

Hubungan Kekeringan Meteorologis dengan *El Niño* dan *Indian Ocean Dipole* Positif di Bali menggunakan Indeks Terstandarisasi

Nyoman Iswarya Pawitrama^{1*}, Endita Prima Ari Pratiwi¹, Karlina¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: nyomaniswarya@gmail.com

INTISARI

Pada dasarnya iklim Pulau Bali dan Pulau Penida lebih cenderung bersifat kering. Hal ini diperparah dengan fenomena anomali meteorologis di sekitar laut Indonesia, yaitu *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO) yang cenderung berpengaruh di Indonesia bagian timur dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) pada Indonesia bagian barat. Kedua fenomena ini silih berganti atau bersama-sama memperparah kondisi kekeringan di Pulau Bali dan Pulau Penida. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan hubungan antara kedua fenomena tersebut terhadap keparahan kejadian kekeringan meteorologis. Tinjauan tahun yang digunakan adalah tahun 2015 dan tahun 2019 karena pada kedua tahun tersebut tercatat terjadi *El Niño* dan IOD positif. Pengukuran tingkat kekeringan menggunakan metode *Standardized Precipitation Index* (SPI). Nilai SPI kemudian dianalisis korelasi terhadap nilai *Dipole Mode Index* (DMI) dan *Oceanic Niño Index* (ONI). Skala waktu yang digunakan pada ketiga indeks tersebut adalah 3 bulanan. Pada penelitian ini juga membandingkan sebaran kekeringan yang terjadi dari analisis spasial nilai SPI tahun 2015 dan 2019 terhadap kejadian kekeringan terparah yang pernah terjadi di Bali pada Mei 1997. Hasil penelitian menunjukkan *El Niño* mempunyai pengaruh kuat pada kekeringan tahun 1997 dan 2015, tetapi kurang berpengaruh pada tahun 2019, sedangkan IOD mempunyai pengaruh moderat pada tahun 1997, 2015 dan 2019.

Kata kunci: kekeringan, meteorologis, Bali, korelasi, ENSO, IOD.

1 PENDAHULUAN

Kekeringan didefinisikan sebagai defisiensi air di bawah ambang batas tertentu (Wilhite *et al.* 1985). Ambang batas yang dimaksudkan adalah total kebutuhan penggunaan air pada suatu daerah, seperti untuk irigasi, air baku, pembangkit listrik, dan lain-lain. Defisiensi terjadi akibat penurunan pasokan ketersediaan air di daratan. Secara teoritis dalam siklus hidrologi, air di daratan berasal dari hujan yang dibawa oleh awan dari lautan. Namun, fenomena anomali klimatologi yang terjadi di lautan luas sangat mempengaruhi seberapa banyak awan yang terangkut ke daratan. Anomali tersebut diantaranya adalah fenomena *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO) yang terjadi di Samudra Pasifik dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) yang terjadi di Samudra Hindia. Defisiensi air yang ditinjau dari pengurangan curah hujan yang secara tidak langsung juga meningkatkan tingkat evaporasi di daratan disebut juga sebagai kekeringan meteorologis (Van Loon 2015).

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) mendefinisikan ENSO dan IOD sebagai fenomena anomali suhu permukaan air laut yang terjadi berulang tidak teratur. ENSO terjadi di Samudra Pasifik, sedangkan IOD terjadi di Samudra Hindia. Bentuk anomali yang terjadi berupa pemanasan (*El Niño* dan IOD Positif), dan pendinginan (*La Niña* dan IOD Negatif) suhu muka air laut. Studi mengenai hubungan antara fenomena ENSO dan IOD terhadap nilai rata-rata hujan baik bulanan maupun tahunan serta pengaruhnya terhadap tingkat kebasahan dan kekeringan di Indonesia sudah banyak dilakukan (Aldrian and Dwi Susanto 2003, Hendon 2003, Nur'utami and Hidayat 2016, Kurniadi *et al.* 2021). Beberapa studi juga mengklasifikasikan pengaruh fenomena ENSO dan IOD di Indonesia, yang mana ENSO cenderung mempengaruhi Indonesia bagian timur, dan IOD pada Indonesia bagian barat (Saji dan Yamagata 2003, Jun-Ichi *et al.* 2012, Villafuerte dan Matsumoto 2015, Supari *et al.* 2018).

Pulau Bali berlokasi di zona Indonesia tengah, tepatnya pada koordinat 8°3'38" – 8°50'56" lintang selatan dan 114°25'53" – 115°42'39" bujur timur. Hal ini berpotensi membuat dampak ENSO dan IOD sama besarnya terhadap kejadian kekeringan meteorologis, bahkan dapat lebih parah dibandingkan pulau lain di Indonesia jika *El Niño* dan IOD Positif terjadi secara bersamaan (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Bali (BMKG), 2015). Kejadian *El Niño* dan IOD Positif terjadi bersamaan pernah tercatat pada tahun 2015 dan 2019. Pada tahun 2015, *El Niño* yang terjadi merupakan *El Niño* kuat yang diketahui dari nilai *Oceanic Niño Index* (ONI) diantara 1,2 sampai 2,6 pada Juni – Desember 2015, sedangkan IOD yang terjadi merupakan Dipol Positif moderat yang diketahui dari nilai *Dipole Mode Index* (DMI) diantara 0,29 – 0,48 pada periode bulan yang sama. Pada tahun 2019, baik ENSO dan IOD yang terjadi merupakan *El Niño* dan Dipol Positif moderat yang masing-masing nilai indeks berada pada nilai 0,5 – 0,8 dari Januari – Mei 2019. Data kedua indeks tersebut dihimpun dari halaman *National Oceanic and Atmospheric*

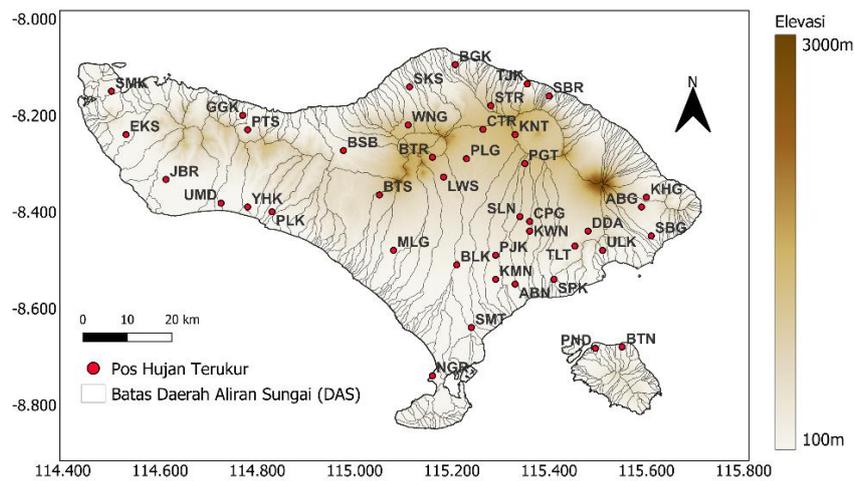
Administration (NOAA) yang pertama kali dipublikasikan secara bebas tahun 2009 dari rentang tahun 1950 dan diperbarui secara berkala setiap bulannya.

Kajian mengenai kekeringan meteorologis di Pulau Bali sudah beberapa kali dilakukan (Mira Anantha Yosilia dan Emilya Nurjani 2014, Muharsyah dan Nur Ratri 2015, Nuarsa et al. 2015, G. Y. Immanuel Ryadi 2019). Berdasarkan kajian tersebut disimpulkan bahwa kondisi kekeringan di Pulau Bali berkaitan erat dengan kejadian *El Niño*. Indeksasi kekeringan dengan metode *Standardized Precipitation Index* (SPI) juga menunjukkan nilai amat sangat kering (lebih kecil dari -1.99) pada periode terjadinya *El Niño* kuat pada tahun 1997. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, fenomena *El Niño* kuat yang kembali terjadi bersamaan dengan IOD Dipol Positif pada tahun 2015 diyakini akan membuat intensitas hujan di Pulau Bali berkurang dan mengakibatkan kekeringan parah juga seperti tahun 1997. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah meninjau tingkat kekeringan meteorologis yang terjadi di Bali secara spasial dan temporal, serta hubungannya terhadap fenomena ENSO dan IOD berdasarkan korelasi antara nilai SPI dengan nilai ONI dan DMI.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Data Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Pulau Bali dan Pulau Penida yang masing-masing memiliki luas 5780 km² dan 209,4 km² dengan menggunakan data 40 pos hujan terukur dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan 1 pos hujan terukur dari Balai Wilayah Sungai Bali-Penida (BWS B-P) dari tahun 1991 sampai 2020 seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Pemilihan pos hujan berdasarkan acuan dari *World Meteorological Organization* (WMO) yaitu pos hujan mempunyai panjang data minimal 30 tahun.



Gambar 1 Peta Pulau Bali dan Pulau Penida beserta Lokasi Pos Hujan Terukur.
 Sumber: Data DEM Nasional Badan Informasi Geospasial

2.2 Standardized Precipitation Index (SPI)

Kekeringan yang dimodelkan SPI menggunakan sebaran analisis data distribusi gamma sebaran data hujan (Thorn and Switzerland 1966). Hal ini membuat metode SPI diterima secara luas dibandingkan metode indeks kekeringan lainnya karena lebih akurat memodelkan terhadap sifat seri waktu data hujan (Guttman 1998, Hayes et al. 1999). Pada penelitian ini, perhitungan nilai SPI menggunakan aplikasi *SPI Generator v.1.7.6* oleh *National Drought Mitigation Center University of Nebraska-Lincoln*. Aplikasi tersebut juga direkomendasikan oleh WMO untuk penggunaannya dalam kajian kekeringan. Nilai SPI yang didapat kemudian diklasifikasikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi nilai SPI (Mckee et al. 1993)

Nilai	Klasifikasi Indeks
≥ 2,00	Amat Sangat Basah
2,00 s.d 1,50	Sangat Basah
1,50 s.d 1,00	Basah
1,00 s.d 1,00	Normal
-1,00 s.d -1,50	Kering
-1,50 s.d -2,00	Sangat Kering
≤ -2,00	Amat Sangat Kering

2.3 Uji Korelasi Data

Pengujian korelasi data digunakan untuk mengetahui hubungan antara sebaran data seri waktu kejadian kekeringan dari nilai SPI, dibandingkan dengan sebaran data seri waktu kejadian ENSO dan IOD. ENSO mengacu pada nilai ONI, sedangkan IOD mengacu pada nilai DMI. Metode pengujian korelasi data untuk mengetahui hubungan antara kejadian kekeringan juga sudah banyak dilakukan dan menghasilkan kesimpulan yang akurat antara kejadian kekeringan (Guo *et al.* 2020). Uji korelasi dilakukan dengan melihat nilai koefisien korelasi *pearson* yang dihasilkan dari Persamaan (1), (2), dan (3).

$$r_{A,B} = \frac{S_{A,B}}{S_A \cdot S_B} \tag{1}$$

dengan:

$$S_{A,B} = \frac{\sum[(a_i - \bar{A})(b_i - \bar{B})]}{n-1} \tag{2}$$

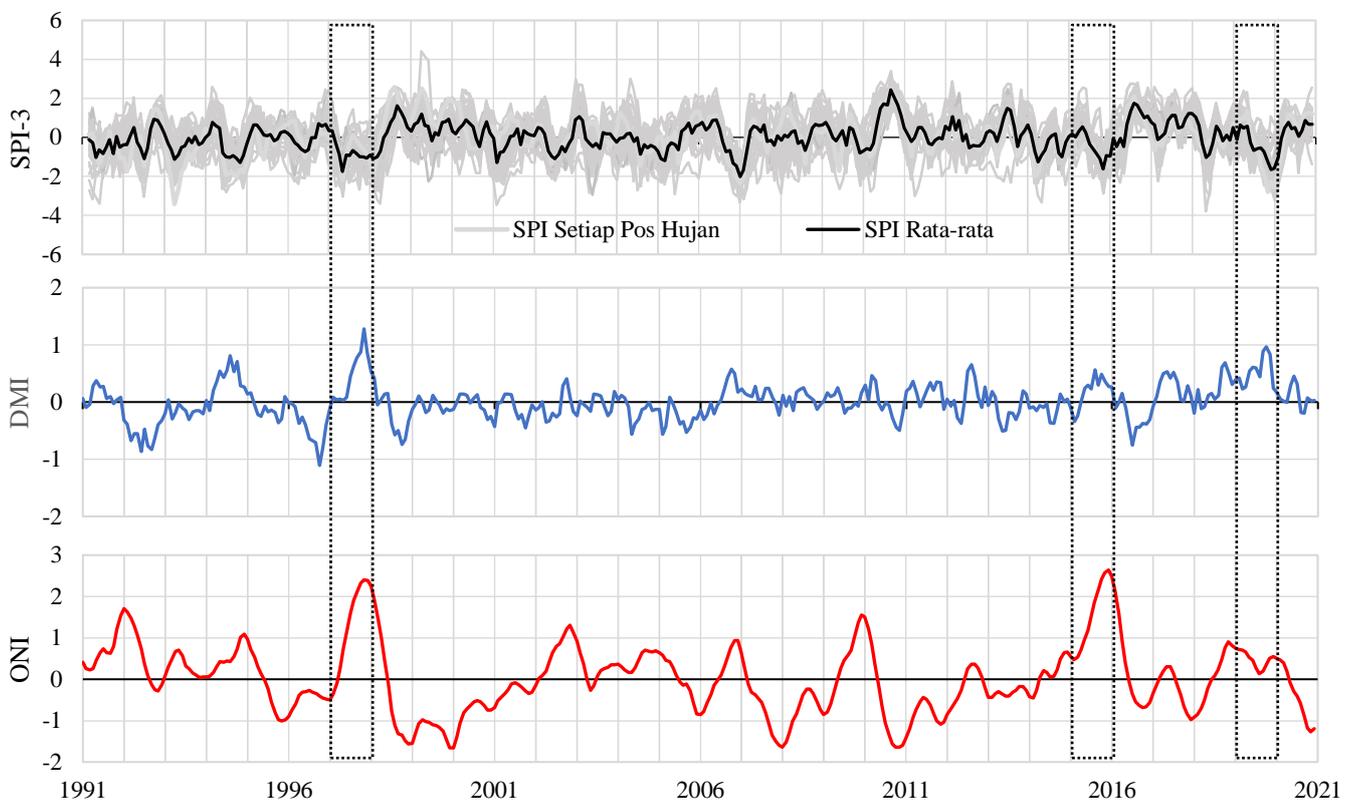
$$S_A = \sqrt{\frac{\sum(a_i - \bar{A})^2}{n-1}} \text{ dan } S_B = \sqrt{\frac{\sum(b_i - \bar{B})^2}{n-1}} \tag{3}$$

dengan $S_{A,B}$ adalah kovarian variabel A dan B; S_A adalah simpangan baku variabel A; S_B adalah simpangan baku variabel B; a_i adalah data variabel A urutan ke i ; b_i adalah data variabel B urutan ke i ; \bar{A} adalah rata-rata data variabel A; \bar{B} adalah Rata-rata data variabel B; dan n adalah Jumlah data pada setiap variabel.

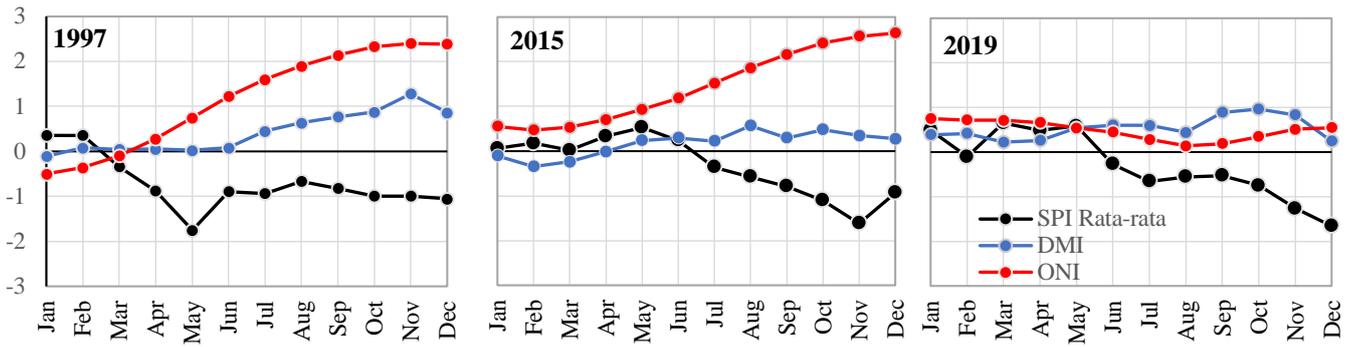
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Nilai SPI

Pada penelitian ini, skala waktu yang digunakan untuk menghitung nilai SPI adalah 3 bulanan (SPI-3). Hal ini menyesuaikan terhadap nilai ONI dan DMI dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) yang juga menggunakan skala waktu 3 bulanan dalam perhitungannya. Nilai SPI dihitung pada setiap data pos hujan terukur dari tahun 1999 sampai 2020 dan dirata-ratakan, kemudian nilai SPI seluruh stasiun, SPI rata-rata, ONI dan DMI disajikan dalam grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2 Grafik nilai SPI-3, ONI dan DMI 19991-2020. Kotak dengan garis putus-putus menunjukkan tahun terjadinya kekeringan di Bali 1997, 2015 dan 2019.

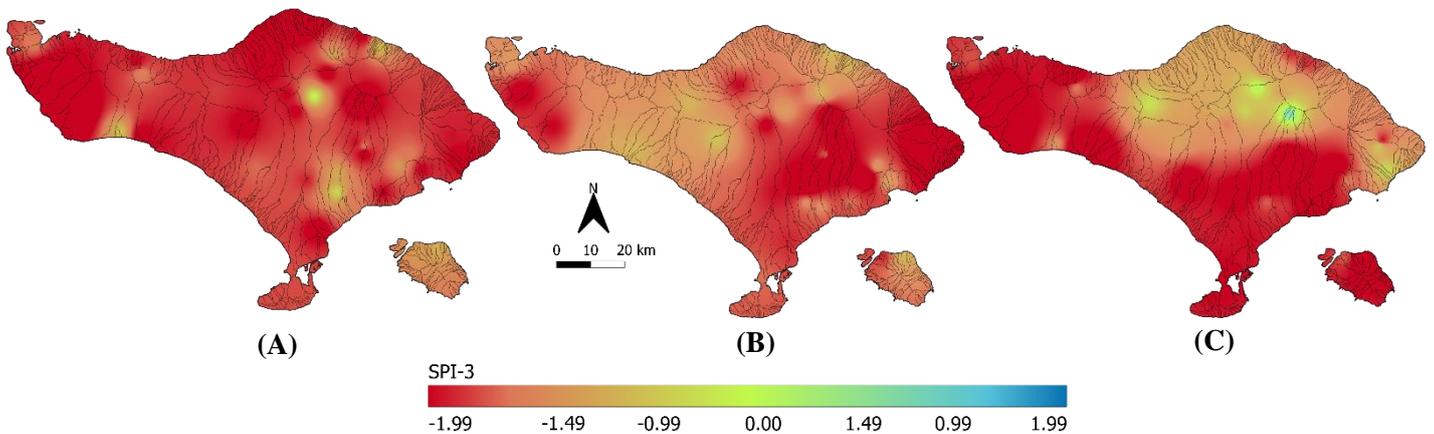


Gambar 3 Grafik nilai SPI terhadap ONI dan DMI di Bali tahun 1997, 2015 dan 2019

Tinjauan nilai SPI terhadap nilai ONI dan DMI yang sudah didapatkan kemudian difokuskan pada tahun 2015 dan 2019 dimana tercatat sebagai tahun kejadian bencana kekeringan terbaru, kedua tahun tersebut juga dibandingkan dengan tahun 1997 sebagai tahun bencana kekeringan terparah yang terjadi di Bali berdasarkan publikasi tahunan monitoring iklim oleh BMKG. Ketiga tahun tersebut kemudian disandingkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 terlihat fluktuasi perubahan nilai SPI terhadap ONI dan DMI yang cenderung berlawanan. Ketika nilai ONI dan DMI meningkat, maka nilai SPI cenderung terjadi penurunan atau kondisi semakin kering.

3.2 Pemetaan Nilai SPI

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa periode bulan dengan nilai SPI rata-rata seluruh pos hujan yang menunjukkan nilai SPI terkering pada tahun 2015 berada pada bulan November dengan nilai -1.62, sedangkan pada tahun 2019 terjadi pada bulan Desember dengan nilai -1.66. Nilai SPI pada November 2015 dan Desember 2019 pada setiap pos hujan kemudian dipetakan secara spasial dan diinterpolasi berdasarkan luasan Pulau Bali dan Pulau Penida dengan metode *inverse distance weighted* pada aplikasi QGIS 3.26.3. Interpolasi ini untuk mengetahui sebaran tingkat keparahan kekeringan secara keseluruhan yang terjadi di Pulau Bali. Hasil pemetaan ditunjukkan pada Gambar 3.

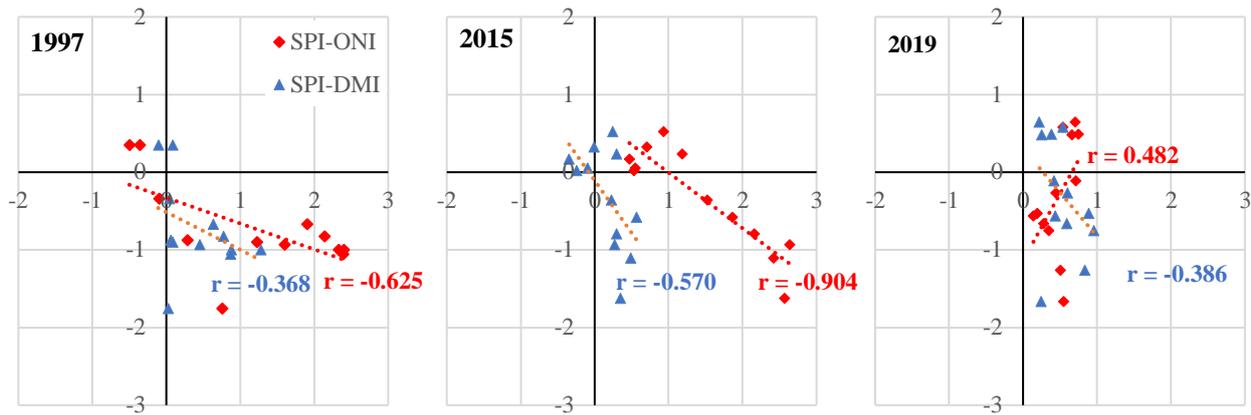


Gambar 4 Pemetaan nilai SPI pada Mei 1997 (A), November 2015 (B) dan (C) Desember 2019

Berdasarkan Gambar 4 sebaran nilai SPI Amat Sangat Kering ($SPI < -1,99$) tahun 2019 bulan Desember mencakup 3460 km². Nilai ini lebih besar dibandingkan pada tahun 2015 yang hanya mencakup 2510 km² pada bulan November. Namun, kondisi ini masih belum separah pada Mei 1997 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4A, yang mana nilai interpolasi luasan SPI kategori Amat Sangat Kering ($SPI < -1,99$) meliputi hampir keseluruhan luas Bali.

3.3 Korelasi Nilai SPI terhadap ONI dan DMI

Nilai SPI-3 rata-rata dari ke-41 stasiun hujan terukur tahun 1991 sampai 2020 kemudian dianalisis menggunakan korelasi *pearson* terhadap nilai ONI dan DMI. Periode waktu yang digunakan masih sama, yaitu tahun 1997, 2015 dan 2019. Nilai yang dihasilkan kemudian disandingkan dengan grafik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sebaran hubungan SPI terhadap ONI dan DMI seperti yang ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5 Grafik hubungan SPI terhadap ONI dan DMI tahun 1997, 2015 dan 2019. Sumbu horizontal menunjukkan nilai DMI atau ONI dan sumbu vertikal menunjukkan nilai SPI.

Berdasarkan Gambar 5, korelasi antara SPI dan ONI pada tahun 1997 dan 2015 memiliki hubungan berkebalikan yang kuat dengan nilai korelasi kurang dari -0,5, khususnya pada tahun 2015 yang memiliki nilai korelasi mencapai -0,904. Semakin tinggi nilai ONI yang menandakan terjadinya *El Niño*, berarti semakin kering daerah tersebut dengan nilai SPI yang semakin negatif. Namun, pada tahun 2019 koefisien korelasi SPI dan ONI memiliki hubungan positif dengan nilai 0,482. Hal ini menandakan bahwa kekeringan tahun 2019 tidak terlalu dipengaruhi oleh fenomena *El Niño*. Pada Gambar 4 juga menunjukkan hubungan korelasi negatif yang cukup baik antara SPI dan DMI dengan nilai korelasi diantara -0,25 dan -0,5 pada tahun 1997, 2015 dan 2019. Hubungan yang dihasilkan SPI dan DMI adalah sama seperti SPI dan ONI. Jika nilai DMI semakin positif, maka nilai SPI akan semakin kering.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Fenomena ENSO dan IOD mempunyai pengaruh terhadap kejadian kekeringan di Pulau Bali. Hal ini didasari dari tingginya korelasi antara indeks pengukuran ENSO dan IOD yaitu ONI dan DMI dengan indeks kekeringan SPI, khususnya pada 3 tahun catatan kejadian kekeringan di Bali yaitu 1997, 2015 dan 2019. Secara nilai korelasi, ENSO memiliki korelasi tinggi terhadap kekeringan tahun 1997 dan 2015 dibandingkan dengan IOD. Namun, hal tersebut tidak berarti ENSO lebih dominan menyebabkan kekeringan di Bali. Hal ini terlihat pada tahun 2019 yang mana ENSO kurang berpengaruh dibandingkan IOD, tetapi luas terdampak kekeringan tahun 2019 lebih besar dibandingkan tahun 2015.

Kekeringan meteorologis merupakan tahap awal kekeringan yang akan diikuti dengan kekeringan pertanian dan kekeringan hidrologis. Penelitian dapat dilanjutkan dengan mengkaji potensi kekeringan hidrologis sebagai dampak kekeringan meteorologis yang terjadi di Bali, dari segi pengaruh pengurangan hujan terhadap penurunan debit di sungai yang ada di Bali. Dengan memahami karakter kekeringan di suatu wilayah, diharapkan langkah mitigasi dapat dilakukan dengan lebih tepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih khusus penulis ucapkan kepada Bapak Robi Muharsyah dari BMKG atas bantuan data penelitian, saran dan masukan karena pernah melakukan penelitian serupa pada tahun 2015.

REFERENSI

- 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), 1435–1452.
- G. Y. Immanuel Ryadi. (2019). "Pengaruh Fenomena El Nino dan La Nina Pada Persebaran Curah Hujan dan Tingkat Kekeringan di Pulau Bali". *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 8, no. 4, pp. 41-49, Oct. 2019
- Guo, Y., Huang, S., Huang, Q., Leng, G., Fang, W., Wang, L., and Wang, H. (2020). "Propagation thresholds of meteorological drought for triggering hydrological drought at various levels". *Science of the Total Environment*, 712.
- Guttman, N.B. (1998). "Comparing The Palmer Drought Index and The Standardized Precipitation Index". *Journal of the American Water Resources Association*, 34 (1), 113–121.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., and Vanyarkho, O. V. (1999). "Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80 (3), 429–438.

- Hendon, H.H. (2003). "Indonesian Rainfall Variability: Impacts of ENSO and Local Air-Sea Interaction". *Journal of Climate* Vol.16: Issue 1, 2003.
- Jun-Ichi, H., Mori, S., Kubota, H., Yamanaka, M.D., Haryoko, U., Lestari, S., Sulistyowati, R., and Syamsudin, F. (2012). "Interannual rainfall variability over northwestern Jawa and its relation to the Indian Ocean Dipole and El Niño-Southern Oscillation events". *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 8 (1), 69–72.
- Kurniadi, A., Weller, E., Min, S.K., and Seong, M.G. (2021). "Independent ENSO and IOD impacts on rainfall extremes over Indonesia". *International Journal of Climatology*, 41 (6), 3640–3656.
- Van Loon, A.F., 2015. *Hydrological drought explained*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2 (4), 359–392.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). "The Relationship Of Drought Frequency And Duration to Time Scales". *Eighth Conference on Applied Climatology*, January 1993.
- Mira Anantha Yosilia and Emilyya Nurjani, S.Si., M.S. (2014). "Analisis Hubungan El Nino dengan Kekeringan Meteorologis Menggunakan SPI (Standardized Precipitation Index) di Pulau Bali". *Jurnal Geografi Universitas Gajah Mada*, Yogyakarta 2014.
- Muharsyah, R. and Nur Ratri, D. (2015). "Drought Duration And Drought Magnitude Analysis Using Standard Precipitation Index In Bali Island. Bali". *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol.16 No.2 (2015)
- Nuarsa, W., Wayan, I., Adnyana, S., and Rahman As-Syakur, A. (2015). "Pemetaan Daerah Rawan Kekeringan Di Bali-Nusa Tenggara Dan Hubungannya Dengan Enso Menggunakan Aplikasi Data Penginderaan Jauh". *Jurnal Lingkungan Hidup* Universitas Udayana, Vol. 15 No 1 (2016).
- National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln USA, SPI Generator v.1.7.6 Updated on 2018. <https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>
- National Oceanic and Atmospheric Administration, USA. Oceanic Niño Index [3 month regular updated of running mean of ERSST.v5 SST anomalies in the Niño 3.4 region] <https://psl.noaa.gov/data/timeseries/monthly/ONI/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration, USA. Dipole Mode Index [3 month regular updated of running HadISST1.1 SST] https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/DMI/
- Nur'utami, M.N. and Hidayat, R. (2016). "Influences of IOD and ENSO to Indonesian Rainfall Variability: Role of Atmosphere-ocean Interaction in the Indo-pacific Sector". *Procedia Environmental Sciences*, 33, 196–203.
- Saji, N.H. and Yamagata, T. (2003). "Possible impacts of Indian Ocean Dipole mode events on global climate". *Journal of Climate Research*, 25 (2), 151–169.
- Supari, Tangang, F., Salimun, E., Aldrian, E., Sopaheluwakan, A., and Juneng, L. (2018). "ENSO modulation of seasonal rainfall and extremes in Indonesia". *Journal of Climate Dynamics*, 51 (7–8), 2559–2580.
- Thorn, H.C.S. and Switzerland, G. (1966). "Some Methods Of Climatological Analysis" Secretariat of the World Meteorological Organization Publication Documents of 113-1966.
- Villafuerte, M.Q. and Matsumoto, J. (2015). "Significant influences of global mean temperature and ENSO on extreme rainfall in Southeast Asia". *Journal of Climate*, 28 (5), 1905–1919.
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H., and And Glantz, M.H. (1985). "Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions". *Water International* 10:3 (1985), pp. 111–120.