

## ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET BIDANG GEOLOGI

# KONTRIBUSI PENELITIAN IKLIM MASA LAMPAU DALAM MEMAHAMI PERUBAHAN IKLIM



OLEH:

**SRI YUDAWATI CAHYARINI**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA**  
**JAKARTA, 1 SEPTEMBER 2021**

KONTRIBUSI PENELITIAN IKLIM  
MASA LAMPAU DALAM MEMAHAMI  
PERUBAHAN IKLIM

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

*All Rights Reserved*

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
BIDANG GEOLOGI**

**KONTRIBUSI PENELITIAN IKLIM  
MASA LAMPAU DALAM MEMAHAMI  
PERUBAHAN IKLIM**

OLEH:

**SRI YUDAWATI CAHYARINI**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA  
JAKARTA, 1 SEPTEMBER 2021**

*Buku ini tidak diperjualbelikan.*



© 2021 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)  
Pusat Penelitian Geoteknologi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Kontribusi Penelitian Iklim Masa Lampau dalam Memahami Perubahan Iklim/Sri Yudawati Cahyarini. Jakarta: LIPI Press, 2021.

xi + 71 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-496-254-8 (cetak)  
978-602-496-253-1 (e-book)

1. Penelitian Iklim  
3. Perubahan Iklim




2. Masa Lampau

551.6

*Copy editor* : M. Wildan Fathurrohman dan Risma Wahyu Hartiningsih  
*Proofreader* : Fadly Suhendra  
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima  
Desainer Sampul : Laura Citra Zhahira

Cetakan : September 2021



Diterbitkan oleh:  
LIPI Press, anggota Ikapi  
Gedung PDDI LIPI, Lantai 6  
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710  
Telp.: (021) 573 3465  
*e-mail*: [press@mail.lipi.go.id](mailto:press@mail.lipi.go.id)  
*website*: [lipipress.lipi.go.id](http://lipipress.lipi.go.id)  
 LIPI Press  
 @lipi\_press  
 lipi.press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## BIODATA RINGKAS



**Sri Yudawati Cahyarini**, lahir di Ponorogo, Jawa Timur, 10 Oktober 1969, adalah putri dari Bapak Koessantjojo Oemar (Alm.) dan Ibu Sri Marmini.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 11/M Tahun 2019 tanggal 13 Februari 2019, yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Utama terhitung mulai 25 April 2019.

Berdasarkan Surat Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia No. 172/A/2021 tanggal 19 Agustus 2021 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Mangkujayan II Ponorogo, tahun 1982; Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Ponorogo, tahun 1985; dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Ponorogo, tahun 1988. Memperoleh gelar Sarjana Geologi dari Institut Teknologi Bandung tahun 1993, gelar Magister Geodesi dari Institut Teknologi Bandung tahun 2000, dan gelar Doktor Natural Science bidang Geologi di Kiel University, Jerman, tahun 2006.

Mengikuti pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, di antaranya PAGES Workshop on PaleoENSO di Belitung pada tahun 2019, National Geographic Explorer grantee meeting di DC-USA pada tahun 2018, *Advance course*

*on the application of CT Scan for coral growth analysis* didanai oleh Mary Sears Program di WHOI, Woodshole, USA (2012); PEER Science USAID-Workshop Grantee Seminar di Bangkok pada tahun 2012, ICP OES Workshop Training di SMART-NUS Singapore pada tahun 2012, *Workshop training on Tree Ring Isotop for Paleoclimate Studies* kerja sama LIPI-Universitas Mulawarman di Samarinda (2013), *ICDP Training Course on Continental Scientific Drilling* di Windischeschenbach, Jerman (2011), KNAW Mobility Program–*Training on Lead Analysis* di Vrije University Amsterdam di Amsterdam Belanda (2009), *DEKLIM Workshop on The Climate of the Next Millennia* di Mainz, Jerman (2005).

Mendapatkan beberapa dana hibah riset, baik nasional maupun internasional, antara lain dari Alexander von Humboldt Digital Cooperation Program (Tahun 2021); INSINAS-Nusantara Kemenristekdikti (Tahun 2018); *National Geographic Explorer; PEER Science Cycle 2* (2012); International Science Foundation (IFS) (Tahun 2008); *Indonesian Toray Science Foundation (ITSF) Research Grant* (2007).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Penata Muda golongan III/a tahun 2001, Penata Muda golongan III/b tahun 2004, Penata Muda golongan III/c tahun 2007, Peneliti Muda golongan III/d tahun 2008, Peneliti Madya golongan IV/a tahun 2009, Peneliti Madya golongan IV/b tahun 2012, Peneliti Madya golongan IV/c tahun 2015, Ahli Peneliti Utama golongan IV/d tahun 2019. Ahli Peneliti Utama golongan IV/e (2021)

Menghasilkan 54 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain, dalam bentuk jurnal dan prosiding. Menerbitkan sebanyak 20 KTI Jurnal terindeks global, 21 KTI Jurnal terindeks nasional, dan 13 prosiding. Sebanyak

37 KTI ditulis dalam bahasa Inggris. Selain itu, juga terdapat 17 publikasi lainnya berupa karya ilmiah populer dan publikasi abstrak dari hasil partisipasi sebagai presenter dalam seminar, konferensi, hingga workshop tingkat internasional.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah dengan menjadi dosen tamu di ITB; memberikan kuliah tamu di Ifremer-Universitas Grenoble dan Department of Earth Sciences Universitas Brest, Perancis; pembimbing jabatan fungsional peneliti pada diklat fungsional peneliti di LIPI sejak 2015; membimbing peneliti junior di Puslit Geoteknologi LIPI; pembimbing skripsi (S1) pada Jurusan Oseanografi ITB dan telah meluluskan 7 orang sarjana S1; pembimbing skripsi (S1) pada Jurusan Geografi Universitas Bochum, Jerman dan telah meluluskan 1 orang sarjana S1; pembimbing tesis pada Jurusan Oseanografi ITB dan telah meluluskan 2 orang sarjana S2; pembimbing (*co-supervisor*) disertasi 2 orang kandidat doktor pada program studi Sains Kebumian ITB dan program Ph.D. dari *Institute of Geological Sciences & Oeschger Centre for Climate Change Research* Universitas Bern, Swiss; dan penguji sidang kelulusan sarjana (S1 dan S2) pada Jurusan Oseanografi ITB serta juri pada sidang disertasi (S3) di *Department of Earth Sciences*, Universitas Nantes, Perancis.

Aktif dalam organisasi ilmiah, yaitu anggota IAGI (sejak 1999), anggota Himpenindo (sejak 2019), dan anggota ISOI (1999).

Penghargaan beasiswa program *postdoctoral* Alexander von Humboldt Georg Forster program di RWTH Aachen, Jerman (Tahun 2017–2019); beasiswa *doctoral* dari DAAD (Tahun 2006), beberapa *research fellowship* dari DAAD di GEOMAR

dan RWTH Aachen, Jerman (Tahun 2009 dan 2015); Mary Sears Visiting *fellowship* di WHOI-Woodshole US (Tahun 2012), SEA-EU NET *Spotlight on Excellent Researcher in South East Asia* (Tahun 2009); dan Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2009) serta Satyalancana Karya Satya XX Tahun (tahun 2019).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS .....	v
PRAKATA PENGUKUHAN .....	xi
I. PENDAHULUAN .....	1
II. REKAMAN IKLIM PADA KARANG .....	3
2.1 Iklim di Indonesia.....	3
2.2 Karang sebagai Arsip Iklim .....	4
2.3 Hasil Penelitian Iklim Masa Lampau dengan Arsip Karang..	5
III. PENELITIAN IKLIM MASA LAMPAU DI INDONESIA.....	10
3.1 Sejarah dan Pentingnya Penelitian Iklim Masa Lampau .....	10
3.2 Tantangan dalam Penelitian Iklim Masa Lampau.....	11
3.3 Arah Penelitian Iklim Masa Lampau.....	12
IV. KONTRIBUSI ILMIAH DAN KEBARUAN PENELITIAN IKLIM MASA LAMPAU DENGAN ARSIP KARANG DI INDONESIA .....	14
V. KONTRIBUSI PENELITIAN IKLIM MASA LALU DALAM MEMAHAMI PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA .....	16
VI. KESIMPULAN.....	18
VII. PENUTUP .....	20
VIII. UCAPAN TERIMA KASIH .....	21
DAFTAR PUSTAKA.....	23
LAMPIRAN.....	33
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	48
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	58

Buku ini tidak diperjualbelikan.



## PRAKATA PENGUKUHAN

*Bismillaahirrahmaanirrahiim.*

*Assalamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.*

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah Pengukuhan Profesor Riset di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“KONTRIBUSI PENELITIAN IKLIM MASA LAMPAU  
DALAM MEMAHAMI PERUBAHAN IKLIM”

Buku ini tidak diperjualbelikan.





## I. PENDAHULUAN

Pemanasan global menyebabkan perubahan iklim yang memengaruhi pola curah hujan, perubahan permukaan laut, frekuensi siklon tropis, dan juga frekuensi kejadian fenomena iklim antar tahunan *El Niño Southern Oscillation* (ENSO)<sup>1,2</sup> dan *Indian Ocean Dipole* (IOD)<sup>3,4,5,6</sup>. Fenomena iklim ENSO dan IOD mampu menyebabkan bencana iklim, seperti kekeringan, banjir, atau kebakaran hutan yang dapat memengaruhi perekonomian global suatu negara. Berdasarkan *the International Disaster Database*<sup>7</sup> selama periode 1914–2021 bencana iklim lebih sering terjadi dibandingkan bencana geologi dan menimbulkan kerugian ekonomi yang juga besar sekitar 19 juta USD (Gambar 1).

Pemahaman fenomena iklim ENSO dan IOD ini sangat penting dalam upaya mitigasi sekaligus adaptasi dalam bencana iklim. Berdasarkan data model curah hujan, ENSO dan IOD memengaruhi curah hujan<sup>8</sup> di Indonesia. Di samping itu, rekaman karang hidup menunjukkan ENSO dan IOD juga memengaruhi suhu permukaan laut di wilayah Indonesia<sup>9,10</sup>. Bagaimana mekanisme dan frekuensi terjadinya ENSO dan IOD dari masa ke masa masih menjadi permasalahan yang perlu dipecahkan.

Pemahaman sejarah iklim diperlukan untuk memahami pemanasan global termasuk fenomena iklim antar tahunan. Hal ini memerlukan data parameter iklim yang panjang dari masa kini ke masa lampau. Studi iklim masa lampau atau studi *paleoclimate* mampu menyediakan data dan informasi parameter iklim dari masa kini ke masa lampau yang tidak tersedia data pengukuran. Parameter iklim ini terekam dalam arsip alam, yaitu sedimen laut<sup>11,12</sup>, sedimen danau<sup>13,14,15</sup>, lingkaran pohon<sup>16</sup>, karang<sup>17,18,19</sup>, dan lain-lain. Setiap arsip alam saling melengkapi, baik dari segi resolusi maupun panjang data yang tersedia. Indonesia memiliki

sumber daya hampir semua jenis arsip alam, hal ini menjadi potensi bagi Indonesia untuk bisa *leading* dalam studi iklim dari masa kini sampai masa lampau dalam kisaran waktu geologi.

Fokus penelitian ini adalah mengenai studi iklim masa lampau dengan menggunakan arsip karang *Scleractinia* atau disebut juga karang batu dari genus *Porites* (Gambar 2). Kombinasi karang hidup dan mati menyediakan data iklim secara kontinu dari masa kini<sup>17,19,20,21</sup> ke ribuan tahun<sup>4,5,18</sup> bahkan ratusan ribu tahun lampau<sup>22</sup> dengan resolusi bulanan<sup>17</sup>. Kandungan geokimia karang dapat digunakan untuk merekonstruksi suhu permukaan laut (selanjutnya akan disebut suhu)<sup>23,24</sup>, presipitasi, dan salinitas permukaan laut<sup>17,25</sup>. Selain itu, dengan menggunakan sinar-X atau rontgen dapat diidentifikasi perlapisan pertumbuhan tahunan karang *Porites* dan juga kecepatan kalsifikasi karang<sup>26,27,28</sup>. Dengan mengkorelasikan suhu dan pertumbuhan tahunan karang<sup>29,30</sup> dapat diketahui pengaruh suhu terhadap pertumbuhan karang. Hasil penelitian semacam ini telah digunakan untuk mendukung kegiatan konservasi terumbu karang, seperti dalam program COREMAP<sup>26,30</sup>.

Secara garis besar penelitian ini bertujuan untuk (1) meningkatkan pemahaman variabilitas iklim di wilayah Indonesia dan pemahaman fenomena iklim ENSO dan IOD di masa lampau, (2) memahami pengaruh suhu terhadap pertumbuhan tahunan karang *Porites*, dan (3) melakukan evaluasi dan pengembangan metode kalibrasi data *proxy* dan metodologi rekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut dari data *proxy* karang.

## II. REKAMAN IKLIM PADA KARANG

### 2.1 Iklim di Indonesia

Variabilitas iklim di Indonesia memiliki peran penting dalam sistem iklim global karena terletak di antara Samudra Hindia dan Pasifik, disebut juga wilayah kolam hangat Pasifik barat<sup>31,32</sup>(Gambar 3). Variabilitas iklim di wilayah Indonesia dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu musim (Gambar 4.a), perpindahan massa air dari Samudra Pasifik ke Hindia atau dikenal dengan Arus Lintas Indonesia (Arlindo)<sup>31,32,33</sup>, dan fenomena iklim di Samudra Pasifik dan Hindia berupa ENSO dan IOD.

Fenomena iklim ENSO<sup>1</sup> (Gambar 4.b) ditandai dengan adanya gradien suhu di wilayah Samudra Pasifik bagian barat dan timur. Pada saat *El Niño* terjadi maka anomali suhu di wilayah Samudra Pasifik bagian timur meningkat dan di wilayah Indonesia kurang dari normal sehingga mengakibatkan kekeringan di wilayah Indonesia dan banjir di wilayah pantai barat Amerika, hal sebaliknya terjadi pada saat *La Niña*<sup>1</sup>. Fenomena iklim serupa dikenal dengan IOD terjadi di Samudra Hindia yang dicirikan adanya gradien suhu di wilayah Samudra Hindia barat dan timur<sup>3</sup> (Gambar 4.c). Pada saat IOD positif terjadi anomali negatif suhu di sekitar wilayah Indonesia dan anomali positif suhu di Samudra Hindia bagian barat, yang menyebabkan kekeringan di wilayah Indonesia dan sekitarnya. Fenomena sebaliknya dikenal dengan IOD negatif. Kedua peristiwa fenomena iklim ini memiliki konsekuensi sosial ekonomi yang tinggi khususnya di negara-negara yang berbatasan dengan kedua samudra tersebut. Sebagai contoh baru-baru ini pada tahun 2019 terjadi IOD positif<sup>34,35</sup> yang menimbulkan kekeringan di sebagian besar wilayah Indonesia bagian selatan (Gambar 5). Beberapa hasil penelitian juga menunjukkan perubahan iklim memengaruhi terjadinya

wabah penyakit menular<sup>36,37</sup>. Pada akhir 2019 sampai awal 2020, bertepatan dengan mulai berakhirnya peristiwa ekstrem IOD positif<sup>34,35</sup>, merebak virus Covid-19 yang banyak merenggut nyawa manusia dan mengubah tatanan dunia. Apakah fenomena iklim ekstrem IOD positif yang terjadi di akhir 2019 ini juga merupakan salah satu pemicu terjadinya peningkatan pandemi Covid-19 di awal 2020 memang masih perlu dikaji lebih jauh.

## **2.2 Karang sebagai Arsip Iklim**

### **2.2.1 Pertumbuhan Karang**

Karang *Porites* (Gambar 2) tumbuh membentuk perlapisan pertumbuhan tahunan. Satu tahun pertumbuhan karang ditunjukkan dengan sepasang warna terang dan gelap yang mencerminkan tinggi rendahnya densitas atau kandungan kalsium karbonat karang<sup>36,26,38</sup> (Gambar 2.c). Perlapisan pertumbuhan karang ini juga menyimpan informasi kronologi dalam resolusi tahunan.

### **2.2.2 Kandungan Geokimia Karang**

Kandungan geokimia karang yang digunakan untuk rekonstruksi parameter iklim dikenal dengan istilah *proxy* geokimia. Karang *Porites* merupakan salah satu genus karang batu yang sering digunakan dalam studi iklim masa lampau<sup>20,21,39</sup>. Unsur-unsur geokimia karang *Porites* yang menjadi fokus penelitian adalah rasio Stronsium (Sr), Calcium (Ca), rasio isotop Oksigen 18 (<sup>18</sup>O), dan isotop Oksigen 16 (<sup>16</sup>O) yang dikenal dengan delta isotop Oksigen 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ). Kandungan Sr/Ca digunakan untuk merekonstruksi suhu<sup>20,21,40,41</sup>. Kenaikan suhu selaras dengan penurunan kandungan Sr/Ca karang<sup>42,43</sup>. Hingga saat ini rumus regresi linear hasil kalibrasi Sr/Ca karang dengan suhu masih berbeda-beda sekalipun pada spesies yang sama (Gambar 6).

Hal ini menjadi fokus permasalahan dalam penelitian kalibrasi *proxy*.

*Proxy* geokimia karang lainnya yang sering digunakan dalam studi iklim masa lampau adalah delta isotop Oksigen 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ )<sup>44</sup>. Penurunan kandungan  $\delta^{18}\text{O}$  karang mengikuti kesetimbangan *isotopic* air laut sekitarnya. Kesetimbangan *isotopic* ini dianggap konstan selama sampling serbuk karang dilakukan sepanjang sumbu pertumbuhan<sup>45</sup>. Rata-rata *offset* nilai kandungan isotop terhadap konstanta kesetimbangan ini berbeda-beda untuk setiap spesies karang ataupun individu karang dalam satu lokasi<sup>19,46</sup> nilai inilah yang dianalisis (Gambar 7).

Variasi  $\delta^{18}\text{O}$  karang dipengaruhi oleh variasi suhu dan kandungan  $\delta^{18}\text{O}$  air laut. Untuk itu, kandungan  $\delta^{18}\text{O}$  karang dapat digunakan untuk rekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut<sup>47,48</sup> yang selanjutnya digunakan untuk rekonstruksi presipitasi dan salinitas<sup>49</sup>. Perubahan  $\delta^{18}\text{O}$  dalam karang terhadap suhu sudah menjadi ketentuan, yaitu berkisar -0,18 permil/ $^{\circ}\text{C}$  sampai -0,22 permil/ $^{\circ}\text{C}$ <sup>47,50,51,52</sup>.

## 2.3 Hasil Penelitian Iklim Masa Lampau dengan Arsip Karang

### 2.3.1 Pembangunan Kronologi

Umur absolut pada karang mati biasanya ditentukan dengan menggunakan radioaktif U/Th<sup>4,5,22,53</sup>. Pada contoh karang hidup, penentuan umur dengan resolusi tahunan dapat dilakukan dengan menghitung perlapisan pertumbuhan tahunan<sup>54</sup> (Gambar 2c). Ketelitian dari pembangunan kronologi tahunan ini selama 1–2 tahun<sup>54</sup>. Kronologi dengan resolusi lebih tinggi, yaitu bulanan digunakan kandungan geokimia karang<sup>18,19,21,55</sup>. Ada dua metode penentuan kronologi resolusi bulanan, yaitu yang disebut metode *anchor point*<sup>32,56</sup> dan metode *peak matching*<sup>32,26</sup>. Perbandingan hasil dari kedua metode ini menunjukkan bahwa

metode *peak matching* memberikan hasil dengan kesalahan (*chronology error*) yang lebih rendah daripada metode *anchor point*<sup>19,32</sup> yaitu 1–2 bulan dan menghasilkan kalibrasi yang lebih baik. Namun, metode *peak matching* hanya dapat dilakukan sepanjang data pengukuran suhu tersedia, sedangkan metode *anchor point* penggunaannya tidak tergantung pada ketersediaan data pengukuran suhu. Jadi, untuk data *proxy* dengan kisaran waktu yang panjang maka metode *anchor point* ini bisa menjadi pilihan<sup>19,32</sup>.

### 2.3.2 Penelitian Kalibrasi Sr/Ca Karang vs. Suhu

Rumus regresi antara suhu dan Sr/Ca karang masih menghasilkan rumus kalibrasi yang berbeda-beda untuk setiap contoh karang, baik satu spesies dalam satu koloni maupun beda koloni<sup>19,57</sup> sehingga hanya dapat direkonstruksi perubahan suhunya bukan suhu absolutnya. Hasil penelitian rumus kalibrasi terdahulu telah menetapkan besaran slope Sr/Ca vs. suhu berkisar antara -0,04 hingga -0,08 mmol/mol/°C<sup>19,21,32</sup>. Idealnya kalibrasi kandungan Sr/Ca karang dilakukan dengan suhu di mana karang tersebut berada<sup>13,17,19,21</sup>. Namun, hal ini sangat sulit untuk dilakukan karena selain diperlukan waktu yang lama untuk monitoring juga biaya yang besar.

Studi mengenai kalibrasi ini penting karena menjadi dasar dari rekonstruksi parameter iklim (Gambar 8). Studi kalibrasi yang dilakukan adalah dengan menggunakan (1) contoh karang dengan inti bor horizontal dibandingkan inti bor vertikal dalam satu koloni<sup>19,32</sup>, (2) menggunakan beberapa contoh karang spesies yang sama, namun berbeda koloni<sup>19,21</sup>. Kontribusi ilmiah utama dari hasil penelitian kalibrasi ini adalah sampel inti bor karang hasil dari pengambilan *coring* secara horizontal (Gambar 8) menunjukkan kalibrasi yang lebih bagus daripada *coring* vertical (Gambar 8), dalam satu spesies satu koloni<sup>19,32</sup>.

Selain itu, kalibrasi akan lebih bagus dengan menggunakan hasil nilai rata-rata kandungan geokimia karang dari banyak sampel karang dengan spesies sama, baik dari satu koloni maupun antarkoloni<sup>19,21</sup>. Penelitian kalibrasi Sr/Ca sebagai paleo-termometer juga menghasilkan bukti bahwa karang yang dekat dengan daratan pesisir pantai dapat digunakan untuk rekonstruksi suhu udara di wilayah daratan pesisir apabila tidak terdapat data suhu udara<sup>21</sup> (Gambar 9).

### 2.3.3 Metodologi Rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}$ Air Laut

Rekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut dilakukan dengan mengurangi  $\delta^{18}\text{O}$  karang dengan perubahan  $\delta^{18}\text{O}$  karang relatif terhadap suhu<sup>17,47,49,50,51</sup>. Rekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut ini menjadi penting karena dapat digunakan untuk rekonstruksi presipitasi dan salinitas<sup>17,58</sup>.

Metodologi untuk merekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut dari *proxy* geokimia karang masih berkembang untuk mendapatkan metode yang lebih realistis<sup>17,59</sup>. Studi tentang kandungan Sr/Ca dan  $\delta^{18}\text{O}$  karang dari wilayah Timor–Indonesia dan Tahiti-French Polinesia<sup>17</sup> berkontribusi menghasilkan metode baru untuk rekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut yang disebut sebagai metode *Centering*<sup>17</sup>.

Aspek penting kedua dari hasil penelitian ini adalah kesalahan perhitungan hasil rekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut (*error propagation*) dapat diperkirakan. Dengan demikian, dapat diduga di wilayah mana  $\delta^{18}\text{O}$  air laut dapat direkonstruksi dari *proxy* geokimia karang<sup>17,60</sup>. Di lokasi yang besaran variasi musiman  $\delta^{18}\text{O}$  air laut lebih kecil daripada *error proxy*<sup>17,60</sup> maka tidak memungkinkan menggunakan *proxy* geokimia karang untuk merekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut di lokasi tersebut (Gambar 10).



Penelitian ini<sup>17</sup> memberikan pedoman untuk pemilihan lokasi dalam rekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut.

### 2.3.4 Rekaman Variabilitas dan Fenomena Iklim Masa Lampau dari Karang

Hasil rekonstruksi suhu dan salinitas dari kandungan geokimia karang hidup *Porites* dari perairan Pulau Timor (Selat Ombai) merupakan rekaman data iklim yang pertama kali tersedia dari rekaman karang dari wilayah jalur Arlindo selama kurun waktu yang panjang, yaitu 90 tahun (1914–2004)<sup>20</sup> (Gambar 11). Rekaman karang Timor ini menunjukkan bahwa IOD memengaruhi suhu dan salinitas secara signifikan, sedangkan ENSO memengaruhi suhu secara signifikan, namun tidak pada salinitas (Gambar 12). Hasil ini perlu diperhitungkan saat menafsirkan iklim masa lampau di Indonesia.

Data rekaman karang mati belum banyak di Indonesia. Hasil penelitian terbaru adalah dari rekaman karang dari Mentawai dan Teluk Lampung Selat Sunda yang menunjukkan kisaran waktu masa abad pertengahan. Dari karang mati tersebut terrekam variabilitas suhu yang lebih rendah daripada masa sekarang (Gambar 13.a). Fenomena iklim ENSO atau IOD<sup>4,5</sup> juga dapat diidentifikasi berdasarkan analisis *power spectrum* yang signifikan pada frekuensi *signal* antar tahunan. (Gambar 13.b). Penelitian ini juga menunjukkan bahwa IOD positif ekstrem jarang terjadi di masa lalu sebelum 1960<sup>18</sup> dan pada masa kini frekuensi fenomena iklim antar tahunan lebih sering terjadi daripada di masa abad pertengahan.

### 2.3.5 Tren Pertumbuhan Karang dan Suhu

Variasi densitas dan laju pertumbuhan linear karang merupakan faktor penting dalam pengukuran kecepatan kalsifikasi karang (pembentukan  $\text{CaCO}_3$ ). Hal ini diperlukan untuk memahami

faktor lingkungan yang mengontrol pertumbuhan karang<sup>61,62</sup>. Metode densitometri menggunakan analisis data citra dari hasil rontgen karang<sup>27,29,61</sup> atau hasil *scanning* tomografi karang untuk menghitung laju pertumbuhan dan densitas<sup>30</sup>.

Studi pertumbuhan dari contoh karang *Porites* dari Kepulauan Seribu menunjukkan tren kenaikan suhu selaras dengan tren kenaikan pertumbuhan linear karang<sup>27,29</sup>. Studi tentang pertumbuhan karang di beberapa lokasi di Indonesia dan ko-variansinya dengan suhu menunjukkan bahwa pertumbuhan linier tahunan karang *Porites* tidak selalu menunjukkan korelasi positif dengan suhu<sup>30,62</sup> (Gambar 14).

### III. PENELITIAN IKLIM MASA LAMPAU DI INDONESIA

#### 3.1 Sejarah dan Pentingnya Penelitian Iklim Masa Lampau

Gagasan perubahan iklim sudah dikenal sejak abad ke-17. Kondisi pada saat itu terjadi periode kekeringan yang panjang di berbagai belahan bumi<sup>63</sup>. Hal ini memicu orang untuk memahami sejarah iklim. Pada awal abad ke-19 studi iklim masa lampau semakin berkembang pesat dengan perlunya pemahaman mengenai dampak pemanasan global dan diikuti dengan perkembangan teknologi penggunaan arsip alam<sup>63</sup>. Penelitian iklim masa lampau dengan menggunakan karang mulai berkembang pada akhir dekade tahun 1990-an<sup>22</sup>. Di Indonesia, penelitian iklim masa lampau dengan karang mulai berkembang pesat sejak dekade 2000 sampai sekarang.

Indonesia terletak di lokasi yang strategis di antara dua samudra, yakni Samudra Pasifik dan Samudra Hindia di mana fenomena iklim ENSO dan IOD berkembang. Untuk itu sudah sewajarnya penelitian iklim khususnya mengenai ENSO atau IOD menjadi salah satu fokus dalam kerangka penelitian nasional di Indonesia. Selain itu, Indonesia juga merupakan wilayah *the Ring of Fire* yang memiliki banyak gunung api<sup>64</sup> (Gambar 15). Letusan gunung api menghasilkan aerosol yang memengaruhi variabilitas iklim. Pemahaman dampak letusan gunung api terhadap perubahan iklim juga sudah sewajarnya menjadi fokus dalam penelitian iklim di Indonesia.

Sistem iklim merupakan sistem yang sangat kompleks karena memiliki subsistem yang saling berinteraksi dan terkait satu

dengan lainnya. Di samping itu, juga saling bergantung dalam suatu proses yang berbeda-beda dari waktu ke waktu.

Rekonstruksi iklim masa lampau dengan resolusi data yang tinggi, baik spasial maupun temporal akan meningkatkan pemahaman kita tentang potensi perubahan iklim yang terjadi secara cepat ini. Bagaimana perubahan iklim saat ini dibandingkan perubahan iklim era praindustri? Seberapa tidak biasanya tingkat perubahan suhu saat ini dan lain sebagainya. Jawaban atas pertanyaan ini dapat dipahami dengan menggunakan catatan iklim masa lampau.

Ketersediaan sumber daya terumbu karang yang melimpah di Indonesia tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan pangan, namun juga mampu menyediakan sumber ilmu pengetahuan serta menyediakan data dan informasi perubahan iklim dan lingkungan. Catatan iklim dari karang yang tersedia di perairan Indonesia yang dipublikasikan masih belum banyak, beberapa yang telah dipublikasikan (Gambar 16), yaitu catatan dari karang Bunaken dan Nusa Penida<sup>49</sup> serta Kepulauan Mentawai<sup>65</sup>. Catatan karang tertua dengan umur 123 ribu tahun lampau dari karang Luwu<sup>22</sup>. Catatan karang hidup dari Kendari<sup>66</sup>, Simelue<sup>67</sup>, Ambon<sup>68</sup>, Kepulauan Seribu<sup>21</sup>, dan karang dari Timor<sup>20</sup>. Publikasi terbaru diperoleh dari catatan karang abad pertengahan, yaitu dari karang Mentawai dan Selat Sunda<sup>18</sup>. Untuk lebih memahami variabilitas dan tren iklim di wilayah regional Indonesia dan pengaruhnya terhadap iklim global maka masih diperlukan rekaman iklim karang dari wilayah Indonesia lainnya.

### **3.2 Tantangan dalam Penelitian Iklim Masa Lampau**

Agar penelitian iklim masa lampau dapat efektif dan meningkatkan kemampuan memahami variabilitas dan tren iklim serta memprediksi risiko perubahan iklim, maka studi iklim masa

lampau perlu mencakup dan mempertimbangan (1) ketidakpastian (*uncertainty*) dari sumber data dan juga kemampuan metode statistik, (2) resolusi data dan skala waktu, dan (3) faktor penyebab dalam sistem iklim. Ketiga hal itu menjadi tantangan utama dalam penelitian iklim masa lampau<sup>60,69,70,71</sup>.

Ketidakpastian hasil rekonstruksi iklim masa lampau menimbulkan potensi kesalahan, baik dalam memahami variabilitas maupun tren iklim masa lampau<sup>60,70</sup>. Ketidakpastian ini disebabkan (1) *proxy*-nya berpotensi memiliki ketidakpastian, yaitu ketidakpastian yang terjadi pada saat pengambilan sampel di lapangan sampai analisis di laboratorium; (2) data yang digunakan untuk kalibrasi *proxy*, yaitu data pengukuran ataupun data hasil model tidak bebas dari ketidakpastian<sup>17,69,70</sup>, dan (3) metode analisis statistik yang digunakan juga memiliki kemampuan terbatas dalam menyajikan data dan analisis data *timeserie*<sup>17,69</sup>.

Skala ruang dan waktu atau yang dikenal dengan istilah resolusi data sangat penting untuk memahami perubahan iklim dalam konteks ruang dan waktu. Memahami penyebab terjadinya suatu fenomena iklim, yaitu faktor apa yang mengontrol fenomena iklim di masa lampau pada dasarnya hanya dapat mengamati korelasi dan menyimpulkan hubungan sebab akibat antara kedua parameter yang berkorelasi.

### 3.3 Arah Penelitian Iklim Masa Lampau

Menjawab tantangan penelitian iklim masa lampau tersebut perlu dilakukan upaya sebagai berikut.

Pertama, perlunya kegiatan monitoring khususnya di wilayah Indonesia untuk menjawab permasalahan ketidakpastian. Peng-

gunaan data *in situ* untuk kalibrasi *proxy* akan menghasilkan hasil rekonstruksi iklim yang akurat dan realistis.

Kedua, perlunya penelitian iklim dengan menggunakan multi-*proxy* dan multiarsip serta pengembangan penemuan *proxy* baru dan atau arsip baru untuk menjawab permasalahan skala waktu. Penelitian multi-*proxy* dan multiarsip alam bisa saling melengkapi dalam skala ruang dan waktu dalam menyediakan informasi iklim masa lampau.

Ketiga, penelitian rekonstruksi variabilitas iklim masa lampau, baik dari karang maupun perbandingan dengan arsip lainnya perlu dilakukan pada banyak lokasi guna memahami mekanisme iklim secara regional Indonesia dan keterkaitan dengan fenomena iklim global.

Keempat, kerja sama dalam penelitian untuk menyelesaikan permasalahan di atas dengan para peneliti yang bekerja menggunakan data-data paleo (*paleoclimatologist* dan *paleoseanografist*), data-data masa kini (*climatologist*, *meteorologist*, dan *oceanographer*), dan juga dengan peneliti *modelling*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih realistis yang tervalidasi, terukur, dan akurat.

#### IV. KONTRIBUSI ILMIAH DAN KEBARUAN PENELITIAN IKLIM MASA LAMPAU DENGAN ARSIP KARANG DI INDONESIA

Kontribusi ilmiah penting dari hasil penelitian ini dan merupakan kebaruan dalam bidang ilmu pengetahuan iklim masa lampau dengan karang. Pertama, pengembangan metode baru untuk rekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut dari kandungan geokimia karang yang dikenal dengan metode *centering*<sup>17</sup>. Metode *centering* yang dikembangkan lebih sederhana dan lebih kecil erornya dibandingkan metode terdahulu<sup>17,32</sup>. Rumus ini telah banyak digunakan dalam studi iklim masa lampau dengan karang, yaitu mencapai lebih dari 90 sitasi selama 13 tahun (lihat *google scholar index*).

Kedua, rumus penghitungan kesalahan (*error propagation*) rekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut. Dengan mengetahui eror  $\delta^{18}\text{O}$  air laut maka akan memberikan pedoman untuk pemilihan lokasi pengambilan contoh karang untuk studi rekonstruksi presipitasi dan salinitas dari geokimia karang.

Ketiga, menghasilkan data rekaman iklim masa lampau baik dari karang hidup maupun mati (abad pertengahan dan *mid holosen*) dari wilayah Indonesia<sup>4,5,20,21</sup>. Berdasarkan hasil rekaman karang hidup diperoleh pengetahuan bahwa dampak ENSO dan IOD terhadap variabilitas suhu maupun salinitas di wilayah Indonesia menunjukkan perbedaan dari satu lokasi dengan lokasi lainnya<sup>9,20</sup>. Hasil temuan terbaru menunjukkan rekaman suhu oleh karang modern Enggano berkorelasi kuat dengan IOD. Sementara itu, korelasi dengan ENSO adalah asimetris di mana suhu menunjukkan korelasi sedang dengan *El Niño* dan korelasi lemah atau tidak signifikan dengan *La Niña*<sup>72</sup>. Hal ini menjadi

pedoman penting bagi penelitian iklim masa lampau di wilayah Indonesia.<sup>20</sup>

Berdasarkan hasil rekaman karang mati abad pertengahan dibandingkan karang modern menunjukkan kenaikan frekuensi kejadian fenomena iklim antar tahunan<sup>18,72</sup>. Selain itu, juga dihasilkan informasi bahwa pada abad pertengahan variabilitas iklim lebih rendah daripada masa sekarang<sup>4,18,72</sup> (Gambar 17).



## V. KONTRIBUSI PENELITIAN IKLIM MASA LALU DALAM MEMAHAMI PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA

Pemanasan global terus berlanjut, laporan khusus IPCC (2018) menunjukkan periode tahun 2015–2018 adalah tahun-tahun terpanas yang pernah tercatat sejak 1850 dengan suhu  $>1^{\circ}\text{C}$  (Gambar 18) di atas tingkat praindustri<sup>73</sup>. Pemahaman sejarah iklim merupakan alat yang diperlukan untuk memahami pemanasan global yang mengakibatkan perubahan iklim.

Perubahan iklim berupa perubahan pola curah hujan, suhu, dan lain-lain yang berdampak pada perubahan frekuensi fenomena iklim serta frekuensi siklon tropis yang memerlukan biaya ekonomi yang tinggi. Pengeluaran pemerintah untuk perubahan iklim pada kurun waktu 2016–2019 sekitar 300 triliun rupiah<sup>74</sup>.

Studi iklim masa lampau dengan karang dari Indonesia menyediakan informasi sejarah iklim Indonesia dari masa sekarang sampai ratusan ribu tahun lalu secara menerus dari skala musiman, tahunan, sampai dekadal-interdekadal.

Berdasarkan hasil studi rekaman karang<sup>20</sup>, ENSO dan IOD akan membawa pengaruh yang signifikan terhadap pemahaman perubahan iklim. Pengaruh fenomena ini bisa berbeda-beda terhadap masing-masing parameter iklim<sup>20</sup>. Dari rekaman karang mati dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan frekuensi kejadian IOD sebesar 44,2% pada masa sekarang dibandingkan masa lalu pada abad pertengahan<sup>20</sup>. Di sisi lain, variabilitas suhu musiman masa kini meningkat hampir 50% dibandingkan masa

abad pertengahan<sup>72</sup>. Pengetahuan ini bisa menjadikan kita untuk lebih siap dan antisipatif dalam menghadapi bencana iklim.

Hasil penelitian iklim masa lampau juga memberikan informasi tentang bagaimana konservasi lingkungan dalam hal ini lingkungan ekosistem terumbu karang<sup>61,75</sup>. Hasil rekaman iklim karang di beberapa wilayah Indonesia menunjukkan adanya pengaruh kenaikan suhu terhadap pertumbuhan tahunan karang yang signifikan<sup>61</sup>. Pengetahuan seperti ini dapat digunakan untuk lebih memahami respons karang terhadap perubahan suhu sehingga dapat membantu kegiatan *management* terumbu karang di Indonesia seperti kegiatan COREMAP.

Secara konseptual pemahaman yang kuat mengenai perubahan iklim memerlukan kerja sama penelitian antardisiplin ilmu terkait dengan iklim. Selain itu, penelitian ini juga perlu didukung oleh kegiatan *monitoring* parameter iklim yang terintegrasi di wilayah Indonesia.

## VI. KESIMPULAN

Studi iklim masa lampau berkontribusi pada pemahaman tentang bagaimana sistem iklim bervariasi secara alami dan juga bagaimana respons terhadap perubahan iklim tersebut di masa lampau melalui penyediaan data iklim masa lampau. Indonesia memiliki kekayaan melimpah dan letak geografisnya berpotensi tinggi untuk menjadi negara terdepan dalam dunia penelitian iklim.

Karang jenis *Porites* merupakan salah satu arsip alam yang banyak dijumpai di Indonesia dan mampu merekam data dan informasi iklim dengan resolusi data bulanan. Kombinasi karang hidup dan mati mampu menyediakan data iklim secara terus-menerus dari masa sekarang sampai ratusan ribu tahun lampau. Kandungan geokimia karang mampu merekam variabilitas suhu permukaan laut, presipitasi, dan salinitas permukaan laut. Hasil beberapa penelitian rekaman iklim pada karang *Porites* dari wilayah Indonesia menunjukkan adanya peningkatan variabilitas suhu dari abad pertengahan sampai masa sekarang dan kenaikan frekuensi terjadinya fenomena iklim global seperti ENSO/IOD.

Amplitudo dan variabilitas iklim yang teramati dari berbagai *proxy* dan arsip iklim pada suatu waktu dalam skala waktu yang panjang masih terdapat perbedaan. Sejauh mana perbedaan tersebut terkait juga dengan pilihan data *proxy* dan metode kalibrasi statistik. Hal ini memerlukan rekonsiliasi antara beberapa studi iklim masa lampau dari berbagai jenis arsip iklim ataupun jenis *proxy* yang berbeda-beda di wilayah Indonesia.

Demikian pula, pemahaman tentang bagaimana iklim ekstrem bervariasi di masa lalu masih belum begitu lengkap. Pemahaman ini akan meningkat dengan adanya kelengkapan

data *proxy* dari berbagai resolusi waktu dan ruang. Hal ini juga akan membantu mengukur bagaimana data *proxy* iklim mampu merespons pemanasan global yang begitu cepat terjadi selain juga akan meningkatkan kemampuan dalam mengetahui sejauh mana faktor perubahan lingkungan lainnya memengaruhi *proxy* dalam merekam parameter iklim.

## VII. PENUTUP

Pemahaman perubahan iklim memerlukan kekuatan kerja sama antara peneliti yang bekerja dan data iklim masa kini, masa lampau, dan *modelling* iklim. Hal ini tidak terlepas dengan perlu adanya program penelitian perubahan iklim yang kuat, jelas, dan terukur di Indonesia. Dukungan dan kerja sama antara institusi yang melakukan kegiatan litbangjirap dan institusi teknis diperlukan untuk membuat pemahaman perubahan iklim lebih tepat sasaran dalam usaha ketahanan bangsa menghadapi bencana iklim.

Hasil penelitian iklim masa lampau berupa data iklim masa lampau dapat digunakan oleh *climatologist*, *oceanographer* dan *modeller*, seperti yang ada di BMKG, BPPT, dan PT. Di mana salah satunya dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi model prediksi iklim dan juga ilmu pengetahuan, baik di bidang geologi, klimatologi, oseanografi dalam mekanisme, sejarah, maupun perubahan iklim. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan dalam pengelolaan terumbu karang, seperti COREMAP yang digunakan untuk memahami pengaruh perubahan iklim terhadap pertumbuhan karang.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## VIII. UCAPAN TERIMA KASIH

Sebelum saya mengakhiri orasi pengukuhan ini, saya menyampaikan puji syukur ke hadirat Allah Swt. yang telah memberikan kesempatan pada saya sehingga dapat berada di sini mencapai jenjang Profesor Riset.

Pertama, saya mengucapkan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia, Joko Widodo, atas penetapan saya menjadi Peneliti Utama; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Plh. Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Dr. Eng. Agus Haryono; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Bambang Subiyanto, M.Agr.; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Gadis Sri Haryani, yang telah memberikan kepercayaan dan kesempatan kepada saya untuk ditetapkan sebagai Profesor Riset.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Tim Penelaah, Dr. Muhamad Rahman Djuwansah, Prof. Dr. Zainal Arifin, dan Prof. Dr. Edvin Aldrian, serta panitia pelaksana Pengukuhan Profesor Riset atas jerih payah serta dukungannya dalam menyelenggarakan acara Pengukuhan Peneliti Utama LIPI sebagai Profesor Riset pada hari ini. Kepada Deputi Bidang Ilmu Pengetahuan Kebumian, dan Kapuslit Geoteknologi LIPI pada kesempatan ini saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih.

Secara khusus saya mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Wolf Christian Dullo dan Prof. Dr. Wahyu Supri Hantoro. Kepada teman-teman Kelompok Penelitian Iklim dan Lingkungan Purba dan Puslit Geoteknologi LIPI. Para guru dari mulai TK sampai SMA yang telah mendidik saya. Para pengajar di berbagai

perguruan tinggi yang pernah saya ikuti, baik pendidikan formal maupun nonformal. Kepada teman teman dan mentor lainnya, baik dari dalam maupun luar negeri yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Kepada semua pihak yang telah memberikan kepercayaan, baik dalam kesempatan, dana riset ataupun sumbang saran dalam pengembangan penelitian saya, saya mengucapkan terima kasih atas semua bantuan dan dukungannya atas penelitian saya selama ini.

Kepada bapak saya Koessantjojo Oemar almarhum dan Ibu saya Sri Marmini, salam hormat dan syukur yang tak terhingga yang selalu mendoakan saya sampai seperti sekarang ini. Kepada adik-adik, kakak dan ponakan-ponakan yang telah mendukung dan menyayangi saya selama ini.

Terakhir, saya ucapkan mohon maaf apabila ada kekurangan dan kekeliruan dalam penyajian materi ini. Semoga Allah Swt. senantiasa memberikan bimbingan, perlindungan, dan ampunan bagi kita semua. *Aamiin ya Robbal alaamiin.*

*Wabilahi taufik wal hidayah. Wassalamu alaikum warohmatullohi wabarakatuh.*

## DAFTAR PUSTAKA

1. Trenberth KE. The definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1997; 78(12): 2771–2777.
2. **Cahyarini SY**, Marfasran H. Coral based-ENSO/IOD related climate variability in Indonesia: a review Global Colloquium on GeoSciences and Engineering Conference, 18–19 Oktober 2017; Bandung. Indonesia; 2017. doi: 10.1088/1755-1315/118/1/012052
3. Saji NH, Goswami BN, Vinayachandran PN, Yamagata T. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature* 1999; 401: 360–363.
4. **Cahyarini SY**, Miriam P, Reuning L, Garbe-Schönberg D, Liebetrau V, Dullo C, Hantoro WS. The Indian Ocean Dipole during the Medieval Climate Anomaly: coral Sr/Ca records from an Indonesian *Porites* coral. *Proceedings the Conference of AGU Fall Meeting*, 11–14 Desember 2018 (a); Washington DC, USA; 2018.
5. **Cahyarini SY**, Miriam P, Reuning L, Garbe-Schönberg, D, Liebetrau V, Dullo Wolf Chr. Holocene coral Sr/Ca records from Panjang Island-Banten and Lampung bay-Sunda strait, Indonesia. *Proceedings 20th General Assembly Conference*, 4–13 April 2018 (b); Vienna. Austria; 2018.
6. Cai W, Zheng XT, Weller E, Collins M, Cowan T, Lengaigne M, Yu W, Yamagata T. Projected response of the Indian Ocean Dipole to greenhouse warming. *Nature Geoscience*. 2013; 6: 999–1007. doi: 10.1038/NGEO2009
7. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED. EM-DAT the International Disaster Database. 2009; <https://www.emdat.be/>
8. Aldrian E, Susanto RD. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*. 2003; 23(12): 1435–1452. doi: 10.1002/joc.950



9. **Cahyarini SY**, Aldrian E. The Indian Ocean role to the Indonesian regional climate: paleo-perspective. Proceeding of Indonesian Toray Science Foundation Seminar on Science and Technology, February 2008; Jakarta. Indonesia; 2008.
10. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Aldrian E. The connection of Indian Ocean to the Indonesia Regional Climate: Record from  $\delta^{18}\text{O}$  coral. Proceedings International Conference on Marine Ecosystem (ECOMAR), 26–29 Mei 2009(a): Langkawi, Malaysia; 2009.
11. Hendrizan M, Ningsih NS, **Cahyarini SY**, Mutiara MR, Setiadi B, Anwar IP, Utami DA, Agusta VC. Centennial-millennial climate variability in the Makassar Strait during early holocene until the end of the last deglaciation. *International Journals Ocean and Oceanography*. 2020; 14(2): 197–220.
12. Hendrizan M, **Cahyarini SY**, Ningsih NS, Rachmayani R. Indonesian throughflow intensity and sea surface temperature anomaly since the last deglaciation: an overview. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 18–20 November 2020; Jakarta, Indonesia; 2020. doi:10.1088/1755-1315/789/1/012053
13. Vogel H, Russell JM, **Cahyarini SY**, Bijaksana S, Wattrus N, Rethemeyer J, Melles M. Depositional modes and lake-level variability at Lake Towuti, Indonesia, during the past ~29 kyr BP. *Journal of Paleolimnology*. 2015; 54(4): 359–377.
14. Vogel H, Russell JM, **Cahyarini SY**, Bijaksana S. Climate induced metal enrichment in sediments of ferruginous Lake Towuti, Indonesia. Abstract Proceeding AGU Fall Meeting, 2014; San Fransisco, USA; 2014.
15. Russell J M, Vogel H, Konecky B, Bijaksana S, King JW, **Cahyarini SY**, Tamuntuan GH, Noren AJ, Wattrus NJ. Orbital-to millennial-scale abrupt hydrologic change in central Indonesia during the past 60,000 years. Abstract Proceeding AGU Fall Meeting, 2011; San Fransisco, USA; 2011.

16. Evans M, Nurhati IS, **Cahyarini SY**, Rossane D. Pilot study: stable isotopes in teak from marine-influenced equatorial Indonesia as local rainfall amount and remote ENSO indicators. Abstract Proceedings 20th General Assembly Conference, 4–13 April 2018 (c); Vienna, Austria; 2018.
17. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Timm O, Dullo W-Chr, Garbe-Schoenberg D. Reconstructing seawater  $\delta^{18}\text{O}$  from paired coral  $\delta^{18}\text{O}$  and Sr/Ca ratios: Methods, Error Analysis and Problems, with examples from Tahiti (French Polynesia) and Timor (Indonesia). *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2008; 72(12): 2841–2853. doi: 10.1016/j.gca.2008.04.005.
18. Abram NJ, Wright NM, Ellis B, Dixon BC, Wurtzel JB, England MH, Ummenhofer CC, Philibosian B, **Cahyarini SY**, Yu Tsai-Luen, Shen Chuan-Chou, Cheng Hai, Edwards RL, Heslop D. Coupling of Indo-Pacific climate variability over the last millennium. *Nature*. 2020; 579(779): 385–392. doi: 10.1038/s41586-020-2084-4.
19. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Dullo W-Chr. Calibration of the multicores Sr/Ca records-sea surface temperature: records from Tahiti Corals (French Polynesia). *International Journal of Earth Sciences*. 2009; 98: 31–40. doi: 10.1007/s00531-008-0323-2
20. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Nurhati IS, Aldrian E, Dullo W Chr, Hetzinger S. Twentieth century sea surface temperature and salinity variation at Timor inferred from paired coral  $\delta^{18}\text{O}$  and Sr/Ca measurements. *Journal of Geophysical Research Ocean*. 2014; 119(7): 4593–4604. doi:10.1002/2013JC009594.
21. **Cahyarini SY**, Zinke J, Troelstra S, Suharsono, Aldrian E, Hoeksema BW. Coral Sr/Ca-based sea surface temperature and air temperature variability from the inshore and offshore corals in the Seribu Islands, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 2016; 110(2): 694–700. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.04.052.

22. Huguen KA, Schrag DP, Jacobsen SB, Hantoro WS. El Niño during the last interglacial period recorded by a fossil coral from Indonesia. *Geophysical Research Letters*. 1999; 26(20): 3123–3129.
23. **Cahyarini SY**, Zinke J. Coastal City Air Temperature Variation Derived from Coral Sr/Ca Ratios: case study Jakarta, Indonesia. *Proceedings International Workshop on Integrated Coastal Zone Management*, 20–22 Oktober 2009; Izmir, Turki; 2009.
24. **Cahyarini SY**, Zinke J. Geochemical tracer in coral as a sea surface temperature proxy: records from Jukung coral. *ITB Journal*. 2010; 42(1) b: 65–72. doi: 10.5614/itbj.eng.sci.2010.42.1.5.
25. Ren L, Linsley BK, Wellington GM, Schrag DP, Hoegh-Guldberg O. Deconvolving the  $\delta^{18}\text{O}$  seawater component from subseasonal coral  $\delta^{18}\text{O}$  and Sr/Ca at Rarotonga in the southwestern subtropical Pacific for the period 1726 to 1997. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2003; 67(9): 1609–1621.
26. Felis T, Pädzol J. Climate reconstruction from banded coral (M Shiyomi dkk. Ed.). *Global Environmental Change from Ocean and Land*. 2004; 205–277.
27. **Cahyarini SY**. Annual growth band analysis of *Porites* corals from Seribu Islands corals, Indonesia and its correlation with Precipitation. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 2008 (a); 18(2): 51–59.
28. Lough JM. Coral calcification from skeletal records revisited. *Mar Ecol Prog Ser*. 2008; 373: 257–264. doi: 10.3354/meps07398
29. Purnamasari IA, **Cahyarini SY**, Putri M. Analisis pertumbuhan linier koral sebagai perekam perubahan kondisi lingkungan (studi kasus koral kep. Seribu). *Jurnal Ilmu Kelautan*. 2009; 1(234): 142–150.
30. **Cahyarini SY**, Suharsono. Variasi tahunan kecepatan kalsifikasi karang *Porites* berdasarkan analisis Computed-Tomography Scan (CT-Scan) dan kaitannya terhadap suhu permukaan laut: wilayah studi perairan Biak, Papua. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 2014; 24(2): 145–158. doi: 10.14203/riset-geotam2014.v24.135

31. Mediana, **Cahyarini SY**, Putri M. Variasi Transpor Arlindo dan Parameter Oseanografi di Laut Timor Sebagai Indikasi Kejadian Enso. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 2012; 4(2): 369–377.
32. **Cahyarini SY**. Paired  $\delta^{18}\text{O}$  and Sr/Ca records of *Porites* corals from Tahiti (French Polynesia) and Timor (Indonesia). Dissertation der Mathematisch Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität, 2006 (a); Kiel, Germany; 2006.
33. Sprintall J, Gordon AL, Wijffels SE, Feng M, Hu S, Koch-Larrouy A, Phillips H, Nugroho D, Napitu A, Pujiana K, Susanto RD, Sloyan B, Peña-Molino B, Yuan D, Riama NF, Siswanto S, Kuswardani A, Arifin Z, Wahyudi AJ, Zhou H, Nagai T, Ansong JK, Bourdalle-Badié R, Chanut J, Lyard F, Arbic BK, Ramdhani A, Setiawan A. Detecting Change in the Indonesian Seas. *Frontiers in Marine Science*. 2019; 6(257):1–24. doi: 10.3389/fmars.2019.00257
34. Doi T, Behera SK, Yamagata T. Predictability of the super IOD event in 2019 and its link with El Niño Modoki. *Geophysical Research Letters*. 2020; 47(7): e2019GL086713. doi: 10.1029/2019GL086713
35. Lu, Bo, Ren, Hong-Li. What caused the extreme Indian Ocean dipole event in 2019. *Geophysical Research Letters*. 2020; 47(11): e2020GL087768. doi: 10.1029/2020GL087768
36. Patz JA, Graczyk TK, Geller N, Vittor AY. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *International Journal of Parasitology*. 2000; 30 (12–13): 1395–1405. doi: 10.1016/S0020-7519(00)00141-7
37. Bouma M, van der Kaay H. The El Niño Southern Oscillation and the historic malaria epidemics on the Indian subcontinent and Sri Lanka: an early warning system for future epidemics. *Tropical Medicine and International Health*. 1996, 1(1): 86–96.
38. **Cahyarini SY**. Karang sebagai arsip perubahan iklim. Pendidikan dan Pelatihan Geologi Pusdiklat Geologi ESDM. 2008 (b); 4(1).

39. Felis T, Merkel U, Asami R, Deschamps P, Hathorne EC, Kölling M, Bard E, Cabioch G, Durand N, Prange M, Schulz M, **Cahyarini SY**, Pfeiffer M. Pronounced interannual variability in tropical South Pacific temperatures during Heinrich stadial. *Nature Communications*. 2012; 3(965): 1–7. doi: 10.1038/ncomms1973
40. **Cahyarini SY**, Dullo, Wolf-Chr. Correlation between coral Sr/Ca ratios and Sea surface temperature: coral proxy records from Timor and Tahiti. *Jurnal Teknologi Mineral-ITB*. 2007; 14(1).
41. **Cahyarini SY**. Tren kenaikan suhu permukaan laut pada abat ke 14 berdasarkan data geokimia Sr/Ca dari fosil koral Mentawai. *Jurnal Geologi Indonesia*. 2010 (a); 5(2): 113–118.
42. **Cahyarini SY**. Rekonstruksi suhu permukaan laut periode 1993-2007 berdasarkan analisis kandungan Sr/Ca koral dari wilayah Labuan Bajo, Pulau Simelue. *Jurnal Geologi Indonesia*. 2011; 6(3): 129–134.
43. Marshall JF, McCulloch MT. An assessment of the Sr/Ca ratio in shallow water hermatypic corals as a proxy for sea surface temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2002; 66: 3263–3280.
44. **Cahyarini SY**, M. Pfeiffer, W Chr Dullo. Using the corals to reconstruct climate variability:  $\delta^{18}\text{O}$  records from Tahiti coral. *Proceeding ISSM Annual Conference*, 2003; Delf, Netherland; 2003.
45. McConnaughey T.  $^{13}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}$  isotopic disequilibrium in biological carbonates: II In Vitro simulation of kinetic isotop effect, *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2008; 53: 163–171.
46. Linsley BK, Messier RG, Dunbar RB. Assessing between colony oxygen isotop variability in the coral *Porites* Lobata at Clipperton Atoll Coral Reefs. 1999; 18: 13–27.
47. Gagan MK, Ayliffe LK, Hopley D, Cali JA, Mortimer GE, Chapel J, McCulloch MT, Head MJ. Temperature and surface ocean water balance of mid-holocene tropical western pacific. *Science*. 1998; 279: 1014–1018.

48. **Cahyarini SY.** Reconstruction of seawater  $\delta^{18}\text{O}$  signal from coral  $\delta^{18}\text{O}$ : records from Bali coral, Indonesia. *Bulletin of The Marine Geology*. 2010; 25(1): 1–52.
49. Hernawan I, **Cahyarini SY**, Putri M. Rekonstruksi variasi bulanan salinitas di jalur Arus Lintas Indonesia selama 200 tahun: rekaman salinitas dari  $\delta^{18}\text{O}$  karang Bunaken dan Bali. *Jurnal Sumber Daya Geologi*. 2012; 22(3): 145–153.
50. **Cahyarini SY.** Variasi suhu muka laut regional berdasarkan kandungan  $\delta^{18}\text{O}$  koral dari wilayah Indonesia. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan 2006 (b)*; 16 (1): 44–51.
51. **Cahyarini SY**, Suwargadi B, Prayudi D, Hantoro WS. Field correlation between precipitation-El Niño related variation and coral  $\delta^{18}\text{O}$ . *Bulletin of the Marine Geological Institute of Indonesia 2007*; 22(1): 28–34.
52. **Cahyarini SY**, Hantoro WS, Suwargadi BW, Prayudi D. Oxygen isotop variability in Coral from Maudulung, Sumba Indonesia. *Bulletin of Marine Geology 2003*; 18(2): 44–49.
53. Utami DA, **Cahyarini SY.** Diagenetic screening in Porites fossil corals from South Pagai, Kendari, and Banten Bay, Indonesia. *Journal of Engineering and Technological Sciences*. 2017; 49(1): 1–15. doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.1.1.
54. **Cahyarini SY.** Ketelitian pada penanggalan dalam studi iklim masa lampau dengan menggunakan contoh koral modern. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 2015; 25(2): 123–127. doi: 10.14203/risetgeotam2015.v25.168.
55. Abram NJ, Gagan MK, Liu Z, Hantoro WS, McCulloch MT, Suwargadi BW. Seasonal characteristics of the Indian Ocean Dipole during the holocene epoch. *Nature*. 2007; 445: 299–302. doi:10.1038/nature05477.
56. Juillet-Leclerc A, Schmidt G. A calibration of the oxygen isotop paleothermometer of coral aragonite from Porites. *Geophysical Research Letters*. 2001; 28(21): 4135–4138.

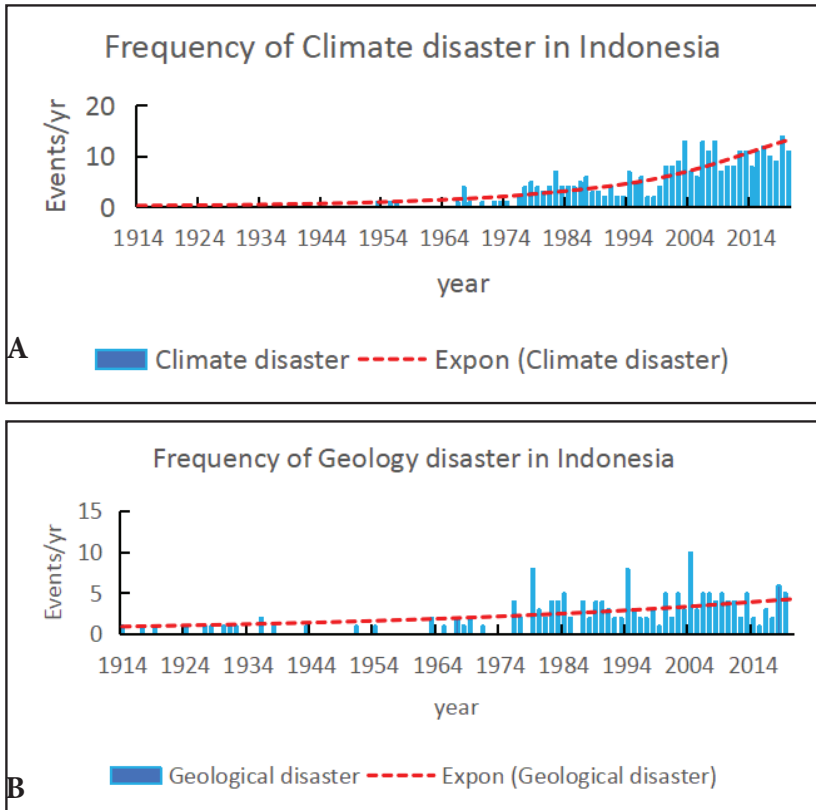
57. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Dullo W-Chr, Zinke J, Hetzinger S, Kasper S, Garbe-Schoenberg D. Comment on 'A snapshot of climate variability at Tahiti at 9.5 ka using a 2 fossil coral from IODP Expedition 310,' by Delong KL, Quinn TM, Chuan-Chou Shen, Ke Lin. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 2011; 12(3): Q03012. doi: 10.1029/2010GC003377.
58. Schmidt GA. Error analysis of paleosalinity calculations. *Paleoceanography*. 1999; 14(3): 422–429.
59. Huppert A, Solow AR. Comment on “deconvolving the  $\delta^{18}\text{O}$  seawater component from subseasonal coral  $\delta^{18}\text{O}$  and Sr/Ca at Rarotonga in the southwestern subtropical Pacific for the period 1726 to 1997 by Ren L, Linsley BK, Wellington GM, Schrag DP, Hoegh-Guldberg O (2003)”. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004; 68: 3137–3138. doi: 10.1016/j.gca.2003.12.020.
60. **Cahyarini SY**. Akurasi rekonstruksi suhu permukaan laut dan  $\delta^{18}\text{O}$  air laut (salinitas) untuk interpretasi iklim masa lampau dari karang mati (fosil). *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 2013; 23(2): 89–97. ISSN 0125-9849; e-ISSN 2354-6638
61. Suharsono, **Cahyarini SY**. Reduced trends of annual growth of Indonesian *Porites* over 20 years. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium*, 9–13 July 2012; Cairns, Australia; 2012.
62. Lough JM, Barnes DJ, McAllister FA. Luminescent lines in coral from the Great Barrier Reef provide spatial and temporal records of reefs affected by land runoff. *Coral Reefs*. 2002; 21: 333–343.
63. Gornitz, Vivien (ed.). *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. Springer Nature. 414–426.
64. Hall R. Southeast Asia's changing palaeogeography. *Blumea*. 2009, 54: 148–161. doi: 10.3767/000651909X475941
65. Abram JA, MK Gagan, JE Cole, WS Hantoro, M Mudelsee. Recent intensification of tropical climate variability in the Indian Ocean. *Nature Geoscience*. 2008; 1: 849–853. doi:10.1038/geo357

66. **Cahyarini SY**, Suharsono. The Influence of ENSO/IOD on SST Signal in Kendari, Southeast Sulawesi Waters: 27-year-records of Sr/Ca from Porites corals. *Indonesian Journal on Geoscience*. 2015; 2(1): 43–51. doi:10.17014/ijog.2.1.43-51
67. **Cahyarini SY**. Seasonal variation of  $d^{13}C$  content in Porites coral from Simelue Island waters for the period of 1993-2007. *Indonesian Journal of Geoscience*. 2014; 1(2): 65–70.
68. Corvianawatie C, **Cahyarini SY**, Putri M. The effect of changes in sea surface temperature on linear growth of Porites Coral in Ambon Bay. AIP Conference Proceeding The 5th International Conference on Mathematics and Natural Sciences, 2015. doi:10.1063/1.4930688.
69. Snyder CW. The value of paleoclimate research in our changing climate: an editorial comment. *Climatic Change*. 2010, 100(3): 407–418. doi: 10.1007/s10584-010-9842-5
70. **Cahyarini SY**, Suwargadi B, Prayudi D, Hantoro WS, Kalibrasi kandungan  $\delta^{18}O$  dalam koral dengan suhu muka laut: contoh koral dari Sumba dan Timor. Prosiding Seminar Geoteknologi Peluang dan Peran Ilmu Kebumihan dalam Pembangunan Berkelanjutan, Desember 2006; Bandung, Indonesia; 2006.
71. Agusta VC, Hendrizan M, **Cahyarini SY**, Utami DA, Nurhidayati AU. Pliocene climate in Indonesia: a review. International Conference on the Ocean and Earth Sciences, 18–20 November 2020; Jakarta Selatan, Indonesia; 2020. doi:10.1088/1755-1315/789/1/012054
72. **Cahyarini SY**, Pfeiffer MP, Reuning L, Volker L, Anwar IP, Dullo, Wolf-Chr, Garbe-Schoenberg D, Hendrizan M, Utami DA, Eisenhauer. Modern and sub-fossil corals suggest reduced temperature variability in the eastern pole of the Indian Ocean Dipole during the medieval climate anomaly. *Scientific Reports*. 2021; 11(14952): 1–7.



73. IPCC. 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. [Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner HO, Roberts D, Skea J, Shukla PR, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, Connors S, Matthews JBR, Chen Y, Zhou X, Gomis MI, Lonnoy E, Maycock T, Tignor M, Waterfield T (eds.)]; (2018). In Press.
74. Kementerian Keuangan Republik Indonesia. Indonesia Country Program for The Green Climate Fund: version 1.0. hlm.14. Diakses pada Juni 2021 [https://fiskal.kemenkeu.go.id/nda\\_gcf/media/files/publications/x3qj-web-low-res-country-programme-document-version-10.pdf](https://fiskal.kemenkeu.go.id/nda_gcf/media/files/publications/x3qj-web-low-res-country-programme-document-version-10.pdf)
75. Utami DA, Reuning L, Hallenberger M, **Cahyarini SY**. The mineralogic and isotopic fingerprint of equatorial carbonates: Kepulauan Seribu, Indonesia. *International Journal of Earth Sciences*. 2021; 110: 513–534. doi: 10.1007/s00531-020-01968-9.

## LAMPIRAN



Sumber: EM-DAT (2009)<sup>7</sup>

**Gambar 1.** (A) Frekuensi terjadinya bencana iklim (banjir, kekeringan, badai) dan (B) bencana geologi (gempa bumi, tsunami, gunung api) per tahun dengan dalam kurun waktu 1914–2020.

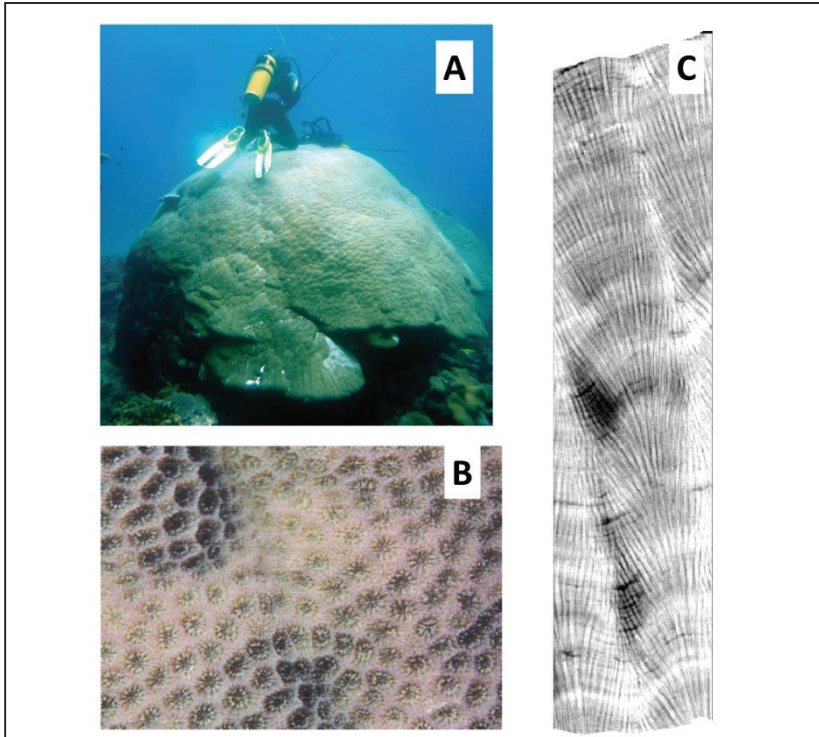
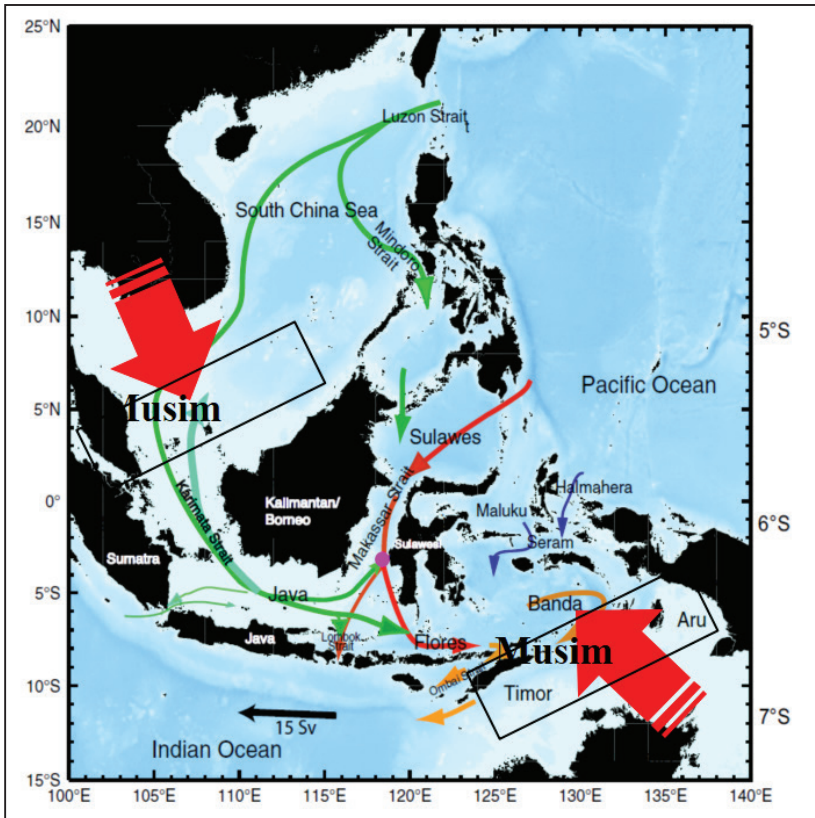


Foto: Sri Yudawati Cahyarini (Foto A tahun 2014, Foto B,C tahun 2006)

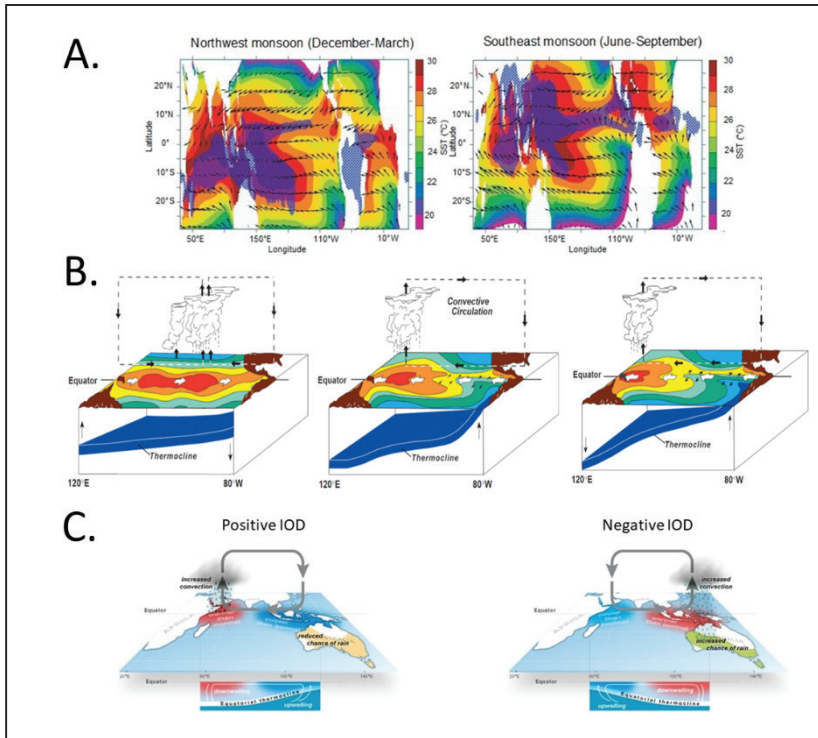
**Gambar 2.** (A) Koloni karang Porites. (B) Penampakan polyp karang Porites (C) Karang Porites di bawah sinar X-ray (rontgen) yang memperlihatkan perlapisan pertumbuhannya tahunan. Warna gelap terang menunjukkan tinggi rendah densitas mewakili satu tahun pertumbuhan karang Porites.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: modifikasi dari Sprintall dkk. (2019)<sup>33</sup>

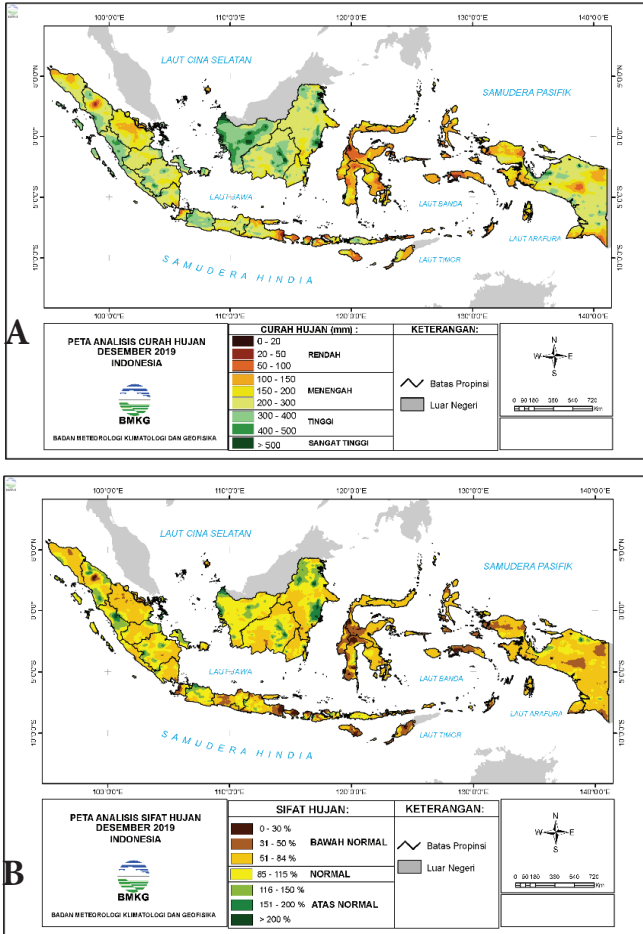
**Gambar 3.** Peta Indonesia dengan arus lintas Indonesia (arlingdo), tanda panah menunjukkan Arlingdo, tanda panah kotak merah menunjukkan arah angin musim, dan Samudra Hindia (Indian Ocean) dimana fenomena IOD terjadi, sedangkan Samudra Pasifik dimana fenomena ENSO terjadi. Dari peta ini dapat dipahami bahwa iklim di wilayah Indonesia dipengaruhi oleh ENSO/IOD, angin musim, dan arlingdo.



Sumber: modifikasi dari Cahyarini (2006a)<sup>32</sup>; PMEL/NOAA/TAO; Australian Bureau of Meteorology

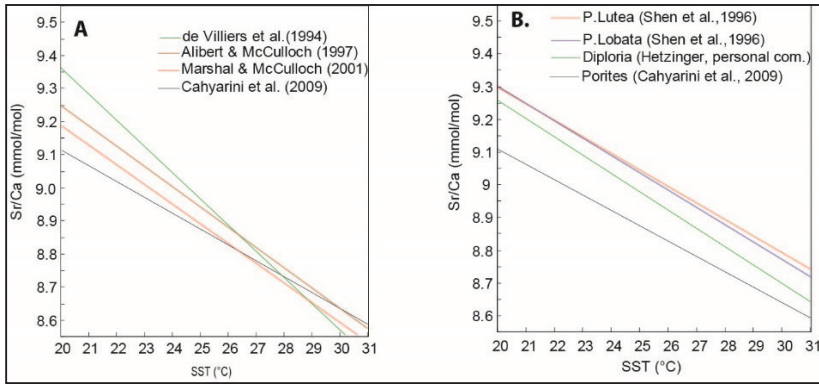
**Gambar 4.** Model suhu permukaan laut, angin, area udara naik, dan kedalaman termoklin: (A) Peta suhu permukaan laut rata-rata bulan dan presipitasi di atas 6,5 mm/day (arsir biru); (B) Suhu permukaan laut di Samudra Pasifik selama kondisi (dari kiri ke kanan): *El Niño*, Normal, dan *La Niña*; dan (C) di Samudra Hindia selama IOD positif dan negatif.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



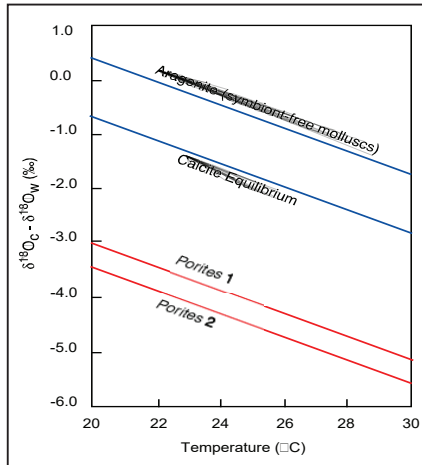
Sumber: BMKG. Prakiraan Curah Hujan Dasarian I DESEMBER 2019, terakhir update 28 November 2019, diakses 1 Juli 2021. [https://cdn.bmkg.go.id/web/20191128\\_DES\\_I\\_2019.pdf](https://cdn.bmkg.go.id/web/20191128_DES_I_2019.pdf)

**Gambar 5.** Peta (A) curah hujan dan (B) sifat hujan di bulan Desember 2019. Pada bulan Desember, biasanya merupakan musim hujan namun curah hujan rata-rata di wilayah Indonesia rendah di bawah normal.



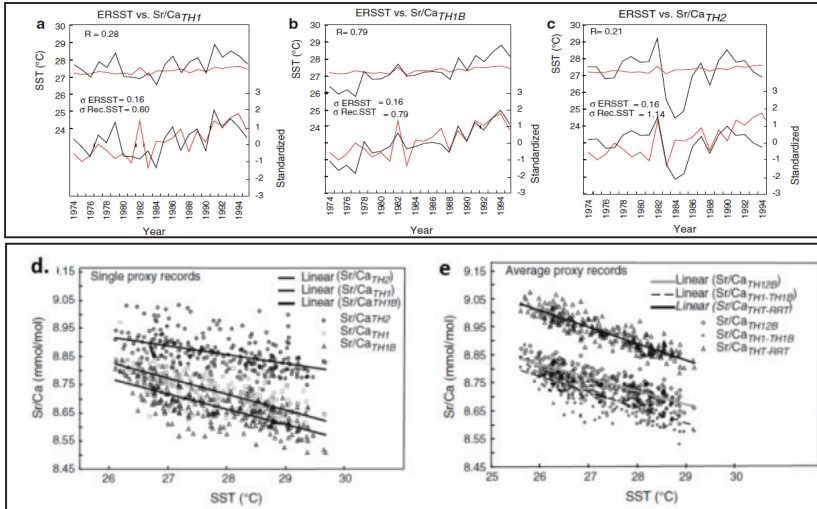
Sumber: modifikasi dari Cahyarini dkk. (2009)<sup>19</sup> dan Cahyarini (2006a)<sup>32</sup>

**Gambar 6.** Kalibrasi antara suhu permukaan laut dan kandungan Sr/Ca karang dari spesies yang sama, yaitu (A) *Porites* sp. dan (B) dari spesies yang berbeda-beda. Slope regresi antara -0,04 sampai -0,08 mmol/mol/°C.



Sumber: modifikasi dari Cahyarini dkk. (2009)<sup>19</sup> dan Cahyarini (2006a)<sup>32</sup>

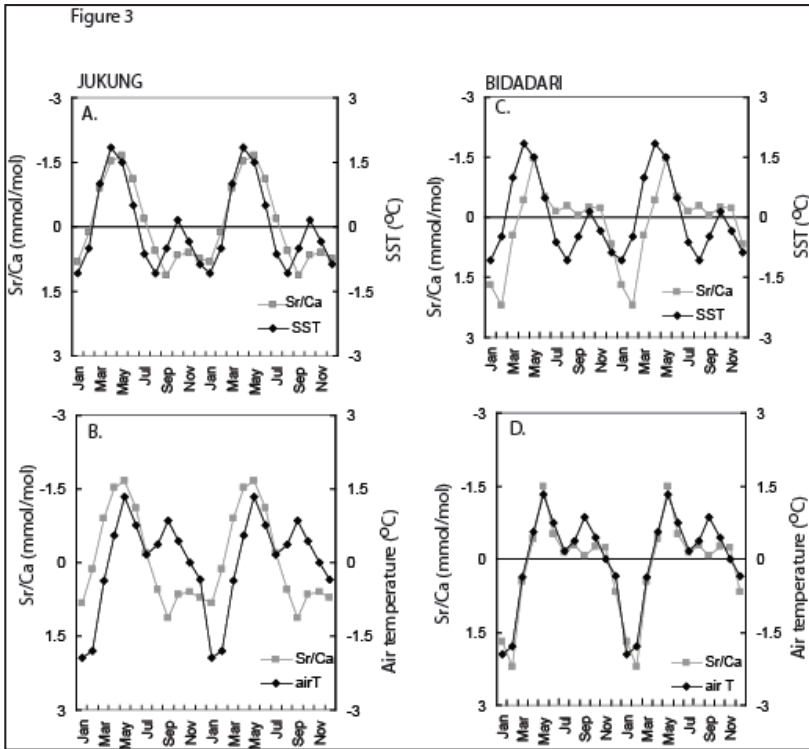
**Gambar 7.** Grafik perubahan kandungan  $\delta^{18}\text{O}$  dalam karang terhadap suhu permukaan laut.



Sumber: *Figure 4 dan 6* dari Cahyarini dkk. (2009)<sup>19</sup>

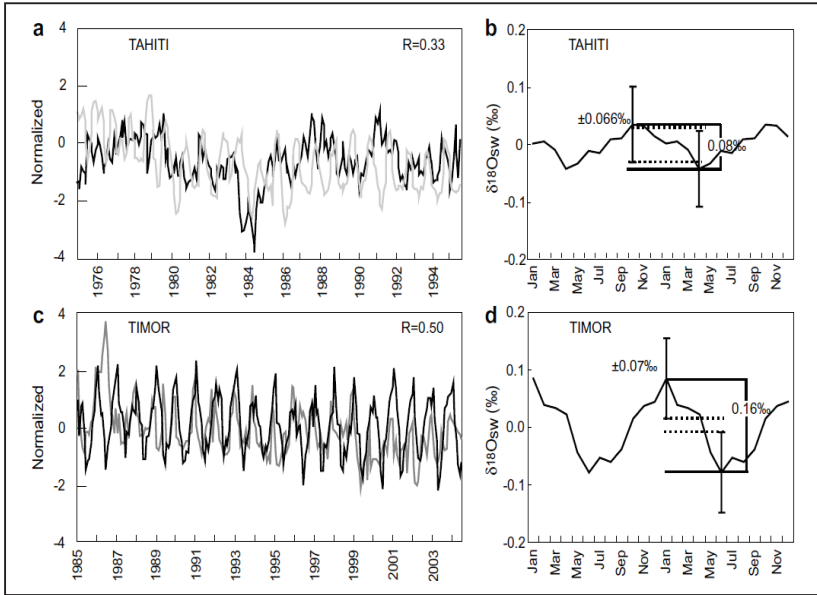
**Gambar 8.** Suhu dari model reanalisis (garis merah) dan suhu hasil rekonstruksi dari Sr/Ca karang (garis hitam) dalam rata-rata tahun: (A) TH1 dan (C) TH2 adalah contoh karang dengan pengambilan *coring* vertikal, (B) adalah contoh karang dengan pengambilan horizontal (TH1B), satu koloni dengan TH1. Koefisien korelasi paling tinggi ( $R = 0,79$ ) didapatkan dari hasil kalibrasi *coring* vertikal TH1B. (D) kalibrasi *proxy* dari satu contoh karang, (E) kalibrasi rata-rata *proxy* dari beberapa contoh karang.





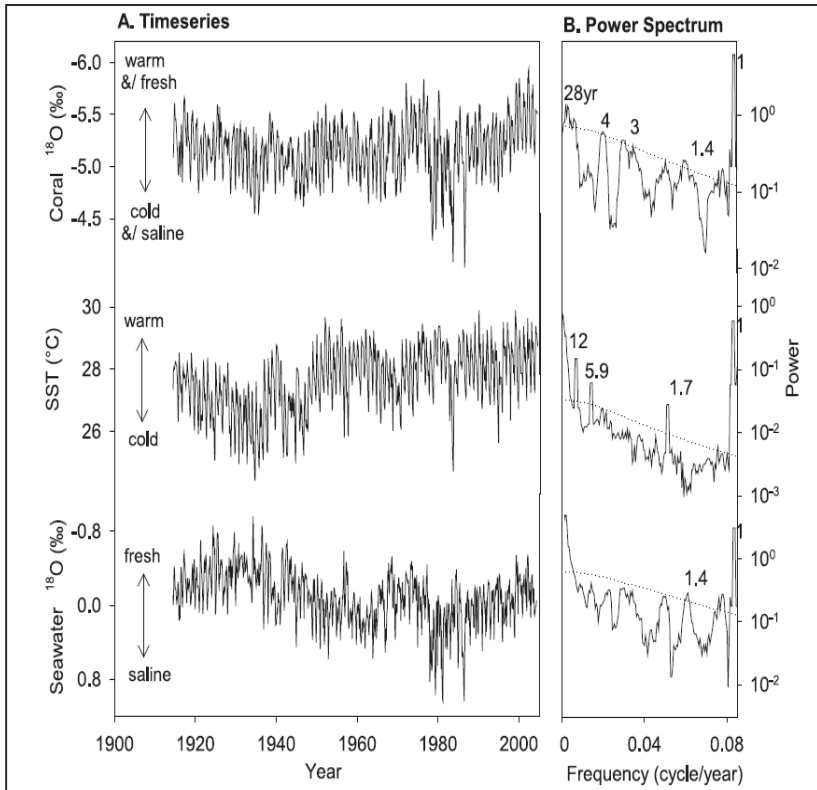
Sumber: *Figure 3* dari Cahyarini dkk. (2016)<sup>21</sup>

**Gambar 9.** Perbandingan variasi rata-rata bulanan dari kandungan Sr/Ca karang, suhu permukaan laut (A, C) dan suhu udara (B, D). Karang lepas Pantai Jukung (kiri) dan karang dekat Pantai Bidadari (kanan). Data merupakan normalisasi terhadap variannya.



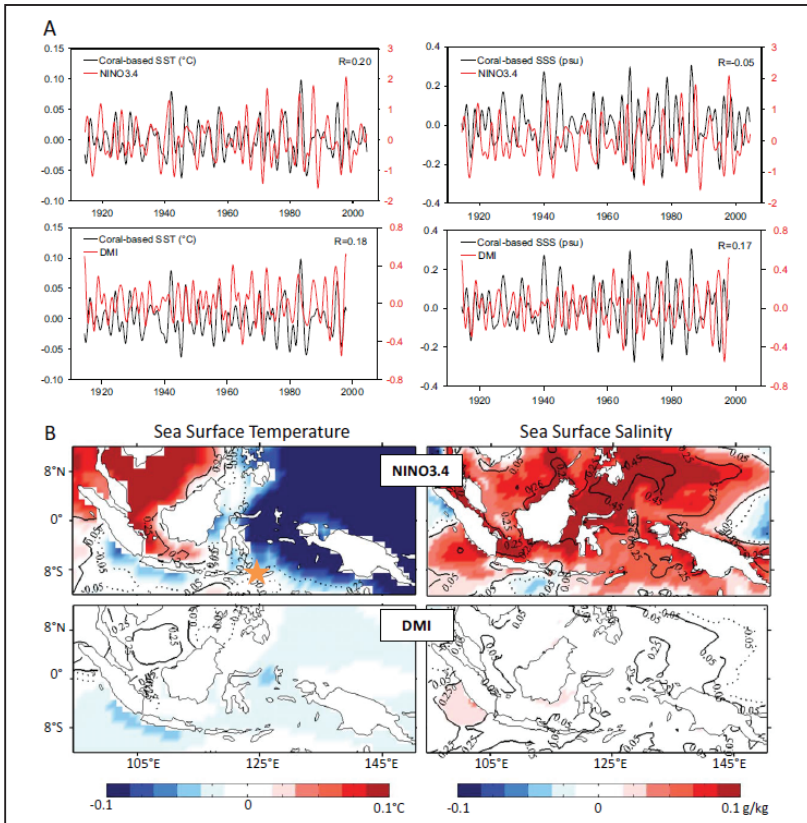
Sumber: *Figure 7* dari Cahyarini dkk. (2008)<sup>17</sup>

**Gambar 10.** (a) Variasi bulanan  $\delta^{18}\text{O}$  air laut ( $\delta^{18}\text{Osw}$ ) hasil rekonstruksi (garis abu-abu) dan variasi salinitas dari data model (garis hitam) di Tahiti. Rekonstruksi  $\delta^{18}\text{O}$  air laut dihitung menggunakan metode centering. (b) Rata-rata bulanan  $\delta^{18}\text{Osw}$  hasil estimasi dari data salinitas model. Kesalahan  $\delta^{18}\text{Osw}$  hasil rekonstruksi  $\sigma = \pm 0,066\%$ . Perhatikan bahwa kesalahan  $\delta^{18}\text{Osw}$  hasil rekonstruksi  $\sigma = \pm 0,066\%$  hampir sama besar dengan amplitudo rata-rata musiman  $\delta^{18}\text{Osw}$  di studi area ( $\sigma = 0,08\%$ ). (c) Variasi bulanan  $\delta^{18}\text{Osw}$  hasil rekonstruksi (garis abu-abu) dan SSS SODA (garis hitam) di Timor. (d) Kesalahan  $\delta^{18}\text{Osw}$  hasil rekonstruksi  $\sigma = \pm 0,07\%$ . Kesalahan  $\delta^{18}\text{Osw}$  hasil rekonstruksi  $\sigma = \pm 0,07\%$  jauh lebih kecil daripada amplitudo rata-rata musiman  $\delta^{18}\text{O}$  air laut ( $0,16\%$ ).



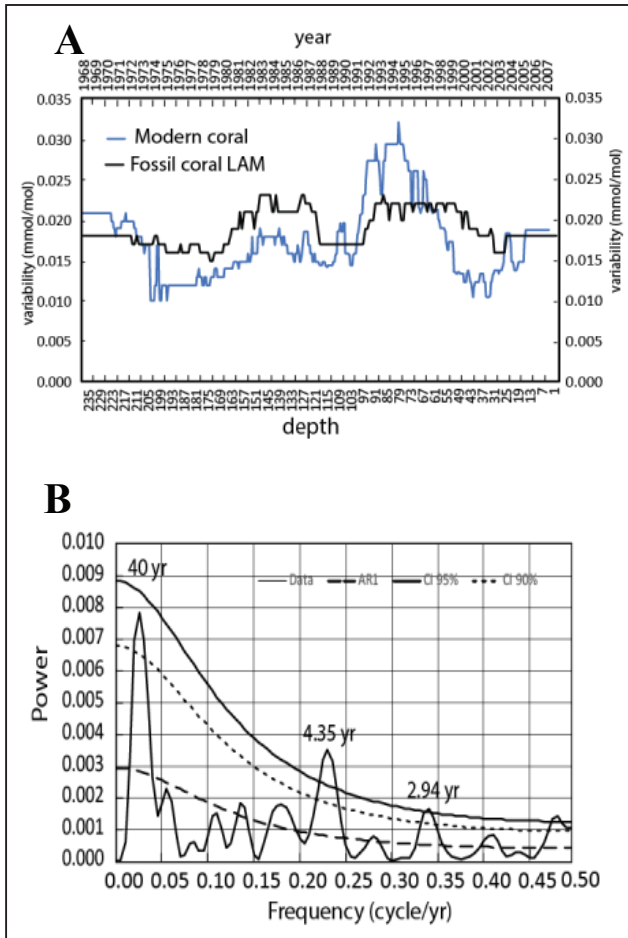
Sumber: *Figure 3* dan Kupang-Timor (Cahyarini dkk., 2014)<sup>20</sup>

**Gambar 11.** Rekaman proksi dari karang Teluk Kupang, Timor: (A) Variasi bulanan kandungan  $\delta^{18}\text{O}$  dan SPL hasil rekonstruksi dari Sr/Ca karang,  $\delta^{18}\text{O}$  air laut hasil rekonstruksi dan (B) hasil analisis power spektrum.



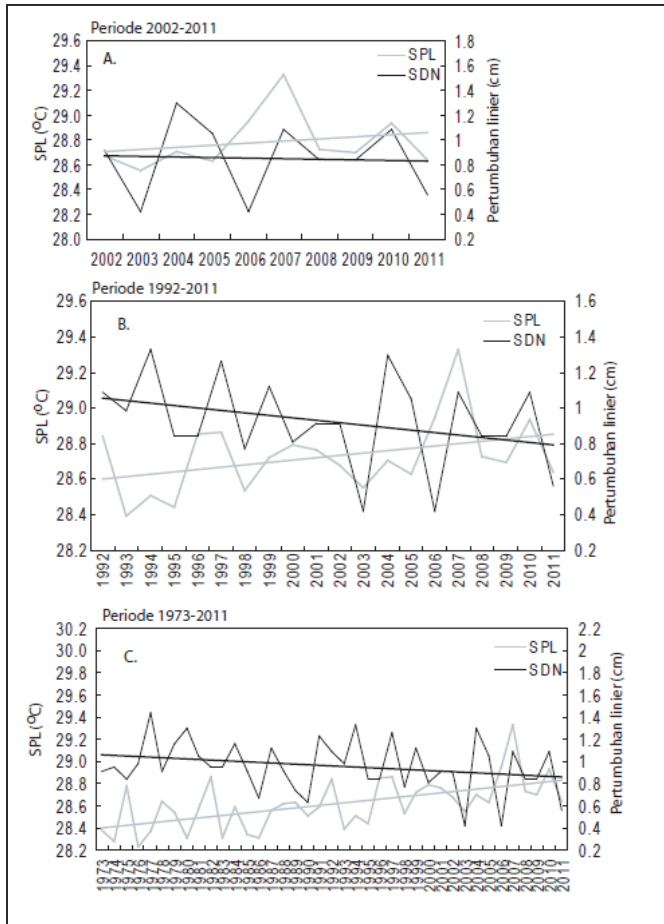
Sumber: *Figure 5* dari Cahyarini dkk., 2014<sup>20</sup>; ERSST (Evans dkk., 2018)<sup>16</sup>

**Gambar 12.** (A) Korelasi temporal suhu permukaan laut dan salinitas hasil rekonstruksi dengan Nino 3.4 dan DMI. (B) Korelasi spasial suhu permukaan laut dan salinitas hasil rekonstruksi dengan Nino 3.4 indeks dan DMI.



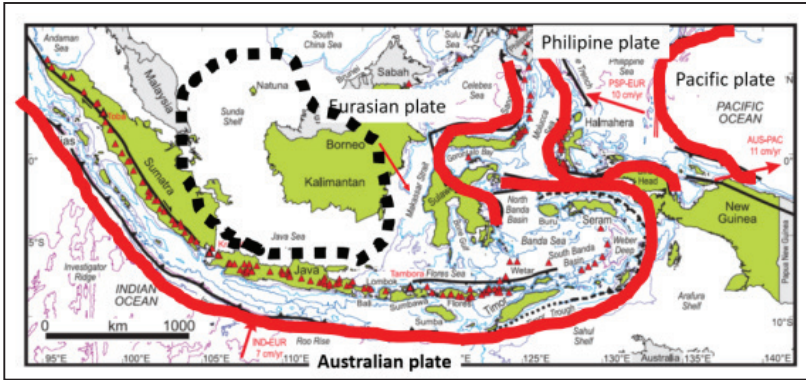
Sumber: LAM (Cahyarini dkk., 2018a<sup>4</sup>; Cahyarini dkk., 2018b<sup>5</sup>; Jukung-Kep Seribu (Cahyarini dkk., 2016)<sup>21</sup>

**Gambar 13.** (A) Variabilitas suhu permukaan laut yang terekam pada kandungan Sr/Ca karang mati (LAM-hasil penanggalan U/Th adalah dari periode Medieval) dan karang hidup (*modern coral*) dari contoh sampel Jukung-Kep. Seribu. (B) Hasil analisis power spektrum dari kandungan karang mati LAM, menunjukkan signifikan power spektrum pada frekuensi interannual.



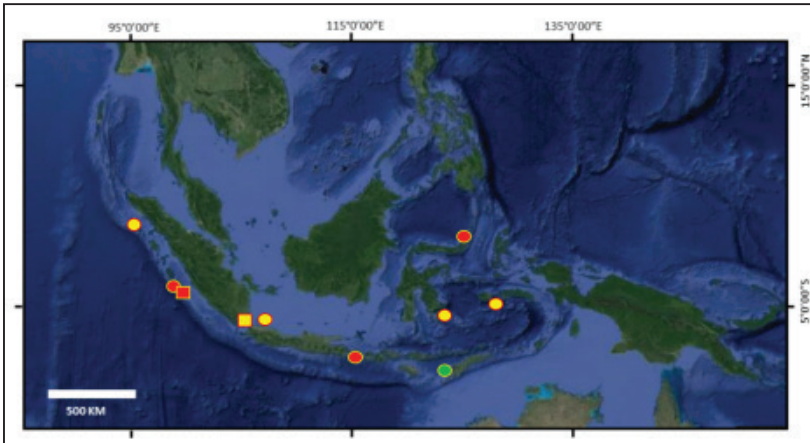
Sumber: Natuna (Cahyarini dan Suharsono, 2014<sup>30</sup>, Suharsono dan Cahyarini, 2012)<sup>61</sup>

**Gambar 14.** Variasi rata-rata tahunan suhu permukaan laut koordinat Natuna (Ranai) 3.85N, 108.38E (garis abu-abu) dan pertumbuhan linier tahunan koral *Porites* dari P. Sedanau Natuna pada periode (A) 2002–2011, (B) 1992–2011, (C) 1973–2011. Garis tebal menunjukkan tren.



Sumber: *Figure 1* dari Hall, 2009<sup>64</sup>

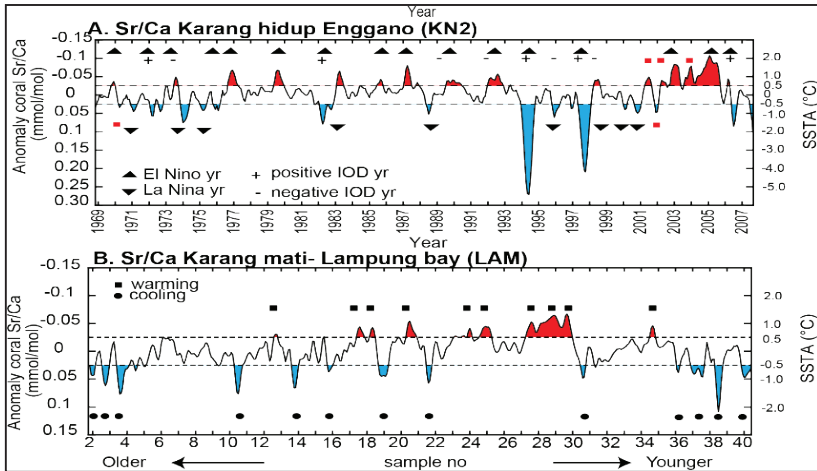
**Gambar 15.** Peta Indonesia yang menunjukkan Indonesia terletak di antara dua Samudra Pasifik dan India merupakan wilayah pertemuan pergerakan lempeng tektonik (arah panah), deretan gunung api (*the ring of fire*) (garis tebal merah). Tanda garis hitam putus-putus merupakan wilayah dengan tektonik yang relatif stabil.



Sumber: peta dasar dari google map dengan modifikasi

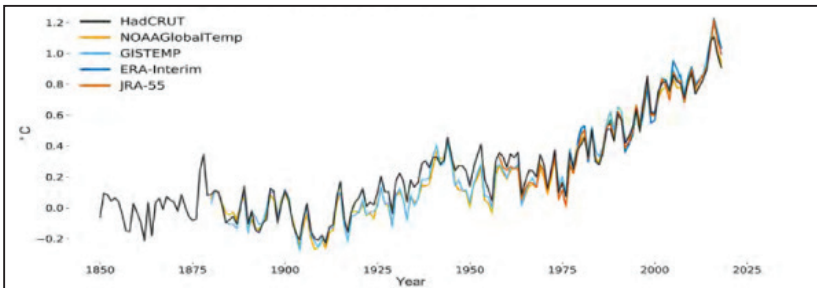
**Gambar 16.** Lokasi ketersediaan data proksi karang yang di wilayah Indonesia. Data  $\delta^{18}\text{O}$  (merah), Sr/Ca (kuning), pasangan  $\delta^{18}\text{O}$  & Sr/Ca (hijau). Karang hidup (tanda lingkaran), karang mati (tanda kotak).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: *Figure 4* (Cahyarini dkk., 2021)<sup>72</sup>

**Gambar 17.** Data anomali kandungan Sr/Ca: (A) karang hidup dan (B) karang mati pada abad pertengahan (1100–1140)<sup>4,5,72</sup> yang merekam anomali suhu kejadian fenomena iklim antar-tahunan pada karang hidup lebih sering dibandingkan pada karang mati.



Sumber: IPCC (2018)<sup>73</sup>

**Gambar 18.** Suhu rata-rata global dari berbagai dataset.



## DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

### Jurnal

#### International/Global -Bahasa Inggris

1. **Cahyarini SY**, Pfeiffer MP, Reuning L, Volker L, Anwar, IP, Dullo Wolf-Chr, Garbe-Schoenberg D, Hendrizon M, Utami DA, Eisenhauer. Modern and sub-fossil corals suggest reduced temperature variability in the eastern pole of the Indian Ocean Dipole during the medieval climate anomaly. *Scientific Reports*. 2021; 11(14952). doi: 10.1038/s41598-021-94465-1
2. Utami DA, Reuning L, Hallenberger M, **Cahyarini SY**. The mineralogic and isotopic fingerprint of equatorial carbonates: Kepulauan Seribu, Indonesia. *International Journal of Earth Sciences*. 2021; 110: 513–534. doi: 10.1007/s00531-020-01968-9.
3. Abram NJ, Wright NM, Ellis B, Dixon BC, Wurtzel JB, England MH, Ummenhofer CC, Philibosian B, **Cahyarini SY**, Yu Tsai-Luen, Shen Chuan-Chou, Cheng Hai, Edwards RL, Heslop D. Coupling of Indo-Pacific climate variability over the last millennium. *Nature*. 2020; 579(779): 385–392. doi: 10.1038/s41586-020-2084-4.
4. Elliot M, **Cahyarini SY**, Abram N, Felis T, McGregor H. Is the El Niño-Southern oscillation changing lessons from the past. *Past Global Changes Magazine*. 2020; 28(1): 28.
5. Hendrizon M, Ningsih NS, **Cahyarini SY**, Mutiara MR, Setiadi B, Anwar IP, Utami DA, Agusta VC. Centennial-millennial climate variability in the Makassar Strait during early holocene until the end of the last deglaciation. *International Journals Ocean and Oceanography*. 2020; 14: 197–220.
6. Husson L, Boucher FC, Sarr Anta-C, Sepulchre P, **Cahyarini SY**. Evidence of Sundaland's subsidence requires revisiting its biogeography. *Journal of Biogeography*. 2019; 47(4): 843–853. doi: 10.1111/jbi.13762.

7. Pastier AM, Husson L, Pedoja K, Bézosa A, Authemayou C, Arias-Ruiz C, **Cahyarini SY**. Genesis and architecture of sequences of quaternary coral reef terraces: Insights from numerical models. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2019; 20(8): 4248–4272. doi: 10.1029/2019GC008239
8. Husson L, Pastier AM, Pedoja K, Elliot M, Paillard D, Authemayou C, Sarr AC, Schmitt A, **Cahyarini SY**. Reef carbonate productivity during quaternary sea level oscillations. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2018; 19(4): 1148–64. doi: 10.1002/2017GC007335.
9. Camilo AR, Elliot M, Bézosa A, Pedoja K, Husson L, **Cahyarini SY**, Carioua E, Micheld E, Laa C, Manssourid F. Geochemical fingerprints of climate variation and the extreme La Niña 2010–11 as recorded in a *Tridacna squamosa* shell from Sulawesi, Indonesia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2017; 487: 216–228. doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.08.037.
10. Authemayou C, Brocard G, Delcaillau B, Molliex S, Pedoja K, Husson L, Aribowo S, **Cahyarini SY**. Unraveling the roles of asymmetric uplift, normal faulting and groundwater flow to drainage rearrangement in an emerging karstic landscape. *Earth Surface Processes & Landforms*. 2018; 43(9): 1885–1898. doi.org/10.1002/esp.4363.
11. Utami DA, Reuning L, **Cahyarini SY**. Satellite and field-based facies mapping of isolated carbonate platforms from the Kepulauan Seribu Complex, Indonesia. *The Depositional Report*. 2018; 4(2): 255–273. doi.org/10.1002/dep2.47.
12. Utami DA, **Cahyarini SY**. Diagenetic Screening in porites fossil corals from South Pagai, Kendari, and Banten Bay, Indonesia, *Journal of Engineering and Technological Sciences*. 2017; 49(1): 1–15. doi:10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.1.1.
13. **Cahyarini SY**, Zinke J, Troelstra S, Suharsono E, Aldrian BW. Hoeksema. Coral Sr/Ca-based sea surface temperature and air temperature variability from the inshore and offshore corals in the Seribu Islands, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 2016; 110(2): 694–700. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.04.052.

14. Tito CK, Setiawan A, **Cahyarini SY**, Indriyawan MW. Growth rates analysis of Porites corals from Nusa Penida, Bali. *J. Math. Fund. Sci.* 2016; 48(1): 12–24. doi: 10.5614/j.math.fund.sci.2016.48.1.2.
15. Vogel H, Russel JM, **Cahyarini SY**, Bijaksana S, Wattrus N, Rethmeyer J, Melles M. Depositional modes and lake-level variability at lake Towuti, Indonesia, during the past ~29 kyr BP. *Journal of Paleolimnology.* 2015; 54(4): 359–377. doi: 10.1007/s10933-015-9857-2.
16. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Nurhati IS, W-Chr Dullo, Aldrian A S, Hetzinger. Twentieth century sea surface temperature and salinity variations at Timor inferred from paired coral  $\delta^{18}\text{O}$  and Sr/Ca measurements. *Journal Geophysical Research Oceans.* 2014; 119(7): 4593–4604. doi: 10.1002/2013JC009594.
17. Felis T, Merkel U, Asami A, Deschamps P, Hathorne EC, Kölling M, Bard E, Cabioch G, Durand N, Prange M, Schulz M, **Cahyarini SY**, Pfeiffer M. Pronounced interannual variability in tropical South Pacific temperatures during heinrich stadial. *Nature Communications.* 2012; 3(965): 1–7. doi:10.1038/ncomms1973.
18. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, W-Chr Dullo, Zinke J, Hetzinger S, Kasper S, Dieter G, Schoenberg. Comment on 'A snapshot of climate variability at Tahiti at 9.5 ka using 1 ga 2 fossil coral from IODP expedition 310,' by Delong KL, Quinn TM, Chuan-Chou Shen, Ke Lin. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems.* 2011; 12(3): Q03012. doi: 10.1029/2010GC003377; ISSN: 1525-2027.
19. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, W-Chr Dullo. Calibration of the Multicores Sr/Ca records-sea surface temperature: records from Tahiti corals (French Polynesia). *International Journal of Earth Sciences.* 2009; 98: 31–40. doi: 10.1007/s00531-008-0323-2.
20. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Timm O, W-Chr Dullo, garbe-Schoenberg D. Reconstructing seawater  $d^{18}\text{O}$  from paired coral  $d^{18}\text{O}$  and Sr/Ca ratios: Methods, Error Analysis and Problems, with examples from Tahiti (French Polynesia) and Timor (Indonesia). *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 2008; 72(12): 2841–2853. doi: 10.1016/j.gca.2008.04.005.

### **Nasional-Bahasa Inggris**

21. **Cahyarini SY**, Suharsono. The Influence of ENSO/IOD on SST Signal in Kendari, Southeast Sulawesi Waters: 27-year-records of Sr/Ca from Porites corals. Indonesian Journal on Geoscience. 2015; 2(1): 43–51. doi: 10.17014/ijog.2.1.43-51
22. **Cahyarini SY**. Reconstruction of seawater  $\delta^{18}\text{O}$  signal from coral  $\delta^{18}\text{O}$ : records from Bali coral, Indonesia. Bulletin of The Marine Geology. 2010; 25(1): 1–52.
23. **Cahyarini SY**, Zinke J. Geochemical tracer in coral as a sea surface temperature proxy: records from Jukung coral. ITB Journal. 2010; 42(1) b: 65–72.
24. **Cahyarini SY**. Annual growth band analysis of Porites corals from Seribu Islands corals, Indonesia and its correlation with Precipitation. Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan. 2008; 18(2): 51–59.
25. **Cahyarini SY**, Wolf-Chr Dullo. Correlation between coral Sr/Ca ratios and sea surface temperature: coral proxy records from Timor and Tahiti. Jurnal Teknologi Mineral. 2007; 14(1).
26. **Cahyarini SY**, Suwargadi B, Prayudi D, Hantoro WS. Field correlation between precipitation-El Niño related variation and coral  $\delta^{18}\text{O}$ . Bulletin of the Marine Geological Institute of Indonesia. 2007, 22(1): 28–34.
27. **Cahyarini SY**, Hantoro WS, Suwargadi BW, Prayudi D. Oxygen isotop variability in coral from Maudulung, Sumba Indonesia. Bulletin of Marine Geology. 2003; 18(2): 44–49.
28. **Cahyarini SY**. Seasonal variation of  $\delta^{13}\text{C}$  content in Porites coral from Simelue Island waters for the period of 1993-2007. Indonesian Journal of Geoscience. 2014; 1(2): 65–70.

### **Nasional-Bahasa Indonesia**

29. Ikhsani IY, Dida EN, **Cahyarini SY**. Evaluasi penggunaan metode spektrofotometri serapan atom nyala (FAAS) untuk analisis konsentrasi Sr/Ca dalam karang Porites dari Teluk Ambon dan Pulau Jukung. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis. 2017; 9(1): 247–253.

30. **Cahyarini SY**. Ketelitian pada penanggalan dalam studi iklim masa lampau dengan menggunakan contoh koral modern. *Jurnal Riset Geologi & Pertambangan*. 2015; 25(2): 123–127. doi: 10.14203/risetgeotam2015.v25.168
31. **Cahyarini SY**, Suharsono. Variasi tahunan kecepatan kalsifikasi karang *Porites* berdasarkan analisis *computed-tomography scan* (CT-Scan) dan kaitannya terhadap suhu permukaan laut: wilayah studi perairan Biak, Papua. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 2014; 24(2): 145–158.
32. **Cahyarini SY**. Akurasi rekonstruksi suhu permukaan laut dan  $d^{18}O$  air laut (salinitas) untuk interpretasi iklim masa lampau dari karang mati (fosil). *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 2013; 23(2): 89–95.
33. Mediana, **Cahyarini SY**, Putri M. Variasi transport arlindo dan parameter oseanografi di Laut Timor sebagai indikasi kejadian enso. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 2012; 4(2): 369–377.
34. Hernawan I, **Cahyarini SY**, Putri M. Rekonstruksi variasi bulanan salinitas di jalur alur lintas Indonesia selama 200 tahun: rekaman salinitas dari  $d^{18}O$  karang Bunaken dan Bali. *Jurnal Sumber Daya Geologi*. 2012; 22(3): 145–153.
35. **Cahyarini SY**. Rekonstruksi suhu permukaan laut periode 1993-2007 berdasarkan analisis kandungan Sr/Ca koral dari wilayah Labuan Bajo. Pulau Simelue. *Jurnal Geologi Indonesia*. 2011; 6(3): 129–134.
36. **Cahyarini SY**. Pertambahan penduduk, variasi interannual suhu permukaan laut dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan linear koral di Kepulauan Seribu. *Jurnal Lingkungan & Bencana Geologi*. 2(1): 39–48.
37. Purnamasari IA, **Cahyarini SY**. Suhu muka laut dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan linear koral Kep. Seribu. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 2010; 20(2): 111–117.

38. **Cahyarini SY**. Tren kenaikan suhu permukaan laut pada abat ke 14 berdasarkan data geokimia Sr/Ca dari fosil koral Mentawai. *Jurnal Geologi Indonesia*. 2010; 5(2): 113–118.
39. Purnamasari IA, **Cahyarini SY**, Putri M. Analisis pertumbuhan linier koral sebagai perekam perubahan kondisi lingkungan (studi kasus koral Kep. Seribu). *Jurnal Ilmu Kelautan*. 2009; 1(234): 142–150.
40. **Cahyarini SY**. Karang sebagai arsip perubahan iklim. *Jurnal Pendidikan dan Pelatihan Geologi*. 2008; 4(1).
41. **Cahyarini SY**. Variasi suhu muka laut regional berdasarkan kandungan  $d^{18}O$  koral dari wilayah Indonesia. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. 2006; 16(1): 44–51.

## Prosiding

### Internasional-Bahasa Inggris

42. Hendrizon M, **Cahyarini SY**, Ningsih NS, Rachmayani R. Indonesian throughflow intensity and sea surface temperature anomaly since the last deglaciation: an overview. *International Conference on the Ocean and Earth Sciences*, 18–20 November 2020; Jakarta Selatan, Indonesia; 2020. doi: 10.1088/1755-1315/789/1/012053
43. Agusta VC, Hendrizon M, **Cahyarini SY**, Utami DA, Nurhidayati AU. Pliocene climate in Indonesia: a review. *International Conference on the Ocean and Earth Science*, 18–20 November 2021; Jakarta Selatan; 2021. doi:10.1088/1755-1315/789/1/012054
44. **Cahyarini SY**, Hendrizon M, Utami DA, Blume A. Coral Sr/Ca-based sea surface temperature variability at Seribu and Timor islands waters. *The 2<sup>nd</sup> Maritime Science and Advanced Technology: Marine Science and Technology in Framework of The Sustainable Development Goals*, 7–8 Agustus 2019; Makassar, Sulawesi Selatan; 2019. doi:10.1088/1755-1315/618/1/012020
45. **Cahyarini SY**, Marfasran H. Coral based-ENSO/IOD related climate variability in Indonesia: a review. *Global Colloquium on GeoSciences and Engineering Conference*; 18–19 Oktober 2017; Bandung, Indonesia; 2017. doi: 10.1088/1755-1315/118/1/012052

46. Corvianawatie C, **Cahyarini SY**, Putri M. The effect of changes in sea surface temperature on linear growth of *Porites* coral in Ambon Bay. The 5<sup>th</sup> International Conference on Mathematics and Natural Sciences, 2015.
47. Suharsono, **Cahyarini SY**. Reduced trends of annual growth of Indonesian *Porites* over ~20 years. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium, 9–13 Juli 2012; Cairns, Australia; 2012.
48. **Cahyarini SY**, Zinke J. Coastal city air temperature variation derived from coral Sr/Ca ratios: case study Jakarta, Indonesia. Proceedings International Workshop on Integrated Coastal Zone Management, 20–22 Oktober 2009; Izmir, Turki; 2009.
49. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Aldrian E. The connection of Indian Ocean to the Indonesia Regional climate: record from  $\delta^{18}\text{O}$  coral. Proceedings International Conference on Marine Ecosystem, 26–29 Mei 2009; Langkawi, Malaysia; 2009.
50. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, W Chr Dullo. Using the corals to reconstruct climate variability:  $\delta^{18}\text{O}$  records from Tahiti coral. Proceeding Annual Conference ISSM, 2003; Delft, Netherland; 2003.

### Nasional-Bahasa Indonesia

51. **Cahyarini SY**. Perlapisan pertumbuhan koral dari Pulau Air dan Bidadari sebagai arsip perubahan lingkungan. Prosiding Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia, 6 Agustus 2009; Yogyakarta, Indonesia; 2019.
52. **Cahyarini SY**. Variasi bulanan salinitas air laut berdasarkan kandungan Sr/Ca dan  $\delta^{18}\text{O}$  dalam koral dari wilayah Timor. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Sarjana Oseanografi Indonesia (ISOI), 11 November 2008; Bandung, Indonesia; 2008.
53. **Cahyarini SY**. Aplikasi kandungan unsur kimia dalam koral *Porites* sebagai paleo-termometer. Prosiding Seminar Nasional X 'Kimia dalam Pembangunan', 21 Juni 2007; Yogyakarta, Indonesia; 2007.

54. **Cahyarini SY**, Suwargadi B, Prayudi D, Hantoro WS. Kalibrasi kandungan  $\delta^{18}\text{O}$  dalam koral dengan suhu muka laut: contoh koral dari Sumba dan Timor. Prosiding Seminar Geoteknologi, Desember 2006; Bandung, Indonesia.

### **Publikasi lainnya**

#### **Publikasi Ilmiah Populer (Surat Kabar, Majalah)**

55. **Cahyarini SY**. Rekaman dari karang ungkap ancaman bencana iklim bagi Indonesia. *Harian Kompas* (Shierine Wangsa Wibawa Ed.). 30 Juli 2020. <https://www.kompas.com/sains/read/2020/07/30/122835823/rekaman-dari-karang-ungkap-ancaman-bencana-iklim-bagi-indonesia?page=all>.
56. **Cahyarini SY**. Catatan karang tentang perubahan iklim dari abad pertengahan dan masa kini. *Harian Kompas* (Shierine Wangsa Wibawa Ed.). 7 Agustus 2021. [https://www.kompas.com/sains/read/2021/08/07/090400223/catatan-karang-tentang-perubahan-iklim-dari-abad-pertengahan-dan-masa-kini?utm\\_source=Whatsapp&utm\\_medium=Referal&utm\\_campaign=Sticky\\_Mobile](https://www.kompas.com/sains/read/2021/08/07/090400223/catatan-karang-tentang-perubahan-iklim-dari-abad-pertengahan-dan-masa-kini?utm_source=Whatsapp&utm_medium=Referal&utm_campaign=Sticky_Mobile).

#### **Published Abstract International Conference**

57. **Cahyarini SY**, Miriam P, Reuning L, Garbe-Schönberg D, Liebetrau V, Dullo Wolf Chr, Hantoro WS. The Indian Ocean dipole during the medieval climate anomaly: coral Sr/Ca records from an Indonesian *Porites* coral. Abstract Proceedings the conference of AGU Fall Meeting, 11–14 Desember 2018 (a); Washington DC, USA; 2018.
58. **Cahyarini SY**, Miriam P, Reuning L, Garbe-Schönberg D, Liebetrau V, Dullo Wolf Chr. Holocene coral Sr/Ca records from Panjang Island-Banten and Lampung bay-Sunda strait, Indonesia. Abstract Proceedings 20th General Assembly Conference, 4–13 April 2018 (b); Vienna, Austria; 2018.



59. Evans M, Nurhati IS, **Cahyarini SY**, Rossane D. Pilot study: stable isotopes in teak from marine-influenced equatorial Indonesia as local rainfall amount and remote ENSO indicators. Abstract Proceedings 20<sup>th</sup> General Assembly Conference, 4–13 April 2018 (c); Vienna, Austria; 2018.
60. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Nurhati IS, Aldrian E, Wolf-Chr Dullo, Hetzinger S. Paired coral Sr/Ca and  $\delta^{18}\text{O}$  from Timor waters: seasonal variation of SST and salinity at the ITF exit passage. AOGS Meeting, 2015; Singapore; 2015.
61. Vogel H, Russell J, Costa K, **Cahyarini SY**, Bijaksana S. Climate induced metal enrichment in sediments of ferruginous Lake Towuti, Indonesia. AGU Meeting, Desember 2014; San Fransisco, USA; 2014.
62. **Cahyarini SY**, Nurhati IS, Pfeiffer M, Zinke J, Putri M, Aldrian E, Dullo Wolf-Chr. SST and salinity variations associated with ENSO and IOD: records from Indonesian corals. Open Science Meeting PAGES, 11–16 Februari 2013; Goa, India; 2013.
63. Nurhati I, **Cahyarini SY**, Boyle E. Coral record of the South China Sea throughflow variability over the 20<sup>th</sup> century. AOGS-AGU Joint Conference, 13–18 August 2012; Sentosa Islands, - Singapore; 2012.
64. Pfeiffer M, **Cahyarini SY**, Timm O, Zinke J, Hetzinger S, Dullo WC. Assessing the accuracy of  $\delta^{18}\text{O}$  sw estimates from corals: lessons from simple Monte Carlo simulations. Geophysical Research Abstracts, April 2008; Vienna, Austria; 2008.
65. Felis T, Asami R, Bard E, **Cahyarini SY**, Deschamps P, Durand N, Hathorne E, Koelling M, Pfeiffer M. Pronounced interannual variability in South Pacific temperatures during the early deglacial-coral-based results from IODP Expedition 310. Geophysical Research Abstracts, 2008; Vienna, Austria; 2008.

66. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Dullo WC. Monthly seawater  $\delta^{18}\text{O}$  variations estimated from paired coral  $\delta^{18}\text{O}$  and Sr/Ca records of a Timor coral (Indonesia). Abstract Proceeding 9<sup>th</sup> International Conference on Paleoceanography, 3–7 September 2007; Shanghai, China; 2007.
67. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Dullo WC. International Journal Quaternary Research - Proceeding of INQUA XVII Congress, 28 Juli–7 August 2007; Cairns, Australia; 2007.
68. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Dullo WC. Reconstructed salinity based on paired  $\delta^{18}\text{O}$  and Sr/Ca measurement in an exit passage of the Indonesian Throughflow. American Geophysical Union (AGU) Ocean Science Meeting, 19–24 Februari 2006; Hawaii, USA; 2006.
69. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Dullo WC. Sea surface temperature-derived coral Sr/Ca ratios from western Pacific warm pool and central Pacific. Geophysical Research Abstract, 2005; Vienna, Austria; 2005.
70. **Cahyarini SY**, Pfeiffer M, Dullo WC. Sr/Ca variations in *Porites* *sp* corals from Tahiti, French Polynesia: linear extension and calcification rates affect the precision of paleotemperatures derived from Sr/Ca ratios. European Geophysical Union Annual Meeting, 28 April 2004; Nice, France; 2004.
71. **Cahyarini SY**. Coral-based indices climate variability associated with ENSO. Geo 2003 Joint Meeting, Earth Sciences into the 3 Millenium–Method, Materials, Mechanisms, 22 September–25 September 2003; Bochum, Germany; 2003.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Data Pribadi

Nama : Dr. Sri Yudawati Cahyarini, S.T., M.T.  
Tempat, Tanggal Lahir : Ponorogo, 10 Oktober 1969  
Nama Bapak Kandung : Koessantjojo Oemar  
Nama Ibu Kandung : Sri Marmini  
Nama Instansi : Pusat Penelitian Geteknologi LIPI  
Judul Orasi : Kontribusi Penelitian Iklim Masa  
Lampau dalam Memahami  
Perubahan Iklim  
Bidang Kepakaran : Geologi  
No. SK Pangkat Terakhir : 25/K Tahun 2019  
No. PAK Peneliti Utama : 0821/D.1/IX/2018  
Tgl. PAK Disahkan Ka. LIPI : 28 September 2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SD Negeri Mangkujayan IV	Ponorogo	1982
2.	SMP	SMP Negeri 1 Ponorogo	Ponorogo	1985
3.	SMA	SMA Negeri 1 Ponorogo	Ponorogo	1988
4.	S1	Institut Teknologi Bandung	Bandung	1993
5.	S2	Institut Teknologi Bandung	Bandung	2000
6.	S3	Kiel University	Jerman	2006

## C. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Peneliti Muda (Gol. III/c)	1 April 2007
2	Peneliti Muda (Gol. III/d)	1 April 2009
3.	Peneliti Madya (Gol. IV/b)	1 Maret 2012
4.	Peneliti Madya (Gol. IV/c)	1 Juli 2015
5.	Peneliti Utama (Gol. IV/d)	13 Februari 2019

## D. Karya Tulis Ilmiah Jurnal

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal ( <i>single author</i> )	10
2.	Penulis bersama Penulis lainnya (sebagai <i>Lead Author</i> )	12
3.	Penulis bersama Penulis lainnya (sebagai <i>Co-Author</i> )	19
	Total	41

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Inggris	37
2.	Bahasa Indonesia	19
	Total	56

No.	Kualifikasi Publikasi	Jumlah
1.	Jurnal Internasional	20
2.	Jurnal Nasional	21
3.	Prosiding Internasional	9
6.	Prosiding Nasional	4
7.	Karya Tulis Ilmiah Populer	2
8.	Paten dan Hak Cipta	0
9.	Buku dan Bagian dari Buku	0
	Total	56

### E. Pengalaman Karier Terkait Kepakaran

Periode	Tempat/Program	Jabatan dan Keterangan
2001	RSES/RSES	<i>Research assistant</i> untuk penelitian <i>paleoclimate</i> dengan karang
2002–2006	Geomar, Universitas Kiel-Jerman/ DAAD scholar	Phd student, penelitian <i>paleoclimate/paleoceanography</i> dengan karang dari Tahiti dan Timor
2006–2007	Geomar- Jerman/ SFB 6	<i>Postdoctoral</i> , Melakukan penelitian <i>paleoclimate/paleoceanography</i> dengan karang dari Tahiti
2007–2008	Frei University Amsterdam-Belanda/ KNAW scholarship, mobility	<i>Research fellowship</i> . Melakukan penelitian <i>paleoclimate/paleoceanography</i> dengan karang dari Kep. Seribu
2008	Geomar-Jerman, DAAD 2 <sup>nd</sup> invitation	<i>Visiting researcher</i> , melakukan analisis geokimia karang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>Periode</b>	<b>Tempat/Program</b>	<b>Jabatan dan Keterangan</b>
2012	WHOI, Woodshole USA, Mary Sears awards fellow	<i>Research fellowship</i> , melakukan penelitian pada pertumbuhan karang dengan komputer tomografi
2015	RWTH Aachen, DAAD 2 <sup>nd</sup> invitation	<i>Research fellowship</i> , melakukan penelitian mengenai analisis diagenetic dengan 2D XRD pada karang
2017–2019	RWTH Aachen, Alexander von Humboldt postdoctoral scholarship	<i>Postdoctoral</i> , melakukan penelitian mengenai paleoclimate/paleoceanography dengan karang fosil dari periode Holocene

## **F. Pembinaan Kader Ilmiah (2020)**

<b>No.</b>	<b>Universitas/PT Tempat Membimbing/ Mengajar /dosen tamu</b>	<b>Nama yang Dibimbing&gt;Nama mata kuliah</b>	<b>Tahun Membimbing/ Mengajar</b>
Membimbing:			
1.	Program Sarjana S1 Jurusan Oseanografi ITB/Tugas Akhir	Ida Ayu Purnamasari	2009
2.	Program Sarjana S1 Jurusan Oseanografi ITB/Tugas Akhir	Indra Hernawan	2012
3.	Program Sarjana S1 Jurusan Oseanografi ITB/ Kerja Praktek	Mediana Safitri	2012
4.	Program Sarjana S1 Ju- rusan Pendidikan Kimia UPI/Kerja Praktek	Syamsul Rizal Muharam	2012

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>No.</b>	<b>Universitas/PT Tempat Membimbing/ Mengajar /dosen tamu</b>	<b>Nama yang Dibimbing&gt;Nama mata kuliah</b>	<b>Tahun Membimbing/ Mengajar</b>
5.	Program Sarjana S1 Jurusan Oseanografi ITB/Tugas Akhir	Corry Corvianawatie	2013
6.	Program Sarjana S1 Jurusan Oseanografi ITB/Tugas Akhir	Irham Ahada	2015
7.	Program Sarjana S1 Jurusan Oseanografi ITB/Tugas Akhir	Mustika Eltrik	2016
8.	Program Sarjana S1 Jurusan Oseanografi ITB/ Kerja Praktek	Novita Tilangsari	2016
9.	Geoteknologi LIPI/ Membimbing penulisan KTI	Lina Nur Listiyowati	2016
10.	DJFP Tk Lanjutan Gel IV	P.S. Putra, M.M. Mukti, E. Hidayat, Triyono	2016
11.	DJFP Tk Dasar Gel IV	H. Nurohman, A. Wibawa, B.D. Erlangga, M. Al' Afif, Isyqi	2016
12.	Geoteknologi LIPI/Kerja magang dari peneliti Puslit Laut Dalam, mem- bimbing penulisan KTI	Idha Yulia Ihsani	2017
13.	Program Sarjana S1 Jurusan Oseanografi ITB/Tugas Akhir	Muhammad Iqbal Rizki Putra Chudori	2019
14.	Geography Dept, Universitas Bochum/ Bachelor thesis	Rhea Poerter	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Universitas/PT Tempat Membimbing/ Mengajar /dosen tamu	Nama yang Dibimbing>Nama mata kuliah	Tahun Membimbing/ Mengajar
15.	Geological Institute RWTH Aachen/Kerja praktek-internship	Alina Blueme	2019
16.	Program S3 Kebumian ITB/ Disertasi Doktor	Mafrasan Henrizan	2019
17.	Program S3 Geologi Universitas Bern/ Disertasi Doktor	Adrianus Damanik	2020
18.	PJFP Gelombang 2 LIPI	A. Rizkita, A.P. Martireni, A. Farisan, G.U. Nugraha, K. Hermawan	2020
19.	PJFP Gelombang 4 LIPI	A. Lisdiana, H. Isnaniyah, M. Hanif, O.F. Saputra, S.P. Saputro	2020
Mengajar:			
20.	Dosen tamu di ITB Jurusan Oseanografi	OS-3008 Intro- duction to ocean Biogeochemistry, Paleoclimate, Paleoceanography	2014-2021
21.	General lecture Labora- torie Geoscience Ocean-Brest University, Perancis	Tropical Maritime Climate Variability: Records from Indo- nesian Corals	2018
22.	General lecture ISTERE, Grenobles University, Perancis	Reconstructing climate form Indonesian coral	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.



No.	Universitas/PT Tempat Menguji	Nama yang Diuji	Tahun Menguji
1.	Program S1 ITB	I.A. Purnamasari	2009
2.	Program S1 ITB	Indra Hernawan	2012
3.	Program S1 ITB	Corry Corvianawatie	2013
4.	Program S1 ITB	Irham Ahada	2015
5.	Program S1 ITB	Mustika Eltrik	2016
6.	Program S1 ITB	MIR Putra Chudori	2019
7.	Program S2 ITB	Corry Corvianawatie	2014
8.	Program Phd Universitas Nantes Perancis	Camillo Ariaz Ruis	2017

### G. Editor/Reviewer Journal/Majalah/Prosiding

No.	Jabatan	Majalah/Prosiding	Tahun
1.	Editor	Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan (Journal Nasional terindex SINTA, LIPI)	2017–2021
2.	Guest Editor	Atmosphere (Journal Global Q2, scopus, WOS)	2019–2021
3.	Editor	Prosiding Geotek EXPO (Prosiding nasional)	2016
4.	Reviewer Jurnal Nasional	Jurnal Riset, Indonesian Journal on Geoscience (IJOG), Bulletin Marine Geology, Journal Sumber Daya Geologi	2017–2021
5.	Reviewer Jurnal Global (Q1)	Geophysical Research Letters (GRL), Geochimica et Cosmochimica Acta (GCA), PALAEO	2017–2021

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## H. Presenter Ilmiah (oral/Poster) (2020)

No.	Judul	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara (Tempat, Waktu)
International:			
1.	Coral Sr/Ca-based sea surface temperature variability at Seribu and Timor islands waters.	2 <sup>nd</sup> International Conference on Marine Science and Technology in Framework of the Sustainable Development Goals	Consorsium ITB, BIG, LIPI, UNHAS PUI Konservasi SDA Tuna; 7–8 Agustus, 2019; Makasar
2.	The Indian Ocean Dipole during the Medieval Climate Anomaly: coral Sr/Ca records from an Indonesian <i>Porites</i> coral.	American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting,	AGU; 11–14 December 2018; Washington DC USA
3.	Holocene coral Sr/Ca records from Panjang Island-Banten and Lampung bay-Sunda strait, Indonesia.	20th European Geophysical Union (EGU) General Assembly Conference	EGU; 4–13 April 2018; Vienna Austria.
4.	Paired coral Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ from Timor waters: seasonal variation of SST and Salinity at the ITF exit passage,	Asia-Oceania Geophysical Union (AOGS) meeting	AOGS; 2015, Singapore

No.	Judul	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara (Tempat, Waktu)
5.	SST and Salinity Variations Associated with ENSO and IOD: Records from Indonesian Corals	Open Science Meeting PAGES 2013	PAGES; 11–16 February 2013; Goa, India
6.	Coastal City Air Temperature Variation Derived from Coral Sr/Ca Ratios: case study Jakarta, Indonesia.	International Workshop on Integrated Coastal Zone Management	Inter-Islamic Science and Technology Network on Oceanography (INOC); 20–22 October 2009; Izmir, Turkey.
7.	The connection of Indian Ocean to the Indonesia Regional Climate: Record from $\delta^{18}\text{O}$ coral.	International Conference on Marine Ecosystem	ECOMAR Malaysia; 26–29 May 2009; Langkawi, Malaysia.
8.	Monthly seawater $\delta^{18}\text{O}$ variations estimated from paired coral $\delta^{18}\text{O}$ and Sr/Ca records of a Timor coral (Indonesia).	9 <sup>th</sup> International Conference on Paleoceanography	PAGES; 3–7 September 2007; Shanghai, China
9.	El Niño signature in a coral Sr/Ca record from Timor, Indonesia	INQUA XVII Congress	INQUA; 28 Juli–7 Agustus 2007; Cairns, Australia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Judul	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara (Tempat, Waktu)
10.	Reconstructed salinity based on paired $\delta^{18}\text{O}$ and Sr/Ca measurement in an exit passage of the Indonesian Throughflow.	The 13 <sup>th</sup> Ocean Science Meeting	AGU, 19–24 February 2006; Hawaii, USA
11.	Sea surface temperature- derived coral Sr/Ca ratios from western Pacific Warm Pool and central Pacific	European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2005	EGU; 24–29 April 2005; Vienna, Austria
12.	Sr/Ca variations in <i>Porites.sp</i> corals from Tahiti: linear extension & calcification rates affect the precision of paleo-SST derived from coral Sr/Ca	European Geophysical Union Annual Meeting	EGU; 28 April 2004; Nice, France
13.	Coral-based indices climate variability associated with ENSO.	Geo 2003 Joint Meeting, Earth Sciences into the 3. Millenium: Method, Materials, Mechanisms	Deutsche Geologische Gesellschaft - Geologische Vereinigung (DGGV); 22–25 September 2003; Bochum, Germany

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Judul	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara (Tempat, Waktu)
14.	Using the corals to reconstruct climate variability: $\delta^{18}\text{O}$ records from Tahiti coral	Annual conference ISSM	ISSM; 2003; Delft, the Netherland
National:			
15.	Coral based ENSO/IOD related climate variability in Indonesia: a review	Global Colloquium on GeoSciences and Engineering conference.	Puslit Geotechnology LIPI; 18–19 Oktober 2017; Bandung
16.	Perlapisan pertumbuhan koral dari Pulau Air dan Bidadari sebagai arsip perubahan lingkungan	Pertemuan Ilmiah Tahunan Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia (JASAKIAI)	JASAKIAI; 6 Agustus 2009; Yogyakarta
17.	Variasi bulanan salinitas air laut berdasarkan kandungan Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ dalam koral dari wilayah Timor.	Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Sarjana Oseanografi Indonesia (ISOI) 2008	ISOI; 11 November 2008, Bandung
18.	Aplikasi kandungan unsur kimia dalam koral <i>Porites</i> sebagai paleo- termometer	Seminar Nasional X 'Kimia dalam pembangunan'2007	JASAKIAI; 21 Juni 2007; Yogyakarta

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Judul	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara (Tempat, Waktu)
19.	Kalibrasi kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dalam koral dengan suhu muka laut: contoh koral dari Sumba dan Timor	Seminar Geoteknologi LIPI “Peluang dan Peran Ilmu Kebumihan dalam Pembangunan Berkelanjutan”	Puslit Geoteknologi LIPI; Desember 2006; Bandung

### I. Organisasi Profesi

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO)	Sejak 2019
2.	Anggota	Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI)	Sejak 2004
3.	Anggota	Ikatan Sarjana Oseanografi Indonesia (ISOI)	Sejak 2007
4.	Anggota	Past Global Changes (PAGES)	Sejak 2005

### J. Tanda Penghargaan, Hibah Riset, Scholarship

No.	Pejabat/Instansi yang Memberikan	Nama/Jenis Penghargaan	Tahun
1.	Alexander von Humboldt	Digital Cooperation Fellowship Program	2021
2.	Swiss National Science Foundation (SNSF)	SNSF Grant	2020
3.	LIPI	Satyalencana Karya Satya XX Tahun	2019
4.	Kemenristek/BRIN	INSINAS/ Dana Hibah Riset	2019
5.	National Geographic Society	Explorer Grant	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Pejabat/Instansi yang Memberikan	Nama/Jenis Penghargaan	Tahun
6.	Alexander von Humboldt stiftung/ Foundation	Georg Forster Research Fellowship for Experienced Researchers	2016
7.	Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD)	Research Fellowship, DAAD 2 <sup>nd</sup> Invitation at RWTH Aachen	2015
8.	USAID; US-National Science Academy	Partnership for Enhance Engagement in Research (PEER)- Science Cycle 2 Research Grant	2013
9.	Woods Hole Oceanographic Institute (WHOI)	Mary Sears Research Fellowship	2012
10.	The Ministry of Science, Technology and Higher Education in Portugal-the Foundation for Science and Technology (FCT)	FCT Research Grant	2010
11.	Kemenristek/ Dikti; German-Federal Ministry Research & Education -Bundesministerium Bildung und Forschung (BMBF)	Kemenristek Dikti-BMBF Joint Mobility Program	2011
12.	LIPI	Satyalencana Karya Satya X tahun	2009
13.	International Foundation for Sciences (IFS)	IFS Research Grant	2009

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>No.</b>	<b>Pejabat/Instansi yang Memberikan</b>	<b>Nama/Jenis Penghargaan</b>	<b>Tahun</b>
14.	Indonesian Toray Science Foundation research (ITSF)	ITSF Science and Technology Research Grant	2007
15.	The Royal Netherlands Academic Arts and Sciences (KNAW)	Mobility Programs Research Fellowship	2007
16.	DAAD	Phd Scholarship di Geomar Universitas Kiel	2001

Buku ini tidak diperjualbelikan.





LIPI

## LIPI Press

Gedung PDDI LIPI, Lantai 6  
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710  
Telp. (+62 21) 573 3465  
E-mail: [press@mail.lipi.go.id](mailto:press@mail.lipi.go.id)  
Website: [lipipress.lipi.go.id](http://lipipress.lipi.go.id)



Buku ini tidak diperjualbelikan.