

VARIASI TAHUNAN KECEPATAN KALSIFIKASI KORAL *PORITES* BERDASARKAN ANALISIS *COMPUTED-TOMOGRAPHY SCAN* (CT –SCAN) DAN KAITANNYA DENGAN SUHU PERMUKAAN LAUT: WILAYAH STUDI PERAIRAN BIAK, PAPUA

Annual Variation of Calcification Rate of Porites Coral Based on CT-Scan Analysis and Its Relation to The Sea Surface Temperature: Study Area Biak Waters, Papua

Sri Yudawati Cahyarini¹ dan Suharsono²

¹Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI

²Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI

ABSTRAK Kemampuan koral mengendapkan kalsium karbonat (CaCO_3) dikenal sebagai kalsifikasi. Kecepatan kalsifikasi merupakan perkalian densitas dan pertumbuhan linear koral tersebut. Kecepatan kalsifikasi koral dipengaruhi oleh kondisi perairan terumbu karang salah satunya adalah suhu permukaan laut (SPL). Untuk memahami bagaimana pengaruh SPL terhadap kalsifikasi koral diperlukan data historis (data urutan-waktu) SPL dan kalsifikasi koral dari masa kini sampai masa lalu. Tujuan utama dari studi ini adalah untuk mengetahui sejarah pengaruh SPL terhadap pertumbuhan koral yaitu kalsifikasi dari koral *Porites* perairan Biak. Dalam studi ini dihitung kecepatan kalsifikasi dengan menggunakan pendekatan tomografi koral dengan menggunakan perangkat lunak Osirix. Hasil scanning computer tomografi (CT-Scan) koral merupakan data inputing Osirix. Empat contoh koral dari perairan Biak dilakukan analisis kecepatan kalsifikasi. Hasil rata-rata kecepatan kalsifikasi dari ke empat contoh koral *Porites* Biak menunjukkan kenaikan kecepatan

kalsifikasi koral yang selaras dengan kenaikan SPL selama periode 1905-2011.

Kata kunci: kecepatan kalsifikasi, suhu permukaan laut, koral, *Porites*

ABSTRACT Deposition of calcium carbonate (CaCO_3) in coral skeleton is known as calcification. The calcification rate is the product of the linear extension rate and the average density at which skeleton was deposited in making that extension. Calcification rate is influenced by the ambient water condition e.g sea surface temperature. To understand the influence of SST to the coral growth, it is required long time series data of both SST and coral growth i.e coral calcification from present time till back tens to hundreds years ago. The aim of this study is to determine the influence of historical SST to coral calcification of *Porites* coral from Biak waters. In this study, computer tomography approach is used to analyzed coral calcification. Osirix software is used to analyze the coral image data which is resulted from the computed tomography scanning (CT-Scan). Four coral cores from Biak waters were analyzed for their calcification rate. The results shows that the averaged of calcification rate of four cores increases, which is coincided with increasing of Biak SST during period of 1905-2011

Keywords: calcification rate, sea surface temperature, coral, *Porites*

Naskah masuk : 4 April 2014
Naskah direvisi : 13 Oktober 2014
Naskah diterima : 19 November 2014

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

PENDAHULUAN

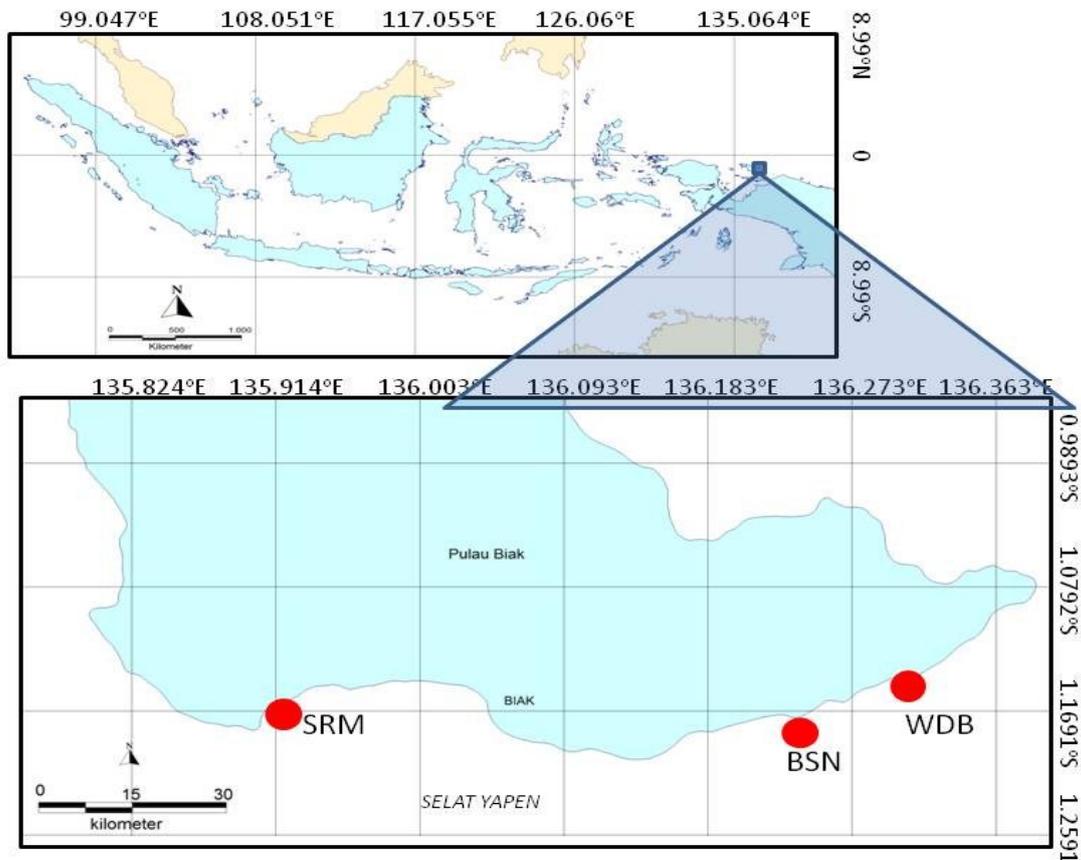
Korals tumbuh memproduksi calcium carbonate (CaCO_3) dengan dipengaruhi oleh kondisi ambient air laut sekitarnya seperti suhu, salinitas, sedimentasi dan lain sebagainya. Pada saat pertumbuhan korals membentuk pola-pola pelapisan gelap dan terang dibawah sinar x, yang mewakili densitas rendah/tinggi. Setiap satu tahun pertumbuhan korals diwakili oleh sepasang densitas rendah/tinggi. Sehingga umur korals dapat dihitung dari pelapisan pertumbuhan ini, yaitu penghitungan dimulai dari bagian paling atas inti bor korals, yang merupakan tahun pada saat sampel korals tersebut diambil, kemudian dihitung mundur sampai bagian bawah korals. Variasi densitas ini merupakan hasil dari variasi kecepatan kalsifikasi dan pertumbuhan linier korals. Dimana kecepatan kalsifikasi digambarkan sebagai perkalian densitas dengan pertumbuhan linier korals (Felis & Paetzold, 2004). Beberapa hasil eksperimen dan juga pengamatan lapangan mengindikasikan pertumbuhan korals merupakan pengaruh dari kenaikan suhu permukaan laut (SPL) dan pengasaman air laut yang dapat menaikkan frekuensi kejadian *bleaching* dan mengurangi kalsifikasi korals sebanyak 80% (Cantin et al., 2010) dari konsentrasi CO_2 atmosfer. Untuk lebih memahami faktor faktor tersebut seperti SPL dan pengasaman air laut dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan korals diperlukan data historis faktor fisik lingkungan seperti SPL, pH dan juga data sejarah pertumbuhan korals dari masa sekarang dan masa lampau yaitu seperti data historis kalsifikasi dari mulai saat ini sampai puluhan bahkan ratusan tahun lampau. Beberapa peneliti telah mengembangkan teknik analisis untuk pertumbuhan korals yaitu untuk penghitungan pertumbuhan linier, densitas, dan kalsifikasi dengan pendekatan densitometri (e.g. Lough & Barnes, 1997) selain juga dengan pendekatan tomography (e.g. Cantin et al., 2010).

Beberapa hasil penelitian terdahulu mengenai sejarah pengaruh SPL terhadap pertumbuhan korals menunjukkan adanya keterkaitan (e.g. Cantin et al., 2010; De'ath et al., 2009; Cahyarini, 2008). Hasil penelitian Cantin et al. (2010) menunjukkan adanya keterkaitan erat antara kalsifikasi korals dengan suhu permukaan laut (SPL), dimana kenaikan SPL berkaitan dengan penurunan kalsifikasi korals *Diploastrea*

di perairan Laut Merah. Studi lainnya dari korals *Porites* di Great Barrier Reef-Australia menunjukkan penurunan kalsifikasi korals *Porites* selaras dengan kenaikan suhu permukaan laut (SPL) (De'ath et al., 2009). Di Indonesia studi pertumbuhan korals, dilakukan dengan penghitungan kecepatan pertumbuhan linier telah dilakukan dengan pendekatan densitometri (penghitungan pelapisan pertumbuhan) (contoh Cahyarini, 2008; Lough & Barnes, 1997). Dengan menghitung pertumbuhan linier, ternyata tidak semua korals *Porites* merespon hal yang sama terhadap SPL walau dalam satu lokasi. Hasil penelitian Cahyarini et al. (2008) menunjukkan kenaikan pertumbuhan linier *Porites* dari Kep. Seribu selaras dengan kenaikan SPL. Hasil penelitian Tanzil et al. (2009) korals *Porites* dari perairan Hongkong menunjukkan respon kecepatan kalsifikasi yang berbeda-beda terhadap SPL antara lokasi. Hasil studi pertumbuhan linier korals *Porites* dari Biak dilakukan dengan pendekatan densitometri dengan input data hasil ronsen menunjukkan adanya tren penurunan pertumbuhan linier *Porites* selaras dengan kenaikan SPL (Suharsono & Cahyarini, 2012). Untuk lebih memahami pengaruh SPL terhadap pertumbuhan korals *Porites* Biak tersebut dilakukan analisis sejarah SPL dan kalsifikasi dari contoh korals Biak tersebut.

Perairan Biak merupakan salah satu perairan di wilayah Indonesia yang langsung berhadapan dengan lautan Pasifik, berdasarkan letak lokasi geografisnya menunjukkan perairan Biak dipengaruhi oleh musim, maupun fenomena iklim yang terjadi di lautan Pasifik seperti El Nino Southern Oscillation (ENSO). Untuk itu korals dari wilayah Biak diduga akan terpengaruh kuat dari anomali suhu permukaan laut akibat adanya pengaruh seperti ENSO. Tujuan utama dari studi ini adalah untuk mengetahui pengaruh SPL terhadap pertumbuhan korals yaitu kalsifikasi dari korals *Porites* Biak.

Dalam studi ini akan dianalisis tomografi korals jenis *Porites* dari perairan Biak, sehingga dapat diketahui selain pertumbuhan linier juga densitas dan kecepatan pertumbuhannya. Densitas dan kecepatan kalsifikasi akan menjadi fokus pembahasan dalam studi ini, untuk pembahasan detil mengenai pertumbuhan linier dari contoh korals *Porites* Biak lihat Suharsono & Cahyarini



Gambar 1. Lokasi (titik merah) pengambilan sampel koral di pulau Biak (bawah) yaitu Wadibu (WDB), Bosnik (BSN 1,BSN3), Saramon (SRM).

(2012). Karang jenis *Porites* ini digunakan dalam studi ini mengingat karang ini mampu bertahan dalam kondisi perubahan lingkungan yang ekstrem (Cantin & Lough, 2014), sehingga diharapkan akan dapat diperoleh data historis variasi pertumbuhan. Dalam studi ini ditekankan pada analisis kecepatan kalsifikasi dan kaitannya dengan SPL

METODE

Dalam studi ini digunakan contoh koral *Porites* dari perairan Biak. Karang *Porites* diambil dari beberapa lokasi di pulau Biak, Papua (Gambar 1), yaitu dari lokasi Saramon (SRM1), Bosnik (BSN1 dan BSN3) dan Wadibu (WDB3). Pemindaian tomografi (*CT Scanning*) digunakan untuk menganalisis pertumbuhan koral. Berbeda dengan metode ronsen yang hanya menghasilkan citra dua dimensi, dengan pemindaian *CT (computerized tomography)* bisa dihasilkan citra

3D sehingga dengan mudah koral dapat dipotong secara digital. Pemotongan secara digital akan menghasilkan data lempengan koral yang merata, hal ini diperlukan untuk mendapatkan data densitas yang akurat. Pemindaian *CT* dilakukan pada koral dengan diameter 5 cm dengan 400mA dan 120kV. Dari koral diameter 5 cm dipotong secara digital (*digital cut*) tebal 0.2 mm. Secara detil, metode pemindaian tomografi (*CT*) dapat dilihat pada Saenger *et al.* (2009). Untuk mendapatkan rumus konversi densitas dari satuan *Hounfield unit* (Hf) ke dalam satuan gram/cm³, digunakan contoh standar dari WHOI standar (Cantin *et al.* 2010). Hasil kalibrasi contoh standar dengan contoh koral Biak menghasilkan persamaan linier (Gambar 2). Persamaan ini kemudian digunakan untuk mengkonversi densitas dari satuan Hf ke gram/cm³ tersebut. Dalam studi ini digunakan perangkat lunak Osirix untuk analisis pertumbuhan. Data citra

hasil pemindaian CT dari koral *Porites* Biak merupakan data masukan pada perangkat lunak Osirix, hasil analisis perangkat lunak Osirix menghasilkan nilai pertumbuhan linier tahunan dalam satuan centimeter dan densitas dalam satuan *Hounsfield unit* (Hf). Nilai densitas dalam Hf ini kemudian dikonversikan kedalam satuan gram/cm³ berdasarkan persamaan $y=1203.1x + 103.3$ (Gambar 2), dimana y adalah densitas dalam Hf dan x adalah densitas dalam gram/cm³. Detail metode ini dapat dilihat pada Cantin *et al.* (2010). Kecepatan kalsifikasi dihitung dari hasil perkalian dari densitas dengan pertumbuhan linier (lihat Felis & Patzold, 2004; Cantin *et al.*, 2010). Gambar 2 menunjukkan hasil kalibrasi antara standar yang digunakan dalam studi ini dan contoh koral. Dalam studi ini dihasilkan data pertumbuhan dengan resolusi tahunan, yaitu satu nilai data mewakili nilai satu tahun. Sehingga akan diperoleh variasi tahunan data pertumbuhan koral.

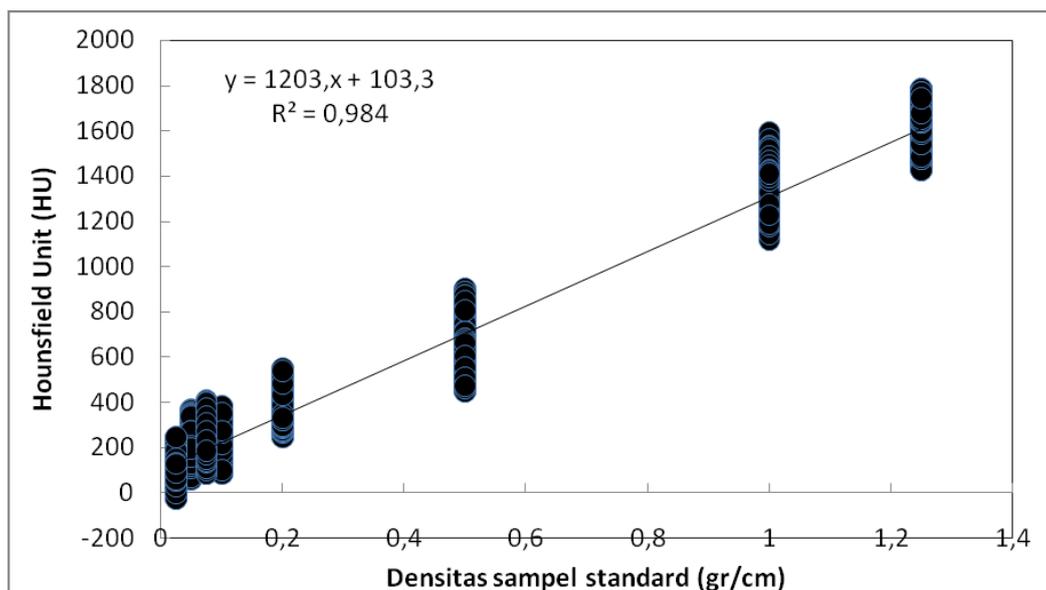
Kronologi atau urutan waktu dibangun berdasarkan analisis perlapisan pertumbuhan koral, dimana satu tahun pertumbuhan diwakili oleh satu pasang perlapisan gelap/terang pada hasil pemindaian pada koral. Top dari koral dimana contoh koral tersebut diambil, merupakan tahun paling muda, kemudian perlapisan dibawahnya dihitung sebagai perlapisan satu tahun lebih tua.

Untuk melihat pengaruh SPL terhadap pertumbuhan koral, maka diperlukan data SPL dalam resolusi yang sama dengan data pertumbuhan, yaitu resolusi tahun. Data SPL yang digunakan dalam studi ini berasal dari data model analisa ulang *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST) (Smith *et al.*, 2008; Reynold & Smith, 1994) untuk kisaran waktu yang panjangnya yaitu 1905-2011 dan data SPL dari *Advance Resolution Very High Radiometer* (AVHRR) (Casey *et al.*, 2010) untuk kisaran waktu pendek (1982-2011). Data SPL dari ERSST memiliki resolusi grid 2x2°, sedangkan AVHRR memiliki resolusi grid yang lebih tinggi 4x4km, namun ketersediaan data ERSST lebih panjang dibanding data AVHRR.

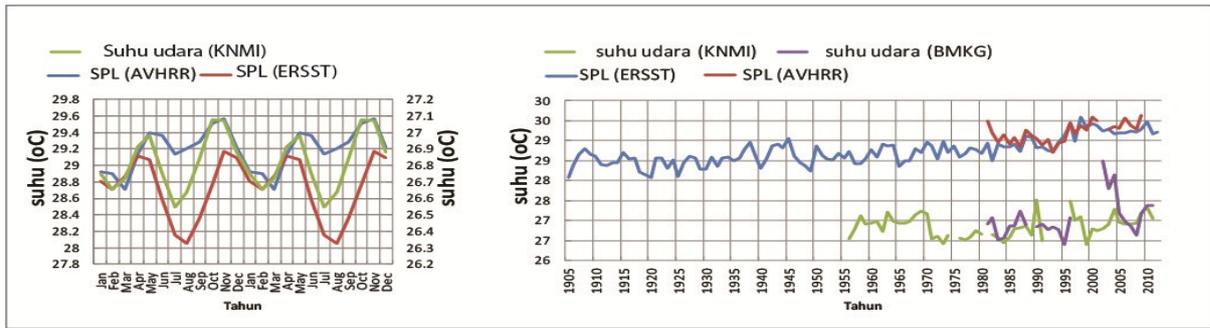
Data suhu udara diperoleh dari <http://climexp.knmi.nl> (basis data KNMI) dan juga hasil pengukuran dari stasiun Biak, Badan Klimatologi, Meteorologi dan Geofisika (BMKG).

Kondisi iklim dan oseanografi wilayah perairan Biak

Berdasarkan data klimatologi SPL yang diambil rata-rata bulan selama terlihat bahwa SPL perairan Biak menunjukkan adanya dua puncak SPL dalam satu tahun, puncak SPL terjadi pada bulan Mei dan Oktober, dengan nilai maksimum SPL terjadi pada bulan Oktober. Minimum SPL terjadi pada bulan Maret. Sama halnya ditunjukkan oleh suhu udara.



Gambar 2. Diagram scatter plot dari densitas sampel standar dan *Hounsfield Unit* (HU), rumus persamaan linier kedua parameter tersebut digunakan untuk mengkonversi HU ke dalam satuan densitas gr/cm.



Gambar 3. Variasi rata-rata bulanan suhu permukaan laut dari AVHRR dan ERSST dan suhu udara dari KNMI (kiri). Suhu rata-rata tahunan dari AVHRR, ERSST dan suhu udara dari KNMI dan hasil pengukuran suhu udara di lokasi stasiun Biak (BMKG).

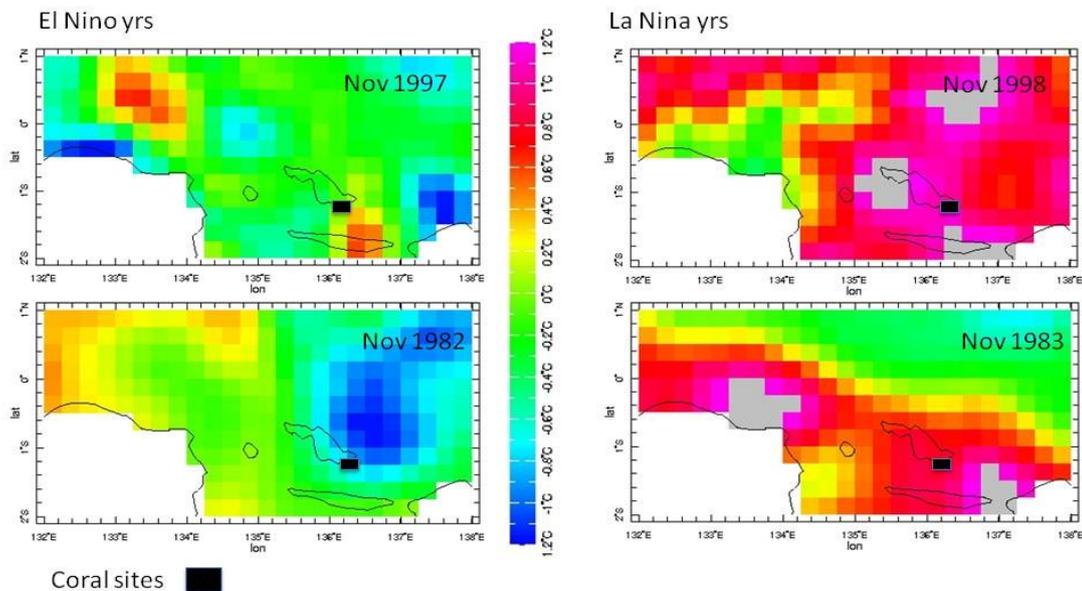
Hasil rata-rata tahunan data SPL menunjukkan adanya kecenderungan kenaikan SPL di wilayah Biak (Gambar 3). Hasil data pengukuran suhu udara dari basis data KNMI dan BMKG juga menunjukkan hal yang sama, walau kecenderungan kenaikan suhu udara kurang jelas terlihat dibandingkan dengan suhu permukaan laut. Pengaruh tahun-tahun ENSO terhadap SPL di wilayah Biak berbeda-beda, seperti contoh pada tahun El Nino 1997/98 SPL Biak menunjukkan kondisi lebih hangat dibanding saat tahun El Nino 1982/183, bahkan pada El Nino 1982/83 SPL anomaly menunjukkan pendinginan (Gambar 4). Curah hujan di wilayah ini lebih dipengaruhi oleh musim dibandingkan oleh fenomena *El Nino Southern Oscilation* (Aldrian

& Susanto, 2003).

HASIL DAN DISKUSI

Dari hasil analisis pertumbuhan diperoleh data pertumbuhan linier, densitas dan kecepatan kalsifikasi dalam resolusi tahunan (Gambar 5,6 & 8). Untuk melihat rata-rata pertumbuhan dari setiap contoh koral selama periode koral tersebut hidup maka masing-masing data tahunan dari ketiga parameter pertumbuhan tersebut dirata-ratakan, sehingga diperoleh data seperti pada Tabel 1.

Hasil analisis rata-rata pertumbuhan dari 4 contoh koral Biak dari lokasi Wadibu, Bosnik dan Saramon ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 4. Anomali suhu permukaan laut selama tahun tahun El Nino (kiri) dan tahun-tahun La Nina (kanan). Data SPL dari AVHRR.

Wadibu

Hasil pengukuran pertumbuhan koral Wadibu (WDB3) menunjukkan variasi rata-rata pertumbuhan linier 0,73 cm/tahun, Densitas 0,64 gr/cm³ dan kecepatan kalsifikasi 0,47 gr/cm²/tahun. Kenaikan kecepatan kalsifikasi

suhu permukaan laut dengan kecepatan kalsifikasi menunjukkan korelasi yang sangat kecil $R = 0,077$ selama periode 1953-2011. Analisis pertumbuhan linier menggunakan perangkat lunak coral XDS dengan data inputing adalah data ronsen (*x-radiograph*) telah dilakukan oleh Suharsono & Cahyarini (2012).

Tabel 1. Rata-rata pertumbuhan contoh koral *Porites* dari Biak

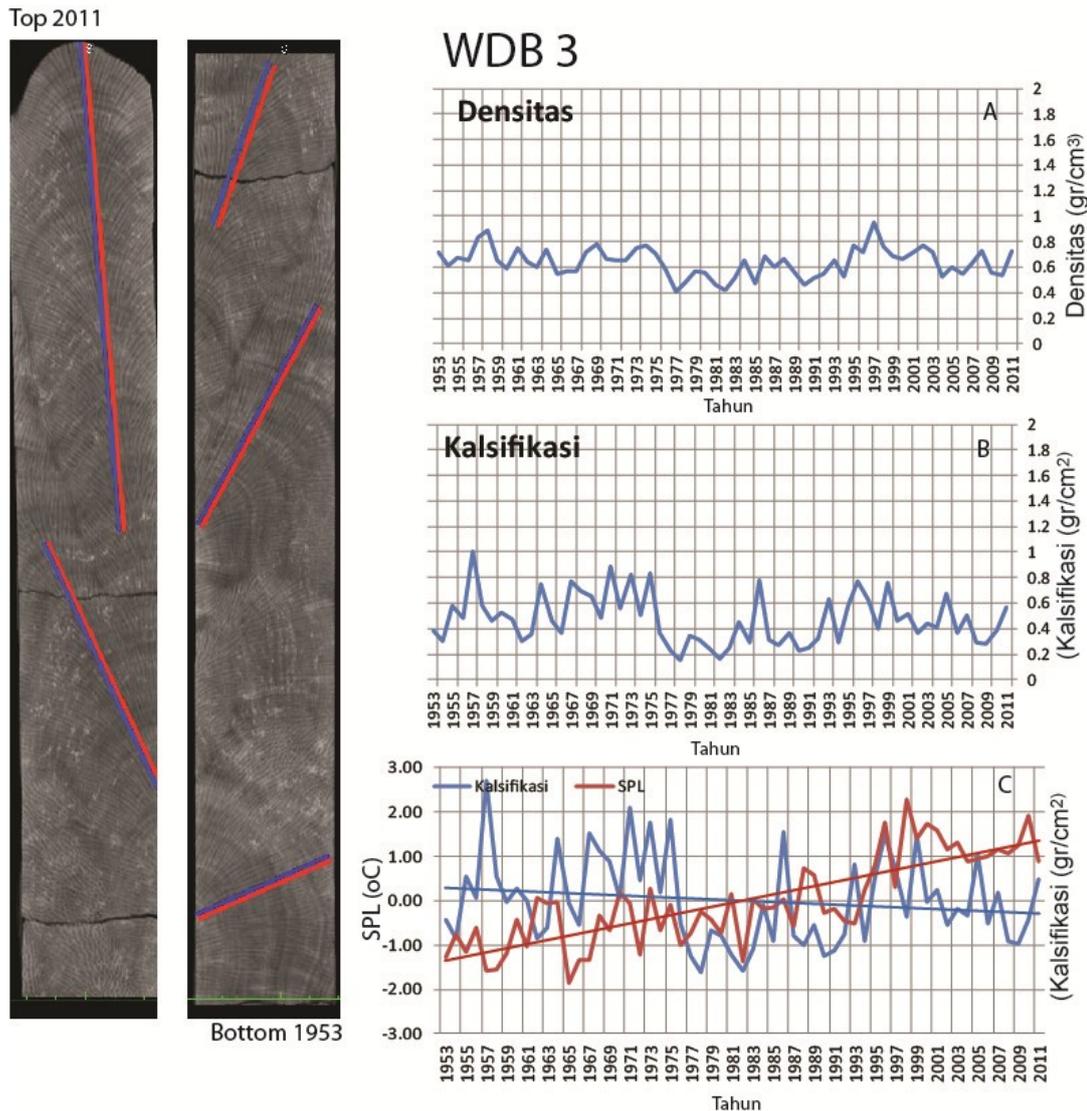
No	Lokasi/Kode sampel/umur	Kecepatan Pertumbuhan linier (extension rate) cm/tahun	Densitas (gr/cm ³)	Kecepatan kalsifikasi (gr/cm ² /tahun)
1	Wadibu/WDB3 (59 tahun)	0,73	0,64	0,47
2	Bosnik/BSN1 (62 tahun)	0,96	1,11	1,05
3	Bosnik/BSN3 (107 tahun)	0,63	1,07	0,67
4	Saramon/SRM1 (51 tahun)	0,81	0,99	0,80
	Rata-rata Biak	783	953	748

sebelum 1978 selaras dengan kenaikan SPL, begitu pula pada periode setelah 1978 sampai 2011. Namun, pertumbuhan koral WDB3 menunjukkan penurunan kecepatan kalsifikasi yang sangat kecil sekali yaitu sekitar 0,002 gr/cm³ selama total periode 1953-2011. Selama total periode itu pula perubahan suhu permukaan laut kecil hanya sekitar 0.014°C sedangkan suhu udara 0,011°C. Perbedaan *linear trend* SPL dan kalsifikasi sebelum dan sesudah 1978 dimungkinkan karena pada periode sebelum 1978 terlihat kecepatan kalsifikasi lebih tinggi rata-ratanya (0,57 gr/cm²/tahun) dibanding dengan setelah periode 1978 sampai 2011 (0,41 gr/cm²/tahun), dan kenaikan SPL pada periode setelah 1978-2011 naik dengan cukup tajam. Pada periode 1976-1983 kecepatan kalsifikasi menunjukkan titik paling rendah, hal ini terlihat juga pada densitasnya (Gambar 5). Hasil korelasi

Penurunan pertumbuhan linier koral *Porites* terjadi di 3 lokasi dari 10 lokasi di Indonesia, dan hanya terdapat satu lokasi yang kenaikan pertumbuhan linier yang signifikan (Suharsono & Cahyarini, 2012).

Bosnik

Berdasarkan analisis pertumbuhannya koral Bosnik contoh BSN1 memiliki umur 62 tahun sedangkan BSN3 berumur 107 tahun (Gambar 6). Selama periode waktu 1951-2011 pertumbuhan linier rata-rata pertahun koral BSN1 adalah 0.96cm/th, densitas rata-rata adalah 1,11gr/cm³ sedangkan kecepatan kalsifikasi 1,05 gr/cm². Sedangkan pertumbuhan linier rata-rata contoh koral BSN3 0,63 cm, densitas rata-rata 1,07 gr/cm dan kecepatan kalsifikasi adalah 0,67 gr/cm² selama periode 1906-2011.



Gambar 5. (Kiri) Hasil scanning tomografi koral *Porites* dan garis transek utk pengukuran pertumbuhan koral (merah & biru). Untuk kebutuhan *reproducibility* penghitungan dilakukan dua kali (dua garis transek). (Kanan) (A) Variasi tahunan densitas dan (B) kalsifikasi dari contoh koral *Porites* WDB3. (C) Perbandingan variasi tahunan kalsifikasi dan SPL, garis lurus merupakan garis *linear trend*. Data merupakan hasil standardized data.

Selama periode 1951-2011, perubahan kecepatan kalsifikasi (BSN1) sebesar 0,03gr/cm² dengan perubahan suhu permukaan laut 0,01°C. Selama periode 1905-2011 perubahan kecepatan kalsifikasi (BSN3) 0,002 gr/cm² dengan perubahan SPL 0,02°C. Kenaikan SPL cukup tajam namun terlihat kenaikan kecepatan kalsifikasi dari koral BSN3 sangat kecil.

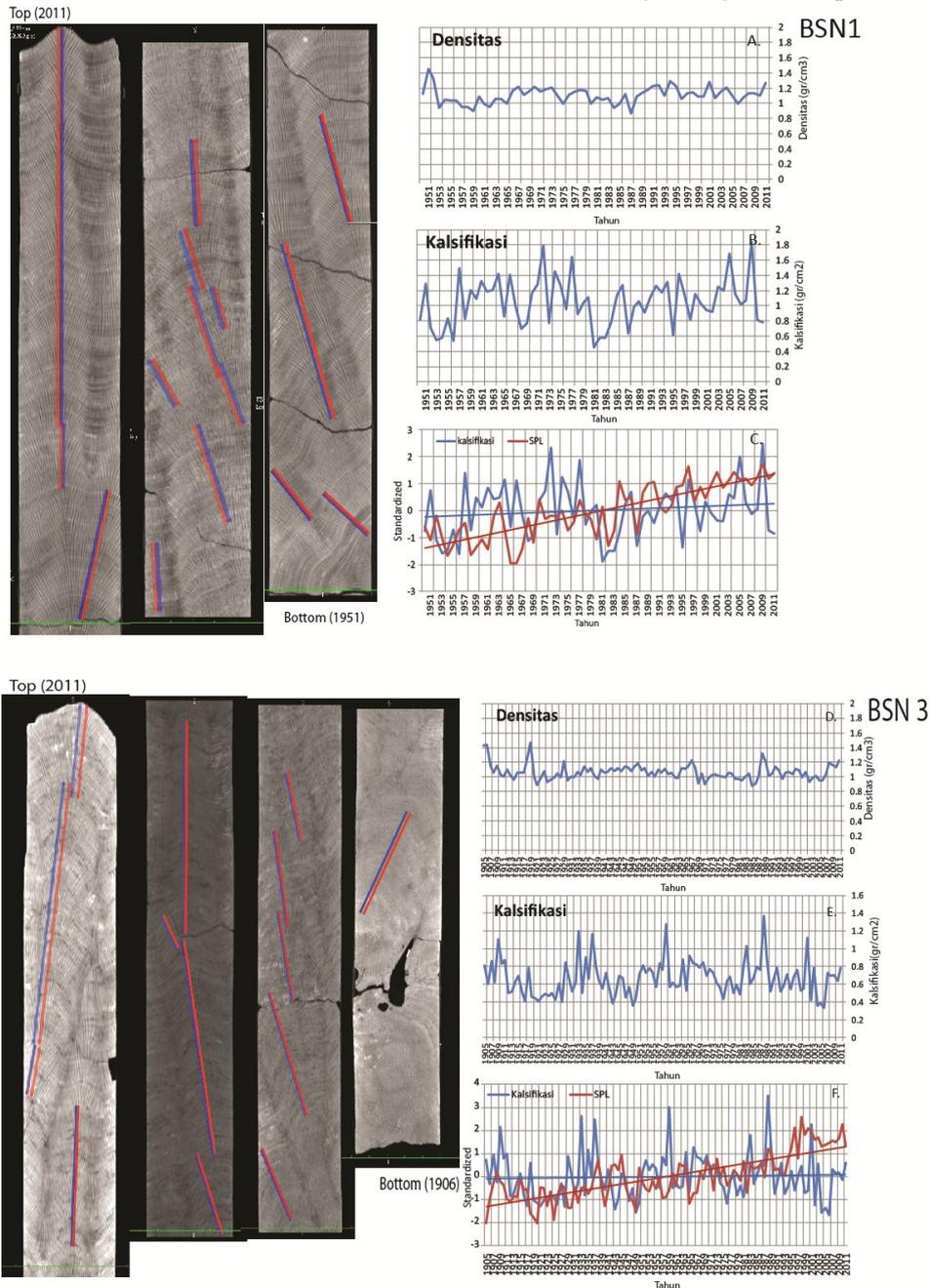
Seperti halnya dijumpai pada koral Wadibu, koral contoh BSN1 dan BSN3 menunjukkan adanya

perbedaan kenaikan kalsifikasi relatif terhadap kenaikan SPL setelah dan sebelum 1978. Hal ini dimungkinkan, karena perbedaan rata-rata kalsifikasi sebelum dan sesudah 1978 tidak begitu besar, sedangkan SPL kenaikan cukup besar antara sebelum dan sesudah 1978. Pada setelah 1978 varian kalsifikasi lebih kecil dibanding SPL, sebaliknya sebelum 1978 varian kalsifikasi lebih besar dibanding SPL. Pada koral BSN3 terlihat sebelum 1978 (yaitu 1905-1978) kenaikan SPL 0,014°C sedangkan kenaikan

kalsifikasi 0,0052 gr/cm²/tahun, setelah 1978 (yaitu 1978-2011) kenaikan SPL 0,061°C dan kalsifikasi terjadi penurunan 0,018 gr/cm²/tahun, sehingga terlihat perpotongan antara garis kemiringan (trendline) SPL dan kecepatan kalsifikasi pada sekitar 1978. Pada koral BSN1 sebelum 1978 (yaitu 1950-1978) kenaikan kalsifikasi 0.047 gr/cm²/tahun, dan SPL 0.019 °C setelah 1978 (1978-2011) kenaikan kalsifikasi

0.036 gr/cm²/tahun dengan kenaikan SPL 0.61 °C.

Korelasi kecepatan kalsifikasi dari koral BSN 1 dengan SPL lebih tinggi (R=0.22) dibandingkan dengan kecepatan kalsifikasi BSN3 dalam skala variasi SPL dan kalsifikasi tahunan. Kecepatan kalsifikasi BSN3 bahkan terlihat hampir tidak ada korelasi dengan SPL (R=0.002). Kenaikan SPL sebanding dengan kecepatan kalsifikasi

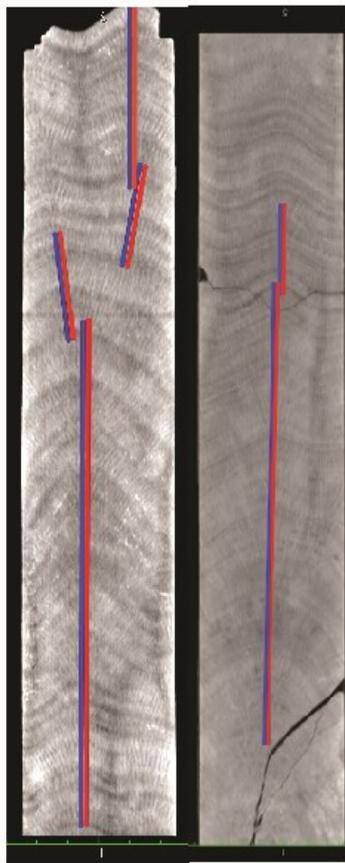


Gambar 6. (Kiri) Hasil scanning tomografi koral *Porites* dan garis transek utk pengukuran pertumbuhan koral (merah & biru).(Kanan) Variasi tahunan densitas dan kalsifikasi pertahun dari contoh koral *Porites*. (Atas) koral *Porites* contoh BSN1 (Bawah) contoh BSN3.

sampai tahun 1983 an, dimana setelah 1980an sampai sekarang terjadi kenaikan SPL yang drastic (Gambar 3) namun tidak terlihat adanya kenaikan drastis pada kecepatan kalsifikasi pada koral *Porites* Bosnik (BSN1 & BSN3) dalam skala variasi tahunan.

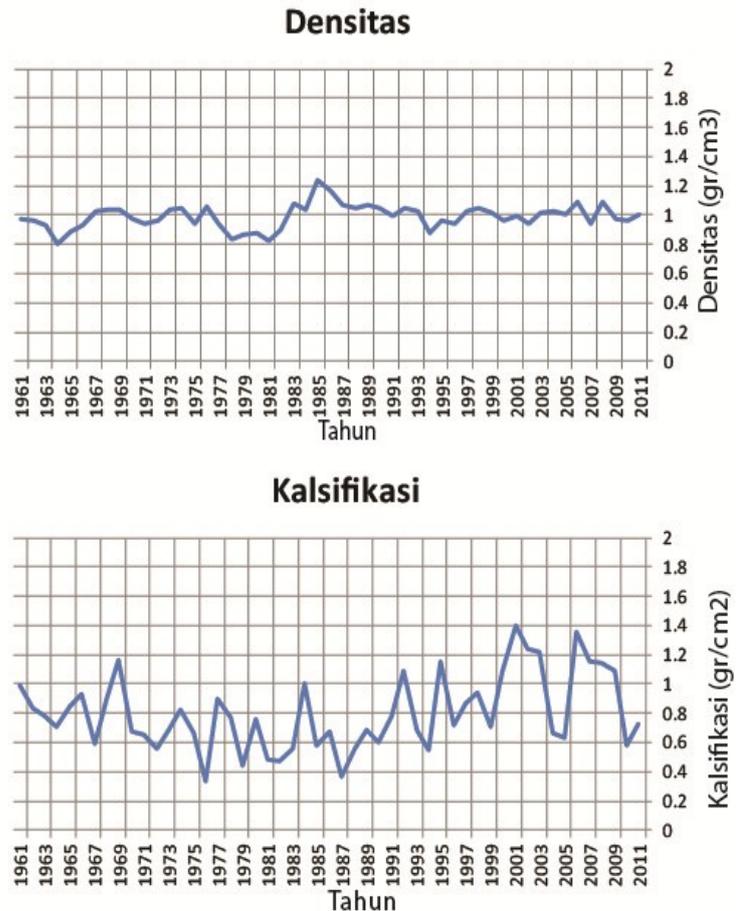
sedangkan SPL 0.013°C selama periode 1961-2011. SPL di Saramon juga menunjukkan kenaikan yang selaras dengan kenaikan kecepatan kalsifikasi ($R=0.28$). Data koral Saramon terlalu pendek untuk melihat korelasi dengan fenomena iklim frekuensi rendah seperti

Top (2011)



Bottom (1961)

SRM 1



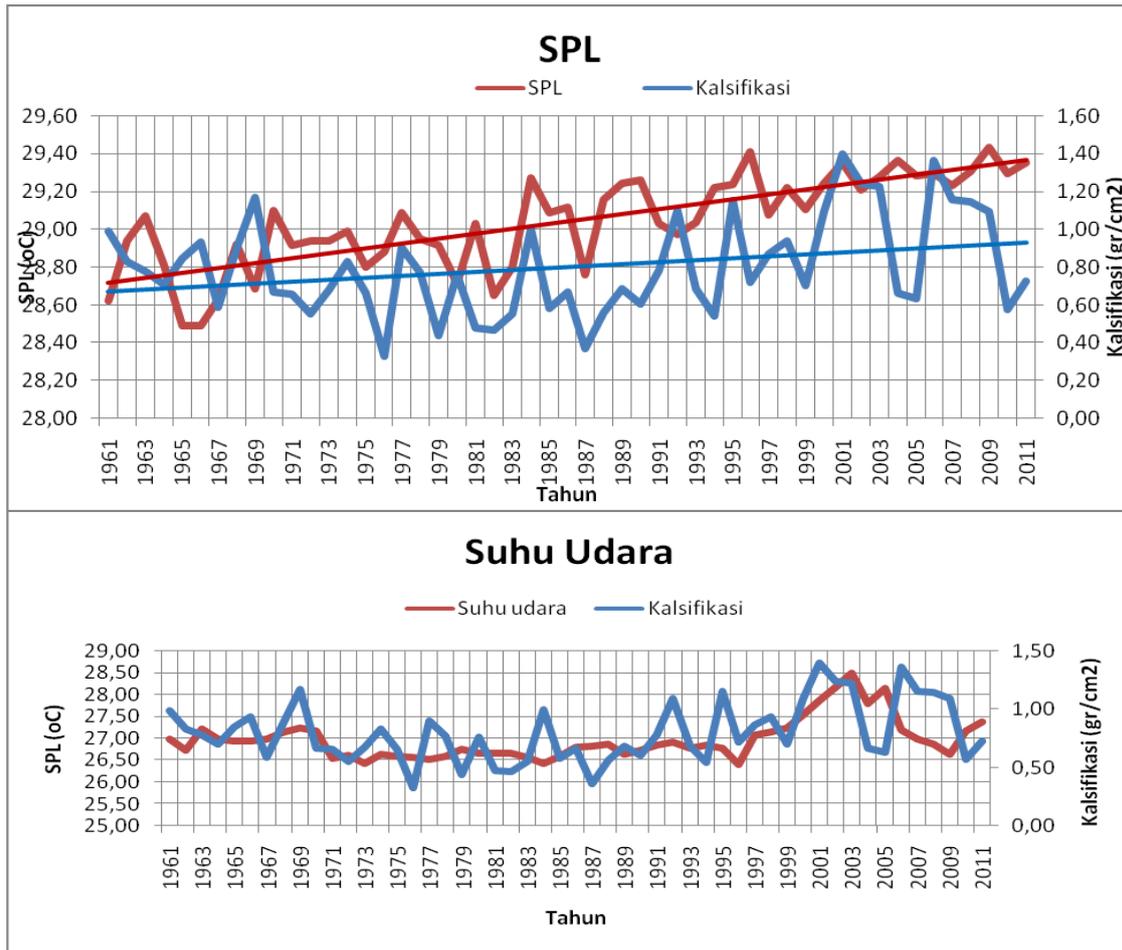
Gambar 7. (Kiri) Hasil scanning tomografi koral *Porites* dan garis transek utk pengukuran pertumbuhan koral (merah & biru). Untuk kebutuhan *reproducibility* penghitungan dilakukan dua kali (dua garis transek). (Kanan) Variasi tahunan densitas dan kalsifikasi pertahun dari contoh koral *Porites* SRM1

Saramon

Kronologi berdasarkan perhitungan pelapisan pertumbuhan koral *Porites* Saramon (SRM1) menunjukkan umur 51 tahun, yaitu dari periode 1961-2011. Kecepatan pertumbuhan linier SRM1 rata-rata selama 51 tahun tersebut adalah 0.81cm/tahun , dengan densitas koral 0.99gr/cm^3 dan kecepatan kalsifikasi 0.799gr/cm^2 . Kecepatan kalsifikasi berubah sebesar 0.005gr/cm^2

decadal-interdecadal. Gambar 8 adalah kecepatan kalsifikasi koral *Porites* SRM1 dan hasil CT Scanning koral tersebut dengan garis transek untuk pengukuran kalsifikasi.

Koral SRM1 terletak pada lokasi dekat dengan daratan dan kota biak, untuk melihat pengaruh suhu udara terhadap pertumbuhan koral SRM1, suhu udara hasil pengukuran dikorelasikan dengan parameter pertumbuhan koral dalam hal



Gambar 8. Variasi rata-rata tahunan dari suhu permukaan laut (SPL), garis tebal merah dan biru menunjukkan garis trend (*trendline*) (Atas) dan suhu udara (Bawah) (merah) dengan variasi tahunan kalsifikasi dari contoh SRM 1(biru). Koefisien korelasi antara kalsifikasi dan SPL ($R=0,28$) dengan suhu udara ($0,48$)

ini kecepatan kalsifikasi, terlihat bahwa korelasi dengan suhu udara ($R=0,42$) lebih tinggi dibanding dengan SPL ($R=0,28$) (Gambar 8). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh SPL local perairan Biak terhadap kecepatan kalsifikasi koral di wilayah tersebut. Dengan asumsi bahwa variasi suhu udara local kota Biak lebih mewakili variasi SPL local kota tersebut dibandingkan SPL dari ERSST yang mewakili grid $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, sehingga tidak mengherankan bahwa suhu udara memiliki korelasi yang lebih tinggi dengan kecepatan kalsifikasi koral ($R=0,42$) dibandingkan SPL (ERSST) dengan kecepatan kalsifikasi ($R=0,28$). Idealnya memang untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap kecepatan kalsifikasi digunakan data SPL dari lokasi koral tersebut, namun untuk mendapatkan data ini perlu dilakukan kegiatan monitoring dalam jangka waktu lama dan biaya

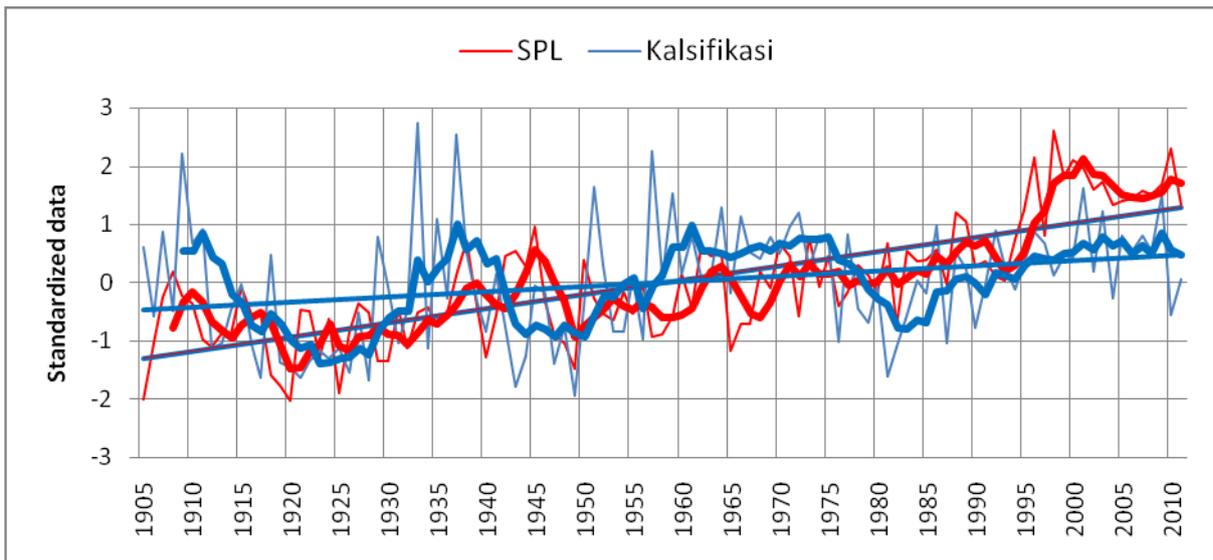
besar, sehingga digunakan data SPL analisis maupun SPL grid yang di beberapa penelitian menunjukkan bisa mewakili SPL lokal (e.g Juillet-Leclerc & Schmidt, 2001).

Variasi tahunan kalsifikasi koral Biak, SPL, ENSO dan PDO

Kenaikan SPL telah terbukti merupakan salah satu faktor penyebab perubahan pertumbuhan koral di laut merah (e.g Cantin et al., 2010), korelasi antara SPL dengan pertumbuhan koral amat tinggi ($R=0,824$) selama periode 1950-1997 (Cantin et al., 2010). Untuk mengetahui bagaimana pengaruh SPL terhadap kalsifikasi koral *Porites* di wilayah Biak, nilai kalsifikasi dari keempat contoh sampel koral yaitu WDB3, BSN1 dan BSN2, dan SRM1, kemudian dibandingkan dan dikorelasikan dengan data SPL

ERSST (Gambar 10). Seperti dijelaskan diatas SPL (ERSST) yang tersedia dan digunakan dalam studi ini memiliki resolusi $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, sehingga dengan merata-ratakan data pertumbuhan dari total sampel koral *Porites* dapat dianggap mewakili resolusi $2^{\circ} \times 2^{\circ}$. Selama periode 1905-2011 kecepatan kalsifikasi koral *Porites* Biak memperlihatkan kenaikan yang selaras dengan kenaikan SPL (Gambar 9). Kenaikan SPL selama 1905-2011 terlihat lebih tajam (gradient dari garis regresi = 0,024)

wilayah tersebut sehingga menyebabkan bleaching pada koral. Di beberapa wilayah El Nino juga berpengaruh pada penurunan SPL, yang juga terlihat bersamaan dengan kematian koral di wilayah barat pantai Sumatra (Suharsono, 1998). Untuk mengetahui bagaimana pengaruh fenomena iklim El Nino terhadap kecepatan kalsifikasi koral di wilayah Biak, sebelumnya akan dilihat bagaimana pengaruh El Nino terhadap SPL di wilayah Biak. Dalam studi ini digunakan data Nino 3.4 index untuk



Gambar 9. Variasi tahunan kalsifikasi koral *Porites* Biak (Biru) dan SPL Biak (merah). Variasi antar tahun (5 years running average) (garis tebal) kalsifikasi (biru) dan SPL (merah). Garis lurus menunjukkan linear trend. Data merupakan hasil standardized data

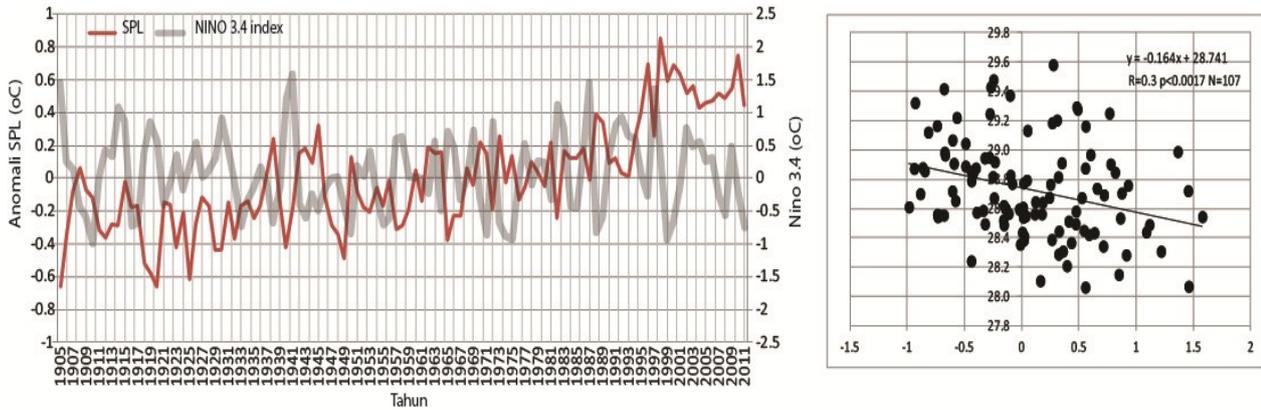
dibanding dengan kenaikan kalsifikasi koral (gradient dari garis regresi = 0,009). Kalau diamati hanya pada periode sebelum dan sesudah 1956/57, terlihat bahwa sebelum 1956/57 gradient kenaikan SPL (0,0135) tidak jauh berbeda dengan gradient kenaikan kalsifikasi koral (0,001), namun pada periode setelah 1956/57 perbedaan gradient kenaikan SPL dan kalsifikasi koral jauh berbeda, dimana SPL cenderung naik tajam (0,044) dan kalsifikasi koral cenderung turun (-0,0002). Sebelum 1956/57 terlihat pengaruh SPL lebih besar terhadap kalsifikasi koral ($R=0,16$) dibanding setelah 1956/57 ($R=0,06$).

Fenomena iklim El Nino membawa pengaruh pada perairan terumbu karang seperti halnya di Kepulauan Seribu (Brown & Suharsono, 1990), dimana saat El Nino terjadi pemanasan di

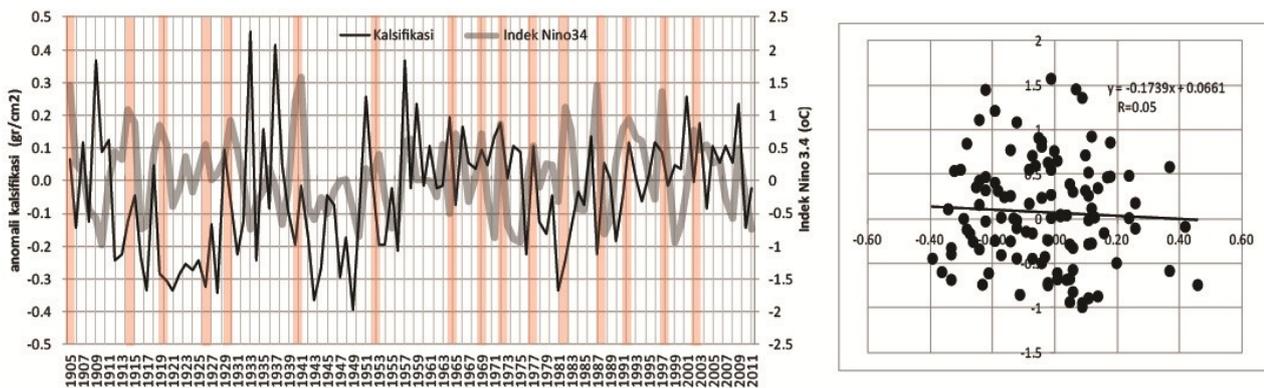
mengindikasikan tahun-tahun ENSO. Hasil penelitian variasi curah hujan dan kaitannya dengan SPL dalam skala tahunan di wilayah Indonesia, terlihat wilayah Biak terletak dalam zona transisi antara region yang dipengaruhi kuat oleh musim dan region yang dipengaruhi kuat selain oleh variasi musim dan arus lintas Indonesia (Aldrian dan Susanto, 2003). Selama periode 1905-2011, hasil korelasi SPL Biak dengan indek Nino 3.4 (Gambar 10) diperoleh korelasi yang kecil ($R = 0.3$ $p < 0,0017$), hal ini menunjukkan pengaruh El Nino yang kecil terhadap iklim setempat. Pengaruh fenomena El Nino ini terhadap kecepatan kalsifikasi koral *Porites* Biak juga terlihat kecil ($R=0,05$, $p<0.001$) selama periode 1905-2011 (Gambar 11).

Pada tahun kejadian El Nino kuat yaitu 1982/83 terlihat terjadi penurunan tajam dari kalsifikasi koral *Porites* Biak, namun penurunan kalsifikasi ini tidak terlihat jelas pada tahun-tahun El Nino

10-12 tahun. Hasilnya terlihat bahwa terjadi *out of phase* selama periode 1949-1979, dimana penurunan suhu permukaan laut tidak selaras dengan kenaikan kecepatan kalsifikasi, sedangkan pada periode sebelum dan sesudahnya



Gambar 10. (Kiri) Variasi tahunan anomaly SPL dan indeks Nino 3,4. (Kanan) Diagram scatter plot dari data SPL dan indeks Nino 3,4. Garis hitam merupakan garis regresi linier dari kedua variable tersebut.



Gambar 11. (Kiri) Anomali kalsifikasi rata-rata koral *Porites* Biak (hitam tebal) dengan indeks Nino 3,4 (abu-abu transparan). Shadow box (oranye) menunjukkan tahun-tahun El-Nino. (Kanan) Diagram scatter plot antara kalsifikasi dan indeks Nino 3,4

lainnya seperti 1997/98 (Gambar 11).

Apakah selain signal iklim tahunan-antar tahunan (ENSO), signal iklim puluhan antar puluhan (*decadal-interdecadal*) tahun juga berpengaruh pada pertumbuhan koral? Untuk mengetahui hal tersebut, maka data pertumbuhan koral puluhan tahun (*decadal*) dikorelasikan dengan indeks PDO (*Pacific Decadal Index*) (Gambar 12). Indeks PDO adalah anomaly SST di wilayah utara lautan Pasifik, yang merupakan salah satu indeks untuk mengetahui signal iklim dalam skala tahunan-puluhan tahun. Untuk menyamakan resolusi data, maka dilakukan *smoothing* pada data pertumbuhan koral dengan jendela waktu

terlihat bahwa kenaikan suhu permukaan laut selaras dengan kenaikan kecepatan kalsifikasi. Hal ini diduga bahwa pada periode tersebut tidak banyak terjadi perubahan pada kalsifikasi koral dibandingkan dengan periode sebelumnya, hal ini diperlihatkan dengan varian kalsifikasi koral menunjukkan tidak banyak perubahan selama sepanjang periode 1909-2011, dan terjadi perubahan yang cukup besar terhadap SPL ($\sim 0.9^{\circ}\text{C}$), namun tidak begitu mempengaruhi kalsifikasi koral pada periode 1949/79. Walau begitu untuk mengetahui faktor fisik apa kira-kira yang mempengaruhi koral pada periode tersebut perlu dilakukan penelitian lebih dalam dengan membandingkan koral dengan faktor fisik lainnya

seperti salinitas, sedimentasi dan lain-lain. Hal ini tentu memerlukan pengumpulan dan monitoring data fisik air laut dalam jangka waktu yang panjang.

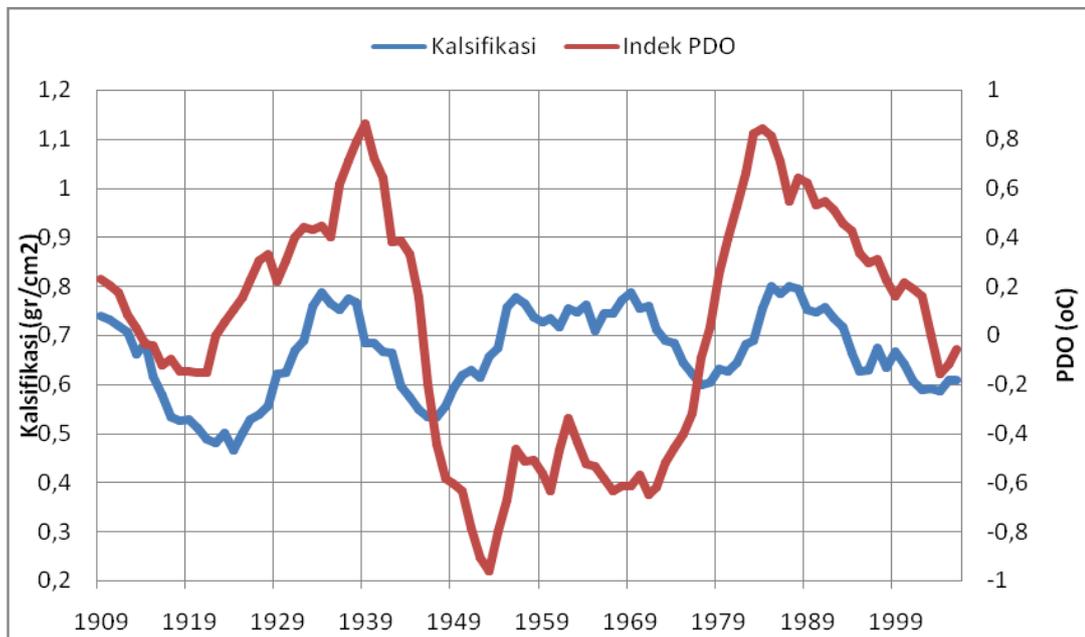
KESIMPULAN

Tiga contoh sample koral *Porites* yang diambil dari perairan Biak menunjukkan adanya kenaikan kecepatan kalsifikasi yang selaras dengan kenaikan SPL, walaupun kenaikan kalsifikasinya kecil yaitu 0,002gr/cm²/tahun untuk contoh BSN3, sementara SRM1 dan BSN1 adalah berturut-turut 0,13gr/cm²/th dan 0.003gr/cm²/th.

data suplai nutrient di lokasi penelitian dalam skala waktu yang panjang, selain juga diperlukan analisis lebih banyak contoh koral. Hal ini tentu akan memerlukan kegiatan pengumpulan dan monitoring data fisik dan kualitas perairan dalam waktu yang lama selain juga data koral.

Pengaruh SPL variasi *decadal* lebih jelas terlihat terhadap kalsifikasi koral contoh BSN3.

Hasil rata-rata kecepatan kalsifikasi ke empat contoh koral *Porites* Biak menunjukkan kenaikan kecepatan kalsifikasi koral yang selaras dengan kenaikan SPL selama periode 1905-2011.



Gambar 12. Variasi kalsifikasi koral *Porites* BSN 3 resolusi puluhan tahun (gr/cm²/decadal) (biru) dan *Pacific Decadal Index* (PDO)(merah).

Contoh WDB3 menunjukkan penurunan kecepatan kalsifikasi yang selaras dengan kenaikan SPL. Koral SRM1 terlihat lebih berkorelasi dengan suhu udara dibanding dengan SPL. Kondisi koral WDB yang cenderung mengalami penurunan dibanding koral SRM dan BSN, diduga kemungkinan di lokasi WDB kondisi fisik perairan cenderung lebih membuat koral tumbuh dibandingkan kedua lokasi SRM dan BSN, kemungkinan lainnya bisa terjadi di lokasi SRM dan BSN kemungkinan suplai nutrient lebih cukup untuk koral tumbuh dibanding dengan lokasi WDB. Walau begitu dugaan ini masih perlu dibuktikan dengan ketersediaan data fisik perairan koral lainnya seperti salinitas, sedimentasi, dan lain lain juga

Pengaruh fenomena El Nino terlihat kurang kuat terhadap kecepatan kalsifikasi koral dari wilayah Biak selama periode 1905-2011(R=0,05, p<0,001).

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada LIPI dan Mary Sears Award untuk SYC atas penyediaan dana untuk pengambilan contoh koral dan analisa CT Scan di WHOI. Kepada Dudi Prayudi, Samsuardi, Ngadimo atas bantuannya selama pekerjaan lapangan. Tulisan ini berkontribusi pada Program PN9 Perubahan iklim Puslit Geoteknologi LIPI

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., and R. D. Susanto, 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23, 1435-1452.
- Brown, B. E. and Suharsono, 1990. Damage and recovery of coral reefs affected by El Niño related seawater warming in the Thousand Islands, Indonesia. *Coral Reef*, doi: 10.1007/BF00265007.
- Cantin, N.E., A. L. Cohen, K. B. Karnauskas, A. M. Tarrant, D. C. McCorkle, 2010. Ocean Warming Slows Coral Growth in the Central Red Sea. *Science*, 329, 322-325, doi: 10.1126/science.1190182.
- Cantin, N.E. & J.M. Lough, 2014. Surviving Coral Bleaching Events: *Porites* Growth Anomalies on the Great Barrier Reef. *PLoS ONE*, 9(2): e88720. doi:10.1371/journal.pone.0088720.
- Cahyarini S.Y. and J. Zinke, 2010. Geochemical tracer in coral as a sea surface temperature proxy: records from Jukung coral. *ITB Journal*, 42B (1), doi: 10.5614/itbj.eng.sci.2010.42.1.5
- Cahyarini S.Y. 2008. Annual growth band analysis of *Porites* corals from Seribu Islands corals, Indonesia and its correlation with Precipitation. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 18 (2), 51-59.
- Casey, K.S., T.B. Brandon, P. Cornillon, and R. Evans, 2010. The Past, Present and Future of the AVHRR Pathfinder SST Program. In V. Barale, J.F.R. Gower, and L. Alberotanza (eds), *Oceanography from Space: Revisited*. Springer. doi: 10.1007/978-90-481-8681-5_16.
- De'ath G., J. M. Lough, K. E. Fabricius, 2009. Declining Coral Calcification on the Great Barrier Reef. *Science*, 323, 116-119.
- Felis, T and J. Pätzold, 2004. Climate Reconstructions from Annually Banded Corals. In M. Shiyomi *et al.* (eds), *Global Environmental Change in the Ocean and on Land*. Terrapub, Tokyo. pp. 205-227.
- Juillet-Leclerc, A. and G. Schmidt, 2001. A calibration of the oxygen isotope paleothermometer of coral aragonite from *Porites*, *Geophysical Research Letters*, 28 (21), 4135-4138.
- Lough, J.M., and Barnes, D.J. 1997. Several centuries of variation in skeletal extension, density and calcification in massive *Porites* colonies from the Great Barrier Reef: a proxy for seawater temperature and a background of variability against which to identify unnatural change. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 211, 29-67.
- Reynolds, R. W. and T. M. Smith, 1994. Improved global sea surface temperature analyses. *Journal of Climate*, 7, 929-948.
- Saenger, C., A. L. Cohen, D.W. Oppo, R. B. Halley and J. E. Carilli, 2009. Surface-temperature trends and variability in the low-latitude North Atlantic since 1552. *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/NGEO552.
- Suharsono & S. Y. Cahyarini, 2012. Reduced trends of annual growth of Indonesian *Porites* over ~20 years. *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium*, Cairns, Australia, 9-13 July 2012.
- Suharsono, 1998. Condition of coral reef resource in Indonesia. *Jurnal Pesisir dan Lautan*, 1(2), 44-52.
- Smith, T.M., R.W. Reynolds, Thomas C. Peterson, and Jay Lawrimore, 2008. Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). *Journal of Climate*, 21, 2283-2296.
- Tanzil, J.T.I., B.E. Brown, A.W. Tudhope, R.P. Dunne, 2009. Decline in skeletal growth of the coral *Porites lutea* from the Andaman Sea, South Thailand between 1984-2005, *Coral Reef*, doi: 10.1007/s00338-008-0457-5.
- Basis data KNMI <http://climexp.knmi.nl>

