

VARIASI IKLIM DI WILAYAH TROPIS BERDASARKAN GEOKIMIA KORAL DARI WILAYAH INDONESIA

Sri Yudawati Cahyarini¹ dan Purna Sulastya Putra¹

¹Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Jalan Sangkuriang Bandung 40135

Telpon: +62 022 2503654, Fax: +62 022 2504593

Email: yuda@geotek.lipi.go.id

Sari

Perubahan suhu muka laut dapat menyebabkan adanya anomali curah hujan (presipitasi) yang dapat mengakibatkan terjadinya kekeringan ataupun banjir. Perubahan alamiah ini berdampak bagi wilayah maritim Indonesia yang merupakan wilayah yang dipengaruhi oleh perubahan iklim musiman (yaitu musim barat dan timur), maupun tahunan contoh El Nino Southern Oscillation (ENSO), Indian Ocean Dipole (IOD). Korall mampu menyediakan data iklim dalam kisaran waktu yang panjang sampai ratusan bahkan fosil korall mampu menyediakan sampai ribuan tahun lampau. Dalam studi ini akan dilakukan reanalisis beberapa proxy geokimia yang terkandung dalam korall dari wilayah Indonesia. Analisis statistik data timeseries akan diterapkan pada proxy tersebut, sehingga sinyal-sinyal iklim dapat diekstraksi. Sehingga fenomena iklim diwilayah maritim Indonesia semakin dipahami. Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya korelasi yang berbeda-beda antara suhu muka laut lokal yang direpresentasikan oleh data geokimia korall dengan suhu muka laut global selama beberapa dekade terakhir ini. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh iklim global terhadap wilayah Indonesia berbeda-beda dari satu wilayah dengan wilayah lainnya.

Kata kunci: iklim, tropis, geokimia, korall

Abstract

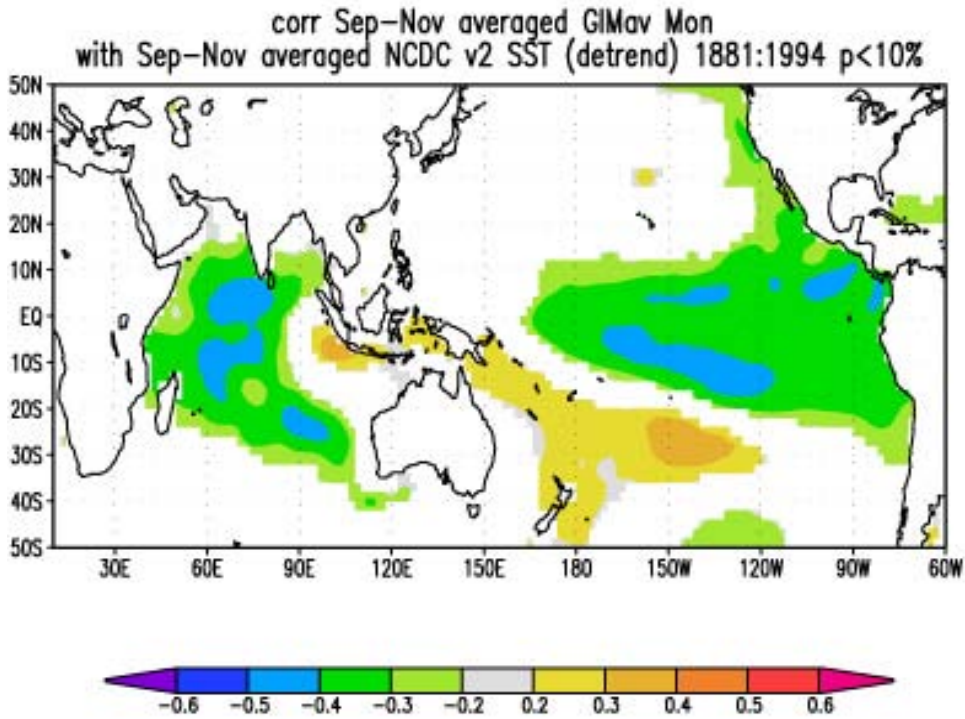
Sea surface temperature changes can cause the rainfall anomalies (precipitation) which may result in droughts or floods. These natural changes will affect Indonesia's maritime territory by seasonal and annual climate changes, such as El Nino Southern Oscillation (ENSO), Indian Ocean Dipole (IOD). The main phenomenon of ENSO / IOD can cause drought in Indonesia. This climate impressions recorded by the proxy contained in the coral. Coral is able to provide a range of climate data in a long time, even able to provide up to a thousand years ago. In this study will be conducted reanalysis of several geochemical proxies contained in coral from Indonesia. Timeseries statistical data analysis will be applied to the proxy, so that the climate signals in the low and high resolution can be extracted. Thus the phenomenon of Indonesian maritime climate of the region increasingly understood. Besides coral sampling methodology will be reviewed and developed to get more efficient and effective methods. New coral samples will be taken from the area of south-west Sumatra which are suspected of climate-sensitive areas.

Keywords: climate, tropical, geochemical, coral

PENDAHULUAN

Perubahan suhu muka laut dapat menyebabkan adanya anomali curah hujan (presipitasi) yang dapat mengakibatkan terjadinya kekeringan ataupun banjir. Perubahan alamiah ini akan berdampak bagi wilayah maritim Indonesia yang merupakan wilayah yang dipengaruhi oleh perubahan iklim musiman (yaitu musim barat dan timur), maupun tahunan contoh *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD). Anomali suhu di lautan Pasifik yang menimbulkan ENSO berdampak pada kekeringan/banjir di wilayah Indonesia. Begitu pula anomali suhu di lautan India yaitu fenomena IOD dapat berdampak adanya kekeringan di wilayah Indonesia. Selama terjadi El Nino, dimana suhu muka laut di Pasifik bagian timur akan memiliki anomali positif sedang di bagian wilayah sumatra bagian barat-selatan akan memiliki anomali negatif. Fenomena IOD memberikan sinyal yang sama di barat daya Sumatra yang akan mengalami anomali suhu negatif dan positif di bagian barat lautan Indonesia (pantai Afrika sebelah timur). Untuk itu diduga bahwa sinyal-sinyal anomali iklim akan terlihat jelas di wilayah barat daya Sumatra (contoh perairan provinsi Bengkulu). Gambar 1 menunjukkan anomali suhu muka laut untuk rata-rata bulan September-October-November (SON) yang menunjukkan anomali tinggi di wilayah barat daya Sumatra.

Unsur-unsur geokimia yang terkandung dalam koral –disebut sebagai proxy geokimia- mampu merekam parameter perubahan iklim (contoh suhu muka laut, salinitas) sampai ratusan bahkan fosil koral mampu merekam sampai ribuan tahun lampau (e.g. Cahyarini *et al.*, 2008a; Felis *et al.*, 2004; Hendy *et al.*, 2002). Kisaran waktu yang menerus dari rekaman parameter iklim dalam koral ini merupakan solusi yang menjanjikan bagi keterbatasan instrumentasi pengukuran parameter iklim yang hanya mampu menyediakan data sampai puluhan tahun lampau. Dengan adanya proxy geokimia koral ini, diharapkan data parameter iklim akan tersedia secara menerus sampai kisaran waktu yang panjang, sehingga akan membantu dalam meningkatkan keakuratan model prediksi iklim. Proxy geokimia yang umum digunakan dalam studi iklim adalah Sr/Ca yaitu untuk rekonstruksi suhu muka laut (Cahyarini *et al.*, 2009; Marshal & McCulloch, 2002), pasangan antara Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ dapat digunakan untuk rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}$ air laut, yang selanjutnya digunakan untuk rekonstruksi salinitas (Cahyarini *et al.*, 2008a; Ren *et al.*, 2002).



Gambar 1. Korelasi spasial suhu lokal wilayah barat daya Sumatra dengan suhu global. Data suhu dari *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature database*

Studi proxy geokimia koral dari wilayah Indonesia telah dilakukan oleh Cahyarini *et al.* (2008a) yaitu studi kandungan Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ dari koral Timor, Abram *et al.*(2008) yaitu studi kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dari koral pulau Penang, Mentawai, dan Charles *et al.*(2003) yaitu studi kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dari koral Bunaken dan Bali. Cahyarini *et al.*(2008) melakukan studi rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}$ air laut berdasarkan rekaman Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ dari Timor dalam kisaran waktu 20 tahun, selain juga melakukan studi analisis pertumbuhan tahunan dari koral kep. Seribu (Cahyarini *et al.*, 2008b). Dalam studinya dari koral Timor, diperoleh kesimpulan bahwa diwilayah tersebut variasi bulanan kandungan $\delta^{18}\text{O}$ air laut dapat direkonstruksi dari proxy koral, namun belum dibahas mendetil bagaimana variasi iklim di daerah tersebut berdasarkan rekaman koral. Dari publikasi Abram *et al.* (2008) disebutkan kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dari koral Penang Mentawai tidak jelas menunjukkan sinyal suhu saja, melainkan merekam kombinasi perubahan suhu muka laut dan presipitasi di wilayah tersebut. Hal ini tidaklah mengejutkan karena lokasi koral Abram *et al.*(2008) terdapat di Mentawai bagian utara yang memang berdasarkan data klimatologi wilayah barat daya Indonesia kurang jelas adanya anomali suhu selama perubahan iklim ENSO/IOD. Untuk itu dalam studi ini kami mengajukan untuk mendapatkan conto koral di wilayah Indonesia bagian barat daya yaitu perairan koral dari Bengkulu. Selain itu, sayangnya Abram *et al.* (2008) juga tidak membahas bagaimana korelasi antara $\delta^{18}\text{O}$ koral dengan terutama suhu (presipitasi), padahal korelasi antara proxy geokimia dan parameter iklim tersebut penting diketahui dalam studi proxy geokimia untuk aplikasi iklim. Charles *et al.*(2003) menyebutkan bahwa kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dari wilayah Bunaken dan Bali kurang jelas menunjukkan korelasi dengan suhu muka laut, namun disebutkan bahwa $\delta^{18}\text{O}$ koral berkorelasi dengan El Nino.

Sayangnya tidak ditampilkan oleh Charles *et al.*, 2003 korelasi antara proxy dengan ENSO indeks.

Berdasarkan pengaruh iklim terhadap curah hujan (Aldrian and Susanto, 2003) dan juga korelasi antara suhu muka laut lokal dengan global (Gambar 1), diduga bahwa wilayah barat daya Sumatra merupakan wilayah yang memiliki anomali tinggi (sensitif) terhadap perubahan iklim, untuk itu diduga sinyal-sinyal perubahan iklim akan terlihat jelas dengan koral dari barat daya Sumatra. Dari peta korelasi suhu muka laut lokal dan global (Gambar 1) menunjukkan tingkat korelasi yang berbeda antar satu wilayah dengan wilayah lain, diduga hal ini juga akan terekam oleh proxy geokimia koral, dimana respon terhadap perubahan iklim akan berbeda antara satu wilayah dengan wilayah lainnya. Untuk itu dalam penelitian ini diusulkan untuk mengambil conto koral di wilayah barat daya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan iklim global di wilayah Indonesia dalam skala musiman maupun annula-interannual. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis statistik yang belum diterapkan oleh peneliti sebelumnya untuk data proxy kimia dari koral dari wilayah Indonesia yaitu dari Penang Mentawai (Abram *et al.*, 2008); Timor (Cahyarini *et al.*, 2008a); kep. Seribu (Cahyarini *et al.*, 2008c), Bunaken dan Bali (Charles *et al.*, 2003). Analisis statistik dilakukan untuk lebih memahami tanda-tanda iklim yang terekam dalam proxy geokimia. Kalibrasi proxy dengan parameter iklim akan lebih dikaji.

METODOLOGI

Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah merekonstruksi variasi iklim sampai ratusan tahun lalu dari rekaman proxy geokimia (*geochemical proxy*) yaitu Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ yang diukur pada beberapa inti bor karang hidup (modern) dan mati (fosil) (*multi-core geochemical proxy records*). Rekaman-rekaman Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ dalam koral akan digunakan untuk merekonstruksi perubahan SST dan curah hujan dalam skala musiman sampai tahunan dan juga puluhan tahun (*decadal-interdecadal*) di wilayah Indonesia.

Seluruh proxy akan divalidasi dengan hasil pengukuran lokal suhu muka laut (SST) maupun curah hujan. Pendekatan statistik *multivariate* (seperti korelasi spasial) juga digunakan untuk mengetahui korelasi proxy geokimia koral dengan parameter iklim seperti suhu muka laut dan curah hujan, selain juga untuk mengidentifikasi sinyal iklim yang terekam oleh proxy.

Dalam penelitian ini digunakan beberapa proxy geokimia yang sudah ada dari beberapa conto koral di wilayah Indonesia yaitu $\delta^{18}\text{O}$ (dari Charles *et al.*, 2003; Abram *et al.*, 2008; Cahyarini *et al.*, 2008c) dan Sr/Ca (Cahyarini *et al.*, 2008a,c). Dari proxy yang ada tersebut dilakukan analisis statistik timeseries dengan menggunakan fasilitas climate explorer dari <http://climexp.knmi.nl> (Oldenborg *et al.* 2005).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data proxy dari koral di wilayah Indonesia

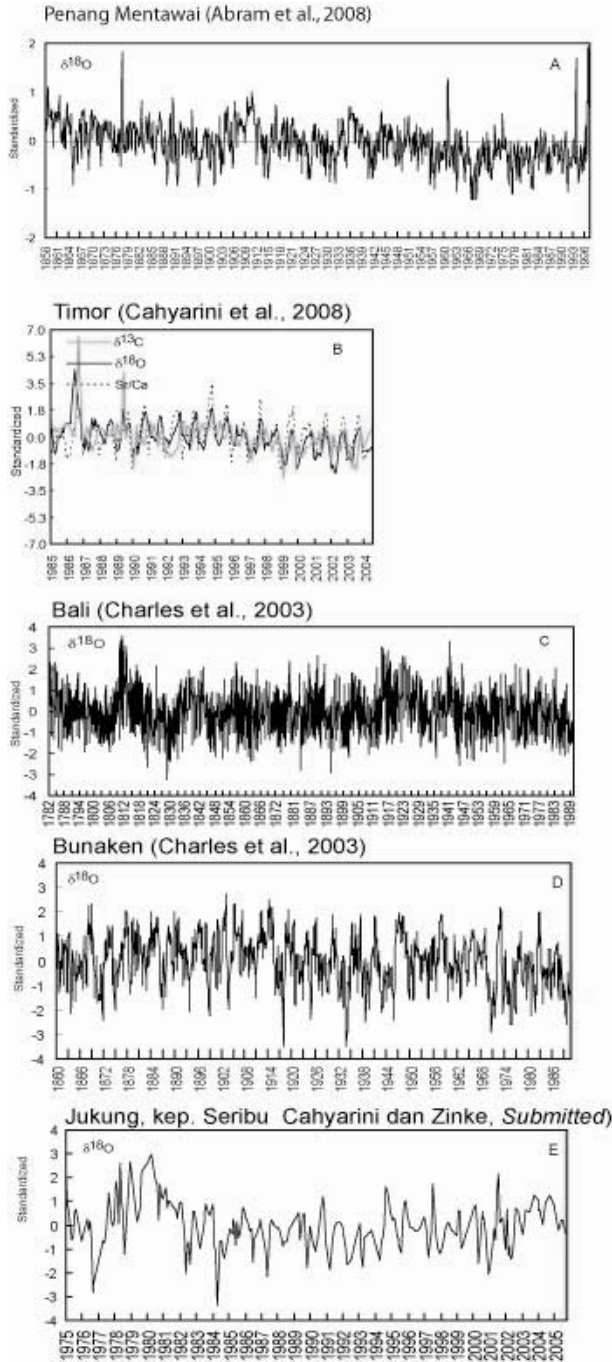
Rekaman data proxy koral telah dilakukan dari beberapa wilayah di Indonesia, yaitu $\delta^{18}\text{O}$ dari wilayah Bali dan Bunaken (Charles *et al.*, 2002) (selanjutnya disebut sebagai $\delta^{18}\text{O}_{\text{Bali}}$ $\delta^{18}\text{O}_{\text{Bunaken}}$), $\delta^{18}\text{O}$ dari koral Penang Mentawai (Abram *et al.*, 2008) (selanjutnya disebut sebagai $\delta^{18}\text{O}_{\text{mentawai}}$); $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca dari koral Timor (Cahyarini *et al.*, 2008a) (selanjutnya disebut $\delta^{18}\text{O}_{\text{Timor}}$ (Sr/Ca)_{Timor}) dan $\delta^{18}\text{O}$ and Sr/Ca dari kepulauan Seribu yaitu pulau Jukung, Air

dan Bidadari (Cahyarini et al., 2008c). Data koral $\delta^{18}\text{O}_{\text{Bali}}$ dan $\delta^{18}\text{O}_{\text{Bunaken}}$ diperoleh kisaran waktu dari 1782-1990 untuk koral Bali dan 1860-1990 untuk koral Bunaken. Kisaran waktu koral Timor yang sudah diterbitkan adalah 1985-2004. Kisaran waktu untuk koral $\delta^{18}\text{O}$ dari kepulauan Seribu yaitu pulau Bidadari adalah 1973-2005, 2000-2007 untuk koral dari pulau Air dan 1975- 2005 untuk koral dari pulau Jukung. Sedangkan dari hasil analisis koral Sr/Ca dari kepulauan Seribu diperoleh kisaran waktu 1969-2005 untuk koral pulau Jukung, 2002-2007 untuk koral pulau Air dan 1973-2005 untuk koral pulau Bidadari. Gambar 2 menunjukkan variasi bulanan dari data proxy dari koral di wilayah Indonesia. Contoh baru sample koral dari wilayah Kaana Enggano belum dilakukan analisa geokimia, mengingat keterbatasan peralatan analisa geokimia di Indonesia. Analisa geokimia dari contoh baru tersebut akan dilakukan di Jerman kerjasama dengan Universitas Kiel.

Kalibrasi proxy vs. suhu

Rekaman $\delta^{18}\text{O}$ dari koral Penang Mentawai menunjukkan adanya pengaruh $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$. Korelasi linear antara $\delta^{18}\text{O}_{\text{mentawai}}$ dengan suhu muka laut (SST) lokal koordinat Penang Mentawai ($0.11\text{‰}/^{\circ}\text{C}$ $R= 0.49$ for calibration period of 1911-1997) mendukung adanya pengaruh $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ dalam koral $\delta^{18}\text{O}_{\text{mentawai}}$. Menurut Edvin Aldrian (*personal communication*) lokasi Penang Mentawai atau Sumatra bagian barat laut termasuk dalam pengaruh netral (belum diketahui secara pasti) terhadap fenomena iklim global seperti ENSO/IOD. Pengaruh kuat dari kedua fenomena iklim tersebut dapat dijumpai di wilayah bagian barat daya. Diduga di wilayah ini signal variasi suhu yang berkaitan dengan fenomena ENSO/IOD akan lebih jelas teridentifikasi. Berdasarkan data suhu muka laut diperoleh korelasi yang kuat dengan ENSO/IOD (Gambar 1), namun sayangnya masih kurangnya ketersediaan data rekaman proxy dari wilayah ini.

Rekaman $\delta^{18}\text{O}$ dari koral Bunaken dan Bali juga menunjukkan pengaruh dari presipitasi (Charles et al., 2003). Korelasi bulanan antara $\delta^{18}\text{O}_{\text{Bali}}$ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Bunaken}}$) dengan suhu muka laut ($-0.08\text{‰}/^{\circ}\text{C}$) menunjukkan slope yang lebih rendah dari yang ditetapkan untuk korelasi $\delta^{18}\text{O}$ dalam karbonat dengan suhu yaitu. $-0.18- 0.22\text{‰}/^{\circ}\text{C}$ (e.g. Gagan et al., 1998; Wellington et al., 1996; Weber and Woodhead, 1972). Hal ini mengindikasikan bahwa $\delta^{18}\text{O}_{\text{Bali(Bunaken)}}$ dipengaruhi oleh $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$, dimana $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ ini mencerminkan pengaruh curah hujan di wilayah tersebut.



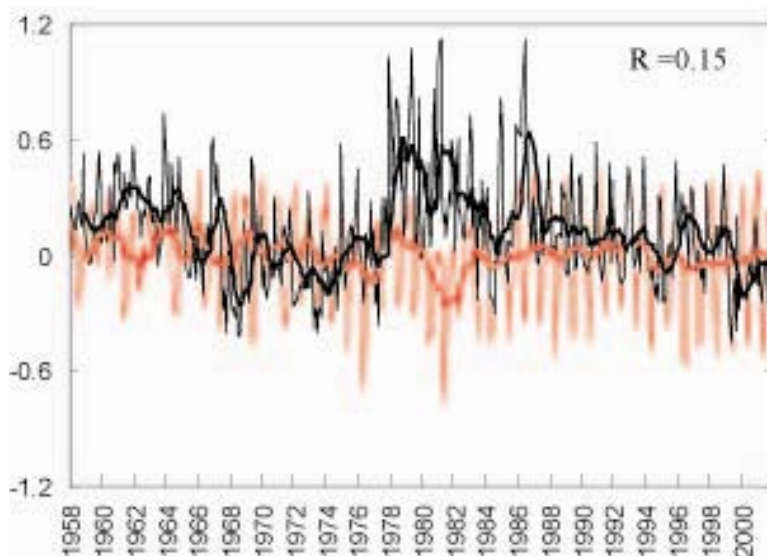
Gambar 2. Hasil rekaman geokimia proxy $\delta^{18}\text{O}$ koral dari beberapa lokasi

Data $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca dari koral dari wilayah kep. Seribu (pulau Jukung, Air dan Bidadari) diperoleh dari Cahyarini et al. (2008c). Pulau Bidadari terletak dekat dengan daratan Jakarta (*inshore*) sedangkan Pulau Jukung terletak jauh dari daratan (*offshore*), pulau Air terletak ditengah-tengah antara keduanya. Korelasi antara Sr/Ca dengan suhu menunjukkan bahwa

semakin mendekati daratan kandungan Sr/Ca akan merekam suhu udara wilayah daratan (Jakarta) dibanding suhu muka laut. Hal ini ditunjukkan dengan korelasi yang semakin tinggi antara Sr/Ca dengan suhu udara Jakarta dari koral pulau Jukung, Air dan Bidadari.

Kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dari pulau Air dan Jukung menunjukkan juga pengaruh kandungan $\delta^{18}\text{O}$ air laut yaitu slope regresi = $-0.011 \text{‰}/^\circ\text{C}$ $R=0.21$ untuk proxy dari pulau Air dan slope = $-0.08 \text{‰}/^\circ\text{C}$ $R=0.29$ untuk proxy dari pulau Jukung (Cahyarini et al., 2009). Signal suhu muka laut berkorelasi dengan $\delta^{18}\text{O}$ sekitar 21-29%. Perlu adanya penelitian lebih dalam mengenai pengaruh parameter fisik apa yang dominan dalam variasi $\delta^{18}\text{O}$ di kedua pulau tersebut. Namun begitu slope regresi linear antara suhu muka laut dengan $\delta^{18}\text{O}$ dari pulau Bidadari menunjukkan kesesuaian slope regresi untuk $\delta^{18}\text{O}$ dalam aragonit dengan suhu yaitu antara -0.18 sampai $-0.22 \text{‰}/^\circ\text{C}$, hal ini menunjukkan adanya pengaruh perubahan suhu -0.18‰ untuk setiap kenaikan suhu 1°C (slope $-0.18 \text{‰}/^\circ\text{C}$, $R=0.14$). Signal suhu berkorelasi dengan $\delta^{18}\text{O}$ sekitar 0.14%.

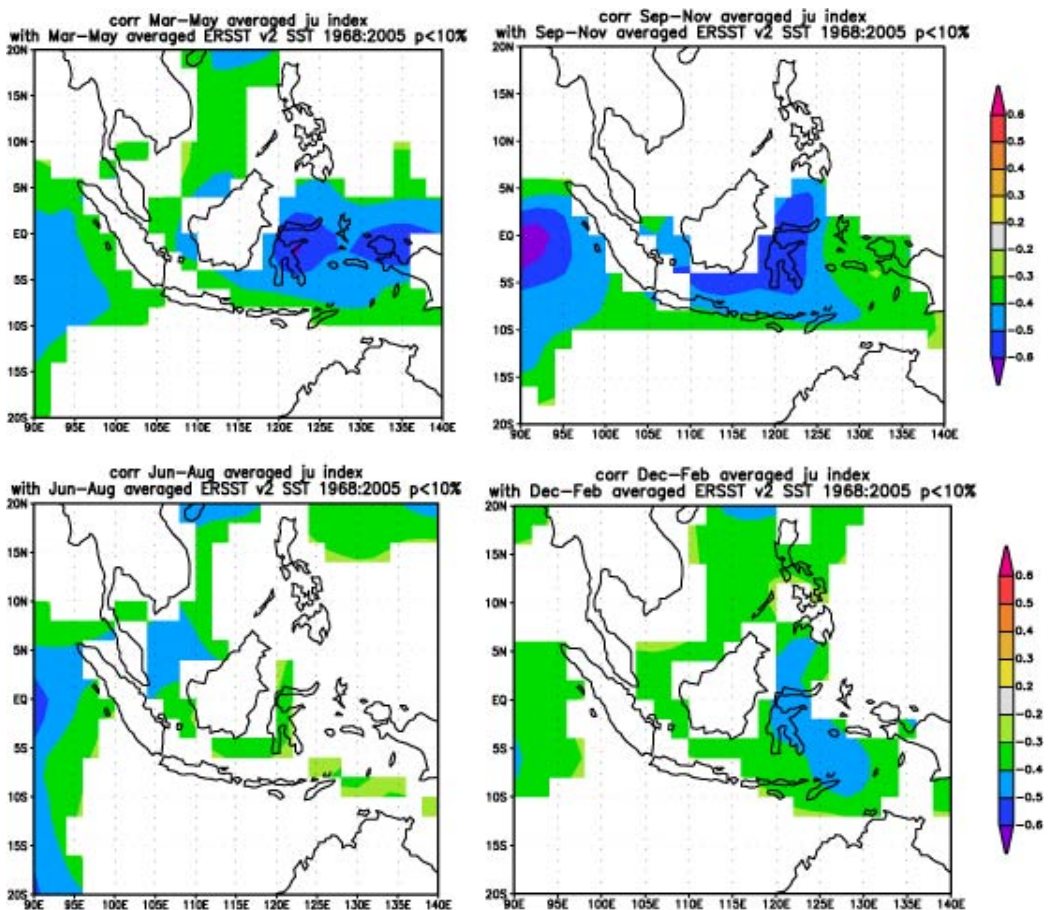
Kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca dianalisis dari koral dari wilayah Kupang Timor. Hasil analisis Sr/Ca Timor menunjukkan korelasi yang tinggi dengan suhu muka laut (Cahyarini et al., 2008a) dengan perubahan -0.04 mmol/mol untuk setiap kenaikan suhu 1°C . Sedangkan analisis $\delta^{18}\text{O}$ menunjukkan adanya pengaruh $\delta^{18}\text{O}$ air laut (-0.10‰). Berdasarkan kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca telah dilakukan rekonstruksi kandungan $\delta^{18}\text{O}$ air laut selama periode 20 th yang selanjutnya digunakan untuk rekonstruksi salinitas laut (Cahyarini et al., 2008a). Hasilnya menunjukkan kalau di Timor kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dalam koral berkorelasi tinggi dengan $\delta^{18}\text{O}$ air laut pada periode 20 tahun. Dengan menggunakan rumus hubungan antara $\delta^{18}\text{O}$ koral dengan $\delta^{18}\text{O}$ air laut (Cahyarini et al. 2008a) maka dapat dilakukan rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}$ air laut wilayah Timor dengan kisaran waktu sampai puluhan tahun lampau. Gambar 3 hasil rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}$ air laut rata-rata tahunan.



Gambar 3. Variasi musiman dari hasil rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}$ (hitam) dan salinitas dari data soda (merah) untuk periode 1958-2000

Hasil analisis korelasi spasial data $\delta^{18}\text{O}$ dari Penang Mentawai, Bunaken, kep. Seribu dan Timor menunjukkan korelasi yang signifikan dengan suhu pada bulan-bulan yang berbeda-beda antara

satu region dengan region lain di Indonesia (Cahyarini et al., 2009). Walau begitu $\delta^{18}\text{O}$ dalam koral dipengaruhi oleh presipitasi dan suhu muka laut, karena itu untuk lebih mengetahui bagaimana variasi signal suhu dalam penelitian ini dilakukan korelasi spasial antara Sr/Ca dengan suhu muka laut. Banyak penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa variasi Sr/Ca dalam koral hanya menunjukkan variasi suhu muka laut (e.g. Cahyarini et al., 2009; de Villier et al., 1994). Pada saat ini data proxy Sr/Ca yang ada dari wilayah Indonesia adalah baru dari Timor dan kepulauan Seribu. Hasil korelasi spasial Sr/Ca dari Timor menunjukkan korelasi yang tinggi dengan suhu lokal pada skala rata-rata tahunan dan bulanan. Untuk Sr/Ca dari pulau Jukung Kep. Seribu, dijumpai korelasi tinggi dengan suhu diwilayah barat Sumatra dan Indonesia bagian tengah pada rata rata bulan SON (September-Oktober-November). Gambar 4 menunjukkan korelasi spasial antara Sr/Ca dari koral Jukung dengan suhu muka laut. Tidak dijumpai korelasi Sr/Ca dari koral Bidadari dengan suhu secara spasial, diduga hal ini karena pengaruh suhu daratan yang lebih besar terhadap variasi Sr/Ca dari koral Bidadari karena koral tersebut berlokasi dekat dengan daratan



Gambar 4. Korelasi spasial antara Sr/Ca dari koral Jukung dengan suhu muka laut selama rata-rata musiman (Maret- Mei: kiri atas; Juni-Agustus: kiri bawah; September-November: kanan atas dan Desember-Februari: kanan bawah). Korelasi spasial Sr/Ca dari Bidadari dengan suhu muka laut sangat rendah diwilayah Indonesia sehingga tidak ditampilkan (lihat teks untuk diskusi)

KESIMPULAN

Berdasarkan kalibrasi $\delta^{18}\text{O}$ dengan suhu muka laut ditunjukkan bahwa variasi $\delta^{18}\text{O}$ koral dari beberapa wilayah Indonesia dipengaruhi oleh suhu muka laut dan $\delta^{18}\text{O}$ air laut. Untuk dapat merekonstruksi suhu muka laut dengan lebih jelas untuk itu masih diperlukan analisis Sr/Ca dari data koral dari beberapa wilayah mengingat Sr/Ca yang dipercaya hanya dipengaruhi oleh suhu. Korelasi Sr/Ca dengan suhu muka laut menunjukkan adanya korelasi yang tinggi pada rata-rata bulanan SON untuk koral Jukung, namun tidak terlihat dari koral Bidadari. Walau begitu masih memerlukan penelitian lanjutan apakah koral Bidadari lebih berkorelasi dengan suhu daratan karena letak Bidadari yang dekat dengan daratan. Untuk wilayah Timor, Sr/Ca menunjukkan korelasi yang tinggi pada skala rata-rata tahunan dengan suhu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abram, J.A., M.K. Gagan, J.E. Cole, W.S. Hantoro, and M. Mudelsee (2008), *Recent intensification of tropical climate variability in the Indian Ocean*, Nature, doi:10.1038/ngeo357.
- Cahyarini, S.Y., Pfeiffer, M., Timm, O., Dullo, W-C., and Schönberg, D.G., 2008a. *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, 72 (12): 2841-2853.
- Cahyarini, S.Y., 2008b, *Annual growth band analysis of Porites corals from Seribu Islands corals, Indonesia and its correlation with Precipitation*; Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan, 2008, Vol 18, No 2, ISSN 0125-9849.
- Cahyarini S.Y., J. Zinke, Purbandono, S. Troelstra, 2008c, *Geochemical monitoring of coral growth banding in Porites corals as proxy of anthropogenic induced pollution and environmental modification: case study Kepulauan Seribu-Jakarta Bay Indonesia*, Laporan KNAW.
- Cahyarini S.Y., M. Pfeiffer, and W-Chr. Dullo (2009), *Calibration of the Multicores Sr/Ca records-Sea Surface Temperature: Records from Tahiti Corals (French Polynesia)*, International Journal of Earth Sciences (DOI: 10.1007/s00531-008-0323-2).
- Charles C.D., K. Cobb, M. D. Moore, and R. G. Fairbanks (2003), *Monsoon-tropical ocean interaction in a network of coral records spanning the 20th century*, Marine Geology, 201, 207-222.
- de Villiers, S., G. T. Shen, and B. K. Nelson (1994), *The Sr/Ca temperature relationship in coralline aragonite: Influence of variability in (Sr/Ca) seawater and skeleton growth parameters*, Geochimica et Cosmochimica Acta, 58, 197-208.
- Felis, T., G. Lohmann, H. Kuhnert, S. J. Lorenz, D. Scholz, J. Pätzold, S.A. Al-Rousan, and S.M. Al-Moghrabi (2004), *Increased seasonality in Middle East temperatures during the last interglacial period*, Nature, 429, 164-168.
- Gagan, M. K., L. K. Ayliffe, D. Hopley, J. A. Cali, G. E. Mortimer, J. Chappel, J., M. T. McCulloch, and M. J. Head (1998), *Temperature and surface ocean water balance of mid-Holocene tropical western Pacific*, Science, 279, 1014-1018.
- Hendy, E. J., M. K. Gagan, C. A. Alibert, M. T. McCulloch, J. M. Lough, and P. J. Isdale (2002), *Abrupt decrease in tropical Pacific sea surface salinity at end of the little ice age*, Science, 295, 1511-1514.
- Marshall, J.F., and M.T. McCulloch (2002), *An assessment of the Sr/Ca ratio in shallow water hermatypic corals as a proxy for sea surface temperature*, Geochimica et Cosmochimica Acta, 66, 3263-3280.

- Ren, L., B. K. Linsley, G. M. Wellington, D. P. Schrag, and O. Hoegh-Guldberg (2002), *Deconvolving the $\delta^{18}O$ seawater component from subseasonal coral $\delta^{18}O$ and Sr/Ca at Rarotonga in the southwestern subtropical Pacific for the period 1726 to 1997*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, 1609-1621.
- Webster, P.J. and T.N. Palmer (1997), *The past and the future of El Niño*, *Nature*, 390, 562-564.
- Wellington, G.M., R. B. Dunbar, G. Merlen (1996), *Calibration of stable oxygen isotope signature in Galapagos corals*, *Paleoceanography*, 11 (4), 467-480.