

Pengaruh ENSO dan IOD pada Variabilitas Curah Hujan di DAS Cerucuk, Pulau Belitung

ENSO and IOD Impact to Rainfall Variability on Cerucuk Watershed, Belitung Island

Ida Narulita*

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Kampus LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung, 40135, Telp. 022-2503654, Fax. 022 - 2504593

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 04 Februari 2016
Direview: 29 Februari 2016
Disetujui: 30 Mei 2017

Katakunci:

Variabilitas curah hujan
ENSO
IOD
Suhu permukaan laut

Keywords:

Rainfall variability
ENSO
IOD
Sea surface temperature

Abstrak: Sumberdaya air DAS Cerucuk sangat tergantung pada curah hujan karena geologinya didominasi oleh batuan granit yang kedap air sehingga daya simpan airnya rendah. Saat ini di DAS Cerucuk sedang terjadi peningkatan kebutuhan air karena adanya pertumbuhan jumlah penduduk dan aktivitas ekonomi. Secara umum variabilitas curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh sistem Monsun-Asia dan Monsun-Australia, tetapi curah hujan musiman dan antar musiman dipengaruhi oleh ENSO dan IOD. Makalah ini bertujuan menentukan korelasi antara ENSO dan IOD dengan curah hujan di DAS Cerucuk. Data yang digunakan adalah data curah hujan bulanan Stasiun Buluh-Tumbang (1980–2014) dan Pilang (1996–2013), index bulanan dan tahunan Nino 3.4 dan Dipole-Mode tahun 1980-2014. Menggunakan analisis statistik fungsi waktu dan regresi linier. Hasil analisis menunjukkan curah hujan bulanan dan musiman DAS Cerucuk berkorelasi negatif kuat sampai sangat kuat dengan fenomena ENSO pada bulan Juli - Oktober (musim monsun-kering sampai transisi monsun-basah). Curah hujan tahunannya berkorelasi negatif kuat dan sensitif pada signal ENSO periode 2, 4, 5, 7 dan 8 tahun. Curah hujan bulanan dan musiman DAS Cerucuk berkorelasi negatif kuat sampai sangat kuat dengan IOD di bulan Agustus - November (akhir musim monsun-kering sampai transisi ke monsun-basah). Curah hujan tahunannya berkorelasi negatif kuat dan sensitif pada signal IOD periode 2, 4, dan 7 tahun. Korelasi yang kuat antara variabilitas hujan musiman dengan ENSO dan IOD terjadi seiring dengan menguatnya korelasi curah hujan dengan Suhu Permukaan Laut Indonesia. ENSO dan IOD perlu diperhitungkan dalam pengelolaan sumberdaya air DAS Cerucuk karena fenomena tersebut sangat mempengaruhi variabilitas curah hujan yang berdampak pada ketersediaan air. Perlu meningkatkan pengelolaan sumberdaya air sebagai upaya adaptasi dan mitigasi terhadap kejadian iklim ekstrim yang berkaitan dengan fenomena iklim global.

Abstract. *Water resources of Cerucuk watershed is highly dependent on rainfall because the geology of Cerucuk watershed is dominated by impervious granitic rock that has a low water storage capacity. Currently water demand in cerucuk watershed increase due to population growth and economic activities. Generally rainfall variability in Indonesia is influenced by Asian and Australia monsoon system, but the seasonal and interseasonal rainfall variability is influenced by ENSO and IOD. This paper aimed to determine the correlation between ENSO and IOD with the rainfall variability of Cerucuk watershed, Belitung island. Data used are monthly rainfall recorded at Buluh Tumbang (1980-2014) and Pilang (1996-2013) stations, monthly and yearly index of Nino 3.4 and Dipole-Mode (1980 - 2014). The statistical and time series analyses were used in this paper. The analysis showed that the monthly and seasonal rainfall of Cerucuk watershed negatively strongly to very strongly correlated with ENSO in Juli - Oktober (dry-monsoon season until transition to wet-monsoon season). The annual rainfall negatively strongly correlated with ENSO and sensitive to the 2, 4, 5, 7 and 8 years of ENSO signal periods. The monthly and seasonal rainfall of Cerucuk watershed negatively strongly to very strongly correlated with IOD in August - November (dry-monsoon season until transition to wet-monsoon season). The annual rainfall negatively strongly correlated with IOD and sensitive to the 2, 4, and 7 years of the IOD signal period. The strong correlation between seasonal rainfall variability with ENSO and IOD occurred at the same time with the strengthening of rainfall correlation with the Indonesia Sea Surface Temperature. ENSO and IOD phenomenon need to be considered in the water resources management of Cerucuk watershed because the phenomenon strongly affects rainfall variability that impacts on water availability. Water resouces management need to be improved as a mitigation and adaptation to the extreme climate events related to global climate phenomenon.*

Pendahuluan

Sumber daya air di DAS Cerucuk, Pulau Belitung sangat tergantung kepada curah hujan. Karena geologi di DAS Cerucuk didominasi oleh batuan granit yang kedap

air (Baharuddin dan Sidarto 1995) sehingga daya simpan airnya sangat rendah. Saat ini di DAS Cerucuk mengalami peningkatan pesat dalam aktivitas ekonomi dan pertumbuhan penduduk, khususnya dikota Tanjungpandan sebagai ibukota Kabupaten Belitung. Peningkatan

*Corresponding author: narulita_ida@yahoo.co.id

ekonomi dan pertumbuhan penduduk yang cukup pesat di DAS Cerucuk ini menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan air dan kemudian terjadi permasalahan ketersediaan sumberdaya air. Permasalahan sumberdaya air yang terjadi di kabupaten Belitung, khususnya kota Tanjungpandan adalah kekeringan, banjir, dan kesulitan pemanfaatan sumberdaya air dan layanan air bersih (Hariyanto dan Iskandar 2015). Karena ketergantungan sumberdaya air di DAS Cerucuk pada curah hujan maka pemahaman variabilitas curah hujan secara menyeluruh di DAS Cerucuk diperlukan.

Curah hujan DAS Cerucuk cukup tinggi. Puncak hujan terjadi dua kali dalam setahun yaitu bulan April (berkisar 300 mm) dan bulan Desember (berkisar 400 mm), dan periode kering terjadi pada bulan Agustus (berkisar 125 mm). Tipe curah hujan di Pulau Belitung berbeda dengan pulau terdekatnya Pulau Bangka yang bertipe Monsunal. Posisi geografis pulau Belitung tidak langsung terbuka terhadap Samudera Hindia dan Samudera Pasifik akan tetapi terbuka dengan Laut Cina Selatan. Seharusnya curah hujan di pulau Belitung kuat dipengaruhi oleh sistem Monsun Asia. Akan tetapi Pulau Belitung bertipe iklim semi monsun (Aldrian and Susanto 2003) atau ekuatorial (Tjasyono 2004).

Variabilitas curah hujan bulanan, dan musiman di Indonesia terutama dipengaruhi oleh dua sistem Monsun yaitu Monsun basah/Monsun Asia yang bersamaan dengan perpindahan posisi zona konvergensi antar tropik (ITCZ) pada bulan November – Maret dan Monsun kering/Monsun Australia dari bulan Mei – September (Aldrian and Susanto 2003). Meskipun dua sistem monsun terjadi secara periodik tetapi variabilitas curah hujan musiman dan antar musiman tidak selalu sama di setiap tahun. Ini disebabkan karena adanya fenomena iklim global El Nino Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole Mode (IOD) yang mempengaruhi variabilitas hujan di Indonesia. ENSO adalah fenomena iklim global yang dicirikan dengan naiknya suhu permukaan laut diatas normal di wilayah bagian timur lautan Pasifik (yang dikenal dengan istilah El Nino) sedangkan La Nina mempunyai kondisi yang sebaliknya (Trenberth *et al.* 2002). Beberapa penelitian telah dilakukan dalam hal mencari keterkaitan antara distribusi curah hujan di Indonesia dengan fenomena ENSO dan IOD. Aldrian dan Susanto (2003) menyimpulkan bahwa pengaruh ENSO terhadap anomali curah hujan terlihat jelas pada musim kering yaitu Juni - Agustus (JJA), dan pada musim peralihan September - Nopember (SON) dibandingkan saat musim basah Desember - Januari (DJF). Curah hujan di Indonesia bagian Selatan dipengaruhi oleh ENSO mulai bulan Juni sampai Nopember kecuali Indonesia bagian Barat Laut yang bertipe iklim semi monsun (Aldrian *et al.* 2007). IOD adalah perbedaan

anomali suhu permukaan laut (SPL) antara bagian Barat (10° LU- 10° LS; 60° BT- 80° BT) dan bagian Timur (0° - 10° LS ; 90° – 110° BT) dari Samudera Hindia (Behera and Yamagata 2001). Proses interaksi laut-atmosfer oleh IOD mempengaruhi pola anomali curah hujan di daerah tropis melalui telekoneksi (hubungan sebab akibat jarak jauh) antara lautan dan atmosfer (Ummenhofer *et al.* 2009). Apabila anomali suhu permukaan laut di Samudera Hindia tropis bagian barat lebih besar daripada di bagian timurnya, maka tekanan udara di atmosfer di Samudera Hindia tropis pantai Barat Sumatera akan sangat rendah dibandingkan di bagian Timurnya. Sehingga konveksi akan tinggi di Samudera Hindia tropis bagian Barat yang akan menyebabkan terjadi peningkatan curah hujan dari normalnya di pantai timur Afrika dan Samudera Hindia bagian barat. Sedangkan dipantai Barat Sumatera (Indonesia) terjadi tekanan udara yang lebih tinggi dari normalnya sehingga mengalami penurunan curah hujan dari normalnya yang menyebabkan kekeringan (Ashok *et al.* 2001). Fenomena El Nino dan IOD positif akan menurunkan jumlah curah hujan tahunan dan musiman di Indonesia terutama pada bulan Juni-Juli-Agustus dan September-Oktober dan Nopember. Fenomena El Nino dan IOD positif akan memperpanjang musim kemarau atau memperpendek musim hujan (Tjasyono *et al.* 2008). Hubungan antara fenomena ENSO dan IOD dengan curah hujan di beberapa stasiun pengamatan hujan berbeda beda, akan tetapi hubungan yang konsisten adalah IOD negatif mengurangi dampak El Nino pada penurunan curah hujan (Boer and Faqih 2004).

Sejumlah penelitian tersebut di atas dalam skala regional menyimpulkan bahwa secara umum anomali curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh variabilitas iklim skala global yaitu ENSO di Samudera Pasifik dan IOD di Samudera Hindia. Dimana semua aktivitas dan sistem ini berlangsung sepanjang tahun akan tetapi besar pengaruh dari masing-masing aktivitas atau sistem tersebut tidak sama di setiap tempat dan dapat berubah dari tahun ke tahun. Fenomena ENSO sangat kuat mempengaruhi daerah Indonesia bagian Selatan kecuali daerah bagian Barat Laut yang merupakan lokasi studi.

Adanya permasalahan sumberdaya air dan ketergantungan sumberdaya air pada curah hujan di DAS Cerucuk, memerlukan studi variabilitas curah hujan dengan menggunakan data pengukuran di lokasi penelitian. Dalam makalah ini akan ditentukan nilai korelasi curah hujan bulanan, musiman dan tahunan (menggunakan data pengukuran) di DAS Cerucuk dengan indeks ENSO dan IOD, korelasi spasial antara curah hujan musiman dengan Suhu Permukaan Laut (SPL) Indonesia dan dampak fenomena ENSO dan IOD pada variabilitas curah hujan bulanan dan musiman. Informasi penting tentang korelasi variabilitas curah hujan dengan fenomena

iklim global dan dampak dari fenomena iklim global pada variabilitas curah hujan di DAS Cerucuk diharapkan akan menjadi informasi penting dalam pengelolaan sumberdaya air di DAS Cerucuk.

Lokasi penelitian

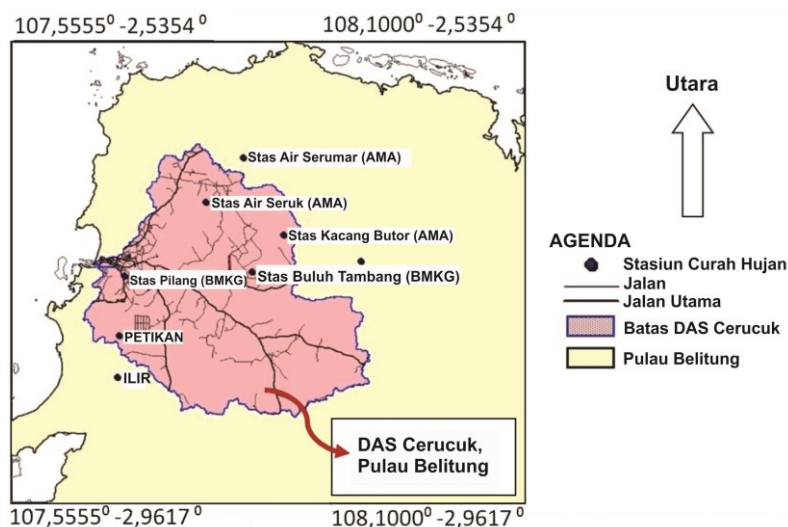
Lokasi penelitian adalah di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cerucuk, Pulau Belitung. Pulau Belitung terletak diantara pulau Bangka dan pulau Sumatera. DAS Cerucuk terletak antara 2.6° s/d 2.9°LS dan 107.6° s/d 107.8° BT, dengan ketinggian antara 12.5 s/d 500 m. Di dalam DAS Cerucuk terdapat kota Tanjungpandan sebagai ibu kota Kabupaten Belitung. Kabupaten Belitung mempunyai iklim tropis dan basah dengan variasi curah hujan bulanan pada tahun 2014 antara 25 mm sampai 523 mm dengan jumlah hari hujan antara 3 hari sampai 22 hari setiap bulannya (BPS Kabupaten Belitung 2015). Curah hujan bulanan rata rata tahun 2009 - 2015 berkisar antara 92 mm - 446 mm dan curah hujan tahunannya berkisar antara 2161 mm - 3871 mm (BPS Kabupaten Belitung 2015). Topografi daerah yang paling tinggi di Kabupaten Belitung kurang lebih 500 m dari atas permukaan laut, dimana puncak tertinggi ada di daerah Gunung Tajam. DAS Cerucuk merupakan salah satu dari DAS Utama di Kabupaten Belitung. Jumlah penduduk Kabupaten Belitung hasil proyeksi penduduk pada tahun 2014 sebesar 171. 271 jiwa, dengan laju pertumbuhan 2013-2014 sebesar 2,19 persen. Tingkat kepadatan penduduk rata rata di Kabupaten Belitung mencapai 75 orang perkm². Kecamatan Tanjungpandan memiliki tingkat kepadatan tertinggi yaitu sebesar 251 orang per km² (BPS Kabupaten Belitung 2015). Posisi geografis daerah penelitian dapat

dilihat pada Gambar 1.

Bahan dan Metode

Fenomena yang akan dianalisis adalah *ENSO* dan *IOD*. Korelasi akan dilakukan antara indeks curah hujan rata-rata bulanan, musiman dan tahunan dengan indeks Nino 3.4 (*ENSO*) dan indeks Dipole Mode (*IOD*) bulanan, musiman dan rata rata bulanan dalam setiap tahun selama tahun pengamatan. Indeks *ENSO* yang digunakan adalah indeks Nino 3.4 bulanan, musiman dan rata rata bulanan setiap tahun periode tahun 1980 – 2014 yang diambil dari Met Office Hadley Centre Observations datasets (Rayner *et al.* 2003). Indeks *Dipole Mode (DMI)* bulanan tahun 1980 – 2014 diunduh dari situs Jamstec: Low Latitude Climate Production Research (Ashok *et al.* 2001). Indeks *Dipole Mode* tahunan dibuat dengan cara menghitung rata rata bulannya di setiap tahun periode tahun 1980 - 2014. Analisis statistik dilakukan pada data curah hujan bulanan dari dua stasiun milik Badan Meteorologi dan Geofisika yaitu stasiun Meteorologi Buluh Tumbang dengan periode 1980 – 2014 (34 tahun) dan stasiun Geofisika Pilang untuk periode 1996 – 2013 (17 tahun). Data curah hujan bulanan dihitung rata-rata bulannya selama tahun pengamatan sehingga dapat diketahui waktu musim hujan dan musim kemarau untuk lokasi pengamatan (Gambar 2 dan Gambar 3).

Analisa statistik dan regresi linear antara curah hujan bulanan, musiman dan tahunan kedua stasiun dilakukan dengan Index Niño 3.4 dan Index Dipole Mode bulanan, musiman dan rata-rata di setiap tahun pengamatan untuk mengetahui korelasi antara iklim global (*ENSO*) dan *Dipole Mode (IOD)* dengan curah hujan bulanan, musiman



Gambar 1. Daerah Aliran Sungai (DAS) Cerucuk, Pulau Belitung dan sebaran lokasi stasiun pencatat curah hujan

Figure 1. Cerucuk watershed, Belitung island and distribution of rainfall stations

dan tahunan. Korelasi curah hujan dengan Index Niño 3.4 dan Indeks Dipole Mode ini dibuat dalam rata-rata bulanan, musiman, dan tahunan. Proses analisa statistik ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak climate explorer (Van Oldenborgh and Burger 2005).

Sebelum dilakukan proses korelasi, data curah hujan bulanan hasil pengukuran dari Stasiun Buluh Tumbang dan Pilang dihitung nilai anomali curah hujannya. Perhitungan nilai anomali hujan berfungsi untuk menghilangkan pengaruh musim (monsun) pada data curah hujan terukur. Anomali curah hujan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{An. } Ch_{ij} = Ch_{ij} - \overline{CH_{ij}} \dots\dots\dots 1)$$

$$\overline{CH_{ij}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Ch_j$$

An. Ch_{ij} = Anomali Curah hujan di stasiun ke-1 bulan ke-j

Setelah nilai anomali curah hujan setiap bulan di kedua stasiun selama tahun pengamatan diketahui, kemudian dilakukan “*filtering*”. Filter yang digunakan adalah filter “*high-pass*”. Dimana setiap nilai pada titik data diganti dengan nilai selisih antara nilai tahun ini dengan nilai tahun sebelumnya. Filtering dilakukan untuk memfokuskan pada signal-signal frekuensi *annual-interannual* dan menghilangkan pengaruh signal frekuensi rendah (*decadal-interdecadal*). Setelah dilakukan filtering maka ditentukan nilai korelasi antara anomali curah hujan yang telah difilter dengan indeks Nino 3.4 dan indeks Dipole-Mode dengan menggunakan persamaan korelasi untuk dua kelompok *time series data* (Francis *et al.* 1999), yang dapat dilihat di bawah ini:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{n s_x s_y} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \dots\dots\dots 2)$$

- Dimana:
- r = korelasi
- n = jumlah data
- x = indeks ENSO (Nino 3.4) dan IOD
- y = anomali curah hujan yang telah difilter.
- i = bulan

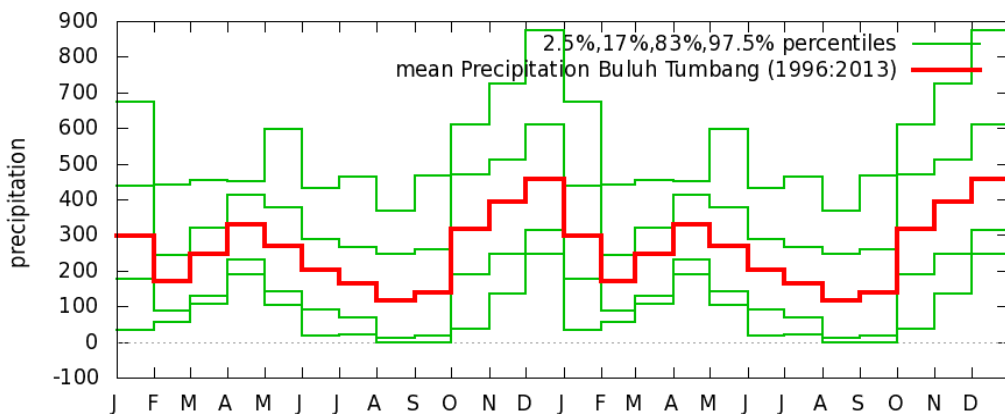
Nilai korelasi dengan menggunakan persamaan 2) di atas dibuat dalam rata-rata bulanan, 3 bulanan (musiman) dan tahunan. Korelasi musiman dibuat dengan cara menghitung rata-rata dari anomali curah hujan setiap 3 bulan (MAM, JJA, SON, dan DJF) kemudian dilakukan proses *filtering* dengan “*high-pass filter*”, lalu ditentukan nilai korelasi setiap musim dengan indeks Nino 3,4 dan indeks *IOD* setiap musim.

Korelasi antara data curah hujan tahunan dengan indeks iklim dilakukan dengan cara mengkorelasikan data curah hujan tahunan hasil pengukuran dari Stasiun Buluh Tumbang dan Pilang dengan indeks Nino 3,4 dan indeks Dipole Mode rata-rata bulanan di setiap tahun selama tahun pengamatan. Korelasi dibuat untuk periode hujan dan fenomena iklim 1 – 8 tahun. Korelasi spasial curah hujan musiman dengan SPL Indonesia disusun dengan cara menentukan nilai koefisien korelasi antara data curah hujan di kedua stasiun dengan data pengukuran spasial *sea surface temperature* yang diambil dari Met Office Hadley Centre Observations datasets, HadISST (Rayner *et al.* 2003).

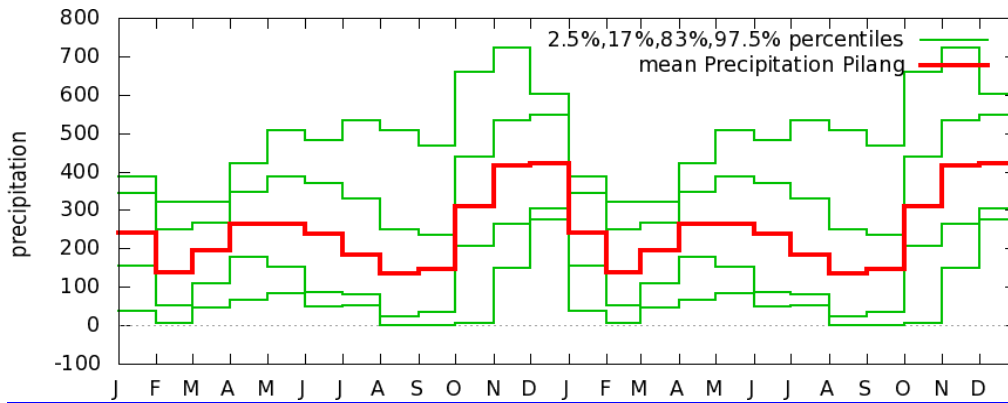
Hasil Pengolahan data

Variabilitas temporal dan siklus curah hujan bulanan

Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa variabilitas temporal curah hujan bulanan di DAS Cerucuk mempunyai tipe hujan equatorial dengan dua puncak musim hujan yaitu bulan April (250 mm – 350 mm) dan



Gambar 2. Siklus 2 (dua) tahun dan anomali curah hujan Stasiun Buluh Tumbang(1980-2014).
 Figure 2. Two annual rainfall cycles of Buluh Tumbang station (1980-2014).



Gambar 3. Siklus 2 (dua) tahun curah hujan Stasiun Pilang (1996-2013).

Figure 3. Two annual rainfall cycles of Pilang station (1996 - 2013).

Desember (400 mm – 480 mm). Dimana puncak utama musim hujan terjadi di bulan Desember. Musim kemarau di DAS Cerucuk terjadi pada bulan Agustus dengan curah hujan bulanan rata-rata berkisar (125 mm -150 mm). Curah hujan bulanan rata-rata di Stasiun Buluh Tumbang tampak lebih tinggi dibandingkan di Stasiun Pilang.

Korelasi curah hujan bulanan dengan ENSO

Korelasi antara nilai anomali hujan bulanan dengan indeks Nino 3.4 . dapat dilihat pada Tabel 1. dan Tabel 2.

Tabel 1. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan bulanan Stasiun Buluh Tumbang dengan indeks Nino 3.4 (1980 – 2014).

Table 1. Time series correlation and significancy level between monthly rainfall of Buluh Tumbang with ENSO indeks (1980 – 2014).

Bulan	Lag = 0		Lag = -1	
	korelasi	Tingkat signifikansi	korelasi	Tingkat signifikansi
Jan	0,501	0,0026	0,473	0,0047
Feb	0,525	0,0014	0,46	0,0062
Mar	-0,144	0,416	-0,134	0,4503
Apr	-0,186	0,2927	-0,319	0,066
Mei	-0,059	0,7405	-0,142	0,4222
Jun	0,058	0,7456	-0,12	0,4976
Jul	-0,577	0,0004	-0,628	0,0001
Agu	-0,665	0,0001	-0,674	0,0000
Sep	-0,485	0,0037	-0,425	0,0121
Okt	-0,555	0,0007	-0,625	0,0001
Nop	-0,083	0,6418	-0,058	0,7434
Des	0,249	0,1556	0,259	0,1393

Tabel 2. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan bulanan Stasiun Pilang dengan indeks Nino 3.4 (1996 - 2013)

Table 2. Time series correlation and significancy level between monthly rainfall of Pilang station with ENSO indeks (1996 - 2013).

Bulan	Lag = 0		Lag = -1	
	korelasi	Tingkat signifikansi	korelasi	Tingkat signifikansi
Jan	0.479	0.0705	0.45	0.092
Feb	0.311	0.2241	0.261	0.3115
Mar	-0.113	0.6658	-0.183	0.4823
Apr	0.071	0.8027	-0.177	0.5282
Mei	0.158	0.5749	-0.215	0.4426
Jun	-0.368	0.1772	-0.578	0.024
Jul	-0.534	0.0403	-0.585	0.0221
Agu	-0.663	0.0071	-0.635	0.011
Sep	-0.827	0.0001	-0.797	0.0004
Okt	-0.506	0.0543	-0.56	0.0301
Nop	0.451	0.0913	0.398	0.1413
Des	0.434	0.1061	0.48	0.0705

Hasil korelasi curah hujan bulanan dengan indek Nino 3.4 bulanan (Lihat Tabel 1. dan Tabel 2.) menunjukkan korelasi yang tertinggi di Stasiun Buluh Tumbang terjadi pada bulan Agustus dengan nilai korelasi -0.674 lag = -1. Untuk Stasiun Pilang korelasi tertinggi terjadi pada bulan September dengan korelasi -0,827 pada lag = 0. Korelasi negatif antara curah hujan bulanan dengan indeks Nino 3.4 memberi arti jika terdapat kenaikan temperatur permukaan laut di atas normalnya di wilayah bagian timur samudra Pasifik akan mengakibatkan angin bergerak dari Barat ke Timur sehingga konveksi akan terjadi cukup kuat di bagian Timur Samudera Pasifik, sehingga berakibat pada penurunan jumlah curah hujan di Indonesia termasuk di DAS Cerucuk, Pulau Belitung. Dan sebaliknya penurunan

temperatur permukaan laut di bawah normalnya di bagian timur Samudera Pasifik berkorelasi dengan peningkatan jumlah curah hujan di DAS Cerucuk. Korelasi ini terjadi di musim kemarau bersamaan dengan signal *ENSO*. Lag = -1 artinya signal *ENSO* di Stasiun Buluh Tumbang direspon terlambat 1 bulan oleh curah hujan bulanan sedangkan lag = 0 di Stasiun Pilang artinya signal *ENSO* direspon langsung oleh curah hujan bulanan stasiun Pilang. Berdasarkan korelasi di atas menunjukkan di DAS Cerucuk fenomena *ENSO* tampak kuat mempengaruhi curah hujan bulanan di bulan Agustus dan September yang merupakan musim kemarau di DAS Cerucuk (Lihat Gambar 2 dan Gambar 3).

Korelasi curah hujan musiman dengan *ENSO*

Korelasi antara nilai anomali hujan musiman dengan indeks Nino 3.4 dapat dilihat pada Tabel 3. dan Tabel 4.

Tabel 3. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan musiman Stasiun Buluh Tumbang dengan indeks Nino 3.4 (1980 - 2014)

Table 3. Time series correlation and significancy level between monthly rainfall of Buluh Tumbang station with *ENSO* indeks (1980 - 2014)

Bulan	Lag =0		Lag = -1	
	korelasi	Tingkat signifikansi	korelasi	Tingkat signifikansi
Jan-Mar	0.473	0.0047	0.425	0.0123
Feb-Apr	0.118	0.5073	-0.015	0.9339
Mar-Mei	-0.15	0.3982	-0.181	0.3065
Apr-Jun	-0.083	0.6424	-0.167	0.3451
Mei-Jul	-0.234	0.1833	-0.363	0.0348
Jun-Agu	-0.59	0.0006	-0.657	0.0001
Jul-Sep	-0.722	0.0000	-0.733	0.0000
Agu-Okt	-0.756	0.0000	-0.772	0.0000
Sep-Nov	-0.605	0.0001	-0.621	0.0001
Okt-Des	-0.236	0.1785	-0.24	0.1722
Nov-Jan	0.409	0.018	0.411	0.0175
Des-Feb	0.572	0.0005	0.554	0.0008

Hasil korelasi curah hujan rata-rata musiman dengan indeks Nino 3.4 musiman hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3. dan Tabel 4. Di Stasiun Buluh Tumbang menunjukkan korelasi yang tinggi pada bulan Agustus September Oktober dengan nilai korelasi -0.722 pada lag = -1. Untuk Stasiun Pilang korelasi tertinggi terjadi pada bulan Juli Agustus September dengan korelasi -0,811 pada lag = 0. Hasil korelasi menunjukkan bahwa curah hujan musiman di Stasiun Buluh Tumbang merespon signal *ENSO* terlambat 1 bulan sedangkan di stasiun Pilang merespon langsung signal *ENSO*. Korelasi yang kuat antara curah hujan musiman dengan fenomena *ENSO*

terjadi pada musim kemarau. Korelasi negatif bermakna apabila terjadi fenomena kenaikan temperatur permukaan laut di wilayah bagian timur samudra Pasifik (*El Nino*) mengakibatkan penurunan jumlah curah hujan pada musim Juli Agustus September dan Agustus September Oktober yaitu pada musim peralihan Monsun kering ke Monsun basah sampai musim kemarau (Monsun kering) di DAS Cerucuk.

Tabel 4. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan musiman Stasiun Pilang dengan indeks Nino 3.4 (1996 - 2013)

Table 4. Time series correlation and significancy level between seasonal rainfall of Pilang station with *ENSO* indeks (1996 - 2013)

Bulan	Lag =0		Lag = -1	
	korelasi	Tingkat signifikansi	korelasi	Tingkat signifikansi
Jan-Mar	0.275	0.3218	0.189	0.5004
Feb-Apr	0.009	0.9759	-0.24	0.3899
Mar-Mei	0.039	0.8894	-0.187	0.5046
Apr-Jun	-0.039	0.891	-0.363	0.1842
Mei-Jul	-0.361	0.1863	-0.535	0.04
Jun-Agu	-0.706	0.0033	-0.724	0.0023
Jul-Sep	-0.811	0.0008	-0.788	0.0014
Agu-Okt	-0.718	0.0057	-0.73	0.0046
Sep-Nov	-0.416	0.1575	-0.506	0.078
Okt-Des	0.122	0.665	0.09	0.7485
Nov-Jan	0.644	0.0175	0.614	0.0257
Des-Feb	0.599	0.0305	0.574	0.04

Korelasi variabilitas curah hujan tahunan dengan *ENSO*

Korelasi antara nilai anomali hujan tahunan dengan indeks Nino 3.4 dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Korelasi kuat antara curah hujan tahunan dengan dengan indeks Nino 3.4 di Stasiun Buluh Tumbang ditunjukkan dengan nilai R = -0.64 sampai -0.67. sedangkan di Stasiun Pilang ditunjukkan dengan nilai R = - 0.64 sampai -0.71. (Lihat Tabel 5. dan Tabel 6.). Nilai korelasi ini menunjukkan korelasi negatif yang kuat (Jonathan 2006), dimana apabila nilai indeks Nino 3.4 positif (*El Nino*) maka akan terjadi penurunan curah hujan tahunan. Korelasi yang tinggi antara curah hujan tahunan di Stasiun Buluh Tumbang terjadi pada periode *ENSO* 2, 4 dan 8. Sedangkan di Stasiun Pilang korelasi yang tinggi antara curah hujan tahunan dengan indeks Nino 3.4 adalah 2, 4, 5 dan 7. Secara umum peristiwa *ENSO* mempunyai periode ulang antara 2 – 8 tahun (D'Arrigo *et al.* 2005, Harijono 2010). Korelasi yang kuat di periode 1 tahun pada kedua stasiun bermakna pada saat tahun terjadi

anomali pada indeks Nino3,4 akan direspon oleh curah hujan tahunan di tahun yang sama. Dapat ditunjukkan pula bahwa korelasi yang kuat dan signifikan terjadi pada Lag = 0. (Lihat Tabel 5. dan 6.). Tampak di Stasiun Buluh Tumbang curah hujan tahunannya kuat dipengaruhi oleh ENSO pada pada periode ulang 2, 4 dan 8 tahun. Sedangkan di Stasiun Pilang curah hujan tahunannya kuat dipengaruhi oleh ENSO pada pada periode ulang 2, 4, 5 dan 7.

Tabel 5. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan tahunan Stasiun Buluh Tumbang dengan indeks Nino 3.4 (1980 - 2014)

Table 5. Time series correlation and significancy level between annual rainfall of Buluh Tumbang with ENSO indeks (1980 - 2014)

Periode (tahun)	Lag = 0		Lag = -1	
	Korelasi	Tingkat Signifikansi	Korelasi	Tingkat Signifikansi
1	-0,672	0,0000	0,323	0,0628
2	-0,650	0,0000	0,200	0,2633
3	-0,562	0,0008	0,047	0,8004
4	-0,657	0,0001	0,197	0,2878
5	-0,424	0,0195	0,355	0,0541
6	-0,472	0,0098	0,489	0,0071
7	-0,597	0,0008	0,154	0,4342
8	-0,639	0,0003	0,197	0,3245

Tabel 6. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan tahunan Stasiun Pilang dengan indeks Nino 3.4 (1996-2013).

Table 6. Time series correlation and significancy level between annual rainfall of Pilang station with ENSO indeks (1996-2013).

Periode (tahun)	Lag = 0		Lag = -1	
	Korelasi	Tingkat Signifikansi	Korelasi	Tingkat Signifikansi
1	-0,718	0,0012	0,517	0,0335
2	-0,712	0,0020	0,211	0,4326
3	-0,519	0,0474	0,104	0,7118
4	-0,637	0,0142	0,416	0,1385
5	-0,659	0,0143	0,328	0,2742
6	-0,505	0,0939	0,508	0,0914
7	-0,706	0,0152	0,247	0,4635
8	-0,614	0,0591	0,389	0,2672

Korelasi variabilitas curah hujan bulanan dengan IOD

Korelasi antara nilai anomali hujan bulanan dengan

Dipole Mode Index dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan bulanan Stasiun Buluh Tumbang dengan *Dipole Mode Index* (1980 - 2014)

Table 7. Time series correlation and significancy level between monthly rainfall of Buluh Tumbang station with IOD indeks (1980 - 2014)

Bulan	Lag =0		Lag = -1	
	korelasi	Tingkat signifikansi	korelasi	Tingkat signifikansi
Jan	0.158	0.3717	0.014	0.9358
Feb	0.069	0.6976	-0.085	0.6341
Mar	0.126	0.4786	0.049	0.7848
Apr	0.268	0.1255	0.071	0.6897
Mei	-0.167	0.3442	-0.294	0.091
Jun	-0.265	0.1303	-0.284	0.1039
Jul	-0.503	0.0024	-0.583	0.0003
Agu	-0.423	0.0198	-0.516	0.0035
Sep	-0.557	0.0006	-0.596	0.0002
Okt	-0.734	0.0000	-0.695	0.0000
Nop	0.021	0.9072	-0.012	0.948
Des	0.18	0.3086	0.006	0.9726

Tabel 8. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan bulanan Stasiun Pilang dengan *Dipole Mode Index* (1996 - 2013)

Table 8. Time series correlation and significancy level between monthly rainfall of Pilang station with IOD index(1996 - 2013)

Bulan	Lag =0		Lag = -1	
	korelasi	Tingkat signifikansi	korelasi	Tingkat signifikansi
Jan	0.21	0.452	0.205	0.4633
Feb	0.264	0.3056	-0.111	0.6707
Mar	0.428	0.0866	-0.054	0.8367
Apr	-0.037	0.8965	-0.35	0.2005
Mei	-0.018	0.949	-0.634	0.0112
Jun	-0.257	0.3552	-0.203	0.469
Jul	-0.324	0.2381	-0.49	0.0637
Agu	-0.179	0.5223	-0.356	0.1928
Sep	-0.47	0.0768	-0.738	0.0017
Okt	-0.666	0.0068	-0.64	0.0101
Nop	0.103	0.7152	0.187	0.5043
Des	0.419	0.1196	0.17	0.5447

Hasil korelasi curah hujan bulanan dengan *Dipole Mode Index* bulanan (Lihat Tabel 7. dan Tabel 8. menunjukkan curah hujan bulanan di Stasiun Buluh Tumbang menunjukkan korelasi yang tinggi pada bulan

Oktober dengan nilai korelasi -0.734 dengan lag = 0. Untuk Stasiun Pilang korelasi yang tinggi terjadi pada bulan September dengan korelasi -0,738 dengan lag = -1. Korelasi tertinggi di Stasiun Buluh Tumbang dengan lag = 0, yang artinya signal *IOD* direspon langsung oleh curah hujan bulanan. Sedangkan di Stasiun Pilang korelasi tertinggi pada R= -0.738 dengan lag = -1, artinya signal *IOD* direspon terlambat 1 bulan oleh curah hujan bulanan di Stasiun Pilang. Korelasi yang cukup kuat antara curah hujan bulanan dengan fenomena *IOD* di Stasiun Buluh Tumbang terjadi pada Oktober dan di Stasiun Pilang terjadi pada bulan September, dimana bulan tersebut merupakan bulan transisi dari musim kemarau ke musim hujan (Lihat Tabel 7. dan Tabel 8.). Korelasi negatif menunjukkan apabila terjadi *IOD* positif, yaitu suhu permukaan laut lebih hangat dari normalnya di Samudera Hindia Barat, sedangkan di bagian Timur lebih dingin dari normalnya (Saji and Yamagata 2003), dimana kondisi ini mengakibatkan angin bergerak dari Timur ke Barat sehingga wilayah Indonesia mengalami penurunan curah hujan (Behera *et al.*2008). Demikian juga hal ini terjadi di DAS Cerucuk, Pulau Belitung.

Korelasi curah hujan musiman dengan *IOD*

Korelasi antara nilai anomali hujan musiman dengan *Dipole Mode Index* dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan musiman Stasiun Buluh Tumbang dengan *Dipole Mode Index* (1980 - 2014)

Table 9. *Time series correlation and significancy level between seasonal rainfall of Buluh Tumbang station with IOD index (1980 - 2014)*

Bulan	Lag =0		Lag = -1	
	korelasi	Tingkat signifikansi	korelasi	Tingkat signifikansi
Jan-Mar	0.147	0.407	-0.07	0.6951
Feb-Apr	0.222	0.2079	0.17	0.3355
Mar-Mei	0.206	0.2417	0.033	0.8548
Apr-Jun	-0.165	0.3515	-0.304	0.0805
Mei-Jul	-0.436	0.0099	-0.534	0.0012
Jun-Agu	-0.558	0.0014	-0.607	0.0004
Jul-Sep	-0.604	0.0004	-0.696	0.0000
Agu-Okt	-0.776	0.0000	-0.809	0.0000
Sep-Nov	-0.755	0.0000	-0.748	0.0000
Okt-Des	-0.257	0.142	-0.282	0.1059
Nov-Jan	0.367	0.0358	0.128	0.4779
Des-Feb	0.264	0.1371	-0.071	0.6958

Tabel 10. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan musiman Stasiun Pilang dengan *Dipole Mode Index* (1996 - 2013).

Table 10. *Time series correlation and significancy level between seasonal rainfall of Pilang station with IOD index (1996 - 2013).*

Bulan	Lag =0		Lag = -1	
	korelasi	Tingkat signifikansi	korelasi	Tingkat signifikansi
Jan-Mar	0.286	0.3023	0.194	0.4889
Feb-Apr	0.126	0.6535	-0.065	0.8174
Mar-Mei	0.108	0.7026	-0.204	0.4655
Apr-Jun	-0.209	0.4538	-0.324	0.2391
Mei-Jul	-0.344	0.2088	-0.499	0.0585
Jun-Agu	-0.287	0.2999	-0.363	0.1836
Jul-Sep	-0.15	0.6259	-0.503	0.08
Agu-Okt	-0.407	0.1671	-0.597	0.0314
Sep-Nov	-0.63	0.021	-0.73	0.0046
Okt-Des	-0.077	0.7855	-0.113	0.6893
Nov-Jan	0.452	0.1213	0.279	0.3559
Des-Feb	0.476	0.1001	0.131	0.6705

Nilai korelasi curah hujan musiman dengan *Dipole Mode Index* dapat dilihat pada Tabel 9. dan 10. Curah hujan musiman Stasiun Buluh Tumbang menunjukkan adanya korelasi yang tinggi dengan *IOD* pada bulan September Oktober Nopember dengan R = -0.809, dengan lag = -1. Sementara di Stasiun Pilang (R=-0.73) dengan lag = -1. Korelasi negatif antara curah hujan musiman dengan *IOD* menunjukkan apabila terjadi *IOD* positif, yaitu suhu permukaan laut lebih hangat di Samudera Hindia Barat, sedangkan di bagian Timur lebih dingin dari normalnya (Saji and Yamagata, 2003). Kondisi ini mengakibatkan angin bergerak dari Timur ke Barat sehingga wilayah Indonesia mengalami penurunan curah hujan, demikian juga yang terjadi di DAS Cerucuk, Pulau Belitung. Korelasi terkuat terjadi pada musim Agustus September dan Oktober di Stasiun Buluh Tumbang dan September Oktober Nopember di Stasiun Pilang, yaitu pada musim kemarau (monsun Australia) sampai musim peralihan menuju musim hujan (Monsun Asia).

Korelasi variabilitas curah hujan tahunan dengan *IOD*

Korelasi antara nilai anomali hujan tahunan dengan *Dipole Mode Index* dapat dilihat pada Tabel 11. dan Tabel 12.

Tabel 11. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan tahunan Stasiun Buluh Tumbang dengan *Dipole Mode Index* (1980 - 2014)

Table 11. *Time series correlation and significancy level between annual rainfall of Buluh Tumbang station with IOD index (1980 - 2014).*

Periode (tahun)	Lag = 0		Lag = -1	
	Korelasi	Tingkat Signifikansi	Korelasi	Tingkat Signifikansi
1	-0,641	0,0000	0,274	0,1164
2	-0,651	0,0000	0,181	0,3135
3	-0,533	0,0017	-0,240	0,1851
4	-0,700	0,0000	0,140	0,4511
5	-0,674	0,0000	0,257	0,1696
6	-0,640	0,0002	0,039	0,8418
7	-0,702	0,0000	0,071	0,7207
8	-0,684	0,0001	0,075	0,7118

Tabel 12. Korelasi fungsi waktu dan tingkat signifikansi antara curah hujan tahunan Stasiun Pilang dengan *Dipole Mode Index* (1996 - 2013)

Table 12. *Time series correlation and significancy level between annual rainfall of Pilang station with IOD index(1996 - 2013)*

Periode (tahun)	Lag = 0		Lag = -1	
	Korelasi	Tingkat Signifikansi	Korelasi	Tingkat Signifikansi
1	-0,664	0,0037	0,498	0,0421
2	-0,555	0,0256	0,037	0,8932
3	-0,091	0,7462	-0,391	0,1494
4	-0,711	0,0043	0,339	0,2352
5	-0,477	0,0996	0,086	0,7798
6	-0,333	0,2895	-0,085	0,7931
7	-0,544	0,0840	-0,11	0,7485
8	-0,504	0,1376	0,069	0,8495

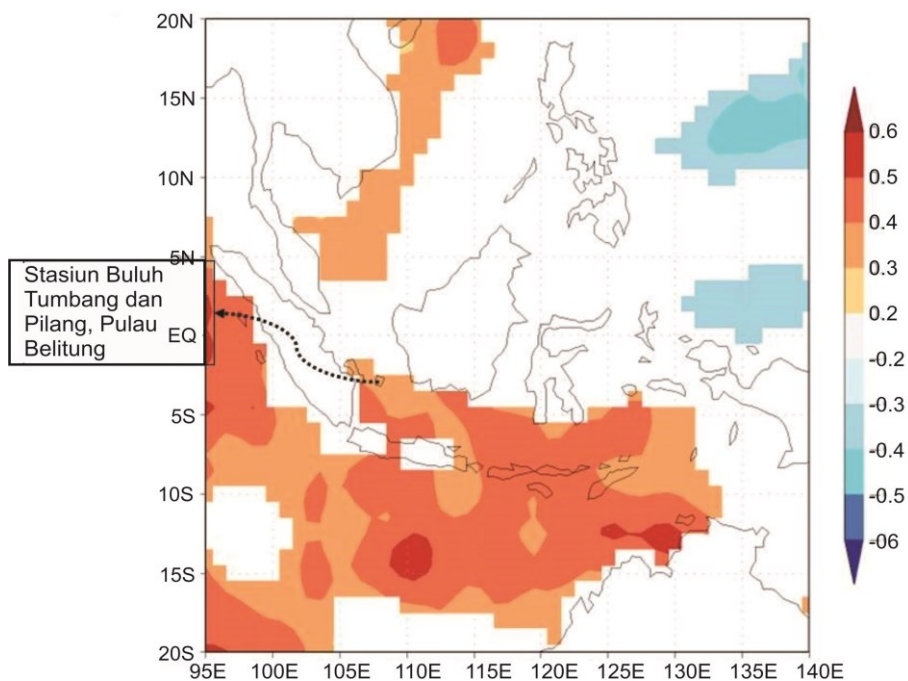
Korelasi antara curah hujan tahunan di Stasiun Buluh Tumbang dengan *Dipole Mode Index* menunjukkan adanya korelasi kuat dengan $R = -0.65$ sampai $R = -0.7$. Untuk Stasiun Pilang $R = -0.66$ sampai -0.71 . (Tabel 11. dan Tabel 12.). Korelasi curah hujan tahunan di kedua stasiun dengan indeks *Dipole Mode* dikatakan korelasi negatif kuat dimana apabila ada anomali indeks *Dipole Mode* positif akan direspon dengan penurunan curah hujan tahunan di kedua stasiun di DAS Cerucuk. Korelasi negatif kuat antara curah hujan tahunan di Stasiun Buluh Tumbang terjadi pada periode ulang 2, 4 dan 7 dari fenomena *Dipole Mode*. Sedangkan curah hujan tahunan di Stasiun Pilang berkorelasi negatif kuat dengan fenomena *Dipole Mode* dengan periode ulang 4 tahun.

Pola spasial korelasi curah hujan musiman Buluh Tumbang dan Pilang dengan Suhu Permukaan Laut (SPL) Indonesia

Pola korelasi spasial antara curah hujan bulanan di DAS Cerucuk dengan Suhu Permukaan Laut Indonesia (SPL) di kedua stasiun menunjukkan korelasi yang kuat di musim monsun kering/Australia yaitu bulan Juni - Nopember. Sementara di musim monsun basah/Asia korelasi antara curah hujan musiman dengan SPL Indonesia tampak melemah (Lihat Gambar 4a, Gambar 4b, Gambar 5a dan Gambar 5b). Pola spasial ini memperkuat hasil korelasi antara curah hujan bulanan dan musiman di DAS Cerucuk dengan ENSO dan IOD. Dimana korelasi yang kuat terjadi pada bulan Agustus, September, Oktober dan pada musim JJA dan SON. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa pengaruh fenomena El Nino cukup kuat pada bulan Juni - Nopember dimana fenomena tersebut mengakibatkan adanya penurunan curah hujan di DAS Cerucuk.

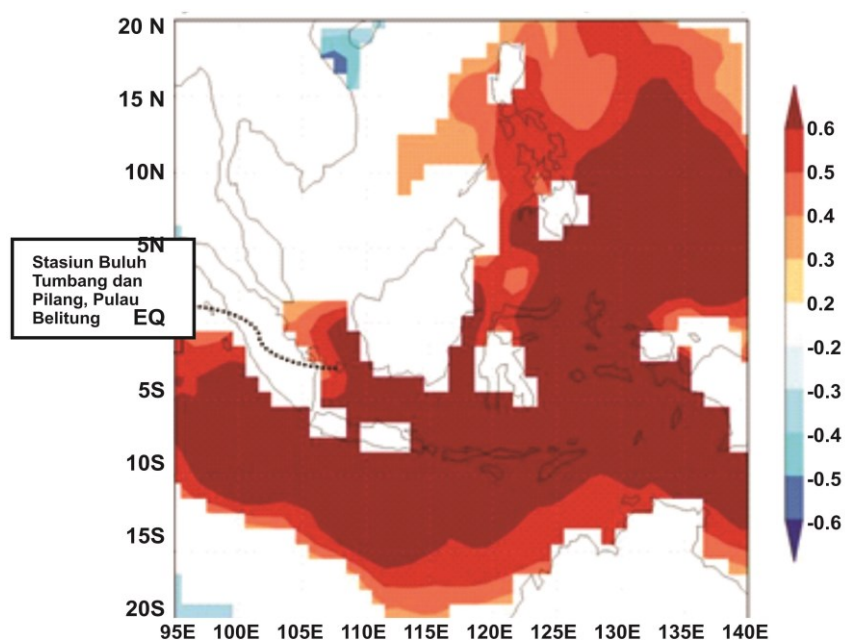
Pada penelitian sebelumnya pada bulan Juni - Juli anomali SPL cenderung positif di ekuatorial Pasifik dan cenderung negatif di wilayah Indonesia (Hidayat dan Ando 2014). Perbedaan ini mengakibatkan terjadinya gradien SPL antara Pasifik dan Indonesia. Sehingga di Pasifik terbentuk area tekanan rendah dan di Indonesia terbentuk area tekanan tinggi. Fenomena ini berjalan terus sampai bulan September - Oktober. Pada bulan Juni – September dominan bertiup angin menuju ke Timur, sehingga apabila ada anomali tingginya suhu muka laut di Pasifik yang memicu terbentuknya area tekanan rendah (temperatur permukaan laut tinggi) di Pasifik dan tekanan tinggi di Indonesia (temperatur permukaan lautnya rendah), maka konsekuensinya angin Timuran akan semakin kuat yang menyebabkan tingginya konveksi di Pasifik dan rendahnya curah hujan di Indonesia . Hal ini ditunjukkan pada korelasi spasial yang kuat dan positif antara SPL dan variabilitas curah hujan musiman di Stasiun Buluh Tumbang dan Pilang (Gambar 4a, Gambar 4b, Gambar 5a dan Gambar 5b).

Memasuki bulan Desember perbedaan gradien SPL antara Pasifik dan Indonesia mulai melemah dan SPL di sebelah Barat bagian Indonesia mulai menghangat (Hidayat dan Ando 2014). Pada bulan November angin menuju ke Timur semakin lemah karena dilemahkan oleh Monsun Asia, yang kemudian meningkatkan curah hujan di Indonesia. Pada masa ini curah hujan di Indonesia sangat kuat dipengaruhi oleh angin utama Monsun Asia bukan oleh gradien SPL ekuatorial seperti pada saat bulan JJA dan SON (Gambar 4a, Gambar 4b, Gambar 5a dan Gambar 5b) . Hal ini menjelaskan melemahnya korelasi antara curah hujan di Stasiun Buluh Tumbang dan Pilang dengan SPL ekuatorial di bulan Desember – Mei (Gambar



Gambar 4a. Pola spasial korelasi curah hujan musiman stasiun Buluh Tumbang (Desember - Mei) dengan suhu permukaan laut (1980 – 2014).

Figure 4a. Spasial correlation between seasonal rainfall of Buluh Tumbang station (December - May) with sea surface temperature (1980 – 2014)

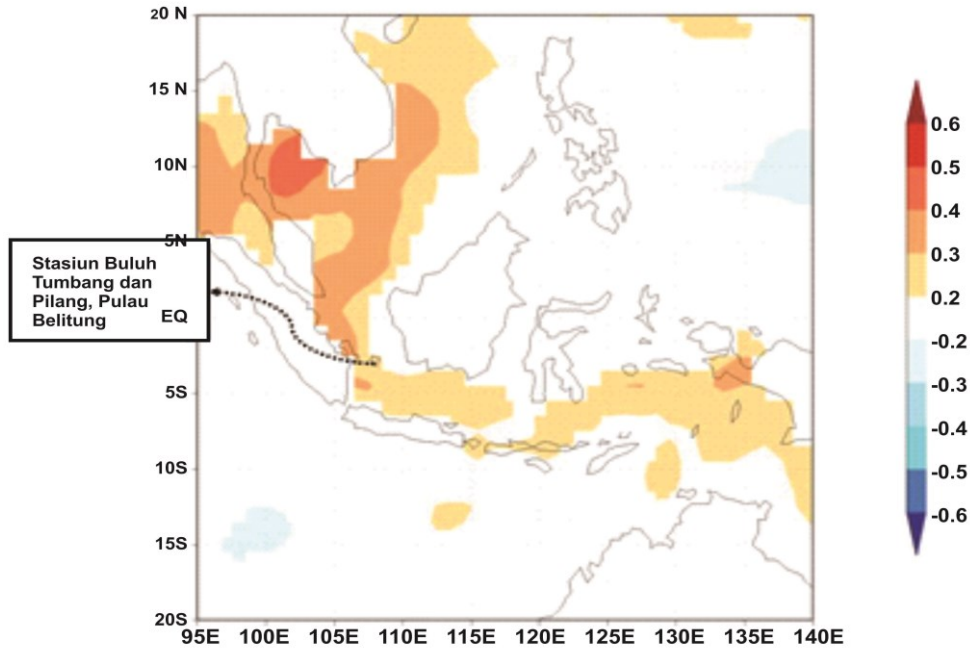


Gambar 4b. Pola spasial korelasi curah hujan musiman stasiun Buluh Tumbang (Juni - Nopember) dengan suhu permukaan laut (1980 – 2014) .

Figure 4b. Spasial correlation between seasonal rainfall of Buluh Tumbang station (June - November) with sea surface temperature (1980 – 2014)

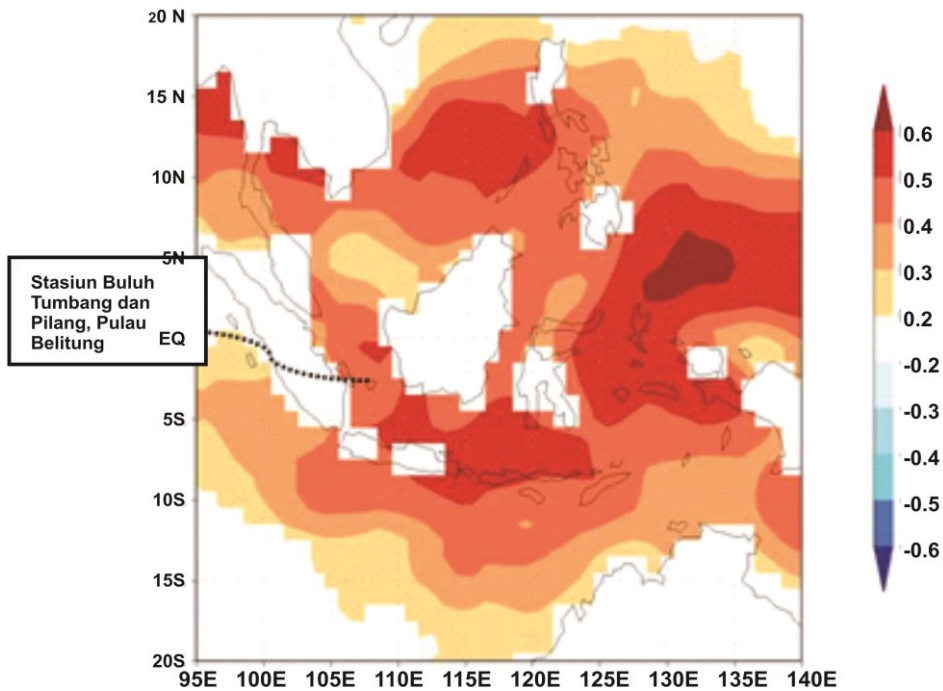
4a, Gambar 4b, Gambar 5a dan Gambar 5b). Hasil analisis ini diperkuat oleh penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa korelasi antara variabilitas hujan dengan SPL

ekuatorial tinggi di musim kemarau dan rendah di musim hujan (Hamada *et al.* 2012).



Gambar 5a. Pola spasial korelasi curah hujan musiman Stasiun Pilang (Desember - Mei) dengan suhu permukaan laut (1996 – 2013)

Figure 5a. Spasial correlation between seasonal rainfall of Pilang station (December - May) with sea surface temperature (1996 – 2013)



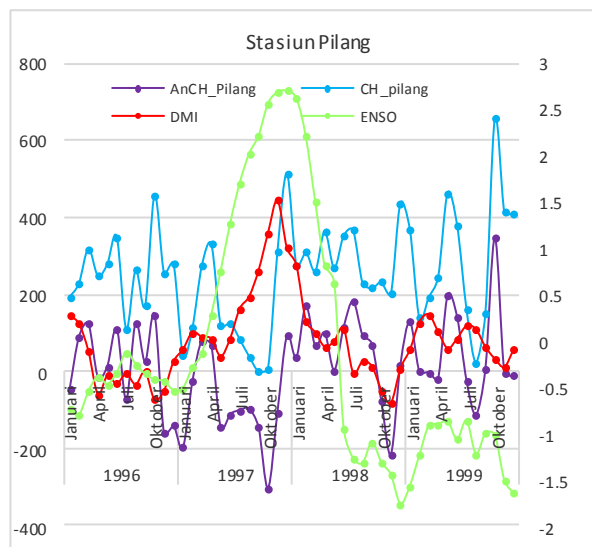
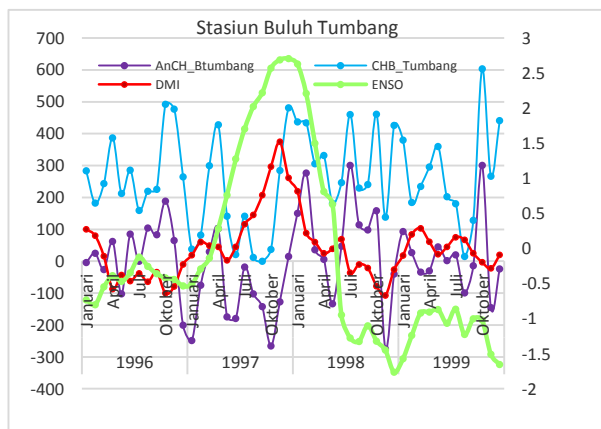
Gambar 5b. Pola spasial korelasi curah hujan musiman Stasiun Pilang (Juni - November) dengan suhu permukaan laut (1996 – 2013)

Figure 5b. Spasial correlation between seasonal rainfall of Pilang station (June -November) with sea surface temperature (1996 – 2013)

Dampak Fenomena ENSO dan IOD pada curah hujan bulanan

Dampak fenomena ENSO dan IOD pada curah hujan bulanan dilakukan dengan menggambarkan indeks Nino 3.4 dan IOD dengan anomali hujan dan curah hujan bulanan dan musiman. Pada tulisan ini digunakan curah hujan bulanan dan musiman dan indeks Nino 3.4 dan IOD tahun 1996 - 1999. Tujuannya adalah untuk mengamati pengaruh fenomena ENSO dan IOD tahun 1997/1998 pada curah hujan bulanan. Nilai korelasi dan tingkat signifikansi antara curah hujan bulanan dan musiman dengan indeks Nino 3.4 dan indeks IOD telah ditentukan dibagian sebelumnya pada makalah ini.

bulan Agustus. Akibat fenomena El Nino dan IOD positif, jumlah curah hujan pada bulan Oktober kurang dari 50 mm. Data di atas memperlihatkan bahwa adanya fenomena El Nino dan IOD positif di Stasiun Buluh Tumbang dan Pilang menyebabkan musim kemarau datang lebih cepat dan masa berlangsungnya lebih lama. Pada tahun 1998 terjadi nilai indeks Nino 3.4 dan IOD negatif yang menyebabkan curah hujan lebih tinggi dari normalnya. Bulan Agustus pada keadaan normal adalah waktu kemarau di DAS Cerucuk, tetapi pada Agustus 1998 DAS Cerucuk menerima curah hujan bulanan yang lebih banyak yaitu berkisar 200 mm. Pada kondisi normal curah hujan bulanan DAS Cerucuk di bulan Agustus hanya berkisar sekitar 120 mm.



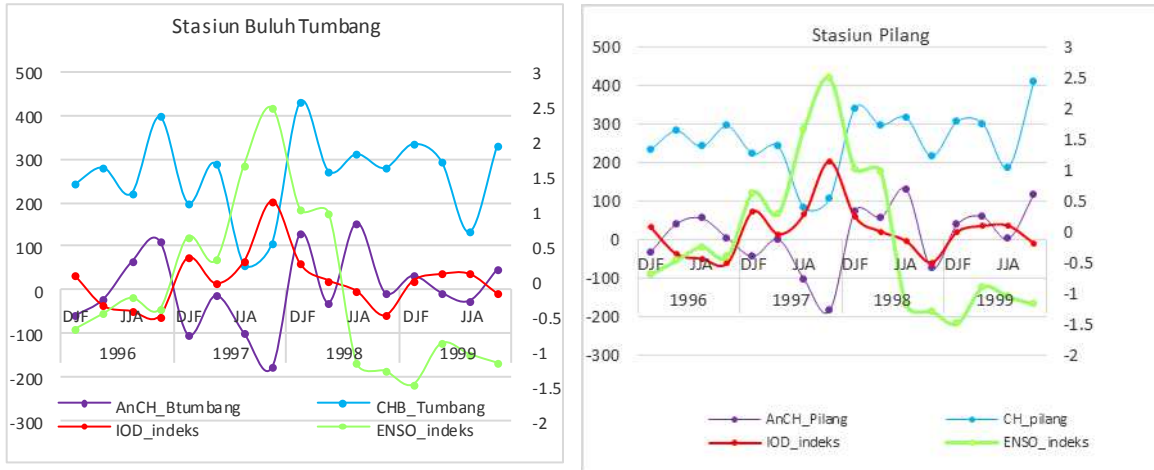
Gambar 6. Dampak fenomena ENSO dan IOD pada variabilitas curah hujan bulanan

Figure 6. The effect of ENSO and IOD phenomenon on the monthly rainfall variability

Gambar 6 menunjukkan curah hujan dan anomali curah hujan bulanan pada saat fenomena El Nino pada bulan Juni 1997 - November 1997 dan IOD positif pada September 1997 - Nopember 1997. Adanya fenomena ini mengakibatkan adanya anomali negatif curah hujan mulai bulan Mei 1997 - November 1997. Grafik di atas menunjukkan adanya fenomena ENSO dan IOD tampak mempercepat datangnya musim kemarau dan memperpanjang masa musim kemarau. Di saat kondisi normal musim kemarau terjadi pada bulan Agustus, akan tetapi karena adanya El Nino, pada bulan Mei di Buluh Tumbang maupun di Pilang nilai curah hujan bulanan turun sampai di bawah 150 mm. Pada kondisi normal bulan Mei, curah hujan di Stasiun Buluh Tumbang dan Pilang berkisar antara 250 mm - 300 mm. Musim kemarau (curah hujan kurang dari 150 mm) di Stasiun Buluh Tumbang dan Pilang pada kondisi normal hanya terjadi di

Dampak Fenomena ENSO dan IOD pada curah hujan musiman

Pengaruh fenomena El Nino pada bulan Juni 1997 - November 1997 dan IOD positif pada September 1997 - Nopember 1997 berdampak pada adanya anomali negatif curah hujan musiman di kedua stasiun pada musim JJA sampai SON dengan nilai anomali curah hujan lebih kecil dari -100. Pada kondisi normal, anomali curah hujan musiman umumnya bernilai positif. Data di atas menunjukkan bahwa fenomena El Nino menyebabkan musim kemarau datang lebih cepat dan lebih lama. Grafik (Gambar 7) memperlihatkan pula pada bulan Desember 1996 - Nopember 1997 anomali hujan bernilai negatif, artinya pada masa ini terjadi kekeringan yang cukup panjang. Pada tahun 1998 dimana indeks Nino 3.4 dan IOD negatif menyebabkan curah hujan sedikit lebih tinggi meskipun di musim kemarau. Tampaknya fenomena La



Gambar 7. Dampak fenomena ENSO dan IOD pada variabilitas curah hujan musiman
 Figure 7. The effect of ENSO and IOD phenomenon on the seasonal rainfall variability

Nina dan IOD negatif hanya menambah curah hujan rata-rata bulanan maupun musiman, sedikit di atas nilai normalnya.

Hasil dan Pembahasan

Secara umum variabilitas curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh sistem Monsun-Asia dan Monsun-Australia. Fenomena El-Nino Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole-Mode (IOD) menyebabkan pergeseran waktu awal musim dan antar-musim. Selain itu pembentukan awan dan hujan di Indonesia juga dipengaruhi oleh kondisi lokal, seperti topografi dan perubahan arah angin.

Dinamika atmosfer daerah tropis sangat sensitif terhadap variasi suhu permukaan laut (Saji *et al.* 2006) sehingga variasi suhu permukaan laut (SPL) diakui sebagai salah satu alat yang dapat diandalkan untuk memprakirakan variabilitas iklim antar musiman, terutama untuk wilayah-wilayah dimana hubungan pengaruh cukup kuat (Van Den Hurkand Jacob 2009, Tjasyono *et al.* 2008).

Posisi geografis pulau Belitung tidak langsung terbuka terhadap Samudera Hindia dan Samudera Pasifik akan tetapi terbuka dengan Laut Cina Selatan. Dengan posisi geografis ini seharusnya pengaruh monsun lebih kuat dibandingkan pengaruh dari fenomena di Samudera Pasifik dan Hindia. Akan tetapi hasil analisis menunjukkan bahwa pengaruh fenomena di Samudera Pasifik dan Hindia cukup kuat di pulau Belitung.

Anomali positif/negatif suhu permukaan laut di wilayah Samudera Pasifik (ENSO) berkorelasi dengan penurunan/kenaikkan curah hujan bulanan, musiman dan tahunan. Korelasi yang terjadi adalah korelasi kuat sampai

sangat kuat. Korelasi kuat antara fenomena ENSO antara curah hujan bulanan, dan musimandi DAS Cerucuk terjadi pada rata-rata bulan Agustus - Oktober bersamaan dengan kuatnya signal ENSO dengan tingkat keyakinan sebesar 95%. Penurunan/kenaikkan curah hujan bulanan, musiman dan tahunan di DAS Cerucuk berkorelasi dengan anomali positif/negatif suhu permukaan laut di wilayah Samudera Hindia (fenomena IOD) dengan korelasi kuat sampai sangat kuat. Korelasi yang paling kuat antara curah hujan bulanan dan musiman dengan IOD terjadi pada bulan Agustus - November bersamaan dengan kuatnya signal IOD dengan tingkat keyakinan sebesar 95%. Hal ini menunjukkan bila terjadi anomali positif/negatif suhu permukaan laut di Samudera Hindia dan Samudera Pasifik akan menyebabkan penurunan/kenaikkan curah hujan bulanan dan musiman di wilayah DAS Cerucuk, pulau Belitung.

Pola korelasi spasial curah hujan musiman (Gambar 4a, Gambar 4b, Gambar 5a dan Gambar 5b) menunjukkan bahwa curah hujan musiman di DAS Cerucuk berkorelasi kuat dengan dengan suhu permukaan laut Indonesia di saat musim Monsun kering/Australia sampai musim transisi dari Monsun-Australia menjadi Monsun-Asia (Juni – November), akan tetapi berkorelasi lemah di saat musim Monsun-Asia sampai transisi menjadi Monsun-Australia (Desember – Mei).

Curah hujan tahunan di DAS Cerucuk, Pulau Belitung juga berkorelasi kuat dengan fenomena ENSO pada periode ulang ENSO 2, 4, 5, 7 dan 8. Dan dengan fenomena IOD dengan periode ulang 2,4 dan 7 tahun. Tampaknya curah hujan tahunan di DAS Cerucuk lebih sensitif dipengaruhi oleh fenomena ENSO dibandingkan fenomena IOD.

Pengaruh ekstrim akan terasa sangat kuat di Indonesia

pada umumnya apabila terjadi interferensi pengaruh kedua moda variabilitas yang saling menguatkan, seperti yang terjadi pada tahun 1997/1998.

Pada tahun 1997/1998, terjadinya fenomena El Nino dan IOD positif telah mengakibatkan kedatangan musim kemarau yang lebih cepat dengan masa yang lebih panjang sehingga terjadi kekeringan di DAS Cerucuk dan pulau Belitung pada umumnya. Sebaliknya pada saat terjadi La Nina dan IOD negatif menyebabkan curah hujan yang terjadi di DAS Cerucuk, pulau Belitung sedikit lebih tinggi dari normalnya dan lebih panjang masanya dimana bisa berpotensi menyebabkan banjir. Kejadian-kejadian di atas menunjukkan kuatnya pengaruh dari fenomena iklim yang terjadi di Samudera Pasifik dan Hindia terhadap DAS Cerucuk dan Pulau Belitung.

Bulan Juni dan Juli sampai Oktober, kecuali untuk daerah bagian Barat Laut Indonesia, variabilitas curah hujan dipengaruhi kuat oleh adanya ENSO (Aldrian *et al.* 2007), sementara hasil analisis variabilitas curah hujan pada makalah ini menunjukkan bahwa DAS Cerucuk, Pulau Belitung yang berada di Bagian Barat Laut Indonesia, ternyata masih kuat dipengaruhi oleh fenomena ENSO. Bahkan di Stasiun Pilang yang berada di bagian Barat DAS Cerucuk pengaruh ENSO pada variasi curah hujan bulanan dan musiman masih lebih kuat dibandingkan IOD, meskipun posisi pulau Belitung secara geografis lebih jauh terhadap ekuatorial Pasifik Timur daripada terhadap Samudera Hindia bagian Timur. Hal ini diduga karena pada musim Agustus – Nopember, saat terjadi korelasi yang kuat antara curah hujan dan fenomena iklim global, angin baratan dari Samudera Pasifik yang melewati Pulau Belitung kecepatannya lebih tinggi dibandingkan dengan angin timuran yang bertiup dari Australia Utara ke arah Barat Sumatera yang berbelok menjadi angin baratan mendekati ekuator (Hidayat dan Ando 2014). Sehingga pengaruh dari Samudera Hindia tidak sebesar pengaruh dari Samudera Pasifik. Disamping itu, adanya Bukit Barisan (rangkainan gunung yang membujur dari barat daya sampai tenggara di Pulau Sumatera) bisa menyebabkan terjadinya sirkulasi angin yang berbeda antara bagian barat Bukit Barisan dan bagian timurnya (Harijono 2010). Pulau Belitung berada di bagian Timur Bukit Barisan dimana sirkulasi anginnya berbeda dengan sirkulasi di sebelah Barat Bukit Barisan yang sangat dipengaruhi oleh Samudera Hindia.

Terjadinya peningkatan kebutuhan air sebagai akibat dari peningkatan ekonomi dan pertumbuhan penduduk yang cukup pesat di DAS Cerucuk menyebabkan permasalahan ketersediaan sumberdaya air (Hariyanto dan Iskandar 2015). Di sisi lain geologi DAS Cerucuk sebagian besar adalah batuan granit yang mempunyai daya simpan air yang sangat rendah, sehingga ketersediaan sumberdaya air di DAS Cerucuk pulau Belitung sangat

tergantung dari curah hujan. Karena ukuran pulau yang relatif kecil, air hujan yang jatuh dengan cepat melimpas sebagai aliran permukaan kemudian mengalir ke laut. Oleh karenanya, sumberdaya air di pulau Belitung sangat rentan terhadap perubahan pola curah hujan. Faktor fenomena iklim mempengaruhi variabilitas curah hujan yaitu mengakibatkan berubahnya pola curah hujan bulanan, musiman dan tahunan. Perubahan pola curah hujan akan mempengaruhi siklus air dimana dapat meningkatkan resiko kekurangan air di pulau Belitung. Pada kondisi curah hujan normal, ketersediaan sumberdaya air di daerah urban (kota Tanjungpandan) kadangkala mengalami keterbatasan, meskipun curah hujannya tergolong cukup tinggi. Perubahan pola curah hujan yang terjadi yaitu dengan lebih panjangnya musim kemarau akibat fenomena iklim, berpotensi meningkatkan permasalahan ketersediaan air. Dengan diketahuinya potensi terjadinya perubahan pola hujan akibat fenomena iklim dapat dilakukan upaya peningkatan ketersediaan air sebagai upaya adaptasi dan mitigasi oleh pemerintah dalam menjaga keberlanjutan tersedianya sumberdaya air. Upaya peningkatan ketersediaan sumberdaya air di pulau Belitung sangat penting karena mengingat pulaunya kecil, rentan terhadap perubahan pola curah hujan, geologi pulaunya mempunyai daya simpan air yang sangat rendah sementara aktivitas ekonomi dan pertumbuhan penduduk meningkat tinggi. Hal ini memerlukan upaya untuk mengantisipasi manakala kejadian fenomena iklim global, pengaruh regional (monsoon) tersebut berlangsung secara bersamaan yang diperburuk dengan adanya degradasi secara lokal dan daya dukung sumberdaya air yang terbatas di DAS Cerucuk, Pulau Belitung..

Kesimpulan dan Saran

Curah hujan bulanan dan musiman di DAS Cerucuk dipengaruhi sama kuat oleh kedua moda (ENSO dan IOD) meskipun posisi geografis DAS Cerucuk, Pulau Belitung lebih dekat dengan Samudera Hindia dibandingkan dengan Samudera Pasifik. Korelasi kuat terjadi pada rata-rata bulan Agustus - November bersamaan dengan kuatnya signal ENSO dan IOD dengan tingkat keyakinan sebesar 95%. Adanya fenomena ENSO positif dan IOD positif mengakibatkan musim kemarau datang lebih cepat dan lebih panjang masanya. Akan tetapi fenomena ENSO negatif dan IOD negatif menyebabkan curah hujan sedikit lebih tinggi dan musim hujan sedikit lebih panjang.

Curah hujan tahunan di DAS Cerucuk berkorelasi negatif kuat dengan ENSO dan sensitif pada signal ENSO periode 2, 4, 5,7 dan 8 tahun. Curah hujan tahunan di DAS Cerucuk berkorelasi negatif kuat dengan IOD dan sensitif pada signal IOD periode 2, 4, dan 7 tahun. Hal ini

menunjukkan pengaruh ENSO lebih kuat dibandingkan IOD.

Pola korelasi spasial antara curah hujan musiman di DAS Cerucuk dengan Suhu Permukaan Laut Indonesia (SPL) menunjukkan korelasi yang kuat di musim monsun kering/Australia yaitu bulan Juni-Nopember. Sementara di musim monsun basah/Asia korelasi antara curah hujan musiman dengan SPL Indonesia tampak melemah.

Fenomena iklim global perlu diperhitungkan dalam pengelolaan sumberdaya air karena fenomena tersebut sangat kuat mempengaruhi variabilitas curah hujan yang berdampak pada ketersediaan air. Pemeliharaan tutupan lahan, penyimpanan air hujan, dan rekayasa lainnya diperlukan untuk mengendalikan aliran permukaan dan untuk meningkatkan ketersediaan air.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Unggulan LIPI Korsub. Ketahanan Air, Daya Saing Wilayah dan masyarakat pesisir. Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada Bapak Ronny (Sekretaris Badan Lingkungan

Hidup Daerah, Kab.Belitung) beserta staf, dan Bapak Hermanto (Kepala BAPPEDA Kab.Belitung) yang telah mendukung kelancaran pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan untuk rekan Dr. Sri Yudawati C., Prof. Dr. Wahyoe S. Hantoro dan Prof. Dr. M.R. Djuwansah yang telah banyak memberi masukan pada proses penulisan makalah ini.

Daftar Pustaka

- Aldrian, E., and R. D. Susanto. 2003. Identification on three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal Of Climatology* 23(12):1435 -1452.
- Aldrian, E., L. Dümenil Gates, and F. H. Widodo. 2007. Seasonal variability of Indonesian rainfall in ECHAM4 simulations and in the reanalyses: The role of ENSO. *Theoretical and Applied Climatology* 87(1):41-59.
- Ashok, K., Z. Guan, and T. Yamagata. 2001. Impact of the Indian Ocean dipole on the relationship between the Indian monsoon rainfall and ENSO. *Geophysical Research Letters* 28.23: 4499-4502.
- Baharuddin and Sidarto. 1995. Geological Map of Belitung Sheet. Sumatera. Scale 1: 250.000. Center for Geological Research and Development. Bandung.
- Behera, S. K., and T. Yamagata. 2001. Subtropical SST dipole in the southern Indian Ocean. *Geophys. Res. Lett.* 28(2):327-330.
- Behera, S. K., J. J. Luo, and T. Yamagata. 2008. Unusual IOD event of 2007. *Geophysical Research Letters* 35.14.
- Boer, R., and A. Faqih. 2004. Global Climate Forcing factors and rainfall variability in West Java. *Journal of Agriculture Meteorology* 18.2:1-12.
- BPS Kabupaten Belitung. 2015. Belitung Dalam Angka. BPS Kabupaten Belitung. Tanjungpandan. 296 hal.
- D'Arrigo, R., E. R. Cook, R. J. Wilson, R. Allan, and M. E. Mann. 2005. On the variability of ENSO over the past six centuries, *Geophysical Research Letters* 32(3).
- Francis, D. P., A.JS. Coats, and D. G. Gibson. 1999. How high can a correlation coefficient be? Effects of limited reproducibility of common cardiological measures. *International Journal of Cardiology* 69(2):185-199.
- Hamada, J.I., S. Mori, H. Kubota, M.D. Yamanaka, U. Haryoko, S. Lestari, R. Sulistyowati, and F. Syamsudin. 2012. Interannual rainfall variability over northwestern Jawa and its relation to the Indian Ocean Dipole and El Niño-Southern Oscillation events. *SOLA* 8:69-72.
- Harijono, S. W. B. 2010. Analisis dinamika atmosfer di bagian utara ekuator Sumatera pada saat peristiwa El-Nino dan Dipole Mode positif terjadi bersamaan. *Jurnal Sains Dirgantara Vol 5.2:130-148.*
- Hariyanto, A., dan K. H. Iskandar, 2015. Kajian Identifikasi Potensi dan Permasalahan Sumberdaya air (Studi Kasus: Kabupaten Belitung). *Planologi: Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota* 2(11):31-42
- Hidayat, R., dan K. Ando. 2014. Variabilitas Curah Hujan Indonesia dan Hubungannya dengan ENSO/IOD: Estimasi Menggunakan Data JRA-25/JCDAS. *Jurnal Agromet Indonesia* 28(1).
- Jonathan, S. 2006. Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif. Graha Ilmu. Yogyakarta. 286 hal.
- Rayner, N. A., D. E. Parker, E. B. Horton, C. K. Folland, L. V. Alexander, D. P. Rowell, E. C. Kent and A. Kaplan. 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108.(D14):4407.
- Saji, N. H., B. N. Goswami, P. N. Vinayachandran, and T. Yamagata. 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature* 401(6751):360-363.
- Saji, N.H. and T. Yamagata. 2003. Possible impact of Indian Ocean Dipole Mode events on global climate, *Climate Research* 25:151 - 169.
- Saji, N. H., S. P. Xie, and T. Yamagata. 2006. Tropical Indian Ocean variability in the IPCC twentieth-century climate simulations. *Journal of Climate* 19(17):4397-4417.
- Tjasyono, Bayong. 2004. *Klimatologi*. Ed ke-2. Penerbit ITB. Bandung. 348 hal.
- Tjasyono, B.H.K., A. Lubis, I. Juaeni, Ruminta, S. W. B. Harijono. Dampak Variasi Temperatur Samudera Pasifik dan Hindia Ekuatorial terhadap Curah Hujan di Indonesia. 2008. *Jurnal Sains Dirgantara Vol. 5 No. 2:83-95*
- Trenberth, K. E., J. M. Caron, D. P. Stepaniak and S. Worley. 2002. The evolution of ENSO and global atmospheric surface temperatures, *J. Geophys. Res. Atmospheres* 107.D8.

Van den Hurk, B., and D. Jacob. 2009. The art of Predicting Climate variability and Change. Climate change adaptation in the water sector : 9-22.

Van Oldenborgh, G. J., and G. Burgers. 2005. Searching for decadal variations in ENSO precipitation teleconnections.

Geophysical Research Letters 32(15).

Ummenhofer C.C., M. H. England, P.C. McIntosh, G.A. Meyers, M.J. Pook, J.S. Risbey, A.S. Gupta and A.S. Taschetto. 2009. What causes southeast Australia's worst drought?.Geophysical Res Letter 36: 4.