

KARAKTERISTIK SPASIOTEMPORAL KEKERINGAN METEOROLOGI DI KABUPATEN GORONTALO TAHUN 1981-2016

Spatiotemporal Characteristics of Meteorological Drought in Gorontalo Regency in 1981-2016

Syahrizal Koem, Rusiyah

Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Jl. Jendral Sudirman, Kota Gorontalo 96128 – s.koem@ung.ac.id

Abstract. Drought is one of the natural disasters that can cause disadvantages, especially in the agricultural sector. Gorontalo Regency is the corn production center, yet it has high vulnerability and low adaptive capacity towards the climate change. In addition, its vulnerability to the impact of drought is seen from the high potential for environmental damage, the disadvantages due to the drought and the potential of the population exposed to drought. Standardized Precipitation Index (SPI) is the estimator tool employed to assess the severity of the drought. This study utilized monthly rainfall data from 17 stations in Gorontalo Regency and 2 stations outside Gorontalo Regency during the period of 1981-2016. The SPI values were calculated by utilizing DrinC software and spatial interpolation of drought using ArcGIS software. The result shows that the longest time of drought occurred in 1982, 1986, 1997 and 2015 due to El Nino phenomenon with moderate and strong category with long duration. Further, analysis result in the last four decades reveals that the worst drought occurred in 1982. Based on the result of frequency analysis on the SPI-3, SPI-6 and SPI-12 time scales, drought is frequently taken place in western regions. Thus, this result can be a reference in managing the water resources in Gorontalo Regency. The plan in the commodity-based agriculture sector can be developed since the result of spatial analysis indicates that SPI can identify the diversity of drought severity. It is necessary to place the climate change scenarios in order to prepare the adaptation and mitigation measures of drought impacts due to the uncertainty of future climate conditions. This is very helpful to provide an idea about the dynamics of drought.

Keywords: Frequency, mapping severity, rainfall, standardized precipitation index

(Diterima: 09-08-2017; Disetujui: 18-01-2018)

1. Pendahuluan

Variabilitas iklim memiliki peran penting dalam menghasilkan kejadian kekeringan yang beragam di suatu wilayah (Chen dan Yang, 2013). Menurut Rahman dan Lateh (2016) kekeringan dipengaruhi oleh pola curah hujan tahunan dan musiman yang rendah serta dampak perubahan iklim. Selain itu, Nam *et al.*, (2015) menjelaskan bahwa perubahan iklim berdampak pada kecenderungan peningkatan jumlah kejadian dan risiko kekeringan di masa depan. Menurunnya curah hujan disuatu wilayah dapat mempengaruhi peningkatan kekeringan, namun di wilayah dimana curah hujan meningkat kekeringan masih dapat meningkat (Prudhomme *et al.*, 2014). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kekeringan berbeda-beda tergantung wilayah. Kejadian kekeringan secara berkelanjutan pada suatu wilayah ditandai dengan ketersediaan air di bawah rata-rata, hal ini disebabkan oleh faktor curah hujan di bawah normal dan tingkat penguapan yang tinggi (Van Lanen *et al.*, 2007; WMO, 2012). Selanjutnya, tingkat keparahan kekeringan serta kejadian kekeringan dengan durasi yang lama berdampak serius pada sektor sosial, ekonomi dan pertanian serta terganggunya kondisi ekologi dan pasokan air (Xie *et al.*, 2013; Gocic dan Trajkovic, 2014; Jia *et al.*, 2016). Oleh sebab itu, kekeringan merupakan salah satu bencana alam yang dapat

menyebabkan kerugian khususnya pada sektor pertanian (Jia *et al.*, 2016).

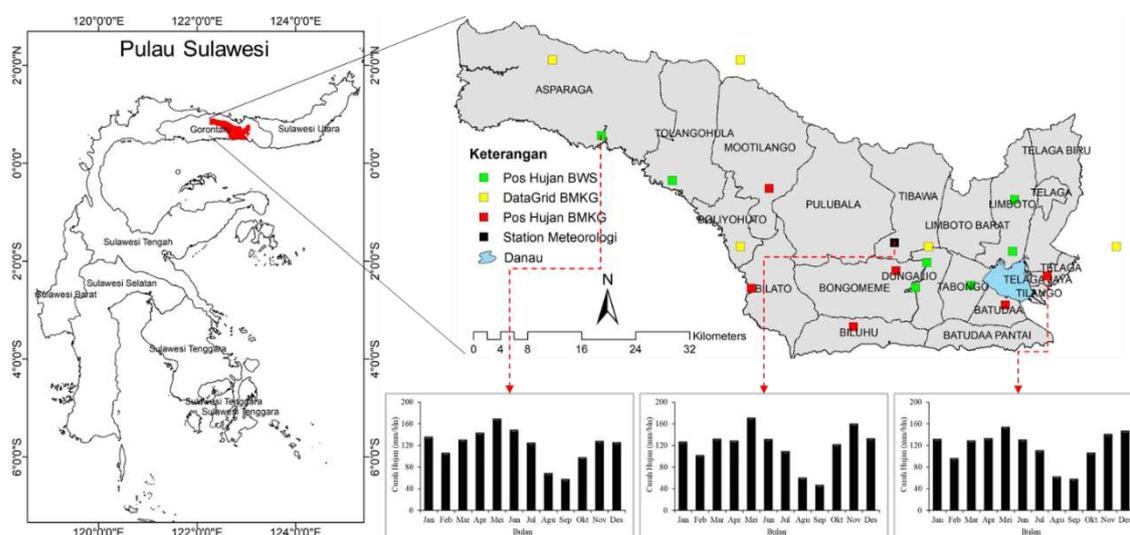
Indeks kekeringan meteorologi menjadi rujukan utama oleh para peneliti dalam menilai tingkat keparahan kekeringan baik dalam lingkup regional maupun global. Menurut Koem dan Rusiyah (2017) indeks kekeringan meteorologi yang banyak digunakan antara lain *Standardized Precipitation Index* (SPI), *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) dan *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* (SPEI). Setiap indeks kekeringan tersebut memiliki karakteristik masing-masing. Indeks kekeringan meteorologi SPI merupakan indeks yang baik digunakan dalam menilai tingkat keparahan kekeringan (Keyantash dan Dracup, 2002). Selain itu, SPI relatif sederhana karena SPI hanya menggunakan data curah hujan bulanan serta mampu mengukur tingkat kekeringan secara durasi, kekuatan, dan intensitas kekeringan dalam berbagai skala waktu (McKee *et al.*, 1993; Hayes *et al.*, 1998).

Kemampuan SPI menilai tingkat keparahan kekeringan dalam berbagai skala waktu, memungkinkan untuk menilai kondisi curah hujan secara temporal dalam kaitan dengan pasokan air (WMO, 2012). Keunggulan yang ditawarkan SPI memudahkan untuk melakukan identifikasi karakteristik kekeringan secara spasial dan temporal. Selanjutnya, karakteristik kekeringan yang teridentifikasi dapat digunakan sebagai acuan dalam

melakukan antisipasi dampak kekeringan secara efektif dan efisien. Selain itu, keunggulan SPI dalam menggolongkan tingkat keparahan kekeringan secara musiman dan jangka panjang, memadai untuk pemantauan kekeringan dan peringatan dini (Patel *et al.*, 2007; Gocic dan Trajkovic, 2014). Analisis karakteristik kekeringan sangat penting untuk mendukung langkah-langkah mitigasi kekeringan jangka panjang untuk mengurangi dampak kekeringan (Nam *et al.*, 2015).

Upaya mengurangi dampak kekeringan akan terus dilakukan pemerintah dan masyarakat tidak terkecuali di Gorontalo, khususnya dalam mengatasi pasokan air untuk tanaman pangan. Salah satu komoditas pangan unggulan di Gorontalo adalah jagung dan Kabupaten Gorontalo menjadi daerah sentra produksi (Sumarno *et al.*, 2015). Di sisi lain, Kabupaten Gorontalo

merupakan wilayah yang memiliki kerentanan tinggi dan kapasitas adaptif rendah terhadap perubahan iklim (DNPI, 2011). Selain itu, Kabupaten Gorontalo merupakan salah satu wilayah yang rentan terhadap dampak kekeringan, hal ini dilihat dari tingginya potensi kerusakan lingkungan, kerugian akibat kekeringan dan potensi penduduk terpapar akibat kekeringan (BNPB, 2015). Oleh karena itu, menilai tingkat keparahan kekeringan perlu dilakukan dalam menunjang ketahanan pangan. Tujuan penelitian ini adalah: (1) menganalisis karakteristik spasiotemporal kekeringan di Kabupaten Gorontalo; (2) menganalisis frekuensi kekeringan selama periode 1981-2016; (3) mendeskripsikan pengelolaan sumber daya air berdasarkan analisis karakteristik spasiotemporal dan frekuensi.



Gambar 1. Peta lokasi stasiun dan curah hujan rata-rata periode 1981-2016 di stasiun Mohiolo, Djalaluddin dan Talumelito

2. Metode

2.1. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan data curah hujan bulanan selama 35 tahun periode 1981-2016 diseluruh wilayah Kabupaten Gorontalo. Nilai SPI dikalkulasi menggunakan perangkat lunak DrinC (*Drought Indices Calculator*) yang dikembangkan oleh *the Laboratory of Reclamation Works and Water Resources Management of the National Technical University of Athens, Greece* (Tsakiris *et al.*, 2013). Data curah hujan bulanan berasal dari 17 lokasi stasiun yang tersebar di Kabupaten Gorontalo dan 2 lokasi stasiun di luar Kabupaten Gorontalo (Gambar 1). Data curah hujan tersebut diperoleh dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Sulawesi II sebanyak 7 titik stasiun, Stasiun Meteorologi BMKG sebanyak 7 titik stasiun dan data grid BMKG dengan resolusi 0.25 derajat sebanyak 5 titik diperoleh dari website sacad.database.bmkg.go.id/grid/web/ (Tabel 1). Data grid diperlukan untuk melengkapi data yang tidak tersedia pada stasiun pengamatan dan untuk memenuhi sebaran data yang mewakili lokasi kajian. Sebelum data grid digunakan, data yang diperoleh dalam bentuk data

harian dikonversi ke dalam data bulanan. Selanjutnya data bulanan tersebut digunakan untuk pengisian data kosong menggunakan persamaan 1. Selain itu, data curah hujan tambahan di peroleh dari website iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/.

2.2. Pengisian Data Kosong

Pengisian data curah hujan dilakukan pada beberapa titik stasiun karena tidak tersedianya data. Data curah hujan diestimasi dengan menggunakan metode *The Inverse Distance Weighting Interpolator* (Mello *et al.*, 2003):

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \cdot X_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \tag{1}$$

dimana X_p : nilai estimasi dari variabel, X_i : nilai dari variabel pada stasiun terdekat pada periode yang sama,

d; jarak antara stasiun yang diestimasi dengan stasiun terdekat.

Kriteria yang digunakan untuk menilai kemampuan estimasi metode tersebut yaitu *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) (Moriassi *et al.*, 2007; Das *et al.*, 2016). Selanjutnya, data yang telah terisi dianalisis pola curah hujan selama periode 1981-2016.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \quad (2)$$

dimana Y_i^{obs} : data observasi, Y_i^{sim} : data simulasi model, Y^{mean} : rata-rata data observasi. Rentang nilai NSE >0.8: Sempurna, 0.6-0.8: Sangat Baik, 0.4-0.6: Baik, 0.2-0.4: Cukup, <0.2: tidak cukup (Das *et al.*, 2016).

Tabel 1. Periode data tersedia setiap stasiun yang digunakan dalam penelitian

Nama Stasiun	Latitude (N)	Longitude (E)	Data Tersedia	Data Tidak Tersedia
Hepuhulawa	0.619	122.987	2007-2016	1981-2006
Biyonga	0.688	122.990	2007-2016	1981-2006
Tabongo	0.573	122.932	2007-2016	1981-2006
Datahu	0.570	122.858	2007-2016	1981-2006
Pilolalenga	0.604	122.873	2007-2016	1981-2006
Lakeya	0.714	122.534	2007-2016	1981-2006
Mohiolo	0.774	122.440	2007-2016	1981-2006
Biluhu	0.518	122.775	2008-2016	1981-2007
Bilato	0.569	122.639	2008-2016	1981-2007
Talumelito	0.586	123.033	2007-2016	1981-2006
Mootilango	0.703	122.663	2011-2016	1981-2010
Bongomeme	0.593	122.832	2009-2016	1981-2008
Batudaa	0.547	122.978	2009-2016	1981-2008
Djalaluddin	0.630	122.830	1981-2016	-
Pangahu	0.875	122.375	1981-2016	-
Motoduto	0.625	122.625	1981-2016	-
Isimu	0.625	122.875	1981-2016	-
Bulontalangi	0.625	123.125	1981-2016	-
Dunu	0.875	122.625	1981-2016	-

2.3. Perhitungan Standardized Precipitation Index

Perhitungan nilai SPI menggunakan data *time series* curah hujan bulanan sebagai data utama. Nilai SPI positif menunjukkan nilai curah hujan lebih besar dari rata-rata, dan nilai SPI negatif menunjukkan nilai curah hujan lebih kecil dari rata-rata (Tigkas *et al.*, 2014).

Dalam penelitian ini, nilai SPI dihitung menggunakan perangkat lunak DrinC. Perangkat lunak tersebut menyediakan perhitungan indeks kekeringan berdasarkan metode distribusi gamma. Lebih lanjut Tigkas *et al.*, (2014) menjelaskan bahwa distribusi gamma merupakan fungsi probabilitas kepadatan (*probability density function*). Adapun persamaan yang digunakan adalah:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \text{ untuk } x > 0 \quad (3)$$

dimana,

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (4)$$

dimana α dan β adalah parameter bentuk dan parameter skala, x adalah jumlah curah hujan dan $\Gamma(\alpha)$ adalah fungsi gamma. Parameter α dan β fungsi kepadatan probabilitas gamma setiap stasiun curah hujan dilakukan estimasi pada periode skala 1, 3, 6 dan 12 bulan (Tigkas *et al.*, 2014). Nilai SPI dari skala waktu yang berbeda memiliki implikasi yang berbeda (Nam *et al.*, 2015). Oleh karena itu, menjadi dasar dalam pengelolaan sumber daya air jangka pendek, menengah dan jangka panjang. Menurut Xie *et al.*, (2013) pola kekeringan pada berbagai skala waktu perlu diintegrasikan dalam perencanaan sumber daya air serta untuk kesiapsiagaan dalam penanganan kekeringan.

Metode yang digunakan untuk menduga nilai dari kedua parameter distribusi gamma yaitu metode kemungkinan maksimum adalah:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right), \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

dimana $A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$ (5)

n= jumlah pengamatan curah hujan

Tabel 2. Klasifikasi nilai SPI menurut McKee *et al.* (1993)

Nilai SPI	Klasifikasi
≥ 2.00	Sangat basah
1.50 ~ 1.99	Basah
1.00 ~ 1.49	Agak basah
-0.99 ~ 0.99	Normal
-1.00 ~ -1.49	Agak kering
-1.50 ~ -1.99	Kering
≤ -2.00	Sangat kering

Parameter yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan nilai probabilitas kumulatif dari kejadian hujan yang diamati dalam sebulan dan periode waktu yang tercatat pada stasiun yang diamati (Edwards, 1997). Karena fungsi gamma tidak terdefinisi untuk $x=0$ dan distribusi curah hujan kemungkinan berisi nilai nol, sehingga probabilitas kumulatif menjadi:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \tag{6}$$

dimana q adalah probabilitas dari curah hujan nol dan $G(x)$ adalah probabilitas kumulatif dari fungsi gamma yang tidak lengkap. Jika m adalah jumlah nol dari data time series curah hujan, maka q dapat diestimasi dengan m/n . Abramovitz dan Stegun (1964) dan Edwards (1997) menjelaskan bahwa probabilitas kumulatif $H(x)$ kemudian ditransformasi ke standar normal variabel acak Z dengan nilai mean 0 dan varians 1, yang merupakan nilai SPI. Perhitungan nilai SPI pada berbagai skala waktu diklasifikasi berdasarkan periode basah dan kering seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Dalam penelitian ini, SPI dihitung pada skala waktu SPI-3, SPI-6 dan SPI-12, yang mewakili kekeringan jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang. Kekeringan jangka pendek dan menengah (SPI-3 dan SPI-6) efektif dalam menggambarkan pola curah hujan dan kekeringan musiman (Patel *et al.*, 2007; WMO, 2012). Kekeringan jangka panjang (SPI-12) lebih efektif dalam memonitoring sumber daya air jangka panjang seperti debit sungai, tingkat kandungan air tanah dan level air waduk (Saravi *et al.*, 2009).

2.4. Spasiotemporal dan Frekuensi Kekeringan

Interpolasi spasial kekeringan menggunakan teknik *Inverse Distance Weighted* (IDW) untuk skala waktu SPI-3, SPI-6 dan SPI-12. Chen dan Liu (2012) menjelaskan bahwa IDW digunakan untuk interpolasi

data spasial yang didasarkan pada konsep pembobotan jarak. Metode interpolasi IDW banyak digunakan serta dianggap memberikan hasil yang lebih baik dibanding dengan metode interpolasi lain (Lu dan Wong, 2008; Chen dan Liu, 2012). Interpolasi spasial kekeringan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10 untuk menghasilkan peta distribusi spasial kekeringan dengan resolusi spasial 182 meter. Menentukan proporsi kekeringan pada setiap kelas SPI dilakukan *reclassify* yang tersedia di ArcGIS. Peta kekeringan diinterpolasi berdasarkan nilai SPI tahun 1982, 1992, 2002 dan 2015 untuk menunjukkan karakteristik kekeringan selama periode 1981-2016.

Identifikasi tingkat keparahan dan waktu kejadian kekeringan secara temporal dilakukan menggunakan perangkat lunak Excel, sedangkan untuk melihat tren menggunakan regresi linier yang tersedia di Excel. Menghitung frekuensi kejadian kekeringan menggunakan persamaan $f = n/N \times 100$, dimana f adalah frekuensi kekeringan, n adalah jumlah bulan dengan kejadian kekeringan ($SPI < -1$), N adalah jumlah total bulan (Saravi *et al.*, 2009). Pada akhir makalah ini, mendeskripsikan karakteristik kekeringan secara spasiotemporal dan frekuensi kekeringan yang teridentifikasi untuk pengelolaan sumber daya air di Kabupaten Gorontalo.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Iklim Wilayah Kajian

Secara umum curah hujan merupakan elemen penting dalam menilai karakteristik dan variabilitas iklim di bumi. Hasil analisis data curah hujan bulanan tahun 1981-2016 di stasiun Mohiolo, Djalaluddin dan Talumelito menunjukkan puncak curah hujan terjadi pada bulan Mei dan curah hujan terendah pada bulan September (Gambar 1). Jumlah hari hujan di stasiun Pangahu memiliki jumlah rata-rata hari hujan yaitu 17 hari perbulan sedangkan stasiun Isimu dan Motoduto masing-masing 15 hari perbulan (Koem dan Rusiyah, 2017).

3.2. Hasil Estimasi Curah Hujan

Ketersediaan data curah hujan untuk periode yang panjang serta tersebar merata menjadi salah satu faktor penting untuk menilai kondisi kekeringan disuatu wilayah. Selain itu, salah satu faktor penting adalah akurasi data curah hujan yang digunakan, sehingga hasil perhitungan indeks kekeringan lebih akurat. Hasil estimasi curah hujan bulanan dengan menggunakan metode *the inverse distance weighting interpolator* menunjukkan hasil yang baik. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Koem dan Rusiyah (2017) menunjukkan bahwa curah hujan bulanan hasil observasi dan estimasi menunjukkan nilai korelasi berkisar antara 0.54 sampai 0.84 dengan kategori “sedang” sampai “kuat”.

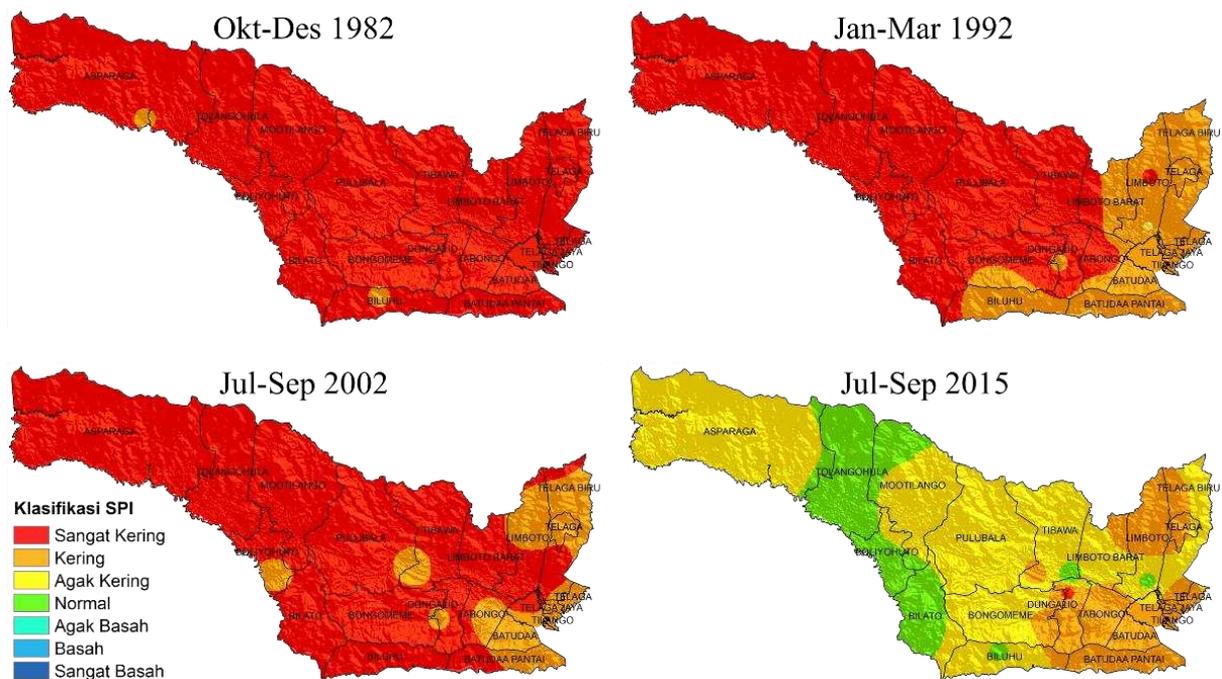
Hasil perhitungan menggunakan metode NSE menunjukkan kriteria nilai berkisar antara 0.39 sampai 0.69 dengan kategori “Cukup” hingga “Sangat Baik”. Hal ini memberikan keyakinan bahwa, data curah hujan hasil estimasi dapat digunakan untuk memonitoring kejadian dan menilai tingkat keparahan kekeringan (Koem dan Rusiyah, 2017). Selanjutnya, kerapatan stasiun yang tersebar di Kabupaten Gorontalo masih memenuhi syarat ideal yang ditetapkan oleh WMO, untuk zona tropis dianjurkan kerapatan stasiun minimum 100-250 km² tiap stasiun.

3.3. Variabilitas Spasial Kekeringan

Peta distribusi spasial kekeringan mewakili kekeringan terparah pada setiap dekade yaitu tahun 1982, 1992, 2002 dan 2015 untuk memonitoring karakteristik kekeringan selama empat dekade terakhir. Analisis spasial kekeringan dilakukan pada skala waktu 3, 6 dan 12 bulan untuk mengidentifikasi variabilitas spasial pada skala musiman. Selain itu, memberikan gambaran wilayah yang rentan terhadap kekeringan.

3.3.1. Karakteristik Spasial SPI-3

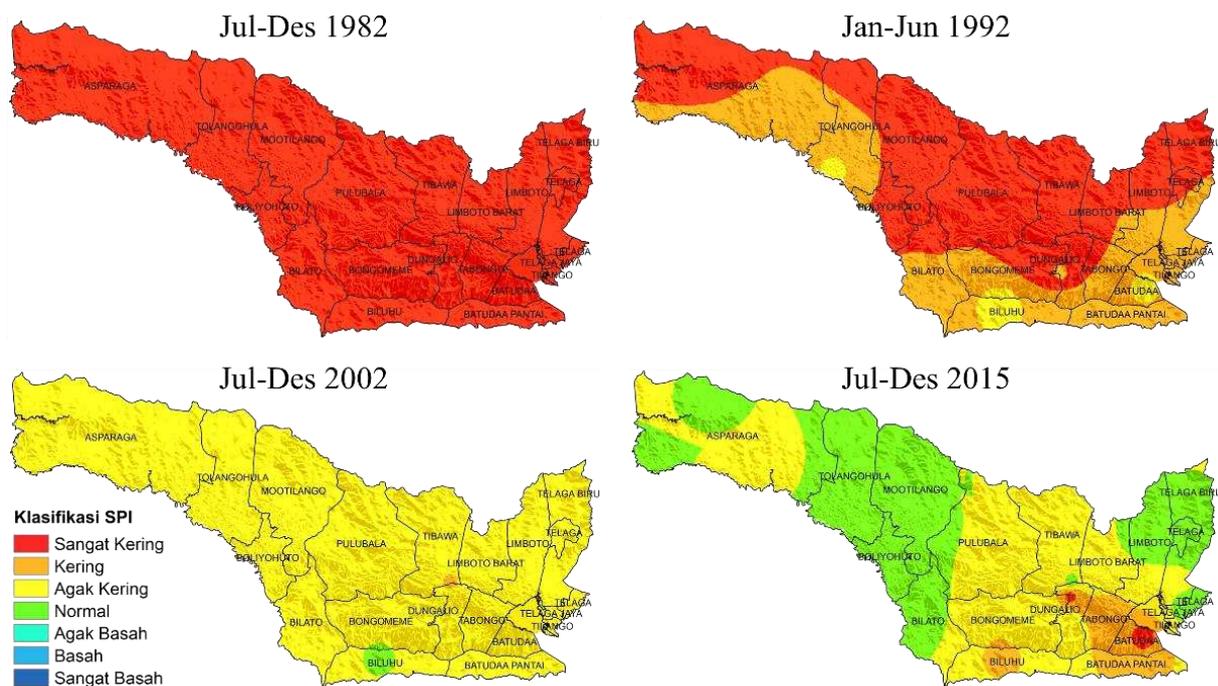
Bulan Oktober sampai Desember 1982 menunjukkan nilai SPI-3 negatif, hal tersebut mengindikasikan bahwa curah hujan yang rendah pada periode tersebut. Secara spasial menggambarkan bahwa, kekeringan terjadi secara merata dengan kategori sangat kering sedangkan rata-rata nilai indeks kekeringan mencapai -3.3 (Gambar 2). Periode kekeringan SPI-3 untuk bulan Januari sampai Maret 1992 menunjukkan bahwa 75% luas wilayah dalam kondisi sangat kering sedangkan 25% luas wilayah dalam kondisi kering, rata-rata nilai indeks kekeringan mencapai -2.0 (Gambar 2). SPI-3 bulan Juli sampai September 2002 secara spasial memiliki karakteristik yang hampir sama dengan kekeringan bulan Januari sampai Maret 1992, dimana tingkat kekeringan dengan kategori kering terjadi disebagian wilayah bagian timur (Gambar 2). Namun, pada bulan Juli sampai September 2002 rata-rata nilai indeks kekeringan mencapai -2.2.



Gambar 2. Distribusi spasial kekeringan SPI-3 di Kabupaten Gorontalo

Kekeringan SPI-3 bulan Juli sampai September 2015 menunjukkan dinamika curah hujan normal dan di bawah normal. Hal ini ditunjukkan dengan, 19% luas wilayah dalam Kondisi normal dan 81% dalam kondisi agak kering sampai sangat kering (Gambar 2). Rata-rata nilai indeks kekeringan pada bulan Juli sampai September 2015 mencapai -1.2. Dengan demikian, berdasarkan rata-rata nilai indeks kekeringan SPI-3, pada bulan Oktober sampai Desember 1982 merupakan kekeringan terparah dalam empat dekade terakhir. Berdasarkan hasil analisis SPI-3, seluruh wilayah Kabupaten Gorontalo memiliki potensi yang sama mengalami periode kering, normal dan basah secara merata. Selanjutnya, Patel *et al.*, (2007) menemukan

bahwa SPI-3 efektif dalam mengidentifikasi pola kekeringan musiman. Selain itu, SPI-3 memberikan interpretasi curah hujan selama periode 3 bulan dan mencerminkan kondisi kelembaban jangka pendek dan menengah terutama bagi pertanian serta memberikan estimasi curah hujan musiman (WMO, 2012). Hal tersebut dapat dibuktikan dengan kemampuan SPI-3 mengolongkan bulan Oktober sampai Desember 1982 sebagai kekeringan terparah dalam empat dekade terakhir.



Gambar 3. Distribusi spasial kekeringan SPI-6 di Kabupaten Gorontalo

3.3.2. Karakteristik Spasial SPI-6

Bulan Juli sampai Desember 1982 menunjukkan curah hujan yang rendah, akumulasi curah hujan selama periode tersebut berkisar antara 24-61 mm. Kisaran akumulasi curah hujan tersebut menghasilkan nilai SPI-6 negatif sehingga berdampak pada kekeringan secara merata dengan kategori sangat kering (Gambar 3). Berdasarkan hasil perhitungan nilai SPI-6, pada tahun 1982 permulaan kekeringan terjadi pada bulan Juni, tetapi 24% luas wilayah masih dalam kondisi normal dan 76% dalam kondisi agak kering. Seluruh wilayah mengalami kekeringan mulai bulan Juli 1982 hingga puncak kekeringan terjadi pada bulan Oktober sampai Desember dengan kategori sangat kering, kekeringan berakhir sekitar bulan April 1983. Selama bulan Juli sampai Desember 1982 rata-rata nilai indeks kekeringan mencapai -3.34.

Hasil analisis SPI-6 bulan Januari sampai Juni 1992 menunjukkan nilai negatif. Pola spasial kekeringan SPI-6 bulan Januari sampai Juni 1992 menunjukkan kondisi sangat kering terjadi di wilayah bagian utara dengan persentase mencapai 60%, sedangkan wilayah bagian selatan dalam kondisi agak kering sampai kering dengan persentase mencapai 40% (Gambar 3). Rata-rata nilai indeks kekeringan bulan Januari sampai Juni 1992 mencapai -1.91. Pola spasial untuk SPI-6 bulan Juli sampai Desember 2002 terjadi kekeringan yang merata dengan kategori agak kering (Gambar 3). Rata-rata nilai indeks kekeringan pada periode tersebut hanya mencapai -1.39. Walaupun kondisi kekeringan bulan Juli sampai Desember 2002 tidak separah dengan kondisi kekeringan SPI-6 tahun 1982 dan 1992, namun pada bulan Juli sampai Desember 2002 menunjukkan curah hujan yang rendah.

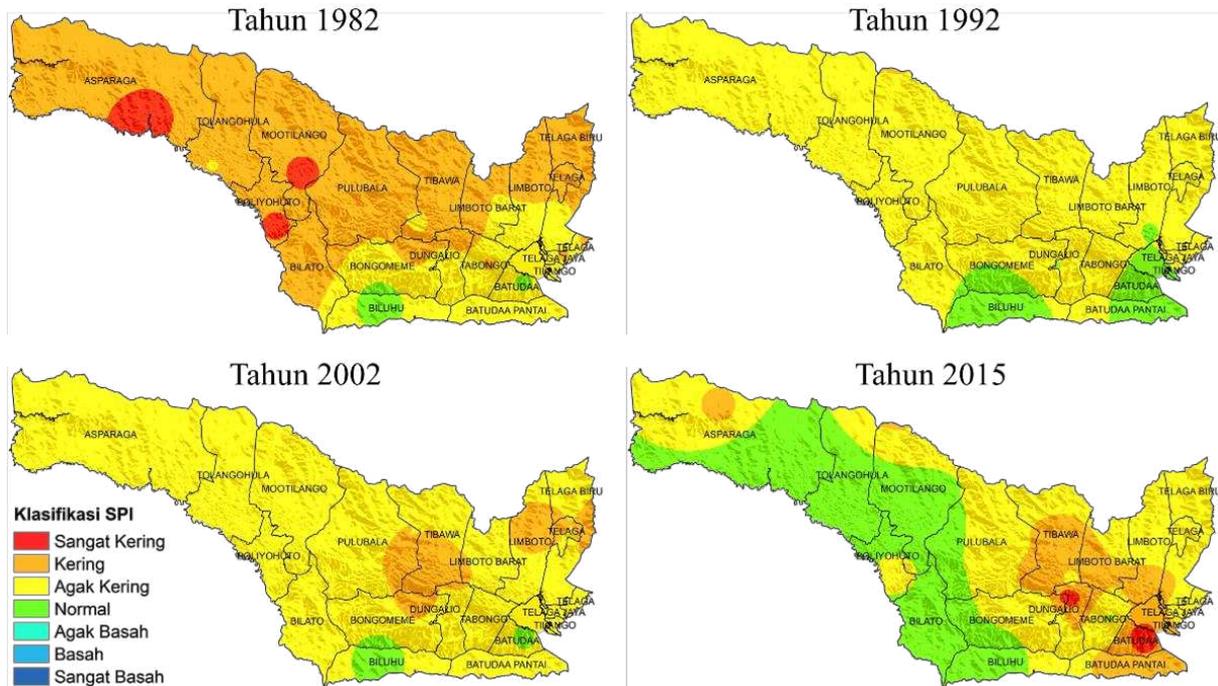
Bulan Juli sampai Desember 2015 menunjukkan dinamika curah hujan yang beragam. Hal ini ditandai

dengan keberagaman kekeringan secara spasial, dimana 45% luas wilayah dalam kondisi normal, 46% agak kering, 8% kering dan 1% sangat kering sedangkan rata-rata nilai indeks kekeringan mencapai -1.11 (Gambar 3). Kondisi ini disebabkan oleh akumulasi curah hujan pada skala waktu lebih dari 3 bulan menciptakan keberagaman proses yang mempengaruhi pola curah hujan wilayah (Penalba dan Rivera, 2016). Hal ini juga yang membedakan tingkat keparahan kekeringan pada setiap skala waktu. Selain itu, SPI-6 mencerminkan tren musiman curah hujan jangka menengah serta memberikan informasi mengenai anomali debit sungai dan ketinggian level air di waduk (WMO, 2012). Dengan demikian, berdasarkan rata-rata nilai indeks kekeringan, SPI-6 menggolongkan bulan Juli sampai Desember 1982 sebagai kekeringan terparah dalam empat dekade terakhir.

3.3.3. Karakteristik Spasial SPI-12

Pola spasial SPI-12 merupakan gambaran kekeringan selama bulan Januari sampai Desember tahun 1982, 1992, 2002 dan 2015. Berdasarkan hasil analisis tahun 1982 menunjukkan bahwa, sebagian besar wilayah Kabupaten Gorontalo dalam kondisi agak kering dan kering sedangkan di beberapa tempat dalam kondisi sangat kering diantaranya Asparaga, Mootilango dan Boliyohuto. Selain itu, wilayah Butadaa dan Biluhu dalam kondisi normal (Gambar 4). Kondisi kekeringan tahun 1982 untuk SPI-12 berbeda dengan kondisi kekeringan yang ditunjukkan oleh SPI-3 dan SPI-6 pada tahun yang sama. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh akumulasi curah hujan untuk setiap skala waktu, dimana SPI-12 merupakan akumulasi dari 12 bulan sebelumnya. Akumulasi curah hujan tahunan tersebut mempengaruhi tingkat keparahan kekeringan.

Secara umum, SPI-12 tahun 1982 menunjukkan curah hujan yang rendah, rata-rata nilai indeks kekeringan mencapai -1.59.

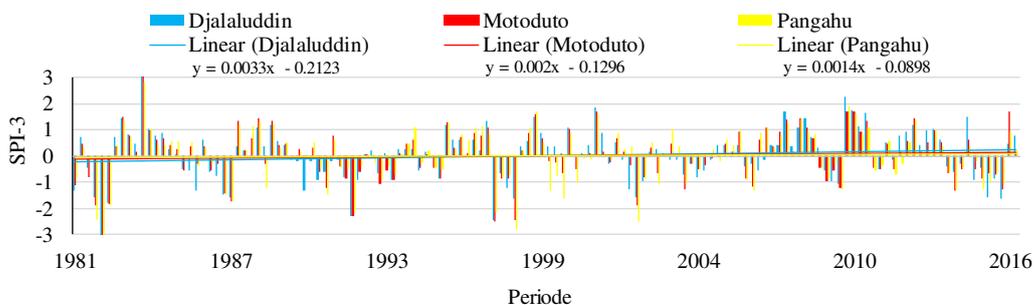


Gambar 4. Distribusi spasial kekeringan SPI-12 di Kabupaten Gorontalo

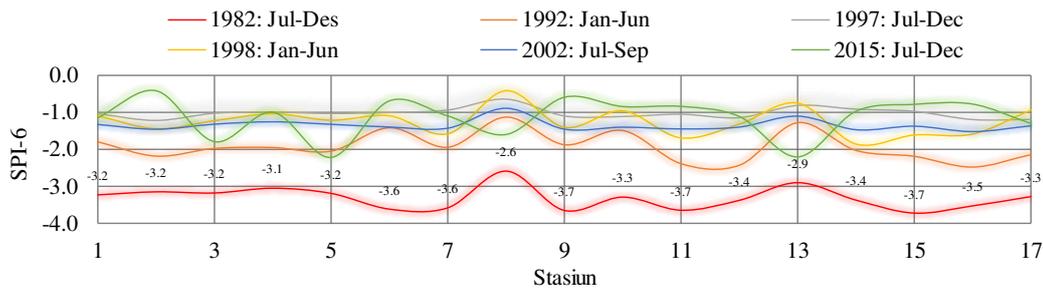
Distribusi spasial kekeringan tahun 1992 menunjukkan bahwa 90% luas wilayah dalam kondisi agak kering sedangkan 10% dalam kondisi normal meliputi Biluhu, Batudaa Pantai dan Batudaa (Gambar 4). Kekeringan yang terjadi tahun 1992 tidak separah dengan kekeringan yang terjadi tahun 1982, hal ini disebabkan akumulasi curah hujan tahun 1992 lebih tinggi yaitu berkisar antara 987-1149 mm. Sementara itu, akumulasi curah hujan pada tahun 2002 lebih rendah dari tahun 1992 yaitu berkisar antara 858-1113 mm sehingga tahun 2002 lebih kering dari tahun 1992. Hal tersebut, ditunjukkan oleh rata-rata nilai indeks kekeringan tahun 1992 hanya mencapai -1.13 sedangkan tahun 2002 mencapai -1.34.

Pola spasial kekeringan tahun 2015 menunjukkan beberapa wilayah mengalami kekeringan dengan

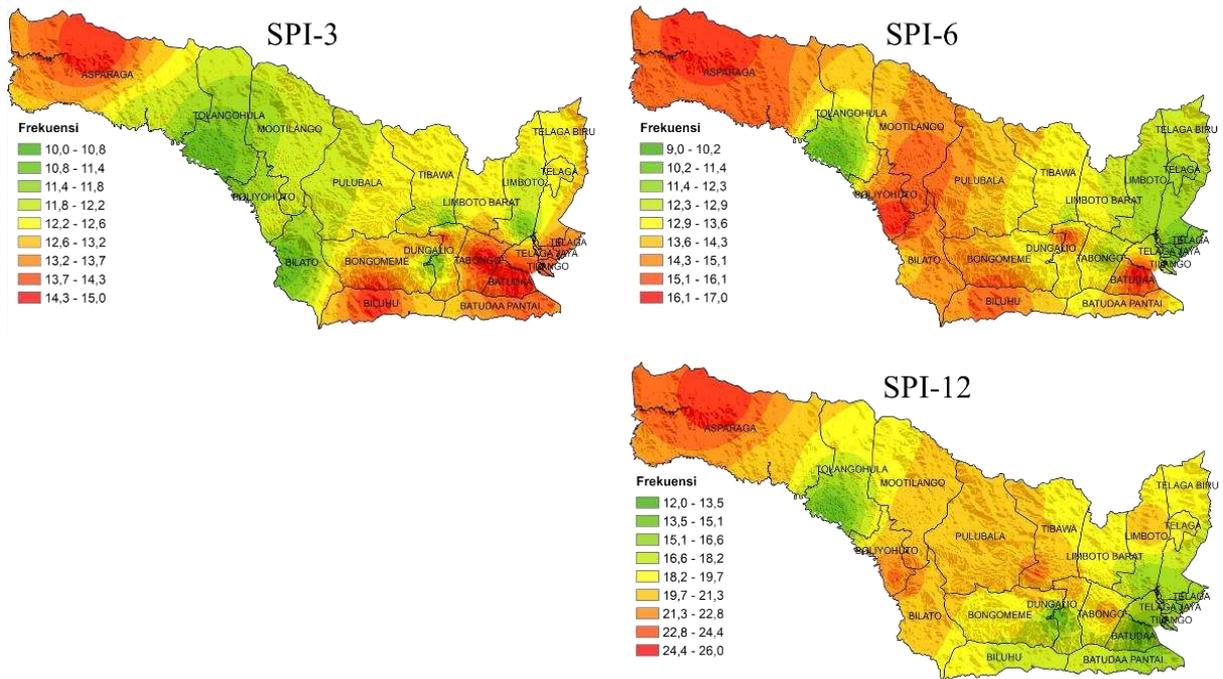
kategori sangat kering, diantaranya Batudaa dan Dunggalio tetapi tidak meluas. Secara umum, distribusi spasial kekeringan tahun 2015 menunjukkan 39% luas wilayah dalam kondisi normal sedangkan 61% luas wilayah dalam kondisi agak kering sampai kering (Gambar 4). Luas wilayah yang terkena dampak kekeringan tahun 2015 tidak terlalu parah jika dibandingkan dengan tahun 1982, 1992 dan 2002 disebabkan oleh akumulasi curah hujan tahun 2015 lebih tinggi dan lebih beragam secara spasial. Akumulasi curah hujan tahun 2015 berkisar antara 560-2021 mm. Dengan demikian, hasil analisis SPI-12 menggolongkan tahun 1982 sebagai kejadian kekeringan terparah dalam empat dekade terakhir.



Gambar 5. Time series SPI-3 di tiga stasiun selama periode 1981-2016



Gambar 6. Tahun terjadinya kekeringan ekstrem SPI-6 di seluruh stasiun



Gambar 7. Distribusi spasial frekuensi kekeringan (dalam persen) periode 1981-2016

3.4. Karakteristik Temporal Kekeringan

Berdasarkan hasil analisis, curah hujan sangat mempengaruhi dinamika kekeringan pada skala waktu SPI-3, SPI-6 dan SPI-12. Selain itu, kekeringan dapat terjadi 2-3 kali dalam setiap dekade dengan durasi yang berbeda-beda, hal tersebut dipengaruhi oleh kejadian *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) (Gambar 5). Hasil analisis menunjukkan bahwa kekeringan dengan durasi terlalu lama terjadi pada tahun 1982, 1986, 1997 dan 2015, karena pada tahun-tahun tersebut terjadi fenomena El Nino dengan kategori moderat dan kuat dengan durasi yang lama. Sebaliknya, untuk kondisi basah terjadi pada tahun 1984, 2001, 2008, 2010 dan 2013 namun berlangsung dalam durasi yang sangat singkat. Gambar 5 menunjukkan kekeringan ekstrem terjadi pada tahun 1982, 1992, 1997, 1998, 2002 dan 2015. Selain itu, kekeringan menunjukkan tren menurun, kondisi tersebut diikuti oleh kecenderungan kenaikan curah hujan selama periode 1981-2016. Selanjutnya, analisis kekeringan secara temporal pada SPI-3 menggambarkan kekeringan yang cukup parah.

Secara temporal, SPI-6 bulan Juli sampai Desember 1982 di 17 stasiun menunjukkan bahwa nilai SPI berkisar antara -2.6 sampai -3.7 (Gambar 6). Hal ini

membuktikan bahwa, SPI-6 secara akurat mendeteksi defisit curah hujan dalam mencerminkan kekeringan musiman. Besarnya nilai negatif SPI disebabkan oleh variasi pola curah hujan musiman dan curah hujan rata-rata musiman yang rendah (Patel *et al.*, 2007). Berdasarkan hasil analisis dalam menerapkan SPI skala waktu singkat (3 dan 6 bulan) mampu mendeteksi rendahnya curah hujan dan kekeringan musiman.

3.5. Frekuensi Kekeringan

Analisis spasial frekuensi kekeringan di Kabupaten Gorontalo dilakukan pada skala waktu SPI-3, SPI-6 dan SPI-12. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi wilayah yang sering terjadi kekeringan. Berdasarkan hasil analisis SPI-3 wilayah bagian barat (Asparaga) dan sebagian wilayah bagian timur (Tabongo, Batudaa dan Biluhu) lebih sering terjadi kekeringan selama periode 1981-2016, sedangkan wilayah bagian tengah (Tolangohula, Mootilango, Boliyohuto dan Bilato) frekuensi kejadian kekeringan lebih rendah (Gambar 7). Secara umum, frekuensi kekeringan SPI-3 di seluruh wilayah Kabupaten Gorontalo berkisar antara 10 sampai 15%. Distribusi spasial frekuensi kekeringan SPI-6 menunjukkan bahwa, wilayah bagian barat

(Asparaga) dan wilayah bagian tengah (Mootilango dan Boliyohuto) lebih sering terjadi kekeringan. Secara umum, frekuensi kekeringan SPI-6 berkisar antara 9 sampai 17%.

Hasil analisis frekuensi kekeringan SPI-12 memiliki kemiripan secara spasial dengan SPI-6, hal tersebut ditunjukkan oleh distribusi spasial frekuensi kekeringan di wilayah bagian barat (Asparaga) dan wilayah bagian tengah (Mootilango, Boliyohuto, Pulubala dan Bilato) sering terjadi kekeringan. Secara umum, frekuensi kekeringan SPI-12 berkisar antara 12 sampai 26% (Gambar 7). Berdasarkan hasil analisis frekuensi SPI-3, SPI-6 dan SPI-12, secara konsisten wilayah bagian barat (Asparaga) sering terjadi kekeringan. Selanjutnya, hasil analisis menunjukkan bahwa SPI-12 memiliki frekuensi kekeringan lebih tinggi dibandingkan dengan SPI-3 dan SPI-6.

3.6. *Pegelolaan Sumber Daya Air di Kabupaten Gorontalo*

Analisis karakteristik kekeringan secara spasial dan temporal serta frekuensi kejadian kekeringan pada berbagai skala waktu, menjadi dasar dalam pengelolaan sumber daya air. Analisis kekeringan menggunakan SPI menawarkan tata kelola air jangka pendek dan menengah melalui sistem irigasi. Hal ini perlu dilakukan karena karakteristik kekeringan yang teridentifikasi merupakan kekeringan yang terjadi secara musiman akibat dari pengaruh anomali curah hujan musiman. Oleh karena itu, hasil ini menjadi masukan dalam perencanaan di sektor pertanian disebabkan sektor pertanian salah satu yang paling membutuhkan air untuk tanaman melalui sistem irigasi. Selain itu, mengingat bahwa Kabupaten Gorontalo merupakan salah satu lumbung padi dan jagung, dengan jumlah produksi padi tertinggi mencapai 153.515 ton, sedangkan produksi jagung berada di urutan kedua dengan jumlah produksi mencapai 142.863 ton (BPS, 2016).

Perencanaan di sektor pertanian berbasis komoditas dapat dikembangkan sebab hasil analisis secara spasial menunjukkan bahwa, SPI dapat mengidentifikasi keberagaman tingkat keparahan kekeringan. Pewilayahan kekeringan menjadi sangat bermanfaat dalam konteks pengelolaan kekeringan (Serrano, 2006), hal tersebut dilakukan sebagai upaya mengurangi dampak buruk disektor pertanian. Selain itu, pemetaan kekeringan membantu pengelola sumber daya air di wilayah dalam mengambil keputusan untuk meminimalisir kekeringan serta sebagai dasar menyusun perencanaan dalam menghadapi risiko bencana kekeringan masa depan (Mahajan dan Dodamani, 2016).

Kejadian kekeringan sebagai akibat dari curah hujan yang rendah, akan menciptakan kekhawatiran dalam memenuhi kebutuhan air. Frekuensi kejadian kekeringan SPI-12 yang mencerminkan pola curah hujan jangka panjang, memberi sinyal akan berkurangnya pasokan air yang berdampak pada masyarakat dan ekosistem lokal. SPI pada rentang waktu ini biasanya terkait dengan debit sungai,

ketinggian level air waduk, dan tingkat kandungan air tanah pada rentang waktu yang lebih panjang (WMO, 2012). Menurut DSDAN (2010) Sungai Limboto, Alo dan Biyonga yang terletak di Kabupaten Gorontalo rata-rata mengalami defisit (kekurangan) untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi. Oleh Karena itu, diperlukan upaya manajemen kebutuhan air jangka panjang bagi masyarakat lokal dan sektor pertanian.

4. Kesimpulan

Memahami karakteristik spasiotemporal kekeringan dapat mengembangkan rencana mitigasi risiko kekeringan (Serrano, 2006). Selain itu, mengidentifikasi daerah rawan kekeringan dapat dilakukan melalui analisis spasial kekeringan (Rahman dan Lateh 2016). Oleh karena itu, analisis spasiotemporal kekeringan menjadi rujukan bagi pemangku kepentingan untuk melakukan manajemen kekeringan (Nam *et al.*, 2015). Kekeringan musiman yang terjadi di Kabupaten Gorontalo selama periode 1981-2016 sangat jelas teridentifikasi secara spasial pada skala waktu SPI-3 dan SPI-6, hal ini dapat dilihat pada rata-rata nilai indeks kekeringan berada di bawah -2 pada skala waktu tersebut. Oleh karena itu, SPI-3 dan SPI-6 efektif untuk menyatakan kekeringan di Kabupaten Gorontalo. Berdasarkan hal tersebut, maka pemetaan wilayah yang rentan terhadap kekeringan perlu dilakukan dalam mengantisipasi dampak kekeringan jangka pendek dan menengah.

Berdasarkan hasil analisis skala waktu SPI-3 dan SPI-6 cenderung menunjukkan nilai SPI positif artinya jumlah kejadian periode basah yang teridentifikasi lebih banyak dibandingkan dengan jumlah periode kering. Sebaliknya, SPI-12 cenderung menunjukkan nilai negatif artinya jumlah kejadian periode kering yang teridentifikasi lebih banyak dibandingkan dengan jumlah kejadian periode basah. Selain itu, frekuensi kejadian kekeringan lebih tinggi seiring dengan besarnya skala waktu. Dengan demikian, hasil analisis tersebut dapat menjadi rujukan dalam pengelolaan sumber daya air jangka panjang di Kabupaten Gorontalo. Selanjutnya, untuk menyiapkan langkah-langkah adaptasi dan mitigasi dampak kekeringan karena ketidakpastian kondisi iklim masa depan, maka perlu menerapkan skenario perubahan iklim. Hal tersebut dapat bermanfaat memberikan gambaran dinamika kekeringan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada LP2M Universitas Negeri Gorontalo sebagai pihak yang mendanai penelitian ini melalui dana PNPB tahun anggaran 2017. Terima kasih kepada kepala stasiun BMKG kelas II Gorontalo beserta jajaran dan kepala BWS beserta jajaran atas dukungan data iklim. Terima kasih kepada

kepala Laboratorium Geografi atas bantuan yang diberikan selama penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Abramovitz, M., L.A. Stegun, 1964. Handbook of mathematical functions. National bureau of standards. Washington, D.C.
- [2] [BNPB] Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2015. Kajian Risiko Bencana Gorontalo 2016-2020. Gorontalo: Deputi Bidang Pencegahan Dan Kesiapsiagaan, pp. 10-15.
- [3] [BPS] Badan Pusat Statistik, 2016. Provinsi Gorontalo Dalam Angka. Gorontalo: BPS Provinsi Gorontalo, pp. 161-163.
- [4] Chen, F.W., dan C. H. Liu, 2012. Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy Water Environmental* 10, pp. 209-222.
- [5] Chen, Z., G. Yang, 2013. Analysis of drought hazards in North China: distribution and interpretation. *Natural Hazards* 65, pp. 279-294.
- [6] Das, D.M., R. Singh, A. Kumar, D.R. Mailapalli, A. Mishra, C. Chatterjee, 2016. A multi-model ensemble approach for stream flow simulation. Dalam: *Modeling Methods and Practices in Soil and Water Engineering*. edited by Panigrahi, B and Goyal. CRC Press, pp. 72-102.
- [7] [DNPI] Dewan Nasional Perubahan Iklim, 2011. Pemetaan Kerentanan Di Daerah Provinsi Serta Inventarisasi Kebijakan Dan Kelembagaan Dalam Rangka Antisipasi Dampak Perubahan Iklim. Jakarta: Kementerian BUMN, pp. 1-38.
- [8] [DSDAN] Dewan Sumber Daya Air Nasional, 2010. Pola pengelolaan sumber daya air wilayah sungai Limboto-Bolango-Bone. Jakarta: Kementerian PU, pp. 58-61.
- [9] Edwards, D.C. 1997. Characteristics of 20th century drought in the united states at multiple time scales. Thesis. Graduate School, Colarado State University. Colorado.
- [10] Gocic, M., dan S. Trajkovic. 2014. Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia. *Journal of Hydrology* 510, pp. 110-123.
- [11] Hayes, M.J., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite, O.V. Vanyarkho, 1998. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *American Meteorological Society* 80 (3), pp. 429-438.
- [12] Jia, J.Y., L.Y. Han, Y.F. Liu, N. He, Q. Zhang, X. Wan, Y.F. Zhang, J.M. Hu, 2016. Drought risk analysis of maize under climate change based on natural disaster system theory in Southwest China. *Acta Ecologica Sinica* 36, pp. 340-349.
- [13] Keyantash, J., dan J.A. Dracup, 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *American Meteorological Society* 83, pp. 1167-1180.
- [14] Koem, S., dan Rusiyah, 2017. Monitoring of Drought Events in Gorontalo Regency. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 98, pp. 012053.
- [15] Lu, G.Y., dan D.W. Wong, 2008. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers and Geosciences* 34, pp. 1044-1055.
- [16] Mahajan, D.R., dan B.M. Dodamani, 2016. Spatial and temporal drought analysis in the Krishna river basin of Maharashtra, India. *Cogent Engineering* 3 (1), pp. 1-15.
- [17] Mello, C.R., J.M. Lima, A.M. Silva, J.M. Mello, M.S. Oliveira, 2003. Kriging and inverse-square-distance for the interpolation of rainfall equation parameters. *R. Bras. Ci. Solo* 27, pp. 925-933.
- [18] McKee, T.B., N.J. Doesken, J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *proceedings of the eighth conference on applied climatology*, American meteorological society. Anaheim (CA), 17-22 January 1993, pp.179-184.
- [19] Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. Van Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel, T.L. Veith, 2007. Model Evaluation Guidelines For Systematic Quantification Of Accuracy In Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50 (3), pp. 885-900.
- [20] Nam, W.H., M.J. Hayes, M.D. Svoboda, T. Tadesse, D.A. Wilhite, 2015. Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea. *Agricultural Water Management* 160, pp. 106-117.
- [21] Patel, N.R., P. Chopra, V.K. Dadhwal, 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorol. Applications* 14, pp. 329-336.
- [22] Penalba, O.C., dan J.A. Rivera, 2016. Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America– emphasis in regional drought occurrences. *Advances in Geosciences* 42, pp. 1-14.
- [23] Prudhomme, C. et al., 2014. Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A* 111, pp. 3262–3267.
- [24] Rahman, M.R., dan H. Lateh, 2016. Meteorological drought in Bangladesh: assessing, analysing and hazard mapping using SPI, GIS and monthly rainfall data. *Environmental Earth Sciences* 75 , pp. 1-20.
- [25] Saravi, M.M., A. A. Safdari, A. Malekian, 2009. Intensity-Duration-Frequency and spatial analysis of droughts using the Standardized Precipitation Index. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 6, pp. 1347–1383.
- [26] Serrano, S.M.V., 2006. Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910–2000). *Hydrological Sciences Journal* 51 (1), pp. 83-97.
- [27] Sumarno, J., Harianto, N. Kusnadi, 2015. Peningkatan Produksi Dan Efisiensi Usahatani Jagung Melalui Penerapan Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) Di Gorontalo. *Jurnal Manajemen dan Agribisnis* 12 (2), pp. 79-91.
- [28] Tigkas, D., H. Vangelis, G. Tsakiris, 2014. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics* 8 (3), pp. 697-709.
- [29] Tsakiris, G., D. Tigkas, H. Vangelis, D. Pangalou, 2013. DrinC Drought Indices Calculator. Getting Started Guide, Version 1.5. Athens. Greece, pp. 1-7.
- [30] Van Lanen, H.A.J., L. M. Tallaksen., G. Rees, 2007. Droughts and climate change. In: *Accompanying document to communication addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union*. Commission of the European Communities. Brussels. Belgium, pp. 1-13.
- [31] [WMO] World Meteorological Organization., 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. Switzerland.
- [32] Xie, H., C. Ringler, T. Zhu, A. Waqas, 2013. Droughts in Pakistan: a spatiotemporal variability analysis using the Standardized Precipitation Index. *Water International* 8 (5), pp. 620-631.