



ASESMEN KEKERINGAN METEOROLOGI DENGAN METODE CHINA Z INDEX (CZI) DAN STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI) DI DAS SAMPEAN BARU, KABUPATEN BONDOWOSO

Billy Satria Nanda¹, Gusfan Halik², Entin Hidayah³

^{1,2,3} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Kalimantan Tegalboto No. 37, Krajan Timur, Seumbersari, Kec. Seumbersari, Kabupaten Jember

E-mail: billysatriananda@gmail.com¹, gusfan.teknik@ac.id², entin.teknik@unej.ac.id³

ABSTRACT

Drought is a natural disaster that is notoriously difficult to predict in its early stages. It often occurs repeatedly in dry and semi-arid regions in Indonesia due to rainfall deficits, one of which is in the Sampean Baru Watershed, Bondowoso Regency. Therefore, accurate drought prediction is highly needed. This research aims to compare the analysis of drought indices based on China Z Index (CZI) and Standardized Precipitation Index (SPI) for drought-affected agricultural land in Bondowoso Regency (1990-2021). The results of the drought indices using CZI and SPI methods indicate that the CZI method is more suitable for historical droughts affecting agricultural land over six periods. During these periods, there is data consistency, with consecutive extreme droughts occurring in 2007, 2008, and 2021, resulting in approximately 403.9 Ha, 303 Ha, and 127 Ha of affected land, respectively.

Keywords: *Assesment Drought, NOAA, CZI, SPI, Sampean Baru.*

ABSTRAK

Kekeringan merupakan bencana alam yang sangat sulit diprediksi awal kejadiannya. Kekeringan sering terjadi secara berulang di wilayah kering dan semi kering di Indonesia karena defisit curah hujan yang salah satunya di DAS Sampean Baru, Kabupaten Bondowoso. Oleh karena itu, prediksi kekeringan yang tepat sangat dibutuhkan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan analisis index kekeringan berdasarkan *China Z Index (CZI)* dan *Standardized Precipitation Index (SPI)* terhadap lahan pertanian yang terdampak kekeringan Kabupaten Bondowoso (1990-2021). Hasil dari index kekeringan metode CZI dan SPI menunjukkan metode CZI lebih sesuai terhadap histori kekeringan untuk lahan pertanian yang terjadi selama per 6 periode. Pada periode tersebut terdapat kesesuaian data dimana secara berturut turut pada tahun 2007, 2008, dan 2021 terjadi kekeringan ekstrem yang mengakibatkan lahan terdampak sekitar 403.9 Ha, 303 Ha, 127 Ha.

Kata kunci: Penilaian Kekeringan, NOAA, CZI, SPI, Sampean Baru.

Naskah diterima 29 Mei 2024; Revisi 30 Mei 2024; Diterima 11 Jun 2024. Tanggal Publikasi 12 Jun 2024
Jurnal Teknik berada pada lisensi *Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License*



1. PENDAHULUAN

Bencana kekeringan merupakan suatu dampak dari perubahan iklim yang mempengaruhi ketersediaan air. DAS Sampean Baru adalah salah satu daerah rawan bencana kekeringan di wilayah Indonesia. Meski berlokasi pada lereng puncak gunung Raung hingga gunung Krincing, saat memasuki musim kemarau sejumlah desa di beberapa kecamatan Kabupaten Bondowoso mengalami kesulitan air. Pada tahun 2020 Badan Penanggulangan Bencana (BPBD) Kabupaten

Bondowoso menyebutkan 16 kecamatan terdiri dari 46 desa mengalami kesulitan air. Berdasarkan peristiwa tersebut, analisis indeks kekeringan khususnya di DAS Sampean Baru untuk mengetahui dan meminimalisir dampak kekeringan sangat dibutuhkan untuk mitigasi terjadi di masa mendatang.

Merujuk pada beberapa penelitian terdahulu. Mahmoudi melakukan penelitian di Iran, membandingkan beberapa indeks diantaranya *China Z Index (CZI)*, *Modified China Z Index (MCZI)*, *Percent of Normal Precipitation Index (PNPI)*,

Deciles Index (DI), the Z-score Index (ZSI), Effective Drought Index (EDI), and Standardized Precipitation Index (SPI) menyatakan indeks *China Z Index (CZI)* menunjukkan kecocokan yang lebih baik dibandingkan indeks yang lainnya, meski hasil dari indeks *China Z Index (CZI), Standardized Precipitation Index (SPI), the Z-score Index (ZSI)* menunjukkan kinerja yang sesuai (Mahmoudi, Rigi, dan Miri Kamak 2019). Elhoussao melakukan penelitian di sungai Basin India dengan membandingkan indeks *Standardized Precipitation Index (SPI), Percent of Normal Index (PNI), Deciles Index (DI), China Z Index (CZI), Modified China Z Index (MCZI), Z-score Index (ZSI), Rainfall Anomaly Index (RAI), Reconnaissance Drought Index (RDI), Precipitation deciles (PD)* menyimpulkan indeks *Z-score Index (ZSI) dan Deciles Index (DI)* menunjukkan hasil yang lebih dalam memprediksi kekeringan pada lokasi penelitian (Elhoussaoui, Zaagane, dan Benaabidate 2021). Peneliti Shahabfar mengatakan bahwa *Z-score (ZSI), Standardized Precipitation Index (SPI), China Z Index (CZI), Modified China Z Index (MCZI), The Percent of Normal (PN), dan Aridity Index of E. de Martonne (I)*, menyatakan bahwa *CZI* menunjukkan performa yang baik dalam mendeteksi dan mengukur kekeringan (Shahabfar dan Eitzinger 2013). Wu, peneliti asal China juga menyebutkan bahwa *Standardized Precipitation Index (SPI), China Z Index (CZI), dan Z-Score Index (ZSI)* adalah metode yang baik untuk mendeteksi dan memantau kekeringan di China (Wu dkk. 2001). Di Indonesia sendiri juga telah dilakukan beberapa penelitian perbandingan kekeringan meteorologi, M. Dewita melakukan penelitian DAS Kadalpang, Kabupaten Pasuruan Jawa Timur dengan menggunakan indeks *China Z Index (CZI)* dan *Standardized Precipitation Index (SPI)*, menyatakan indeks *CZI* lebih peka terhadap kekeringan (Dewita, Harisuseno, dan Suhartanto 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan asesmen bencana kekeringan di daerah tropis menggunakan indek kekeringan *Standardized Precipitation Index (SPI)* dan *China Z Index (CZI)* dan asesmen dampaknya terhadap lahan terdampak kekeringan di Kabupaten Bondowoso yang belum pernah dilakukan.

2. METODE

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terdapat di DAS Sampean Baru Kabupaten Bondowoso Jawa Timur, diantara titik 9101390 – 9136137 mS hingga titik 132689 –



178063 mT pada zona 50S. Lokasi penelitian tersaji pada Gambar 1 (Jawab Margianti dkk., t.t.).

Gambar 1. Peta lokasi penelitian

B. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini meliputi 1) persiapan data hujan yang diperoleh dari *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA)*, 2) melakukan *Statistical Downscaling (SD)* pada data NOAA untuk perhitungan Jaringan Saraf Tiruan (JST) sebagai dasar melakukan pemodelan kekeringan, 3) menghitung indeks *China Z-Index (CZI)* dan *Standardized Precipitation Index (SPI)* berdasarkan data data hujan hasil pemodelan, 4) menilai keandalan model berdasarkan *R-square (R²)* dan *Root Mean Square Error (RMSE)*.

C. Pemodelan Curah Hujan

Curah hujan yang digunakan terdiri dari 20 data stasiun curah guna menilai kekeringan. Selain itu juga dibutuhkan data iklim keluaran atelit NOAA. Untuk variabel data NOAA yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Variabel Analisis Ulang NOAA

No	Deskripsi	Variabel
1	Relative humidity at 500 hPa geopotential height	rhum 500
2	Relative humidity at 850 hPa geopotential height	rhum 850
3	Specific humidity at 500 hPa geopotential height	shum 500
4	Specific humidity at 850 hPa geopotential height	shum 850
5	Precipitation water at the surface	prec_wtr
6	Zona velocity component at 500 hPa geopotential height	uwd 500
7	Zona velocity component at 850 hPa geopotential height	uwd 850

No	Deskripsi	Variabel
8	Meridional velocity component at 850 hPa geopotential height	vwd 850
9	Zona velocity component at the surface	Uwd
10	Meridional velocity component at surface	Vwd

D. Down Scaling

Terdapat 2 jenis metode *down scaling* yaitu *Dynamical Downscaling* (DD) dan *Statistical Downscaling* (SD). *Dynamical downscaling* membutuhkan biaya komputasi yang lebih tinggi dan sangat bergantung pada *boundary conditions* yang disediakan oleh model iklim global. Sedangkan *statistical downscaling* dapat menghasilkan deret waktu meteorologi skala lokal dengan melihat hubungan statistik yang sesuai dengan variabel prediktor. Metode ini lebih murah, mudah ditransfer, tidak menuntut banyak komputasi dan telah banyak digunakan dalam penilaian risiko atau ketidakpastian perubahan iklim (Wilby dan Dawson 2013). Penelitian ini menggunakan metode *statistical downscaling* (SD) untuk mengolah data iklim skala global menjadi skala local.

E. Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Artificial Neural Networks (ANN) atau Jaringan Saraf Tiruan (JST) adalah pengembangan dari hubungan empiris atau fungsi transfer SD antara variabel prediktor dan prediktan dengan metode regresi non-linear (Kenji Suzuki, t.t.).

Pada prosesnya, data akan diterima oleh bagian input neuron dan diberi bobot. Kemudian badan neuron buatan memproses data input melalui fungsi transfer. Hasil dari pemrosesan, ditampilkan pada bagian output neuron (Kenji Suzuki, t.t.).

Hasil model JST ditentukan oleh 3 hal, yaitu: pola hubungan antar neuron (arsitektur jaringan), metode untuk menentukan bobot penghubung (metode Training), dan fungsi aktivasi (Ratih, Halik, dan Wiyono 2021).

F. Metode China Z-Index (CZI)

Metode perhitungan *China Z-Index* (CZI) dikembangkan dan digunakan pertama kali pada tahun 1955 oleh *National Climate of China* (NCC). Perhitungan metode ini lebih mudah digunakan daripada metode perhitungan *Standardized Precipitation Index* (SPI) dalam penerapan bahkan

untuk data curah hujan yang tidak lengkap [(Salehnia dkk. 2017; Wu dkk. 2001)]. Skala waktu pada CZI dapat dihitung dengan skala waktu 1, 2, 3,.....72 (“WMO, Handbook of Drought Indicators and Indices. WMO, 2016,” t.t.).

Perhitungan CZI dihitung menggunakan persamaan berikut [(Salehnia dkk. 2017; Jain dkk. 2015)]:

$$Z_{ij} = \frac{6}{c_{st}} \left(\frac{c_{si}}{2} \varphi_{ij} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{c_{st}} + \frac{c_{st}}{6} \tag{1}$$

Metode CZI yang digunakan oleh *National Climate of China* (NCC), parameter *i* tidak digunakan karena nilai *Z* hanya menghitung skala waktu 1 bulan untuk dihitung. Perhitungan skala waktu CZI dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^3}{c_{st}} \tag{2}$$

$$\varphi_i = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{\sigma_i} \tag{3}$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2} \tag{4}$$

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \tag{5}$$

Dengan:

- Z_{ij} = CZI
- i = skala waktu (1, 3, 6, ..., 72 bulan)
- j = bulan saat ini
- C_{si} = koefisien *skewness*
- n = total jumlah bulan yang direkam
- φ_i = variasi standar *Z-Score*
- X_{ij} = presipitasi (j) / curah hujan bulan periode(i)

G. Metode Standardized Precipitation Index (SPI)

Metode perhitungan *Standardized Precipitation Index* (SPI) hasil dari penelitian Mc. Kee et al pada tahun 1992 dilakukan di *Colorado State University, United States* (Mckee, Doesken, dan Kleist 1993). Pada tahun 2009, *World Meteorological Organization* (WMO) merekomendasikan SPI sebagai indeks kekeringan meteorologi utama untuk memprediksi dan memantau kekeringan. Hasil perhitungan indeks SPI dapat digunakan untuk peringatan dini dan memantau bencana kekeringan (“WMO, Handbook of Drought Indicators and Indices. WMO, 2016,” t.t.). SPI dapat digunakan berbagai sekala periode 1 – 48 bulan dan untuk mendapatkan hasil maksimal setidaknya diperlukan 30 tahun data (Bonaccorso dkk. 2003).

Perhitungan SPI diawali mengubah data hujan ke distribusi Gamma menggunakan persamaan berikut (Karavitis dkk. 2011):

$$G_{(x)} = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t/\beta} dt \quad (6)$$

Nilai β dan α diestimasi pada setiap stasiun hujan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\alpha = \frac{\bar{x}^2}{s^2} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (8)$$

Fungsi gamma tidak terdefinikasikan untuk $x = 0$, sehingga untuk curah hujan bernilai 0 menggunakan persamaan:

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (9)$$

Dengan q adalah jumlah data hujan dibagi jumlah data (n). Nilai SPI merupakan dari distribusi Gamma curah hujan menjadi distribusi normal dengan persamaan berikut:

$$Z = \text{SPI} = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + c_3 t^3} \right) \text{ untuk } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (10)$$

$$Z = \text{SPI} = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + c_3 t^3} \right) \text{ untuk } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (11)$$

Dimana:

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \text{ untuk } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \text{ untuk } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (13)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} c_0 &= 2,515517 & d_1 &= 1,432788 \\ c_1 &= 0,802853 & d_2 &= 1,432788 \\ c_2 &= 0,010328 & d_3 &= 1,432788 \end{aligned}$$

Tabel 2. Klasifikasi Nilai Indeks CZI dan SPI

Nilai CZI	Nilai SPI	Kondisi
≥ 2	≥ 2	Ekstrim Basah
1,5 s/d 1,99	1,5 s/d 1,99	Sangat Basah
1,0 s/d 1,49	1,0 s/d 1,49	Basah Sedang
-0,99 s/d 0,99	-0,99 s/d 0,99	Mendekati Normal
-1,0 s/d -1,49	-1,0 s/d -1,49	Kekeringan Sedang

Nilai CZI	Nilai SPI	Kondisi
-1,5 s/d -1,99	-1,5 s/d -1,99	Kekeringan Parah
≤ -2	≤ -2	Kekeringan Ekstrim

Tabel 2 (Mckee, Doesken, dan Kleist 1993), merupakan klasifikasi nilai indeks CZI dan SPI, keduanya memiliki bobot nilai yang sama sehingga dapat dilakukan perbandingan.

H. Keandalan Model

Keandalan model dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat hasil pemodelan yang dilakukan terhadap data observasi. Uji kenadalan menggunakan indicator koefisien determinasi *R-square* (R^2) dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Pemodelan dikatakan baik jika nilai *R-square* R^2 mendekati angka 1 dan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) mendekati 0. Kemudian dilanjut dengan perhitungan *Precent bias* (PBIAS) untuk mengetahui kecenderungan nilai rata-rata, dimana jika bernilai positif maka nilai perhitungan tersebut *underestimation* dan jika nilai pemodelan negative menunjukkan *overestimation*. Perhitungan diatas dapat dihitung dengan persamaan berikut (Mesgari dkk. 2022; D. N. Moriasi dkk. 2007):

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)(M_i - \bar{M}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M}_i)^2}} \right]^2 \quad (14)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2} \quad (15)$$

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - M_i) * 100}{\sum_{i=1}^N (O_i)} \right] \quad (16)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} O_i &= \text{Data Observasi} \\ M_i &= \text{Data Model} \\ N &= \text{Jumlah Data Pengujian} \end{aligned}$$

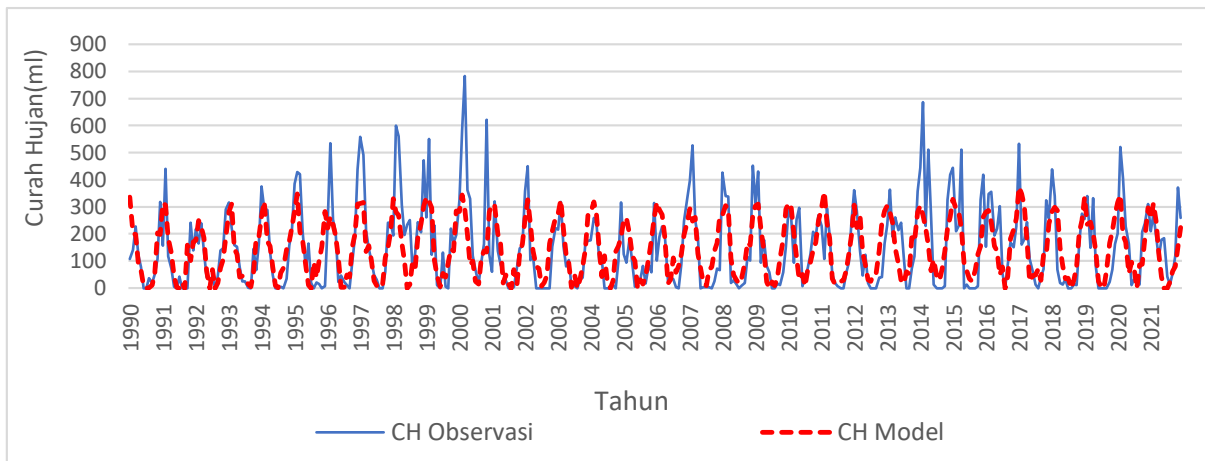
3. PEMBAHASAN

A. Pemodelan Curah Hujan

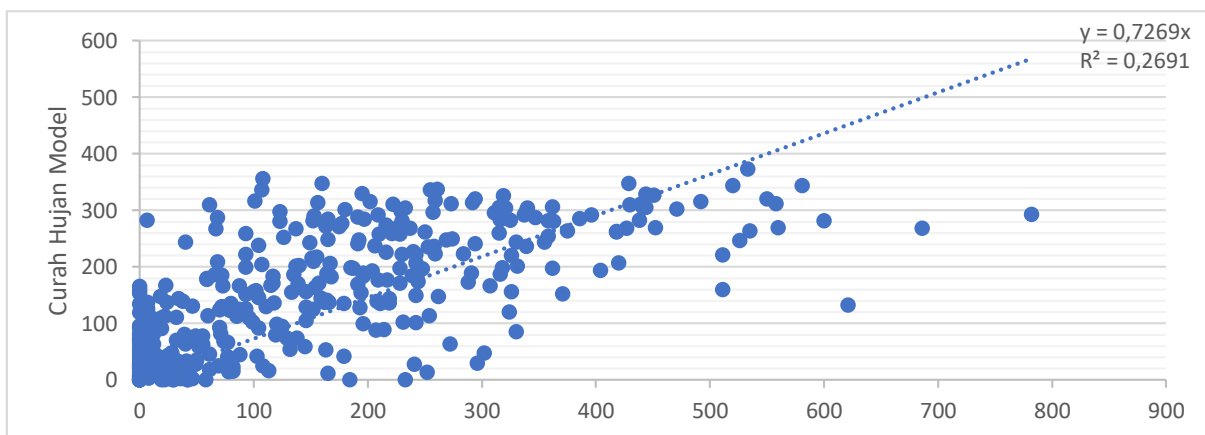
Pemodelan curah hujan menggunakan data curah hujan observasi dari stasiun curah hujan desa kejayan dan menggunakan variable input *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) meliputi Prec_wtr, Rhum 500, Rhum 850, Shum 500, Shum 850, Uwind permukaan, Uwind 850 serta Vwind permukaan dan Vwind 850 pada gambar 1 dan 2.

Gambar 1 dan 2 menunjukkan pemodelan dengan nilai R – squared (R^2) adalah 0,7448. Disimpulkan dari nilai R^2 terdapat keseuaian pola antara pemodelan curah hujan bulanan dengan hujan observasi STA Kejayan. Hasil dari pemodelan curah

hujan berbasis data NOAA menunjukkan hasil menyerupai dengan curah hujan observasi. Sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan di DAS Sampean Baru (Putra, Halik, dan Agung Wiyono 2021).



Gambar 2. Grafik CH Observasi Bulanan dengan model pada Sta Kejayan



Gambar 3. Nilai R^2 CH Bulanan Kejaya

Nilai R^2 dan RMSE pada keseluruhan stasiun tersaji pada Tabel 3.

Tabel 3. Performa Pemodelan Curah Hujan

No	Nama Stasiun Curah Hujan	Curah Hujan Bulanan		
		R^2	RMSE	PBIAS
1	Ancar	0,7121	0,0036	<i>underestimation</i>
2	Cerme	0,7846	0,0033	<i>overestimation</i>
3	Jeru	0,7496	0,0012	
4	Kejayan	0,7448	0,0021	<i>underestimation</i>
5	Klabang	0,7681	0,0012	<i>overestimation</i>

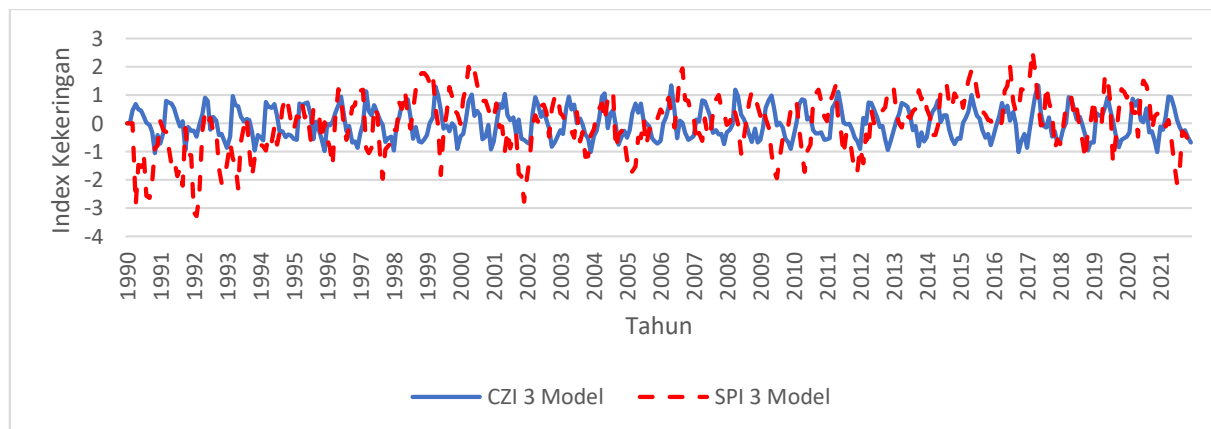
No	Nama Stasiun Curah Hujan	Curah Hujan Bulanan		
		R^2	RMSE	PBIAS
6	Kolpoh	0,7100	0,0014	<i>overestimation</i>
7	Maesan	0,752	0,0018	<i>overestimation</i>
8	Maskuning Wetan	0,8046	0,0025	<i>overestimation</i>
9	Pakistan	0,7719	0,0025	<i>underestimation</i>
10	Pinang Pait	0,7817	0,0031	<i>overestimation</i>
11	Prajeakan	0,7542	0,0031	<i>overestimation</i>

No	Nama Stasiun Curah Hujan	Curah Hujan Bulanan		
		R ²	RMSE	PBIAS
12	Sumber Dumpyong	0,7842	0,0006	<i>overesti mation</i>
13	Sumber Gading	0,7824	0,0027	<i>overesti mation</i>
14	Silolembu	0,7867	0,0012	<i>overesti mation</i>
15	Taal	0,7135	0,0004	<i>overesti mation</i>
16	Talep	0,7017	0,0029	<i>underest imation</i>
17	Tlogosari	0,7838	0,0024	<i>underest imation</i>
18	Wonosari I	0,7993	0,0025	<i>overesti mation</i>
19	Wonosari II	0,748	0,0009	<i>overesti mation</i>
20	Wringin	0,7518	0,0018	<i>overesti mation</i>

Dari Tabel 3 didapat pemodelan curah hujan bulanan dengan nilai terbaik R² 0,8046 dan RMSE 0,00247.

B. Perbandingan CH Model metode CZI dan SPI

Perbandingan hasil metode CZI dan SPI pada stasiun hujan Kejayan dilakukan untuk mengetahui hasil perhitungan indeks dari kedua metode tersebut sehingga dapat diketahui metode mana yang sesuai untuk diterapkan di DAS Sampean Baru. Perbandingan kedua metode ini menggunakan pengulangan kala waktu bulan dari 3 bulan, 6 bulan, dan 12 bulan. Hasil dari perbandingan kedua metode ditunjukkan pada gambar 3, 4, dan 5.



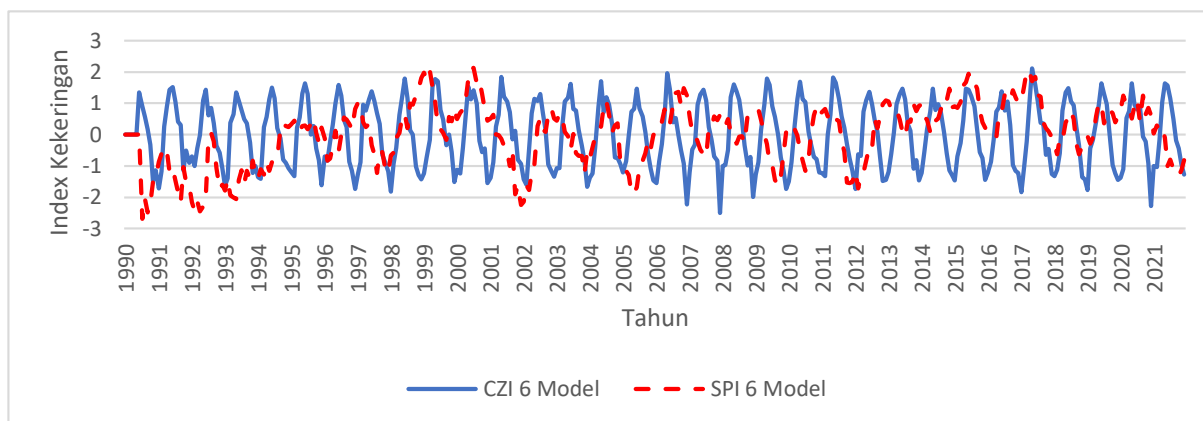
Gambar 4. Grafik CZI 3 dan SPI 3 STA Kejayan

Gambar 3 dapat diketahui pada pemodelan metode CZI kala waktu 3 bulan, terjadi kekeringan pada tahun 1996, 1997, 1999, 2000, 2003, 2011, 2012, 2016, 2018, dan 2020. Pada pemodelan SPI kala waktu 3 bulan, diketahui terjadi kekeringan sedang pada tahun 1990, 1991, 1992, 1993, 1996, 1997, 1999, 2003, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011, 2021, 2018, 2019, dan 2021.

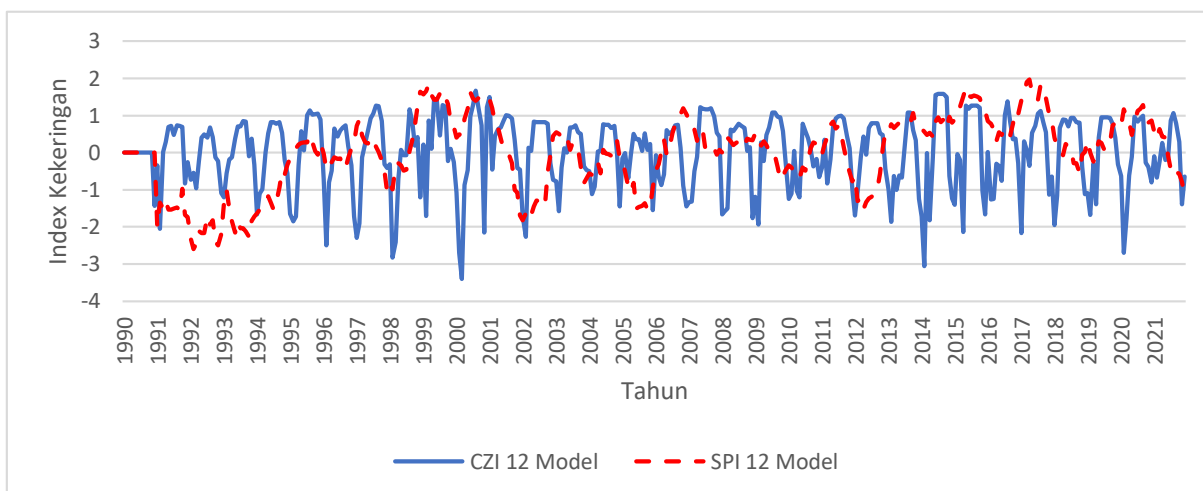
Gambar 4 dapat diketahui pada pemodelan metode CZI kala waktu 6 bulan, terjadi kekeringan ekstrim pada tahun 1990, 1992, 1994, 1995, 1997, 1999, 2000, 20004, 2005, 2007, 2008, 2010, 1012, ekstrim pada tahun 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 1992, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2010,

2012, 2014, 2016, 2018, 2020, dan 2021. Pada pemodelan SPI kala waktu 12 bulan, diketahui terjadi sedang pada tahun 1990, 1992, 1993, 1994, 1997, 2000, 2001, 2004, 2005, 2007, 2009, 2010, 2012, 2018, dan 2021.

Gambar 5 dapat diketahui pada pemodelan metode CZI kala waktu 12 bulan, terjadi kekeringan ekstrim pada tahun 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 1992, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020, dan 2021. Pada pemodelan SPI kala waktu 12 bulan, diketahui terjadi kekeringan sedang pada tahun 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1997, 2001, 2005, 2012, dan 2021.



Gambar 5. Grafik CZI 6 dan SPI 6 STA Kejayan



Gambar 6. Grafik CZI 12 dan SPI 12 STA Kejayan

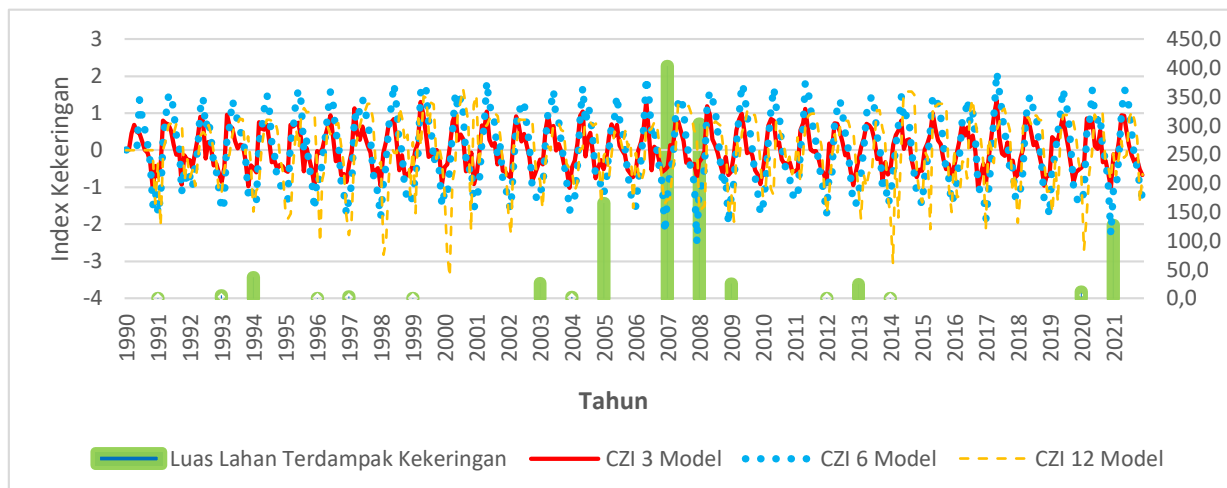
C. Uji Kesesuaian Hasil Analisis Indeks Kekeringan

Hasil dari nilai pemodelan membutuhkan penilaian terhadap kesesuaian dengan kejadian yang terjadi di lapangan. Kesesuaian didapat dengan membandingkan hasil analisis terhadap data luasan lahan pertanian terdampak kekeringan dari tahun 1990–2021. Pengujian penyesuaian dilakukan terhadap kedua indeks CZI dan SPI, dengan kala pengulangan waktu 3 bulan, 6 bulan, dan 12 bulan. Penilaian kesesuaian ditampilkan pada gambar 6 dan 7.

Hasil uji kesesuaian analisis indeks kekeringan CZI terhadap data lahan pertanian terdampak kekeringan didapat per 3 periode, kekeringan terjadi pada tahun 1996, 1997, 1999, 2000, 2003, 2011, 2012, 2016, 2018, dan 2020.

Hasil per 6 CZI didapat kekeringan terjadi pada tahun 1990, 1992, 1994, 1995, 1997, 1999, 2000, 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2012, 2014, 2017, 2018, 2020, dan 2021.

Hasil per 12 CZI didapat kekeringan terjadi pada tahun 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020, dan 2021. Nilai indeks kekeringan CZI pada setiap periode dapat dilihat pada table 4.

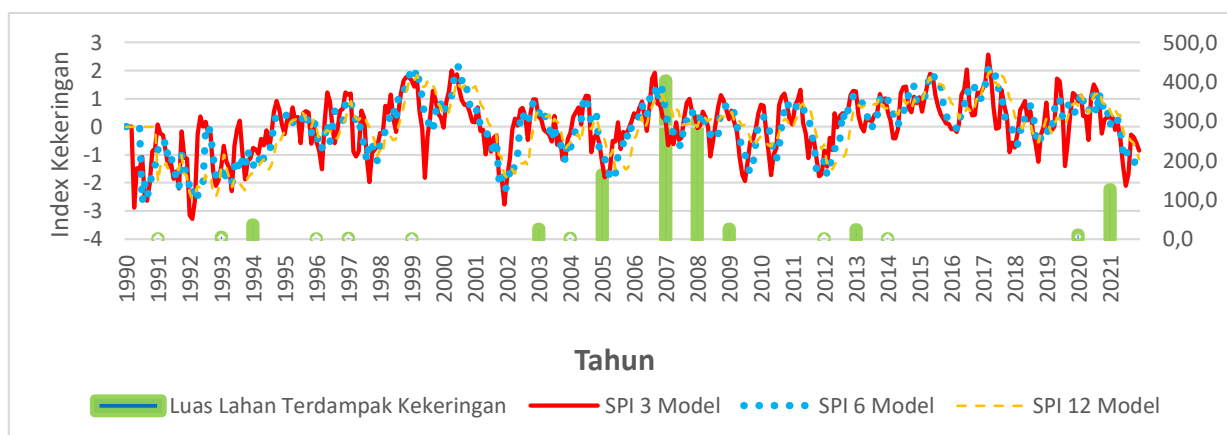


Gambar 7. Uji kesesuaian Hasil Analisis Indeks Kekeringan CZI STA Kejayan

Tabel 4. Indeks Minimum SPI STA Kejayan

No	Tahun	Luas Lahan Terdampak Kekeringan (Ha)	CZI		
			3	6	12
1	1990	0.0	-1.06	-1.48	-1.43
2	1991	1.0	-0.94	-1.72	-2.04
3	1992	0.0	-0.47	-0.58	-0.96
4	1993	5.0	-0.97	-1.00	-1.20
5	1994	36.6	-0.60	-1.41	-1.66
6	1995	0.0	-0.98	-1.32	-1.84
7	1996	0.3	-0.84	-1.74	-2.49
8	1997	3.0	-0.37	-1.27	-2.29
9	1998	0.0	-0.95	-1.82	-2.40
10	1999	0.3	-0.91	-1.51	-1.70
11	2000	0.0	-0.57	-1.55	-3.40
12	2001	0.0	-0.65	-0.93	-0.45
13	2002	0.0	-0.83	-1.59	-2.27
14	2003	26.2	-1.01	-1.67	-1.57
15	2004	2.7	-0.76	-1.36	-1.45
16	2005	165	-0.72	-1.46	-1.55

No	Tahun	Luas Lahan Terdampak Kekeringan (Ha)	CZI		
			3	6	12
17	2006	0.0	-0.62	-1.53	-1.44
18	2007	403.9	-0.73	-2.50	-1.23
19	2008	303	-0.67	-2.42	-1.76
20	2009	25.5	-0.92	-1.72	-1.93
21	2010	0.0	-0.59	-1.49	-1.24
22	2011	0.0	-0.65	-1.31	-0.83
23	2012	0.7	-0.94	-1.73	-1.69
24	2013	24.3	-0.81	-1.46	-1.86
25	2014	0.5	-0.73	-1.29	-3.05
26	2015	0.0	-0.77	-1.46	-2.13
27	2016	0.0	-1.01	-1.22	-1.26
28	2017	0.0	-0.73	-1.84	-2.16
29	2018	0.0	-0.96	-1.42	-1.95
30	2019	0.0	-0.85	-1.77	-1.67
31	2020	11.2	-1.01	-1.27	-2.70
32	2021	127	-0.67	-2.26	-1.39



Gambar 8. Uji kesesuaian Hasil Analisis Indeks Kekeringan SPI STA Kejayan

Hasil uji kesesuaian analisis indeks kekeringan SPI terhadap data lahan pertanian terdampak kekeringan didapat per 3 periode, kekeringan terjadi pada tahun 1990, 1991, 1992, 1993, 1996, 1997, 1999, 2003, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011, 2021, 2018, 2019, dan 2021.

Hasil per 6 SPI didapat kekeringan terjadi pada tahun 1990, 1992, 1993, 1994, 1997, 2000, 2001, 2004, 2005, 2007, 2009, 2010, 2012, 2018, dan 2021.

Hasil per 12 SPI didapat kekeringan terjadi pada tahun 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 1992, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020, dan 2021. Nilai indeks kekeringan SPI pada setiap periode dapat dilihat pada table 5.

Tabel 5. Indeks Minimum SPI STA Kejayan

No	Tahun	Luas Lahan Terdampak Kekeringan (Ha)	SPI		
			3	6	12
1	1990	0.0	-2.89	-2.68	-
2	1991	1.0	-2.20	-2.16	-1.73
3	1992	0.0	-328	-245	-259
4	1993	5.0	-1.46	-2.06	-2.27
5	1994	36.6	-0.96	-1.27	-1.64
6	1995	0.0	-0.61	-0.25	-0.15
7	1996	0.3	-0.87	-0.84	-0.45
8	1997	3.0	-1.97	-1.22	-1.06
9	1998	0.0	-0.24	-0.66	-0.99
10	1999	0.3	-1.82	-0.16	-
11	2000	0.0	-0.03	-	-
12	2001	0.0	-2.77	-2.25	-1.69
13	2002	0.0	-1.84	-2.14	-1.82
14	2003	26.2	-1.18	-1.24	-0.81
15	2004	2.7	-0.91	-0.86	-0.56
16	2005	165	-1.80	-1.89	-1.53
17	2006	0.0	-0.15	-	-0.47
18	2007	403.9	-0.67	-0.71	-0.05
19	2008	303	-1.07	-0.29	-
20	2009	25.5	-1.94	-1.64	-0.73
21	2010	0.0	-1.72	-1.16	-0.69
22	2011	0.0	-1.77	-1.55	-0.78
23	2012	0.7	-1.42	-1.72	-1.52
24	2013	24.3	-0.16	-0.07	-
25	2014	0.5	-0.42	-	-
26	2015	0.0	-	-	-
27	2016	0.0	-0.18	-0.06	-
28	2017	0.0	-0.07	-	-
29	2018	0.0	-1.26	-0.62	-0.55
30	2019	0.0	-1.40	-0.29	-0.24
31	2020	11.2	-0.48	-	-
32	2021	127	-2.11	-1.31	-1.16

Pada table 4 dan 5 menunjukkan pada tahun 2007, 2008, dan 2021 terjadi kekeringan ekstrim yang mengakibatkan lahan pertanian gagal panen dengan luas terdampak masing-masing tahun seluas 403.9 Ha, 303 Ha, dan 127 Ha.

Berdasarkan hasil analisis dari metode CZI dan SPI skala waktu (3, 6, 12) dapat dinyatakan bahwa metode CZI 6 merupakan metode yang paling tepat digunakan untuk menilai tingkat kekeringan di Kabupaten Bondowoso. Hasil analisis keringan metode CZI 6 pada tahun 2007, 2008, dan 2021 menunjukkan nilai indeks kekeringan ekstrim yang berdampak pada kegagalan panen lahan pertanian .

Hasil penelitian ini memberikan kesesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan M. Dewita (Dewita, Harisuseno, dan Suhartanto 2022) terkait indeks kekeringan CZI yang lebih sesuai jika dibandingkan dengan SPI. Metode CZI menunjukkan indeks kekeringan yang sesuai dengan pola ENSO menggunakan data pengamatan SOI atau indek el-nino.

Sementara itu H. Wu (Wu dkk. 2001), melakukan penelitian mengenai evaluasi indeks kekeringan CZI terhadap SPI di daerah beriklim subtropis (4 musim) di Tiongkok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CZI memiliki akurasi yang lebih baik jika dibandingkan metode SPI. Metode CZI lebih responsive terhadap devisit curah hujan. Penelitian ini menunjukkan mendukung dengan hasil penelitian Wu, dimana pada daerah beriklim tropis, nilai minimum indeks CZI jauh lebih rendah dibandingkan SPI dengan kategori kekeringan ekstrim.

4. KESIMPUIAN

Pemodelan curah hujan bulanan menggunakan data iklim global dari satelit NOAA memberikan hasil yang memuaskan. Ditunjukan dari hasil keandalan model yang sangat baik dengan nilai R² antara 0.70 sampai 0.80 dan nilai RMSE 0.036 sampai 0.011. Pemodelan hujan dengan hasil data iklim global (NOAA) menghasilkan dinamika perubahan hujan yang mendekati kondisi lapangan.

Dari hasil perbandingan yang dilakukan antara *China Z-Index (CZI)* dan *Standarized Precipitation Index (SPI)* terhadap data lahan pertanian terdampak kekeringan Kabupaten Bondowoso pada tahun 1990 – 2021, dapat disimpulkan bahwa kesamaan terhadap metode *China Z-Index (CZI)* lebih sesuai terhadap data lahan pertanian terdampak kekeringan terjadi pada per 6 periode. Pada periode tersebut terdapat kesesuaian data dimana pada tahun 2007, 2008, dan 2021 terjadi kekeringan ekstream yang mengakibatkan lahan terdampak sekitar 403.9 Ha, 303 Ha, 127 Ha.

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh pengambil keputusan untuk merancang strategi mitigasi dan antisipasi dampak bencana kekeringan di Kabupaten Bondowoso.

DAFTAR PUSTAKA

- Bonaccorso, B, I Bordi, A Cancelliere, G Rossi, dan A Sutera. 2003. "Spatial Variability of Drought: An Analysis of the SPI in Sicily." *Water Resources Management*. Vol. 17.
- D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, dan T. L. Veith. 2007. "Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations." *Transactions of the ASABE* 50 (3): 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>.
- Dewita, Monika, Donny Harisuseno, dan Ery Suhartanto. 2022. "Analisis Kekeringan Meteorologi dengan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) dan China Z Index (CZI) Di Sub DAS Kadalpang, Kabupaten Pasuruan." *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*. Vol. 2. <https://jtresda.ub.ac.id/>.
- Elhoussaoui, Abdelghani, Mansour Zaagane, dan Lahcen Benaabidate. 2021. "Comparison of various drought indices for assessing drought status of the Northern Mekerra watershed, Northwest of Algeria." *Arabian Journal of Geosciences* 14 (10). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07269-y>.
- Jain, Vinit K., Rajendra P. Pandey, Manoj K. Jain, dan Hi Ryong Byun. 2015. "Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin." *Weather and Climate Extremes* 8 (Juni):1–11. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.05.002>.
- Jawab Margianti, Penanggung ES, MM Suryadi Harmanto, Mmsi Agus Sumin, dan Mmsi Dewan. t.t. "DEWAN REDAKSI JURNAL ILMIAH DESAIN DAN KONSTRUKSI."
- Karavitis, Christos A., Stavros Alexandris, Demetrios E. Tsismelis, dan George Athanasopoulos. 2011. "Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece." *Water (Switzerland)* 3 (3): 787–805. <https://doi.org/10.3390/w3030787>.
- Kenji Suzuki. t.t. *Artificial Neural Networks - Methodological Advances and Biomedical Applications*.
- Mahmoudi, Peyman, Allahbakhsh Rigi, dan Mahdiye Miri Kamak. 2019. "Evaluating the sensitivity of precipitation-based drought indices to different lengths of record." *Journal of Hydrology* 579 (Desember). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124181>.
- Mckee, Thomas B, Nolan J Doesken, dan John Kleist. 1993. "THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES." *Eighth Conference on Applied Climatology*.
- Mesgari, Ebrahim, Seyed Asaad Hosseini, Leila Golzari Partoo, Maliheh Sadat Hemmesy, dan Mahmoud Houshyar. 2022. "Assessment of CMIP6 models' performances and projection of precipitation based on SSP scenarios over the MENAP region." *Journal of Water and Climate Change* 13 (10): 3607–19. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.195>.
- Putra, Victorious Setiaji, Gusfan Halik, dan Retno Utami Agung Wiyono. 2021. "Assessment of Drought Hazard: A Case Study in Sampean Baru Watershed, Bondowoso Regency." *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan* 23 (1): 56–63. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v23i1.28177>.
- Ratih, Masita, Gusfan Halik, dan Retno Utami Agung Wiyono. 2021. "The Assessment of Climate Change Impact on Meteorological Draught Susceptability on Sampean Watershed." *BERKALA SAINSTEK* 9 (4): 146. <https://doi.org/10.19184/bst.v9i4.25065>.
- Salehnia, Nasrin, Amin Alizadeh, Hossein Sanaeinejad, Mohammad Bannayan, Azar Zarrin, dan Gerrit Hoogenboom. 2017. "Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data." *Journal of Arid Land* 9 (6): 797–809. <https://doi.org/10.1007/s40333-017-0070-y>.
- Shahabfar, Alireza, dan Josef Eitzinger. 2013. "Spatio-temporal analysis of droughts in semi-arid regions by using meteorological drought indices." *Atmosphere* 4 (2): 94–112. <https://doi.org/10.3390/atmos4020094>.
- Wilby, R. L., dan C. W. Dawson. 2013. "The statistical downscaling model: Insights from one decade of application." *International Journal of Climatology* 33 (7): 1707–19. <https://doi.org/10.1002/joc.3544>.
- "WMO, Handbook of Drought Indicators and Indices. WMO, 2016." t.t.
- Wu, Hong, Michael J. Hayes, Albert Weiss, dan Qi Hu. 2001. "An evolution of the standardized precipitation index, the China-Z index and the statistical Z-score." *International Journal of Climatology* 21 (6): 745–58. <https://doi.org/10.1002/joc.658>.