

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 is one of the hydrometeorological phenomena that frequently occurs and has the potential to cause serious impacts on water availability, agricultural activities, and the sustainability of community livelihoods. This condition requires a deeper understanding of drought patterns as well as the capability to anticipate the likelihood of future drought events. This study aims to analyze the spatio-temporal dynamics of meteorological drought in the Blega Watershed using the China-Z Index (CZI) at multiple time scales, namely CZI-1, CZI-3, CZI-6, CZI-12, and CZI-24, while also mapping areas vulnerable to drought. In addition, this study develops drought forecasting using the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model to estimate future drought trends. The results indicate that the CZI is capable of capturing fluctuations in drought conditions from wet to dry categories across different time scales and identifying areas with varying levels of drought vulnerability within the Blega Watershed. Time series modeling shows that the SARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂ model provides the best predictive performance, with a Mean Absolute Error (MAE) value of 0.599, indicating that the model is reasonably accurate in representing drought dynamics. These findings suggest that drought patterns in the study area are influenced by annual seasonal variations closely related to rainfall distribution. Therefore, this study not only provides a scientific overview of meteorological drought characteristics in the Blega Watershed but also offers valuable information for drought mitigation planning, water resource management, and more responsive policy-making toward climate variability.

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



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

Corresponding Author:

Nur Azizah Affandy

Department of Civil Engineering, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Lamongan,
Jalan Veteran no 53 ALamongan

Email: nurazizah@unisla.ac.id

Abstrak— Kekeringan meteorologi merupakan salah satu fenomena hidrometeorologi yang sering terjadi dan berpotensi menimbulkan dampak serius terhadap ketersediaan air, aktivitas pertanian, serta keberlanjutan kehidupan masyarakat. Kondisi ini menuntut adanya pemahaman yang lebih mendalam mengenai pola kekeringan sekaligus kemampuan untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya kekeringan di masa mendatang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika kekeringan meteorologi secara spasio-temporal di Daerah Aliran Sungai (DAS) Blega menggunakan indeks China-Z Index (CZI) pada berbagai skala waktu, yaitu CZI-1, CZI-3, CZI-6, CZI-12, dan CZI-24, sekaligus memetakan sebaran wilayah yang rentan terhadap kekeringan. Selain itu, penelitian ini juga mengembangkan peramalan kekeringan menggunakan model Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) untuk memperkirakan kecenderungan kondisi kekeringan pada periode mendatang. Hasil analisis menunjukkan bahwa indeks CZI mampu menggambarkan fluktuasi kondisi kekeringan dari kategori basah hingga kering pada berbagai skala waktu, serta mengidentifikasi wilayah dengan tingkat kerentanan kekeringan yang berbeda di DAS Blega. Pemodelan deret waktu menunjukkan bahwa model SARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂ memberikan kinerja prediksi terbaik dengan nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 0.599, yang menandakan kemampuan model dalam merepresentasikan dinamika kekeringan secara cukup akurat. Temuan ini menunjukkan bahwa pola kekeringan di wilayah penelitian dipengaruhi oleh variasi musiman tahunan yang berkaitan erat dengan distribusi curah hujan. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan gambaran ilmiah mengenai karakteristik kekeringan meteorologi di DAS Blega, tetapi juga menyediakan dasar informasi yang berguna bagi perencanaan mitigasi kekeringan, pengelolaan sumber daya air, serta pengambilan kebijakan yang lebih responsif terhadap variabilitas iklim.

I. Pendahuluan

Kekeringan merupakan salah satu bencana alam yang paling kompleks dan berdampak luas terhadap kehidupan manusia dan lingkungan [1], [2], [3]. Berbeda dengan bencana yang tiba-tiba, kekeringan muncul secara perlahan, sering kali tanpa peringatan yang jelas, namun efeknya bisa terasa bertahun-tahun. Kondisi ini biasanya terjadi ketika curah hujan berada jauh di bawah normal sehingga mengganggu keseimbangan hidrologi dan ketersediaan sumber daya air (Mishra & Singh, 2019; Vicente-Serrano et al., 2021) [3], [4], [5], [6], [7]. Dampak kekeringan tidak hanya mengancam pertanian, sumber air, dan ekosistem, tetapi juga kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat, terutama mereka yang sangat bergantung pada air dan lahan pertanian [8], [9], [10].

Dalam beberapa tahun terakhir, fenomena kekeringan semakin sering terjadi dan intensitasnya meningkat, dipicu oleh perubahan iklim global, degradasi lingkungan, serta pertumbuhan populasi yang cepat [11], [12]. Di Indonesia, variasi curah hujan yang ekstrem, termasuk interaksi antara atmosfer dan laut, membuat beberapa daerah, terutama Pulau Madura, rawan mengalami kekeringan berkepanjangan. Hal ini memunculkan kebutuhan yang mendesak untuk memantau kekeringan secara sistematis agar masyarakat dan pemerintah dapat merespons dengan cepat dan tepat [13], [14].

Berbagai indeks telah dikembangkan untuk mengukur kekeringan, seperti 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]. Di antara indeks-indeks tersebut, CZI menonjol karena mampu menggunakan data curah hujan terbatas, sederhana dalam perhitungan, dan efektif dalam menilai tingkat keparahan kekeringan [25], [26]. Beberapa penelitian di Indonesia telah berhasil menggunakan CZI untuk menilai kekeringan di DAS Kadalpang dan DAS Sampean Baru, menunjukkan bahwa metode ini dapat menangkap dinamika kekeringan berdasarkan skala waktu curah hujan [22], [25].

Namun, sebagian besar studi sebelumnya hanya menekankan analisis temporal tanpa meninjau distribusi spasial kekeringan secara menyeluruh. Padahal, mengetahui wilayah yang paling rentan sangat penting untuk mendukung perencanaan mitigasi bencana dan pengelolaan sumber daya air yang tepat sasaran [27], [28], [29]. Di Pulau Madura, informasi seperti ini masih sangat terbatas, khususnya di DAS Blega yang memiliki risiko kekeringan tinggi karena variabilitas curah hujan dan keterbatasan sumber daya air.

Penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut. Fokus utama penelitian adalah menganalisis kekeringan meteorologi secara spasio-temporal di DAS Blega menggunakan CZI pada berbagai skala waktu, yaitu CZI-1, CZI-3, CZI-6, CZI-12, dan CZI-24, sekaligus memetakan distribusi spasial kekeringan. Selain itu, penelitian ini menambahkan analisis peramalan kekeringan menggunakan model ARIMA untuk memprediksi kondisi kekeringan pada periode

mendatang, sehingga memungkinkan identifikasi wilayah yang berpotensi mengalami kekeringan. Dengan pendekatan ini, penelitian bertujuan memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai pola kekeringan, wilayah paling rentan, serta perkiraan dinamika kekeringan di masa depan. Hasil penelitian diharapkan tidak hanya bermanfaat secara ilmiah, tetapi juga memberikan informasi praktis bagi pengambil kebijakan, pengelola sumber daya air, dan masyarakat setempat dalam merencanakan strategi adaptasi dan mitigasi kekeringan. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi dasar untuk studi lanjutan yang mengintegrasikan indikator kekeringan meteorologi dengan faktor sosial-ekonomi, pertanian, dan hidrologi, sehingga memungkinkan evaluasi risiko kekeringan yang lebih komprehensif di masa depan.

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.

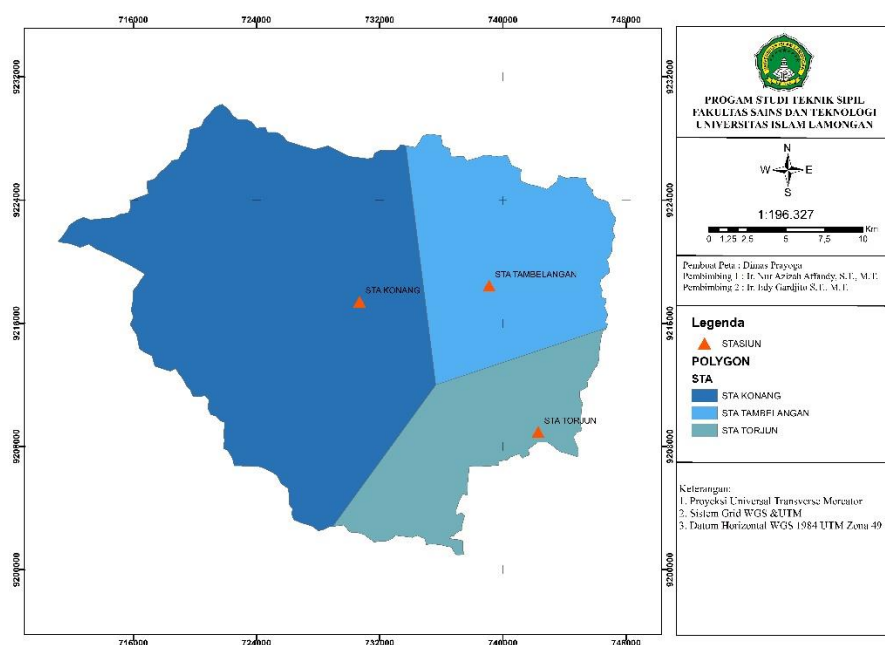
2.2 Lokasi Penelitian

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 kepencengan
 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	Ekstrim 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 Ekstrim

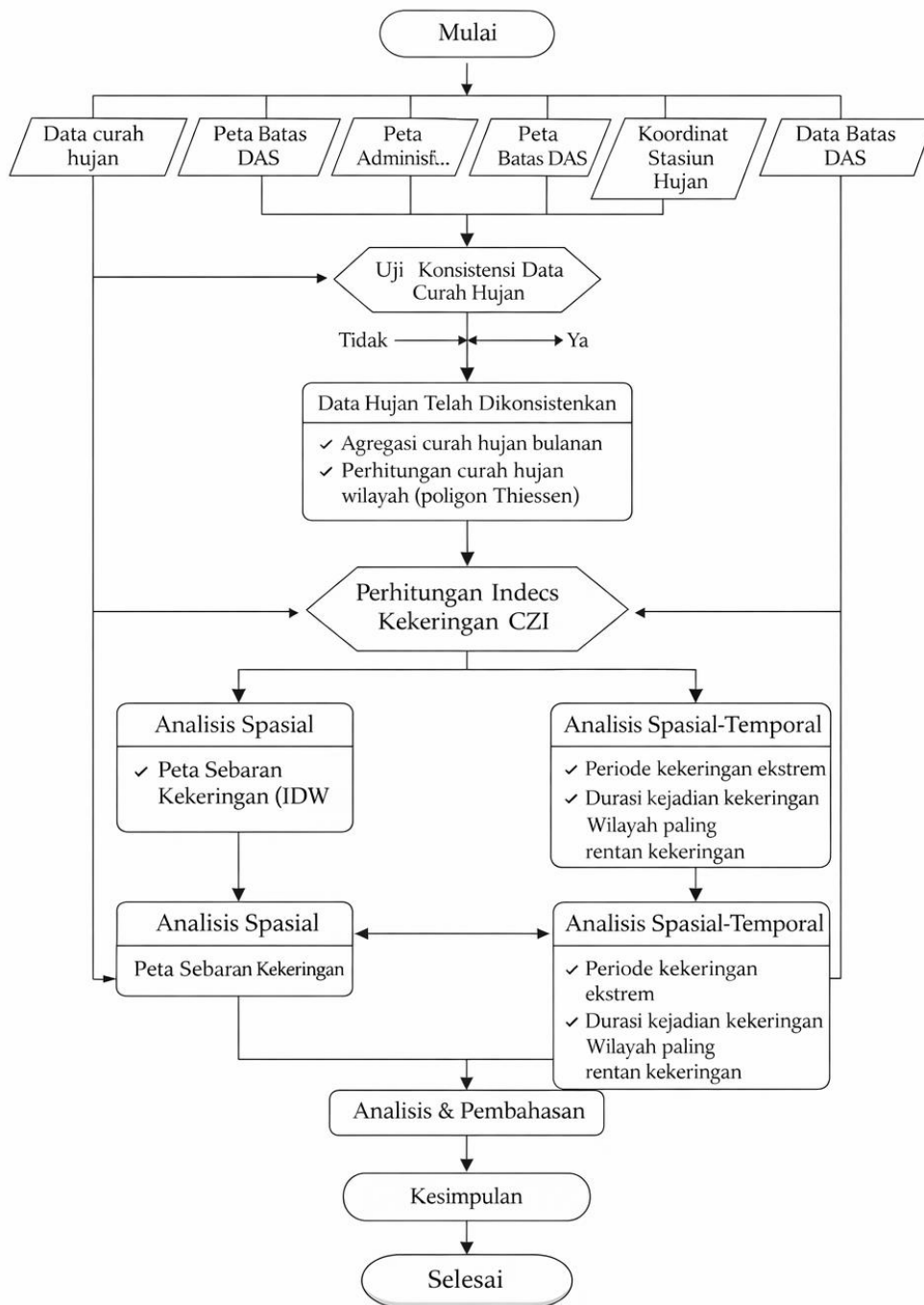
Klasifikasi ini digunakan untuk mengidentifikasi tingkat intensitas kekeringan yang terjadi pada setiap periode analisis.

2.7 Analisis Spasial Kekeringan

Distribusi spasial kekeringan dianalisis menggunakan metode interpolasi Inverse Distance Weighted (IDW). 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 Alur Penelitian

Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada diagram alur penelitian berikut.



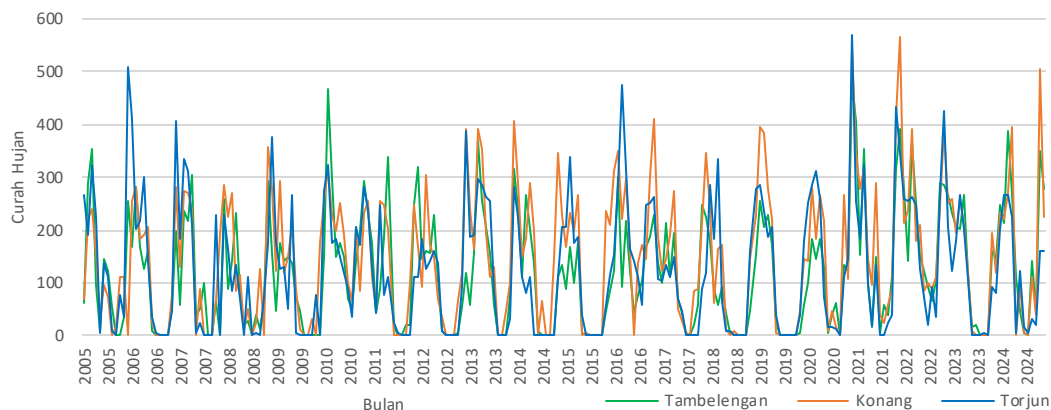
Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. 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 Tambelengan, Stasiun Konang dan Stasiun Torjun

Berdasarkan grafik Gambar 3. curah hujan tahunan dari Stasiun Tambelengan, Konang, dan Torjun selama periode 2005–2024, ketiga stasiun menunjukkan fluktuasi curah hujan yang signifikan, dengan Stasiun Tambelengan 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} kritis 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 kritis 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} Kritis (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

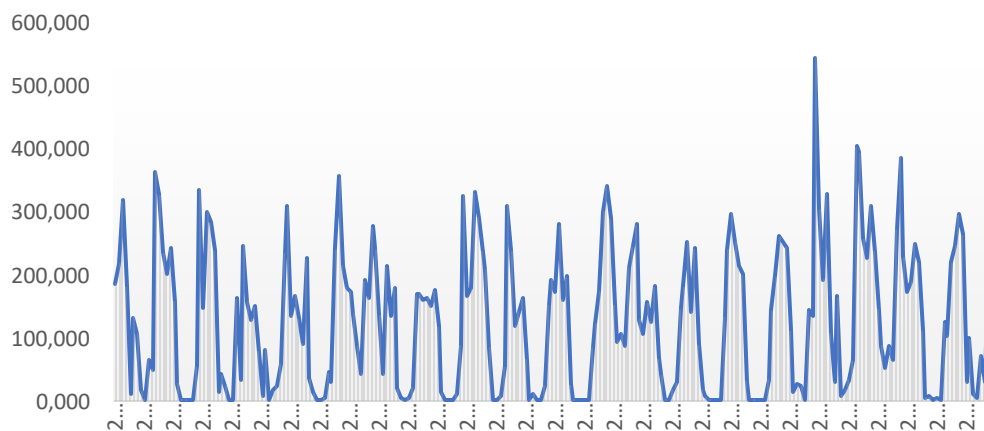
Curah hujan wilayah DAS Blega dihitung menggunakan metode poligon Thiessen untuk memperoleh nilai hujan representatif wilayah. Metode ini mempertimbangkan luas pengaruh masing-masing stasiun hujan terhadap DAS, sehingga nilai curah hujan wilayah yang dihasilkan lebih representatif dibandingkan rata-rata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

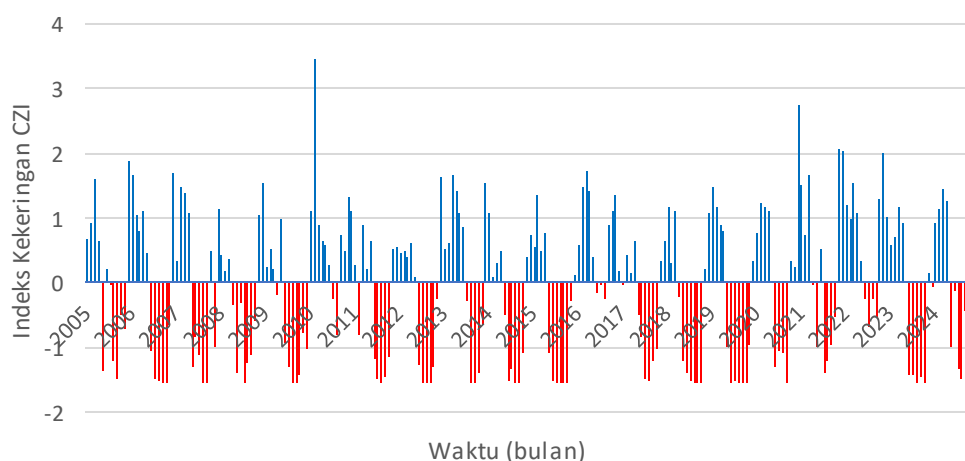
No	Nama Stasiun	Luas (Km ²)	Koefisien
1	Tambelengan	150,746	0,237
2	Konang	107,121	0,168
3	Torjun	378,340	0,595
Luas Total DAS Blega		636,207	1



Gambar 4. Curah hujan Wilayah DAS Blega

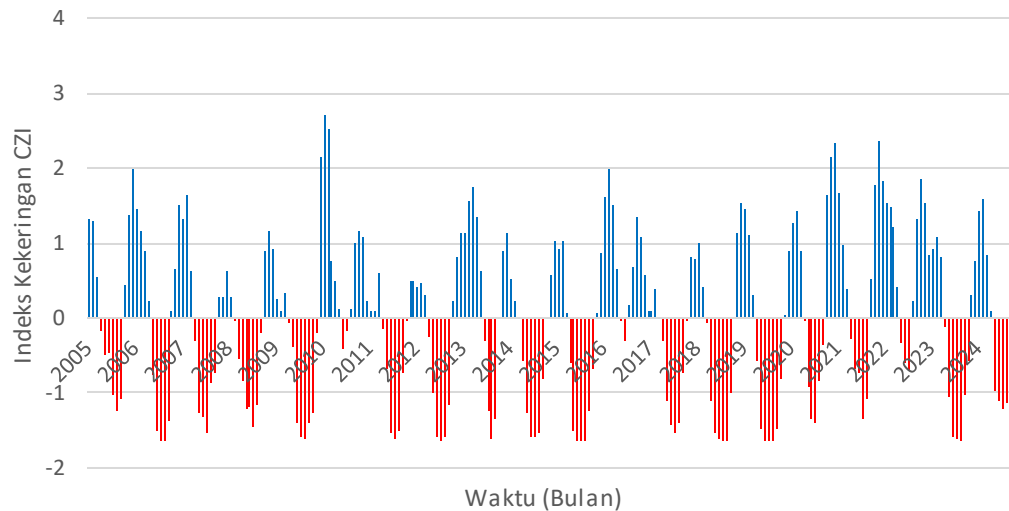
Pada Gambar 4. Data curah hujan periode 2005–2024 menunjukkan pola fluktuasi musiman dengan variabilitas yang cukup tinggi. Nilai curah hujan maksimum mencapai sekitar 550 mm, sedangkan nilai minimum mendekati 0 mm pada periode kering. Rata-rata curah hujan berada pada kisaran $\pm 150\text{--}200$ mm, 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



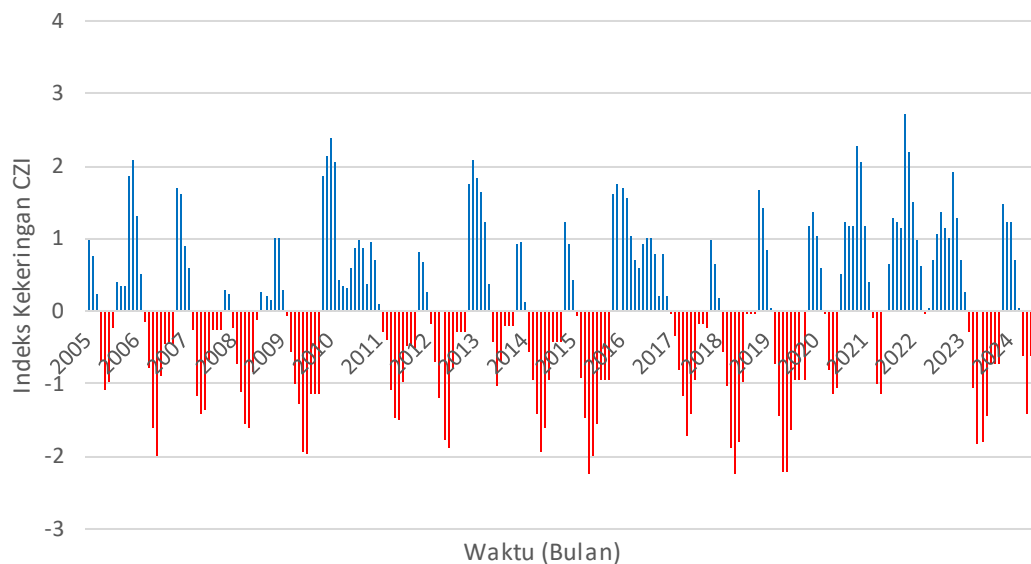
Gambar 5. Grafik CZI 1 Sub DAS Blega

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



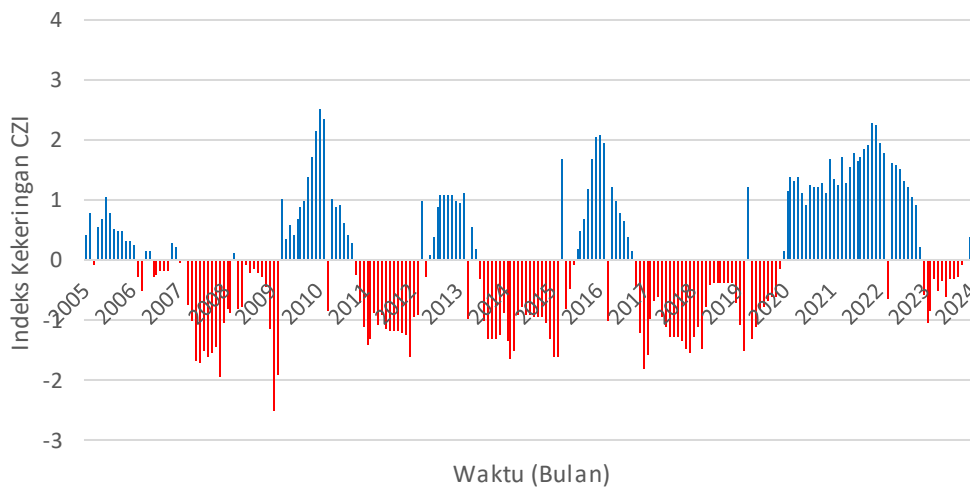
Gambar 6. Grafik CZI 3 Sub DAS Blega

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



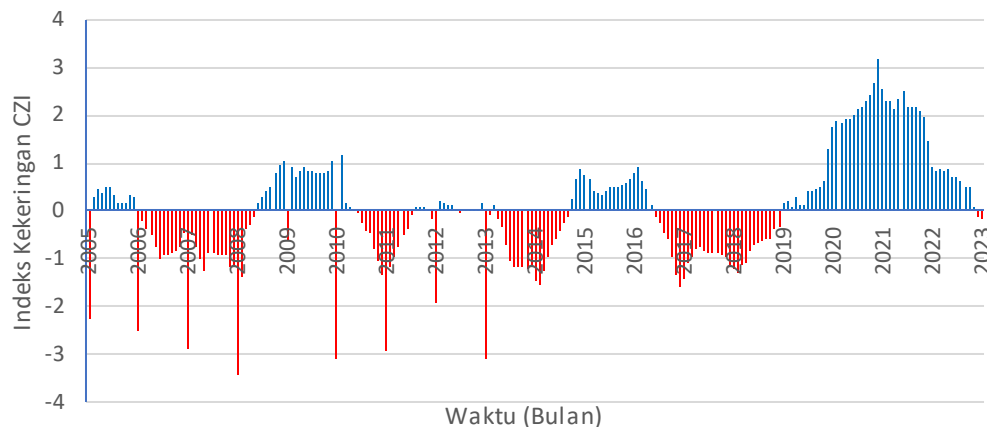
Gambar 7. Grafik CZI 6 Sub DAS Blega

Berdasarkan gambar 7. diatas perhitungan CZI periode 6 menghasilkan nilai CZI minimum yaitu -2,24 dengan klasifikasi Normal yang terjadi dibulan Oktober Tahun 2016, sedangkan untuk nilai CZI maksimum yaitu 2,72 dengan Klasifikasi 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 Normal yang terjadi dibulan Desember Tahun 2009, sedangkan untuk nilai CZI maksimum yaitu 2,52 dengan Klasifikasi Normal yang terjadi dibulan Desember tahun 2010.



Gambar 9. Grafik CZI 24 Sub DAS Blega

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

3.3 Metode Validasi Indeks Kekeringan

Untuk memastikan keandalan hasil analisis kekeringan, dilakukan validasi indeks CZI melalui perbandingan dengan kondisi curah hujan aktual dan pola iklim musiman di wilayah studi.

Validasi dilakukan melalui dua pendekatan:

Analisis korelasi antara nilai indeks CZI dan anomali curah hujan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara indeks kekeringan dengan kondisi meteorologi aktual.

Analisis konsistensi temporal, yaitu membandingkan periode kejadian kekeringan yang dihasilkan oleh indeks CZI dengan periode musim kemarau yang terjadi secara klimatologis.

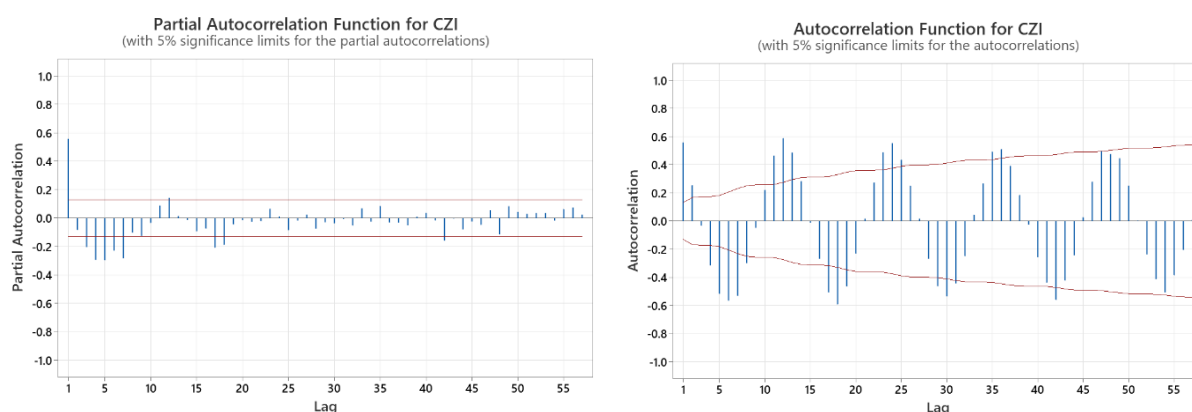
Pendekatan ini digunakan untuk memastikan bahwa indeks yang dihasilkan mampu merepresentasikan kondisi kekeringan secara realistis.

3.4 Forecasting Meteorological Drought Using the China Z Index (CZI) with the Auto regressive Integrated Moving Average (ARIMA) Model

3.4.1 Identification of Stationarity in Mean

After the time series was confirmed to be stationary in variance, the next step was to assess stationarity in mean as one of the fundamental prerequisites for ARIMA modeling. This assessment was performed using the Augmented Dickey-Fuller (ADF) test, where the null hypothesis states that the time series contains a unit root and is therefore non-stationary, whereas the alternative hypothesis states that the series does not contain a unit root and is stationary.

The ADF test results yielded a test statistic of -4.96809 with a p-value < 0.001. At the 5% significance level, the p-value being lower than 0.05 indicates rejection of the null hypothesis. In addition, the test statistic being smaller than the critical value further strengthens the evidence that the CZI time series does not contain a unit root. Therefore, the CZI time series can be concluded to be stationary in mean and has satisfied the prerequisite for proceeding to the model identification, parameter estimation, and diagnostic evaluation stages of ARIMA modeling.



Gambar 9. Grafik ACF dan PACF

Gambar 9. 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

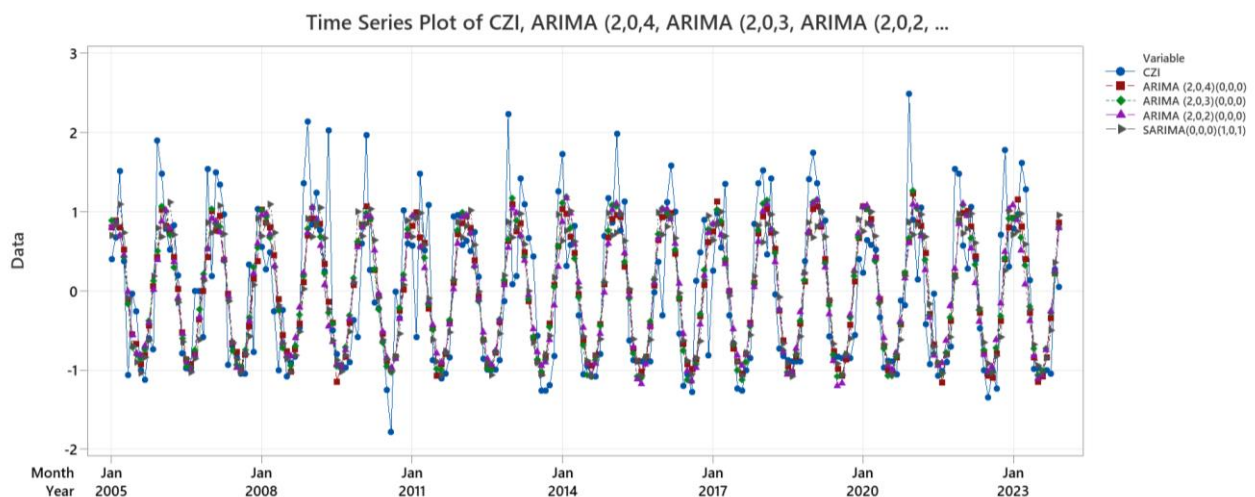
Model	Parameter	Estimation	p-value	Significance
Model 1 (ARIMA(2,0,4))	AR(1)	1.73219	0.000	Significant
	AR(2)	-1.00114	0.000	Significant
	MA(1)	1.6366	0.000	Significant
	MA(2)	-0.74458	0.000	Significant
	MA(3)	-0.2626	0.000	Significant
	MA(4)	0.1067	0.000	Significant

Model	Parameter	Estimation	p-value	Significance
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 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 10. 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 0.444047 serta MAE ramalan terendah sebesar 0.0060275 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	0.71318	
Februari 2024	1.563	0.76306	
Maret 2024	2.093	1.01473	
April 2024	1.757	0.63230	
Mei 2024	-0.730	-0.20770	
Juni 2024	0.005	-0.70055	
Juli 2024	-0.926	-0.94633	
Agustus 2024	-1.011	-1.03598	
September 2024	-0.291	-0.86047	
Oktober 2024	-0.734	-0.53934	
Nopember 2024	1.753	0.34535	
Desember 2024	1.063	0.89408	

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 perbandingan model ARIMA menunjukkan perbedaan antara kecocokan model terhadap data historis dan kemampuan prediksi nilai indeks kekeringan meteorologi (CZI). Berdasarkan nilai Akaike Information Criterion (AIC), model ARIMA (2,0,4)(0,0,0) memiliki nilai terkecil (399.915), menandakan representasi terbaik terhadap pola historis data CZI. Namun, apabila dilihat dari akurasi prediksi, model ARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂ menunjukkan performa superior dengan *In-Sample* MAE = 0.444047 dan *Forecasting* MAE = 0.598581, yang menandakan kesalahan prediksi paling rendah di antara model lain.

Keunggulan model ini terutama disebabkan oleh komponen musiman tahunan (lag 12) yang signifikan, mencerminkan bahwa fluktuasi kekeringan meteorologi mengikuti siklus musiman tahunan yang erat kaitannya dengan pola curah hujan. Dengan menangkap pola musiman ini, model mampu memprediksi kondisi kekeringan pada periode mendatang secara lebih akurat, termasuk potensi kemunculan kekeringan ringan, sedang, atau ekstrem yang tercermin pada variasi nilai CZI.

Dengan demikian, meskipun ARIMA (2,0,4) memiliki kecocokan historis terbaik menurut AIC, model SARIMA (0,0,0)(1,0,1)₁₂ dipilih sebagai model optimal untuk peramalan kekeringan meteorologi. Model ini tidak hanya memberikan prediksi dengan kesalahan paling rendah, tetapi juga menangkap dinamika musiman yang krusial bagi mitigasi kekeringan, perencanaan pengelolaan air, dan strategi adaptasi terhadap kondisi ekstrem iklim.

III. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan, penelitian ini berhasil mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Pertama, analisis spasio-temporal indeks kekeringan meteorologi (CZI) di DAS Blega pada berbagai skala waktu (CZI-1, CZI-3, CZI-6, CZI-12, dan CZI-24) berhasil mengidentifikasi pola fluktuasi kekeringan serta wilayah yang paling rentan terhadap kekeringan. Kedua, pemetaan distribusi spasial kekeringan memberikan gambaran visual yang jelas mengenai daerah dengan tingkat kekeringan tinggi, sedang, maupun rendah, sehingga memudahkan pengambilan keputusan untuk mitigasi dan adaptasi. Selanjutnya, penerapan model ARIMA dalam peramalan kekeringan memungkinkan prediksi kondisi kekeringan pada periode mendatang dengan tingkat akurasi yang memadai. Model ARIMA yang digunakan mampu menangkap pola musiman tahunan pada data CZI dan menghasilkan peramalan dengan Mean Absolute Error (MAE) rendah, sehingga dapat menjadi alat bantu yang efektif bagi pengelola sumber daya air dan pengambil kebijakan untuk merencanakan strategi adaptasi terhadap potensi kekeringan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi ilmiah berupa pemahaman pola kekeringan secara spasio-temporal, tetapi juga menyediakan dasar praktis untuk peramalan dan mitigasi kekeringan. Temuan ini dapat menjadi acuan bagi studi lanjutan yang mengintegrasikan indikator kekeringan meteorologi dengan faktor sosial-ekonomi, pertanian, dan hidrologi, sehingga evaluasi risiko kekeringan di masa depan dapat dilakukan secara lebih komprehensif.

IV. 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/enviro-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.