

## Analisis Karakteristik Kekeringan DAS Kapuas Kalimantan Barat Berdasarkan Luaran *Global Climate Model*

Andi Ihwan<sup>a,d\*</sup>, Hidayat Pawitan<sup>b</sup>, Rahmat Hidayat<sup>b</sup>, Arnida Lailatul Latifah<sup>c</sup> dan Muh. Taufik<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Klimatologi Terapan, Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA IPB

<sup>b</sup>Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA IPB

<sup>c</sup>Laboratorium HPC (*High-Performance Computing*) LIPI, Cibinong

<sup>d</sup>Program Studi Geofisika FMIPA Universitas Tanjungpura

\*Email : andihwan@physics.untan.ac.id

(Diterima 5 September 2019; Disetujui 19 November 2019; Dipublikasikan 30 November 2019)

### Abstrak

Daerah aliran sungai (DAS) Kapuas, walaupun berada di wilayah benua maritim Indonesia dengan curah hujan yang tinggi sepanjang tahun, namun sering mengalami kebakaran lahan dan hutan. Bencana kebakaran lahan dan hutan tersebut merupakan dampak dari kekeringan yang berkepanjangan. Informasi tentang karakteristik kekeringan di wilayah DAS Kapuas masih kurang diungkap terutama terkait dengan penggunaan data iklim global. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kekeringan meteorologis dan kekeringan hidrologis DAS Kapuas. Analisis kekeringan meteorologis digunakan pendekatan *Standardize Precipitation Index* (SPI) dan kekeringan hidrologis digunakan *Standardized Runoff Index* (SRI). Data curah hujan dan *runoff* dari *Global Climate Model* (GCM) yang telah di-*downscaling* menjadi 20 km x 20 km digunakan sebagai input data. Berdasarkan indeks kekeringan skala satu bulanan selama 30 tahun (1981-2010), diperoleh bahwa DAS Kapuas telah mengalami kekeringan meteorologis sebanyak 45 kali dan 48 kali kekeringan hidrologis dengan kategori moderat kering sampai dengan ekstrim kering. Luas wilayah yang mengalami kekeringan meteorologis maksimum terjadi pada tahun 1986 yakni 11,01% dari total wilayah DAS, kekeringan hidrologis maksimum terjadi pada tahun 1991 yakni 13,9% dari total wilayah DAS. Durasi kejadian kedua jenis kekeringan tersebut dominan berdurasi satu bulan. Luas wilayah kekeringan, tingkat keparahan, frekuensi, dan durasi kekeringan cenderung meningkat saat kejadian El-Niño. Hasil analisis karakteristik kekeringan menunjukkan bahwa data GCM dapat digunakan untuk analisis kekeringan di DAS Kapuas.

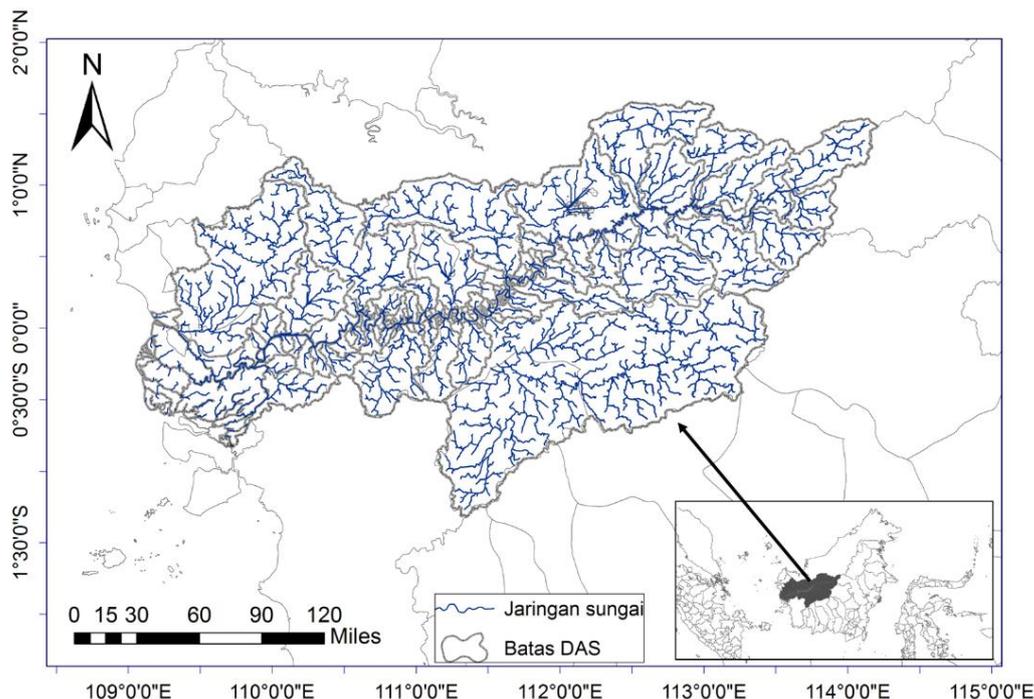
Kata kunci: el-niño, iklim ekstrim, kekeringan meteorologis, kekeringan hidrologis, MIROC5

### 1. Latar Belakang

Permasalahan kondisi iklim ekstrim, terutama ekstrim kering, merupakan tantangan tersendiri untuk dikaji. Kejadian ekstrim kering menyebabkan terjadinya bencana kekeringan. Kekeringan diakibatkan karena kondisi anomali curah hujan ketika intensitas curah hujan lebih rendah dibandingkan dengan kondisi normal sehingga jumlah pasokan air tidak mencukupi [1,2]. Bencana kekeringan merupakan ancaman serius secara global, dan diproyeksikan akan semakin parah di masa mendatang [3]. Di wilayah Indonesia, terdapat berbagai kejadian yang dapat memicu kekeringan, antara lain fenomena El-Niño [4,5] dan Indian Ocean Dipole [6].

Kekeringan dapat dibedakan berdasarkan kekeringan meteorologis, kekeringan pertanian dan kekeringan hidrologi [7]. Kekeringan meteorologis merupakan indikasi pertama yang menyebabkan kekeringan, kekeringan meteorologi berkaitan

dengan anomali curah hujan di bawah normal, sedangkan kekeringan hidrologi merupakan kekeringan yang berkaitan dengan kekurangan pasokan air permukaan serta air tanah. Metode untuk mengkaji karakteristik kekeringan sampai saat ini telah banyak dikembangkan, salah satunya adalah *Standardize Precipitation Index* (SPI) untuk kekeringan meteorologis dan *Standardized Runoff Index* (SRI) untuk kekeringan hidrologis. Metode SPI dan SRI merupakan metode kekeringan sederhana dan fleksibel dengan para-meter input SPI berupa curah hujan dan parameter input SRI berupa limpasan/*runoff*. Kedua metode tersebut telah digunakan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Metode SPI telah digunakan untuk analisis karakteristik kekeringan di pulau Kalimantan [8] dan Pulau Bali [9], metode SPI dan SRI secara bersamaan telah digunakan untuk menganalisis kekeringan hidrometeorologi beberapa Daerah Aliran Sungai (DAS) di Polandia [10], dan kedua metode tersebut juga



**Gambar 1.** Wilayah Kajian, DAS Kapuas (modifikasi dari <http://sipdas.menlhk.go.id/>).

telah digunakan untuk menganalisis kejadian banjir dan kekeringan di Vietnam [11].

DAS Kapuas merupakan salah satu DAS dataran rendah yang berada di Pulau Kalimantan. DAS Kapuas mempunyai peran sangat vital dalam sistem ekosistem di wilayah tersebut, walaupun wilayah tersebut sepanjang tahun mendapatkan hujan dengan intensitas yang tinggi, namun kebakaran lahan dan hutan telah beberapa kali terjadi [12]. Hal ini berdampak serius terhadap ekosistem di wilayah tersebut. Disamping itu, kajian karakteristik kekeringan meteorologis maupun kekeringan hidrologis secara spasial dan temporal di DAS Kapuas belum banyak diungkap sehingga kajian yang lebih dalam masih sangat diperlukan.

Artikel ini difokuskan untuk mengkaji karakteristik kekeringan meteorologis dan kekeringan hidrologi DAS Kapuas selama 30 tahun (1981–2010) menggunakan data iklim global. Karakteristik kekeringan yang dikaji adalah indeks kekeringan, luas wilayah kekeringan, tingkat keparahan, frekuensi dan durasi kekeringan berdasarkan kekeringan meteorologis dan hidrologis.

## 2. Metodologi

### 2.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah MIROC5, merupakan salah satu luaran GCM

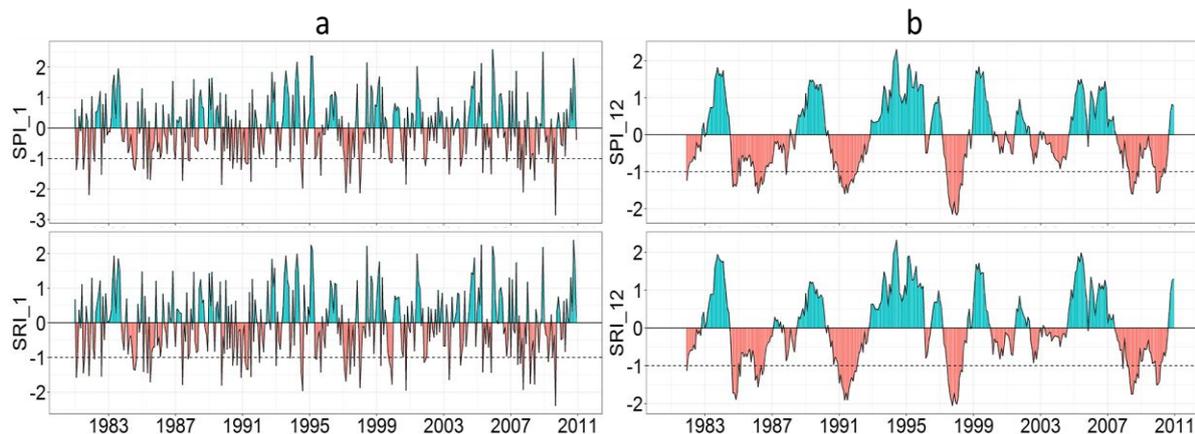
yang dapat diunduh di alamat <https://esgf-node.llnl.gov/>. Pada data GCM tersebut, dilakukan *downscaling* sampai dengan 20 km x 20 km dengan metode *dynamic downscaling*. Simulasi dalam penelitian ini dilakukan selama 30 tahun (1981–2010) dan dibagi menjadi tiga periode, yakni periode pertama 1981–1990, periode ke dua 1991–2000 dan periode ke tiga 2001–2010. Variabel iklim yang digunakan dalam penelitian ini adalah curah hujan dan *runoff*.

### 2.2. Lokasi Penelitian

Wilayah kajian dalam penelitian ini adalah DAS Kapuas yang terletak pada 109,0527° BT s/d 114,2030° BT dan 1,3192° LS s/d 1,5864° LU, dengan luas wilayah 10.063.599,82 ha, <http://sipdas.menlhk.go.id/> (Gambar 1).

### 2.3. Penentuan tingkat kekeringan berdasarkan SPI dan SRI

Metode SPI dan SRI merupakan salah satu metode indeks kekeringan yang ditujukan untuk menentukan dan memonitoring kejadian kekeringan. Metode SPI untuk memonitoring kekeringan meteorologi pertama kali dikembangkan oleh McKee [13] sedangkan SRI digunakan untuk memonitoring kekeringan hidrologi. Variabel yang digunakan sebagai masukan pada metode SPI adalah curah hujan bulanan sedangkan pada



**Gambar 3.** Indeks kekeringan DAS Kapuas 30 tahun (1981 – 2010): a. SPI dan SRI skala satu bulan, dan b. SPI dan SRI skala 12 bulan.

metode SRI adalah *runoff*. Perhitungan nilai indeks kekeringan kedua metode menggunakan distribusi gamma yang dituliskan sebagai berikut [14]:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (1)$$

Dengan  $\alpha$  adalah parameter bentuk,  $\beta$  adalah parameter skala,  $x$  adalah jumlah presipitasi, dan  $\Gamma(\alpha)$  adalah fungsi gamma. Distribusi gamma kemudian ditransformasikan ke dalam distribusi frekuensi kumulatif melalui persamaan [14]:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (2)$$

Dengan  $q$  adalah probabilitas tidak curah (jumlah kejadian hujan 0) dan  $H(x)$  adalah probabilitas kumulatif curah hujan.

Kemudian, indeks kekeringan SPI dan SRI ( $Z$ ) dihitung berdasarkan [14,15]:

$$Z = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_0 t + d_1 t^2 + d_2 t^3} \right); \quad (3)$$

untuk  $0 < H(x) \leq 0,5$

dan

$$Z = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_0 t + d_1 t^2 + d_2 t^3} \right); \quad (4)$$

untuk  $0,5 < H(x) \leq 1$

dengan

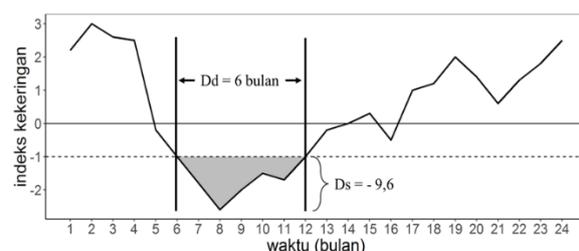
$$t = \begin{cases} \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} & 0 < H(x) \leq 0,5 \\ \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} & 0,5 < H(x) \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

Pada persamaan (3) dan (4), nilai  $c_i$  dan  $d_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) adalah:

$$c_0 = 2,515517; c_1 = 0,802853; c_2 = 0,010328 \\ d_0 = 1,432788; d_1 = 0,189269; d_2 = 0,001308$$

#### 2.4. Analisis karakteristik kekeringan

Kekeringan yang dianalisis dalam makalah ini adalah kekeringan skala satu bulan dan skala 12 bulan. Karakteristik kekeringan yang dianalisa dalam artikel ini meliputi berbagai kondisi kekeringan yang mencakup tingkat keparahan frekuensi, durasi, dan luas wilayah kekeringan. Gambar 2 menunjukkan karakteristik kekeringan pada ambang -1. Durasi kekeringan (bulan) ( $D_d$ ) merupakan ukuran lamanya peristiwa kekeringan secara berturut-turut dalam satuan bulan. Tingkat keparahan kekeringan ( $D_s$ ) merupakan akumulasi indeks kekeringan dalam satu durasi kekeringan. Sedangkan frekuensi relatif kejadian kekeringan (%) ( $D_f$ ) merupakan perbandingan jumlah bulan kekeringan dengan total bulan pengamatan dikalikan dengan 100% [17,18,19]. Karakteristik kekeringan hasil perhitungan SPI dan SRI yang digunakan adalah nilai di bawah ambang batas negatif satu (-1) seperti yang disajikan pada Tabel 1.



**Gambar 2.** Karakteristik kekeringan: durasi ( $D_d$ ), dan tingkat keparahan ( $D_s$ ), garis putus-putus merupakan nilai ambang batas kekeringan (-1).

### 3. Hasil dan Pembahasan

**Tabel 1.** Klasifikasi kekeringan berdasarkan nilai SPI dan SRI [16]

Nilai Indeks	Kategori
$\leq -2,0$	Ekstrim kering
-1,99 s/d -1,50	Sangat kering
-1,49 s/d -1,00	Moderat kering
-0,99 s/d 0,99	Normal

#### 3.1. Indeks kekeringan DAS Kapuas.

Berdasarkan indeks kekeringan SPI dan SRI pada skala satu bulan menunjukan bahwa DAS Kapuas selama 30 tahun (1981–2010) telah mengalami kekeringan meteorologis sebanyak 45 kali dan 48 kali kekeringan hidrologis mulai dari kategori moderat sampai ekstrim kering (Gambar 3a). Fluktuasi Indeks kekeringan skala satu bulan tidak memperlihatkan keterkaitan kekeringan di DAS Kapuas dengan kejadian El-Niño dan Indian Ocean Dipole. Kemudian, jika berdasarkan indeks kekeringan pada skala 12 bulan, DAS Kapuas dalam kurung 30 tahun tercatat telah mengalami kekeringan sebanyak 9 kali (Gambar 3b), baik kekeringan meteorologis maupun kekeringan hidrologis. Berdasarkan kekeringan skala 12 bulanan, kekeringan meteorologis dan hidrologis yang terjadi di DAS Kapuas pada tahun 1982, 1986, 1987, 1991, 1997 dan 2009 berkaitan dengan tahun-tahun kejadian El-Niño. Bahkan, tahun 1997-1998 merupakan tahun dengan indeks kekeringan berkategori ekstrim kering. Hal ini disebabkan karena pada tahun tersebut merupakan tahun El-Niño kuat yang berbarengan dengan kejadian DMI positif. Telah diungkapkan penelitian sebelumnya bahwa kejadian El-Niño sangat mempengaruhi kekeringan di wilayah Indonesia [20] termasuk di

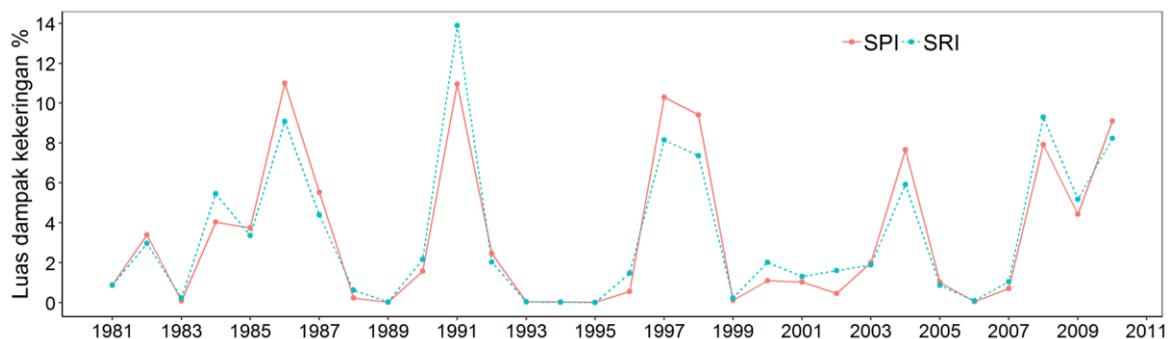
Kalimantan Barat. Dampak kekeringan di Pulau Kalimantan akan menyebabkan terjadinya kebakaran lahan dan hutan [21,22].

#### 3.2. Luas kekeringan

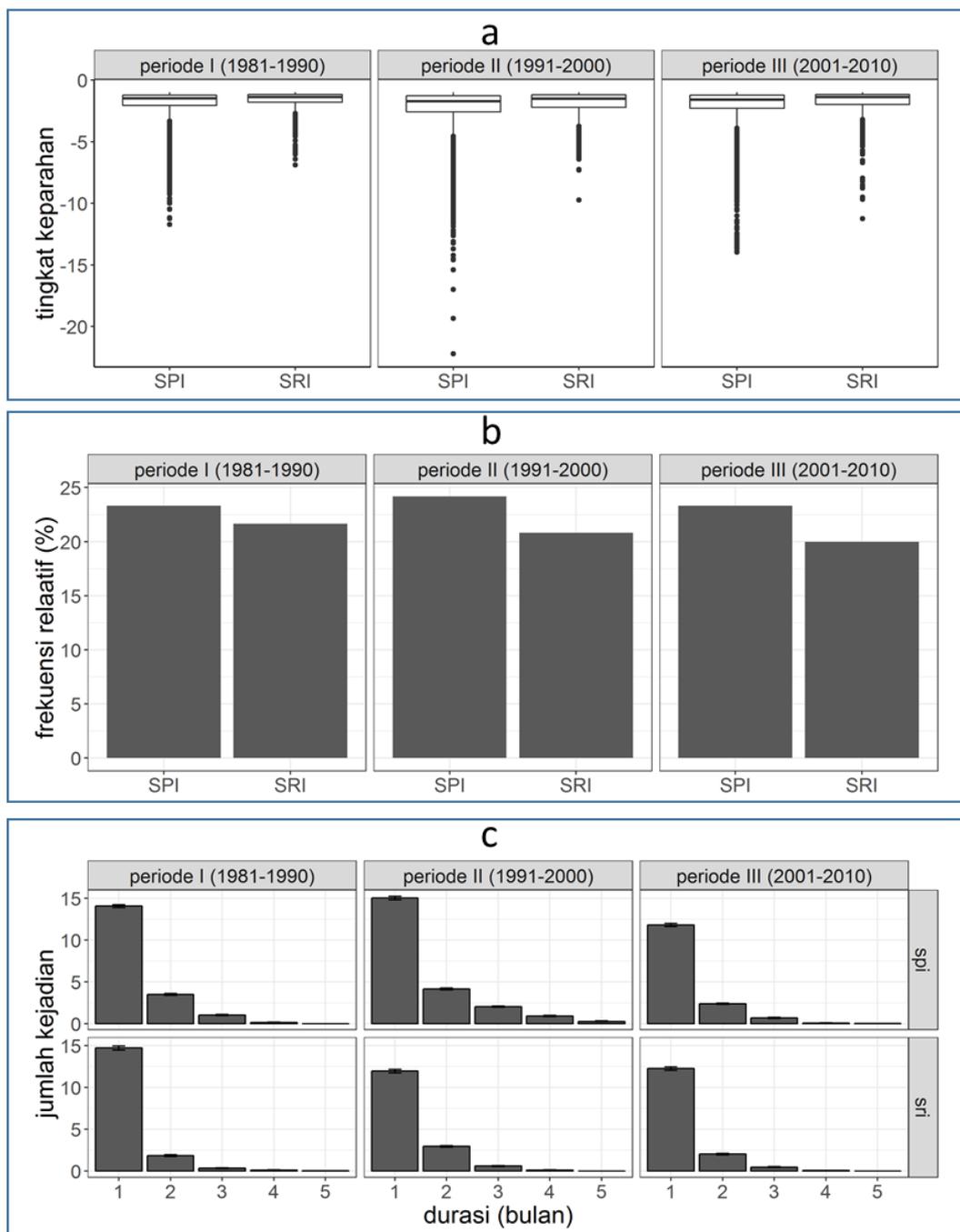
Berdasarkan luas wilayah kekeringan Secara umum dalam kurung waktu 30 tahun, dampak kekeringan hidrologis di wilayah DAS Kapuas lebih tinggi dibandingkan dengan kekeringan meteorologis. Hasil analisis menunjukkan bahwa luas wilayah DAS Kapuas yang mengalami kekeringan meteorologis maksimum 11,01% dari total wilayah DAS terjadi pada tahun 1986, sedangkan kekeringan hidrologis maksimum 13,9% dari total wilayah DAS terjadi pada tahun 1991 (Gambar 4). Disamping itu, terdapat tahun-tahun lainnya yang luas wilayah kekeringan cukup tinggi yakni terjadi Tahun 1997/1998, 2008 dan 2010 merupakan tahun kejadian El-Niño. Hal ini menunjukkan bahwa kejadian El-Niño memperluas wilayah kekeringan baik itu kekeringan meteorologis maupun kekeringan hidrologis.

#### 3.3. Tingkat keparahan kekeringan

Rata-rata tingkat keparahan kekeringan DAS Kapuas dalam kurung 30 tahun berdasarkan kekeringan meteorologis lebih tinggi dibandingkan dengan kekeringan hidrologis. Bahkan, tingkat keparahan maksimum kekeringan meteorologis jauh lebih besar (-22,2) terjadi pada periode ke-2 yakni di tahun 1997 dibandingkan tingkat keparahan maksimum kekeringan hidrologi (-11,2) terjadi pada periode ke-3, yakni di tahun 2009 (Gambar 5a). Tingkat keparahan kekeringan, baik itu kekeringan meteorologis maupun kekeringan hidrologis, akan semakin tinggi pada saat kejadian El-Niño.



**Gambar 4.** Grafik time series luas wilayah dampak kekeringan DAS Kapuas selama 30 tahun (1981 – 2010) berdasarkan: a. SPI dan b. SRI.



**Gambar 5.** Karakteristik kekeringan meteorologis dan hidrologis DAS Kapuas selama 30 tahun (1981 – 2010) berdasarkan SPI dan SRI: a. tingkat keparahan kekeringan, b. Frekuensi relatif (%) kejadian kekeringan, c. jumlah kejadian kekeringan berdasarkan durasi kekeringan.

### 3.4. Frekuensi kejadian kekeringan

Frekuensi kejadian kekeringan meteorologis dan kekeringan hidrologis DAS Kapuas di atas 20% tiap periode, hal ini menunjukkan bahwa kejadian kekeringan di atas 24 bulan setiap tiap periode. Frekuensi maksimum kekeringan meteorologis terjadi pada periode ke dua (1991–2000) yakni sebanyak 35 bulan, sedangkan kekeringan hidrologis frekuensi maksimum sebesar 31 bulan terjadi pada periode pertama (1981–

1990) dan mengalami penurunan pada periode berikutnya. (Gambar 5b).

### 3.5. Durasi kekeringan

Kejadian kekeringan di DAS Kapuas pada ketiga periode pada umumnya berdurasi tiga bulan, kecuali pada periode kedua durasi kejadian kekeringan maksimum terjadi dalam kurung waktu 5 bulan. Walaupun durasi kekeringan maksimum sampai lima bulan, namun durasi kekeringan di

wilayah ini dominan terjadi dalam satu bulan baik kekeringan meteorologis maupun kekeringan hidrologis (Gambar 5c). Hal ini terlihat dari rata-rata kejadian kekeringan pada durasi satu bulan lebih tinggi dibandingkan dengan durasi lainnya. Hasil yang sama juga diperoleh Walsh (1996), bahwa durasi kekeringan Kalimantan sangat singkat yakni di bawah 3 bulan [8]. Analisis durasi kekeringan yang dilakukan Walsh menggunakan data observasi. Kejadian kekeringan paling lama terjadi pada periode kedua yakni saat kejadian El-Niño kuat pada tahun 1997-1998 yakni kekeringan dengan durasi lima bulan. Hasil ini juga sesuai dengan Taufik et al. (2017) yang menyatakan bahwa kejadian El-Niño akan memperparah dan memperlama durasi kekeringan [23].

Tingkat keparahan kekeringan yang terjadi di DAS Kapuas selama kurung waktu 30 tahun bersesuaian dengan durasi kekeringan. Hal ini terlihat pada periode ke dua, tingkat keparahan kekeringan yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan dua periode lainnya terutama kekeringan meteorologis hal ini diduga karena durasi kejadian kekeringan yang tinggi (kejadian kekeringan yang berkepanjangan). Disamping itu, tingkat keparahan kekeringan yang tinggi pada periode dua juga disebabkan karena frekuensi kejadian kekeringan yang tinggi.

#### 4. Kesimpulan

DAS Kapuas dalam kurun 30 tahun (1981-2010) telah mengalami kekeringan meteorologis sebanyak 45 kali dan 48 kali kekeringan hidrologis pada skala satu bulan. Kategori kekeringan yang terjadi mulai moderat kering sampai ekstrim kering.

Luas wilayah DAS yang mengalami kekeringan, tingkat keparahan, frekuensi kejadian dan durasi kejadian kekeringan mengalami fluktuasi dan cenderung mengalami peningkatan seiring dengan kejadian El-Niño.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium HPC (*High-Performance Computing*) LIPI, Cibinong yang telah menyediakan server untuk pengolahan data GCM.

#### Daftar Pustaka

[1] Dai A., Drought under global warming: a review, *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change.*, **2**(1), pp.45-65, Jan. 2011.

[2] Mishra A. K. and Singh V. P., A review of drought concepts, *J. Hydrol.*, **391**(1), pp. 202-216, 2010.

[3] IPCC, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* 2007.

[4] Hendon H., Indonesian Rainfall Variability: Impacts of ENSO and Local Air-Sea Interaction, *J. Clim.*, **16**, pp. 1775-1790, 2003.

[5] Alexander M. A., Bladé I., Newman M., Lanzante J. R., Lau N.C., and Scott J. D., The Atmospheric Bridge: The Influence of ENSO Teleconnections on Air-Sea Interaction over the Global Oceans, *J. Clim.*, **15**(16), pp. 2205-2231, Aug. 2002.

[6] Saji N. H., Goswami B. N., Vinayachandran P. N. and Yamagata T., A dipole mode in the tropical Indian Ocean, *Nature*, **401**(6751), pp. 360-363, Sep. 1999.

[7] Wilhite D. A. and Glantz M. H., Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions, *Water Int.*, **10**(3), pp. 111-120, Jan. 1985.

[8] Walsh R. P. D., Drought frequency changes in Sabah and adjacent parts of northern Borneo since the late nineteenth century and possible implications for tropical rain forest dynamics, *J. Trop. Ecol.*, **12**(3), pp. 385-407, 1996.

[9] Muharsyah R. and Ratri D. N., Durasi dan kekuatan kekeringan menggunakan indeks hujan terstandarisasi di pulau Bali, *J. Meteorologi dan Geofisika*, **16**(2), pp. 93-104, 2015.

[10] Meresa H. K., Osuch M. and Romanowicz R., Hydro-Meteorological Drought Projections into the 21-st Century for Selected Polish Catchments, *Water*, **8**(206), pp. 1-22, 2016.

[11] M. T. Vu, Raghavan V. S., and Liang S.-Y., Ensemble Climate Projection for Hydro-Meteorological Drought over a river basin in Central Highland, Vietnam, *KSCE J. Civ. Eng.*, **19**(2), pp.427-433, 2015.

[12] Anshari, G., Peter Kershaw, A., Van Der Kaars, S. and Jacobsen, G., Environmental change and peatland forest dynamics in the Lake Sentarum area, West Kalimantan, Indonesia. *J. Quaternary Sci.*, **19**: 637-655. 2004.

[13] McKee T. B., Doesken N. J., and Kleist J., The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA, pp.179-184. 1993

- [14] Edwards, D. C. and McKee T. B., Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 2004.
- [15] Lloyd-Hughes, B. and Saunders M.A., A drought climatology for Europe. *Int. J. Climatol.* **22**, pp.1571–1592. 2004.
- [16] WMO, Standardized Precipitation Index User Guide, World Meteorological Organization (WMO), 2012.
- [17] Brito S. S. B., Cunha A. P. M. A., Cunningham C. C., Alvalá R. C., Marengo J. A. and Carvalho M. A., Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region, *Int. J. Climatol.*, **38**(2), pp.517–529, Feb. 2018.
- [18] Botai M. C., Botai O. J., Dlamini C. L., Zwane S. N. and Phaduli E., Characteristics of Droughts in South Africa: A Case Study of Free State and North West Provinces, *Water*, **8**(10), 2016.
- [19] Shiao J. T. and Modarres R., Copula-based drought severity-duration-frequency analysis in Iran, *Meteorol. Appl.*, **16**(4), pp.481–489, Dec. 2009.
- [20] Coelho C. A. S. and Goddard L., El Niño–Induced Tropical Droughts in Climate Change Projections, *J. Clim.*, **22**(23), pp.6456–6476, Dec. 2009.
- [21] Wooster M. J., Perry G. L. W. and Zoumas A., Fire, drought and El Nino relationships on Borneo (Southeast Asia) in the pre-MODIS era (1980-2000), *Biogeosciences*, **9**(1), pp. 317–340, 2012.
- [22] Hidayat H., Teuling A.J., Vermeulen B., Taufik M., Kastner K., Geertsema T. J., Bol D. C. C., Hoekman D. H., Haryani G. S., Van Lanen H. A. J., Delinom R. M., Dijksema R., Anshari G. Z., Ningsih N. S., Uijlenhoet R. and Hoitink A. J. F., Hydrology of inland tropical lowlands: The Kapuas and Mahakam wetlands, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **21**(5), pp.2579–2594, 2017.
- [23] Taufik M., Torfs P. J. J. F., Uijlenhoet R., Jones P. D., Murdiyarso D. and Van Lanen H. A. J., Amplification of wildfire area burnt by hydrological drought in the humid tropics, *Nat. Clim. Change.*, **7**, pp.428, 2017.