

Tren kenaikan suhu permukaan laut pada abad ke-14 berdasarkan data geokimia Sr/Ca dari fosil koral Mentawai

S. Y. CAHYARINI

Puslit Geoteknologi LIPI, Kompleks LIPI Gd. 70 Sangkuriang Bandung

SARI

Kandungan Sr/Ca dalam koral telah banyak digunakan untuk merekonstruksi suhu permukaan laut di masa lampau. Dalam studi ini dilakukan analisis Sr/Ca yang terkandung dalam *top core* fosil koral dari wilayah Mentawai Tengah. Dari hasil penarikan U/Th diperkirakan fosil koral tersebut hidup pada abad ke - 14. Berdasarkan hasil Sr/Ca diperkirakan *top core* fosil tersebut memiliki kisaran waktu 11 tahun. Hasil studi ini menunjukkan adanya kenaikan suhu permukaan laut sekitar 3,2^oC selama periode sebelas tahun yang terjadi pada abad ke -14.

Kata kunci: koral, Sr/Ca, suhu permukaan laut

ABSTRACT

Sr/Ca content ratio in coral is a promising tool for a sea surface temperature reconstruction. In this study, Sr/Ca was analyzed from the top core of fossil coral from Central Mentawai, Indonesia (BLS). The dating of U/Th is used for the age determination of the fossil coral. Based on the U/Th dating, the fossil coral used in this study was deposited in 14th century which approximately has a time range 11 years. The result of this study shows that in the 14th century, the sea surface temperature increased by 3.2^o C during 11 years period.

Keywords: coral, Sr/Ca, sea surface temperature

PENDAHULUAN

Wilayah barat daya Sumatra merupakan suatu kawasan kunci untuk studi fenomena iklim global seperti *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD). Kedua fenomena ini menyebabkan adanya anomali negatif suhu permukaan laut (SPL) yang terjadi di wilayah timur Samudra Hindia. Kejadian El Nino (IOD) akan diikuti oleh penurunan suhu permukaan laut yang cukup signifikan di wilayah barat daya Sumatra ini. Kedua fenomena iklim global ini menjadi sangat penting karena memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap perekonomian di wilayah Indonesia. Sebagai contoh El Nino/IOD tahun 1997/1998 menimbulkan dampak kekeringan di beberapa wilayah Indonesia. Untuk lebih memahami perilaku iklim terutama fenomena ENSO (IOD) dan dampaknya terhadap suatu wilayah, di-

perlu studi variabilitas iklim dan juga prediksi/adaptasi iklim.

Supaya prediksi perubahan iklim untuk adaptasi menjadi lebih akurat diperlukan data parameter iklim masa lampau dan masa kini. Kesulitan tentang data parameter masa lampau, kini dapat dipecahkan melalui analisis kandungan kimia bagian dalam koral masif (dikenal dengan sebutan data proksi koral). Koral Scleractinian masif ini dikenal sebagai alat yang sangat menjanjikan untuk studi iklim purba, karena penyebarannya yang sangat luas dan hampir dijumpai di seluruh perairan dangkal di permukaan bumi. Koral, dalam pertumbuhannya, membentuk lapisan yang dapat menunjukkan kronologi (urut-urutan waktu) seperti halnya lingkaran tahunan dalam pohon, dan mampu tumbuh dengan jangka waktu sampai ribuan tahun. Dalam pertumbuhannya, koral juga membentuk unsur-unsur kimia yang dapat berfungsi sebagai

informasi suhu permukaan laut, curah hujan, dan perubahan lingkungan lainnya (Gagan dr., 1998; Linsley dr., 2000; Pfeiffer dr., 2004).

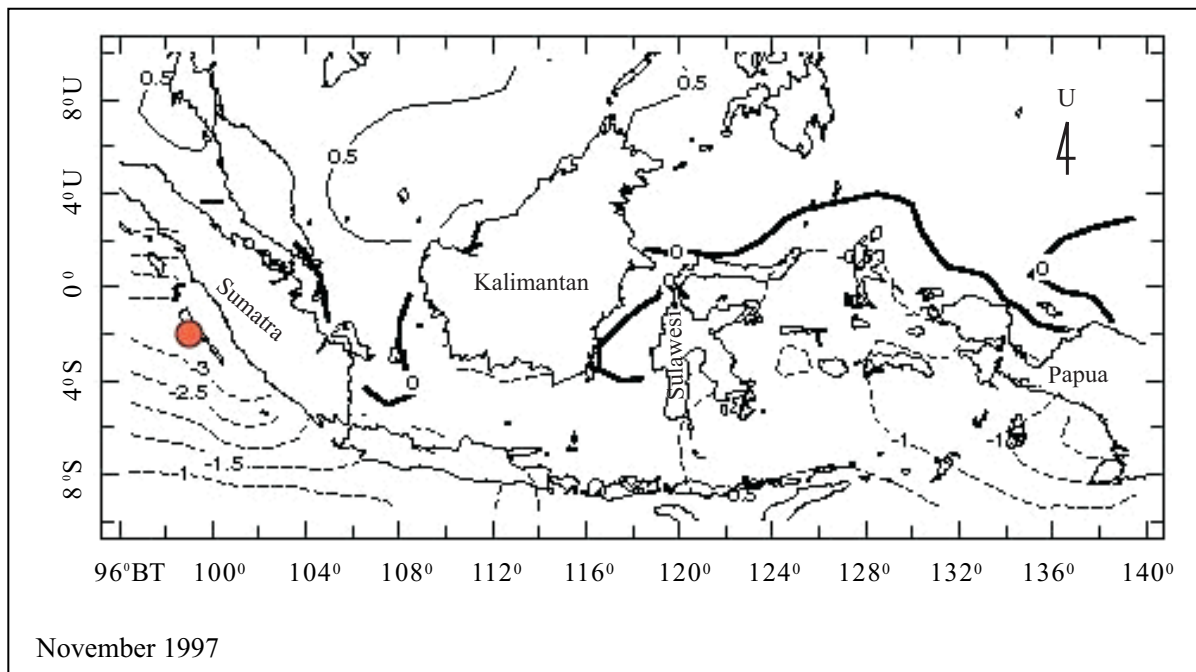
Studi yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu membuktikan bahwa unsur geokimia proksi dalam koral berupa rasio Sr/Ca dapat digunakan untuk merekonstruksi suhu (de Villiers dr., 1994; Gagan dr., 1994;1998; Linsley dr., 2000; Cahyarini dr., 2009). Dalam studi ini dilakukan pengambilan percontoh dan analisis terhadap unsur geokimia Sr/Ca dalam *top core* fosil koral dari daerah Mentawai Tengah. Terhadap hasil analisis Sr/Ca tersebut kemudian dilakukan proses analisis statistik untuk data time series. Perubahan suhu permukaan laut akan direkonstruksi berdasarkan kandungan Sr/Ca dalam koral.

DATA DAN METODOLOGI

Koral masif (BLS) jenis *Porites* diambil di lokasi Pulau Bulasat dengan koordinat 100°31' BT dan 3°13' LS (Gambar 1). Koral dipotong dalam bentuk lempengan dengan tebal 1 cm. Lempengan koral (*coral slab*) ini kemudian dicuci dalam *ultrasonic*

bath untuk menghilangkan kotoran dan debu yang menempel pada koral, sehingga nantinya akan didapat percontoh bubuk koral yang bersih. Foto X-ray dilakukan pada lempengan koral yang telah dicuci untuk dapat melihat dengan jelas perlapisan pertumbuhan tahunan (*annual growth banding*) koral dan juga sumbu pertumbuhannya. Berdasarkan hasil X-ray, koral dapat ditentukan transek dalam pengambilan percontoh bubuk koral untuk analisis Sr/Ca, yaitu harus dilakukan sepanjang sumbu pertumbuhannya (Cahyarini dr., 2009). Analisis Sr/Ca dilakukan dengan metode ICP OES di Universitas Kiel, Jerman. Metode preparasi untuk analisis Sr/Ca mengikuti metode Schrag, (1997) dan de Villier dr. (1994) yaitu bubuk koral ditimbang dengan berat berkisar 0,2 mg – 0,5 mg, kemudian dilarutkan dalam 1 ml HNO₃ 2 % (Cahyarini dr., 2009).

Sr/Ca yang terkandung dalam koral telah dipercaya sebagai proksi temperatur yang mempunyai koefisien distribusi konsentrasi Sr/Ca dalam aragonit terhadap ambang batas air laut yang dipengaruhi hanya oleh suhu permukaan laut (SPL). Dengan asumsi bahwa selama periode kalibrasi, kandungan Sr/Ca dalam air laut adalah konstan, maka variasi kandungan Sr/Ca dalam aragonit hanya dipengaruhi



Gambar 1. Peta suhu permukaan laut pada bulan November 1997 ketika terjadi El Nino (kontur). Lokasi pengambilan percontoh koral BLS (titik).

oleh SPL. Karena itulah variasi Sr/Ca dalam koral menunjukkan variasi SPL. Variasi Sr/Ca terhadap perubahan suhu permukaan laut adalah dalam kisaran $-0,04 - -0,08$ mmol/mol/ $^{\circ}$ C (Cahyarini dr., 2009; Beck dr., 1992; Alibert & McCulloch, 1999; Gagan dr., 1994;1998). Dalam studi ini analisis Sr/Ca dilakukan untuk melihat variasi SPL di masa lampau, yang tidak tercakup oleh alat pengukuran suhu biasa. Itulah mengapa kandungan geokimia koral dianggap sebagai salah satu alat pencatat suhu yang menjanjikan untuk dapat mengukur suhu pada ratusan tahun ke belakang, bahkan fosil koral dapat merekam suhu ribuan tahun ke belakang.

Penentuan umur absolut koral ditentukan dengan metode penarikan U/Th yang telah dipublikasikan oleh Natawidjaja dr. (2006) dan Chou Shen dr. (2008). Penghitungan perlapisan pertumbuhan tahunan digunakan sebagai data pendukung untuk menentukan kronologi awal koral.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi proksi geokimia yang terkandung dalam koral dari wilayah Mentawai ini pernah dilakukan oleh Abram dr. (2008). Namun para penulis tersebut menggunakan unsur $\delta^{18}\text{O}$ dalam koral untuk merekonstruksi iklim dengan lokasi pengambilan percontoh koral di Pulau Penang (Mentawai Tengah). Hasil kajiannya menunjukkan bahwa $\delta^{18}\text{O}$ dalam koral merekam jelas pengaruh penurunan suhu permukaan laut dengan drastis oleh fenomena iklim *Indian Ocean Dipole* (IOD). Selain itu, disebutkan pula bahwa $\delta^{18}\text{O}$ dalam koral memiliki korelasi yang signifikan dengan suhu permukaan laut (SPL) dari database *Comprehenship Ocean Atmospher Data sets* (COADS) (yaitu $R = -0,42$, $p = 0,0000$, 1880-1997). Walaupun begitu, $\delta^{18}\text{O}$ dalam koral juga dipengaruhi oleh kandungan $\delta^{18}\text{O}$ air laut. Untuk itu perlu dilakukan analisis data geokimia proksi yang merupakan proksi SPL, yaitu Sr/Ca, sehingga rekonstruksi SPL dapat dilakukan dengan lebih akurat. Peneliti terdahulu belum pernah ada yang melakukan analisis rekaman Sr/Ca dalam koral dari wilayah Mentawai ini.

Pengukuran Sr/Ca dilakukan pada percontoh *top core* fosil koral BLS. Dalam penelitian ini, penentuan umur absolut koral masif daerah penelitian menggunakan data yang telah dihasilkan oleh peneliti

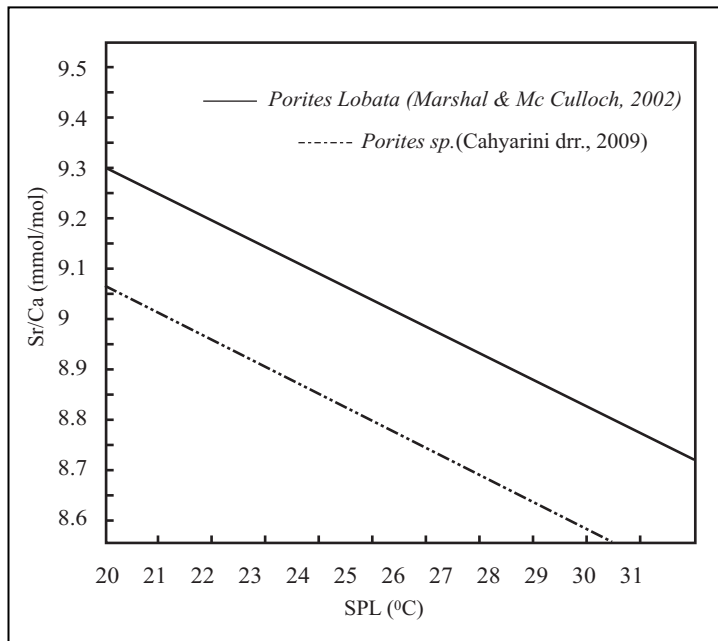
sebelumnya (Natawidjaya dr., 2006; Chou-Shen dr. 2008) yaitu sekitar 1341 ± 20 tahun. Kombinasi hasil penarikan dan penghitungan perlapisan tahunan top koral atau perlapisan paling atas percontoh fosil koral BLS memberikan umur sekitar 1347 ± 20 tahun. Berdasarkan kronologi tersebut diketahui bahwa koral BLS hidup pada abad ke - 14 dan berdasarkan variasi bulanan Sr/Ca diperkirakan percontoh koral BLS memiliki kisaran waktu 11 tahun. Dalam studi ini, hasil analisis geokimia unsur Sr/Ca pada fosil koral (BLS) menunjukkan nilai yang berkisar dari 8,521 mmol/mol sampai 8,843 mmol/mol, dengan rata-rata Sr/Ca adalah 8,704 mmol/mol. Tabel 1 di bawah menunjukkan deskripsi statistik kandungan Sr/Ca fosil koral BLS dan suhu permukaan laut.

Idealnya untuk melakukan rekonstruksi SPL berdasarkan Sr/Ca perlu diketahui kandungan Sr/Ca koral modern (koral yang masih hidup), sehingga dapat dilakukan kalibrasi antara Sr/Ca koral modern dengan SPL pengukuran pada saat lalu. Hasil persamaan kalibrasi tersebut kemudian dapat digunakan untuk melakukan rekonstruksi SPL. Ketidakterediaan rekaman koral modern tidak menghalangi untuk melakukan rekonstruksi SPL dari fosil koral. Dalam rekonstruksi suhu permukaan laut berdasarkan Sr/Ca koral, hanya nilai relatif (perubahan) SPL yang dapat direkonstruksi dan bukan nilai absolutnya (Cahyarini dr., 2009; Marshall dan McCulloch, 2002; Felis dr., 2004). Hal ini karena hasil kalibrasi Sr/Ca dengan SPL masih menghasilkan persamaan kalibrasi yang berbeda-beda dalam spesies yang sama untuk satu koloni, bahkan untuk yang berbeda koloni. Walau begitu, nilai *slope* persamaan regresi liniernya konstan (Gambar 2).

Untuk itu, dalam studi ini akan direkonstruksi perubahan SST berdasarkan Sr/Ca. Regresi linear umumnya digunakan dalam studi paleoiklim untuk merekonstruksi parameter iklim di masa lampau.

Tabel 1. Deskripsi Statistik Percontoh Fosil Koral BLS

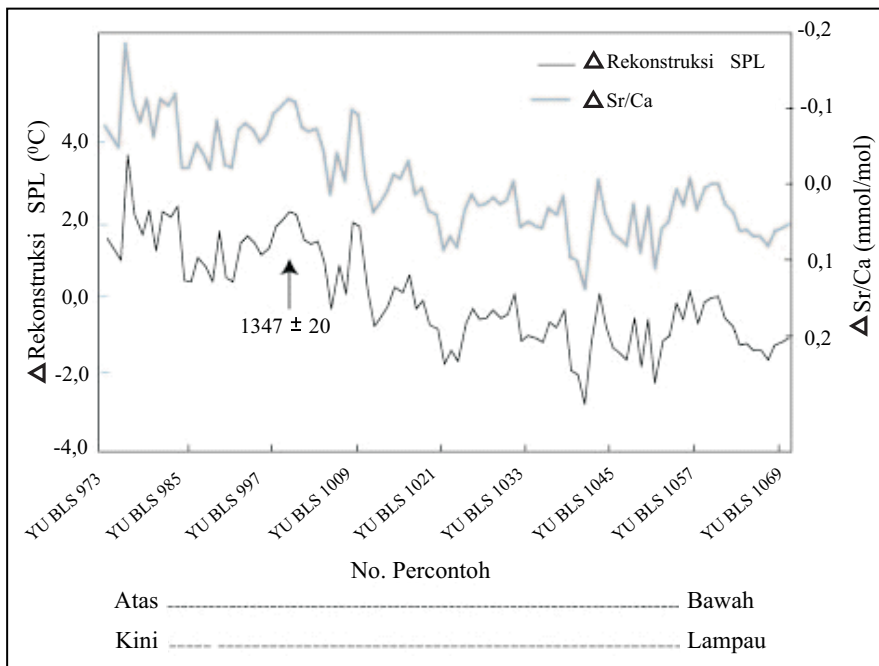
BLS	
n	98,000
Mean	8,704
Standard Deviation	0,064
Minimum	8,521
Maximum	8,843
Confidential Level (95%)	0,013



Gambar 2. Regresi linear antara suhu permukaan laut dengan kandungan Sr/Ca dalam korals dari spesies yang berbeda.

Dalam penelitian ini, nilai *slope* regresi yang digunakan antara Sr/Ca dengan SPL adalah $-0,05 \text{ mmol/mol}^{\circ}\text{C}$. Hal ini mengingat nilai *slope* regresi Sr/Ca

korals Indonesia (Cahyarini drr., 2010, dlm persiapan) dijumpai pada nilai $-0,05 \text{ mmol/mol}^{\circ}\text{C}$. Gambar 3 menunjukkan perubahan kandungan Sr/Ca dan pe-

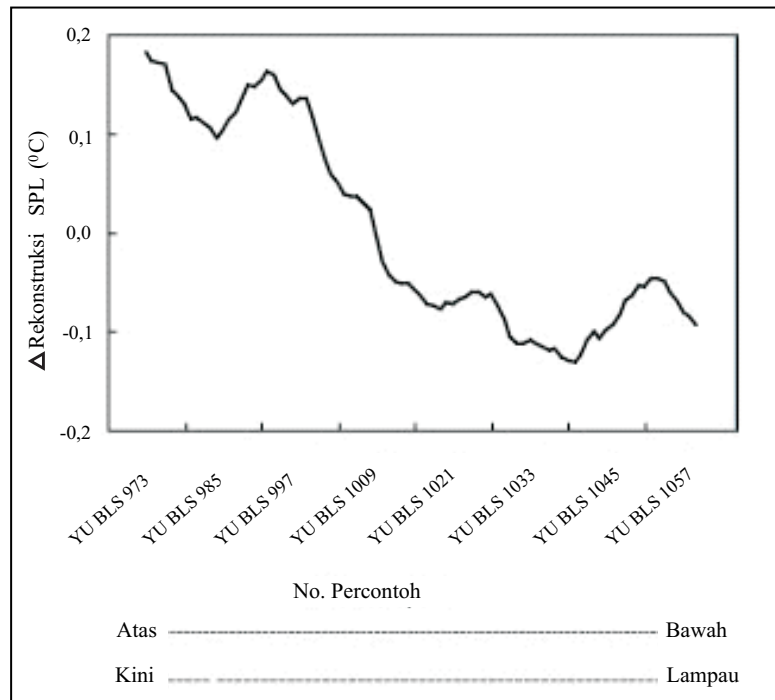


Gambar 3. Hasil rekonstruksi suhu permukaan laut berdasarkan kandungan Sr/Ca dan kandungan Sr/Ca dalam fosil korals Mentawai. Data yang ditampilkan adalah hasil *centering* terhadap rata-rata data.

rubahan SPL yang merupakan hasil rekonstruksi SPL berdasarkan Sr/Ca. Berdasarkan hasil rekonstruksi suhu, terlihat bahwa pada abad ke - 14 terjadi tren kenaikan suhu permukaan laut.

Untuk mengetahui variasi suhu permukaan laut dalam skala *annual-interannual*, maka dilakukan

filtering terhadap data timeseries Sr/Ca dalam koral BLS dengan dua belas titik *low pass filter band*, karena data Sr/Ca yang ada dalam resolusi bulanan. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4, yang memperlihatkan bahwa variasi *annual-interannual* SPL pada abad ke - 14 dengan jelas menunjukkan



Gambar 4. Variasi *annual-interannual* hasil rekonstruksi suhu permukaan laut berdasarkan Sr/Ca koral.

kenaikan suhu permukaan laut yang lebih kurang mencapai 3,2^o C selama kurun waktu lebih 11 tahun.

KESIMPULAN

- Sr/Ca merupakan proksi suhu permukaan laut yang dapat digunakan untuk rekonstruksi suhu dalam studi iklim masa lampau. Dari hasil studi ini diketahui bahwa percontoh koral BLS hidup pada abad ke - 14, dan berdasarkan variasi bulanan Sr/Ca terkandung dalam *top core* fosil koral BLS diperkirakan percontoh koral BLS memiliki kisaran waktu 11 tahun.
- Hasil pengukuran kandungan Sr/Ca juga memperlihatkan dengan jelas tren kenaikan suhu selama periode 11 tahun.

Ucapan Terima Kasih—Penulis mengucapkan terima kasih kepada DAAD untuk dana hibah program *visiting fellowship*. Terima kasih juga ditujukan kepada Miriam Pfeiffer untuk diskusinya dan juga sebagian dana pendukung dalam analisis geokimia; serta kepada D. Natawidjaja dalam penggunaan percontoh koral BLS untuk studi ini.

ACUAN

- Abram, J.A., Gagan, M.K. Cole, J.E., Hantoro, W.S., dan Mudelsee, M., 2008. Recent intensification of tropical climate variability in the Indian Ocean. *Nature*, doi:10.1038/ngeo357.
- Alibert, C. dan McCulloch M.T., 1997. Strontium calcium ratios in modern Porites corals from the Great Barrier Reef as a proksi for sea surface temperature: calibration of the thermometer and monitoring of ENSO. *Paleoceanography*, 12, h. 345-363.
- Beck, W.J., Edwards, L. R. Ito, E. Taylor, F.W. Recy, J. Rougerie, F., Joannot, P., dan Henin, C., 1992. Sea surface

- temperature from coral skeleton Sr/Ca ratios. *Science*, 257, h. 644-647.
- Cahyarini S.Y., Pfeiffer, M., Dullo, W-Chr., dan Aldrian, E., 2010. Paired coral $\delta^{18}\text{O}$ and Sr/Ca measurements at a Timor coral: reconstructed seawater $\delta^{18}\text{O}$ in an exit passage of the Indonesian Throughflow. *Journal Geophysical Research Ocean* (dlm. persiapan).
- Cahyarini S.Y., Pfeiffer, M., dan Dullo, W-Chr., 2009. Calibration of the Multicores Sr/Ca records-Sea Surface Temperature: Records from Tahiti Corals (French Polynesia). *International Journal of Earth Sciences*, 98, h. 31-40.
- Cahyarini S.Y., Pfeiffer, M. Dullo, W., Chr., dan Garbescheonberg, D., 2008 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), h. 2841 – 2853.
- Chou Shen, C., Shu Li, K., Sieh, K., Natawidjaja, D.H. Cheng, H., Wang, X. Edwards, R. L. Dinh Lam, D. Te Hsieh, YuYung Fan, T., Meltzner, A. J. Taylor, F.W., Quinn, T.M. Wei Chiang, Hong, dan Kilbourne, K. H., 2008. Variation of initial $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ and limits of high precision U-Th dating of shallow-water corals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, h. 4201-4223.
- De Villiers, S., Shen, G. T., dan Nelson, B. K. 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, h. 197-208.
- Felis, T., Lohmann, G., Kuhnert, H., Lorenz, S.J., Scholz, D., Pätzold, J., Al-Rousan, S.A., dan Al-Moghrabi, S.M. 2004, Increased seasonality in Middle East temperatures during the last interglacial period *Nature*, 429, h. 164-168.
- Gagan, M. K., Chivas, A. R., dan Isdale, P. J. 1994. High resolution isotopic records from corals using ocean temperature and mass spawning chronometers. *Earth and Planetary Science Letters*, 121, h. 549-558.
- Gagan, M. K., Ayliffe, L. K., Hopley, D., Cali, J. A., Mortimer, G. E., Chappel, J. McCulloch, M.T., dan Head, M. J. 1998. Temperature and surface ocean water balance of mid-Holocene tropical western pacific. *Science*, 279, h. 1014-1018.
- Linsley, B.K., Wellington, G. M. dan Schrag, D.F., 2000. Decadal sea surface temperature variability in the subtropical south Pacific from 1726 to 1997 AD. *Science*, 290, h. 1145-1148.
- 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, h. 3263-3280.
- Natawidjaja, D.H., Sieh, K. Chlieh, M. Galetzka, J. Suwargadi, B.W., Cheng, H., Edwards, R.L., Avouac, Jean-P., dan Ward, S.N., 2006. Source parameters of the great Sumatran megathrust earthquakes of 1797 and 1833 inferred from coral microatolls. *Journal Geophysical Research*.
- Pfeiffer, M., Dullo, W. Chr., dan Eisenhauer A., 2004. Variability of the Intertropical Convergence Zone recorded in coral isotopic records from the central Indian Ocean (Chagos Archipelago). *Quaternary Research*, 61, h. 245 – 255.
- Schrag, D. P., 1999. Rapid analysis of high-precision Sr/Ca ratio in corals and other marine carbonates. *Paleoceanography*, 14, h. 97-102.