

Ancaman Kekeringan Meteorologis di Pulau Kecil Tropis akibat Pengaruh El-Nino dan Indian Ocean Dipole (IOD) Positif, studi kasus: Pulau Bintan***Threat of Meteorological Drought on Tropical Small Islands caused by El-Nino and Positive Indian Ocean Dipole (IOD) Effects, case study: Bintan Island***

Ida Narulita ^{1,3)} Rahmawati Rahayu ²⁾, Eko Kusratmoko ³⁾, Supriatna ³⁾,
dan Muhamad R.Djuwansah ¹⁾

¹⁾ Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Komplek LIPI, Jl Sangkuriang, Bandung Jawa Barat – Indonesia,

²⁾ Prodi Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB Gedung Labtek XI,
Jl Ganesha no.10, Bandung, Jawa Barat - Indonesia, dan

³⁾ Departemen Geografi, FMIPA, Universitas Indonesia, Gedung H, Kampus UI, Depok, Jawa Barat – Indonesia.

Naskah diterima 07 Februari 2019, selesai direvisi 18 November 2019, dan disetujui 25 November 2019

e-mail : ida.narulita@lipi.go.id

ABSTRAK

Sumberdaya air Pulau Bintan sangat tergantung pada curah hujan, informasi ancaman kekeringan meteorologis sangat diperlukan dalam pengelolaan sumberdaya air di masa mendatang. Faktor kekeringan meteorologi merupakan faktor utama yang berpotensi menurunkan daya dukung sumberdaya air pulau. Pulau Bintan adalah pulau kecil dengan batuan penyusunnya granit dan batupasir Tuf, mempunyai daya-simpan dan berkelulusan air rendah. Aktifitas perekonomian dan tingkat pertumbuhan penduduknya yang tinggi, berpotensi menurunkan daya dukung sumberdaya air. Studi ini melakukan analisis curah hujan yang menghasilkan informasi ancaman kekeringan di pulau Bintan karena fenomena iklim *El-Nino* dan *IOD+*. Data dasar yang digunakan adalah data curah hujan observasi Kijang periode 1980 – 2017 serta data curah hujan satelit CHIRPS, dengan resolusi spasialnya $0,05^\circ \times 0,05^\circ$ periode 1981 – 2017. Hubungan antara hujan dan fenomena iklim dianalisis dengan metode statistik fungsi waktu. Ancaman kekeringan dianalisis dengan *Standardized Precipitation Indeks (SPI)* periode defisit 3, 6 dan 12 bulan. Hasil analisis menunjukkan curah hujan di pulau Bintan sangat sensitif terhadap fenomena iklim, korelasi sangat kuat antara curah hujan dengan ENSO dengan nilai $R = -0,75$ dan dengan IOD dengan nilai $R = -0,75$. Hal ini menyebabkan musim kemarau yang cukup panjang saat terjadi El-Nino di tahun 1982, 1997 dan 2015. Hasil analisis SPI menunjukkan fenomena El-Nino 1997 menyebabkan kekeringan dengan intensitas yang sangat tinggi (ekstrim kering), El-Nino 2015 menyebabkan kekeringan dengan intensitas tinggi, durasi panjang. El-Nino lemah tahun 2002, sedikit mempengaruhi curah hujan. Adanya ancaman kekeringan di Pulau Bintan apabila terjadi fenomena iklim *El-Nino* dan *IOD (+)*. Ancaman semakin tinggi bila kedua moda fenomena terjadi bersamaan. Pengelolaan sumberdaya air di pulau Bintan perlu mempertimbangkan fenomena iklim (*ENSO dan IOD*), agar dampak negatif yang akan ditimbulkan dapat ditekan.

Kata kunci : ENSO, IOD, kekeringan meteorologi, Pulau kecil tropis.

ABSTRACT

The information on the threat of the meteorological drought warning is needed on Bintan Island on the management of water resources in the future. The water resources of Bintan Island are dependent on rainfall, so the meteorological drought factor is the main factor that has the potential to reduce the carrying capacity of the island's water resources.

Bintan Island is a small island with its constituent rocks which mostly have low water storage and water permeability, namely granite and tuff sandstones. On the other hand Bintan island have highly economic activity and a high population growth rate currently, which has the potential to reduce the water resources carrying capacity of Bintan Island. This study obtained the rainfall analyzes that has produced information about drought warning on Bintan island due to climate phenomena. The basic data used are rainfall observation data of BMKG(Kijang) station in 1980 – 2017 periods and the CHIRPS rainfall data (Climate Hazard Infrared Red Precipitation with Station) in 1981 – 2017 periods, which are satelite rainfall data that have been corrected for in-situ stations, with a spatial resolution of 0.05 °. The relationship between rainfall and climate phenomena has been analyzed using time function statistics. The drought warning was analyzed by Standardized Precipitation Index (SPI). The analysis shows that rainfall of Bintan island is very sensitive to climate phenomena where there are a very strong correlation between rainfall and ENSO (El-Nino Southern Oscillation) phenomenon of with a value of $R = - 0.75$ and with the IOD phenomenon (Indian Ocean Dipole Mode) with a value of $R = - 0.75$. This caused a long dry season during El Nino in 1982, 1997 and 2015. The SPI analysis results showed that the 1997 El Nino phenomenon caused high intensity (extreme dry) drought, 2015 El Nino caused a long duration of drought. Different conditions occurred in the weak El Nino event in 2002, which only slightly affected rainfall in Bintan Island. The results of the study indicate that there is a drought warning in Bintan Island in the event of El-Nino and IOD (+) climate phenomena. The drought warning is even higher if both mode of climate phenomenon occur simultaneously. It is necessary to manage water resources in Bintan island that considers climate phenomena (ENSO and IOD), so that the negative impacts that will be caused can be reduced.

Keywords: ENSO, IOD, meteorological drought, tropical small island.

PENDAHULUAN

Kekeringan meteorologis didefinisikan sebagai kurangnya curah hujan di bawah kondisi normalnya di suatu daerah untuk periode waktu tertentu. Sumberdaya air adalah salah satu faktor yang pertama kali terdampak bila terjadi kekeringan dan kemudian mempengaruhi berbagai sektor ekonomi sebagai penggunaannya. Kekeringan meteorologis dapat diidentifikasi melalui beberapa faktor yaitu tingkat keparahan berdasarkan indeks kekeringan, waktu terjadi dan durasinya, luasan yang terdampak dan frekuensi kemunculannya (Tsakiris, 2009). Terjadinya fenomena kekeringan meteorologis, merupakan indikasi awal dari fenomena kekeringan suatu wilayah dan biasanya akan berlanjut menjadi kekeringan pertanian dan kekeringan hidrologis.

Salah satu faktor yang menyebabkan kekeringan meteorologis adalah fenomena *El-Nino* dan *Indian Ocean Dipole Mode (+)*. Hubungan antara *El-Nino* dengan kekeringan di Indonesia telah dipelajari sebelumnya, oleh Aldrian dan Susanto (2003); Hendon dan NOAA-CIRES (2003); Rachmawati (2015); Chang, (2004); King dan Oldenborgh (2016); serta Arrigo dan Smerdon (2008) melakukan kajian kekeringan di Pulau Jawa menggunakan metode *Palmer Drought Severity Indeks (PDSI)*. Fenomena *El-Nino* dan *Dipole Mode (+)* menyebabkan jumlah curah hujan di beberapa wilayah di Indonesia berkurang. ENSO sangat kuat mempengaruhi variabilitas

di Indonesia bagian Timur, semakin lemah pengaruhnya ke bagian Barat Indonesia (Aldrian, dr., 2007; Aldrian dan Susanto, 2003. Fenomena *El -Nino dan Dipole Mode (+)* akan menimbulkan risiko bencana kekeringan (Masnellyarti 2008) yang kecenderungan di masa mendatang semakin tinggi frekuensi maupun intensitasnya, sehingga dampak yang ditimbulkan akan semakin besar (Barker dr., 2007; Irawan, 2006). Laporan *United Nations Office for the Coordiantion of Humanitarian Affairs tahun 2007* mengindikasikan bahwa Indonesia adalah salah satu negara yang rentan terhadap bencana terkait dengan iklim. Beberapa publikasi menuliskan bahwa Indonesia berada di puncak spektrum sebagai negara yang paling rentan terhadap bencana alam yaitu bencana geologi dan iklim (Djalante dan Thomalla, 2012). Bencana iklim adalah bencana yang sering terjadi sehingga diperlukan cara tepat untuk menekan dampaknya. Penelitian skala lebih detil sangat diperlukan untuk mendapatkan informasi yang akurat mengenai dampak fenomena iklim pada variabilitas hujan. Penurunan curah hujan akibat variabilitas iklim maupun perubahan musiman menimbulkan dampak signifikan pada cadangan air. Setiap wilayah yang berbeda dapat mengalami kekeringan pada waktu dan intensitas yang berbeda pada tahun yang sama (Boer dan Fakhri, 2004)). Diperlukan kajian lebih lanjut di setiap wilayah agar karakteristik kekeringan secara spasial dan temporal untuk suatu wilayah dapat diketahui

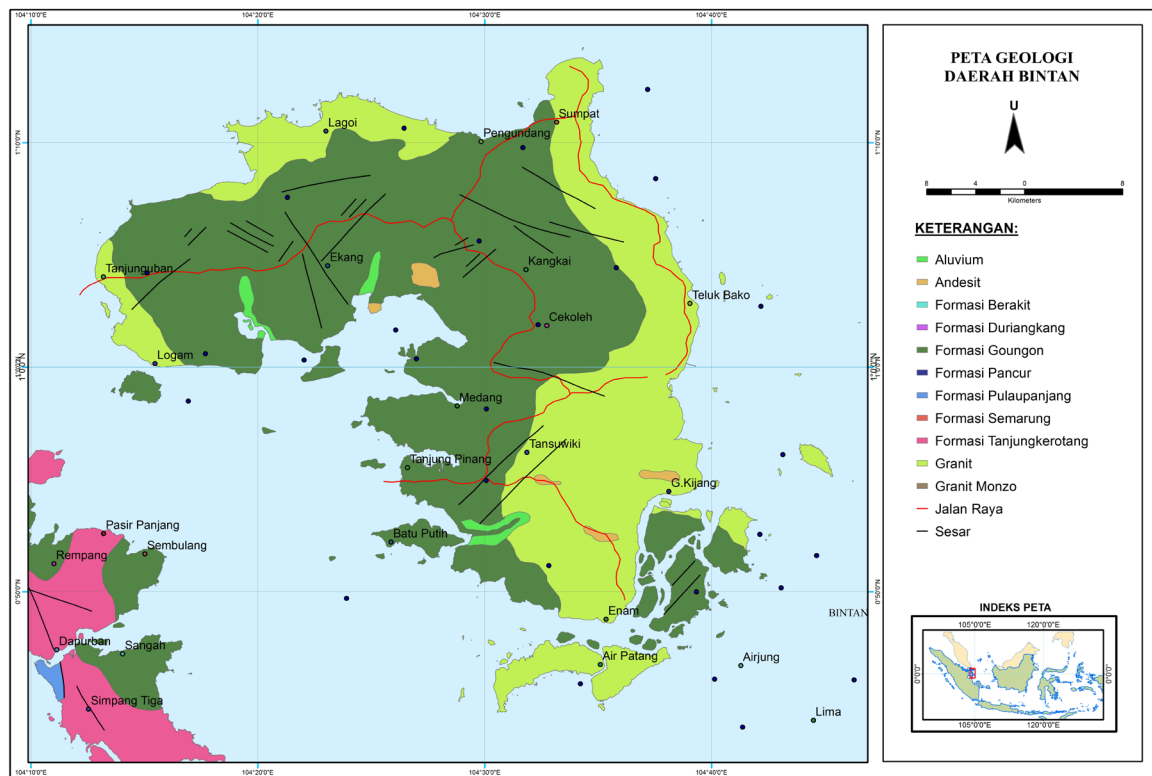
(Setiawan drr., 2017). Informasi ini berguna untuk membangun strategi pengelolaan sumberdaya air yang tepat untuk mengurangi kerugian dan kerusakan karena kekeringan akibat fenomena iklim.

Secara umum pulau-pulau kecil rentan terhadap kelangkaan air bersih, kerentanannya bertambah dengan adanya fenomena iklim (L.A. Nurse drr., 2014). Pulau Bintan dengan luas 1.175 km² tergolong pulau kecil yang memiliki sumberdaya air yang terbatas dan rentan terhadap kondisi ekstrim iklim. Tingginya aktifitas di Pulau Bintan menyebabkan terjadi ketidak seimbangan antara ketersediaan air dengan kebutuhan air. Ketersediaan air di Pulau Bintan terus menurun sementara permintaan air terus meningkat (Santoso, 2015).

Makalah ini membahas ancaman kekeringan meteorologis (intensitas dan durasi) yang diakibatkan oleh *El-Nino* dan *IOD (+)*, melalui analisis data curah hujan. Analisis data curah hujan observasi digunakan untuk mencari nilai korelasi antara curah hujan dengan indeks iklim *ENSO* dan *IOD* untuk melihat respon curah hujan terhadap fenomena iklim. Hasil analisis berupa informasi durasi kekeringan akibat fenomena iklim *El-Nino*

dan *IOD(+)*. Tingkat (intensitas) kekeringan diidentifikasi melalui analisis “*Standardized Precipitation Indeks*” (*SPI*) untuk memperoleh informasi surplus dan minus curah hujan tahunan dalam satu perhitungan (Patel, drr., 2007).

Lokasi penelitian terletak antara 0° 48' 12.4" - 1° 13' 47 " LU dan 104°12' 44.6" - 104°39' 55.6" BT. Laju pertumbuhan penduduk di Pulau Bintan sekitar 1,34 persen (BPS, 2017) lebih tinggi dari laju pertumbuhan penduduk rata rata Indonesia. Pulau Bintan beriklim tropis dengan temperatur rata-rata terendah 23,9°C, kelembaban udara 85%. Puncak hujan terjadi dua kali dalam satu tahun, yaitu bulan April dan Desember. Curah hujan tahunan rata-rata berkisar antara 2.700 mm – 3.500 mm. Curah hujan cukup tinggi (Manik drr., 2014). Geologi Pulau Bintan tersusun oleh batuan tertua berumur Tersier berupa granit yang tersebar di pinggiran utara timur dan tenggara pulau, dan sedikit andesit yang secara setempat terdapat di bagian tengah dan tenggara pulau. Bagian terluas pulau bagian tengah dan barat disusun oleh batupasir berumur Plio-Plistosen. Sedikit batuan sedimen resen terdapat di pelebahan sungai-sungai yang mengalir ke arah selatan pulau. Pulau Bintan memiliki daerah dengan jenis batuan



Gambar 1. Peta Geologi Pulau Bintan (Kusnawa, 1994)

dengan kesarangan yang berpotensi menyimpan air, tetapi dengan adanya sebaran batuan yang kedap serta lapisan-lapisan yang berkelelusan rendah menghambat aliran airtanah sehingga menurunkan daya simpan airtanah. Akibat dari kondisi geologi ini maka ketergantungan terhadap aliran permukaan akan sangat besar. Adanya perubahan pola distribusi hujan akibat adanya kondisi ekstrim akibat fenomena iklim berkaitan dengan aliran permukaan yang akan berpengaruh terhadap ketersediaan sumberdaya air.

METODE PENELITIAN

Data dasar yang digunakan adalah data curah hujan satelit *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS)*, resolusi waktu harian dan resolusi spasial 0.05° untuk periode 1981 – 2017. Resolusi spasial data satelit CHIRPS cukup detil (Dinku, dr., 2018), sehingga analisis yang dihasilkan diharapkan lebih akurat. Selain itu digunakan pula data curah hujan harian observasi stasiun Kijang periode 1980 – 2017. Data satelit digunakan untuk analisis spasial kekeringan meteorologis, untuk memahami tingkat kekeringan se pulau Bintan dengan periode minimal 30 tahun.

Respon curah hujan terhadap fenomena ENSO dan Dipole Mode diperoleh dari nilai korelasi antara curah hujan observasi dengan indeks iklim. Hal ini dilakukan karena indeks iklim yang digunakan berupa itu titik sehingga korelasi cukup dilakukan dengan data curah hujan observasi Kijang. Indeks ENSO yang digunakan diambil dari Met Office Hadley Centre Observations datasets (Rayner dr., 2003). *Indeks Dipole Mode (DMI)* bulanan tahun 1980 – 2017 diunduh dari situs Jamstec: <http://www.jamstec.go.jp/> (Ashok dr., 2001).

Korelasi curah hujan terhadap Fenomena ENSO dan IOD diawali dengan “*filtering*” data observasi hujan menggunakan filter “*high-pass*”, untuk memfokuskan pada signal-signal frekuensi *annual-interannual* dan menghilangkan pengaruh signal frekuensi rendah (*decadal-interdecadal*). Nilai korelasi ditentukan antara anomali curah hujan dengan indeks *ENSO* serta indeks *IOD*, menggunakan persamaan korelasi untuk dua kelompok data *time series*, dengan skala waktu musiman (MAM, JJA, SON, dan DJF).

Analisis potensi kekeringan digunakan data CHIRPS dengan metoda *Standardized Precipitation Index (SPI)*. Data hujan satelit CHIRPS dikoreksi

dengan metode *Statistical Bias Correction* (Piani dr., 2010) atau *Quantile Based Bias Correction* (Inomata dr., 2011). SPI adalah indeks normalisasi yang mewakili peluang terjadinya jumlah curah hujan yang diamati dibandingkan dengan curah hujan di lokasi geografis stasiun tertentu selama periode waktu jangka panjang. SPI didasarkan pada probabilitas kumulatif dari peristiwa curah hujan yang terjadi di stasiun selama minimal 30 tahun. SPI dibangun berdasarkan fungsi kepadatan peluang (FKP) dari distribusi gamma guna mencocokkan distribusi frekuensi dari jumlah curah hujan untuk tiap stasiun. Data curah hujan stasiun selama 30 tahun dimasukkan ke distribusi Gamma (Wu, dr., 2007) Nilai SPI negatif menunjukkan defisit hujan, sedangkan nilai SPI positif menunjukkan surplus hujan.

Penggunaan distribusi gamma digunakan dalam proses transformasi karena paling ideal untuk menggambarkan data historis dari data hujan. Perhitungan nilai SPI berdasarkan jumlah sebaran gamma atau distribusi gamma adalah sebagai berikut:

$$G(x) = \int_0^x g(x) = \frac{1}{\beta\alpha\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t/\beta} dt \dots\dots\dots(1)$$

Dengan: $\alpha > 0$ adalah bentuk parameter bentuk , $\beta > 0$ adalah parameter skala dan $X > 0$ adalah jumlah curah hujan (mm).

Perhitungan SPI meliputi pencocokan fungsi kepadatan probabilitas gamma terhadap distribusi frekuensi dari jumlah curah hujan untuk setiap stasiun. Persamaan untuk mengoptimisasi estimasi nilai α dan β sebagai berikut:

$$\alpha = x \cdot f \dots\dots\dots(2)$$

$$s = \sqrt{\sum(x-x_2) / (n-1)} \dots\dots\dots(3)$$

n = jumlah data pengamatan curah hujan

Karena fungsi gamma tidak terdefinisi untuk $x = 0$ maka, (x) menjadi:

$$H(x) = q + (1-q) \cdot G(x) \dots\dots\dots(4)$$

Dengan: q = jumlah kejadian hujan = 0 (m) / jumlah data (n).

Perhitungan Z atau SPI untuk $0 < H(x) \leq 0,5$ adalah

$$Z = SPI = -(t - c_0 + c_1 t + c_2 t^2 / 1 + d_1 + d_2 t^2 + d_3 t^3) \dots\dots\dots(5)$$

Dengan $t = \sqrt{\ln(1 / (H(x))^2)} \dots\dots\dots(6)$

Perhitungan nilai SPI untuk $0,5 < H(x) \leq 1,0$ adalah

$$Z=SPI=(t-c_0+c_1t+c_2t^2+d_1+d_2t^2+d_3t^3) \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{Dengan } t=\sqrt{\ln(1/(1-(H(x))^2))} \dots\dots\dots(8)$$

Dengan:

$$c_0 = 2,515517, c_1 = 0,802853, c_2 = 0,010328, d_1 = 1,432788, d_2 = 0,189269, d_3 = 0,001308$$

Probabilitas kumulatif $H(x)$ tersebut kemudian ditransformasikan ke dalam standar random variabel Z dengan nilai rata-rata 0 dan variasi 1. Nilai yang diperoleh z tersebut merupakan nilai SPI. Nilai dalam SPI menunjukkan kondisi yang dibandingkan dengan curah hujan rata-rata. Apabila nilai SPI positif berarti menunjukkan lebih besar dari curah hujan rata-rata. Apabila nilai SPI negatif maka menunjukkan kurang dari hujan rata-rata. Tingkat kekeringan atau kebasahan suatu daerah pada tahun tertentu dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori nilai indeks kekeringan SPI (Hayes, drr., 1999)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Korelasi anomali hujan dengan indeks *ENSO* dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Menunjukkan korelasi tertinggi terjadi pada bulan Juli, Agustus dan September dengan nilai korelasi -0.75 dengan lag -1 . Nilai lag-1 berarti signal *ENSO* di bagian timur Samudera pasifik direspons terlambat satu bulan di Pulau Bintan. Korelasi negatif artinya bila terjadi kenaikan temperatur permukaan laut di wilayah bagian timur samudra Pasifik akan menurunkan jumlah curah hujan di daerah yang diamati. Kenaikan temperatur permukaan laut di atas normalnya di wilayah bagian timur samudra Pasifik mengakibatkan angin bergerak dari Barat ke Timur sehingga konveksi akan terjadi cukup kuat di bagian Timur Samudera Pasifik (HENDON, 2003), mengakibatkan penurunan jumlah curah hujan di Pulau Bintan. Dan sebaliknya penurunan temperatur permukaan laut di bawah normalnya di bagian timur Samudera Pasifik berkorelasi dengan peningkatan jumlah curah hujan. Korelasi sangat kuat terjadi di bulan Juli Agustus September yaitu di masa transisi dari musim kemarau ke musim hujan.

Korelasi anomali hujan dengan indeks *Dipole Mode* dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

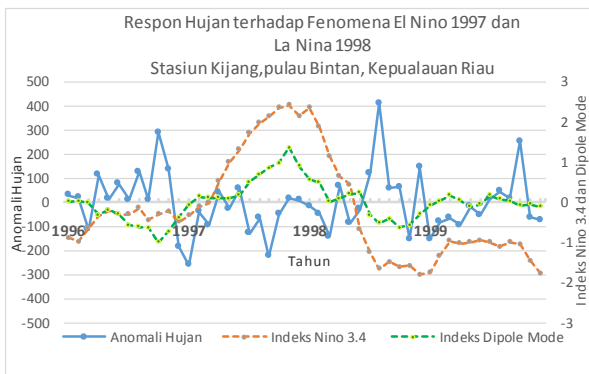
Tabel 1. Nilai korelasi dan Tingkat Signifikasi anomali curah hujan Pulau Bintan dengan indeks *ENSO*.

Bulan	Lag	Korelasi (R)	Tingkat Signifikasi
Jan-Mar	-1	0,022	0,8986
Feb-Apr	-1	-0,361	0,0281
Mar-May	-1	-0,313	0,0593
Apr-Jun	-1	-0,384	0,0191
May-Jul	-1	-0,568	0,0002
Jun-Aug	-1	-0,600	0,0001
Jul-Sep	-1	-0,750	0,0000
Aug-Oct	-1	-0,654	0,0000
Sep-Nov	-1	-0,451	0,0051
Oct-Dec	-1	0,233	0,1659
Nov-Jan	-1	0,490	0,0024
Dec-Feb	-1	0,497	0,0021

Tabel 2. Nilai korelasi dan Tingkat Signifikansi anomali curah hujan Pulau Bintan dengan indeks Dipole Mode

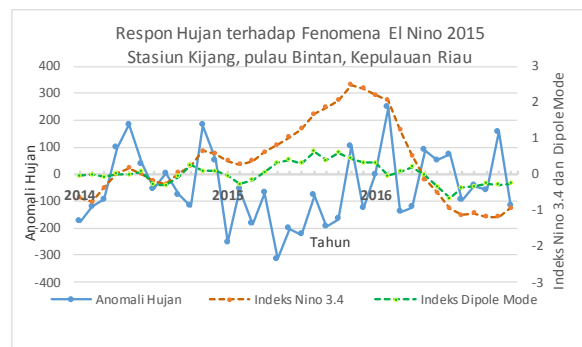
Bulan	lag	Korelasi (R)	Tingkat Signifikansi
Jan-Mar	-2	0,151	0,3721
Feb-Apr	-2	0,157	0,3547
Mar-May	-2	0,100	0,5543
Apr-Jun	-2	-0,114	0,5030
May-Jul	-2	-0,362	0,0275
Jun-Aug	-2	-0,493	0,0019
Jul-Sep	-2	-0,718	0,0000
Aug-Oct	-2	-0,750	0,0000
Sep-Nov	-2	-0,501	0,0016
Oct-Dec	-2	-0,390	0,0170
Nov-Jan	-2	-0,058	0,7375
Dec-Feb	-2	-0,021	0,9024

Pada Tabel 2. menunjukkan korelasi tertinggi terjadi pada bulan Juli, Agustus dan September, dengan nilai korelasi -0.75 dengan lag -2 . Artinya signal *Dipole Mode* direspon terlambat dua bulan oleh curah hujan di Pulau Bintan. Korelasi yang cukup kuat antara curah hujan bulanan dengan fenomena *Dipole Mode* di Pulau Bintan terjadi pada bulan transisi dari musim kemarau ke musim hujan. Korelasi negatif menunjukkan apabila terjadi *Dipole Mode* positif, yaitu suhu permukaan laut lebih menghangat dari normalnya di Samudera Hindia Barat, sedangkan di bagian Timur lebih dingin dari normalnya (N. H. Saji, 2003), mengakibatkan angin bergerak dari Timur ke Barat sehingga wilayah Indonesia mengalami penurunan curah hujan, demikian juga di Pulau Bintan. Hasil korelasi menunjukkan bahwa pengaruh ENSO dan *Dipole Mode* sama sangat kuat di pulau Bintan. Perbedaannya hanya ada jeda waktu respon curah hujan yang terlambat satu bulan antara kedua fenomena tersebut.



Gambar 2. Respon hujan terhadap fenomena El Nino dan Dipole Mode + thn 1997, dan La Nina tahun 1998.

Respon curah hujan terhadap fenomena *El-Nino* dan *IOD+* bersamaan pada tahun 1997/1998 (Gambar 2.) di pulau Bintan ditandai dengan anomali negatif curah hujan yang cukup tinggi (berarti) di sepanjang tahun. Pada tahun 1997/1998, Pulau Bintan mengalami 12 bulan dengan curah hujan di bawah nilai normalnya, dan hanya tujuh bulan mengalami curah hujan di atas normalnya. Pada tahun-tahun normal, di Pulau Bintan tidak pernah ada bulan kering (curah hujan bulanan di bawah 100 mm). Pada 1997/1998 terjadi musim kemarau yang cukup lama, pada bulan-bulan dimana curah hujan tinggi, jumlahnya menurun secara berarti (tinggi), meskipun nilainya masih dalam batas normal. Musim kemarau panjang dan berkurangnya pasokan air saat musim hujan, menjadi penyebab kekeringan di Pulau Bintan.



Gambar 3. Respon hujan terhadap fenomena El Nino tahun 2015.

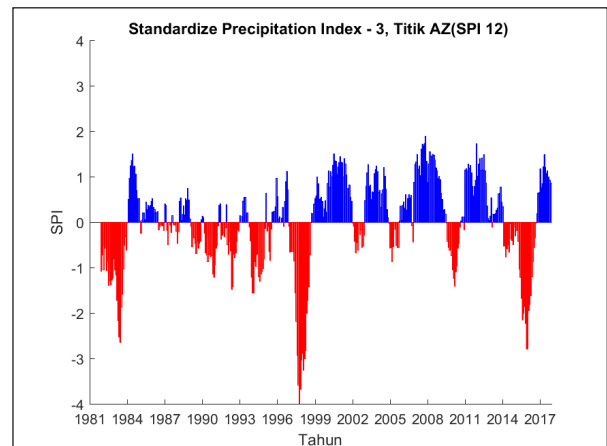
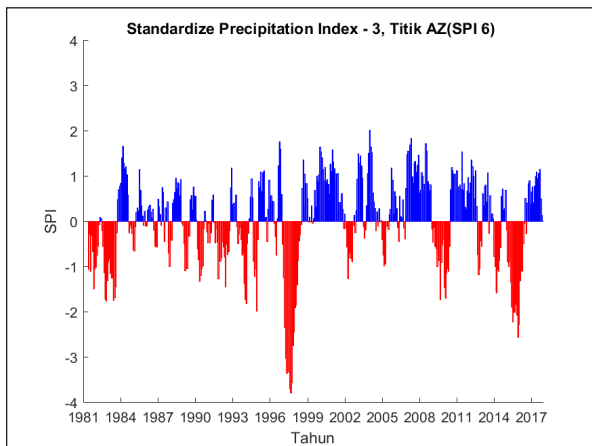
Fenomena El Nino tahun 2015 direspon dengan musim kemarau yang panjang di pulau Bintan, yaitu selama delapan bulan yang ditandai dengan nilai anomali hujan lebih kecil dari -100 (Gambar

3). Pada tahun 2015 hanya terdapat empat bulan dengan curah hujan yang normal. Gambar 3. menunjukkan bahwa fenomena El-Nino kuat tahun 2015 sangat mempengaruhi variabilitas curah hujan di Pulau Bintan. Kondisi ini cukup mengganggu ketersediaan sumberdaya air di Pulau Bintan.

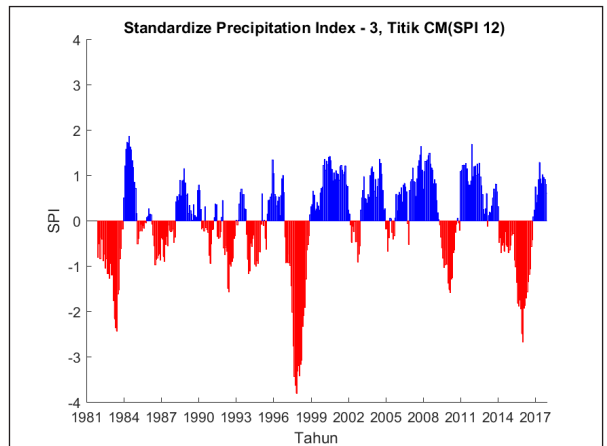
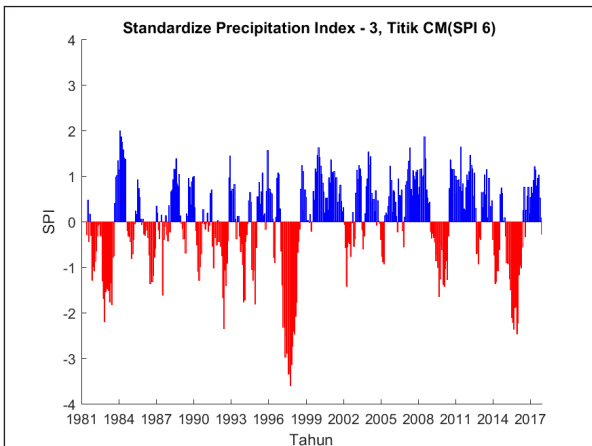
Perhitungan *Standardize Precipitation Indeks* (SPI) dilakukan untuk melihat adanya ancaman kekeringan, analisis dilakukan di seluruh pulau Bintan. Di bawah ini diambil sebagai sampel dua titik yang berada di daerah pemukiman yaitu di kota Tanjungpinang (AZ), dan di daerah dengan tutupan vegetasi di Gunung Kijang (CM). Pada makalah ini dilakukan perhitungan SPI untuk periode defisit 6 dan 12 bulan (SPI 6 dan SPI 12).

Hasil perhitungan SPI 6, dan 12 di beberapa titik di pulau Bintan menunjukkan adanya keterkaitan antara kekeringan dengan fenomena iklim. Fenomena El-Nino pada tahun 1982/1983, 1997/1998 dan 2015/2016 direspon dengan berkurangnya curah hujan yang diindikasikan dengan nilai $SPI < -1$ dalam tahun tersebut. Nilai SPI 6 dan 12 pada tahun 1982/1983 adalah -1 sampai -1,8 yang berarti Pulau Bintan dalam kondisi agak kering sampai kering. Sedangkan pada tahun 1997/1998 nilai SPI 6 dan 12 menunjukkan nilai -1,3 – (-3,9) yang berarti agak kering sampai sangat kering (ekstrim kering). Pada tahun 2015/2016 terjadi kembali musim kering dengan nilai SPI berkisar antara -1,2 – (-2,6) yang berarti agak kering sampai sangat kering (ekstrim kering).

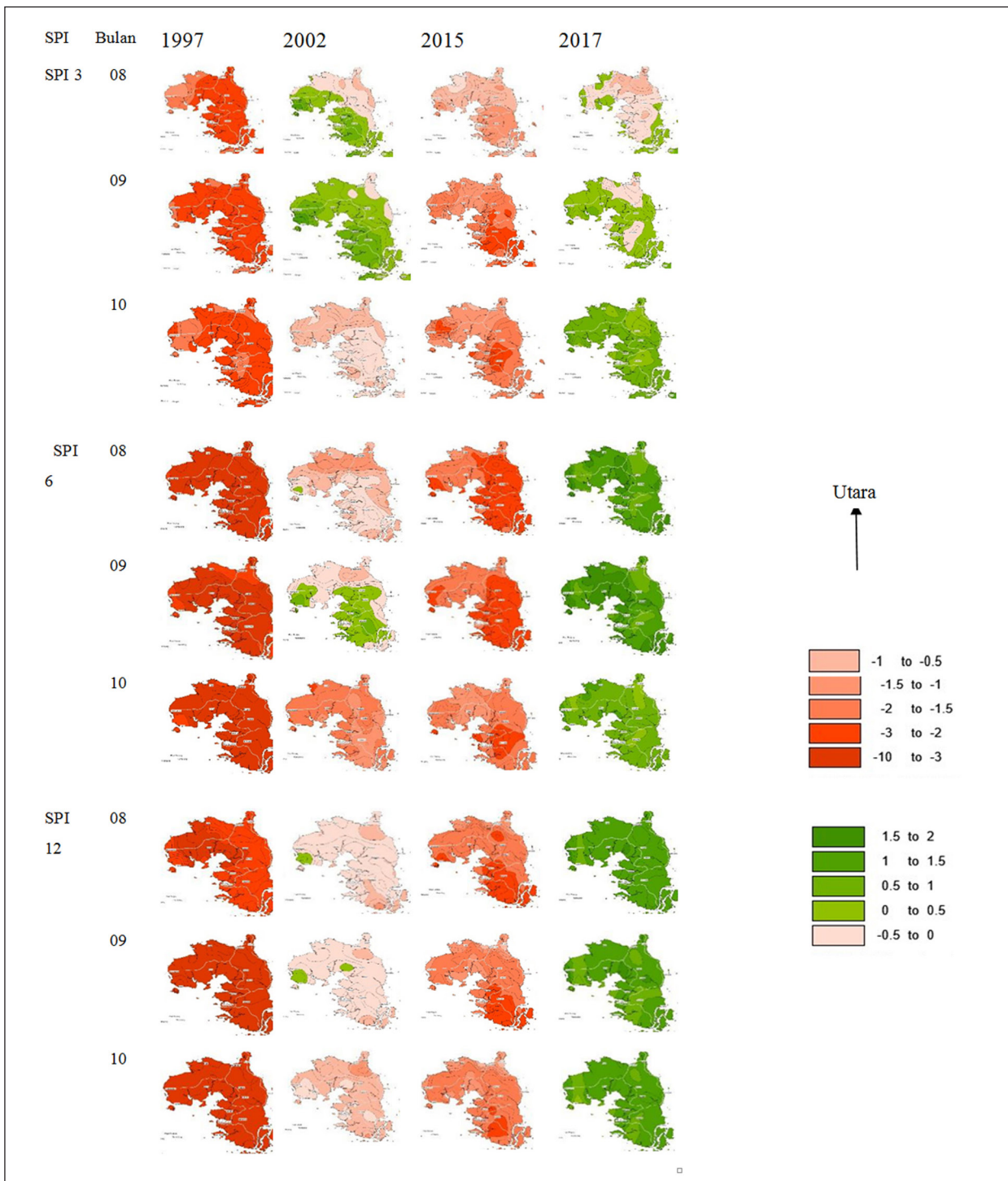
SPI 6 dan SPI 12 di titik AZ Kota Tanjungpinang



SPI 6 dan SPI 12 di titik CM(Gunung Kijang)



Gambar 4. Nilai SPI 6 dan 12 dari 2 titik di pulau Bintan



Gambar 5. Distribusi spasial Nilai Indeks Kekeringan (SPI 3, SPI 6 dan SPI 12) Pulau Bintan

Durasi kekeringan tahun 2015/2016 termasuk paling panjang selama periode pengamatan (1981 – 2017). Sementara tahun 1997/1998 telah terjadi kekeringan dengan intensitas kekeringannya paling tinggi selama periode tahun pengamatan (Lihat Gambar 2.).

Penggambaran distribusi spasial nilai indeks kekeringan (SPI) Pulau Bintan dapat dilihat pada Gambar 5. di atas. Fenomena El Nino kuat tahun 1982 direspon dengan bulan sangat kering – kering pada SPI 3. Sedangkan pada SPI 6 dan 12 menunjukkan kondisi kering. Artinya fenomena El

Nino 1982 direspon dalam variasi hujan bulanan kering sampai sangat kering. Pada tahun 1997 dimana terjadi El-Nino kuat nilai SPI 3, 6 dan 12 pada bulan Agustus, September dan Oktober menunjukkan nilai SPI < -3. Artinya fenomena El Nino 1997 menyebabkan musim kering ekstrim – kering sepanjang tahun. Demikian juga El Nino kuat tahun 2015 direspon dengan bulan kering sepanjang tahun dengan nilai SPI < -2. Intensitas kekeringan di Pulau Bintan tertinggi terjadi pada tahun 1997, dimana nilai SPI nya < -3. Pada tahun 2015 terjadi bulan kering yang cukup lama juga, akan tetapi nilai intensitas kekeringannya lebih rendah dibandingkan tahun 1997. Hal ini sebagai akibat adanya 2 fenomena yang terjadi bersamaan yaitu El-Nino dan IOD+ di tahun 1997. Fenomena El-Nino lemah tahun 2002 direspon dengan bulan normal di setiap bulannya sepanjang tahun 2002 (Gambar 4 dan Gambar 5).

Informasi variabilitas curah hujan sangat penting untuk Pulau Bintan karena sumberdaya airnya yang terbatas, dimana sumberdaya air di Pulau Bintan sangat tergantung pada curah hujan. Variabilitas curah hujan bulanan, dan musiman di Pulau Bintan seperti pada umumnya 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 sistem monsun ini terjadi secara periodik, awal musim hujan dan musim kemarau tidak selalu sama sepanjang tahun. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh fenomena iklim global, yaitu *El-Nino/La Nina* (Tjasyono dr, 2008) dan *Indian Ocean Dipole Mode* yang dikenal dengan IOD (Ashok dr., 2001). *El Niño dan IOD (+)* yang memberikan kontribusi terhadap penurunan curah hujan sehingga menyebabkan kondisi yang lebih kering dari normalnya di Indonesia (Halpert dan Ropelewski, 1992; N. H. Saji, 2003), sebaliknya *La-Nina dan IOD(-)* menyebabkan kondisi yang sebaliknya. El Nino dan IOD (+) akan menurunkan jumlah curah hujan tahunan dan musiman di Indonesia terutama pada bulan Juni-Juli-Agustus dan September-Oktober dan Nopember. El Nino dan IOD (+) akan memperpanjang musim kemarau atau memperpendek musim hujan (Tjasyono dr., 2008; Ashok dr., 2001).

Besar dampak kejadian El-Nino/La-Nina dan

IOD terhadap variabilitas hujan di Indonesia beragam antar wilayah. Menurut Aldrian dr., 2007 variabilitas curah hujan di Indonesia sangat kuat dipengaruhi oleh ENSO kecuali untuk daerah bagian Barat Laut Indonesia (Widodo, dr., 2007). Berdasarkan penelitian (Widodo dr., 2007) untuk daerah Indonesia bagian Barat Laut Indonesia fenomena yang kuat mempengaruhi bukanlah *ENSO (El-Nino/La-Nina)* tapi *IOD*. Hasil penelitian Tjasyono dr., 2008, menunjukkan bahwa pengaruh El-Nino kuat pada daerah yang mempunyai tipe hujan monsun, lemah pada daerah dengan sistem equatorial dan tidak jelas pada daerah dengan sistim lokal. Akan tetapi hasil analisis dalam makalah ini menunjukkan bahwa variabilitas curah hujan di Pulau Bintan yang bertipe ekuatorial dan berada di Bagian Barat Laut Indonesia, ternyata masih sangat kuat dipengaruhi oleh fenomena *ENSO (El-Nino/La-Nina)* maupun *IOD*. Sejumlah studi yang berkaitan dengan pengaruh *ENSO* dan *IOD* dengan kekeringan di Indonesia telah dilakukan sebelumnya (Aldrian and Susanto, 2003; Ashok dr., 2001; D'Arrigo and Smerdon, 2008; HENDON, 2003), hasil studi mereka menunjukkan bahwa kekeringan signifikan berkorelasi dengan *ENSO* dan *IOD* dan akan bertambah intensitasnya apabila fenomena terjadi secara bersamaan. Penelitian yang telah dilakukan masih sedikit yang melakukan kajian mengenai karakteristik spasial dan temporal dari kekeringan meteorologi akibat pengaruh dari fenomena iklim global. Karena setiap daerah akan mempunyai dampak yang berbeda dalam ruang dan waktu untuk fenomena global yang sama dan pada tahun yang sama (Setiawan dr., 2017).

Secara geografis letak Pulau Bintan tidak langsung terbuka terhadap Samudera Hindia dan Samudera Pasifik akan tetapi terbuka dengan Laut Cina Selatan. Posisi geografis ini seharusnya pengaruh monsun lebih kuat dibandingkan pengaruh dari fenomena di Samudera Pasifik dan Hindia (Tjasyono dr., 2008) Akan tetapi hasil analisis dalam makalah ini menunjukkan bahwa pengaruh fenomena iklim di Samudera Pasifik dan Samudera Hindia cukup kuat di Pulau Bintan ini. Pengaruh yang kuat dari kedua fenomena iklim dapat dilihat dari korelasi antara indeks ENSO dan IOD terhadap curah hujan menunjukkan korelasi negatif sama kuat yaitu -0.75 pada saat musim transisi dari musim kemarau ke musim hujan (Tabel 1 dan Tabel 2). Akibatnya apabila terjadi anomali

positif/negatif suhu permukaan laut di Samudera Hindia dan Samudera Pasifik akan menyebabkan penurunan/kenaikan curah hujan yang cukup signifikan. Adanya fenomena *El-Nino* dan *IOD (+)* yang terjadi secara bersamaan pada tahun 1997/1998 mengakibatkan panjangnya musim kemarau di tahun tersebut, dimana dalam tahun 1997 hanya tiga bulan yang mempunyai curah hujan sedikit di atas normal, sisa bulan yang lain mempunyai curah hujan di bawah normal. Kondisi ini bisa dilihat pada Gambar 2.

Anomali positif suhu permukaan laut Samudera Pasifik (*El-Nino*) dan Samudera Hindia (*IOD+*) yang terjadi secara bersamaan pada tahun 1997/1998, telah menyebabkan kemarau sangat panjang di tahun tersebut (Lihat Gambar 3). Tingginya intensitas kekeringan pada tahun 1997/1998 ditunjukkan dengan nilai *SPI* 3 (defisit 3 bulan), 6 (defisit 6 bulan) dan 12 (defisit 12 bulan) berkisar antara -1,5 sampai -3,9 yang berarti telah terjadi kondisi kering sampai sangat kering (ekstrem kering) pada tahun itu (Lihat Gambar 4.). Distribusi spasial kekeringan menunjukkan seluruh pulau Bintan mengalami kekeringan dengan intensitas kering sampai sangat kering (ekstrem kering), lihat Gambar 5.

Fenomena *El-Nino* kuat pada tahun 2015/2016 tanpa diikuti *IOD (+)* menunjukkan pengaruh yang cukup kuat juga pada variabilitas curah hujan, dimana pada tahun tersebut terjadi bulan sangat kering sepanjang tahun dengan nilai *SPI* antara -0,5 sampai -2,5, yaitu kondisi agak kering sampai sangat kering. *El Nino* kuat tanpa diikuti oleh *IOD (+)* pada tahun 2015 menyebabkan panjangnya musim kemarau dan terlambatnya musim hujan. *El-Nino* dan *IOD (+)* yang terjadi pada tahun 1997/1998 telah menyebabkan intensitas kekeringan sangat kering yang ditunjukkan dengan nilai *SPI* nya sampai -3,9 (Gambar 4.). Besarnya intensitas kekeringan akibat adanya fenomena iklim *El Nino* tahun 2015/2016 bervariasi di sepanjang Pulau Bintan, wilayah yang relatif lebih kering di musim transisi pada tahun 2015/2016 adalah di pulau Bintan bagian Selatan.

Tingginya ancaman kekeringan dengan intensitas sangat kering di Pulau Bintan yang ditunjukkan dengan nilai nilai *SPI* < -2, ini berkaitan dengan adanya fenomena iklim global *El-Nino* dan *IOD (+)* yang terjadi secara bersamaan. Apabila terjadi *El Nino* dan *IOD (+)* secara bersamaan akan menyebabkan penurunan curah hujan yang

cukup signifikan seperti yang terjadi pada tahun 1997/1998. Di sepanjang bulan pada tahun tersebut terjadi periode defisit. Apabila terjadi *El-Nino* tanpa *IOD (+)* yang terjadi pada tahun 1982 dan 2015 telah mengakibatkan terlambatnya musim hujan dan panjangnya musim kemarau dengan intensitas kekeringan dari normal sampai kering. Hal ini menunjukkan bahwa fenomena iklim global (*ENSO* dan *IOD*), mempengaruhi variabilitas curah hujan dan ini akan mempengaruhi suplai air di Pulau Bintan.

Saat tahun normal sebagai contoh di tahun 2017, dimana tidak adanya fenomena iklim menunjukkan bahwa Pulau Bintan selama bulan transisi adalah dalam kondisi normal sampai basah (Gambar 5). Hal ini dapat dilihat dari nilai *SPI* nya dimana *SPI* 3, 6 dan 12 adalah berkisar > 0. Wilayah bagian Utara dan Tengah Pulau Bintan menunjukkan daerah yang relatif basah dibandingkan wilayah bagian Selatan.

Kondisi geologi Pulau Bintan mempunyai daya simpan air rendah, mengakibatkan ketergantungan terhadap aliran permukaan akan sangat besar dan adanya perubahan pola distribusi hujan akan sangat berpengaruh terhadap ketersediaan sumberdaya air. Informasi tentang karakteristik spasial dan temporal dari kekeringan akan bermanfaat untuk menetapkan strategi yang tepat dalam pengelolaan sumberdaya air misalnya untuk melakukan penampungan air yang akan digunakan dalam masa kekeringan, karena kebijakan pengelolaan yang umum tidak dapat diterapkan untuk semua wilayah dan periode waktu. Setiap wilayah akan mempunyai pola pengelolaan sumberdaya air yang spesifik terhadap ruang dan waktu.

KESIMPULAN

Variabilitas curah hujan di Pulau Bintan yang merupakan Pulau kecil di equator dengan tipe hujan ekuatorial sangat kuat dipengaruhi oleh dua moda fenomena iklim, yaitu *ENSO* (*El-Nino/La Nina*) dan *IOD*. Akibatnya fluktuasi curah hujan antar tahunannya sangat dipengaruhi oleh dua moda ini. Hal ini ditunjukkan dengan korelasi negatif yang sangat kuat antara indeks iklim *Nino 3.4* dan indeks iklim *Dipole Mode* dengan curah hujan bulanan di Pulau Bintan. Analisis *SPI* menunjukkan bahwa adanya fenomena *El-Nino* dan *IOD+* yang terjadi secara bersamaan ataupun tidak, akan menjadi ancaman kekeringan di Pulau Bintan. *El-Nino* yang

terjadi pada tahun 1982/1983, dan 2015/2016 telah mengakibatkan terjadinya kekeringan di Pulau Bintan dengan intensitas normal sampai sangat kering (ekstrim kering). Apabila kedua moda tersebut terjadi secara bersamaan dan sama kuat akan meningkatkan intensitas kekeringan, yaitu dari kering sampai sangat kering. Analisis spasial SPI menunjukkan bahwa Pulau Bintan bagian Selatan relatif lebih sensitif terhadap bencana kekeringan dibandingkan Pulau Bintan bagian Utara. Kondisi geologi Pulau Bintan mempunyai daya simpan air rendah, mengakibatkan ketergantungan terhadap aliran permukaan akan sangat besar dan adanya perubahan pola distribusi hujan akibat adanya fenomena iklim akan sangat berpengaruh terhadap ketersediaan sumberdaya air. Oleh sebab itu informasi mengenai ancaman kekeringan akibat fenomena iklim, diperlukan oleh pemerintah daerah dalam menyusun kebijakan pengelolaan sumberdaya air. Pengelolaan sumberdaya air di Pulau Bintan sangat perlu mempertimbangkan adanya fenomena iklim yang mempengaruhi pola/variabilitas curah hujan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kepala Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI sebagai Kuasa Pengguna Anggaran beserta staf, koordinator kegiatan DDRG – Coremap CTI LIPI 2018 beserta staf yang telah memberikan fasilitas dalam melaksanakan penelitian ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada kepala Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, dan teknisi yang telah membantu pada pekerjaan lapangan dan studio. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Bapak/Ibu staf Pemerintah Daerah Propinsi Kepulauan Riau, Kabupaten Bintan dan Kota Tanjungpinang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. and Dwi Susanto, R., 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12), pp. 1435–1452. doi: 10.1002/joc.950.
- Aldrian, E., Widodo, F. H. and Du, L., 2007. Seasonal variability of Indonesian rainfall in ECHAM4 simulations and in the reanalyses : The role of ENSO. *Theoretical and Applied Climatology*, 87, pp. 41–59. doi: 10.1007/

s00704-006-0218-8.

- Andrew D. King, Geert Jan Van Oldenborgh, A. D. J. K., 2016. Explaining Extreme Events Of 2015 From A Climate Perspective, 97(12), pp. 5113–5143.
- Ashok, K., Guan, Z. and Yamagata, T., 2001. Impact of the Indian Ocean Dipole on the Relationship between the Indian Monsoon Rainfall and ENSO Karumuri Ashok •, Zhaoyong Toshio Yamagata technique. *Geophysical Research Letters*, 28(23), pp. 4499–45.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Bintan , 2017. *Kabupaten Bintan Dalam Angka 2017*.
- Barker, T. et al., 2007. *Technical Summary, Technical Summary. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. UK, USA.
- Bayong Tjasyono, A. L. and Ina Juani, Ruminta, S. W. B. H., 2008. Dampak Variasi Temperatur Samudera Pasifik Dan Hindia Ekuatorial Terhadap Curah Hujan. *Jurnal Sains Dirgantara*, 5(2), pp. 83–95.
- Boer Rizaldi, and F. M., 2004. Global Climate Forcing and Rainfall Variability in west Java: Case study in Bandung District. *Agrometeorologi*, 18(2), pp. 1–12.
- C.-P. CHANG., 2004. On the Relationship between Western Maritime Continent Monsoon Rainfall and ENSO during Northern Winter. *JOURNAL OF CLIMATE*, 17(3), pp. 665–672. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0665:OTRBWM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0665:OTRBWM>2.0.CO;2).
- D'Arrigo, R. and Smerdon, J. E., 2008. Tropical climate influences on drought variability over Java, Indonesia. *Geophysical Research Letters*, 35(5), pp. 1–5. doi: 10.1029/2007GL032589.
- Dinku, T. et al., 2018. Validation of the CHIRPS satellite rainfall estimates over eastern. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144(August), pp. 292–312. doi: 10.1002/qj.3244.
- Djalante, R. and Thomalla, F., 2012. 'nternational Journal of Disaster Resilience in the Built Environment Indonesia : Institutional challenges and opportunities for integration Disaster risk reduction and climate change adaptation in Indonesia Institutional

- challenges and opportunities. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 3(2), pp. 166–180. doi: 10.1108/17595901211245260.
- Hayes, M. J. *et al.*, 1999. Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological So*, 80(3), pp. 429–438.
- HENDON, H. H., 2003. Indonesian Rainfall Variability : Impacts of ENSO and Local Air – Sea Interaction. *Journal of Climate*, 16(11), pp. 1775–1790.
- Inomata, H., Takeuchi, K. and Fukami, K., 2011. Development Of A Statistical Bias Correction Method For Daily Precipitation Data of GCM 20. *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, 67(4), pp. 247–252.
- Irawan, B., 2006. Fenomena anomali iklim el nino dan la nina: kecenderungan jangka panjang dan pengaruhnya terhadap produksi pangan?, *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 24(1), pp. 28–45.
- Kusnawa, K. S., 1994. Peta Geologi Lembar Tanjungpinang, Sumatera skala 1 : 250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- L.A. Nurse, R.F.Mclean, J. Agard, L.P Briguglio, V.Duvat-Magnan, N.Pelesikoti, E.Tompkins, A. W., 2014. *Small Islands*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01090732> .
- Manik, T. K., Rosadi, B. and Nurhayati, E., 2014. Mengkaji dampak perubahan iklim terhadap distribusi curah hujan lokal di propinsi Lampung. *Forum Geografi*, 28(1), pp. 73–86. Available at: <http://hdl.handle.net/11617/4793>.
- Masnellyarti, H., 2008. TATA RUANG DAN PERUBAHAN IKLIM. *Seminar Kerusakan Lingkungan*. Kementerian Lingkungan Hidup, pp. 1–6.
- Michael S. Halpert and Chester F. Ropelewski., 1992. Surface Temperature Pattern Associated with the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 5(6), pp. 577–593.
- N. H. Saji, T. Y., 2003. Possible impacts of Indian Ocean Dipole mode events on global climate. *CLIMATE RESEARCH*, 25(2), pp. 151–169.
- Patel, N. R., Chopra, P. and Dadhwal, V. K., 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications*, 336(12 October), pp. 329–336. doi: 10.1002/met.
- Piani, C. *et al.*, 2010. Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *Journal of Hydrology*. Elsevier B.V., 395(3–4), pp. 199–215. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.10.024.
- Rachmawati, L., 2015. Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Di Pulau-Pulau Kecil Belitung Dan Bintan’, *Jurnal Kependudukan Indonesia*, 10(2), pp. 109–124.
- Rayner, N. A. *et al.*, 2003. Global analyses of sea surface temperature , sea ice , and night marine air temperature since the late nineteenth century. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 108(D14), pp. 1–22. doi: 10.1029/2002JD002670.
- Santoso, D. H., 2015. Kajian Daya Dukung Air di Pulau Bintan, Propinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 7 no 1, pp. 18–28.
- Setiawan, A. M., Lee, W. S. and Rhee, J., 2017. Spatio-temporal characteristics of Indonesian drought related to El Niño events and its predictability using the multi-model ensemble. *International Journal of Climatology*, 37(13), pp. 4700–4719. doi: 10.1002/joc.5117.
- Tsakiris, I. N. G., 2009. Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management*, 23(5), pp. 881–882. doi: 10.1007/s11269-008-9305-1.
- Widodo, F. H., Aldrian, E. and Du, L., 2007. Seasonal variability of Indonesian rainfall in ECHAM4 simulations and in the reanalyses : The role of ENSO. *Theoretical and Applied Climatology*, 87(1–4), pp. 41–59. doi: 10.1007/s00704-006-0218-8.
- Wu, H. *et al.*, 2007. Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, 21(1), pp. 65–79. doi: 10.1002/joc.