

ANALISIS KEKERINGAN MENGGUNAKAN METODE SPI DAN PDSI PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI LILIBA

Yulius P. K. Suni¹ (yulius.suni@mail.ugm.ac.id)

Karlina² (karlina.sipil@ugm.ac.id)

Joko Sujono³ (jsujono@ugm.ac.id)

ABTRAK

Penelitian ini melakukan analisis kekeringan di provinsi NTT dengan mengambil lokasi studi pada daerah aliran sungai Liliba yang terletak di kabupaten Kupang dan Kota Kupang. Kajian ini menggunakan metode Standarized Precipitation Index (SPI) dan Palmer drought severity index (PDSI). Rujukan keakurasian kedua metode dalam penelitian ini adalah laporan National Weather Service. Hasil analisis menunjukkan bahwa untuk metode SPI, semakin kecil rentang waktu yang dipilih, semakin sering grafik SPI bergerak di atas dan di bawah angka nol (0). Sebaliknya semakin besar nilai rentang waktu, pergerakan grafik SPI menjadi jarang. Metode SPI tidak dapat mengidentifikasi kekeringan ekstrim dan kekeringan luar biasa. Sedangkan analisis PDSI menunjukkan bahwa 61 persen terdapat kecocokan identifikasi kondisi kekeringan. Namun dalam analisis penyesuaian lebih detail, masih terdapat ketidakcocokan kategori kekeringan. Walaupun demikian, hasil analisis PDSI jauh lebih baik dari metode SPI. Peta sebaran kekeringan metode SPI dan PDSI sama dalam hal memetakan daerah hulu sebagai kawasan yang mengalami paparan kekeringan rendah dan kawasan hilir sebagai daerah dengan tingkat keparahan kekeringan tinggi.

Kata Kunci: Kekeringan, *Standarized Precipitation Index (SPI)*, *Palmer Drought Severity Index (PDSI)*, DAS Liliba

ABSTRACT

This study conducted an analysis of drought in the province of NTT, a case of Liliba watershed, which is located in Kupang and Kupang City districts. This study applied the Standardized Precipitation Index (SPI) and Palmer drought severity index (PDSI) methods. As a reference for the accuracy of the two methods in this study was the National Weather Service report. The analysis results show that for the SPI method, the smaller the time span selected, the more often the SPI graph moves above and below zero (0). Conversely, the greater the time span value, the movement of the SPI chart becomes less frequent. The SPI method cannot identify extreme drought and extraordinary drought. Meanwhile, the PDSI analysis shows that 61 percent have a match in the identification of drought conditions. However, in a more detailed adjustment analysis, there is still a mismatch in the drought category. However, the results of the PDSI analysis are much better than the SPI method. The SPI and PDSI drought distribution maps are the same in terms of mapping the upstream areas as areas experiencing low drought exposure and downstream areas as areas with high drought severity.

Key Words: *Drought, Standarized Precipitation Index (SPI), Palmer Drought Severity Index (PDSI), Liliba Watershed*

PENDAHULUAN

Secara global selama periode tahun 1950 hingga 2020 terdapat riwayat kekeringan ekstrim (El Nino) sebanyak 20 kejadian dengan kejadian terakhir pada tahun 2018 (National Weather

¹ Program Studi S3, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada, (penulis korespondensi);

² Program Studi S3, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada;

³ Program Studi S3, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada

Service n.d.). Di Indonesia tercatat El Nino kuat berlangsung pada 1965, 1972, 1982, 1991, 1997, dan 2009 (Pujiastuti 2015). Sedangkan di provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), bencana kekeringan baru dilaporkan mulai tahun 2004 dengan sebaran paling luas pada tahun 2018 (DIBI BNPB 2020). Selama periode 2004 hingga 2020, tercatat hampir setiap tahun terjadi bencana kekeringan.

Ketidaklengkapan laporan kejadian bencana kekeringan untuk durasi waktu yang panjang menjadi kendala dalam penentuan periode ulang kejadian. Hal ini berimbas pada ketidaksiapan sector ekonomi yang bergantung pada iklim seperti pertanian. Beberapa contoh berikut adalah dampak buruk kekeringan terhadap sektor pertanian.

Laporan UN Environment Programme menyebutkan bahwa produksi sereal pada tahun 2005 menurun sebesar 10 persen akibat kekeringan di Iberian Peninsula (Mishra dan Singh 2010). Studi IPCC menemukan bahwa di Asia terjadi penurunan produksi padi, jagung dan gandum akibat tekanan air (*water stress*) dari peningkatan suhu, El Nino dan pengurangan jumlah hari hujan (Bates et al., 2008 dalam Mishra dan Singh 2010). *World Food Programme* (2015) melaporkan bahwa hampir seluruh kabupaten di NTT memiliki risiko berkurangnya curah hujan yang berkaitan dengan kejadian El Nino. Di luar tahun El Nino, NTT sering mengalami musim kemarau panjang dan kekeringan yang berulang (*recurrent drought*). Dilaporkan bahwa selama periode 1999 hingga 2014, provinsi ini kehilangan produksi padi sebesar 30.000 ton per tahun akibat kekeringan.

Pada dasarnya, kekeringan terjadi di semua zona iklim yang ditandai dengan berkurangnya presipitasi secara temporal dalam satu musim (Mishra dan Singh 2010). Faktor-faktor yang berperan dalam kejadian kekeringan adalah suhu, angin kencang (*high winds*), kelengasan rendah relatif (*low relative humidity*), waktu dan karakteristik hujan, distribusi hari hujan selama periode musim tanam, intensitas dan durasi hujan, mulai dan selesainya hujan (*onset and termination*) (Mishra dan Singh 2010). Kekeringan memiliki karakteristik *slow onset*, artinya waktu mulai kejadian lambat (tidak serta merta), durasinya panjang dan sulit diprediksi.

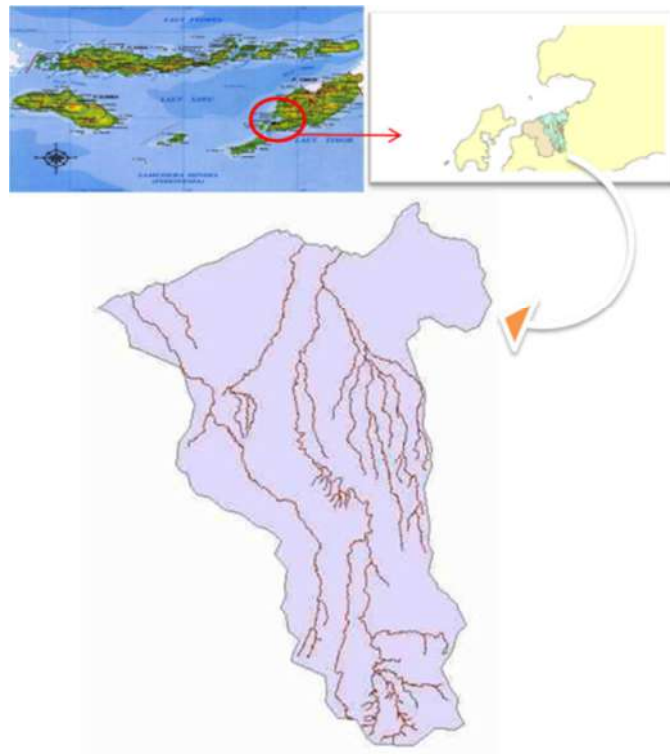
Hingga saat ini belum ada kekeringan belum didefinisikan secara pasti karena perbedaan faktor hidrometeorologis dan sosial ekonomi. Menurut WMO, kekeringan merupakan kondisi kekurangan presipitasi berkelanjutan dan berkepanjangan. UNCCD mendefinisikan kekeringan sebagai fenomena dimana presipitasi secara signifikan telah di bawah batasan normal sehingga menyebabkan ketidakseimbangan hidrologis dan selanjutnya berdampak pada buruknya sistem produksi sumberdaya lahan. FAO menganggap kekeringan terjadi pada saat tanaman gagal tumbuh karena kekurangan air (*moisture*). Menurut Ensiklopedia Iklim dan Cuaca, kekeringan adalah suatu periode dimana kekurangan curah hujan relatif terhadap rata-rata tahunan suatu daerah yang berlangsung secara berkepanjangan (semusim, setahun, beberapa tahun). Sedangkan Gumbel (1963) merumuskan kekeringan sebagai nilai terkecil tahunan debit harian aliran. Palmer (1965) melihat kekeringan sebagai penyimpangan signifikan dari kondisi hidrologis suatu daerah. Linseley et al. (1959) mendefinisikan kekeringan sebagai suatu periode berkelanjutan tanpa curah hujan signifikan.

Indeks kekeringan dapat ditentukan dengan beberapa metode (Mishra dan Singh 2010) antara lain *Standardized Precipitation Index* (SPI), *Palmer drought severity index* (PDSI), *Crop moisture index* (CMI), *Surface water supply index* (SWSI), *Vegetation condition index* (VCI), *Effective precipitation* (EP), berdasarkan *Soil Moisture*, *Standardized runoff index* (SRI), *remote sensing*, dan *Drought monitor* (DM).

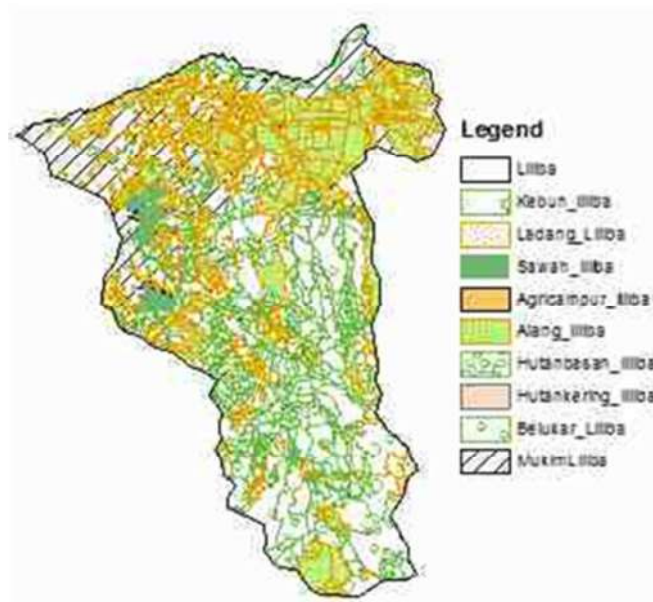
Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui indeks kekeringan berdasarkan metode SPI dan PDSI dan mengetahui sebaran kekeringan yang terjadi pada DAS Liliba. Rujukan keakuratan perhitungan dalam penelitian ini adalah laporan *National Weather Service*. Laporan ini menyajikan analisa hidrologi tiga bulanan termasuk kejadian El Nino dan La Nina sejak tahun 1950 hingga saat ini.

LOKASI STUDI KASUS

Penelitian ini melakukan analisis kekeringan di provinsi NTT dengan mengambil lokasi studi pada daerah aliran sungai (DAS) Liliba yang terletak di kabupaten Kupang dan Kota Kupang. DAS Liliba berada di Kabupaten Kupang (hulu) dan Kota Kupang (tengah dan hilir).



Gambar 1. Lokasi DAS Liliba
 Sumber: Kompilasi Data GIS KLHK



Gambar 2. Peta Tata Guna Lahan DAS Liliba

Secara administratif DAS Oebobo Liliba memiliki empat hulu sungai sebagaimana terlihat pada gambar 1. Bagian hulu terletak di kecamatan Nekamese, Kabupaten Kupang. Sedangkan tengah melintasi Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang di sisi timur, dan dua kecamatan di Kota

Kupang yakni kecamatan Maulafa dan kecamatan Oebobo. Sedangkan bagian hilir adalah kecamatan Kelapa Lima, Kota Kupang.

Tata guna lahan DAS Liliba dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini. Secara umum, kawasan DAS Liliba didominasi kebun, padang ilalang, dan belukar. Pemukiman lebih dominan pada kawasan hilir. Ada juga hutan basah di daerah pantai dan kawasan hulu.

METODE

Metode Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang menggambarkan karakteristik DAS Liliba. Jenis data yang diperlukan antara lain:

- Data hujan selama 37 tahun sejak tahun 1983 hingga 2019. Data hujan merujuk pada data satelit PERSIANN (CHRS 2020) dengan mengambil delapan titik koordinat yang mengelilingi DAS Liliba. Pilihan data satelit digunakan karena data pengukuran tidak cukup memadai dalam hal jumlah stasiun. Data satelit kemudian dilakukan uji korelasi untuk menentukan data layak digunakan sebagai basis analisis kekeringan. Koefisien korelasi (r) yang mendekati 1 menunjukkan akurasi data yang tinggi demikian juga sebaliknya.
- Data klimatologi merujuk pada data hasil pengukuran di stasiun BMKG Eltari Kupang (BMKG Eltari 2019).
- Data lain seperti tata guna lahan, jenis tanah dan batas DAS merujuk pada peta GIS yang diterbitkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

Metode Analisis Kekeringan Standarized Precipitation Index (SPI)

Metode Standarized Precipitation Index (SPI) dipakai untuk menentukan penyimpangan curah hujan terhadap kondisi normalnya untuk periode tertentu, baik bulanan, tiga bulanan, enam bulanan maupun tahunan. Analisis didasarkan pada rekaman presipitasi jangka panjang untuk periode tertentu. Rekaman kemudian dicocokkan dengan statistik probabilitas distribusi gamma, selanjutnya ditransformasikan menjadi distribusi normal sehingga nilai mean SPI = 0 (Mishra dan Singh 2010).

Keunggulan SPI adalah dapat menganalisis rekaman dengan berbagai skala waktu dan dapat memonitor kelengasan tanah (*short term supply*) dan *long-term resources* (air tanah, aliran, kedalaman air danau dan tampungan air lainnya). Walaupun demikian SPI memiliki keterbatasan seperti hasil SPI dapat berbeda untuk lokasi yang sama apabila input parameter seperti bentuk dan skala gamma, jangka waktu pencatatan data, dan distribusi probabilitas bervariasi. Selain itu (Mishra dan Singh 2010). Selain itu, diperlukan transformasi terhadap distribusi karena curah hujan biasanya tidak terdistribusi secara normal sepanjang tahun (McKee, Doesken dan Kleist 1993).

SPI adalah perbedaan nilai presipitasi dari nilai mean periode tertentu dibagi dengan standar deviasi. Nilai mean dan standar deviasi ditentukan berdasarkan rekaman data sebelumnya. Informasi yang diperoleh dari analisis SPI adalah defisit presipitasi dan prosentase rata-rata dan probabilitas presipitasi (McKee, Doesken dan Kleist 1993).

Rumus SPI adalah

$$SPI = \frac{(X_{ik} - \bar{X}_i)}{\hat{\sigma}_i} \quad (1)$$

X_{ik} = curah hujan tahun ke - i untuk observasi bulan ke- k

\bar{X}_i = nilai mean curah hujan tahun ke - i

σ_i = standar deviasi

Ketajaman kekeringan berdasarkan nilai SPI dapat dikategorikan sebagai berikut.

Tabel 1. Kategori kekeringan berdasarkan nilai SPI

Nilai SPI	Klasifikasi
0 sampai -0.99	Agak Kering
-1 sampai -1.49	Kering
-1.5 sampai -1.99	Sangat Kering
≤ -2.00	Kering Luar Biasa

Sumber: (McKee, Doesken dan Kleist 1993)

SPI mengindikasikan kekeringan apabila nilai SPI negatif terus menerus ($0 > SPI \leq -1.00$). Kekeringan dimulai ketika SPI pertama kali jatuh di bawah nol dan berakhir apabila SPI kembali ke nilai positif.

Tahap Analisis SPI

Untuk melakukan analisis SPI, beberapa langkah utama sebagai berikut:

- Siapkan data hujan bulanan untuk periode bulan tertentu (m), idealnya untuk 30 tahun atau lebih.
- Seleksi rata-rata periode untuk menentukan skala waktu (i), 3, 6, 12, 24, atau 48 bulan. Pergerakan set data memiliki logika bahwa setiap bulan ada nilai baru yang ditentukan berdasarkan skala waktu i bulan.
- Setiap set data dicocokkan dengan fungsi Gamma utk menentukan hubungan probabilitas hujan.
- Ketika hubungan probabilitas diketahui dari rekaman data, semua data presipitasi dapat dihitung.
- Selanjutnya dibuat estimasi inversi normal utk menghitung deviasi hujan utk kepadatan distribusi probabilitas normal dengan nilai mean nol dan standar deviasi gabungan.
- Nilai di atas disebut SPI

Palmer Drought Severity Index

Metode Palmer Drought Severity Index (PDSI) dikembangkan oleh Palmer (1965) dengan menggunakan input data presipitasi dan suhu untuk mengestimasi kelengasan tanah pada model dengan dua lapisan tanah yaitu lapisan tanah atas dan lapisan tanah bawah. Masing-masing lapisan tanah mempunyai kapasitas ketersediaan air atau *available water capacity* (AWC). Model ini kemudian dimodifikasi menjadi *Palmer Hydrological Drought Index* (PHDI) untuk memantau ketersediaan air, akan tetapi dalam operasional disebut PDSI modifikasi (Mishra dan Singh 2010).

Keterbatasan dari metode PDSI antara lain hanya cocok untuk kebutuhan pertanian, hanya memperhitungkan hujan sebagai presipitasi, memiliki respon lambat terhadap peningkatan dan penurunan kekeringan (Mishra dan Singh 2010).

Tabel 2. Kategori kekeringan menurut nilai PDSI dan SPI (US Drough Monitor, 2020)

Kategori	Keterangan	Nilai PDSI	Nilai SPI
D0	Kering Tidak Normal	-1 sampai -1.9	-0.5 sampai -0.7
D1	Kering	-2.0 sampai -2.9	-0.8 to -1.2

Kategori	Keterangan	Nilai PDSI	Nilai SPI
D2	Sangat Kering	-3.0 sampai -3.9	-1.3 to -1.5
D3	Kering Ekstrim	-4.0 sampai -4.9	-1.6 to -1.9
D4	Kekeringan Luar Biasa	$\leq - 5$	$\leq - 2$

Kategori nilai PDSI menurut US Drought Monitor terdiri dari lima kelompok yaitu kering tidak normal (abnormally dry), kering, sangat kering, amat sangat kering, dan kekeringan luar biasa. Tabel berikut menunjukkan kategori kekeringan PDSI dibandingkan dengan kategori SPI.

Tahap Analisis PDSI

Analisis PDSI dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Menentukan kapasitas penyimpanan air (water holding capacity). Dalam studi ini ditetapkan sebesar 75.
- b. Menghitung evapotranspirasi potensial (Eto) dengan aplikasi CROPWAT. Input data yang diperlukan adalah suhu udara maksimal dan minimal, kelembaban udara, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari.
- c. Menghitung selisih P dan ET
 - Jika $(P-ET)>0$, terjadi surplus curah hujan (periode bulan basah)
 - Jika $(P-ET)<0$, terjadi deficit curah hujan (periode bulan kering)
- d. Menghitung jumlah hujan kumulatif dari defisit curah hujan APWL (Accumulated Potential Water Loss). Perhitungan ini dilakukan dengan menjumlahkan angka-angka (P-ET) untuk bulan-bulan yang mempunyai evapotranspirasi potensial lebih daripada curah hujan (P-ET) negatif.

$$APWL = \sum_1^n (P - ET)_{neg} \tag{2}$$

$$APWLi = APWLi-1 + (P - ET)_{neg} \tag{3}$$

Apabila $P>ET$, seri data ini terputus $APWL = 0$

- e. Menghitung kelengasan Tanah

Pada bulan-bulan basah ($P>ET$), nilai $ST=ST_0$ (WHC)

Pada bulan-bulan kering ($P<ET$), pada bulan ini ST tiap bulan dihitung dengan rumus:

$$ST = ST_0 \times e^{-\frac{APWL}{ST_0}} \tag{4}$$

dengan:

ST = kandungan lengas tanah dalam daerah perakaran (mm)

ST_0 = kandungan lengas tanah dalam kondisi lapang (mm), ST_0 yang dimaksud dalam rumus ini nilainya = WHC

e = bilangan Navier ($e=2,718$)

$APWL$ = jumlah kumulatif dari deficit curah hujan (mm)

- f. Menghitung perubahan kandungan lengas tanah (ΔST)

Perubahan kandungan lengas tanah (ΔST) tiap bulan di dapat dengan cara mengurangkan lengas tanah (ΔST) pada bulan yang bersangkutan dengan (ST) pada bulan sebelumnya ($\Delta ST = ST_i - ST_{i-1}$) maka nilai negatif menyebabkan tanah menjadi kering.

g. Menghitung evapotranspirasi actual (EA)

Pada bulan basah ($P > ET$), nilai $EA = ET$; pada bulan-bulan kering ($P < ET$), nilai $EA = P - \Delta ST$

h. Menghitung defisit (Kekurangan Lengas)

$$D = ET - EA \quad (5)$$

dengan :

D = defisit (mm/bulan)

ET = evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

EA = evapotranspirasi aktual (mm/bulan)

i. Menghitung surplus (kelebihan lengas)

$$S = (P - ET) - \Delta ST \quad (6)$$

dengan :

S = surplus (mm/bulan)

P = curah hujan (mm/bulan)

ET = evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

ΔST = perubahan lengas tanah (mm/bulan)

j. Menghitung limpasan (R_o)

Menunjukkan besarnya air yang mengalir di permukaan tanah. Menghitungnya 50% dikalikan dengan nilai surplus.

k. Menghitung pengisian lengas tanah potensial (PR)

$$PR = WHC - ST \quad (7)$$

l. Menghitung pengisian lengas tanah (R)

Pengisian lengas tanah terjadi jika ST pada bulan sebelumnya lebih kecil dari ST pada bulan bersangkutan, penambahan nilai ST tersebut menjadi pengisian lengas tanah.

$$R = ST - ST_{j-1} \quad (7)$$

dengan :

R = Pengisian lengas tanah

ST = Kandungan lengas tanah dalam perakaran bulan tersebut

ST_{j-1} = Kandungan lengas tanah dalam perakaran bulan sebelumnya

m. Menghitung kehilangan lengas tanah potensial (PL)

$$PL = ET - \Delta ST \quad (9)$$

n. Menghitung kehilangan lengas tanah (L)

$$L = ST_{j-1} - ST \quad (8)$$

o. Penentuan koefisien

Koefisien yang dimaksud adalah untuk menentukan nilai CAFEC (Climatically Appropriate for Existing Condition). Nilai koefisien-koefisien data ditentukan dengan rumus-rumus seperti ditampilkan pada tabel 3.

Tabel 3 . Rumus Koefisien CAFEC

Koefisien	Rumus	Rumus CAFEC
Evapotranspirasi	$\alpha = \frac{\overline{AE}}{\overline{ET}}$	$\widehat{ET} = \alpha * ET$
Pengisian lengas tanah	$\beta = \frac{\overline{R}}{\overline{PR}}$	$\widehat{R} = \beta * PR$
Limpasan	$\gamma = \frac{\overline{RO}}{\overline{S}}$	$\widehat{RO} = \gamma * Ro$
Kehilangan lengas tanah	$\delta = \frac{\overline{L}}{\overline{PL}}$	$\widehat{L} = \delta * PL$
Pembobot iklim	$K = \frac{\overline{ET} + \overline{R}}{\overline{P} + \overline{L}}$	
Kehilangan presipitasi		$\widehat{P} = \widehat{ET} + \widehat{R} + \widehat{RO} - \widehat{L}$

p. Penentuan Indeks

Tabel 4. Rumus Penentuan Indeks

Indeks	Rumus
Periode kekurangan atau kelebihan hujan (d)	$d = P - \widehat{P}$
Nilai mutlak (\overline{D})	\overline{D} = rata-rata nilai d
Pendekatan kedua terhadap nilai faktor K (k')	$K' = 1.5 \log_{10} \left(\left(\frac{PE+R+Ro}{P+L} + 2.80 \right) : \frac{25.4}{\overline{D}} \right) + 0.5$
Karakter iklim sebagai faktor pembobot (K)	$K = \frac{\overline{D} * K'}{\sum_{i=1}^n \overline{D} * K'} K'$
Indeks penyimpangan (anomali) lengas (Z)	$Z = d * K$
Indeks kekeringan Palmer	$X = \left(\frac{Z}{3} \right)_{j-1} + \Delta X$ $\Delta X = \left(\frac{Z}{3} \right)_j + 0.103 \left(\frac{Z}{3} \right)_{j-1}$

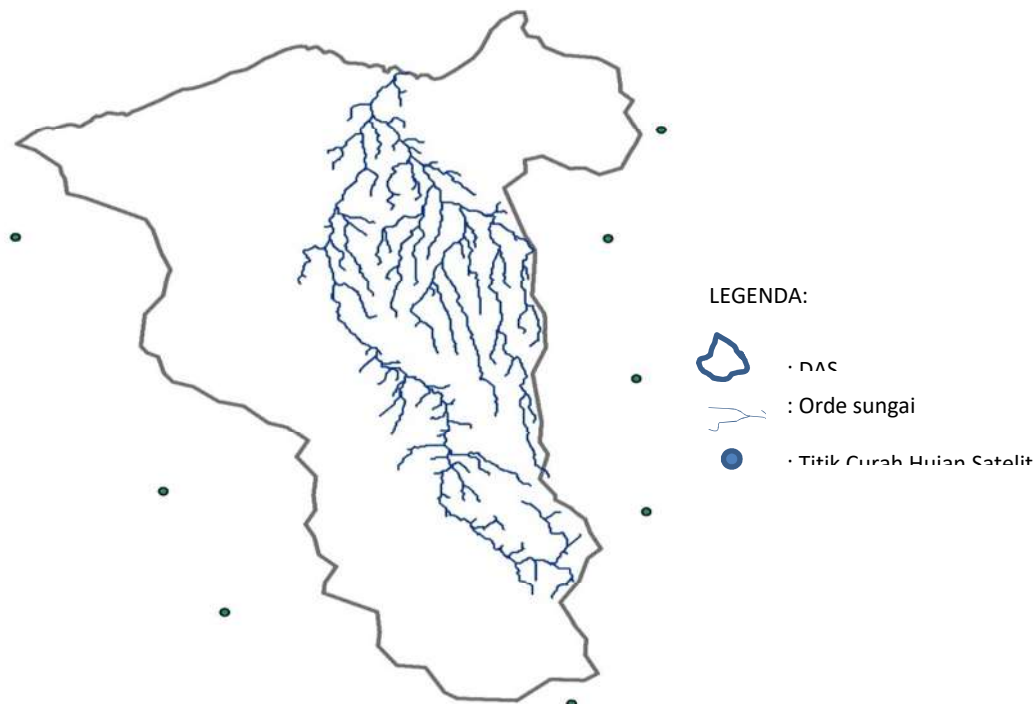
HASIL

Hitungan Hidrologi

DAS Liliba tidak memiliki data hujan pengukuran yang lengkap di seluruh wilayah DAS. Data yang tersedia setidaknya bersumber dari BMKG Stasiun Iklim Lasiana, Kupang dan BMKG Stasiun Meteorologi Eltari Kupang. Kedua stasiun iklim tersebut letaknya di bagian hilir. Dengan demikian wilayah tengah dan hulu terdapat kekosongan data. Untuk mengatasi

keterbatasan data curah hujan pengukuran maka data satelit dapat digunakan apabila terbukti memiliki korelasi mendekati hujan terukur (Ginting, Sujono dan Rachmad 2019).

Data satelit yang digunakan adalah PERSIANN – CDR. Data hujan satelit PERSIANN diperoleh dari website <http://chrdata.eng.uci.edu>. Variabel yang dibutuhkan dalam pengambilan data adalah curah hujan dan jenis file (excel). Jenis datanya adalah PERSIANN-CDR yang memiliki output harian.



Gambar 3. DAS Liliba dan titik hujan PERSIANN

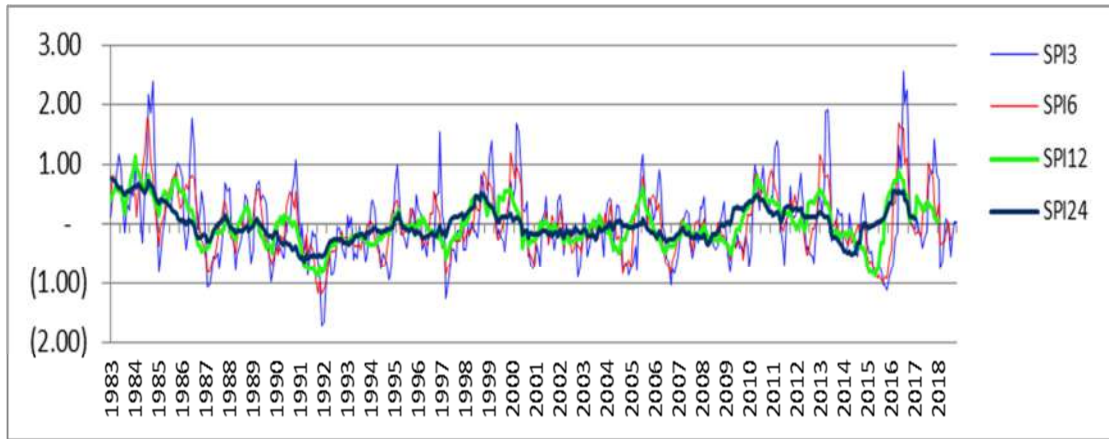
Titik hujan satelit PERSIANN ditentukan sebanyak delapan koordinat mengelilingi DAS Liliba dengan koordinat sama dengan stasiun Lasiana dan stasiun Eltari (Gambar 3). Untuk menguji korelasi data satelit, selanjutnya dibandingkan dengan salah satu data pengukuran yaitu dari BMKG Eltari Kupang.

Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien korelasi (r) untuk hujan harian adalah 0.2265, artinya hubungan perkiraan data satelit terhadap data pengamatan rendah. Sedangkan korelasi hujan bulanan sebesar 0.8079, menunjukkan hubungan yang sangat kuat. Sementara koefisien korelasi (r) untuk hujan tahunan adalah 0.3381, artinya hubungan kedua sumber data rendah. Analisis kekeringan dalam penelitian ini menggunakan data hujan bulanan, karena itu data satelit PERSIANN bulanan dapat digunakan untuk analisis kekeringan dengan metode *Standardized Precipitation Index* (SPI) dan *Palmer Drought Severity Index* (PDSI).

Analisis SPI

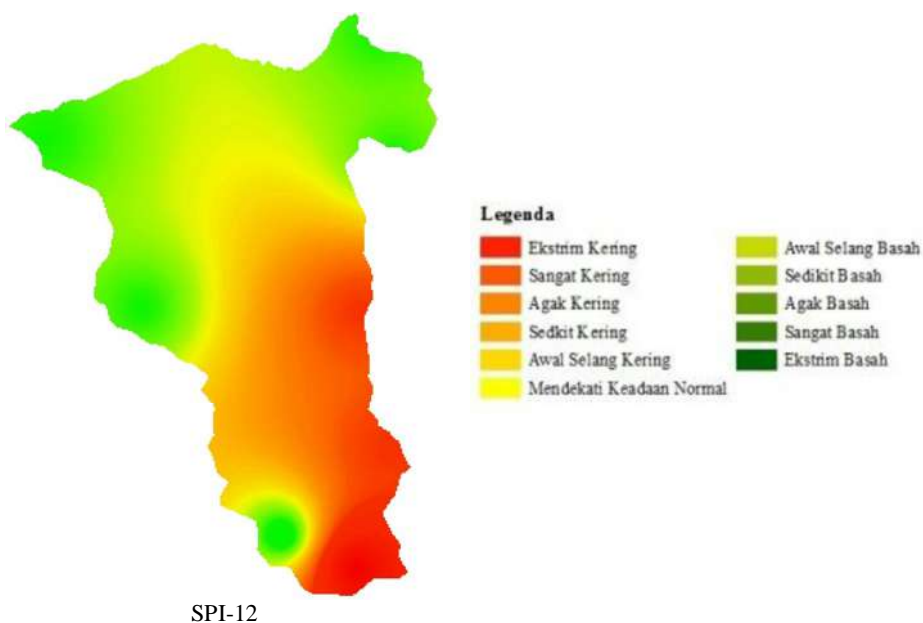
Rentang waktu yang dipilih dalam analisis ini adalah 3 bulan, 6 bulan, 12 bulan, dan 24 bulan. Untuk indeks kekeringan disimbolkan dengan SPI3, SPI6, SPI12, dan SPI24 untuk masing-masing rentang waktu. Sebagai contoh, SPI3 adalah indeks kekeringan untuk periode tiga (3) bulan, SPI6 adalah indeks kekeringan untuk periode enam (6) bulan dan seterusnya. Presipitasi disimbolkan sebagai P3, P6, P12, dan P24. Dalam hal ini P3 adalah curah hujan periode tiga (3) bulan, P6 adalah periode curah hujan enam (6) bulan dan seterusnya.

Hasil analisis SPI menunjukkan bahwa semakin kecil rentang waktu yang dipilih, semakin sering grafik SPI bergerak di atas dan di bawah angka nol (0), sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4 untuk empat titik hujan yaitu Barat Hilir, Barat Tengah, Lasiana (Timur Hilir), dan Eltari (Timur Hilir) di bawah ini. Sebaliknya semakin besar nilai rentang waktu, pergerakan grafik SPI menjadi jarang. Kecenderungan tersebut sama dengan temuan McKee, Doesken dan Kleist (1993) bahwa rentang waktu 3 dan 6 bulan fluktuasi SPI lebih sering sedangkan di atas rentang waktu 12 dan 24 bulan tidak lagi menggambarkan secara baik perubahan presipitasi.



Gambar 4. Grafik SPI DAS Liliba untuk 3; 6; 12; dan 24 bulan

Grafik 4 juga menunjukkan bahwa selama 36 tahun sejak 1983 hanya terjadi sekali kondisi ‘sangat kering’ dengan indeks -1.71 pada tahun 1992. Sisanya adalah terjadi kondisi ‘kering’ hampir setiap tahun. Namun indeks ini tidak mengidentifikasi riwayat kekeringan ekstrim dan luar biasa (El Nino) yang terjadi pada tahun 1982/1983, 1986, 1987, 1991, 1994, 1997, 2002, 2009 (Pujiastuti 2015) dan tahun 2018 (National Weather Service n.d.). Satu-satunya nilai SPI yang mendekati kejadian El Nino adalah pada tahun 1991, dengan nilai SPI terendah adalah minus 1.922 (untuk SPI3).



Gambar 5. Sebaran spasial kekeringan SPI 12- DAS Liliba

Hasil ini mengkonfirmasi temuan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode SPI dan *standardized precipitation and evapotranspiration index* (SPEI) di wilayah semi-arid, Botswana bahwa SPI tidak dapat menunjukkan estimasi yang realistis tingkat keparahan kekeringan di wilayah semi-arid (Byakatonda, et al. 2018). Penelitian di daerah semi-arid, Iran menggunakan enam indeks antara lain *percent of normal* (PN), *standardized precipitation index* (SPI), *China-Z index* (CZI), *modified CZI* (MCZI), *Z-Score* (Z), *aridity index* (E) menunjukkan bahwa SPI selalu memperlihatkan nilai (indeks) terendah untuk wilayah semi-arid (Shahabfar dan Eitzinger 2013). Hal ini dipengaruhi oleh satu-satunya variabel yang digunakan dalam analisis SPI adalah presipitasi (curah hujan). Di daerah semi-arid, SPI akan memberikan estimasi yang berlebihan (*overestimate*) pada periode bulan kering sedangkan pada bulan basah, curah hujan yang tinggi akan tertutup oleh pencatatan ketiadaan hujan sama sekali selama beberapa bulan berturut-turut pada tahun-tahun tertentu (Byakatonda, et al. 2018).

Secara spasial, sebaran daerah kekeringan digambarkan pada gambar 5 di bawah ini. SPI yang dipilih adalah SPI terendah satu titik hujan dan indeks titik hujan lain dipilih pada periode yang sama dengan indeks terendah titik hujan rujukan. Data indeks kedelapan titik hujan kemudian diolah dengan metode *Invers Distance Weight* (IDW) pada software ArcGIS 10.5

Gambar 5 menunjukkan bahwa sebaran daerah kekeringan di DAS Liliba untuk SPI 12. Pada wilayah tengah dan hilir digambarkan sebagai wilayah kering, sedangkan hulu sebagai daerah yang tidak mengalami kekeringan.

Analisis PDSI

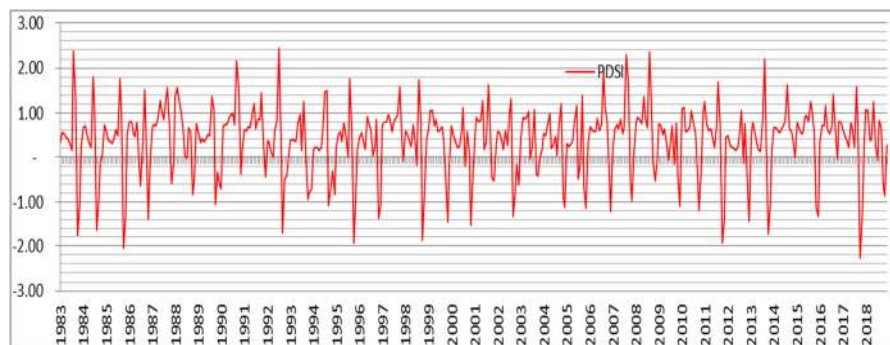
Data iklim dalam analisis PDSI tidak lengkap sehingga menggunakan stasiun BMKG Eltari Kupang sebagai rujukan. Analisis PDSI menggunakan cara Mock dengan memanfaatkan ketinggian (elevasi) sebagai koreksi untuk menghitung selisih suhu antara masing-masing stasiun.

$$\Delta t = 0,006 (Z_1 - Z_2) \text{ } ^\circ\text{C} \tag{9}$$

dengan Δt adalah perbedaan elevasi, Z_1 sebagai elevasi stasiun acuan dan Z_2 sebagai elevasi titik hujan yang ditinjau.

Perhitungan evapotranspirasi menggunakan program CROPWAT 8. Kapasitas penyimpanan air diperoleh dengan merujuk pada parameter tekstur tanah geluh berpasir dan agak kasar dan kedalaman perakaran untuk tutupan lahan dominan semak belukar dan ilalang di bawah 25 cm (Moata, et al. 2018). Berdasarkan parameter tersebut ditentukan kapasitas air tersedia menurut Thonthwaite and Mather sebesar 150 mm/m (Wijayanti, Noviani dan Tjahjono 2015). Hasil perkalian air tersedia dan kedalaman akar maksimum adalah 37.5 mm yang selanjutnya ditetapkan sebagai nilai *water holding capacity*.

Hasil analisis PDSI satu titik hujan, Eltari (Timur Hilir) menunjukkan kondisi *kering tidak normal* dan kondisi *kering* terjadi hampir setiap tahun kecuali pada tahun 1988 – 1989, 1991-1992, 1998, 2002, 2004, 2008-2009, 2015 dan 2018 (Gambar 6).



Gambar 6. Grafik PDSI DAS Liliba 1983-2018

Gambar 6 menunjukkan bahwa terdapat 4 kali kering ($PDSI \leq - 2$), pada tahun 1995-1996, 1995-1996, 2011-2012, dan 2017-2018. Untuk mengetahui kecocokan hasil analisis PDSI dengan hasil pemantauan kondisi kekeringan yang dilaporkan National Weather Service, data dan informasi bencana Indonesia (DIBI), dan sumber lainnya.

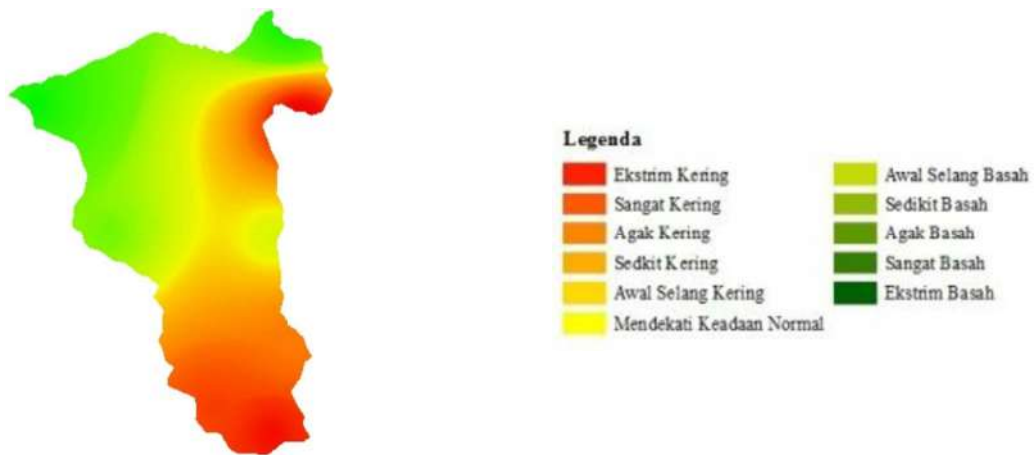
Tabel 5. Perbandingan PDSI Liliba dan Laporan Kekeringan Global, Nasional dan Rgional (National Weather Service, 2020), (Pujiastuti, 2015), (DIBI BNPB, 2020)

Tahun	Global	Indonesia	NTT	PDSI Liliba	Keterangan
1983	El Nino	El Nino Kuat		Kering tidak normal	Cocok
1984	La Nina			Kering tidak normal	Tidak Cocok
1985	La Nina			Kering	Tidak Cocok
1986	El Nino	El Nino Moderate		Kering tidak normal	Cocok
1987	El Nino	El Nino Moderate		Kering tidak normal	Cocok
1988	La Nina			No drought	Cocok
1989	La Nina			Kering tidak normal	Tidak Cocok
1990				Kering tidak normal	Tidak Cocok
1991	El Nino	El Nino Kuat		Kering tidak normal	Cocok
1992	El Nino			Kering tidak normal	Cocok
1993				Kering tidak normal	Tidak Cocok
1994	El Nino	El Nino Moderate		Kering tidak normal	Cocok
1995	La Nina			Kering	Tidak Cocok
1996				Kering tidak normal	Tidak Cocok
1997	El Nino	El Nino Kuat		No drought	Tidak Cocok
1998	El Nino/ La Nina			Kering tidak normal	Cocok
1999	La Nina			Kering tidak normal	Tidak Cocok
2000	La Nina			Kering tidak normal	Tidak Cocok
2001				Kering tidak normal	Tidak Cocok
2002	El Nino	El Nino Moderate		Kering tidak normal	Cocok
2003	El Nino			Kering tidak normal	Cocok
2004	El Nino	El Nino Lemah	Kekeringan	Kering tidak normal	Cocok
2005	La Nina		Kekeringan	Kering tidak normal	Cocok
2006	El Nino	El Nino Lemah	Kekeringan	Kering tidak normal	Cocok
2007	La Nina		Kekeringan	Kering tidak normal	Cocok
2008	La Nina			Kering tidak normal	Tidak Cocok
2009	El Nino	El Nino Kuat		Kering tidak normal	Cocok
2010	El Nino/ La Nina			No drought	Cocok
2011	La Nina		Kekeringan	Kering	Cocok
2012			Kekeringan	Kering tidak normal	Cocok
2013			Kekeringan	Kering tidak normal	Cocok
2014	El Nino		Kekeringan	No drought	Tidak Cocok
2015	El Nino			Kering tidak normal	Cocok
2016	El Nino/ La Nina			No drought	Cocok

Tahun	Global	Indonesia	NTT	PDSI Liliba	Keterangan
2017	La Nina			Kering	Tidak Cocok
2018	El Nino		Kekeringan	Kering tidak normal	Cocok

Hasil pencocokan sederhana data laporan kekeringan dan analisis PDSI menunjukkan bahwa 61 persen terdapat kecocokan identifikasi kondisi kekeringan. Apabila dilakukan penyesuaian lebih dalam, masih terdapat ketidakcocokan kategori kekeringan. Contohnya pada tahun 1991, di Indonesia terjadi El Nino kuat tetapi hasil analisis PDSI menunjukkan kekeringan tidak normal. Tahun 1997, dilaporkan terjadi El Nino kuat di Indonesia namun hasil PDSI menunjukkan tidak ada kekeringan. Walaupun demikian, hasil analisis PDSI jauh lebih baik dari metode SPI.

Sebaran daerah kekeringan dapat dilihat pada gambar 7 berikut ini. Digambarkan bahwa indeks kekeringan terendah berada di wilayah hilir. Sedangkan wilayah yang tidak mengalami indeks rendah adalah kawasan hulu dan sisi atas timur laut. Kawasan tengah relatif cukup rendah kecuali sisi timur.



Gambar 7. Peta Sebaran Kekeringan tahun 1994 metode PDSI

Secara umum, peta sebaran kekeringan metode SPI dan PDSI sama dalam hal memetakan daerah hulu sebagai kawasan yang mengalami paparan kekeringan rendah dan kawasan hilir sebagai daerah dengan tingkat keparahan kekeringan tinggi. Analisis pemetaan ini sesuai dengan informasi ancaman kekeringan dari pemerintah bahwa kawasan hulu yang mencakup kecamatan Nekamese di Kabupaten Kupang sangat rendah keterpaparan ancaman kekeringan. Sedangkan kawasan tengah dan hilir yang meliputi kecamatan Maulafa, Oebobo dan Kelapa Lima di Kota Kupang berada dalam kategori sedang ancaman kekeringan (BPBD NTT 2018).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kekeringan dengan metode SPI dan PDSI, dapat disimpulkan beberapa temuan sebagai berikut:

1. Indeks kekeringan
 - a. Analisis SPI dapat mengidentifikasi kondisi kekeringan setiap tahun pada DAS Liliba namun tidak dapat menentukan riwayat kekeringan ekstrim dan kekeringan luar biasa bila dibandingkan dengan laporan National Weather Service.
 - b. Hasil pencocokan sederhana data laporan kekeringan dan analisis PDSI menunjukkan bahwa 61 persen terdapat kecocokan identifikasi kondisi kekeringan. Namun dalam analisis penyesuaian lebih detail, masih terdapat ketidakcocokan kategori kekeringan.

2. Secara umum, peta sebaran kekeringan metode SPI dan PDSI sama dalam hal memetakan daerah hulu sebagai kawasan yang mengalami paparan kekeringan rendah dan kawasan hilir sebagai daerah dengan tingkat keparahan kekeringan tinggi.
3. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya adalah meminimalkan asumsi variabel input analisis dan perbandingan hasil analisis dengan laporan kekeringan di Kota Kupang.

Daftar Pustaka

- BMKG Eltari. Data Klimatologi Bulanan Stasiun Meteorologi Eltari Kupang. BMKG, 2019.
- BPBD NTT. Rencana Kontijensi Kekeringan Provinsi Nusa Tenggara Timur Klaster Timor, Rote dan Sabu. Kupang: DFAT Australia-BNPB Project, 2018.
- Byakatonda, J., B.P. Parida, D.B. Moalafhi, dan P.K Kenabatho. "Analysis of long term drought severity characteristics and trends across semiarid Botswana using two drought indices." *Atmospheric Research*, 2018: 492-508.
- CHRS. CHRS Data Portal. 2020. <http://chrsdata.eng.uci.edu> (diakses 2020).
- DIBI BNPB. Data dan Informasi Bencana Indonesia. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2020.
- Ginting, J.M., J Sujono, dan Jayadi Rachmad. "Analisis Hubungan Data Satelit dengan Hujan Terukur ARR Kalibawang." *Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) X*. Bandung: Prosiding KNPTS X, 2019. 89-102.
- McKee, Thomas B., Nolan J. Doesken, dan John Kleist. "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales." *Eight Conference on Applied Climatology*. Anaheim California, 1993.
- Mishra, Ashok K., dan Vijay P. Singh. "A Review of Drought Concepts." *Journal of Hydrology*, 2010: 202-2016.
- Moata, M.R.S., O. Kollo, Y. Puay, Y. Rhuma, C. Tlonaen, dan Z. Duka. "Integrasi Sistem Digitalisasi dan Analisis Lapangan Dalam Perencanaan Pengembangan Daerah: Evaluasi Kemampuan Lahan Milik Swasta." *PARTNER*, 2018: 730-744.
- National Weather Service. NOAA. t.thn. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php (diakses Agustus 23, 2020).
- Pujiastuti, L. *Detik Finance*. 2 Agustus 2015. <https://finance.detik.com/berita-ekonomi-bisnis/d-2981144/fenomena-el-nino-terungkap-65-tahun-lalu-terburuk-1982-dan-1997> (diakses Agustus 19, 2020).
- Shahabfar, A., dan J. Eitzinger. "Spatio-temporal Analysis of Drought in Semi-arid Region by Using Meteorological Drought Indices." *Atmosphere*, 2013: 94-112.
- US Drought Monitor. United States Drought Monitor. t.thn. <https://droughtmonitor.unl.edu/About/AbouttheData/DroughtClassification.aspx> (diakses Agustus 26, 2020).
- WFP. Peta Ketahanan dan Kerentanan Pangan Nusa Tenggara Timur. Kupang: Pemerintah Propinsi NTT, Dewan Ketahanan Pangan, Kementerian Pertanian, World Food Programme, 2015.
- Wijayanti, P., R. Noviani, dan G.A. Tjahjono. "Dampak Perubahan Iklim Terhadap Imbangan Air Secara Meteorologis Dengan Menggunakan Metode Thornthwaite Mather Untuk Analisis Kekritisasi Air di Karst Wonogiri." *Geomedia*, 2015: 27-40.