

## Analisis Kekeringan Meteorologis dan Hidrologis DAS Brantas, Kabupaten Trenggalek

### *Meteorological and Hydrological Drought Analysis of Brantas Watershed, Trenggalek Regency*

Alan Wijaya<sup>1)</sup>\* Asep Ferdiansyah<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Institut Teknologi Garut

Jalan Walikota Syamsu No.1, Jayaraga, Kecamatan Tarogong Kidul, 44151, Kabupaten Garut, Indonesia

<sup>2)</sup> Balai Hidrologi dan Lingkungan Kerairan

Jalan Ir. H. Juanda No.193, Dago, Kecamatan Coblong, 40135, Kota Bandung, Indonesia

\*Corresponding author: [alanwijaya@itg.ac.id](mailto:alanwijaya@itg.ac.id)

Diterima: 21 Desember 2024; Direvisi: 19 Februari 2026; Disetujui: 13 Mei 2026

#### Abstract

Trenggalek Regency in East Java Province is considered vulner between these two drought typesable to drought due to uneven rainfall distribution and predominantly hilly topography. This study aims to assess the levels of meteorological and hydrological drought hazards and to examine the relationship between these two types of drought within the region. Meteorological drought was analyzed using the three-month Standardized Precipitation Index SPI-3, derived from rainfall records obtained from 18 rainfall stations. Hydrological drought was evaluated using the three-month Standardized Runoff Index SRI-3, based on discharge data from several streamflow gauging stations within the Brantas sub-watersheds. The spatial distribution of drought hazards was mapped using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method within a spatial analysis framework. The results indicate that the southern coastal area of Trenggalek Regency experiences high to very high meteorological drought hazard, whereas the mountainous regions exhibit relatively lower drought hazard due to higher rainfall intensity. Hydrological drought analysis reveals that drought hazard levels vary from very low to moderate across several gauging stations. The discrepancy between meteorological and hydrological drought conditions is influenced by the presence of baseflow derived from groundwater storage, which helps sustain river discharge during dry periods. Correlation analysis between SPI-3 and SRI-3 demonstrates a positive relationship, with correlation coefficients ranging from 0.41 to 0.79, indicating that meteorological drought generally precedes hydrological drought with a detectable lag time. These findings provide important insights for improving drought mitigation strategies and supporting sustainable water resources management in Trenggalek Regency.

**Keywords:** drought, meteorological, hydrological, brantas watershed, trenggalek regency

#### Abstrak

Kabupaten Trenggalek merupakan salah satu wilayah di Provinsi Jawa Timur yang rentan terhadap kejadian kekeringan akibat distribusi curah hujan yang tidak merata dan kondisi topografi yang didominasi perbukitan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat ancaman kekeringan meteorologis dan hidrologis serta mengetahui hubungan antara keduanya di wilayah Kabupaten Trenggalek. Analisis kekeringan meteorologis dilakukan menggunakan metode Standardized Precipitation Index (SPI) skala tiga bulanan (SPI-3) berdasarkan data curah hujan dari 18 pos hujan. Analisis kekeringan hidrologis dilakukan menggunakan metode Standardized Runoff Index (SRI) skala tiga bulanan (SRI-3) berdasarkan data debit dari beberapa pos duga air pada Sub-DAS Brantas. Pemetaan sebaran kekeringan dilakukan menggunakan analisis spasial dengan metode Inverse Distance Weighted (IDW). Hasil analisis menunjukkan bahwa wilayah pesisir selatan Kabupaten Trenggalek memiliki tingkat ancaman kekeringan meteorologis yang tinggi hingga sangat tinggi, sedangkan wilayah pegunungan memiliki tingkat ancaman yang lebih rendah karena curah hujan yang relatif lebih tinggi. Analisis kekeringan hidrologis menunjukkan bahwa tingkat ancaman kekeringan bervariasi dari sangat rendah hingga sedang pada beberapa pos duga air. Perbedaan kondisi antara kekeringan meteorologis dan hidrologis dipengaruhi oleh keberadaan baseflow yang berasal dari cadangan air tanah sehingga mampu mempertahankan debit sungai selama periode kering. Analisis korelasi antara SPI-3 dan SRI-3 menunjukkan hubungan positif dengan koefisien korelasi berkisar antara 0,41–0,79 serta adanya keterlambatan waktu (lag time) antara kejadian kekeringan meteorologis dan dampaknya terhadap kondisi hidrologis. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam perencanaan mitigasi kekeringan dan pengelolaan sumber daya air di Kabupaten Trenggalek.

**Kata kunci:** kekeringan, meteorologis, hidrologis, DAS Brantas, kabupaten trenggalek

## PENDAHULUAN

Kekeringan merupakan salah satu jenis bencana hidrometeorologi yang kerap terjadi di berbagai daerah di Indonesia dan memberikan dampak yang cukup besar terhadap sektor pertanian, ketersediaan sumber daya air, serta kondisi sosial dan ekonomi masyarakat. Secara umum, kekeringan dapat diartikan sebagai kondisi ketika curah hujan yang terjadi berada di bawah kondisi normal dalam suatu periode tertentu sehingga mengakibatkan berkurangnya ketersediaan air. Kekeringan meteorologis merupakan tahap awal dari terjadinya kekeringan yang ditandai dengan penurunan curah hujan secara signifikan dalam jangka waktu tertentu apabila dibandingkan dengan rata-rata klimatologis suatu wilayah.

Penelitian terdahulu oleh (Afif dkk. 2018) dan (Indarto dkk., 2014) telah menunjukkan bahwa kekeringan adalah fenomena alam yang ditandai dengan ketidakseimbangan air, terutama karena distribusi curah hujan yang tidak merata. Hal ini mengakibatkan volume air permukaan, seperti sungai dan danau, menurun di bawah ambang batas minimum. Kekeringan dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, yaitu kekeringan hidrologis, meteorologis, pertanian, dan sosial-ekonomi (Jamil dkk., 2013). Faktor utama yang menyebabkan kekeringan adalah berkurangnya curah hujan selama periode tertentu, yang mengakibatkan kekurangan air untuk berbagai kebutuhan (Ali dkk., 2024; Indarto dkk., 2014). Kekeringan hidrologis terjadi ketika ketersediaan air permukaan dan air tanah berkurang secara signifikan (Rodell & Famiglietti, 2000). Hal ini dapat diperburuk oleh faktor-faktor seperti perubahan iklim, deforestasi, dan penggunaan air yang tidak efisien. Perubahan iklim, khususnya fenomena El Niño dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) positif, dapat menyebabkan musim kemarau yang lebih panjang dan lebih ekstrem (Cai dkk., 2014).

Kabupaten Trenggalek yang berada di Provinsi Jawa Timur merupakan salah satu daerah yang memiliki kerentanan terhadap kejadian kekeringan. Secara geografis, wilayah ini didominasi oleh topografi perbukitan serta memiliki distribusi curah hujan yang tidak merata, sehingga beberapa wilayah sering mengalami keterbatasan ketersediaan air, khususnya pada musim kemarau. Berbagai kajian menunjukkan bahwa Kabupaten Trenggalek secara berkala mengalami peristiwa kekeringan, bahkan sebagian besar kecamatannya tergolong memiliki tingkat kerawanan kekeringan yang cukup tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa permasalahan kekurangan air menjadi salah satu isu penting dalam pengelolaan sumber daya air di wilayah tersebut.

Kekeringan memiliki dampak yang signifikan pada sektor pertanian, yang merupakan salah satu pilar ekonomi di wilayah Jawa Timur. Penelitian oleh (Aprilliyanti & Zainuddin, 2017) menunjukkan bahwa kekeringan dapat menjadi penghambat produksi padi, yang berdampak pada perekonomian daerah. Data dari BNPB (2019) menunjukkan bahwa wilayah Jawa Timur, khususnya Trenggalek, sering mengalami kekeringan, dengan jumlah penduduk yang terdampak mencapai 37.000 orang pada tahun 2019. Kekeringan dapat mengurangi produktivitas lahan pertanian, sehingga mengakibatkan penurunan pendapatan petani dan dampak ekonomi yang luas (Tiffen & Mortimore, 1994). Selain itu, kekeringan juga dapat memengaruhi rantai pasokan pangan, mengakibatkan kenaikan harga pangan dan ketidakstabilan ekonomi lokal (Lobell dkk., 2011).

Kondisi kekeringan juga meningkatkan risiko kebakaran hutan (karhutla), yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang lebih besar. Data dari BNPB menunjukkan bahwa pada tahun 2023 tercatat 56 kejadian karhutla di Kabupaten Trenggalek, yang berdampak pada 29 desa/kelurahan (BNPB, 2023). Kekeringan dapat meningkatkan kekeringan tanah dan vegetasi, sehingga meningkatkan risiko kebakaran hutan (Bowman dkk., 2011). Kebakaran hutan tidak hanya merusak ekosistem, tetapi juga dapat menghasilkan emisi karbon yang signifikan, memperburuk perubahan iklim (Hao & Singh, 2015; Mishra & Singh, 2010; van der Werf dkk., 2009).

Penelitian oleh (Raharjo, 2010) menunjukkan bahwa penggunaan teknik penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat membantu dalam pengkajian wilayah secara menyeluruh, termasuk identifikasi daerah yang berpotensi mengalami kekeringan. Peta potensi kekeringan dapat digunakan sebagai alat untuk merencanakan dan menanggulangi bencana kekeringan secara efisien. SIG dapat digunakan untuk menganalisis dan memvisualisasikan data spasial, sehingga membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik (Goodchild, 1992; Vicente-Serrano dkk., 2010). Peta potensi kekeringan dapat memberikan informasi yang diperlukan bagi pemerintah dan masyarakat untuk merencanakan penggunaan sumber daya air secara lebih efektif dan mengurangi dampak bencana kekeringan (Burrough dkk., 1997; Wilhite dkk., 2007).

Dari analisis temuan penelitian terdahulu dan teori terkait, dapat disimpulkan bahwa kekeringan merupakan fenomena alam yang kompleks dengan berbagai faktor penyebab dan dampak. Kekeringan tidak hanya mempengaruhi sumber daya air dan pertanian, tetapi juga dapat meningkatkan risiko

kebakaran hutan dan berdampak pada perekonomian lokal. Oleh karena itu, penting untuk menggunakan teknik SIG untuk menyusun peta potensi kekeringan, yang dapat membantu perencanaan dan penanggulangan bencana kekeringan secara lebih efisien. Hal ini akan menjadi masukan yang berharga bagi pihak terkait dalam mengurangi dampak bencana kekeringan di wilayah Jawa Timur, khususnya Kabupaten Trenggalek.

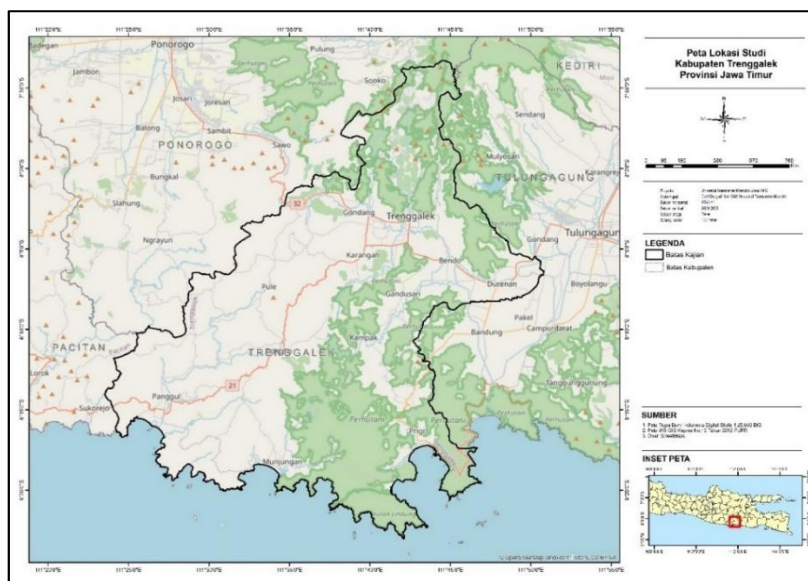
## METODOLOGI

Lokasi kegiatan Analisis Kekeringan berada di Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur dapat dilihat pada **Gambar 1**. Secara geografis, Kabupaten Trenggalek merupakan kabupaten yang terletak di bagian selatan dari wilayah Provinsi Jawa Timur, yang terletak pada  $111^{\circ}24''$  -  $112^{\circ}11''$  Bujur Timur dan  $7^{\circ}53'$  -  $8^{\circ}34''$  Lintang Selatan. Secara administratif, Kabupaten Trenggalek berbatasan sebelah Utara dengan Wilayah Kabupaten Tulungagung dan Ponorogo, Sebelah Timur

berbatasan dengan Kabupaten Tulungagung, sebelah Barat berbatasan dengan Kabupaten Pacitan dan sebelah Selatan berbatasan dengan Samudera Indonesia. Luas Wilayah Kabupaten Trenggalek adalah  $1.261,6 \text{ km}^2$  (BPS Kabupaten Trenggalek, 2023).

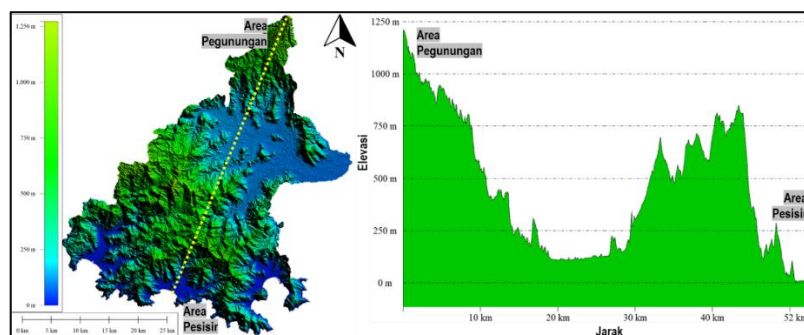
Lokasi kegiatan sebagaimana terlampir pada **Gambar 2**, menunjukkan peta elevasi DEM dan profil memanjang topografi wilayah Kabupaten Trenggalek dari area pegunungan hingga pesisir yang didominasi bentang lahan daerah perbukitan hingga pegunungan.

Dalam penelitian ini, analisis kekeringan meteorologis dilakukan menggunakan metode *Standardized Precipitation Index (SPI)*, yang merupakan salah satu indeks kekeringan berbasis curah hujan yang umum digunakan untuk mengidentifikasi tingkat keparahan kekeringan pada berbagai skala waktu.



Sumber: Badan Informasi Geospasial

**Gambar 1** Peta Lokasi Penelitian



Sumber: Badan Informasi Geospasial

**Gambar 2** Profil penampang melintang wilayah Kabupaten Trenggalek

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder yang dibutuhkan diperoleh dari UPT PSDA Malang dan Kediri dan BBWS Brantas. Data hujan, debit, dan iklim dikumpulkan dalam bentuk harian dari stasiun pengukur.

**Tabel 1** Barchart Ketersediaan Data Cura Hujan

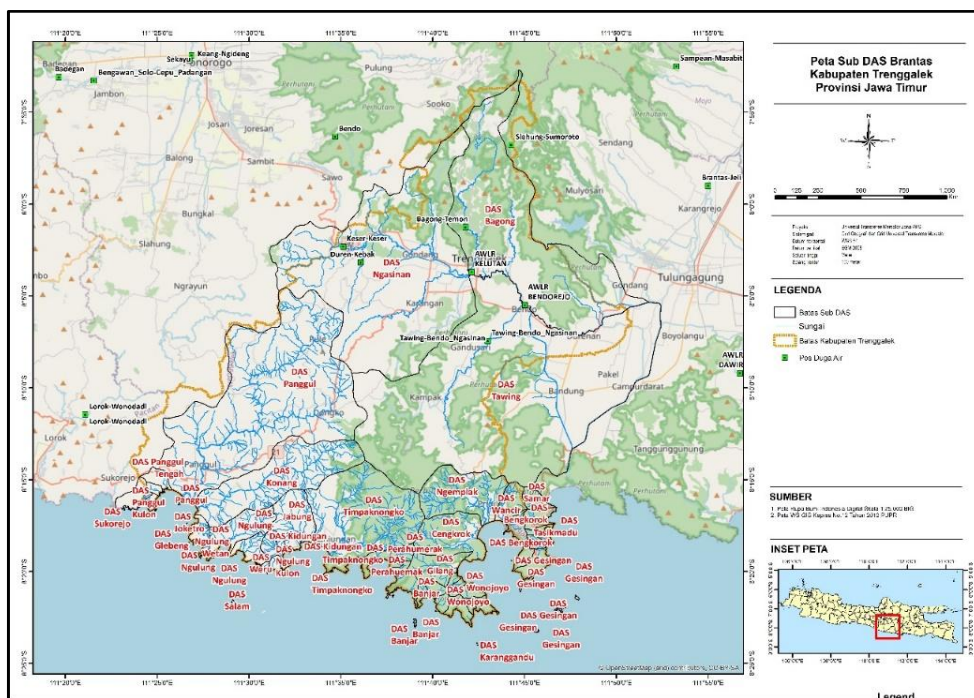
NO	POS CURAH HUJAN	PANJANG DATA (TAHUN)	CHART
1	Pakel	13	█
2	Paingan	33	██████
3	Song Jambu II	30	██████
4	Bagong	33	██████
5	Bendo	33	██████
6	Bendungan	29	██████
7	Dongko	33	██████
8	Jabung	33	██████
9	Kampak	33	██████
10	Munjungan	32	██████
11	Ngulan Wetan	17	██
12	Panggul	33	██████
13	Prambon	33	██████
14	Pule	33	██████
15	Tugu	33	██████
16	Watulimo	32	██████
17	Widoro	33	██████
18	Gembleb	2	

Sumber: UPTD PSDA Malang & Kediri

Data curah hujan tersedia dari 18 pos curah hujan yang tersebar di wilayah penelitian seperti terlihat pada **Tabel 1**. Data ini telah terkumpul selama 33 tahun, sehingga memiliki panjang data yang cukup untuk analisis. Data curah hujan adalah komponen utama dalam perhitungan SPI. Dengan menggunakan data curah hujan bulanan, peneliti dapat menghitung SPI dengan akurat. Jika data curah hujan dari stasiun pengukur tidak lengkap, data curah hujan satelit dapat digunakan sebagai pengganti setelah dikoreksi dengan data dari *ground station*.

Sedangkan data iklim dari pos iklim Durenan digunakan sebagai informasi pendukung dalam penentuan nilai interval SPI. Meskipun data ini tidak lengkap, tetap dapat memberikan gambaran tentang karakteristik iklim di wilayah penelitian. Data iklim tersedia dari tahun 2008 hingga 2022, meskipun ada beberapa tahun yang kosong. Data ini cukup untuk memberikan gambaran tentang karakteristik iklim di wilayah penelitian.

Adapun data debit sungai tersedia dari enam pos duga air yang tersebar di wilayah penelitian yang sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 3**. Data ini digunakan untuk menghitung SRI. Data debit sungai adalah komponen utama dalam perhitungan SRI. Dengan menggunakan data debit sungai, peneliti dapat mengukur kekeringan hidrologis dengan akurat. Data debit sungai yang memiliki kualitas baik akan digunakan untuk mengkalibrasi model hujan-limpasan, sehingga hasil analisis SRI lebih akurat.



Sumber: BBWS Brantasa

**Gambar 3** Peta Lokasi Pos Duga Air pada Sub DAS Brantas

Pelaksanaan perhitungan yang dilakukan pada analisis kekeringan adalah dengan metode SPI (*Standardized Precipitation Indeks*) dan SRI (*Standardized Runoff Indeks*). SPI merupakan metode analisis kekeringan meteorologis yang menggunakan data curah hujan untuk mengetahui penyimpangan curah hujan dari kondisi normal. Metode ini banyak digunakan karena sederhana, fleksibel, dan dapat diterapkan pada berbagai skala waktu. Sementara itu, SRI merupakan metode untuk menganalisis kekeringan hidrologis yang didasarkan pada data debit sungai. Metode ini membantu mengidentifikasi dampak kekeringan terhadap ketersediaan air di sungai, waduk, dan sistem hidrologi lainnya. Kedua metode ini sering digunakan secara bersama untuk memahami hubungan antara kekeringan meteorologis dan kekeringan hidrologis dalam suatu wilayah. Kerangka pikir analisis kekeringan ini dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Metode SPI merupakan metode untuk menunjukkan dampak kekeringan akibat defisit curah hujan pada ketersediaan air suatu wilayah (McKee dkk., 1993). SPI dihitung dalam skala 3, 6, 9, dan 12 bulan untuk menggambarkan perilaku temporal kekeringan meteorologi beserta dampaknya (Ardiputro & Rintis Hadiani, 2016; Rizqi Qonita dkk., 2019; Sandi dkk., 2024; Wahyu Hidayat dkk., 2020). Dengan distribusi probabilitas gamma, persamaannya adalah sebagai berikut.

$$G(x) (x_{ij}, \alpha_j, \beta_j) = \frac{1}{\{\beta_j^{\alpha_j} \Gamma \alpha_j\}} x_{ij}^{\alpha_j-1} e^{-\frac{x_j}{\beta_j}}$$

Keterangan:

- G(x) : *Probability Density Function* (PDF) Distribusi Gamma
- $x_{ij}$  : Nilai variabel acak yang diamati, misalnya curah hujan maksimum atau debit banjir pada lokasi ke-j
- $\alpha_j$  : Parameter bentuk (shape parameter) Distribusi Gamma pada lokasi ke-j
- $\beta_j$  : Parameter skala (scale parameter) Distribusi Gamma pada lokasi ke-j
- $\Gamma(\alpha_j)$  : Fungsi Gamma untuk parameter  $\alpha_j$ , yaitu generalisasi fungsi faktorial
- e : Bilangan Euler ( $\approx 2,71828$ )
- j : Indeks lokasi atau stasiun pengamatan
- i : Indeks data pengamatan

Metode SPI sangat cocok untuk menganalisis kekeringan meteorologis karena fokusnya pada defisit curah hujan. SPI mengukur kekeringan berdasarkan curah hujan, yang merupakan faktor utama dalam terjadinya kekeringan meteorologis. SPI dapat dihitung dalam berbagai skala waktu, seperti 3, 6, 9, dan 12 bulan. Hal ini memungkinkan peneliti untuk melihat perilaku temporal

kekeringan meteorologis dan dampaknya dalam jangka pendek dan panjang. Metode SPI telah banyak digunakan dalam penelitian kekeringan di berbagai wilayah, sehingga memiliki basis penggunaan yang luas dan telah teruji dalam berbagai kondisi iklim.

Sedangkan metode SRI fokus pada debit sungai, yang merupakan indikator penting untuk kekeringan hidrologis. Dengan menggunakan SRI, peneliti dapat mengukur dampak kekeringan pada sumber air permukaan. Data debit sungai tersedia dari pos duga air di wilayah penelitian, sehingga SRI dapat dihitung dengan data yang ada. Metode SRI dapat digunakan bersama dengan metode SPI untuk memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai kondisi kekeringan di wilayah penelitian. SPI memberikan informasi mengenai kondisi kekeringan meteorologis, sedangkan SRI memberikan informasi mengenai kondisi kekeringan hidrologis (Van Loon, 2015).

Dengan demikian, pemilihan metode SPI dan SRI serta data yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk mengukur kekeringan meteorologis dan hidrologis di Kabupaten Trenggalek. Data yang tersedia, seperti data curah hujan, debit sungai, dan iklim, memenuhi kebutuhan untuk melakukan analisis dengan kedua metode tersebut. Selain itu, data DEM memberikan informasi tambahan tentang topografi dan karakteristik DAS, yang penting untuk memahami distribusi kekeringan di wilayah penelitian. Kerangka pikir analisis kekeringan SPI dapat dilihat pada **Gambar 5** dan kekeringan SRI dapat dilihat pada **Gambar 6**.

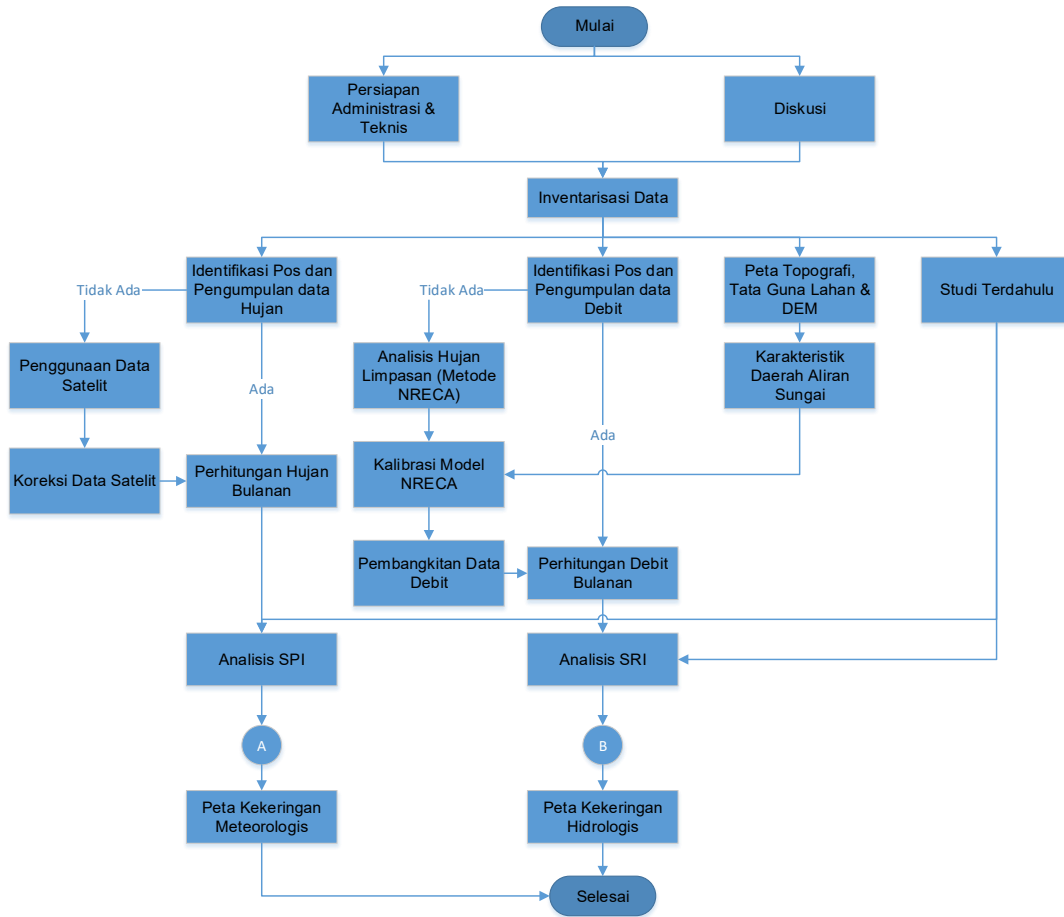
Adapun tahapan awal pelaksanaan kegiatan diawali dengan persiapan administrasi dan teknis serta diskusi awal yang dilanjutkan dengan inventarisasi data. Data yang dikumpulkan meliputi data hujan, data debit, data DEM (*Digital Elevation Model*) dan studi terdahulu. Data DEM digunakan untuk menganalisis tutupan lahan, topografi, dan karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS). Informasi ini penting untuk memahami distribusi kekeringan di wilayah penelitian. Data DEM tersedia dan dapat digunakan untuk analisis spasial dalam penelitian.

Klasifikasi nilai SPI dan SRI disajikan pada Tabel 2 berikut ini.

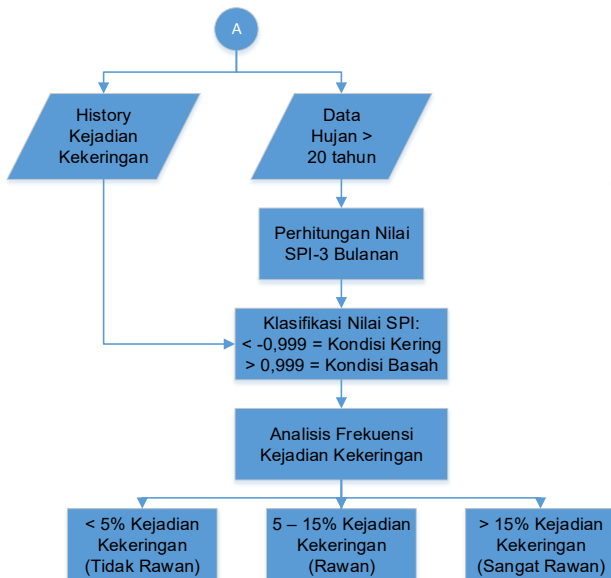
**Tabel 2** Klasifikasi Kekeringan SPI dan SRI

Nilai	Klasifikasi
$\geq 2,00$	Amat sangat basah
1,50 – 1,99	Sangat basah
1,00 – 1,49	Cukup basah
-0,99 – 0,99	Mendekati normal
-1,00 – -1,49	Cukup kering
-1,50 – -1,99	Sangat kering
$\leq -2,00$	Amat sangat kering

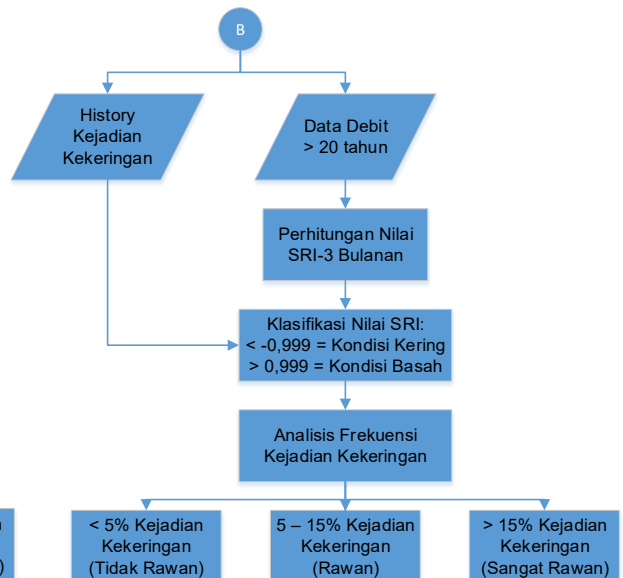
Sumber : *World Meteorological Organization, 2012*



Gambar 4 Kerangka Pikir Analisis Kekeringan Meteorologis dan Hidrologis



Gambar 5 Kerangka Pikir Analisis Kekeringan Meteorologis



Gambar 6 Kerangka Pikir Analisis Kekeringan Hidrologis

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Analisis SPI

Pembuatan peta bahaya kekeringan meteorologis di Kabupaten Trenggalek dilakukan dengan beberapa tahap, yakni pengumpulan data Pos Curah Hujan (PCH) untuk kekeringan meteorologi, menghitung nilai SPI-3 dari masing-masing pos, klasifikasi kondisi per bulan, dan pemetaan bahaya kekeringan meteorologi menggunakan analisis GIS dengan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW).

Untuk membuat sebaran bahaya kekeringan, ditentukan jumlah kondisi kering terhadap jumlah kejadian sepanjang tahun kajian menjadi lima klasifikasi yakni bahaya sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Adapun untuk klasifikasi bahaya kekeringan ditentukan berdasarkan **Tabel 3**. Penentuan klasifikasi kelas ancaman bahaya kekeringan didasarkan pada kondisi riil di lapangan dengan melihat banyaknya kondisi kering yang terjadi sepanjang tahun kajian (Diaz Primadita dkk., 2023).

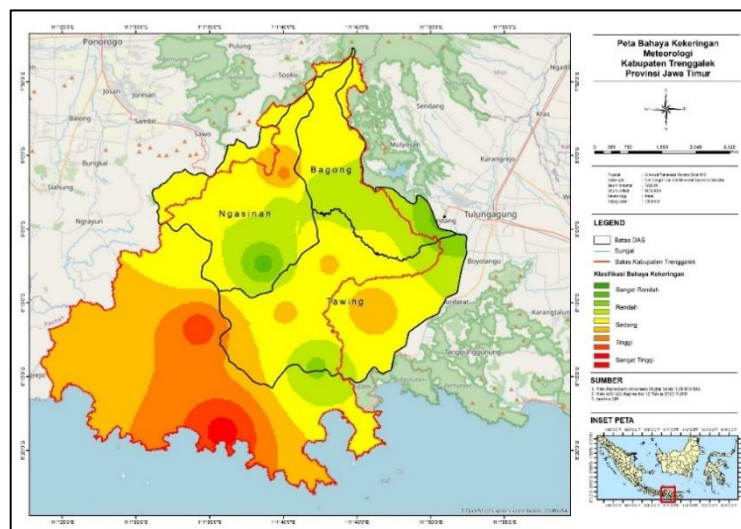
**Tabel 3** Klasifikasi Bahaya Kekeringan SPI Kabupaten Trenggalek

Kejadian Kering per Total Kejadian	Klasifikasi	Warna
<11		
11,0% - 12,0%	Sangat Rendah	
12,0% - 13,0%	Rendah	
13,0% - 14,0%		
14,0% - 15,0%	Sedang	
15,0% - 16,0%		
16,0% - 17,0%	Tinggi	
17,0% - 18,0%		
18,0% - 19,0%	Sangat Tinggi	
≥20,0%		

Dalam pembuatan peta ancaman kekeringan meteorologi di Kabupaten Trenggalek, digunakan data hujan pada 18 (delapan belas) Pos Curah Hujan (PCH) yang berada di Kabupaten Trenggalek yang panjang datanya bervariasi dari tahun 1990 - 2022. Besaran hujan setiap PCH tersebut kemudian akan dikonversi menjadi hujan bulanan. Data hujan bulanan tersebut kemudian dihitung dengan metode SPI dengan akumulasi tiga bulanan atau SPI-3. Adapun SPI-3 dipilih dikarenakan wilayah Kabupaten Trenggalek masih banyak difungsikan untuk pertanian dan kekeringan dengan akumulasi tiga bulanan yang dapat merepresentasikan dampak kekeringan meteorologi pada pertanian paling baik. Setelah itu, dilakukan pengklasifikasian kejadian menjadi tujuh kategori yakni amat sangat basah, sangat basah, basah, normal, kering, sangat kering, dan amat sangat kering berdasarkan klasifikasi yang ditunjukkan pada **Tabel 3**. Kemudian, pada masing-masing PCH dihitung jumlah kejadiannya per kategori sehingga didapatkan presentase jumlah kejadiannya.

Dalam peta ancaman kekeringan, dipilih kondisi Kering untuk merepresentasikan ancaman kekeringan meteorologi, karena kondisi sangat kering dan amat sangat kering diasumsikan terlalu ekstrem untuk mendefinisikan peta ancaman, dimana dalam konteks mitigasi bencana lebih baik menggunakan kondisi yang sudah mengancam dibandingkan kondisi yang sangat mengancam.

Hasilnya menunjukkan bahwa daerah selatan Kabupaten Trenggalek yang berada di pesisir, memiliki ancaman yang tinggi hingga sangat tinggi. daerah dengan ancaman yang relatif rendah adalah daerah pegunungan. Hal ini disebabkan daerah pegunungan biasanya memiliki curah hujan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan daerah pesisir seperti terlihat pada **Gambar 7** berikut ini.



**Gambar 7** Peta Ancaman Kekeringan Meteorologi Kabupaten Trenggalek

**Hasil Analisis SRI**

Analisis SRI dilakukan berdasarkan ketersediaan data debit di lapangan, sehingga perlu diidentifikasi Sub-DAS Brantas mana saja yang beririsan dengan administrasi Kabupaten Trenggalek. Hasil identifikasi yang telah dilakukan, terdapat 3 Sub-DAS Brantas yang secara dominan masuk dalam administrasi Kabupaten Trenggalek yaitu Sub-DAS Ngasinan, Sub-DAS Bagong, dan Sub-DAS Tawing.

Untuk keperluan analisis SRI, maka diidentifikasi pula ketersediaan pos duga air yang memublikasikan data debit di ketiga Sub-DAS tersebut. Sebaran pos duga air yang memublikasikan data debit. Panjang data debit pada setiap pos duga air bervariasi dari Tahun 1976 hingga 2021 yaitu sebagai berikut:

1. PDA Tawing-Bendo Ngasinan, tersedia enam tahun data periode 2014 sampai dengan 2021 akan tetapi data kosong pada tahun 2017 dan 2018.
2. PDA Duren-Kebak, tersedia 19 tahun data periode 1992 sampai dengan 2013 akan tetapi data kosong pada tahun 2002 s/d 2004.
3. PDA Keser-Keser, tersedia 19 tahun data periode 1993 sampai dengan 2013 akan tetapi data kosong pada tahun 2000, 2003, dan 2004.
4. PDA Bagong-Temon, tersedia 27 tahun data periode 1970 sampai dengan 2015 akan tetapi terdapat 12 tahun data kosong pada periode tersebut.

Hasil identifikasi panjang data yang tersedia di Sub DAS terpilih, panjang data keempat pos duga air tidak kontinu/tidak berkelanjutan, oleh karena itu perlu analisis hujan-limpasan agar pada saat perhitungan SRI dapat diketahui tahun-tahun yang mengalami kekeringan dan tidak. Metode hujan limpasan yang digunakan adalah NRECA. Untuk mendapatkan hasil pemodelan yang baik. Maka pemodelan yang digunakan perlu dilakukan kalibrasi untuk setiap masing-masing pos duga air. Parameter yang digunakan untuk mengetahui keandalan model yang dibangun adalah dengan parameter statistik *Nash-Sutcliffe* (**Tabel 4**). Sedangkan grafik hasil kalibrasi pemodelan NRECA pada pos duga air Tawing-Bendo Ngasinan (**Gambar 8**), Bagong-Temon (**Gambar 9**), Keser-Keser (**Gambar 10**), dan Duren-Kebak (**Gambar 11**).

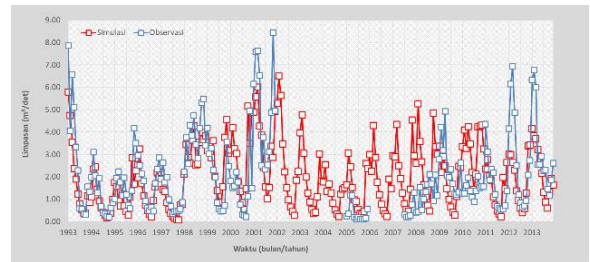
**Tabel 4** Rentang Nilai *Nash-Satcliffe*

Performance Rating	NSE
Very Good	$0.60 < NSE \leq 1.00$
Good	$0.40 < NSE \leq 0.60$
Satisfactory	$0.20 < NSE \leq 0.40$
Unsatisfactory	$NSE \leq 0.20$

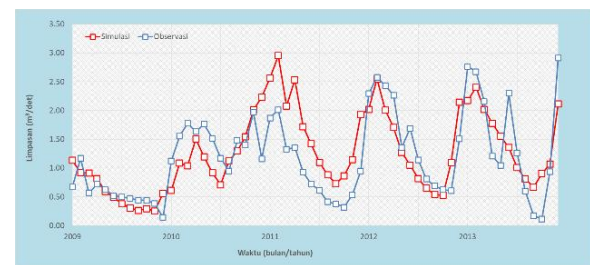
Sumber: Modul Analisis Debit Banjir, Balai Teknik Bendungan, Kementerian PUPR



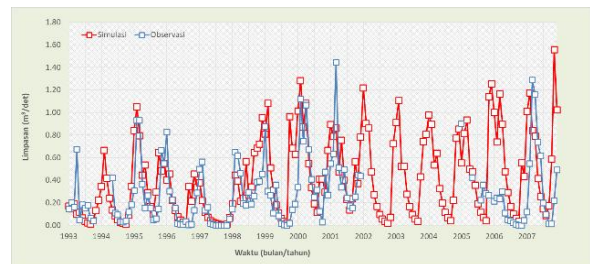
**Gambar 8** Kalibrasi PDA Tawing-Bendo Ngasinan



**Gambar 9** Kalibrasi PDA Bagong-Temon



**Gambar 10** Kalibrasi PDA Keser-Keser



**Gambar 11** Kalibrasi PDA Duren-Kebak

Hasil kalibrasi melalui kecocokan grafik untuk keempat pos duga air terlihat pada pemodelan hujan limpasan sudah dapat digunakan untuk membangkitkan data debit sepanjang ketersediaan data hujan yang ada. Secara angka statistik yang dihasilkan oleh koefisien Nash-Sutcliffe untuk pos duga air Tawing-Bendo Ngasinan sebesar 0,9 (**Gambar 8**), Bagong-Temon sebesar 0,96 (**Gambar 9**), Duren-Kebak sebesar 0,92 (**Gambar 11**), dan Keser-Keser sebesar 0,9 (**Gambar 10**). Hasil statistik koefisien Nash-Sutcliffe menunjukkan bahwa pemodelan bernilai Sangat Baik dan sudah dapat digunakan untuk membangkitkan data debit pada setiap pos duga air.

McKee dkk. (1993) memilih distribusi Gamma untuk menyesuaikan seri data curah hujan bulanan, dan menyarankan bahwa prosedur tersebut dapat diterapkan pada variabel lain yang relevan dengan kekeringan, misalnya, aliran sungai atau isi waduk. Dalam hal ini debit aliran sungai yang digunakan adalah debit pada 4 (empat) Pos Duga Air (PDA) yang terletak di Kabupaten Trenggalek yaitu, PDA Tawing – Bendo Ngasinan, Bagong - Temon, Duren – Kebak dan Keser -Keser.

Dalam analisis kekeringan di Kabupaten Trenggalek ini, analisis SRI dilakukan untuk melihat seberapa besar ancaman kekeringan hidrologi di Kabupaten Trenggalek dan bagaimana korelasi antara kekeringan meteorologi yang direpresentasikan oleh indeks SPI dan kekeringan hidrologi yang direpresentasikan oleh Index SRI.

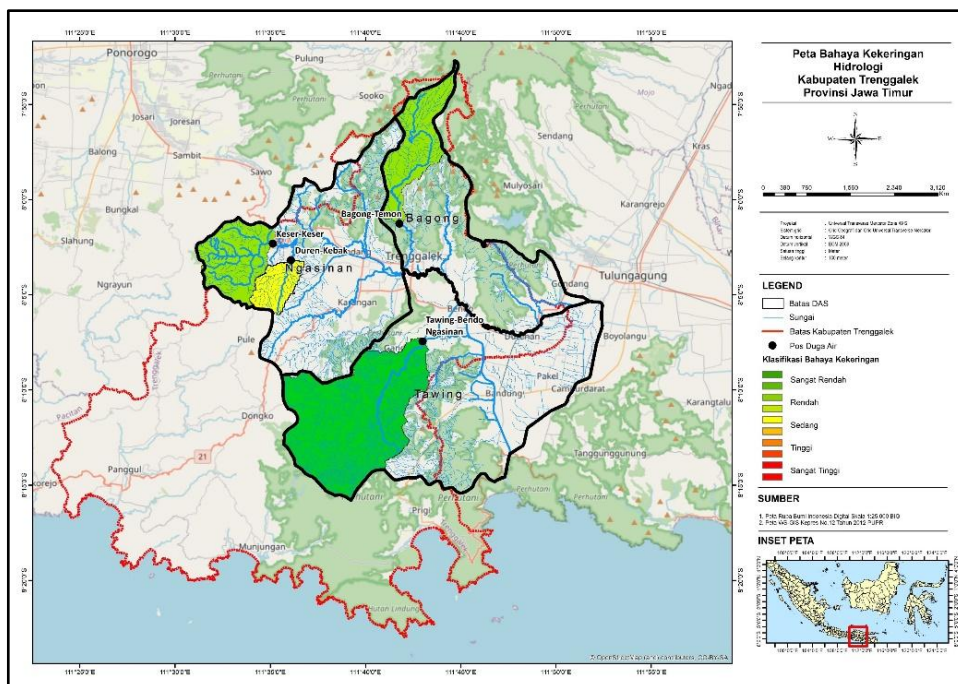
Indeks SRI dihitung dengan menggunakan data debit yang dihasilkan oleh model karena kurangnya data pengamatan debit. Perhitungan dilakukan pada 4 (empat) Pos Duga Air (PDA) yang memiliki peran penting dalam pemantauan debit di sungai untuk berbagai macam kebutuhan seperti irigasi pertanian. Pos Duga Air merupakan titik pemantauan untuk melihat potensi debit di lapangan yang dapat dimanfaatkan. Kondisi debit pada PDA (Pos Duga Air) merupakan representatif dari kondisi debit pada daerah tanggapannya.

Hasilnya daerah tangkapan PDA Duren Kebak memiliki ancaman bahaya kekeringan hidrologi sedang, PDA Keser Keser dan PDA Bagong Temon memiliki ancaman bahaya kekeringan hidrologi rendah sedangkan PDA Tawing Bendo Ngasinan

sangat rendah (**Gambar 12**). Peta ancaman bahaya kekeringan hidrologi hasilnya berbeda dengan kekeringan meteorologi. Pada peta ancaman bahaya kekeringan meteorologi kondisinya bervariasi antara sedang hingga tinggi, sedangkan pada peta ancaman bahaya kekeringan hidrologi kondisinya bervariasi dari sangat rendah hingga sedang. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya aliran dasar (*baseflow*) dimana aliran dasar ini berasal dari rembesan air tanah, dan/ atau aliran tembus ke aliran air permukaan.

Setelah melihat ancaman bahaya kekeringan hidrologi pada keempat PDA tersebut, dilakukan analisis korelasi antara kejadian kekeringan meteorologi dan kekeringan hidrologi. Dimana hubungan dari kekeringan yang terjadi terhadap perubahan tutupan lahan seperti deforestasi, urbanisasi, dan konversi lahan dapat memperburuk kondisi ini karena mengurangi infiltrasi air, meningkatkan limpasan permukaan, serta menurunkan kemampuan tanah dalam menyimpan air.

Pada analisis ini sementara dipilih untuk periode akumulasi kekeringan 3 bulan. SPI dan SRI 12 bulan sangat mirip karena tingginya korelasi antara curah hujan tahunan dan limpasan ( $r = 0,9$ ), perbedaan antar indeks meningkat seiring dengan menurunnya periode akumulasi, untuk akumulasi periode yang lebih pendek, SRI kurang bervariasi dari bulan ke bulan dibandingkan SPI karena retensi kelembaban di penyimpanan tanah yang mengatur limpasan (Shukla & Wood, 2008).



Gambar 12 Peta Ancaman Kekeringan Hidrologis Kabupaten Trenggalek

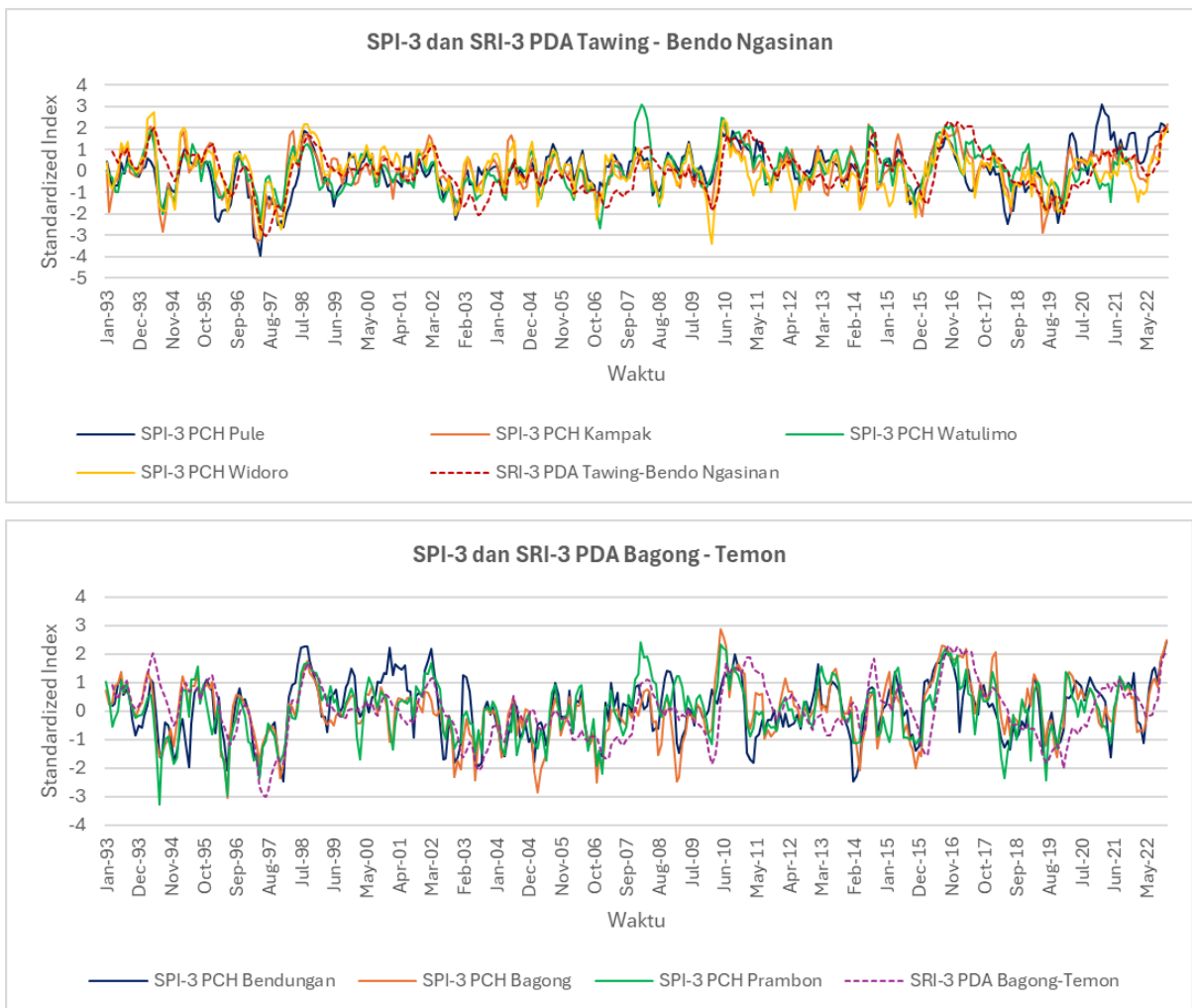
Analisis korelasi SRI-3 dan SPI-3 di Kabupaten Trenggalek dilakukan untuk 4 (empat) Pos Duga Air (PDA), dimana Pos Curah Hujan (PCH) yang dipilih adalah yang memberikan kontribusi limpasan untuk masing-masing PDA. Berikut daftar PCH yang berkontribusi pada limpasan masing-masing PDA (Tabel 5).

Berdasarkan analisis korelasi antara SPI-3 dan SRI 3 untuk 4 PDA yang terletak di Kabupaten Trenggalek yang dapat dilihat pada Gambar 13

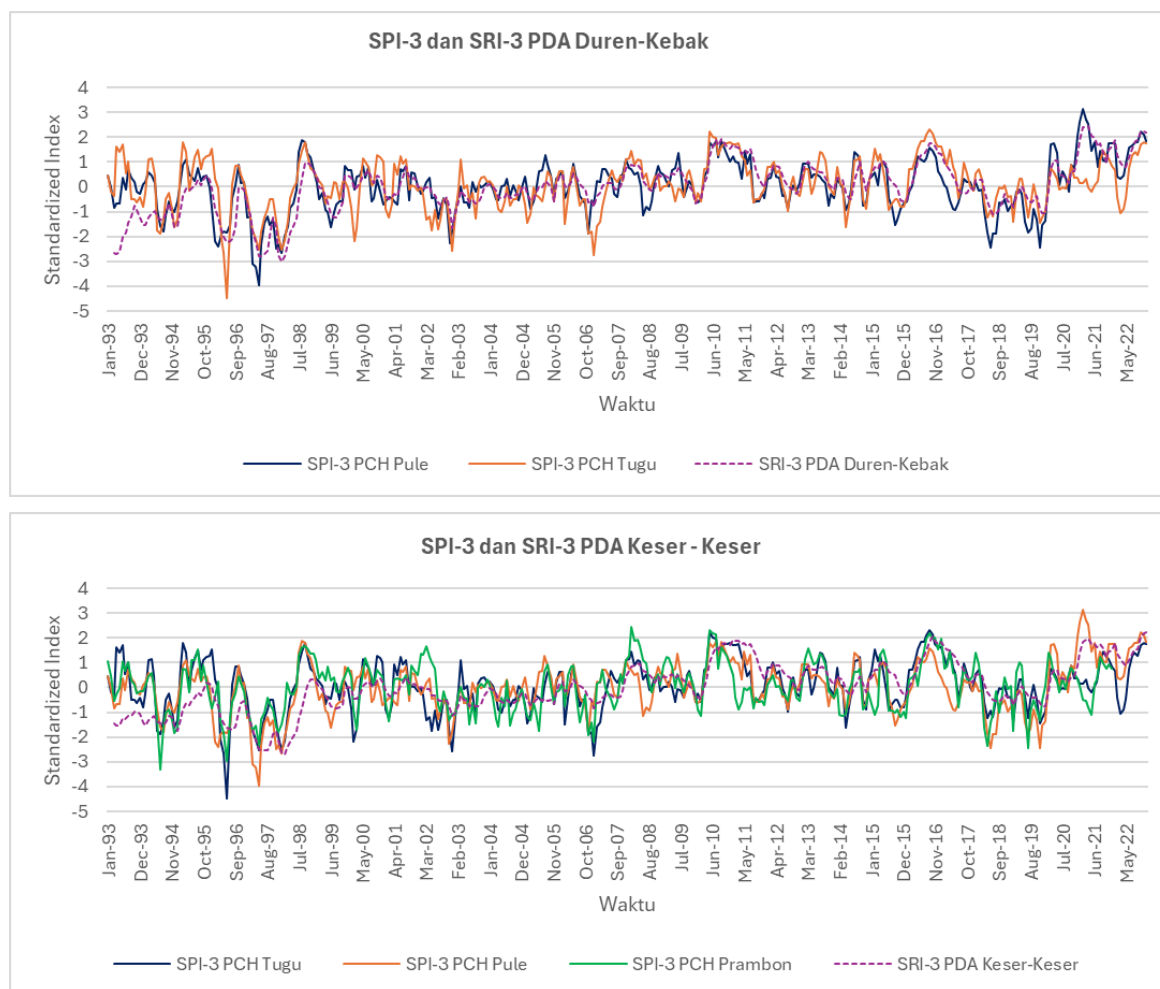
menunjukkan adanya korelasi positif ( $r = 0,41 - 0,79$ ) dan nilai determinan ( $R^2 = 0,17 - 0,63$ ) antara kekeringan meteorologis dan kekeringan hidrologis. Hal tersebut ditunjukkan dari pola historis indeks SPI dan SRI, walaupun terdapat lag time. Lag time terjadi karena saat kekeringan meteorologi mulai terjadi kondisi hidrologis, dalam hal ini debit sungai tidak akan langsung terdampak karena masih adanya aliran dasar (*baseflow*) yang masih tersimpan sebagai cadangan pada musim kemarau atau kering.

Tabel 5 Daftar PCH yang Berkontribusi Pada Limpasan PDA

PDA	PCH			
Tawing-Bendo Ngasinan	Pule	Kampak	Watulimo	Widoro
Bagong-Temon	Bendungan	Bagong	Prambon	-
Duren-Kebak	Pule	Tugu	-	-
Keser-Keser	Bendungan	Bagong	Prambon	-



Gambar 13 Time Series SPI-3 dan SRI-3 di 4 (Empat) Pos Duga Air (PDA)



Gambar 13 Time Series SPI-3 dan SRI-3 di 4 (Empat) Pos Duga Air (PDA)

### Temuan Utama

Berikut ini adalah temuan utama dari penelitian yang telah dilakukan, yaitu:

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa daerah pesisir selatan Kabupaten Trenggalek memiliki ancaman kekeringan meteorologi yang tinggi hingga sangat tinggi, sedangkan daerah pegunungan memiliki ancaman yang lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh pola curah hujan yang lebih tinggi di daerah pegunungan dibandingkan dengan daerah pesisir.
2. SPI-3 dipilih sebagai indikator karena dinilai mampu merepresentasikan dampak kekeringan meteorologi pada sektor pertanian dengan baik.
3. Hasil analisis SRI-3 menunjukkan bahwa ancaman kekeringan hidrologi bervariasi antara sangat rendah hingga sedang di berbagai Pos Duga Air (PDA). PDA Tawing-Bendo Ngasinan memiliki ancaman kekeringan hidrologi yang sangat rendah, sedangkan PDA Duren-Kebak memiliki ancaman sedang.

4. Perbedaan hasil antara SPI-3 dan SRI-3 disebabkan oleh adanya aliran dasar (*baseflow*), yang berasal dari rembesan air tanah dan aliran tembus ke permukaan.
5. Analisis korelasi antara SPI-3 dan SRI-3 menunjukkan adanya hubungan positif ( $r = 0,41-0,79$ ) dengan nilai determinasi ( $R^2 = 0,17-0,63$ ), dan
6. Terdapat *lag time* antara kejadian kekeringan meteorologi dan dampaknya pada kondisi hidrologi, yang disebabkan oleh cadangan air tanah (*baseflow*) yang masih tersedia selama musim kemarau.

### Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Berikut ini adalah perbandingan penelitian yang telah dilakukan dengan penelitian sebelumnya, yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan kombinasi SPI-3 dan SRI-3 untuk menganalisis kekeringan meteorologi dan hidrologi, yang sejalan dengan pendekatan pada penelitian sebelumnya seperti McKee et al. (1993) dan Shukla & Wood

(2008). Namun, kebaruan penelitian ini terletak pada aplikasi kedua metode tersebut secara spesifik di Kabupaten Trenggalek, yang memiliki karakteristik geografis unik (daerah pesisir dan pegunungan). Dimana pada daerah pegunungan memiliki karakteristik curah hujan tinggi sedangkan pada daerah pesisir memiliki karakteristik curah hujan rendah karena curah hujan dipengaruhi oleh kondisi topografi.

2. Penelitian sebelumnya sering kali hanya fokus pada salah satu aspek (meteorologi atau hidrologi), sedangkan penelitian ini memberikan gambaran menyeluruh dengan membandingkan kedua aspek tersebut.
3. Penelitian sebelumnya, seperti Primadita et al. (2023), juga menyoroti pentingnya faktor geografis dalam menentukan tingkat ancaman kekeringan. Namun, penelitian ini memberikan wawasan baru dengan menunjukkan bahwa daerah pesisir cenderung lebih rentan terhadap kekeringan meteorologi dibandingkan dengan daerah pegunungan. Daerah pegunungan, memengaruhi jumlah hujan melalui hujan orografis, di mana udara lembap terangkat, mendingin, dan mengembun menjadi hujan di lereng gunung. Sehingga wilayah pegunungan umumnya menerima curah hujan lebih tinggi, sedangkan wilayah pesisir mengalami kondisi sebaliknya.
4. Penelitian ini juga menyoroti peran baseflow dalam mengurangi dampak kekeringan hidrologi, yang jarang dibahas secara mendalam pada penelitian sebelumnya.
5. Penelitian sebelumnya seperti Shukla & Wood (2008) telah menunjukkan bahwa korelasi antara SPI dan SRI cenderung lebih kuat untuk periode akumulasi yang lebih panjang (misalnya, 12 bulan). Penelitian ini memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa korelasi SPI-3 dan SRI-3 lebih lemah dibandingkan dengan SPI-12 dan SRI-12, tetapi tetap signifikan ( $r = 0,41-0,79$ ), dan
6. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis korelasi untuk periode akumulasi 3 bulan, yang lebih relevan untuk mitigasi kekeringan jangka pendek, terutama dalam konteks pertanian.

#### Kontribusi dan Kebaruan Penelitian

Berikut ini adalah kontribusi dan kebaruan dari penelitian yang telah dilakukan, yaitu:

1. Penelitian ini memberikan informasi penting bagi pengambil kebijakan di Kabupaten Trenggalek untuk merancang strategi mitigasi kekeringan yang lebih efektif. Misalnya, daerah

pesisir yang memiliki ancaman kekeringan meteorologi tinggi dapat menjadi prioritas untuk program penyediaan air bersih dan irigasi.

2. Peta ancaman kekeringan meteorologi dan hidrologi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai alat perencanaan spasial untuk mengidentifikasi wilayah rawan kekeringan.
3. Penelitian ini memperkaya literatur tentang hubungan antara kekeringan meteorologis dan hidrologis dengan menunjukkan adanya lag time yang disebabkan oleh baseflow. Temuan ini dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian lanjutan mengenai dinamika air tanah dan limpasan permukaan.
4. Penggunaan metode NRECA untuk pemodelan limpasan dan kalibrasi *Nash-Sutcliffe* menunjukkan pendekatan inovatif dalam mengatasi keterbatasan data debit.
5. Penelitian ini merupakan salah satu dari sedikit studi yang mengintegrasikan analisis SPI dan SRI secara komprehensif di wilayah dengan karakteristik geografis kompleks seperti Kabupaten Trenggalek, dan
6. Fokus pada periode akumulasi 3 bulan memberikan wawasan baru tentang dinamika kekeringan jangka pendek, yang sangat relevan untuk sektor pertanian dan mitigasi bencana dan mitigasi bencana.

#### KESIMPULAN

Dari hasil analisis kekeringan meteorologis dan hidrologi di Kabupaten Trenggalek menggunakan metode SPI-3 (*Standardized Precipitation Index*) dan SRI-3 (*Standardized Runoff Index*) diperoleh daerah pesisir selatan memiliki ancaman kekeringan meteorologis dengan kelas tinggi hingga sangat tinggi, sementara daerah pegunungan lebih rendah karena curah hujan yang lebih tinggi.

Adapun hasil analisis kekeringan hidrologis PDA Tawing-Bendo Ngasinan memiliki ancaman sangat rendah, sedangkan PDA Duren-Kebak memiliki ancaman sedang. Perbedaan hasil disebabkan oleh *baseflow* dari air tanah dimana terdapat *lag time* akibat keberadaan cadangan air tanah (*baseflow*) yang mengurangi dampak kekeringan hidrologi.

Adapun dampak dari penelitian ini menunjukkan bahwa informasi ini dapat digunakan untuk merancang strategi mitigasi kekeringan, seperti penyediaan air bersih dan irigasi di daerah rawan kekeringan, peta ancaman kekeringan membantu identifikasi wilayah rawan untuk pengembangan infrastruktur air baku, temuan

tentang peran *baseflow* memberikan wawasan baru dalam pengelolaan air tanah dan limpasan permukaan, dan fokus pada periode akumulasi tiga bulan relevan untuk mitigasi kekeringan jangka pendek di sektor pertanian.

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan masih terdapat beberapa keterbatasan yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya yaitu dinamika air tanah secara mendalam, faktor nonhidrologis seperti penggunaan lahan dan perubahan iklim, analisis jangka panjang menggunakan periode akumulasi yang lebih besar (misalnya 12 bulan), integrasi data satelit untuk pemantauan kekeringan, dan dampak sosial-ekonomi kekeringan terhadap masyarakat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada Pimpinan dan Staf dari BBWS Brantas, UPTD PSDA Malang, dan UPTD PSDA Kediri atas kerja sama dan bantuannya dalam menyediakan data sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afif, H. A., Harist, M. C., Dian, D., & Putri, N. (2018). *Pemetaan wilayah potensi kekeringan menggunakan sistem informasi geografi dan penginderaan jauh studi kasus Kabupaten Brebes*.
- Ali, A. M., Waiduri, S. Z. F., Saidah, H., Hijriati, A. S., Niam, S. N. D., Azizah, F., Aulani, H., Putra, R. P., Azizah, H., Qarina, H., & Khalil, L. R. (2024). Meminimalisir bencana kekeringan menggunakan sumur resapan, biopori, dan parit rorak di Desa Jembatan Kembar Timur, Kecamatan Lembar, Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Gema Ngabdi*, 6(1), 75–82. <https://doi.org/10.29303/jgn.v6i1.401>
- Aprilliyanti, T., & Zainuddin, D. M. (2017). *Pemetaan potensi kekeringan lahan se-Pulau Batam menggunakan teknik sistem informasi geografis (SIG) dan penginderaan jauh* (Vol. 31, No. 1). <http://www.earthexplorer.usgs.gov>
- Ardiputro, R., & Rintis Hadiani, R. (2016). Prediksi kekeringan dengan metode *standardized precipitation index* (SPI) pada Daerah Aliran Sungai Wuryantoro Kabupaten Wonogiri. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02595.x>
- Burrough, P. A., van Gaans, P. F. M., & Hootsmans, R. (1997). Continuous classification in soil survey: Spatial correlation, confusion and boundaries. *Geoderma*, 77(2), 115–135. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00018-9)
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santoso, A., McPhaden, M. J., Wu, L., England, M. H., Wang, G., Guilyardi, E., & Jin, F.-F. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4(2), 111–116. <https://doi.org/10.1038/nclimate2100>
- Diaz Primadita, B., Arti Utami, N., Rizqullah, H., Nugraha Utama, R., Pohan, D., Hidrologi dan Lingkungan Keairan, B., Bina Teknik SDA, D., Jenderal SDA, D., & Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, K. (2023). Studi komparasi peta bahaya kekeringan meteorologi dan hidrologi WS Pemali-Comal. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 2023(2), 141–152. <https://doi.org/10.56860/jtsda>
- Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(1), 31–45. <https://doi.org/10.1080/02693799208901893>
- Hao, Z., & Singh, V. P. (2015). Drought characterization from a multivariate perspective: A review. *Journal of Hydrology*, 527, 668–678. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2015.05.031>
- Indarto, Wahyuningsih Sri, Pudjojono Muhardjo, Ahmad Hamid, & Yusron Ahmad. (2014). Studi pendahuluan tentang penerapan metode ambang bertingkat untuk analisis kekeringan hidrologi pada 15 DAS di wilayah Jawa Timur. *Jurnal Agroteknologi*, 8(2).
- Jamil, D. H., Tjahjono, H., & Parman, S. (2013). Deteksi potensi kekeringan berbasis penginderaan jauh dan sistem informasi geografis di Kabupaten Klaten. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/geoimage>
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616–620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration*

- to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology.
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216.  
<https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2010.07.012>
- Raharjo, P. D. (2010). Teknik penginderaan jauh dan sistem informasi geografis untuk identifikasi potensi kekeringan. *Makara Teknologi*, 14(2).
- Rizqi Qonita, I., Putra, Y. S., & Kushadiwijayanto, A. A. (2019). Pola distribusi kekeringan menggunakan metode *standardized precipitation index* (SPI) di Kalimantan Barat. *Prisma Fisika*, 7(2), 139–142.  
<http://apps.ecmwf.int/dataset/data/interim-full->
- Rodell, M., & Famiglietti, J. S. (2000). The potential for satellite-based monitoring of groundwater storage changes using GRACE: The High Plains aquifer, Central US. *Journal of Hydrology*.  
<https://www.elsevier.com/locate/jhydrol>
- Sandi, Y. A., Harisuseno, D., & Lufira, R. D. (2024). Analisis indeks kekeringan metode *standardized precipitation index* (SPI) untuk pemetaan kekeringan di DAS Pekalen Kabupaten Probolinggo. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 4(2), 1338–1347.  
<https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2024.004.02.136>
- Tiffen, M., & Mortimore, M. (1994). Malthus controverted: The role of capital and technology in growth and environment recovery in Kenya. *World Development*, 22(7), 997–1010.  
[https://doi.org/10.1016/0305-750X\(94\)90144-9](https://doi.org/10.1016/0305-750X(94)90144-9)
- van der Werf, G. R., Morton, D. C., DeFries, R. S., Olivier, J. G. J., Kasibhatla, P. S., Jackson, R. B., Collatz, G. J., & Randerson, J. T. (2009). CO2 emissions from forest loss. *Nature Geoscience*, 2(11), 737–738.  
<https://doi.org/10.1038/ngeo671>
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2(4), 359–392.  
<https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.  
<https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Wahyu Hidayat, R., Susatya, A., & Suhartoyo, H. (2020). Analisa spasial kekeringan dengan menggunakan metode *standardized precipitation index* (SPI) di Bengkulu. *Naturalis*.
- Wilhite, D. A., Svoboda, M. D., & Hayes, M. J. (2007). Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, 21(5), 763–774.  
<https://doi.org/10.1007/s11269-006-9076-5>
- European Space Agency. (2024). *Copernicus Global Digital Elevation Model*. Distributed by OpenTopography.  
<https://doi.org/10.5069/G9028PQB>