179–199, Jan. 1974, doi: 10.1016/0022-0981(74)90024-0.
- [42] D. W. Knutson, R. W. Buddemeier, dan S. V. Smith, “Coral Chronometers: Seasonal Growth Bands in Reef Corals,” *Science (80)*, vol. 177, no. 4045, pp. 270–272, Jul. 1972, doi: 10.1126/science.177.4045.270.
- [43] P. Isdale, “Variation in growth rate of hermatypic corals in a uniform environment,” 1977.
- [44] P. W. Glynn dan G. M. Wellington, “*Corals and coral reefs of the Galápagos Islands*,” California, USA: Univ of California Press, 1983.
- [45] J. Patzold, “Growth rhythms recorded in stable isotopes and density bands in the reef coral *Porites lobata* (Cebu, Philippines),” *Coral Reefs*, vol. 3, no. 2, pp. 87–90, Okt. 1984, doi: 10.1007/BF00263758.
- [46] R. Su, J. M. Lough, dan D. Sun, “Variations in massive *Porites* growth rates at Hainan Island, northern South China Sea,” *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 546, pp. 47–60, Mar. 2016, doi: 10.3354/meps11654.



SEMINAR APISORA 2021

Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing