

Pemetaan Kerentanan dan Peramalan Kekeringan Meteorologis di DAS Blega Menggunakan Indeks China-Z Multiskala dan Model SARIMA

^{1*} Nur Azizah Affandy, ² Dimas Prayoga, ³ Rio Rahma Dhana, ⁴ Data Iranata

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Lamongan, Indonesia

⁴ Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

¹ nurazizah@unisla.ac.id, ² dprayoga366@gmail.com, ³ Riorahma@unisla.ac.id, ⁴ data@its.ac.id

Article Info

Article history:

Received: 9 March 2026

Revised: 5 April 2026

Accepted: 07 May 2026

Keyword:

Meteorological drought
China-Z Index
drought vulnerability mapping
SARIMA
Blega Watershed

ABSTRACT

Meteorological drought poses a critical threat to water security, agricultural sustainability, and climate resilience. However, existing studies largely rely on single-scale drought indices and retrospective analyses, with limited integration of multi-scale characterization and quantitative forecasting at the watershed level; this limitation constrains the development of reliable early warning systems. This study proposes an integrated framework to analyze and predict drought dynamics in the Blega Watershed using monthly rainfall data from three stations—Tambelengan, Konang, and Torjun—for the period 2005–2024. Meteorological drought is quantified using the multi-scale China-Z Index (CZI) at CZI-1, CZI-3, CZI-6, CZI-12, and CZI-24 to capture short- to long-term variability, while forecasting is conducted using the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model. The results demonstrate that CZI effectively captures temporal variability and spatial heterogeneity of drought conditions, enabling improved identification of drought-prone areas. The optimal model, SARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂, achieves a Mean Absolute Error (MAE) of 0.599, indicating satisfactory predictive accuracy. The findings reveal that drought dynamics are strongly influenced by seasonal rainfall variability. This study advances drought research by integrating multi-scale diagnostics with predictive modeling and provides a robust basis for early warning systems and climate-adaptive water resource management.

This is an open access article under the CC BY-SA license.

DOI: <https://doi.org/10.32492/nucleus.v5i1.5106>

Corresponding Author:

NurAzizah Affandy

Department of Civil Engineering, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Lamongan,
Jalan Veteran no 53 A Lamongan
nurazizah@unisla.ac.id

Abstrak— Kekeringan meteorologi merupakan ancaman serius terhadap ketahanan air, keberlanjutan pertanian, dan resiliensi iklim. Namun, penelitian yang ada umumnya masih bergantung pada indeks kekeringan skala tunggal dan analisis retrospektif, serta belum mengintegrasikan karakterisasi multi-skala dengan pemodelan prediktif kuantitatif pada tingkat daerah aliran sungai; keterbatasan ini menghambat pengembangan sistem peringatan dini yang andal. Penelitian ini mengusulkan kerangka terintegrasi untuk menganalisis dan memprediksi dinamika kekeringan di DAS Blega menggunakan data curah hujan bulanan dari tiga stasiun, yaitu Tambelengan, Konang, dan Torjun periode 2005–2024. Kekeringan meteorologi dianalisis menggunakan China-Z Index (CZI) multi-skala pada CZI-1, CZI-3, CZI-6, CZI-12, dan CZI-24 untuk menangkap variabilitas jangka pendek hingga panjang, sedangkan peramalan dilakukan menggunakan model *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa CZI mampu merepresentasikan variabilitas temporal dan heterogenitas spasial kondisi kekeringan secara efektif, sehingga meningkatkan identifikasi wilayah rawan kekeringan. Model terbaik, yaitu SARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂, menghasilkan nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 0,599 yang menunjukkan akurasi prediksi yang baik. Temuan ini mengungkap bahwa dinamika kekeringan sangat dipengaruhi oleh variabilitas musiman curah hujan. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan analisis kekeringan berbasis multi-skala dan prediktif, serta menjadi dasar yang kuat bagi sistem peringatan dini dan pengelolaan sumber daya air yang adaptif terhadap perubahan iklim.

I. Pendahuluan

Kekeringan merupakan salah satu bencana hidrometeorologi paling kompleks dengan dampak luas terhadap sistem lingkungan, ekonomi, dan sosial [1], [2], [3]. Berbeda dengan bencana yang bersifat tiba-tiba, kekeringan berkembang secara perlahan (*slow-onset disaster*) dan sering kali tidak terdeteksi sejak dini, namun berdampak jangka panjang terhadap ketersediaan air dan produktivitas pertanian. Secara umum, kekeringan meteorologi terjadi akibat defisit curah hujan yang signifikan dari kondisi normal, sehingga mengganggu keseimbangan hidrologi dan memperburuk tekanan terhadap sumber daya air [3], [4], [5], [6], [7]. Dampaknya tidak hanya terbatas pada aspek biofisik, tetapi juga memicu kerentanan sosial-ekonomi, khususnya pada wilayah yang bergantung pada sektor pertanian [8], [9], [10].

Dalam konteks perubahan iklim, frekuensi dan intensitas kekeringan menunjukkan tren peningkatan yang dipengaruhi oleh variabilitas iklim global, degradasi lingkungan, dan tekanan antropogenik [11], [12]. Di Indonesia, kompleksitas interaksi atmosfer–laut menyebabkan distribusi curah hujan yang tidak merata, sehingga meningkatkan risiko kekeringan, terutama di wilayah semi-kering seperti Pulau Madura. Kondisi ini menegaskan pentingnya sistem pemantauan kekeringan yang tidak hanya deskriptif, tetapi juga mampu memberikan informasi spasial dan prediktif secara akurat [13], [14].

Berbagai indeks kekeringan telah dikembangkan, SPI [15], [16], SPEI [15], [17], [18], [19], PDSI [20], dan China Z-Index (CZI) (Hao & Singh, 2018; Morid et al., 2019; Dewita et al., 2022) [21], [22], [23], [24]. CZI memiliki keunggulan dalam penggunaan data yang relatif sederhana dan kemampuan menangkap variabilitas curah hujan pada berbagai skala waktu [25], [26]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih terbatas pada analisis temporal atau penggunaan satu skala indeks, sehingga belum mampu menggambarkan dinamika kekeringan secara komprehensif. Selain itu, integrasi antara analisis multi-skala berbasis indeks kekeringan dengan pendekatan prediktif seperti pemodelan deret waktu masih jarang dilakukan, khususnya pada tingkat daerah aliran sungai (DAS). Akibatnya, informasi yang dihasilkan belum optimal dalam mendukung sistem peringatan dini dan pengambilan keputusan berbasis risiko [27], [28], [29]. Kesenjangan ini menjadi semakin relevan di DAS Blega, Pulau Madura, yang memiliki karakteristik curah hujan fluktuatif dan keterbatasan sumber daya air, namun masih minim kajian yang mengintegrasikan analisis spasio-temporal dan prediksi kekeringan secara kuantitatif. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini menawarkan kebaruan melalui integrasi analisis kekeringan multi-skala berbasis CZI dengan pendekatan peramalan kuantitatif ARIMA dalam satu kerangka terpadu, yang memungkinkan evaluasi simultan terhadap pola spasio-temporal dan dinamika masa depan kekeringan pada skala DAS. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan analisis diagnostik terhadap karakteristik kekeringan, tetapi juga menghasilkan informasi prediktif yang lebih aplikatif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekeringan meteorologi secara spasio-temporal di DAS Blega menggunakan CZI pada berbagai skala waktu (CZI-1, CZI-3, CZI-6, CZI-12, dan CZI-24), serta

mengembangkan model peramalan berbasis ARIMA untuk memprediksi kondisi kekeringan di masa mendatang. Hasil penelitian diharapkan dapat memperkuat dasar ilmiah dalam pengembangan sistem peringatan dini, serta mendukung perencanaan mitigasi dan pengelolaan sumber daya air yang adaptif terhadap variabilitas dan perubahan iklim.

II. Metode Penelitian

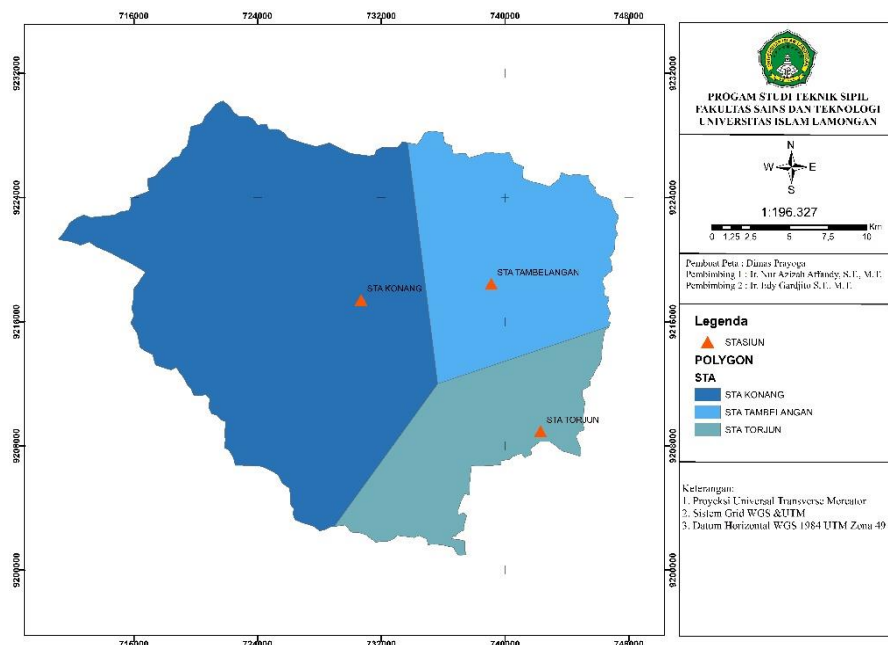
2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan analisis spasial-temporal untuk mengkaji karakteristik kekeringan meteorologi di wilayah studi. Analisis difokuskan pada identifikasi tingkat keparahan, durasi, serta distribusi spasial kekeringan menggunakan China Z-Index (CZI) sebagai indikator utama.

Pendekatan kuantitatif memungkinkan analisis statistik terhadap variabilitas curah hujan, sedangkan pendekatan spasial-temporal digunakan untuk mengevaluasi dinamika kekeringan baik dari aspek perubahan waktu maupun persebaran wilayah. Pendekatan ini memberikan gambaran komprehensif mengenai pola kekeringan dalam sistem daerah aliran sungai.

2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Blega, Kabupaten Bangkalan, Provinsi Jawa Timur. DAS Blega memiliki luas wilayah sekitar 636,21 km² dengan panjang sungai utama sekitar 307 km serta kerapatan jaringan sungai sebesar 0,9 km/km². Sungai Blega termasuk dalam kategori sungai intermittent, yaitu sungai yang debit alirannya cenderung menurun secara signifikan bahkan mendekati minimum pada saat musim kemarau. Kondisi ini menyebabkan wilayah DAS Blega memiliki kerentanan terhadap kejadian kekeringan meteorologi. Secara geografis, wilayah penelitian terletak pada koordinat 112°40'–113°08' Bujur Timur dan 6°51'–7°11' Lintang Selatan. Karakteristik iklim di wilayah studi termasuk dalam iklim monsoon, yang dicirikan oleh dua musim utama, yaitu musim hujan (November–April) dan musim kemarau (Mei–Oktober). Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari tiga stasiun hujan yang berada di wilayah DAS Blega, yaitu Stasiun Tambelangan, Konang, dan Torjun. Sebaran lokasi stasiun hujan dan batas wilayah DAS Blega ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Poligon Thiessen DAS Blega

2.3 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder, yang meliputi:

1. Data curah hujan bulanan dari tiga stasiun hujan di DAS Blega.

2. Data spasial berupa peta batas DAS, peta administrasi wilayah, dan peta topografi dalam format shapefile.
3. Koordinat geografis stasiun hujan untuk analisis spasial.
4. Data curah hujan dianalisis dalam periode 20 tahun (2005–2024). Data shp dan curah hujan dari stasiun Tembelangan, Konang, dan Torjun, sehingga memungkinkan identifikasi pola kekeringan jangka panjang serta dinamika temporal kejadian kekeringan.

2.4 Pengujian Konsistensi Data

Sebelum analisis kekeringan dilakukan, data curah hujan terlebih dahulu diuji konsistensinya untuk memastikan kualitas data.

1. Metode RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums)
Metode RAPS digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan pola atau ketidakkonsistenan dalam deret waktu data curah hujan. Metode ini menganalisis penyimpangan kumulatif dari nilai rata-rata data.
2. Metode Kurva Massa Ganda
Metode Double Mass Curve digunakan untuk mengevaluasi konsistensi data curah hujan antar stasiun. Hubungan linier antara kumulatif curah hujan stasiun pengamatan dengan rata-rata kumulatif stasiun pembanding menunjukkan bahwa data yang digunakan konsisten.

2.5 Metode China Z-Index (CZI)

Metode *China Z-Index* pertama kali digunakan dan dikembangkan pada tahun 1995 oleh Pusat Iklim Nasional Cina sebagai metode alternatif SPI dimana diasumsikan data rerata curah hujan mengikuti distribusi Pearson tipe III [13]. CZI dapat dihitung dengan skala waktu 1 sampai 72 bulan [8]. Wu et al. dalam penelitiannya mengemukakan bahwa perhitungan CZI sederhana serta lebih disukai daripada SPI dimana dapat diterapkan bahkan untuk data curah hujan yang tidak lengkap sekalipun [14].

Perhitungan CZI dihitung menggunakan persamaan berikut [13, 14]:

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

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

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{n \times \sigma_i^3} \quad (2)$$

$$\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (3)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (4)$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (5)$$

Dimana:

- Z_{ij} = CZI
 i = skala waktu (1,3,6,...,72 bulan)
 j = bulan saat ini
 C_{si} = koefisien kepengcengan
 N = total bulan historis
 φ_{ij} = variasi standar/Z-Score

Kondisi kekeringan meteorologi dihitung menggunakan China Z-Index (CZI) yang didasarkan pada distribusi probabilitas Pearson Type III.

Persamaan matematis CZI dinyatakan sebagai berikut:

$$CZI = \frac{6}{c_s} \left(\left(\frac{c_s}{2} Z + 1 \right)^{1/3} - 1 \right) + \frac{c_s}{6} \quad (6)$$

dimana:

CZI = China Z-Index

Z = variabel normal standar

Cs = koefisien skewness dari data curah hujan

Nilai Z diperoleh dari:

$$Z = \frac{P - \bar{P}}{\sigma} \quad (7)$$

dimana:

P = curah hujan actual

σ = standar deviasi curah hujan

$\bar{P}$ = rata-rata curah hujan

Perhitungan indeks dilakukan pada beberapa skala waktu akumulasi, yaitu: CZI1, CZI3, CZI6, CZI12 dan CZI24. Skala waktu ini memungkinkan analisis kekeringan jangka pendek hingga jangka panjang.

2.6 Klasifikasi Indeks Kekeringan

Nilai CZI yang diperoleh kemudian diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori tingkat kekeringan sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Kekeringan Berdasarkan Nilai CZI	
Nilai CZI	Kondisi
≥ 2	Ekstrem Basah
1,5 s/d 1,99	Sangat Basah
1,0 s/d 1,49	Basah Sedang
-0,99 s/d 0,99	Mendekati Normal
-1,0 s/d -1,49	Kekeringan Sedang
-1,5 s/d -1,99	Kekeringan Parah
≤ -2	Kekeringan Ekstrem

Klasifikasi ini digunakan untuk mengidentifikasi tingkat intensitas kekeringan yang terjadi pada setiap periode analisis.

2.7 Analisis Spasial Kekeringan

Distribusi spasial kekeringan dianalisis menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) dengan menggunakan software ArcGIS. Metode ini memperkirakan nilai indeks kekeringan pada lokasi yang tidak memiliki data pengamatan berdasarkan nilai dari titik pengamatan di sekitarnya dengan bobot yang berbanding terbalik terhadap jarak.

Proses interpolasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8 untuk menghasilkan peta sebaran spasial kekeringan di wilayah DAS Blega.

2.8 Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) dan Seasonal ARIMA (SARIMA)

Model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) merupakan kombinasi komponen *Autoregressive* (AR) dan *Moving Average* (MA) dengan parameter d sebagai orde diferensiasi untuk mencapai kestasioneran data. Secara umum, model ARIMA dinyatakan sebagai ARIMA(p, d, q).

Secara matematis, model ARIMA dapat dituliskan sebagai:

$$\Phi(B)(1 - B)^d y_t = \Theta(B)\varepsilon_t \quad (1) \quad (8)$$

$$(1 - \Phi B)(1 - B)^d y_t = \varepsilon_t - \theta \varepsilon_{t-1} \quad (2) \quad (9)$$

dengan B sebagai operator *backshift* dan ε_t sebagai residual (*white noise*).

Sebelum pemodelan, data harus memenuhi asumsi stasioner yang dapat diuji menggunakan uji Augmented Dickey-Fuller (ADF). Jika data belum stasioner, maka dilakukan proses diferensiasi. Penentuan orde p dan q dilakukan melalui analisis plot Autocorrelation Function (ACF) dan Partial Autocorrelation Function (PACF). Secara matematis, ACF dinyatakan sebagai:

$$\rho_k = \frac{\text{Cov}(Y_t, Y_{t+k})}{\sqrt{\text{Var}(Y_t)}\sqrt{\text{Var}(Y_{t+k})}} \quad (3) \quad (10)$$

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (4) \quad (11)$$

Pada data yang memiliki pola musiman, model ARIMA dikembangkan menjadi **Seasonal ARIMA (SARIMA)** yang dinyatakan sebagai:

$$\text{SARIMA}(p, d, q)(P, D, Q)_s \quad (5) \quad (12)$$

Model SARIMA secara umum dirumuskan sebagai:

$$\Phi(B)\Phi_s(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D y_t = \Theta(B)\Theta_s(B^s)\varepsilon_t \quad (6) \quad (13)$$

dengan:

p, d, q = parameter non-musiman
 P, D, Q = parameter musiman
 s = periode musiman
 B = operator *backshift*

Pemilihan model terbaik dilakukan berdasarkan nilai kesalahan (*error*) terkecil menggunakan **Mean Absolute Error (MAE)**.

Rumus MAE dinyatakan sebagai:

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - F_i| \quad (7) \quad (14)$$

dengan:

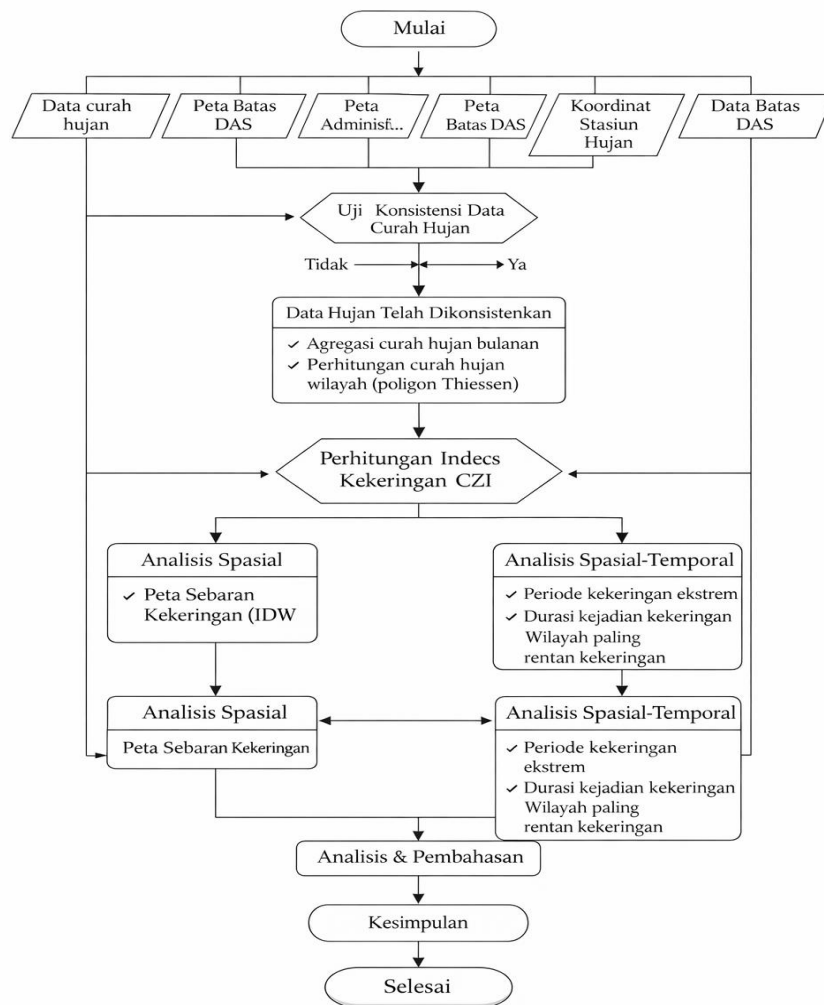
Y_i = nilai aktual
 F_i = nilai hasil peramalan
 n = jumlah data

Semakin kecil nilai MAE, semakin baik kinerja model dalam merepresentasikan data deret waktu.

2.8 Alur Penelitian

Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada diagram alur penelitian berikut.

Alur penelitian diawali dengan pengumpulan data curah hujan dan data spasial (batas DAS, peta administrasi, serta koordinat stasiun hujan), kemudian dilakukan uji konsistensi untuk memastikan kualitas data. Data yang telah valid diolah melalui agregasi curah hujan bulanan dan perhitungan curah hujan wilayah menggunakan metode Poligon Thiessen, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung indeks kekeringan CZI. Hasil CZI kemudian dianalisis secara spasial menggunakan metode IDW untuk menghasilkan peta sebaran kekeringan, serta secara spasial-temporal untuk mengidentifikasi periode ekstrem, durasi kejadian, dan wilayah paling rentan. Selanjutnya dilakukan pemodelan deret waktu menggunakan metode SARIMA untuk memprediksi tren kekeringan, dengan evaluasi akurasi model menggunakan Mean Absolute Error (MAE). Seluruh hasil analisis diintegrasikan secara komprehensif sebagai dasar penarikan kesimpulan dan rekomendasi penelitian.



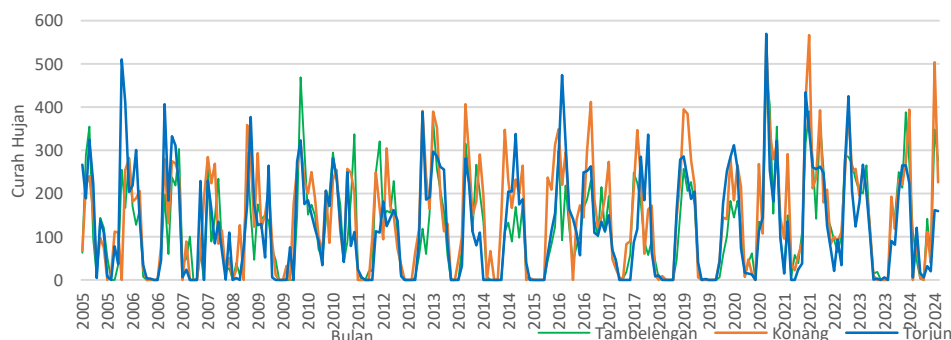
Gambar 2. Diagram alir penelitian

III. Hasil dan Diskusi

3.1 Analisis Hidrologi dan Uji Konsistensi Data

Analisis hidrologi dilakukan sebagai tahap awal untuk menilai karakteristik curah hujan dan memastikan kualitas data yang digunakan dalam analisis kekeringan meteorologis. Data yang dianalisis berupa curah hujan tahunan dari tiga stasiun hujan di DAS Blega, yaitu Stasiun Tambelengan, Konang, dan Torjun, selama periode 2005–2024. Sebelum digunakan dalam perhitungan indeks kekeringan, data hujan terlebih dahulu diuji konsistensinya menggunakan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) dan kurva massa ganda.

3.1.1 Karakteristik Curah Hujan Tahunan



Gambar 3. Data Curah Hujan 2005-2024 Stasiun Tembelengan, Stasiun Konang dan Stasiun Torjun

Berdasarkan grafik Gambar 3. curah hujan tahunan dari Stasiun Tembelengan, Konang, dan Torjun selama periode 2005–2024, ketiga stasiun menunjukkan fluktuasi curah hujan yang signifikan, dengan Stasiun Tembelengan mencatatkan curah hujan maksimum sebesar 500 mm/tahun dan minimum 200 mm/tahun, serta rata-rata tahunan sekitar 320 mm. Stasiun Konang memiliki curah hujan maksimum 450 mm/tahun dan minimum 180 mm/tahun, dengan rata-rata tahunan 320 mm, sementara Stasiun Torjun mencatatkan maksimum 500 mm/tahun dan minimum 220 mm/tahun, dengan rata-rata tahunan 360 mm. Variasi curah hujan yang besar antar tahun pada ketiga stasiun ini mencerminkan ketidakstabilan iklim yang dapat mempengaruhi tingkat kekeringan di wilayah tersebut, di mana fluktuasi curah hujan dapat memperburuk kondisi kekeringan pada tahun-tahun dengan curah hujan rendah. Oleh karena itu, data curah hujan yang bervariasi ini perlu diuji lebih lanjut untuk memastikan ketepatannya dalam analisis kekeringan, mengingat fluktuasi yang signifikan dapat mengganggu kestabilan pasokan air dan meningkatkan kerentanannya terhadap kekeringan.

Tabel 2. Statistik curah hujan tahunan tiap stasiun

Stasiun	Curah Hujan Minimum (mm/tahun)	Curah Hujan Maksimum (mm/tahun)	Rata-rata (mm/tahun)
Tambelengan	174	480	307
Konang	239	567	355
Torjun	150	570	346

3.1.2 Uji Konsistensi Data dengan Metode RAPS

Uji konsistensi data menggunakan metode RAPS dilakukan untuk mengidentifikasi adanya penyimpangan atau perubahan sistematis pada data hujan tahunan di masing-masing stasiun. Parameter pengujian didasarkan pada nilai $Q/\sqrt{n}$ hitung yang dibandingkan dengan nilai $Q/\sqrt{n}$ kritik pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai $Q/\sqrt{n}$ hitung pada Stasiun Tambelengan sebesar 0,438, Stasiun Konang sebesar 0,440, dan Stasiun Torjun sebesar 0,478. Seluruh nilai tersebut lebih kecil daripada nilai kritik 1,22, sehingga data hujan pada ketiga stasiun dinyatakan konsisten dan dapat digunakan untuk analisis lanjutan.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil uji RAPS

Stasiun Hujan	$Q/\sqrt{n}$ Hitung	$Q/\sqrt{n}$ Kritik (95%)	Keterangan
Tambelengan	0,438	1,22	Konsisten
Konang	0,440	1,22	Konsisten
Torjun	0,478	1,22	Konsisten

3.1.3 Uji Konsistensi Data dengan Kurva Massa Ganda

Uji kurva massa ganda dilakukan dengan membandingkan akumulasi curah hujan tahunan suatu stasiun terhadap akumulasi rerata dua stasiun pembanding di sekitarnya. Data dinyatakan konsisten apabila grafik hubungan kumulatif membentuk pola linier dengan koefisien determinasi yang mendekati 1.

Hasil analisis menunjukkan bahwa Stasiun Tambelengan memiliki nilai $R^2 = 0,9977$, Stasiun Konang $R^2 = 0,9988$, dan Stasiun Torjun $R^2 = 0,9987$. Nilai tersebut menunjukkan hubungan yang sangat kuat dan pola yang hampir linier sempurna, sehingga data curah hujan pada ketiga stasiun dinyatakan konsisten.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil kurva massa ganda

Stasiun Hujan	R^2	Keterangan
Tambelengan	0,9977	Konsisten
Konang	0,9988	Konsisten
Torjun	0,9987	Konsisten

3.1.4 Sintesis Hasil Uji Kualitas Data

Berdasarkan hasil uji konsistensi menggunakan metode RAPS dan kurva massa ganda, seluruh data curah hujan dari Stasiun Tambelengan, Konang, dan Torjun menunjukkan kualitas data yang baik dan konsisten. Dengan demikian, data tersebut layak digunakan sebagai dasar dalam perhitungan curah hujan wilayah dan analisis kekeringan meteorologis menggunakan metode China Z-Index (CZI).

Analisis hidrologi merupakan tahap awal yang penting dalam penelitian kekeringan meteorologis, karena kualitas hasil analisis sangat ditentukan oleh mutu data curah hujan yang digunakan. Pada penelitian ini, data

yang dianalisis berupa curah hujan tahunan dari tiga stasiun hujan di DAS Blega, yaitu Stasiun Tambelengan, Konang, dan Torjun selama periode 2005–2024. Sebelum digunakan dalam perhitungan lebih lanjut, data tersebut terlebih dahulu dianalisis secara statistik untuk mengetahui karakteristik hujan dan tingkat konsistensinya.

Berdasarkan grafik curah hujan tahunan, ketiga stasiun menunjukkan pola fluktuasi antar tahun yang cukup nyata. Stasiun Tambelengan memiliki nilai curah hujan maksimum sebesar 2.414 mm/tahun dan minimum sebesar 665 mm/tahun. Stasiun Konang memiliki curah hujan maksimum sebesar 2.689 mm/tahun dan minimum sebesar 1.029 mm/tahun. Sementara itu, Stasiun Torjun menunjukkan curah hujan maksimum sebesar 2.856 mm/tahun dan minimum sebesar 822 mm/tahun. Perbedaan nilai maksimum dan minimum tersebut menunjukkan bahwa DAS Blega memiliki variabilitas curah hujan yang cukup tinggi, sehingga pengujian konsistensi data menjadi tahap yang sangat penting.

Uji konsistensi data dilakukan menggunakan metode Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) dan kurva massa ganda. Hasil uji RAPS menunjukkan bahwa nilai $Q/\sqrt{n}$ hitung untuk Stasiun Tambelengan sebesar 0,438, Stasiun Konang sebesar 0,440, dan Stasiun Torjun sebesar 0,478. Seluruh nilai tersebut lebih kecil daripada nilai $Q/\sqrt{n}$ kritik = 1,22 pada tingkat kepercayaan 95%, sehingga ketiga stasiun dinyatakan konsisten.

Hasil uji kurva massa ganda juga menunjukkan bahwa seluruh stasiun memiliki pola hubungan kumulatif yang linier dengan nilai koefisien determinasi yang sangat tinggi, yaitu 0,9977 untuk Stasiun Tambelengan, 0,9988 untuk Stasiun Konang, dan 0,9987 untuk Stasiun Torjun. Nilai tersebut menunjukkan bahwa data hujan pada ketiga stasiun tidak mengalami perubahan sistematis yang berarti selama periode pengamatan.

Berdasarkan kedua pengujian tersebut, data curah hujan dari ketiga stasiun di DAS Blega dapat dinyatakan memenuhi syarat untuk digunakan dalam analisis hujan wilayah dan perhitungan indeks kekeringan meteorologis.

3.2 Curah Hujan Wilayah dan Analisis Indeks Kekeringan CZI

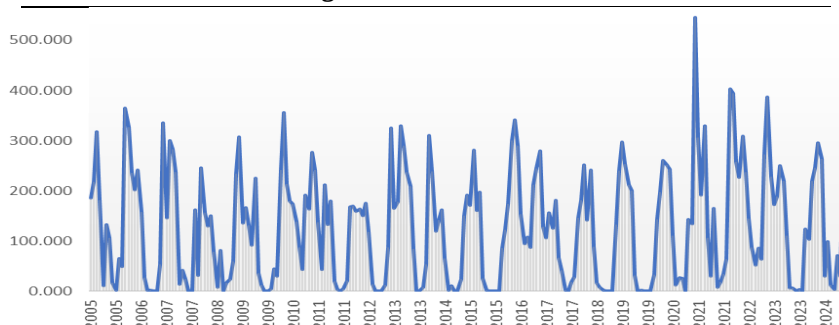
3.2.1 Curah Hujan Wilayah

Curah hujan wilayah DAS Blega dihitung menggunakan metode poligon Thiessen untuk memperoleh nilai hujan representatif wilayah. Metode ini mempertimbangkan luas pengaruh masing-masing stasiun hujan terhadap DAS, sehingga nilai curah hujan wilayah yang dihasilkan lebih representatif dibandingkan rata-rata aritmatik sederhana.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa variasi curah hujan wilayah bulanan mengikuti pola musiman dengan curah hujan tinggi pada musim penghujan dan curah hujan rendah pada musim kemarau. Nilai curah hujan wilayah ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan indeks kekeringan meteorologis metode CZI.

Tabel 5. Bobot Thiessen tiap stasiun

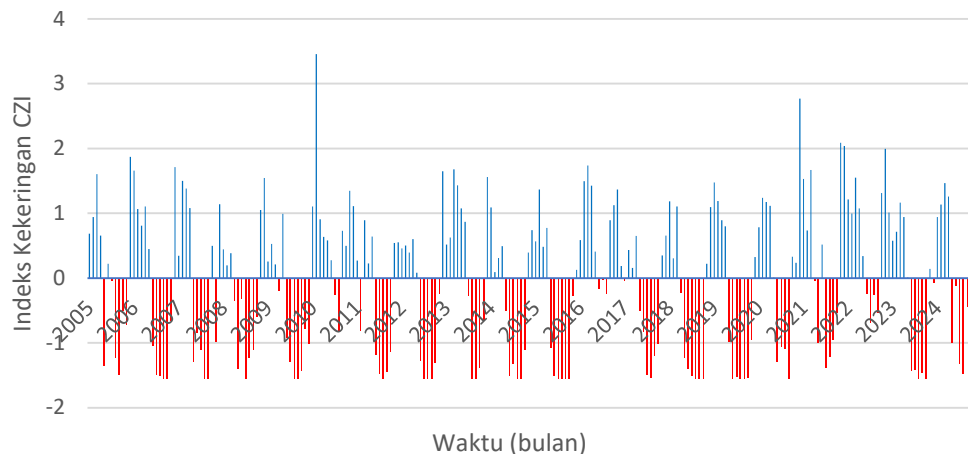
No	Nama Stasiun	Luas (Km ²)	Koefisien
1	Tambelengan	150,746	0,237
2	Konang	107,121	0,168
3	Torjun	378,340	0,595
Luas Total DAS Blega		636,207	1



Gambar 4. Curah hujan Wilayah DAS Blega

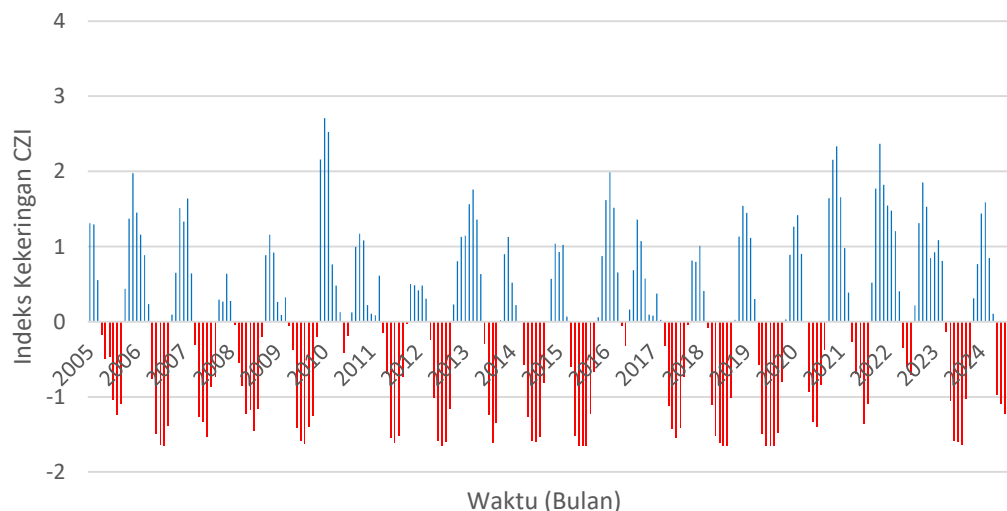
Pada Gambar 4. Data curah hujan periode 2005–2024 menunjukkan pola fluktuasi musiman dengan variabilitas yang cukup tinggi. Nilai curah hujan maksimum mencapai sekitar 550 mm, sedangkan nilai minimum mendekati 0 mm pada periode kering. Rata-rata curah hujan berada pada kisaran ± 150 –200 mm, yang mencerminkan distribusi hujan yang tidak merata antar waktu. Pola ini mengindikasikan dominasi siklus musiman dengan sesekali terjadi kejadian ekstrem pada beberapa tahun tertentu.

3.2.2 Analisis Indeks Kekeringan CZI



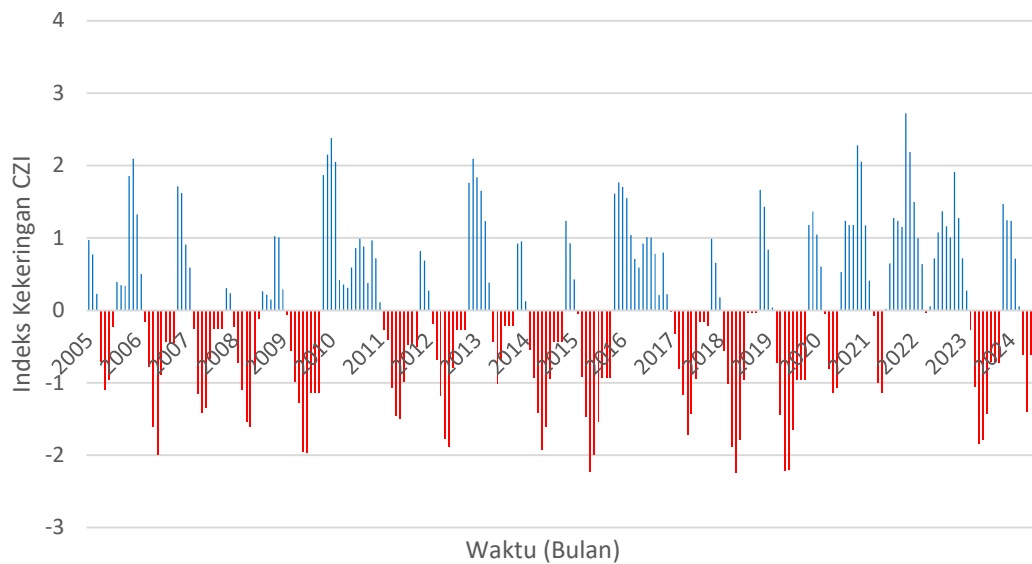
Gambar 5. Grafik CZI 1 Sub DAS Blega

Berdasarkan gambar 5. diatas perhitungan CZI periode 1 menghasilkan nilai CZI minimum yaitu -1,55 dengan klasifikasi Kekeringan Ekstrem yang terjadi dibulan September Tahun 2006, sedangkan untuk nilai CZI maksimum yaitu 3,46 dengan Klasifikasi Ekstrem Basah yang terjadi dibulan Februari tahun 2010.



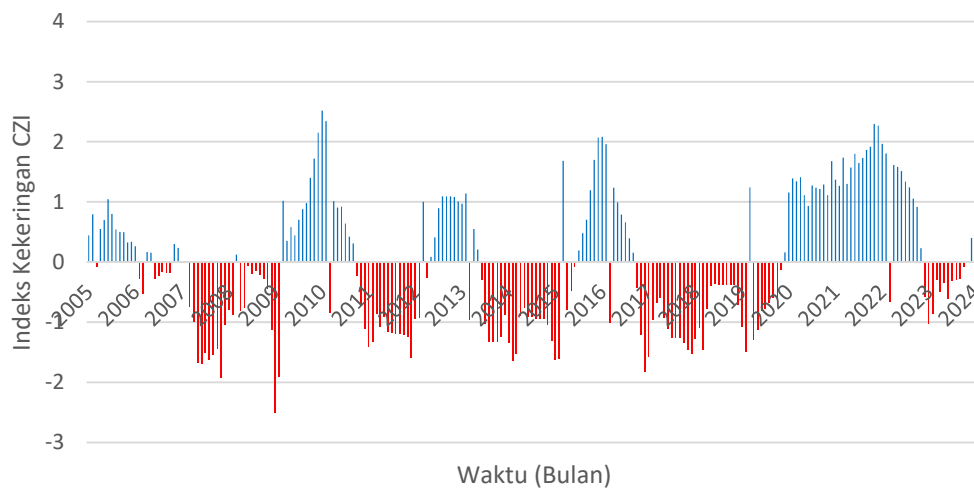
Gambar 6. Grafik CZI 3 Sub DAS Blega

Berdasarkan gambar 6. diatas perhitungan CZI periode 3 bulanan menghasilkan nilai CZI minimum yaitu -1,65 dengan klasifikasi kekeringan parah yang terjadi dibulan September Tahun 2012, sedangkan untuk nilai CZI maksimum yaitu 2,71 dengan Klasifikasi Ekstrem basah yang terjadi dibulan Maret tahun 2010.



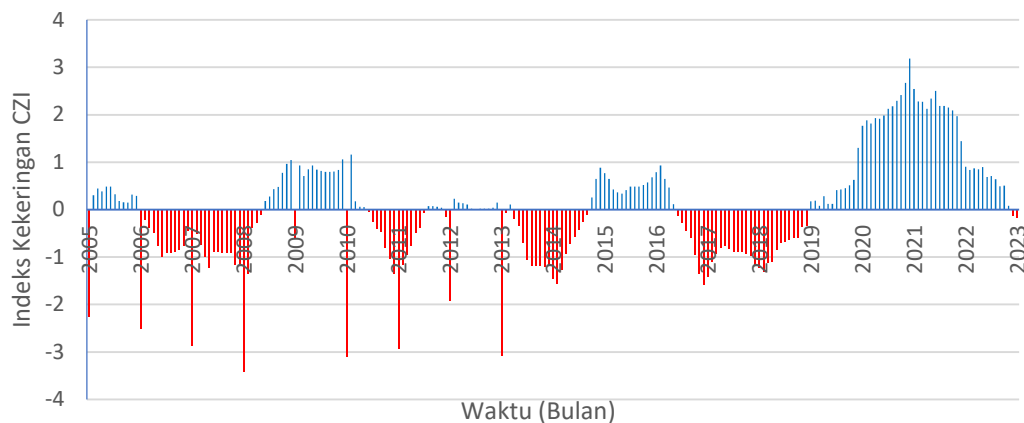
Gambar 7. Grafik CZI 6 Sub DAS Blega

Berdasarkan gambar 7. diatas perhitungan CZI periode 6 menghasilkan nilai CZI minimum yaitu -2,24 dengan klasifikasi kekeringan ekstriml yang terjadi dibulan Oktober Tahun 2016, sedangkan untuk nilai CZI maksimum yaitu 2,72 dengan Klasifikasi Ekstrim Basah yang terjadi dibulan April tahun 2022.



Gambar 8. Grafik CZI 12 Sub DAS Blega

Berdasarkan gambar 8. diatas perhitungan CZI periode 12 menghasilkan nilai CZI minimum yaitu -2,50 dengan klasifikasi kekeringan ekstrim yang terjadi dibulan Desember Tahun 2009, sedangkan untuk nilai CZI maksimum yaitu 2,52 dengan Klasifikasi Ekstrim Basah yang terjadi dibulan Desember tahun 2010.

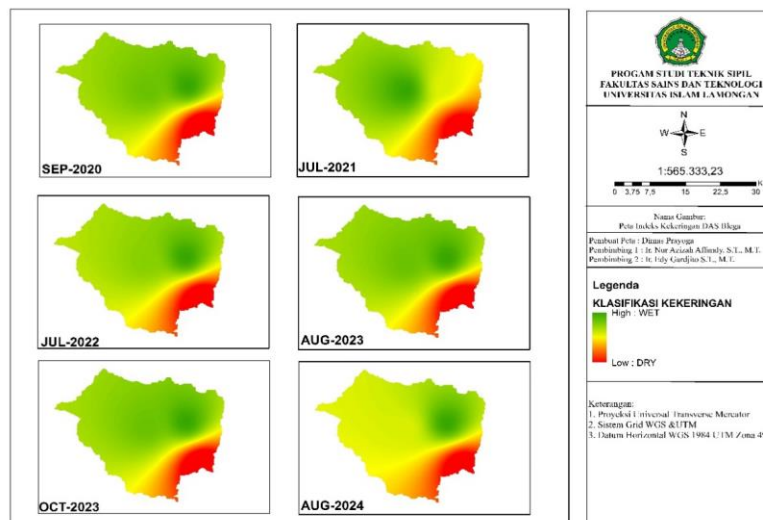


Gambar 9. Grafik CZI 24 Sub DAS Blega

Berdasarkan gambar 9, diatas perhitungan CZI periode 24 menghasilkan nilai CZI minimum yaitu -3,42 dengan klasifikasi Kekeringan Ekstrim yang terjadi dibulan Desember Tahun 2008, sedangkan untuk nilai CZI maksimum yaitu 3,18 dengan Klasifikasi ekstrim basah yang terjadi dibulan November tahun 2021.

3.3 Peta Sebaran Kekeringan

Peta menunjukkan distribusi spasial kekeringan meteorologi di DAS Blega berdasarkan nilai **China-Z Index (CZI)** yang diinterpolasi menggunakan metode **Inverse Distance Weighting (IDW)**. Skala warna menggambarkan tingkat kekeringan, di mana warna hijau menunjukkan kondisi basah (wet), sedangkan warna merah menunjukkan kondisi kering hingga sangat kering (dry).



Gambar 10. tampilan Sebaran Kekeringan Maksimum Tahun 2020-2024
Sumber: ArcGIS (2025)

Secara umum, hasil pemetaan memperlihatkan pola spasial yang konsisten selama periode 2020–2024, di mana wilayah bagian tenggara DAS Blega secara berulang mengalami tingkat kekeringan yang lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya. Pada September 2020, kondisi sangat kering teridentifikasi dengan nilai CZI mencapai sekitar $-1,54$ yang terkonsentrasi di bagian tenggara. Pola ini masih berlanjut pada Juli 2021 dengan kategori kering (CZI sekitar $-1,38$), meskipun intensitasnya sedikit menurun. Pada Juli 2022, kondisi relatif lebih normal (CZI $-0,69$), yang ditunjukkan dengan dominasi warna hijau–kuning, menandakan distribusi curah hujan yang lebih merata. Namun, kondisi kembali memburuk pada Agustus dan Oktober 2023, di mana nilai CZI kembali mencapai $-1,54$ (kategori sangat kering), menunjukkan adanya kejadian kekeringan ekstrem yang berulang dalam satu tahun. Pada Agustus 2024, kekeringan masih terjadi dengan

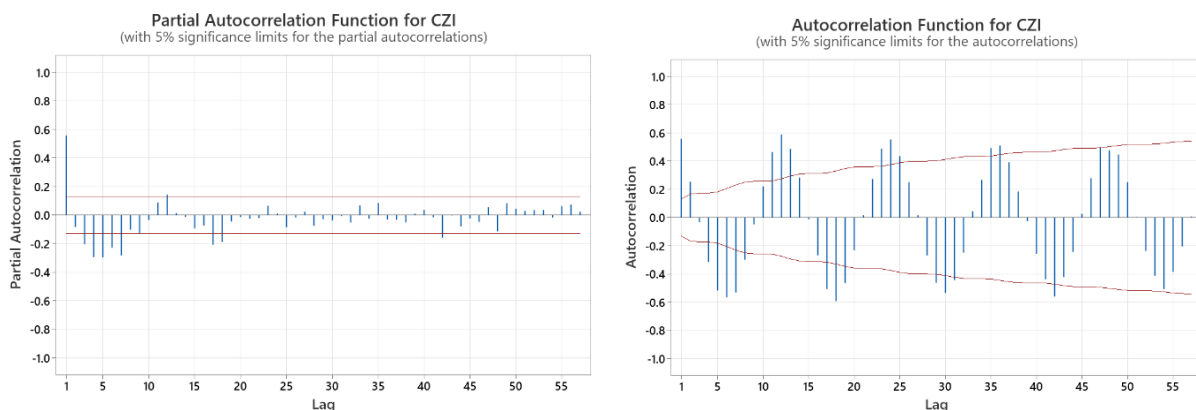
nilai CZI sekitar $-1,47$ (kategori kering), meskipun tidak se-ekstrem tahun sebelumnya. Pola ini mengindikasikan bahwa kekeringan di DAS Blega tidak hanya bersifat temporal tetapi juga memiliki karakteristik spasial yang persisten, khususnya di wilayah tenggara yang lebih rentan terhadap defisit curah hujan. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor distribusi curah hujan yang tidak merata, kondisi topografi, serta keterbatasan sumber daya air lokal. Oleh karena itu, wilayah tersebut perlu menjadi prioritas dalam perencanaan mitigasi kekeringan, pengelolaan sumber daya air, dan pengembangan sistem peringatan dini berbasis spasial.

3.4 Peramalan Kekeringan Meteorologis Menggunakan *China Z Index (CZI)* dengan Model *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA)*

3.4.1 Identifikasi Stasioneritas dalam Mean

Setelah deret waktu dipastikan stasioner dalam varians, langkah selanjutnya adalah menguji stasioneritas dalam mean sebagai salah satu prasyarat utama dalam pemodelan SARIMA. Pengujian ini dilakukan menggunakan uji *Augmented Dickey-Fuller (ADF)*, di mana hipotesis nol menyatakan bahwa deret waktu mengandung unit root sehingga bersifat tidak stasioner, sedangkan hipotesis alternatif menyatakan bahwa deret waktu tidak mengandung unit root dan bersifat stasioner.

Hasil uji ADF menunjukkan nilai statistik uji sebesar $-4,96809$ dengan $p\text{-value} < 0,001$. Pada tingkat signifikansi 5%, nilai $p\text{-value}$ yang lebih kecil dari 0,05 mengindikasikan bahwa hipotesis nol ditolak. Selain itu, nilai statistik uji yang lebih kecil dari nilai kritis semakin memperkuat bahwa deret waktu CZI tidak mengandung unit root. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa deret waktu CZI telah stasioner dalam mean dan telah memenuhi prasyarat untuk dilanjutkan ke tahap identifikasi model, estimasi parameter, serta evaluasi diagnostik dalam pemodelan SARIMA.



Gambar 11. Grafik ACF dan PACF

Gambar 11. Grafik Autocorrelation Function (ACF) dan Partial Autocorrelation Function (PACF) digunakan untuk mengidentifikasi orde model ARIMA. Pada grafik PACF terlihat spike signifikan hingga lag ke-2 sebelum kemudian berada dalam batas signifikansi, yang mengindikasikan bahwa komponen autoregressive berada pada orde $p = 2$. Sementara itu, grafik ACF menunjukkan beberapa spike signifikan pada lag awal dengan pola yang meluruh secara bertahap (tailing off), yang menunjukkan adanya komponen moving average dengan orde sekitar $q = 2$ hingga $q = 4$. Pola tersebut menunjukkan bahwa hubungan ketergantungan data masih dipengaruhi oleh beberapa periode sebelumnya. Berdasarkan interpretasi pola ACF dan PACF tersebut, kandidat model yang layak dipertimbangkan dalam pembentukan model ARIMA untuk peramalan kekeringan meteorologi adalah $ARIMA(2,0,2)$, $ARIMA(2,0,3)$, dan $ARIMA(2,0,4)$, serta model yang mempertimbangkan kemungkinan komponen musiman.

3.4.3 Uji Signifikansi Parameter

Setelah model ARIMA diperoleh, tahapan berikutnya adalah mengestimasi setiap parameter model serta mengevaluasi signifikansinya melalui pengujian statistik. Estimasi parameter dan hasil uji signifikansi tersebut digunakan untuk menilai apakah masing-masing parameter memberikan kontribusi yang bermakna terhadap pembentukan model.

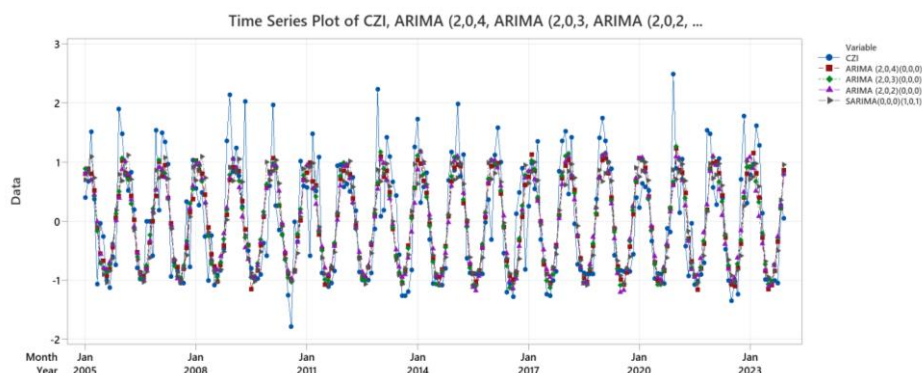
Tabel 6. Parameter Significance Test of ARIMA Models

Model	Parameter	Estimation	p-value	Significance
Model 1 (ARIMA(2,0,4))	AR(1)	1.73219	0.000	Significant
	AR(2)	-1.00114	0.000	Significant
	MA(1)	1.6366	0.000	Significant
	MA(2)	-0.74458	0.000	Significant
	MA(3)	-0.2626	0.000	Significant
	MA(4)	0.1067	0.000	Significant
Model 2 (ARIMA(2,0,3))	AR(1)	1.73130	0.000	Significant
	AR(2)	-1.00008	0.000	Significant
	MA(1)	1.6118	0.000	Significant
	MA(2)	-0.7846	0.000	Significant
	MA(3)	-0.1102	0.000	Significant
Model 3 (ARIMA(2,0,2))	AR(1)	1.72796	0.000	Significant
	AR(2)	-0.99670	0.000	Significant
	MA(1)	1.6372	0.000	Significant
	MA(2)	-0.8876	0.000	Significant
Model 4 (SARIMA Seasonal)	SAR(12)	0.99882	0.000	Significant
	SMA(12)	0.9317	0.000	Significant

Berdasarkan hasil uji signifikansi parameter pada Tabel 6, seluruh parameter pada keempat model ARIMA menunjukkan nilai *p-value* sebesar 0.000 ($p < 0.05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa semua parameter yang diestimasi signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa setiap komponen dalam model, baik parameter autoregressive (AR), moving average (MA), maupun komponen musiman pada model SARIMA, memberikan kontribusi yang relevan dalam membentuk dinamika deret waktu. Pada Model 1 (ARIMA(2,0,4)) dan Model 2 (ARIMA(2,0,3)), seluruh parameter AR dan MA signifikan, yang menandakan bahwa struktur dependensi masa lalu dan kesalahan masa lalu berperan penting dalam menjelaskan pola data. Model 3 (ARIMA(2,0,2)) juga mempertahankan signifikansi seluruh parameternya dengan jumlah parameter yang lebih sedikit, sehingga menunjukkan struktur model yang lebih parsimonious tanpa kehilangan kekuatan statistik. Sementara itu, Model 4 yang memasukkan komponen musiman memperlihatkan bahwa parameter SAR(12) dan SMA(12) signifikan, yang mengindikasikan adanya pola musiman yang kuat dalam data. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa seluruh model yang diuji secara statistik layak digunakan dalam pemodelan deret waktu karena parameter yang diestimasi memiliki kontribusi yang signifikan terhadap pembentukan model.

3.4.4. Selection of The Best Model

Setelah model ARIMA/SARIMA yang diestimasi dinyatakan signifikan dan memenuhi uji diagnostik residual, langkah selanjutnya adalah menentukan model terbaik menggunakan kriteria Akaike Information Criterion (AIC). Model terbaik dipilih berdasarkan nilai AIC terkecil, karena nilai tersebut menunjukkan keseimbangan terbaik antara kecocokan model dan kompleksitasnya. Nilai AIC dari model-model yang signifikan disajikan pada Tabel 7.



Gambar 12. Time Series Plot Model ARIMA

Tabel 7. Perbandingan Model ARIMA Berdasarkan AIC dan MAE

No.	Model ARIMA	AIC	MAE Model	MAE Ramalan
1	ARIMA (2,0,4)(0,0,0)	399.915	0.457874	0.629903
2	ARIMA (2,0,3)(0,0,0)	433.333	0.463129	0.640663
3	ARIMA (2,0,2)(0,0,0)	441.867	0.484980	0.631749
4	SARIMA (0,0,0)(1,0,1) ₁₂	450.593	0.444047	0.598581

Hasil perbandingan model menunjukkan bahwa ARIMA (2,0,4)(0,0,0) memiliki nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) terendah sebesar 399.915, yang mengindikasikan kecocokan terbaik dalam merepresentasikan pola data historis. Namun demikian, evaluasi kinerja prediktif menunjukkan bahwa model ARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂ menghasilkan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) terkecil sebesar 0.444 serta MAE ramalan terendah sebesar 0.00603 dibandingkan model lainnya. Nilai kesalahan yang lebih kecil tersebut menunjukkan kemampuan prediksi yang lebih baik dalam merepresentasikan kondisi aktual pada periode peramalan. Dengan demikian, meskipun ARIMA (2,0,4)(0,0,0) lebih unggul dari sisi kecocokan model berdasarkan AIC, model ARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂ dipilih sebagai model terbaik karena memberikan akurasi peramalan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, model ARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂ digunakan sebagai model utama dalam peramalan kekeringan meteorologi pada penelitian ini.

$$Y_t = \Phi_1 Y_{t-12} + \varepsilon_t + \Theta_1 \varepsilon_{t-12}$$

dengan:

- Y_t = nilai deret waktu pada periode t
- Y_{t-12} = nilai pada satu musim sebelumnya (lag 12)
- ε_t = error pada waktu t
- ε_{t-12} = error pada lag musiman
- Φ_1 = koefisien Seasonal AR (12)
- Θ_1 = koefisien Seasonal MA (12)

3.4.6 Peramalan Kekeringan CZI

Setelah model terbaik ditentukan, yaitu SARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂, tahap berikutnya adalah melakukan peramalan untuk periode 12 bulan mendatang, yakni dari Januari hingga Desember 2024. Hasil peramalan tersebut disajikan pada Tabel 4 dengan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0.599.

Tabel 8. Hasil Peramalan CZI menggunakan ARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂

Periode	CZI Aktual	CZI Peramalan	Kategori
Januari 2024	1.278	0.713	Normal
Februari 2024	1.563	0.763	Normal
Maret 2024	2.093	1.015	Basah Sedang
April 2024	1.757	0.632	Normal
Mei 2024	-0.730	-0.208	Normal
Juni 2024	0.005	-0.701	Normal
Juli 2024	-0.926	-0.946	Normal
Agustus 2024	-1.011	-1.036	Kekeringan Sedang
September 2024	-0.291	-0.861	Normal
Oktober 2024	-0.734	-0.539	Normal
Nopember 2024	1.753	0.345	Normal
Desember 2024	1.063	0.894	Normal

Mean Absolute Error (MAE) peramalan digunakan untuk mengukur seberapa besar rata-rata deviasi nilai yang diprediksi ($\hat{Y}_t$) dari nilai aktual (Y_t) selama periode peramalan. Rumus MAE adalah:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t| = \frac{1}{12} \sum_{t=1}^n |7.18927| = 0.598581$$

di mana n adalah jumlah periode peramalan. Nilai MAE yang lebih rendah menunjukkan akurasi prediksi yang lebih tinggi. Pada penelitian ini, *Forecasting* MAE sebesar 0.598581 untuk model SARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂ menegaskan bahwa model ini mampu merepresentasikan kondisi aktual CZI dengan kesalahan yang minimal.

3.4.7 Diskusi

Hasil penelitian menunjukkan perbedaan tegas antara kecocokan model historis dan kemampuan prediksi, di mana model ARIMA (2,0,4)(0,0,0) memiliki nilai AIC terendah (399.915) sebagai representasi terbaik terhadap data historis, namun tidak memberikan akurasi prediksi optimal, sedangkan model SARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂ menunjukkan performa superior dengan In-Sample MAE sebesar 0.444047 dan *Forecasting* MAE sebesar 0.598581 sehingga lebih andal dalam peramalan; keunggulan ini konsisten dengan literatur yang menegaskan bahwa kekeringan meteorologi sangat dipengaruhi oleh siklus musiman, sebagaimana diungkapkan oleh Rahman et al. (2025) [1] dan Mukherjee et al. (2018) [7], sehingga model non-musiman seperti ARIMA cenderung gagal menangkap pola periodik, sementara SARIMA mampu mengakomodasi fluktuasi tahunan melalui lag musiman (12 bulan); temuan ini juga sejalan dengan Affandy et al. (2023) [18] dan Sunusi & Auliana (2025) [16] yang menunjukkan bahwa SARIMA memberikan akurasi lebih tinggi dalam peramalan indeks kekeringan, khususnya pada wilayah dengan pola hujan musiman kuat, yang menegaskan bahwa komponen musiman merupakan faktor determinan dalam model time series hidrometeorologi; dari sisi indeks, penggunaan CZI terbukti konsisten dengan Şener & Şener (2021) [21], Dewita et al. (2022) [22], dan Novita et al. (2021) [23] yang menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap variasi curah hujan, sementara integrasi analisis spasial-temporal selaras dengan Dai et al. (2024) [11] dan Chang et al. (2025) [6] dalam menjelaskan kompleksitas propagasi kekeringan; perbedaan performa ARIMA dan SARIMA dalam penelitian ini menegaskan adanya *trade-off* antara *goodness-of-fit* dan *predictive accuracy*, di mana ARIMA cenderung overfitting terhadap data historis, sedangkan SARIMA lebih representatif terhadap struktur fisik fenomena musiman, sehingga evaluasi berbasis MAE menjadi lebih relevan dibandingkan hanya AIC; secara teoritis, penelitian ini menegaskan bahwa pemodelan kekeringan harus mengintegrasikan struktur musiman sebagai representasi proses iklim, sementara secara praktis, hasil ini memberikan dasar kuat bagi pengembangan sistem peringatan dini kekeringan (*early warning system*) yang lebih akurat dan aplikatif dalam pengelolaan sumber daya air, strategi irigasi, serta mitigasi risiko kekeringan secara berkelanjutan.

IV. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengungkap pola kekeringan meteorologi di DAS Blega melalui analisis spasio-temporal indeks CZI pada berbagai skala waktu, serta memetakan wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi secara jelas. Dalam aspek peramalan, meskipun model ARIMA (2,0,4) menunjukkan kecocokan historis terbaik (AIC terendah), model SARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂ terbukti lebih unggul dalam akurasi prediksi (MAE terendah), menegaskan pentingnya komponen musiman dalam memodelkan dinamika kekeringan.

Secara ilmiah, penelitian ini menegaskan bahwa pemodelan kekeringan harus mengintegrasikan struktur musiman dan evaluasi berbasis akurasi prediksi, bukan sekadar kecocokan historis. Secara praktis, hasil ini memperkuat pengembangan sistem peringatan dini kekeringan yang lebih andal untuk mendukung pengelolaan sumber daya air dan strategi adaptasi. Kontribusi ini relevan terhadap SDG 2 (*Zero Hunger*), SDG 6 (*Clean Water and Sanitation*), dan SDG 13 (*Climate Action*).

Namun, penelitian ini masih terbatas pada variabel curah hujan dan pendekatan statistik, sehingga belum menangkap kompleksitas non-linear dan faktor iklim lainnya. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mengintegrasikan variabel iklim tambahan, indeks kekeringan lain, serta pendekatan machine learning untuk meningkatkan akurasi dan ketahanan model.

Dengan demikian, model SARIMA yang dihasilkan tidak hanya akurat secara statistik, tetapi juga relevan secara fisik dan aplikatif dalam mendukung mitigasi kekeringan berkelanjutan.

v. Daftar Pustaka

- [1] G. Rahman, M.-K. Jung, T.-W. Kim, and H.-H. Kwon, "Drought impact, vulnerability, risk assessment, management and mitigation under climate change: A comprehensive review," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 29, no. 1, p. 100120, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.kscej.2024.100120.
- [2] S. Khetwani, R. B. Singh, and K. Moin, "Impact of drought, farmers' adaptation strategies and administrative mitigation measure in the Marathwada region, India," *Environmental & Socio-economic Studies*, vol. 8, no. 2, pp. 1–11, Jun. 2020, doi: 10.2478/environ-2020-0007.
- [3] S. M. Vicente-Serrano *et al.*, "The complex multi-sectoral impacts of drought: Evidence from a mountainous basin in the Central Spanish Pyrenees," *Science of The Total Environment*, vol. 769, p. 144702, May 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144702.
- [4] S. He, D. Wang, X. Sang, and G. Niu, "Water Resource Regulation and Evaluation Method Based on Optimization of Drought-Limited Water Level in Reservoir Group," *Sustainability*, vol. 16, no. 16, p. 7015, Aug. 2024, doi: 10.3390/su16167015.
- [5] N. A. Affandy, D. Iranata, M. A. Maulana, D. D. Prastyo, and Romadhon, "Multivariate forecasting: Interdependency of meteorological and hydrological droughts in Corong river basin," 2025, p. 030004, doi: 10.1063/5.0279257.
- [6] L. Chang, L. Cheng, L. Zhang, D. Han, J. Zhang, and P. Liu, "Remote sensing-based high-resolution reservoir drought index for identifying the occurrence and propagation of hydrological droughts in a large river basin," *Remote Sens. Environ.*, vol. 328, p. 114859, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.rse.2025.114859.
- [7] S. Mukherjee, A. Mishra, and K. E. Trenberth, "Climate Change and Drought: a Perspective on Drought Indices," *Curr. Clim. Change Rep.*, vol. 4, no. 2, pp. 145–163, Jun. 2018, doi: 10.1007/s40641-018-0098-x.
- [8] J. Qiu, Z. Shen, and H. Xie, "Drought impacts on hydrology and water quality under climate change," *Science of The Total Environment*, vol. 858, p. 159854, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159854.
- [9] D. Roy, Y. C. Korir, S. A. Gillespie, and M. S. Hossain, "Social-ecological systems approach in drought-food insecurity nexus research," *npj Sustainable Agriculture*, vol. 3, no. 1, p. 26, May 2025, doi: 10.1038/s44264-025-00070-4.
- [10] C. Serban and C. Maftai, "Remote Sensing Evaluation of Drought Effects on Crop Yields Across Dobrogea, Romania, Using Vegetation Health Index (VHI)," *Agriculture*, vol. 15, no. 7, p. 668, Mar. 2025, doi: 10.3390/agriculture15070668.
- [11] M. Dai *et al.*, "Propagation from Meteorological to Hydrological Drought considering Nonstationarity in the Luanhe River Basin: Spatiotemporal Pattern and Driving Factors," *J. Hydrometeorol.*, vol. 25, no. 10, pp. 1443–1459, Oct. 2024, doi: 10.1175/JHM-D-23-0179.1.
- [12] J. Huang *et al.*, "Comparison of three remotely sensed drought indices for assessing the impact of drought on winter wheat yield," *Int. J. Digit. Earth*, vol. 13, no. 4, pp. 504–526, Apr. 2020, doi: 10.1080/17538947.2018.1542040.
- [13] Donny Harisuseno, Muhammad Amar Sajali, and Winnie Meilinda Dewi, "Pemetaan Spasial Kekeringan Menggunakan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) di DAS Blega, Kabupaten Bangkalan," *Jurnal teknika*, vol. 16, no. 2, pp. 67–78, Sep. 2024, doi: 10.30736/jt.v16i2.1241.
- [14] M. Ramadhani, "Kajian Kerusakan Lingkungan akibat Degradasi Lahan dengan Tinjauan Limpasan Permukaan di Daerah Aliran Sungai Blega Madura," Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2018. Accessed: Mar. 07, 2026. [Online]. Available: <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/155102>
- [15] S. S. Ojha, V. Singh, and T. Roshni, "Comparison of meteorological drought using spi and spei," *Civil Engineering Journal (Iran)*, vol. 7, no. 12, pp. 2130–2149, Dec. 2021, doi: 10.28991/CEJ-2021-03091783.
- [16] N. Sunusi and N. H. Auliana, "Assessing SPI and SPEI for drought forecasting through the power law process: A case study in South Sulawesi, Indonesia," *MethodsX*, vol. 14, p. 103235, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.mex.2025.103235.

-
- [17] B. Ma, B. Zhang, L. Jia, and H. Huang, "Conditional distribution selection for SPEI-daily and its revealed meteorological drought characteristics in China from 1961 to 2017," *Atmos. Res.*, vol. 246, p. 105108, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105108.
- [18] N. A. Affandy, N. Anwar, M. A. Maulana, D. D. Prastyo, A. Kurniawan, and F. X. Suryadi, "Forecasting meteorological drought through SPEI with SARIMA model," 2023, p. 080005. doi: 10.1063/5.0154230.
- [19] N. V. Danandeh Mehr A, Torabi Haghighi A, Jabarnejad M, Safari MJS, "A New Evolutionary Hybrid Random Forest Model for SPEI Forecasting," *Water (Basel)*, vol. 14, no. 5, p. 755, 2022.
- [20] H. Yang *et al.*, "Spatial and temporal patterns of drought based on RW-PDSI index on Loess Plateau in the past three decades," *Ecol. Indic.*, vol. 166, p. 112409, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.ecolind.2024.112409.
- [21] E. ŞENER and Ş. ŞENER, "SPI ve CZI Kuraklık İndislerinin CBS Tabanlı Zamansal ve Konumsal Karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası Örneği," *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 41–58, Jan. 2021, doi: 10.21324/dacd.800036.
- [22] M. Dewita, D. Harisuseno, and E. Suhartanto, "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, no. 1, pp. 1–13, Jan. 2022, doi: 10.21776/ub.jtresda.2022.002.01.01.
- [23] F. Novita, D. Harisuseno, and E. Suhartanto, "Studi Kekeringan Meteorologi dengan Menggunakan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) dan China Z Index (CZI) di DAS Lekso Kabupaten Blitar," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 1, no. 2, pp. 648–660, Apr. 2021, doi: 10.21776/ub.jtresda.2021.001.02.26.
- [24] U. Zeybekoğlu and G. Aktürk, "A comparison of the China-Z Index (CZI) and the Standardized Precipitation Index (SPI) for drought assessment in the Hirfanli Dam basin in central Turkey," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 14, no. 24, p. 2731, Dec. 2021, doi: 10.1007/s12517-021-09095-8.
- [25] B. S. N. Satria, Gusfan Halik, and Entin Hidayah, "Asesmen Kekeringan Meteorologi dengan Metode China Z Index (CZI) dan Standarized Precipitation Index (SPI) di DAS Sampean Baru, Kabupaten Bondowoso," *Jurnal Teknika*, vol. 16, no. 1, pp. 51–60, Jun. 2024, doi: 10.30736/jt.v16i1.1242.
- [26] L. Li and H. Cai, "A comparative study of various drought indices at different timescales and over different record lengths in the arid area of northwest China," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 31, no. 17, pp. 25096–25113, Mar. 2024, doi: 10.1007/s11356-024-32803-2.
- [27] A. A. Mekonen, A. B. Berlie, and M. B. Ferede, "Spatial and temporal drought incidence analysis in the northeastern highlands of Ethiopia," *Geoenvironmental Disasters*, vol. 7, no. 1, p. 10, Dec. 2020, doi: 10.1186/s40677-020-0146-4.
- [28] A. F. Ipek, A. Altas, U. Serencam, and I. Dabanli, "Spatio-Temporal Drought Assessment by Using the Innovative Probability of Drought Severity (PDS) Method," *Water Resources Management*, vol. 39, no. 10, pp. 5135–5150, Aug. 2025, doi: 10.1007/s11269-025-04199-2.
- [29] A. Senamaw, S. Addisu, and K. V. Suryabhagavan, "Mapping the spatial and temporal variation of agricultural and meteorological drought using geospatial techniques, Ethiopia," *Environmental Systems Research*, vol. 10, no. 1, p. 15, Dec. 2021, doi: 10.1186/s40068-020-00204-2.
-