

ANALISIS PERBANDINGAN INDEKS KEKERINGAN METEOROLOGIS DI DAS SANGATTA KABUPATEN KUTAI TIMUR

(*Comparison Analysis of Meteorological Drought Indices
in Sangatta Watershed East Kutai Regency*)

Joko Suryanto¹, Amprin¹, Joko Krisbiyantoro¹, Yosep Palinggi²

¹Program Studi Teknik Pertanian, Sekolah Tinggi Pertanian Kutai Timur, Indonesia

²Environmental Department, PT. Kaltim Prima Coal, Indonesia

E-mail: jokosuryanto@stiperkutim.ac.id

ABSTRAK

Kesiapan dan perencanaan penanggulangan bencana kekeringan dapat dilakukan dengan memantau kekeringan menggunakan indeks kekeringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi indeks kekeringan *Standardized Precipitation Index* (SPI), *China Z Index* (CZI), *Modified China Z Index* (MCZI), *Z Score Index* (ZSI) dengan membandingkan dengan indeks kekeringan *Effective Drought Index* (EDI). Indeks kekeringan dihitung menggunakan data curah hujan bulanan meliputi 4 stasiun hujan yang berada di wilayah DAS Sangatta periode 2012 - 2022. Pengujian konsistensi data curah hujan menggunakan metode kurva massa ganda, sedangkan pengujian homogenitas data menggunakan uji Buishand. Indeks kekeringan SPI, CZI, MCZI, dan ZSI dihitung pada skala 1, 3, 6 dan 12 bulan, sedangkan indeks EDI dihitung pada skala bulanan. Evaluasi indeks kekeringan dilakukan dengan membandingkan nilai indeks kekeringan dan kategori kekeringan dengan nilai indeks dan kategori kekeringan EDI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks SPI mempunyai korelasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan indeks lainnya dengan nilai rata-rata 0,79, dan nilai tertinggi pada SPI-6 sebesar 0,94. Semua indeks kekeringan pada skala waktu 1 bulan diperoleh nilai NSE < 0,50 yang masuk ke dalam kategori tidak layak. Indeks kekeringan SPI-6 mempunyai nilai kesesuaian kategori kekeringan tertinggi dengan indeks EDI yaitu 74,6%. Indeks kekekeringan SPI-6 disarankan digunakan untuk pemantauan kekeringan di DAS Sangatta karena memberikan akurasi status kekeringan yang paling akurat.

Kata kunci - *China Z Index (CZI); DAS Sangatta; Modified China Z Index (MCSI); Standardized Precipitation Index (SPI); Z Score Index (ZSI)*

ABSTRACT

The preparedness and planning of drought can be done by monitoring drought using the drought index. This research aims to evaluate the drought index *Standardized Precipitation Index* (SPI), *China Z Index* (CZI), *Modified China Z Index* (MCZI), and *Z Score Index* (ZSI) by comparing it with the *Effective Drought Index* (EDI). The drought indices are calculated using monthly rainfall data covering 4 rain gauges in the Sangatta watershed for the period 2012 - 2022. The rainfall data consistency testing uses the double mass curve method, while data homogeneity testing uses the Buishand test. The SPI, CZI, MCZI, and ZSI drought indices are calculated on a 1, 3, 6, and 12-month scale, while the EDI index is calculated on a monthly scale. Evaluation of the drought index was carried out by comparing index values and drought categories with the EDI drought index and drought category. The results showed that the SPI index has a higher correlation coefficient with the EDI index compared to other indices, with an average value of 0,79, with the highest value of 0,94 on SPI-6. All drought indices on a 1-month time scale obtained NSE value < 0,50 which indicates a not satisfactory category. The highest level of similarity with the EDI index was obtained by the SPI-6 index with a similarity of 74,6%. The SPI-6 index is recommended to be used for monitoring drought in the Sangatta watershed because it provides the most accurate drought status.

Key words - *China Z Index (CZI); Modified China Z Index (MCSI); Sangatta watershed; Standardized Precipitation Index (SPI); Z Score Index (ZSI)*

PENDAHULUAN

Kekeringan adalah bencana alam yang disebabkan curah hujan yang lebih rendah dari kondisi normal, apabila berlangsung selama satu musim atau lebih sehingga curah hujan tidak dapat memenuhi kebutuhan manusia dan lingkungan (WMO, 2012), Kekeringan berlangsung perlahan, sulit dideteksi dan berdampak pada berbagai bidang di suatu wilayah (Morid et al., 2007). Berdasarkan sumber air yang dibutuhkan, kekeringan dapat dibedakan menjadi kekeringan meteorologis, pertanian, hidrologis, dan kekeringan sosial-ekonomi. Kekeringan meteorologis diartikan sebagai penurunan intensitas curah hujan yang berkepanjangan dari nilai rata-rata jangka panjang (Srinivas et al., 2022).

Kekeringan meteorologis sangat penting untuk pemantauan kekeringan dan pengurangan dampak kekeringan karena kekeringan jenis ini terjadi paling pertama sebelum kekeringan lainnya (Akşan & Bacanlı, 2021). Kesiapan dan mitigasi bencana kekeringan sangat bergantung pada informasi awal dan berakhirnya kekeringan, tingkat keparahan kekeringan dan lamanya kejadian kekeringan berlangsung yang diperoleh melalui pemantauan kekeringan. Kekeringan pada suatu wilayah dapat diidentifikasi menggunakan indeks kekeringan (Adisa et al., 2021). Berdasarkan penggunaan data input untuk menghitung indeks kekeringan, Akşan & Bacanlı, (2021) membagi indeks kekeringan meteorologis ke dalam empat metode, yaitu: i) berbasis data curah hujan (R), ii) berbasis data potensial evapotranspirasi (PET), iii) berbasis data temperatur dan potensial evapotranspirasi (T dan PET), iv) berbasis data curah hujan dan potensial evapotranspirasi (R dan PET). Indeks kekeringan yang termasuk berbasis data curah hujan diantaranya *China Z Index (CZI)*, *Effective Drought Index (EDI)*, *Standardized Precipitation Index (SPI)*, *Rainfall Anomaly Index (RAI)*, *Percent Normal Precipitation Index (PNPI)*, *Z Score Index (ZSI)*.

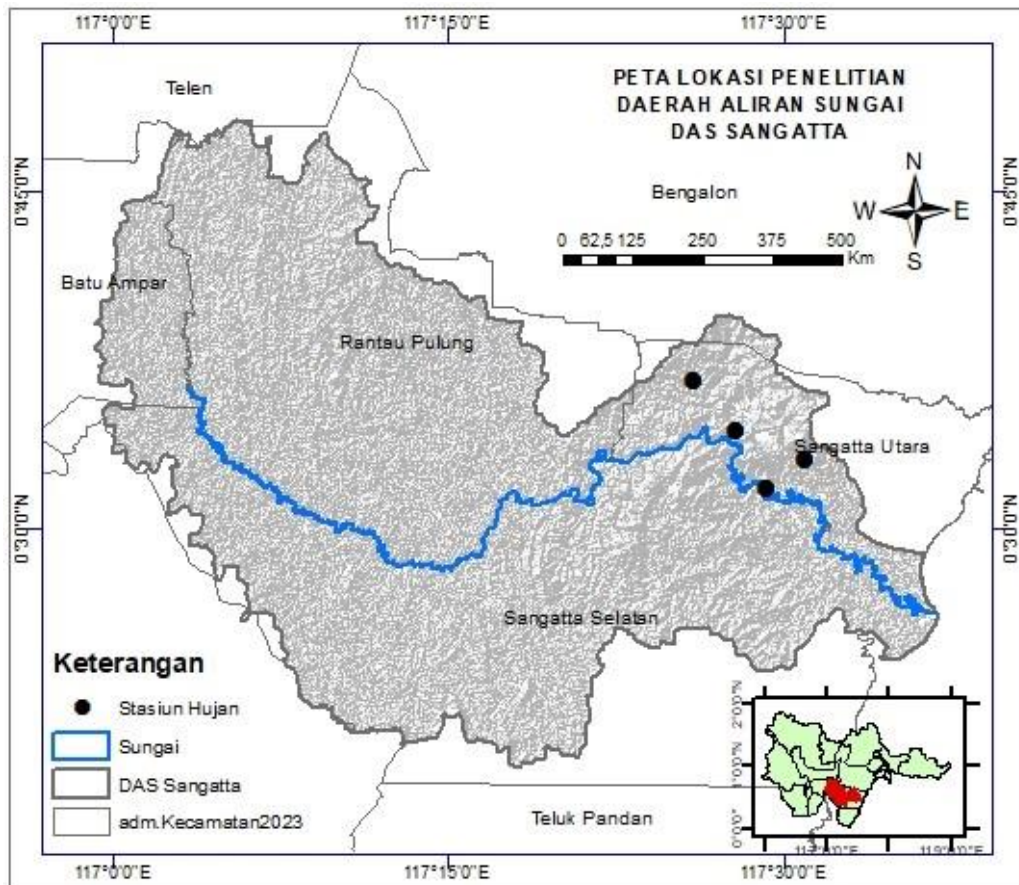
Ketepatan indeks kekeringan dalam memantau kekeringan sangat bergantung pada karakteristik iklim suatu wilayah (Adisa et al., 2021), sehingga World Meteorological Organization (WMO) merekomendasikan penggunaan indeks SPI sebagai indeks kekeringan meteorologis utama untuk identifikasi dan pemantauan kekeringan (Ma'ruf et al., 2023; Gebrechorkos et al., 2023). Disisi lain indeks EDI mempunyai kelebihan dibandingkan dengan indeks kekeringan lainnya karena indeks EDI tak terikat skala waktu (Wu et al., 2001; Kamruzzaman et al., 2019; Vergni et al., 2021). Hal ini mendorong beberapa peneliti untuk menggunakan indeks EDI sebagai *benchmark* dalam membandingkan indeks kekeringan. Karlina (2017) membandingkan kinerja indeks kekeringan SPI dengan EDI di Kabupaten Wonogiri, dan menyimpulkan bahwa indeks SPI-12 dapat mengidentifikasi status kekeringan dengan akurat. Herdita et al. (2023) membandingkan indeks kekeringan SPI dengan EDI di DAS Ngrowo, Tulungagung menyimpulkan bahwa indeks EDI lebih sensitif terhadap variasi *El-nino Southeren Oscillation (ENSO)* dibandingkan dengan indeks SPI. Hasil penelitian Mahmoudi et al., (2019) menunjukkan bahwa indeks MCZI mempunyai konsistensi paling rendah, sedangkan indeks SPI menunjukkan indeks paling konsisten terhadap indeks EDI.

Beberapa peneliti sebelumnya telah banyak menggunakan indeks kekeringan untuk memantau kekeringan pada skala DAS, namun analisis perbandingan dari beberapa indeks kekeringan masih sedikit dilakukan terutama pada DAS yang berada di wilayah iklim tropis basah dengan curah hujan tahunan yang cukup tinggi. Tujuan penelitian adalah membandingkan validasi indeks kekeringan SPI, CZI, MCZI, dan ZSI dengan indeks kekeringan EDI dan penentuan indeks kekeringan yang sesuai di DAS Sangatta. Validasi kekeringan meliputi perbandingan nilai indeks kekeringan pada skala 1, 3, 6, dan 12 bulan dan perbandingan karakteristik kekeringan meliputi kategori kekeringan dan frekuensi kekeringan.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di DAS Sangatta dengan luas 190.857 Ha yang terletak di Kabupaten Kutai Timur dan berada di antara 116° 59' 00'' BT – 117° 37' 00'' BT dan 0° 19' 00'' LU – 0° 48' 00'' LU. DAS Sangatta mempunyai variasi ketinggian antara 0 m hingga 331 m di atas permukaan laut (m dpl), secara administratif meliputi Kecamatan Sangatta Utara, Sangatta Selatan, Batu Ampar, Rantau Pulung, dan Kecamatan Bengalon (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian DAS Sangatta dan letak stasiun hujan.

B. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian berupa program komputer di antaranya Arc Map 10.8, SPI Generator v.1.7.6, Excel XLSTAT add in dan program Microsoft office. Bahan penelitian berupa data sekunder yaitu peta Daerah Aliran Sungai (DAS) Sangatta, data curah hujan bulanan stasiun PC, HS, D, dan stasiun hujan Melawan periode 2012 – 2022 (Tabel 1).

Tabel 1. Curah hujan rerata, minimum, dan tahunan stasiun hujan di wilayah penelitian.

Stasiun Hujan	Letak geografis		Elevasi (m. dpl)	Data Kosong (%)	Minimum (mm/bulan)	Rerata Bulanan (mm/bulan)	Rerata Tahunan (mm/tahun)
	BT (°)	LU (°)					
Pc	117,4864	0,5315	11	0,00	2	186	2229
Hs	117,5151	0,5519	26	0,00	0	178	2131
D	117,4628	0,5739	99	0,00	0	191	2286
Melawan	117,4322	0,6107	35	0,00	0	190	2279

C. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah membandingkan indeks kekeringan *Standardized Precipitation Index (SPI)*, *China Z-Index (CZI)*, *Modified China Z-Index (MCZI)*, *Z Score-Index (ZI)*, dan *Effective Drought Index (EDI)* berdasarkan data curah hujan bulanan pada rentang tahun 2012 – 2022. Tahapan penelitian yang dilakukan di antaranya adalah:

1. Menguji konsistensi dan homogeneitas data curah hujan.

Pengujian konsistensi data curah hujan bulanan menggunakan metode kurva massa ganda (Lufi et al., 2020), sedangkan uji homogenitas menggunakan metode uji Buishand (Buishand, 1982) dengan bantuan program XLSTAT add in.

2. Menghitung indeks kekeringan SPI, CZI, MCZI, ZI dan EDI.

Indeks kekeringan SPI, CZI, dan MCZI dihitung pada skala waktu 1, 3, 6, dan 12 bulan, dan indeks kekeringan metode EDI bulanan. Indeks EDI merupakan indeks kekeringan yang tak terikat

waktu, sehingga indeks kekeringan EDI bulanan dapat dibandingkan secara langsung dengan indeks kekeringan lainnya pada berbagai skala waktu (Dogan et al., 2012; Jain et al., 2015; Srinivas et al., 2022).

a) Standardized Precipitation Index (SPI)

Standardized Precipitation Index (SPI) digunakan untuk menentukan indeks kekeringan dengan menggunakan asumsi data curah hujan bulanan berdistribusi gamma, kemudian untuk memperoleh indeks kekeringan, dilakukan *invers* ke bentuk distribusi normal. Persamaan dalam menghitung indeks SPI yaitu (Gonçalves et al., 2023):

$$SPI = -\frac{t-C_0+C_1t+C_2t^2}{1+d_1t+d_2t^2+d_3t^3} \text{ jika } 0 < H(x) \leq 0.5 \dots\dots\dots (1)$$

$$SPI = \frac{t-C_0+C_1t+C_2t^2}{1+d_1t+d_2t^2+d_3t^3} \text{ jika } 0.5 < H(x) \leq 1 \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))2} \right]} \text{ untuk } 0 < H(x) \leq 0.5 \text{ dan } t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1-H(x))2} \right]} \text{ untuk } 0.5 < H(x) \leq 1,$$

H(x) = probabilitas kumulatif, Konstanta C₀ = 2.515517, C₁ = 0.802853, C₂ = 0.010328, d₁ = 1.432788, d₂ = 0.189269, dan d₃ = 0.001308.

Dalam penelitian ini indeks SPI dihitung dengan perangkat lunak komputer SPI Generator v.1.7.6 yang diunduh di *website* <https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>.

b) China Z-index (CZI) dan Modified China Z-index (MCZI)

China Z-index (CZI) menggunakan asumsi data curah hujan bulanan berdistribusi Pearson III. Indeks CZI dihitung menggunakan persamaan berikut (Shahabfar & Eitzinger, 2013):

$$CZI_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{6}{C_s} \right) \left(\frac{C_s}{6} \right) \dots\dots\dots (3)$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \times \sigma^3} \dots\dots\dots (4)$$

$$\varphi_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \dots\dots\dots (5)$$

dimana:

- C_s = koefisien skewness
- φ_i = standard deviasi
- x_i = curah hujan pada bulan ke i (mm)
- ̄x = curah hujan rata-rata (mm)
- n = banyaknya data curah hujan bulanan

Modified China Z-index (MCZI) dihitung dengan cara mengganti nilai rata-rata data curah hujan pada persamaan 4 dan 5 dengan nilai median data curah hujan bulanan. Penggunaan nilai median tersebut bertujuan agar nilai indeks MCZI mendekati nilai SPI (Wu et al., 2001).

c) Z score-index (ZSI)

Z score-index (ZSI) hanya menggunakan nilai rata-rata curah hujan periode pengamatan dan standar deviasinya. Metode ZSI tidak menggunakan asumsi data berdistribusi gamma maupun Pearson III. Indeks ZSI dihitung menggunakan persamaan berikut (Li et al., 2019; Noor et al., 2020):

$$ZSI = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

- ̄x = rata-rata data curah hujan bulanan (mm)
- σ = standard deviasi data curah hujan
- x_i = curah hujan pada bulan ke i (mm)

d) Effective Drought Index (EDI)

Effective Drought Index (EDI) bulanan merupakan penyesuaian indeks EDI pada skala harian dengan menghitung bobot curah hujan sebelumnya sebanyak 12 bulan (Hosseini et al., 2012). Indeks kekeringan EDI bulanan dihitung menggunakan persamaan berikut (Dogan et al., 2012; Jain et al., 2015):

$$EP_j = \sum_{m=1}^N [(\sum_{i=1}^m P_i)/m] \dots\dots\dots (7)$$

$$DEP_j = EP_j - MEP_j \dots\dots\dots (8)$$

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{i=1}^N (\frac{1}{i})} \dots\dots\dots (9)$$

$$EDI = PRN / \sigma_{PRN} \dots\dots\dots (10)$$

EP adalah hujan efektif bulanan pada bulan j, P_i adalah curah hujan m bulan sebelum bulan j, N adalah panjang penjumlahan curah hujan bulanan sebelumnya, Nilai N pada penelitian ini ditentukan sebanyak 12 bulan. Sebagai contoh jika N = 3, maka nilai EP = P₁ + (P₁+P₂)/2 + (P₁+P₂+P₃)/3. MEP_j adalah rata-rata EP untuk bulan j, DEP_j adalah selisih antara EP dengan nilai reratanya untuk bulan j dan σ_{PRN} adalah standar deviasi DEP pada bulan yang bersesuaian dengan nilai PRN.

D. Analisa Data

Analisa data dilakukan dengan melakukan validasi kontinu dan validasi kategorial, antara indeks kekeringan SPI, MCZI, CZI dan ZSI skala waktu 1, 3, 6, dan 12 bulan dengan indeks kekeringan EDI bulanan.

1. Validasi kontinu

Validasi kontinu dilakukan dengan membandingkan besaran indeks kekeringan dan menghitung parameter statistik koefisien korelasi Pearson (r) dan *Nash-Sutcliffe Coefficient of Efficiency* (NSE). Klasifikasi parameter statistik tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \dots\dots\dots (11)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x}))^2} \dots\dots\dots (12)$$

dimana:

x_i = nilai indeks kekeringan EDI

y_i = nilai indeks kekeringan metode lainnya (SPI, CZI, MCZI, ZSI)

Tabel 2. Tingkat hubungan antara dua variabel.

No	Korelasi (Sugiyono, 2013)	Kelas	NSE (Moriasi et al., 2015)	Kelas
1	0,80 – 1,00	Sangat kuat	0,80 – 1,00	Sangat baik
2	0,60 – 0,79	kuat	0,60 – 0,80	Baik
3	0,40 – 0,59	sedang	0,50 – 0,60	Cukup
4	0,20 – 0,39	lemah	NSE ≤ 0,50	Tidak layak
5	0,00 – 0,19	Tidak berkorelasi		

2. Validasi kategorial

Validasi kategorial dihitung berdasarkan presentase kategori kekeringan yang sama antara indeks kekeringan SPI, CZI, MCZI, ZS pada skala waktu 1, 3, 6 dan 12 bulan dengan indeks kekeringan EDI terhadap total panjang data pengamatan. Kriteria kategori kekeringan berdasarkan nilai indeks kekeringan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kategori kekeringan berdasarkan nilai indeks kekeringan metode SPI, ZSI, CZI, dan MCZI adalah sebagai berikut (Jain et al., 2015; Adisa et al., 2021):

No	Indeks SPI, ZSI, CZI, MCZI, EDI	Kelas	Simbol
1	$DI \geq 2,0$	Sangat basah	SB
2	1,5 – 1,99	Basah	B
3	1,0 – 1,45	Agak basah	AB
4	-0,99 – 0,99	Normal	N
5	-1,0 – -1,49	Agak kering	AK
6	-1,5 – -1,99	Kering	K
7	$DI \leq 2,0$	Sangat kering	SK

3. Frekuensi kekeringan

Frekuensi kekeringan merupakan persentase bulan kering yaitu bulan dengan nilai indeks kekeringan ≤ -1 dengan total panjang data pengamatan dalam satuan bulan (Tabassum & Krishna, 2022; Hasan et al., 2023).

$$F = \frac{n_m}{N_m} \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

dimana:

F = frekuensi kekeringan (%)

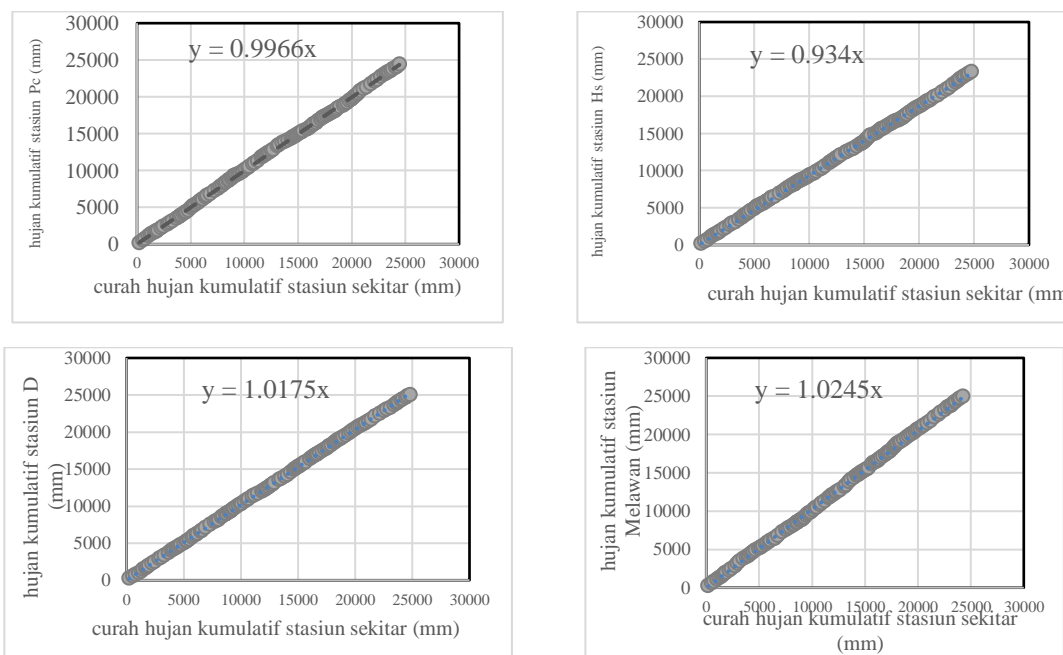
n_m = jumlah bulan mengalami kekeringan (bulan)

N_m = total periode bulan pengamatan (bulan)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Konsistensi dan Homogenitas Data Curah Hujan

Pengujian konsistensi dan homogenitas terhadap data curah hujan bulanan bertujuan untuk menguji kualitas data sebelum digunakan untuk analisis kekeringan meteorologis. Gambar 2 menunjukkan bahwa data curah hujan stasiun Pc, Hs, D, dan Melawan bersifat konsisten dengan sudut $\alpha = \text{arc tan}(y/x)$ masing-masing sebesar 44,9°, 43,0°, 45,5°, dan 45,7°. Data curah hujan konsisten apabila sudut yang terbentuk antara curah hujan kumulatif stasiun yang diuji dengan curah hujan kumulatif stasiun sekitarnya (sudut α) berada pada rentang 42° – 48° (Lufi et al., 2020).



Gambar 2. Kurva massa ganda stasiun Pc, Hs, D, dan Melawan.

Suatu data *series* akan bersifat homogen apabila selisih antara data ke-*i* dengan nilai rata-ratanya berada disekitar nilai 0, karena data ke-*i* tidak mengalami penyimpangan yang sistematis terhadap nilai rata-rata data (Sutikno & Nihayatin, 2013). Hasil uji homogenitas data curah hujan bulanan stasiun Pc, Hs, D, dan Melawan (Tabel 4) menunjukkan bahwa nilai uji signifikansi *p-value* lebih besar daripada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$, hal ini dapat diartikan bahwa tidak terdapat perubahan nilai rata-rata yang signifikan pada data curah hujan bulanan periode 2012 – 2022, maka data tersebut bersifat homogen. Pada rentang data 2012 – 2022, semua stasiun menunjukkan waktu penyimpangan maksimum data ke-*i* dengan nilai rata-rata yang ditunjukkan dengan nilai statistik Q terjadi pada bulan Oktober 2020, kecuali stasiun D yang terjadi pada bulan Juni 2015. Namun penyimpangan data tersebut tidak signifikan karena data curah hujan 4 stasiun tersebut bersifat homogen.

Tabel 4. Hasil uji homogenitas metode Buishand data curah hujan bulanan periode 2012 – 2022.

Stasiun Hujan	Q	t	p-value	kesimpulan
Pc	13,160	01/10/2020	0,125	Data homogen
Hs	13,218	01/10/2020	0,112	Data homogen
D	10,208	01/06/2015	0,351	Data homogen
Melawan	9,738	01/10/2020	0,394	Data homogen

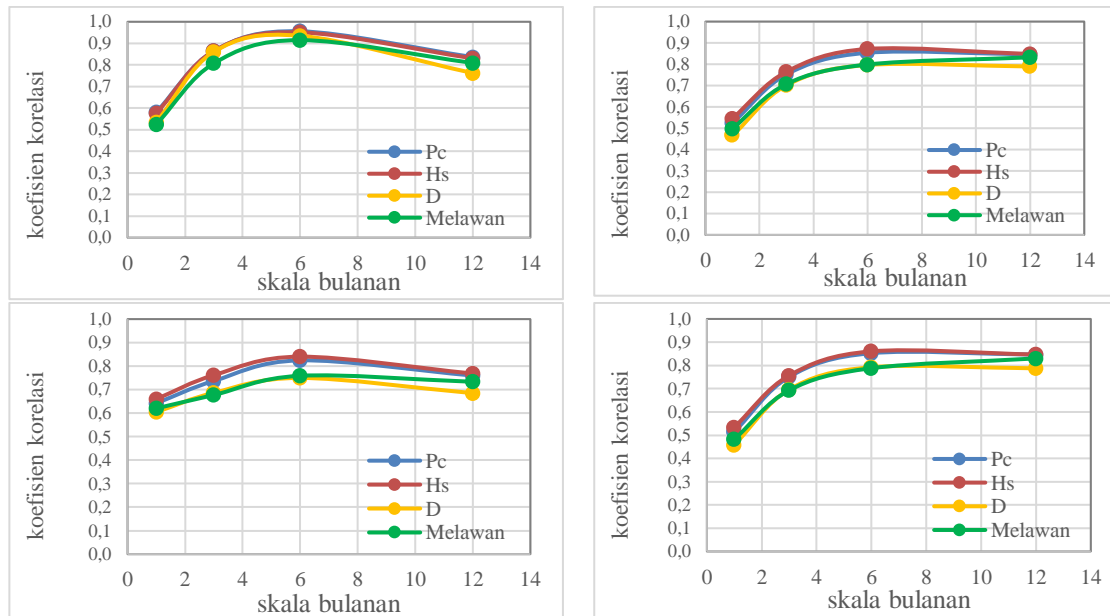
B. Perbandingan Indeks Kekeringan SPI, CSI, MCZI dan ZSI dengan EDI

Hasil validasi kontinu (Tabel 5) menunjukkan bahwa parameter statistik NSE pada semua indeks kekeringan skala waktu 1 bulan metode SPI, CSI, MCZI dan ZSI diperoleh lebih kecil 0,5 dengan kategori tidak layak. Hal ini disebabkan oleh indeks kekeringan skala 1 bulan sangat sensitif terhadap variasi curah hujan setiap bulannya (Djellouli et al., 2016; Karlina, 2017). Berdasarkan nilai NSE, maka indeks kekeringan SPI-1, CSI-1, MCZI-1 dan ZSI-1 tidak dapat menunjukkan status kekeringan secara akurat di DAS Sangatta. Nilai rata-rata NSE tertinggi terdapat pada indeks SPI-6 yaitu 0,88 menunjukkan bahwa indeks kekeringan skala 6 bulan lebih akurat dalam mengidentifikasi kekeringan di DAS Sangatta terutama indeks SPI-6.

Tabel 5. Parameter statistik r dan NSE indeks kekeringan pada skala waktu 1, 3, 6 dan 12 bulan.

Indeks	Skala bulan	Parameter statistik							
		Pc		Hs		D		Melawan	
		NSE	r	NSE	r	NSE	r	NSE	r
SPI	1	0,18	0,58	0,17	0,58	0,09	0,53	0,08	0,52
	3	0,73	0,86	0,73	0,87	0,72	0,86	0,62	0,81
	6	0,91	0,96	0,90	0,95	0,87	0,94	0,83	0,91
	12	0,67	0,84	0,66	0,83	0,53	0,76	0,62	0,81
CZI	1	0,06	0,52	0,09	0,55	-0,05	0,47	0,00	0,50
	3	0,51	0,75	0,53	0,77	0,42	0,70	0,43	0,71
	6	0,71	0,85	0,75	0,87	0,60	0,80	0,61	0,80
	12	0,69	0,85	0,70	0,85	0,58	0,79	0,66	0,83
MCZI	1	0,25	0,64	0,28	0,66	0,18	0,60	0,21	0,62
	3	0,47	0,74	0,49	0,76	0,39	0,69	0,34	0,68
	6	0,65	0,82	0,67	0,84	0,51	0,75	0,51	0,76
	12	0,49	0,76	0,53	0,77	0,37	0,69	0,47	0,73
ZSI	1	0,04	0,51	0,07	0,53	-0,06	0,46	-0,02	0,48
	3	0,50	0,75	0,52	0,76	0,41	0,70	0,40	0,69
	6	0,71	0,85	0,73	0,86	0,59	0,79	0,58	0,79
	12	0,69	0,85	0,69	0,85	0,58	0,79	0,66	0,83

Nilai koefisien korelasi pada skala 1, 3, 6, dan 12 bulan menunjukkan bahwa koefisien korelasi indeks kekeringan dengan EDI pada skala 1 bulan akan terus meningkat hingga skala 6 bulan kemudian kembali turun pada skala 12 bulan (Gambar 3). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Jain et al. (2015) dan Djellouli et al. (2016) bahwa koefisien korelasi akan meningkat pada indeks kekeringan durasi pendek (1-6 bulan) dan akan turun pada durasi panjang (12 bulan). Koefisien korelasi tertinggi pada indeks SPI, CZI, MCZI, dan ZSI diperoleh pada skala waktu 6 bulan, hal ini diduga karena pengaruh curah hujan monsoonal di DAS Sangatta akibat perbedaan tekanan udara benua Asia dan Australia yang menyebabkan perubahan musim setiap 6 bulan sekali (Tjasyono, 2014).



Gambar 3. Koefisien korelasi indeks kekeringan a) SPI, b) CZI, c) MCZI, d) ZSI dengan indeks kekeringan EDI pada stasiun hujan Pc, Hs, D, dan Melawan.

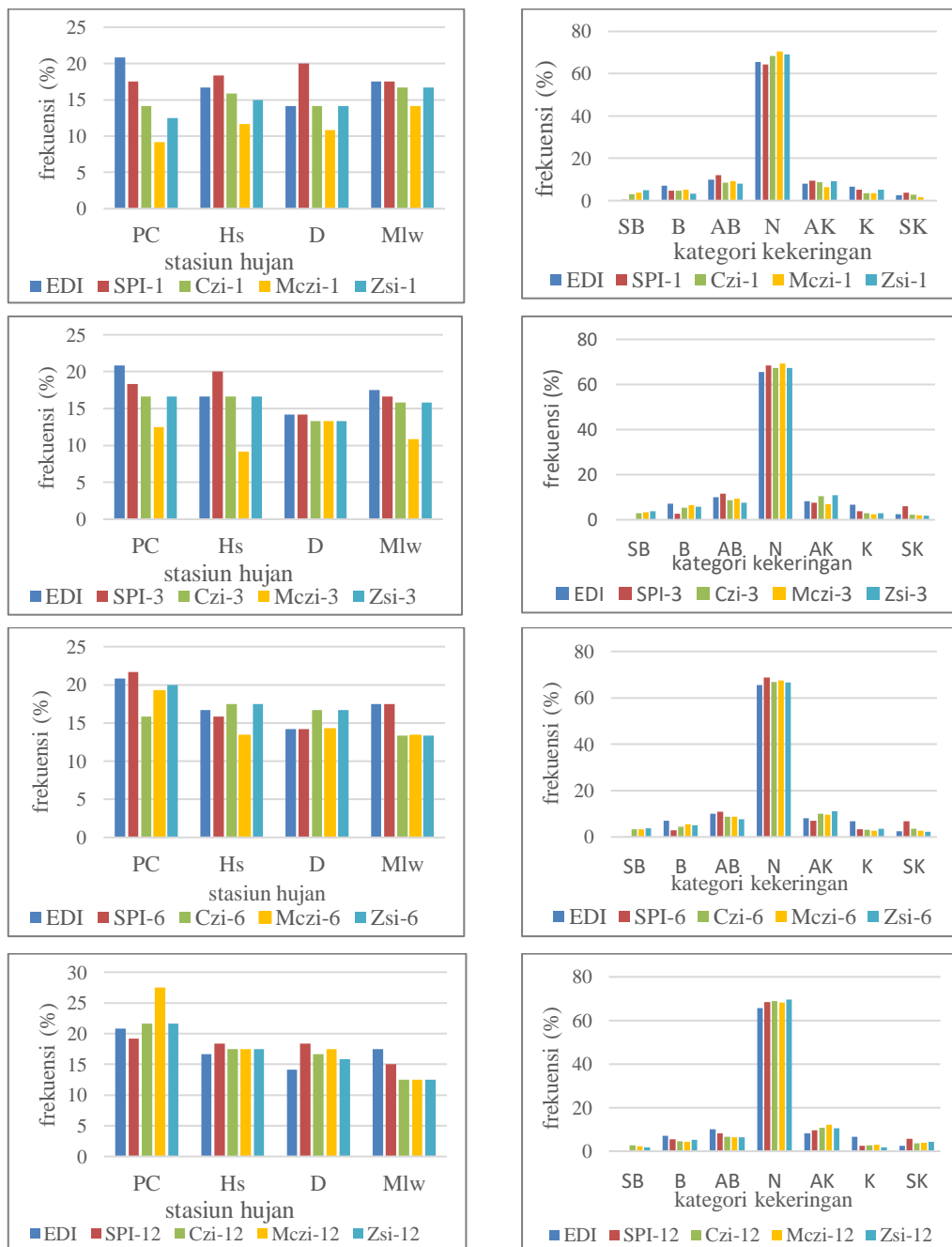
C. Perbandingan Kategori Kekeringan

Tingkat kesesuaian indeks SPI lebih tinggi dibandingkan indeks lainnya dengan rata-rata 67,3%, sedangkan terendah terdapat pada indeks MCZI sebesar 61,8% (Tabel 6). Indeks SPI mampu mengidentifikasi kategori kekeringan sangat kering dengan nilai kesesuaian antara 0,6 – 2,3%, sedangkan pada indeks CZI antara 0,2 – 1,7%, indeks MCZI mampu mengidentifikasi kategori sangat kering antara 0,0 – 1,0% dan indeks ZSI antara 0,6 – 1,0%. Pada kategori kekeringan kering, indeks CZI 2,5% lebih tinggi dibandingkan dengan indeks SPI pada skala waktu 6 bulan yaitu 1,7%. Pada kategori kekeringan agak kering, tingkat kesesuaian tertinggi terdapat pada indeks ZSI-6 yaitu sebesar 4,6%. Tingkat kesesuaian kategori kekeringan normal dan agak basah tertinggi terdapat pada SPI-6 yaitu sebesar 60% dan 4,6%, sedangkan kesesuaian indeks kekeringan kategori basah tertinggi terdapat pada SPI-6 dan SPI-12 dengan tingkat kesesuaian 2,7% dan 3,1%. Hal ini menunjukkan bahwa indeks SPI-6 mampu mengidentifikasi setiap kategori kekeringan lebih baik dibandingkan dengan indeks lainnya kecuali pada kategori kering dan agak kering.

Tabel 6. Kesamaan kategori kekeringan indeks kekeringan pada skala waktu 1, 3, 6 dan 12 bulan dengan EDI.

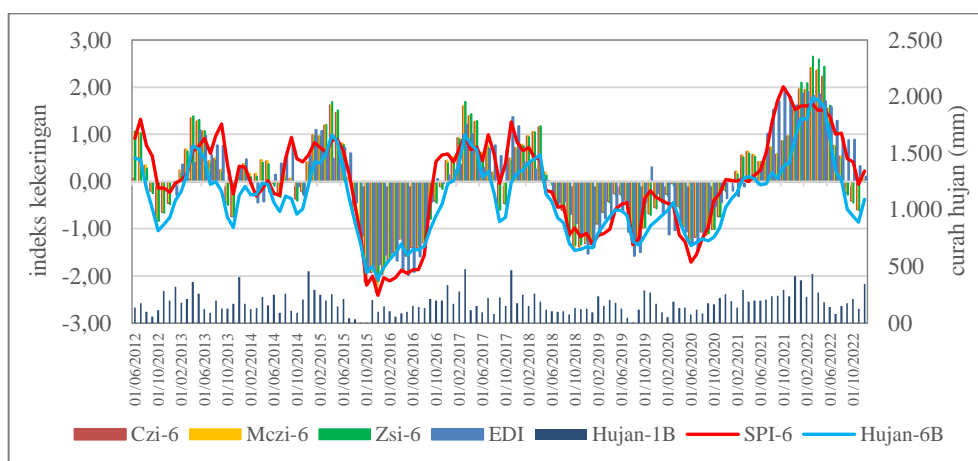
Indeks	Skala bulan	Kesesuaian kategori kekeringan (%)								Total	Rerata
		SB	B	AB	N	AK	K	SK			
SPI	1	0,0	0,6	2,3	49,8	2,5	2,1	0,6	57,9	67,3	
	3	0,0	1,7	4,0	59,0	3,5	2,3	2,3	72,7		
	6	0,0	2,7	4,6	60,0	3,3	1,7	2,3	74,6		
	12	0,0	3,1	2,3	54,8	2,7	0,6	0,6	64,2		
CZI	1	0,0	1,3	1,7	50,0	1,5	0,8	0,4	55,6	63,1	
	3	0,0	1,3	2,7	54,4	3,3	1,5	0,8	64,0		
	6	0,0	2,1	1,9	55,2	4,4	2,5	1,7	67,7		
	12	0,0	1,5	2,1	56,5	4,0	0,8	0,2	65,0		
MCZI	1	0,0	1,0	2,3	53,1	1,3	0,8	0,6	59,2	61,8	
	3	0,0	1,7	3,3	54,0	0,8	1,3	1,0	62,1		
	6	0,0	1,7	1,5	54,2	3,8	2,1	1,0	64,2		
	12	0,0	1,3	1,9	53,5	4,2	0,8	0,0	61,7		
ZSI	1	0,0	0,6	1,3	50,6	1,9	1,5	0,0	55,8	63,1	
	3	0,0	1,0	2,1	54,4	3,3	1,5	0,8	63,1		
	6	0,0	1,7	1,7	55,2	4,6	2,3	1,0	66,5		
	12	0,0	2,1	2,3	57,1	4,0	0,8	0,6	66,9		

Frekuensi kekeringan setiap stasiun hujan berdasarkan indeks kekeringan SPI, MCZI, ZCI dan ZSI pada skala waktu 1, 3, 6, dan 12 bulan ditampilkan pada Gambar 4. Selisih antara frekuensi kekeringan setiap indeks kekeringan dengan frekuensi kekeringan indeks EDI berada pada rentang 1,82 – 4,48%. Frekuensi kekeringan indeks SPI paling mendekati dengan frekuensi indeks EDI dengan selisih 1,82%, sedangkan indeks ZSI dengan selisih 2,1%, indeks CZI dengan selisih 2,3% dan tertinggi indeks MCZI dengan selisih 4,5%. Secara keseluruhan indeks SPI-6 menghasilkan frekuensi kekeringan yang sama dengan frekuensi kekeringan indeks EDI dengan selisih sebesar 0,04%, sedangkan selisih tertinggi terdapat pada indeks MCSI-1 sebesar 5,83%. Sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa indeks SPI-6 mampu mengidentifikasi banyaknya jumlah bulan yang mengalami kekeringan dengan hasil yang sama dengan indeks EDI. Hal ini juga menguatkan kesimpulan pada analisis sebelumnya bahwa indeks SPI-6 lebih akurat dalam mengidentifikasi status kekeringan di DAS Sangatta dibandingkan dengan indeks lainnya.



Gambar 4. Koefisien korelasi indeks kekeringan a) SPI, b) CZI, c) MCZI, d) ZSI dengan indeks kekeringan EDI pada stasiun hujan Pc, Hs, D, dan Melawan.

Perbandingan indeks kekeringan EDI, SPI, CZI, MCZI, dan ZSI skala waktu 6 bulan rentang waktu 2012 – 2022 diperlihatkan pada Gambar 5. Indeks kekeringan positif sangat sensitif terhadap curah hujan kumulatif 6 bulan, berkebalikan dengan indeks kekeringan negatif yang kurang sensitif terhadap curah hujan kumulatif 6 bulan. Nilai puncak indeks SPI-6, baik pada indeks negatif maupun indeks kekeringan positif selalu mendekati nilai puncak pada indeks EDI, sedangkan pada indeks CZI, MCZI dan ZSI cenderung lebih tinggi pada saat indeks bernilai positif dan cenderung lebih rendah pada saat indeks kekeringan bernilai negatif dibandingkan dengan indeks SPI. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Adnan et al. (2018) bahwa indeks ZSI lebih rendah pada periode kering dan lebih tinggi pada periode basah.



Gambar 5. Perbandingan indeks kekeringan SPI-6, CZI-6, Zsi-6, MCZI-6, EDI, hujan bulanan dan curah hujan kumulatif 6 bulan stasiun Pc.

Indeks EDI dan SPI mengidentifikasi kondisi basah maupun kering lebih cepat dibandingkan dengan indeks lainnya. Sebagai contoh pada periode Agustus – Desember 2021 indeks SPI dan EDI sudah menunjukkan kondisi basah, sedangkan indeks CZI, MCZI dan ZSI masih menunjukkan kondisi normal. Pada saat indeks kekeringan negatif, SPI mengidentifikasi kondisi kering hingga sangat kering lebih cepat dibandingkan indeks lainnya. Pada periode Januari – Maret 2016 indeks SPI mengidentifikasi kondisi kekeringan kategori sangat kering, sedangkan indeks lainnya mengidentifikasi kondisi kering. Hal ini terjadi pada periode Juni – Juli 2020, SPI mengidentifikasi kondisi kering, sedangkan indeks yang lainnya mengidentifikasi kategori agak kering.

KESIMPULAN

Perbandingan indeks kekeringan meteorologis SPI, CZI, MCZI, dan ZSI dengan indeks kekeringan EDI dari data curah hujan bulanan di DAS Sangatta periode 2012 – 2022 diperoleh hasil bahwa indeks kekeringan SPI-6 mempunyai akurasi tertinggi dibandingkan indeks CZI, MCZI, dan ZSI pada beberapa skala waktu. Indeks kekeringan SPI-6 dapat digunakan untuk memantau kekeringan meteorologis di DAS Sangatta dengan hasil yang akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Manager Environmental Department PT. Kaltim Prima Coal beserta staf atas penyediaan data sekunder berupa data curah hujan di wilayah DAS Sangatta.

DAFTAR PUSTAKA

Adisa, O. M., Masinde, M., & Botai, J. O. (2021). Assessment of the Dissimilarities of EDI and SPI Measures for Drought Determination in South Africa. *Water (Switzerland)*, 13(1), 1–17. <https://doi.org/10.3390/w13010082>

- Adnan, S., Ullah, K., Shuanglin, L., Gao, S., Khan, A. H., & Mahmood, R. (2018). Comparison of Various Drought Indices to Monitor Drought Status in Pakistan. *Climate Dynamics*, 51(5–6), 1885–1899. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3987-0>
- Akşan, G. N., & Bacanlı, Ü. G. (2021). Comparison of the Meteorological Drought Indices According to the Parameter(s) Used in the Southeastern Anatolia Region, Turkey. *Environmental Research and Technology*, 4(3), 230–243. <https://doi.org/10.35208/ert.912990>
- Buishand, T. A. (1982). Some Methods for Testing The Homogeneity of Rainfall Records. *Journal of Hydrology*, 58(2), 11–27.
- Djellouli, F., Bouanani, A., & Baba-Hamed, K. (2016). Efficiency of Some Meteorological Drought Indices in Different Time Scales, Case Study: Wadi Louza basin (NW-Algeria). *Journal of Water and Land Development*, 31(1), 33–41. <https://doi.org/10.1515/jwld-2016-0034>
- Dogan, S., Berktaş, A., & Singh, V. P. (2012). Comparison of Multi-monthly Rainfall-based Drought Severity Indices, With Application to Semi-Arid Konya Closed Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 470–471, 255–268. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.003>
- Gebrechorkos, S. H., Peng, J., Dyer, E., Miralles, D. G., Vicente-Serrano, S. M., Funk, C., Beck, H. E., Asfaw, D. T., Singer, M. B., & Dadson, S. J. (2023). Global High-Resolution Drought Indices for 1981–2022. *Earth System Science Data Discussions*, 2023(July), 1–28.
- Gonçalves, S. T. N., Vasconcelos Júnior, F. da C., Silveira, C. da S., Cid, D. A. C., Martins, E. S. P. R., & Costa, J. M. F. da. (2023). Comparative Analysis of Drought Indices in Hydrological Monitoring in Ceará's Semi-Arid Basins, Brazil. *Water (Switzerland)*, 15(7), 1–21. <https://doi.org/10.3390/w15071259>
- Hasan, N. A., Dongkai, Y., & Al-Shibli, F. (2023). SPI and SPEI Drought Assessment and Prediction Using TBATS and ARIMA Models, Jordan. *Water (Switzerland)*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/w15203598>
- Herdita, C. A. P., Ari Murdhianti, Donny Harisuseno, & Ery Suhartanto. (2023). Analisis Indeks dan Penyebaran Daerah Kekeringan Akibat Fenomena Enso di DAS Ngrowo Kabupaten Tulungagung. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 3(1), 77–92. <https://doi.org/10.56860/jtsda.v3i1.53>
- Hossein, S. Z., Shin, H. M., & Gyewoon, C. (2012). Evaluation of Regional Droughts using Monthly Gridded Precipitation for Korea. *Journal of Hydroinformatics*, 14(4), 1036–1050. <https://doi.org/10.2166/hydro.2012.070>
- Jain, V. K., Pandey, R. P., Jain, M. K., & Byun, H. R. (2015). Comparison of Drought Indices for Appraisal of Drought Characteristics in the Ken River Basin. *Weather and Climate Extremes*, 8, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.05.002>
- Karlina, K. (2017). Meteorological Drought Assessment in Wonogiri District. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 2(2), 159. <https://doi.org/10.22146/jcef.26575>
- Li, F., Li, H., Lu, W., Zhang, G., & Kim, J. C. (2019). Meteorological Drought Monitoring in Northeastern China Using Multiple Indices. *Water (Switzerland)*, 11(1), 1–17. <https://doi.org/10.3390/w11010072>
- Lufi, S., Ery, S., & Rispiningtati, R. (2020). Hydrological Analysis of TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) Data in Lesti Sub Watershed. *Civil and Environmental Science*, 03(01), 018–030. <https://doi.org/10.21776/ub.civense.2020.00301.3>
- Ma'ruf, A., Astuti, I. S., & Masitoh, F. (2023). Penilaian Kekeringan Meteorologi Menggunakan Metode SPI dengan Citra Satelit CHIRPS di Kabupaten Tulungagung. *Jurnal Integrasi Dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 3(6), 682–696. <https://doi.org/10.17977/um063v3i6p682-696>
- Mahmoudi, P., Rigi, A., & Miri Kamak, M. (2019). A Comparative Study of Precipitation-based Drought Indices With the Aim of Selecting the Best Index for Drought Monitoring in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3–4), 3123–3138. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02778-z>
- Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763–1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>
- Morid, S., Smakhtin, V., & Bagherzadeh, K. (2007). Drought Forecasting Using Artificial Neural Networks and Time Series of Drought Indices. *International Journal of Climatology*, 27(15), 2103–2111. <https://doi.org/10.1002/joc.1498>

- Noor, N. M., Noor, N. M., Alias, R., & Ideris, M. M. (2020). Drought Indices Monitoring using SPI and Z Index Score for Gua Musang, Kelantan. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 932(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/932/1/012050>
- Shahabfar, A., & Eitzinger, J. (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>
- Srinivas, B., Tiwari, M. K., & Patel, G. R. (2022). An Evaluation of the Performance of Five Meteorological Drought Monitoring Indices Over an Arid and Semi-Arid Region of Gujarat (India). *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(10), 800–818. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i1030865>
- Sugiyono, S. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. Alfabeta.
- Sutikno, S., & Nihayatin, L. Z. (2013). *Perbandingan Uji Homogenitas Runtun Data Curah Hujan Sebagai Pra-Pemrosesan Kajian*. 2(2), 255–259. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v2i2.4851>
- Tabassum, F., & Krishna, A. P. (2022). Spatio-temporal Drought Assessment of the Subarnarekha River Basin, India, Using CHIRPS-derived Hydrometeorological Indices. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(12). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10547-1>
- Tjasyono, B. (2014). *Klimatologi*. ITB Press.
- Vergni, L., Todisco, F., & Di Lena, B. (2021). Evaluation of the Similarity Between Drought Indices by Correlation Analysis and Cohen's Kappa Test in a Mediterranean Area. *Natural Hazards*, 108(2), 2187–2209. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04775-w>
- WMO. (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide*. 21(6), 1333–1348. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1348.1>
- Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A., & Hu, Q. (2001). An Evolution of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the Statistical Z-score. *International Journal of Climatology*, 21(6), 745–758. <https://doi.org/10.1002/joc.658>