

AKURASI REKONSTRUKSI SUHU PERMUKAAN LAUT DAN $\delta^{18}\text{O}$ AIR LAUT (SALINITAS) UNTUK INTERPRETASI IKLIM MASA LAMPAU DARI KARANG MATI (FOSIL)

The accuracy of reconstruction of sea surface temperature and seawater $\delta^{18}\text{O}$ estimates from corals: its implication of the fossil coral based-paleoclimate interpretation

Sri Yudawati Cahyarini

ABSTRAK Kandungan unsur geokimia dalam karang merupakan proksi yang menjanjikan untuk rekonstruksi iklim. Pasangan unsur Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ digunakan untuk merekonstruksi kandungan $\delta^{18}\text{O}$ air laut yang selanjutnya dapat digunakan untuk merekonstruksi salinitas di masa lampau. Dalam studi ini akan dikaji mengenai akurasi rekonstruksi kedua parameter tersebut dari contoh karang modern. Hasil dari studi ini akan dapat berguna nantinya untuk interpretasi iklim purba dari contoh karang mati (fosil). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rekonstruksi salinitas ($\delta^{18}\text{O}$ air laut) dapat dilakukan jika besaran variasi bulannya lebih besar dari pada error analisis proksi geokimia karang. Dengan mengkalikan regresi *slope* dari $\delta^{18}\text{O}$ air laut-salinitas dengan factor ~ 2 , salinitas dari wilayah Tahiti dapat direkonstruksi berdasarkan pasangan kandungan proksi Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ dari karang Tahiti.

Kata kunci : Sr/Ca, $\delta^{18}\text{O}$, Suhu Permukaan laut, $\delta^{18}\text{O}$ air laut, salinitas

ABSTRACT Geochemical proxy content in coral is such a prominent tool for climate reconstruction. Paired Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ have been used to reconstruct $\delta^{18}\text{O}$ content in seawater, which further can be used to reconstruct past salinity. In this study, the accuracy of SST and $\delta^{18}\text{O}$ seawater (salinity) estimates from paired Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ proxy content in modern (living) coral from Tahiti and Timor were assessed. The result of this study will be useful for reconstructing climate parameters using dead (fossil) corals. The result shows that seasonal variation of $\delta^{18}\text{O}$ seawater (salinity) can be reconstructed when the seasonal magnitude of those series is higher than its error propagation or analytical error of proxies. To resolve the seasonal cycle of Tahiti $\delta^{18}\text{O}$ seawater in the past based on paired Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ content in Tahiti coral, an increase of the slope of $\delta^{18}\text{O}$ seawater-salinity relationship by factor ~ 2 is required.

Keywords: Sr/Ca, $\delta^{18}\text{O}$, sea surface temperature, $\delta^{18}\text{O}$ seawater, salinity

PENDAHULUAN

Suhu permukaan laut dan salinitas merupakan parameter iklim yang penting. Pada saat ini ketersediaan data pengukuran dari keduanya hanya sampai puluhan tahun lampau. Untuk mendapatkan dan mendukung adanya model prediksi iklim dan untuk keperluan adaptasi iklim yang lebih akurat maka perlu data parameter iklim dalam skala waktu yang panjang. Hal ini dapat dilakukan salah satunya dengan menggunakan data proksi geokimia karang. Karang modern (karang yang masih hidup) dapat digunakan untuk rekonstruksi iklim sampai ratusan

Naskah masuk : 07 Agustus 2012
Naskah selesai revisi : 09 Juli 2013
Naskah siap cetak : 07 November 2013

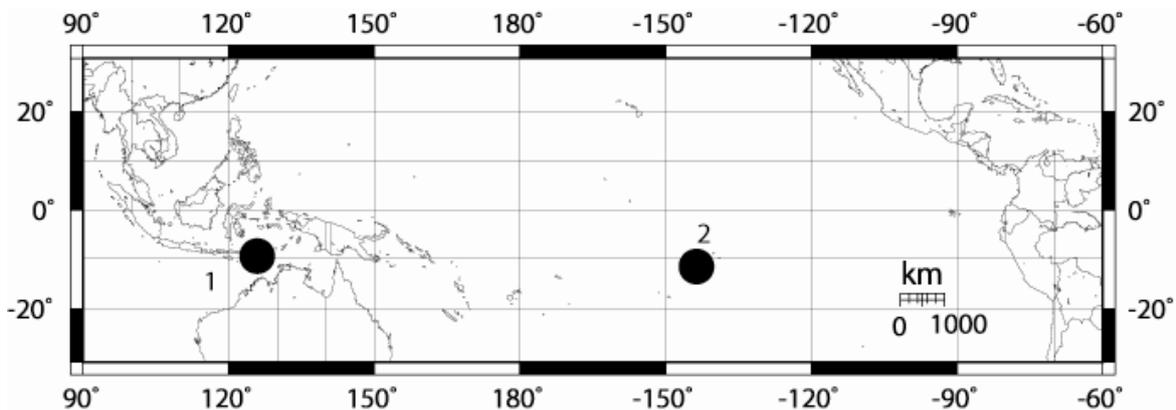
Sri Yudawati Cahyarini
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135
E-mail : yuda@geotek.lipi.go.id

tahun lampau (Cahyarini *et al.*, 2009), bahkan fosil karang dapat digunakan untuk merekonstruksi iklim sampai ribuan tahun lampau (Zinke *et al.*, 2004; Felis *et al.*, 2004). Kandungan unsur geokimia dalam karang seperti Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ telah banyak digunakan untuk rekonstruksi suhu permukaan laut (SPL) (Cahyarini *et al.*, 2009; Zinke *et al.*, 2004) dan rekonstruksi kandungan $\delta^{18}\text{O}$ air laut (Cahyarini *et al.*, 2008; Ren *et al.*, 2002). Kandungan $\delta^{18}\text{O}$ air laut ini selanjutnya dapat digunakan untuk merekonstruksi salinitas air laut. Diasumsikan bahwa kandungan $\delta^{18}\text{O}$ air laut ini berbanding lurus dengan salinitas air laut (Schmidt, 1999). $\delta^{18}\text{O}$ dalam karang mencerminkan variasi $\delta^{18}\text{O}$ air laut (selanjutnya disebut $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$) sehingga dengan mengetahui $\delta^{18}\text{O}$ dalam karang akan dapat pula digunakan untuk merekonstruksi salinitas (curah hujan). *Univariate linear regression* umumnya digunakan untuk kalibrasi dalam studi iklim masa lampau (*paleoclimate*) yaitu untuk mengetahui korelasi antara proksi dengan parameter iklim. Selanjutnya rumus regresi yang diperoleh digunakan untuk merekonstruksi parameter iklim masa lampau. Pada saat rekonstruksi SPL ($\delta^{18}\text{O}$ air laut) berdasarkan pengukuran $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca dalam karang, kovariansi antara dua variable biasanya diabaikan, karena pengukuran $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca tidak berkaitan satu sama lainnya. Dalam studi ini akan dikaji mengenai akurasi rekonstruksi SPL ($\delta^{18}\text{O}$ air laut) dan implikasinya terhadap interpretasi iklim masa lampau dengan menggunakan fosil karang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data proksi yang sudah tersedia dari Cahyarini *et al.* (2008), yaitu Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ dari karang yang diambil dari Timor, Indonesia dan Tahiti, French Polynesia (Gambar 1). Data parameter iklim SPL dan salinitas digunakan data dari database *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA) versi 142 (Carton & Giese, 2008). Data proksi geokimia karang dan data SPL (salinitas) tersebut kemudian dilakukan analisa statistik standar untuk data berturutan (*timeseries*), simulasi montecarlo (*montecarlo simulation*) yang digunakan untuk membangun data sampel acak (*random sample*) berdasarkan dari beberapa distribusi yang diketahui dari hasil data numeris hasil pengukuran.

Dalam studi geokimia karang untuk rekonstruksi iklim digunakan pendekatan regresi linier untuk melihat hubungan antara proksi dengan data model maupun pengukuran (Cahyarini *et al.*, 2008). Berdasarkan rumus regresi yang diperoleh, digunakan untuk merekonstruksi parameter iklim seperti SPL, dan $\delta^{18}\text{O}$ air laut yang selanjutnya digunakan untuk rekonstruksi salinitas masa lampau. Salinitas direkonstruksi berdasarkan hubungan linier dengan $\delta^{18}\text{O}$ air laut (Schmidt, 1999). Koefisien korelasi menyatakan tingkatan hubungan antara proksi dan data historis iklim. Besarnya pengaruh perubahan data iklim yaitu SPL, salinitas terhadap proksi dinyatakan dari koefisien regresi. Data SPL dan salinitas diperoleh dengan mengambil nilai rata-rata bulanan. Berdasarkan data tersebut ditentukan maksimum ataupun minimum nilai SPL dan salinitas nya.



Gambar 1. Lokasi koral yang digunakan dalam studi ini: (1) Timor dan (2) Tahiti.

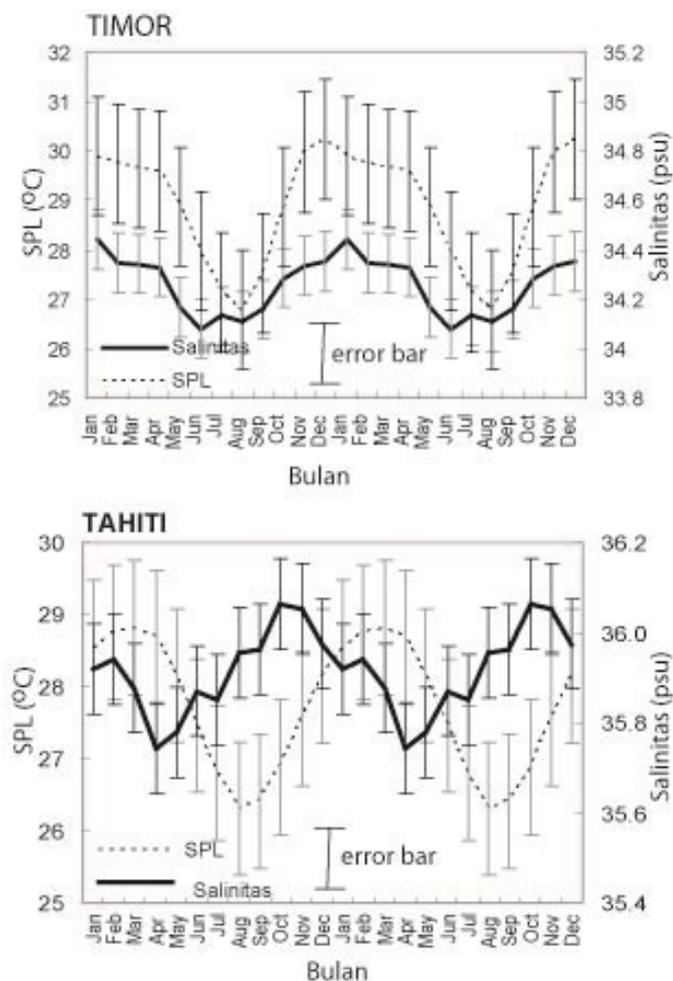
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahiti terletak di wilayah *South Western Tropical Pacific* (Gambar 1). Perubahan suhu permukaan laut dan salinitas permukaan laut di wilayah ini dipengaruhi oleh migrasi dari *South Pacific Convergence Zone* (SPCZ) yaitu zona awan penghasil hujan yang membentang diwilayah Pasifik bagian barat daya. Berdasarkan hasil data suhu permukaan laut rata-rata bulanan terlihat bahwa minimum SPL di Tahiti terjadi pada bulan Agustus sedangkan untuk salinitas terjadi pada bulan April. Maksimum SPL di Tahiti terjadi pada bulan Maret dan maksimum salinitas terjadi bulan Oktober.

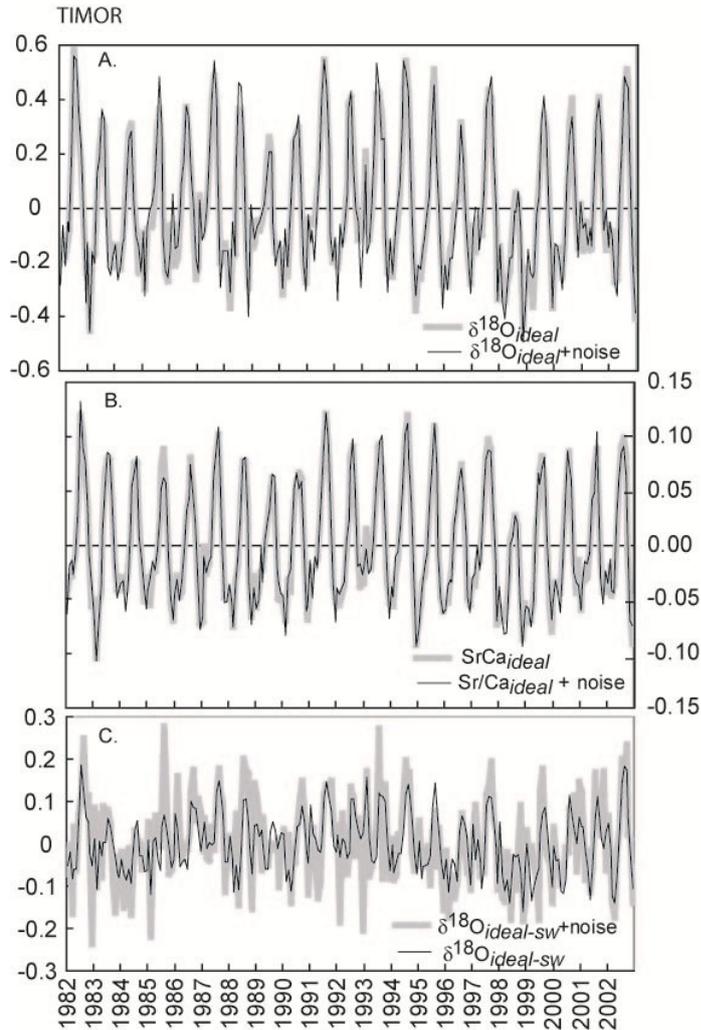
Rata-rata siklus musiman SPL memiliki besaran $2.5^{\circ}C$, sedangkan untuk salinitas adalah 0.3 psu. Gambar 2 menunjukkan rata-rata bulanan dari

SPL dan salinitas di wilayah Tahiti French Polynesia.

Timor terletak di wilayah Indonesia bagian tengah. Iklim di wilayah ini dipengaruhi oleh musim, fenomena iklim global seperti El Nino Southern Oscillation dan Indian Ocean Dipole dan juga dipengaruhi oleh Arlindo (arus lintas Indonesia yang dikenal sebagai *Indonesian Throughflow*). Fenomena-fenomena iklim tersebut berpengaruh pada curah hujan dan temperatur (SPL) di wilayah ini. Berdasarkan data rata-rata bulanan klimatologi untuk Timor, maximum curah hujan terjadi pada bulan Juni dan minimum terjadi pada bulan Februari. Sedangkan maksimum SPL terjadi pada bulan Desember dan minium pada bulan Agustus (Gambar 2).



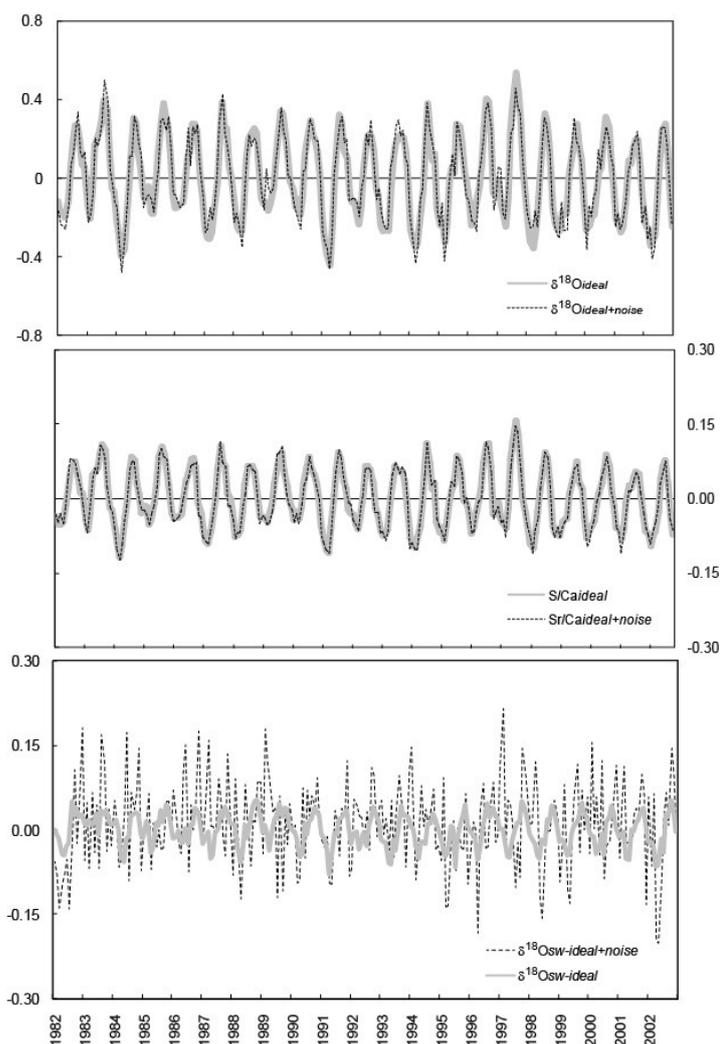
Gambar 2. Rata-rata bulanan dari suhu permukaan laut (SPL) dan salinitas di lokasi penelitian Timor (atas) dan Tahiti (bawah). Data SPL dan salinitas dari dataset SODA v, 142 dari Carton & Giese (2008).



Gambar 3. Variasi bulanan (A) $\delta^{18}\text{O}$ ideal (garis abu-abu), (B) Sr/Ca ideal (garis abu-abu) dan (C) $\delta^{18}\text{O}$ air laut ($\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$) ideal (garis hitam) dan jika ditambahkan noise. Data geokimia dari koral Timor. Data Sr/Ca, $\delta^{18}\text{O}$ sudah dikonversi dalam unit temperatur dan sudah di-centering.

Kandungan Sr/Ca dalam karang dipercaya sebagai proksi temperatur (De Villier, 1994; Marshall & McCulloch, 2002). Sedangkan pasangan Sr/Ca dan $\delta^{18}\text{O}$ digunakan untuk rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}$ air laut (Ren *et al.*, 2002; Cahyarini *et al.*, 2008) yang selanjutnya dari hasil $\delta^{18}\text{O}$ air laut dapat digunakan untuk rekonstruksi salinitas (Schmidt 1999). Untuk mengetahui hubungan antara data proksi geokimia karang dengan parameter iklim regresi linear dilakukan antara kedua data *time series* tersebut dalam resolusi bulan. Hasil kalibrasi dengan univariat regresi linier antara Sr/Ca dan SPL masih menghasilkan nilai slope yang berbeda-beda dengan kisaran -0.03- -0.08 mmol/mol/oC dengan intersep yang berbeda-beda (e.g.

Cahyarini *et al.*, 2009; Mitsuguchi *et al.*, 2003; Felis *et al.*, 2004), sehingga nilai absolut SPL sulit diperoleh. Hasil rekonstruksi bulanan dan rata-rata tahunan SPL dari contoh karang hidup (modern) memiliki varian yang sangat berbeda dengan SPL model (Cahyarini *et al.*, 2009), hal ini berimplikasi terhadap rekonstruksi SPL maupun $\delta^{18}\text{O}$ air laut (salinitas) dengan menggunakan contoh karang mati. Metodologi rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}$ air laut juga masih merupakan perdebatan, dimana peneliti lain masih menggunakan univariat regresi linier untuk kalibrasi $\delta^{18}\text{O}$ -SPL (Gagan *et al.*, 1998) yang mana idealnya dengan menggunakan multivariat regresi linier antara $\delta^{18}\text{O}$ karang -SPL, $\delta^{18}\text{O}$ air laut.



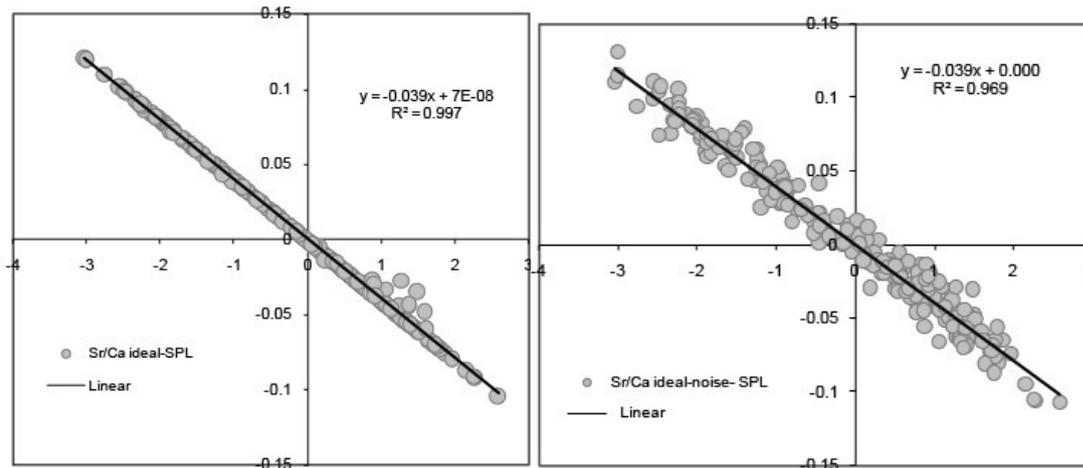
Gambar 4. Variasi bulanan (A) $\delta^{18}O$ (garis abu-abu), (B) Sr/Ca (garis abu-abu) dan (C) $\delta^{18}O$ air laut ($\delta^{18}Osw$) ideal (garis abu-abu) dan jika ditambahkan noise. Data geokimia dari karang Tahiti. Data Sr/Ca, $\delta^{18}O$ sudah dikonversi dalam unit temperatur dan sudah di-centering.

Walau begitu, melalui metode *centering* maupun *derivative*, *error* hasil rekonstruksi $\delta^{18}O$ dapat dikurangi (e.g Ren *et al.*, 2002; Cahyarini *et al.*, 2008).

Hasil regresi linear SPL dengan data geokimia Sr/Ca karang Timor (Cahyarini *et al.*, 2008) menunjukkan bahwa pengaruh variasi bulanan SPL terhadap variasi Sr/Ca diperoleh -0.05 mmol/mol/ $^{\circ}C$. Data SPL diperoleh dari database SODA 142. Dalam studi ini dihitung variasi ideal Sr/Ca. Untuk mendapatkan variasi ideal dari Sr/Ca, data SPL dikonversikan ke Sr/Ca (selanjutnya disebut sebagai Sr/Ca_{ideal}). Konversi SPL ke Sr/Ca dilakukan dengan mengurangi SPL

dengan rata-rata nya (*centering*) dan kemudian dikalikan dengan faktor -0.05 (Gambar 3,4) sehingga diperoleh Sr/Ca_{ideal}. Kesalahan standar (*standard error*) dari Sr/Ca yang terkandung dalam karang adalah 0.02 mmol/mol (1δ) untuk Timor dan 0.01 untuk Tahiti. *Error (noise)* ini ditambahkan ke Sr/Ca_{ideal}, selanjutnya hasilnya di regresikan dengan data SPL.

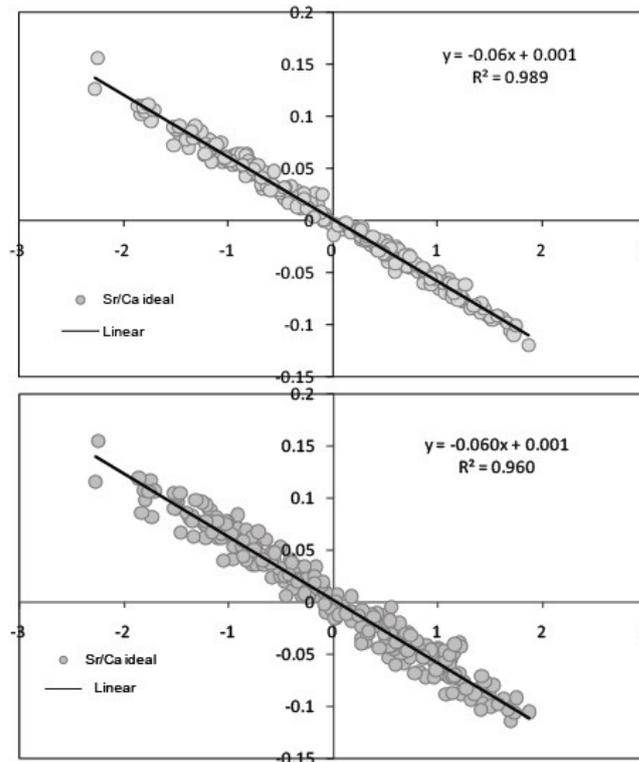
Gambar 3 menunjukkan variasi Sr/Ca_{ideal} (Sr/Ca_{ideal} + noise) dan $\delta^{18}O_{ideal}$ ($\delta^{18}O_{ideal}$ + noise) dan juga rekonstruksi $\delta^{18}O$ air laut baik variasi idealnya maupun variasinya setelah ditambahkan error untuk Timor dan Gambar 4 untuk karang Tahiti. Error Sr/Ca menghasilkan berkurangnya



Gambar 5. Regresi linear antara Sr/Ca_{ideal} dengan suhu permukaan laut (SPL)(kiri) dan $Sr/Ca_{ideal} + noise$ dengan SPL (kanan) dari karang Timor.

korelasi antara Sr/Ca dengan SPL. Walaupun begitu hasil prediksi dari SPL dengan resolusi rata-rata bulanan sangat akurat, hal ini konsisten dengan kalibrasi Sr/Ca -SPL dari karang hidup dari Tahiti maupun Timor (Cahyarini *et al.*, 2008). Gambar 5 menunjukkan hasil kalibrasi antara Sr/Ca_{ideal} ($Sr/Ca_{ideal} + noise$) dengan SPL untuk karang dari Timor. Gambar 6 menunjukkan hasil kalibrasi antara Sr/Ca_{ideal} ($Sr/Ca_{ideal} + noise$) dengan SPL untuk karang dari Tahiti. Rekonstruksi $\delta^{18}O$ air laut (selanjutnya disebut $\delta^{18}O_{sw}$) dilakukan berdasarkan pasangan unsur

geokimia dalam karang yaitu $\delta^{18}O$ dan Sr/Ca telah banyak dilakukan pada penelitian terdahulu yaitu (Cahyarini *et al.*, 2008; Ren *et al.*, 2002; Deng *et al.*, 2009; Mitsuguchi *et al.*, 2003; Gagan *et al.*, 1998). Cahyarini *et al.* (2008) menyebutkan bahwa rekonstruksi $\delta^{18}O_{sw}$ dalam skala seasonal dari karang Tahiti memiliki *error* yang lebih besar dari variasi seasonal salinitas di wilayah tersebut, sehingga sulit untuk direkonstruksi.



Gambar 6. Regresi linear antara Sr/Ca_{ideal} dengan suhu permukaan laut (SPL) (atas) dan $Sr/Ca_{ideal} + noise$ dengan SPL (bawah) dari karang Tahiti.

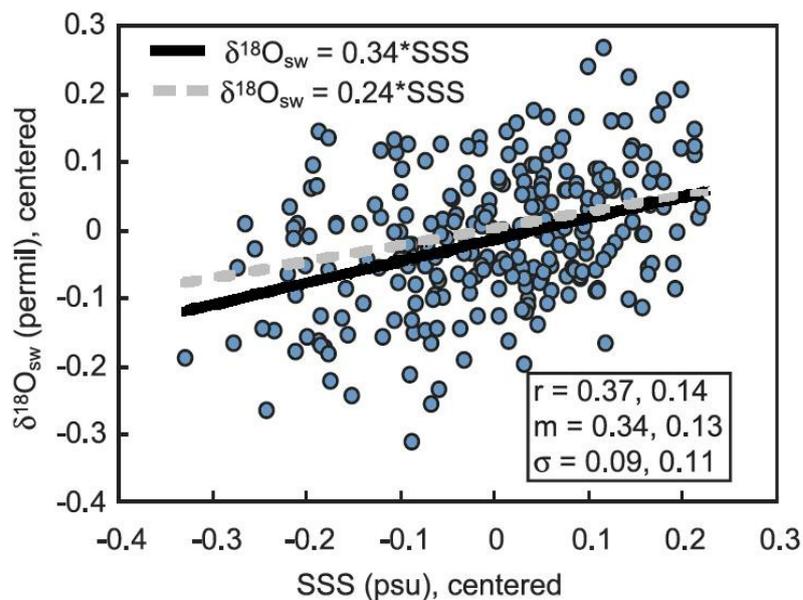
Sebaliknya dari karang Timor, $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ dapat direkonstruksi berdasarkan kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca dalam karang dari Timor karena kesalahan (*error*) hasil rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ lebih kecil dibandingkan dengan magnituda variasi salinitas musiman (*seasonal salinity*) di wilayah ini. Dalam studi ini dapat dilihat pengaruh kesalahan analisis terhadap rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ seperti terlihat pada Gambar 3, 4. Dari karang Tahiti terlihat bahwa variasi hasil rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} + \text{noise}$ jauh lebih besar dibandingkan dengan variasi rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw-ideal}}$.

Untuk karang Timor terlihat bahwa perbandingan antara hasil rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} + \text{noise}$ tidak begitu jauh perbedaannya dengan $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw-ideal}}$ (Gambar 3, 4).

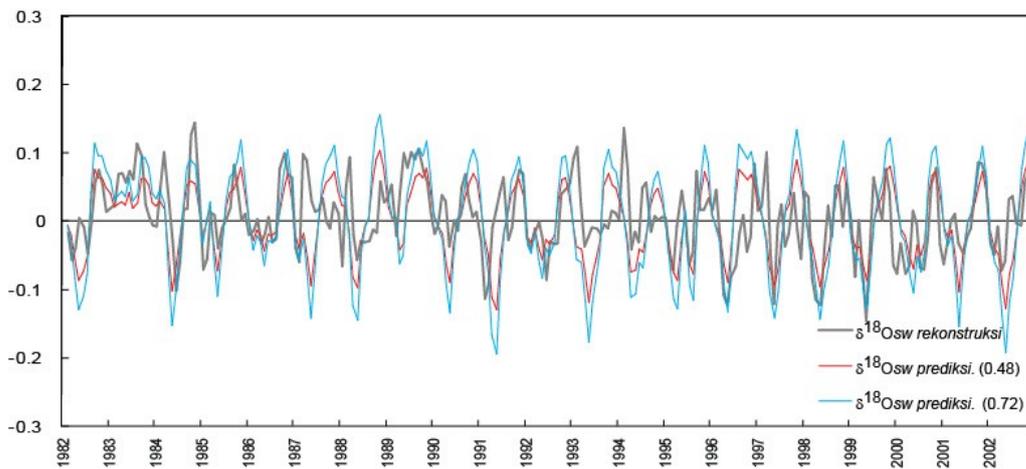
Korelasi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ -SSS (0,24 permil/psu) diperkirakan berdasarkan data GEOSECS (Schmidt, 1999; Schmidt *et al.*, 2011; Aharon, 1991) pada koordinat 125-175°W, 16-24°S. Data instrumental salinitas diambil dari data SODA 142 dan kemudian dikonversikan ke satuan $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ dengan mengurangkan dengan rata-rata salinitas dan selanjutnya mengkalikan dengan faktor 0.24. Kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dalam karang merupakan fungsi dari SPL dan $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$. SPL dihasilkan dari Sr/Ca (selanjutnya disebut SPL_{srca}).

Hasil pengurangan $\delta^{18}\text{O}$ karang dengan SPL_{srca} setelah keduanya dikonversikan dalam satuan yang sama yaitu satuan SPL akan mendapatkan variasi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$. Hasil rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ diregresikan dengan salinitas. Korelasi antara $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ hasil rekonstruksi dengan salinitas dalam kisaran 0,37-0,14 (Gambar 7). Error $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ hasil rekonstruksi besar yaitu berkisar 0,09-0,11. Korelasi antara $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ hasil dari karang modern dengan salinitas adalah $r=0,3$ (Cahyarini *et al.*, 2008; Cahyarini *et al.*, 2009). Untuk mendapatkan variasi seasonal paling tepat dilakukan observasi penghitungan $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ dengan menggunakan beberapa *slope* regresi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ -SSS yaitu $m= 0.34, 0.44, 0.72$, dimana $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} = m * \delta\text{SSS}$ (Schmidt, 1999; Schmidt *et al.*, 2011). Perbedaan amplitudo antara hasil rekonstruksi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ dengan $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ semakin tepat dengan mengalikan korelasi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ -salinitas (0,24 permil/psu) dengan faktor $\sim 0,2$ (0,44 permil/psu).

Namun dengan menggunakan *slope regresi* 0,72 permil/psu dimana $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ -salinitas dikalikan dengan faktor $\sim 0,3$ terlihat bahwa varian menjadi semakin besar (Gambar 8). Gambar 8 menunjukkan perbandingan variasi *seasonal* $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ (dalam ‰) hasil rekonstruksi dengan prediksi $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ dengan menggunakan koefisien



Gambar 7. Korelasi antara $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ hasil rekonstruksi dengan salinitas, untuk perubahan $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ relatif terhadap salinitas 0,24 permil/psu (garis putus-putus) dan 0,34 permil/psu (garis hitam).



Gambar 8. Variasi seasonal $\delta^{18}\text{Osw}$ (dalam ‰) hasil rekonstruksi dibandingkan (garis abu-abu) dengan prediksi $\delta^{18}\text{Osw}$ dengan menggunakan koefisien 0.72 (garis biru) dan 0.48 (garis merah).

0,72 dan 0,48. Dilakukan perata-rataan (*smoothing*) 2 bulanan (*2 points running average*).

KESIMPULAN

Kandungan Sr/Ca dalam karang dapat menangkap signal bulanan SPL karena *error* analisisnya kecil. Variasi $\delta^{18}\text{Osw}$ /salinitas adalah kecil relatif terhadap $\delta^{18}\text{Osw}$ yang diestimasi berdasarkan kandungan $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca dalam karang. Slope regresi antara $\delta^{18}\text{Osw}$ -salinitas berkisar antara 0,34 - 0,14. Variasi seasonal dari salinitas tidak dapat direkonstruksi jika besaran (magnituda) variasi bulannya lebih kecil dari *error* standarnya. Implikasinya, dalam studi ini untuk dapat merekonstruksi variasi musiman dari $\delta^{18}\text{Osw}$ (salinitas) dimasa lampau di wilayah Tahiti berdasarkan pasangan $\delta^{18}\text{O}$ dan Sr/Ca karang Tahiti, diperlukan kenaikan *slope regresi* antara $\delta^{18}\text{Osw}$ dengan salinitas dengan mengkalikan terhadap faktor ~ 2 . Karang dari wilayah Timor dapat digunakan untuk rekonstruksi salinitas karena magnituda variasi musiman dari $\delta^{18}\text{Osw}$ (salinitas) besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Miriam Pfeiffer atas diskusi dan masukannya. Terimakasih juga kepada *reviewer* atas masukan dan koreksiannya sehingga manuskrip ini menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aharon, P., 1991. Recorders of reef environment histories: stable isotopes in corals, giant clams, and calcareous algae, *Coral Reefs*, 10, 71-90.
- Cahyarini S.Y., M.Pfeiffer, dan 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*, 98: 31-40, DOI: 10.1007/s00531-008-0323-2.
- Cahyarini S.Y., M. Pfeiffer, O. Timm, W-Chr.Dullo, dan D. Garbe-Schoenberg, 2008. 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*, 72/12: 2841 – 2853, DOI: 10.1016/j.gca.2008.04.005.)
- Carton, J.A., dan B.S. Giese, 2008. A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA), *American Meteorological Society*, DOI: 10.1175/2007MWR1978.1.
- De Villiers, S., G. T. Shen, dan 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, dan 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.
- Marshall, J. F. dan McCulloch, M. T., 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.
- Mitsuguchi, T., E. Matsumoto, dan T. Uchida, 2003. Mg/Ca and Sr/Ca ratios of Porites coral skeleton: Evaluation of the effect of skeletal growth rate, *Coral Reefs*, DOI: 10.1007/s00338-003-0326-1.
- Ren, L., B. K. Linsley, G. M. Wellington, D. P. Schrag, dan 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.
- Schmidt, G. A., 1999. Error analysis of paleosalinity calculations, *Paleoceanography*, 14 (3): 422-429.
- Schmidt, G.A., Michael E. Mann, Scott D. Rutherford, 2011. Discussion of: A statistical analysis of multiple temperature proxies: Are reconstructions of surface temperatures over the last 1000 years reliable? *The Annals of Applied Statistics*, 5 (1): 65-70.
- Deng, W-F., Gang-jian Wei, Xian-hua Li, Ke-fu Yu, Jian-xin Zhao, Wei-dong Sun dan Ying Liu, 2009. Paleoprecipitation record from coral Sr/Ca and $\delta^{18}O$ during the mid Holocene in the northern South China Sea, *The Holocene*, 19 (6): 811-821, DOI:10.1177/0959683609337355.
- Zinke J., W.-Chr. Dullo, G.A. Heiss, dan A. Eisenhauer, 2004. ENSO and Indian Ocean subtropical dipole variability is recorded in a coral record off southwest Madagascar for the period 1659 to 1995, *Earth and Planetary Science Letters*, 288: 177-194.

