

## STUDI KOMPARASI PETA BAHAYA KEKERINGAN METEOROLOGI DAN HIDROLOGI WS PEMALI-COMAL

Brigita Diaz Primadita<sup>1\*</sup>, Nirmaya Arti Utami<sup>1</sup>, Hirzi Rizqullah<sup>2</sup>, Riksa Nugraha  
Utama<sup>1</sup>, Levina<sup>1</sup>, Radhika<sup>1</sup>, Dasniari Pohan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan, Direktorat Bina Teknik SDA,  
Direktorat Jenderal SDA, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

<sup>2</sup>Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

\*brigita.diaz@gmail.com

Pemasukan: 3 November 2023    Perbaikan: 22 November 2023    Diterima: 24 November 2023

### Intisari

Wilayah Sungai (WS) Pemali-Comal mengalami dampak yang sangat masif akibat kekeringan, mengingat luasnya lahan yang digunakan untuk pertanian. Oleh karena itu diperlukan mitigasi kekeringan yang efektif. Salah satunya adalah membuat peta bahaya yang mencakup analisis spasial dan derajat keparahan dari kekeringan. Kajian ini bertujuan untuk mengkaji perbandingan distribusi spasial bahaya kekeringan meteorologi dan kekeringan hidrologi di WS Pemali-Comal. Kekeringan meteorologi dapat mengidentifikasi wilayah yang secara alamiah mengalami defisit air akibat hujan, sedangkan kekeringan hidrologi dapat menunjukkan wilayah yang secara langsung mengalami defisit aliran permukaan. Pemetaan bahaya kekeringan dilakukan dengan menggunakan klasifikasi kondisi dengan menggunakan *Standardized Precipitation Index* dan *Standardized Runoff Index* pada 67 PCH dan 16 PDA sepanjang tahun 1990-2021. Lebih dari setengah dari total wilayah WS Pemali Comal berada pada tingkat bahaya tinggi-sangat tinggi (70% kekeringan meteorologi dan 50% kekeringan hidrologi). Pada bahaya kekeringan meteorologi, mayoritas daerah dengan memiliki tingkat bahaya sangat tinggi berada di bagian timur wilayah sungai yakni Kabupaten Pemalang, Kabupaten Pekalongan, dan sebagian Kabupaten Batang. Sedangkan bila dilihat dari kekeringan hidrologi, wilayah pesisir utara WS Pemali-Comal, terutama di utara Kabupaten Brebes, Kota Tegal, utara Kabupaten Pemalang, dan Kota Pekalongan cenderung memiliki tingkat bahaya sangat tinggi. Kondisi kekeringan hidrologi berupa defisit air permukaan di WS Pemali Comal mayoritas diakibatkan oleh faktor atropogenik yang terlihat dari sebaran tata guna lahan. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan mitigasi seperti pemanenan air hujan, pembuatan tampungan air, serta penghijauan kembali pada wilayah yang memiliki bahaya sangat tinggi pada kekeringan air permukaan terutama di bagian Utara WS Pemali-Comal.

Kata Kunci: Kekeringan meteorologi, Kekeringan hidrologi, Peta bahaya,  
WS, Pemali-Comal

## Latar Belakang

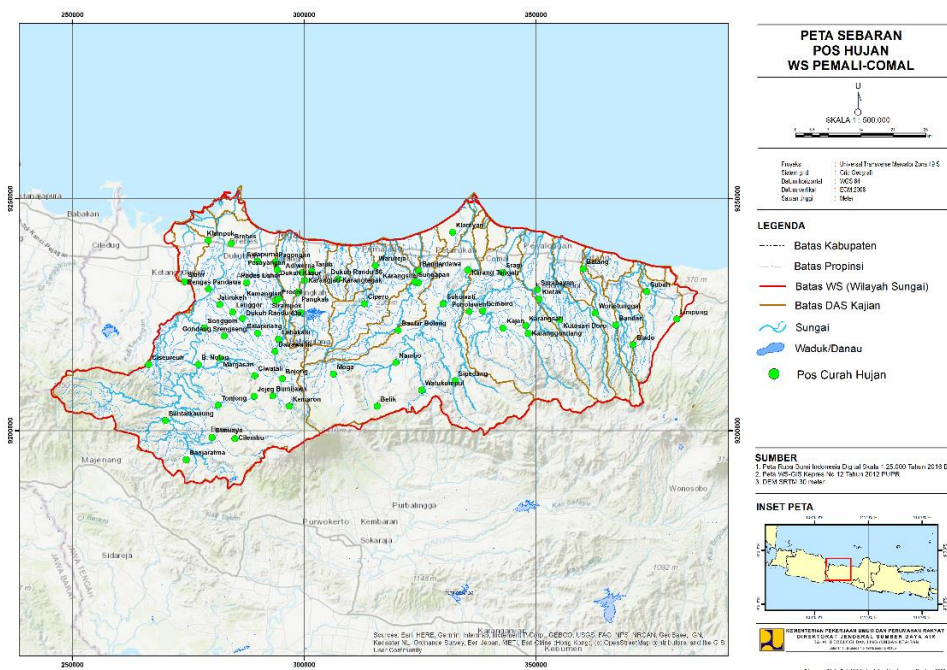
Wilayah Sungai (WS) Pemali-Comal merupakan salah satu WS yang paling rawan bencana di Pulau Jawa. Wilayah seperti Kabupaten Batang, Kabupaten Brebes, Kabupaten-Kota Pekalongan, Kabupaten Pemalang, dan Kabupaten-Kota Tegal merupakan daerah rawan bencana kekeringan, tanah longsor, banjir, rob, serta gelombang pasang dan abrasi (BPBD Jawa Tengah 2014). Belum lagi dampak eksternal seperti perubahan iklim dan penurunan muka tanah yang masif di Pesisir Utara Pulau Jawa. Salah satu dampak perubahan iklim yang paling terasa adalah meningkatkan intensitas serta durasi kekeringan. Sebagai contoh, pada tahun 2019 terjadi puso atau gagal panen akibat kekeringan pada lebih dari 250 ha lahan pertanian di Kabupaten Tegal (Ramdhani 2019). Dampak kekeringan pada WS Pemali-Comal dapat berdampak sangat masif mengingat banyaknya lahan pertanian di sana.

Kekeringan merupakan bencana yang merangkak (*creeping disaster*), dimana proses pembentukannya cenderung perlahan, mempunyai konsekuensi yang tidak langsung yang sering kali tidak terdeteksi, dan dapat terjadi dalam jangka waktu lama dari bulanan hingga tahunan (Sutanto 2017). Kekeringan biasanya baru akan disadari ketika lahan pertanian mengalami gagal panen, sumur-sumur mengalami pendangkalan dan kering, air sungai surut, dan tinggi muka air di bendungan-bendungan menjadi sangat rendah. Salah satu yang dapat dilakukan adalah menganalisis bahaya kekeringan yang terjadi baik dari segi spasial dan derajat keparahan. Pemetaan bahaya yang efektif dapat meminimalisir terjadinya kematian, kecelakaan, hingga kerusakan pada properti juga aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi (Koem, Nusit, and Tantane 2022).

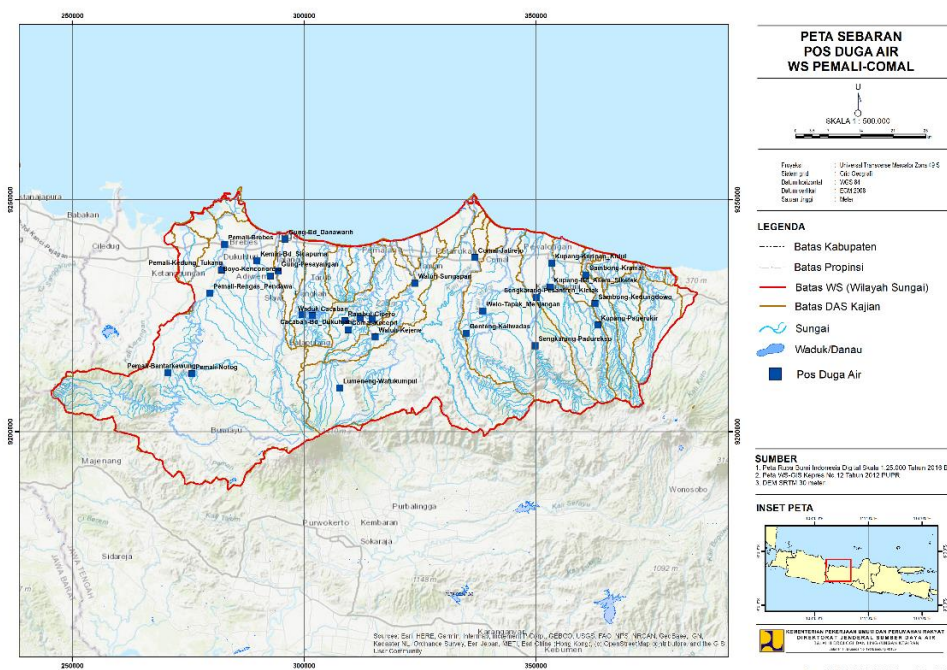
Kekeringan dapat diklasifikasikan dalam beberapa kategori yaitu kekeringan meteorologi, kekeringan hidrologi, kekeringan pertanian, dan kekeringan antropogenik. Kekeringan meteorologi adalah kekeringan yang mengawali jenis kekeringan lain dan paling sering terjadi sehingga menjadi jenis kekeringan yang paling banyak diteliti (Das et al. 2020). Kekeringan meteorologi terjadi secara cepat dan kekeringan hidrologi terjadi setelah kekeringan meteorologi (Senatilleke et al. 2023). Kekeringan meteorologi hanya menggambarkan karakteristik kekeringan dalam skala besar dan kekeringan regional jangka panjang, namun kurang menjelaskan kondisi ketersediaan air (Harisuseno 2020). Berbeda halnya dengan kekeringan hidrologi yang menggunakan parameter air permukaan yang betul-betul tersedia di lapangan sehingga dapat mengurangi waktu *lag* antara kekeringan dengan dampak yang dirasakan. Di sisi lain, kekeringan meteorologi menunjukkan kondisi kekeringan alamiah dikarenakan hujan cenderung lebih resistan terhadap faktor-faktor antropogenik dibandingkan dengan debit air permukaan. Kajian ini bertujuan untuk mengkaji perbandingan peta bahaya kekeringan meteorologi dan kekeringan hidrologi di WS Pemali-Comal dan merekomendasikan mitigasi kekeringan dari hasil analisis tersebut.

### Metodologi Studi

Pembuatan peta bahaya kekeringan meteorologi dan kekeringan hidrologi di WS Pemali-Comal dilakukan dengan beberapa tahap, yakni melakukan pengumpulan data Pos Curah Hujan (PCH) untuk kekeringan meteorologi dan data Pos Duga Air (PDA) di WS Pemali-Comal (Gambar 1).



(a) Pos curah hujan



(b) Pos duga air

**Gambar 1.** Sebaran pos observasi yang digunakan dalam analisis

Data hujan dan debit bulanan sepanjang tahun 1990-2021 didapatkan dari Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan. Dipilih sebanyak 67 PCH dan 16 PDA yang memenuhi kriteria uji data konsistensi, pencilan, dan homogenitas. Masing-masing data observasi kemudian dihitung nilai indeks kekeringannya, indeks kekeringan meteorologi dengan metode *Standardized Precipitation Index* (SPI) dan indeks kekeringan hidrologi dengan metode *Standardized Runoff Index* (SRI). Kedua metode ini direkomendasikan untuk menghitung kekeringan karena metode ini terbukti paling efektif dan andal untuk mengestimasi kekeringan (Łabędzki 2007). Dalam kajian ini, digunakan SPI dan SRI tiga bulanan. Indeks kekeringan tiga bulanan menunjukkan korelasi paling baik dengan produktivitas agrikultur dan juga kelembapan tanah (Kebaili Bargaoui and Jemai 2022).

Data per pos diagregatkan menjadi data tiga bulanan yang kemudian disebut  $x_{ij}$  dimana  $i$  menunjukkan tahun dan  $j$  adalah bulan (dari Januari sampai dengan Desember). Dengan distribusi probabilitas gamma, persamaan kemudian dihitung dengan persamaan (1) sampai dengan (3) (Kementerian PUPR, 2004).

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

$$\alpha_j = \frac{\mu_j^2}{\sigma_j^2} \tag{2}$$

$$\beta_j = \frac{\sigma_j^2}{x_j} \tag{3}$$

di mana  $\mu_j$  adalah rata-rata data  $x_{ij}$  pada bulan ke  $j$ ,  $\sigma_j$  adalah simpangan baku data pada bulan ke  $j$ .

Pada nilai debit nol, persamaan (1) menjadi tidak terdefinisi, oleh karena itu digunakan persamaan (4)

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \tag{4}$$

di mana  $q$  adalah probabilitas terjadinya data nol di bulan bersangkutan.

Probabilitas kumulatif  $H(x)$  diubah menjadi variabel acak normal baku,  $Z$ , dengan rata-rata nol dan varians nya satu.  $Z$  merupakan nilai SRI, dihitung secara empiris oleh persamaan (5) hingga (8).

$$SRI_{ij} = -(t - \frac{c_0 + c_1t + c_2t^2}{1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3}) \text{ untuk } 0 < H(x) \leq 0,5 \tag{5}$$

$$SRI_{ij} = +(t - \frac{c_0 + c_1t + c_2t^2}{1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3}) \text{ untuk } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \tag{6}$$

$$t = \sqrt{\ln(\frac{1}{(H(x))^2})} \text{ untuk } 0 < H(x) \leq 0.5 \tag{7}$$

$$t = \sqrt{\ln(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2})} \text{ untuk } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \tag{8}$$

keterangan:






$c_0 = 2.515517$	$d_1 = 1.432788$
$c_1 = 0.802853$	$d_2 = 0.189269$
$c_2 = 0.010328$	$d_3 = 0.001308$

Setelah didapatkan deret waktu dari SPI-3 dan SRI-3 masing-masing pos, diklasifikasikan kondisi per bulan dengan

- a. Kondisi kering : nilai indeks kekeringan <-1
- b. Kondisi basah : nilai indeks kekeringan >1

Untuk membuat sebaran bahaya kekeringan di WS Pemali-Comal, ditentukan jumlah kondisi kering per 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 1.

Tabel 1 Klasifikasi bahaya kekeringan

Kejadian Kering per Total Kejadian	Klasifikasi	Warna
<13,0%	Sangat Rendah	
13,0% - 13,9%		
14,0% - 14,9%	Rendah	
15,0% - 15,9%		
16,0% - 16,9%		
17,0% - 17,9%	Sedang	
18,0% - 18,9%		
19,0% - 19,9%	Tinggi	
20,0% - 20,9%		
≥21,0%	Sangat Tinggi	

Pemetaan bahaya kekeringan meteorologi dan hidrologi menggunakan analisis GIS dengan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW). IDW menggunakan nilai yang diketahui dari masing-masing pos untuk memprediksikan nilai-nilai di sekitarnya. IDW mengasumsikan bahwa setiap titik yang diketahui memiliki dampak lokal yang berkurang dengan jarak (Gesim and Okazaki 2018).

$$V_p = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{v_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \tag{9}$$

Keterangan:

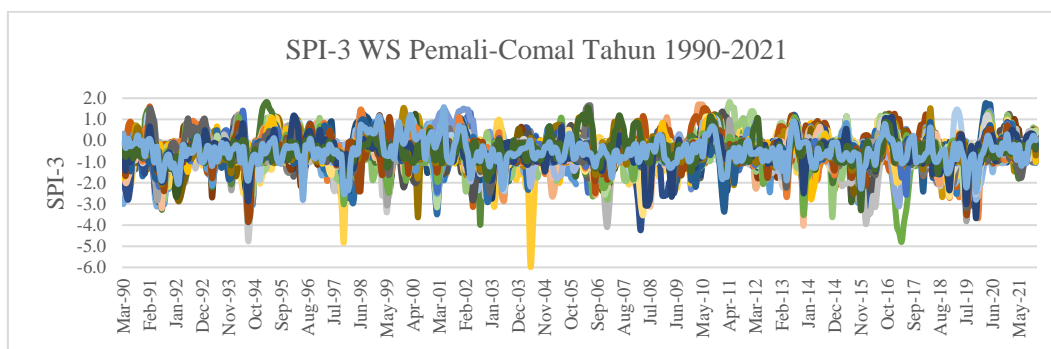
$V_p$  : Nilai prediksi

$v_i$  : Nilai data observasi

$d_i$  : Jarak antara titik data observasi dengan titik prediksi

### Hasil Studi dan Pembahasan

Sepanjang tahun 1990 hingga tahun 2021, WS Pemali-Comal mengalami kekeringan paling parah pada tahun 1997, 2002, 2015. Kekeringan pada tahun tersebut diakibatkan oleh fenomena El-Nino dengan intensitas kuat dan juga Indian Ocean Dipole berada pada fase positif. Kedua fenomena tersebut saling memperkuat terjadinya kondisi kering di atmosfer Indonesia, tak terkecuali di WS Pemali-Comal.

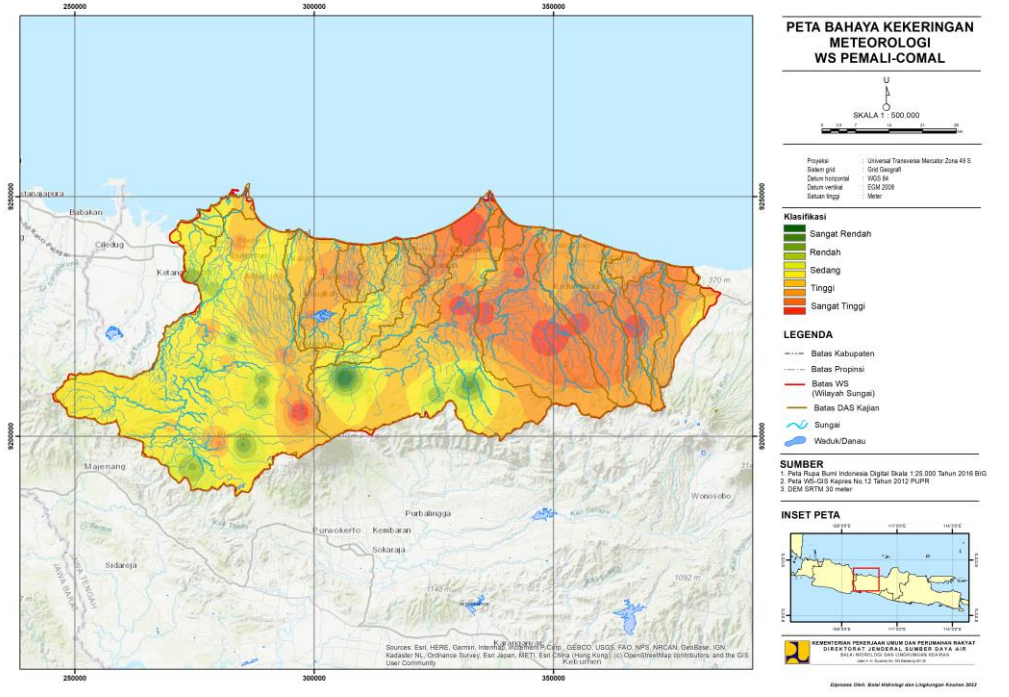


**Gambar 2.** Grafik SPI-3 WS Pemali-Comal

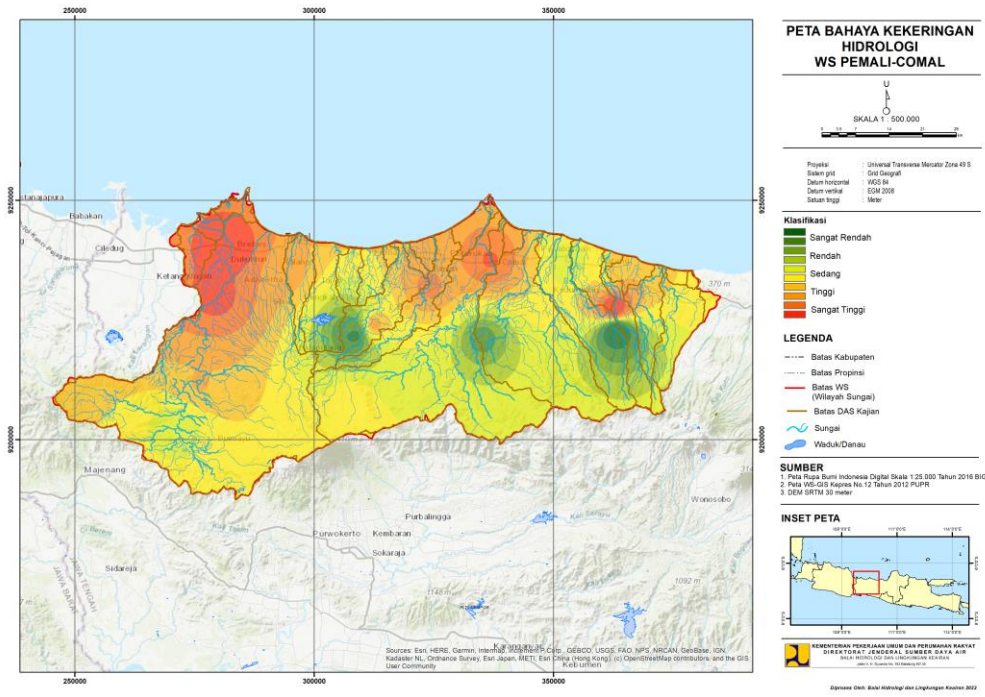
Untuk memvisualisasikan bahaya sebaran kekeringan meteorologi dan hidrologi di WS Pemali Comal, digunakan metode IDW dengan menggunakan klasifikasi bahaya kekeringan dari nilai SPI-3 dan SRI-3 sepanjang tahun 2000-2021 (Gambar 3). Dalam peta bahaya kekeringan meteorologi di WS Pemali-Comal, terlihat dalam wilayah sungai tersebut, wilayah yang memiliki status bahaya sangat rendah hanya sebesar 4%, rendah 13%, sedang 12%, tinggi 40%, dan sangat tinggi sebanyak 30%. Pada kekeringan hidrologi, terdeteksi WS Pemali-Comal yang memiliki status bahaya sangat rendah sebesar 6%, rendah 19%, sedang 25%, tinggi 19%, dan sangat tinggi sebanyak 31%.

Bila dilihat secara alamiah, yang dapat dilihat dari kekeringan meteorologi yang mengidentifikasi simpangan terhadap data hujan, mayoritas daerah dengan bahaya kekeringan meteorologi sangat tinggi terutama berada di bagian timur WS Pemali-Comal yakni Kabupaten, Pemalang, Kabupaten Pekalongan, dan sebagian Kabupaten Batang. Selain itu, daerah sangat tinggi bahaya kekeringan meteorologi juga diidentifikasi berada di

- a. Satu kecamatan di Selatan Kabupaten Brebes (Kecamatan Bumiayu)
- b. Dua kecamatan di Kabupaten Tegal: (Kecamatan Tarub dan Suradadi)
- c. Tiga Kecamatan di Utara Kabupaten Pemalang (Kecamatan Taman, Petarukan, Ampel Gading)
- d. Satu kecamatan di Barat Laut Kabupaten Pekalongan (Kecamatan Sragi) dan lima kecamatan di Sentral Kabupaten Pekalongan (Kesesi, Bojong, Kajen, Karanganyar, Talum)
- e. Dua kecamatan di Kota Pekalongan (Kecamatan Pekalongan Timur dan Pekalongan Selatan)
- f. Dua kecamatan di sentral Kabupaten Batang: (Kecamatan Wonotunggal dan Subah)



(a) Peta bahaya kekeringan meteorologi



(b) Peta bahaya kekeringan hidrologi

Gambar 3. Peta bahaya kekeringan meteorologi dan hidrologi WS Pemali-Comal

Sedangkan bila dilihat dari simpangan jumlah air permukaan yang tercermin dalam kekeringan hidrologi, mayoritas kondisi sangat tinggi bahaya berada di pesisir utara WS Pemali-Comal, terutama di utara Kabupaten Brebes, Kota Tegal, utara Kabupaten Pemalang, dan Kota Pekalongan. Wilayah yang memiliki tingkat bahaya sangat tinggi adalah:

- a. Tiga kecamatan di Utara Kabupaten Brebes (Kecamatan Larangan, Brebes, Wanasari)
- b. Seluruh Kota Tegal
- c. Tiga kecamatan di Barat Kabupaten Tegal: (Kecamatan Dukuh Turi, Adiwena, Talang)
- d. Empat Kecamatan di Utara Kabupaten Pemalang (Kecamatan Taman, Comal, Petarukan, Ampel Gading)
- e. Satu kecamatan di Barat Laut Kabupaten Pekalongan (Kecamatan Sragi)
- f. Dua kecamatan di Kota Pekalongan (Kecamatan Pekalongan Timur dan Pekalongan Selatan)
- g. Dua kecamatan di sentral Kabupaten Batang (Kecamatan Warung Asem, Wonotunggal)

Terdapat beberapa lokasi yang diidentifikasi sangat tinggi baik dari bahaya kekeringan meteorologi maupun kekeringan hidrologi seperti di Kabupaten Pemalang (Kecamatan Taman, Petarukan, Ampel Gading), Kabupaten Pekalongan (Kecamatan Sragi), dan Kabupaten Batang: (Kecamatan Wonotunggal). Perbedaan antara pemetaan bahaya kekeringan meteorologi dan hidrologi diakibatkan oleh adanya efek antropogenik dan juga karakteristik daerah aliran sungai.

Pada Gambar 4, ditunjukkan peta tata guna lahan di WS Pemali-Comal. Terlihat distribusi pemukiman di WS Pemali-Comal terpusat ke arah pesisir utara, terutama di Kota Tegal dan Kota Pekalongan. Pola distribusi spasial tata guna lahan ini memiliki kesamaan dengan peta bahaya kekeringan hidrologi, dimana bahaya sangat tinggi terlihat banyak terpusat di Utara Kabupaten Brebes, Kabupaten-Kota Tegal, dan juga Kabupaten-Kota Pekalongan. Sedangkan daerah selatan WS Pemali-Comal yang cenderung hanya berada pada status bahaya kekeringan hidrologi rendah dan sedang, mayoritas masih dipenuhi oleh vegetasi dan hutan. Bagian selatan Kabupaten Batang dan Kabupaten Pekalongan misalnya, memiliki bahaya kekeringan meteorologi tinggi namun memiliki bahaya kekeringan hidrologi yang rendah. Hal ini menunjukkan, meskipun secara alamiah pada lokasi tersebut hujan cenderung berfluktuasi dan sering mengalami defisit, namun dikarenakan jumlah penduduk serta lahan pada lokasi tersebut masih dipenuhi oleh vegetasi hijau, menyebabkan jarang terjadi kekeringan pada air permukaan.



Distribusi spasial bahaya kekeringan meteorologi dan hidrologi di WS Pemali-Comal menunjukkan hasil yang berbeda. Pada bahaya kekeringan meteorologi, mayoritas daerah dengan memiliki tingkat bahaya defisit air hujan sangat tinggi berada di bagian timur wilayah sungai yakni Kabupaten, Pemalang, Kabupaten Pekalongan, dan sebagian Kabupaten Batang. Sedangkan bila dilihat dari kekeringan hidrologi, wilayah pesisir utara WS Pemali-Comal, terutama di utara Kabupaten Brebes, Kota Tegal, utara Kabupaten Pemalang, dan Kota Pekalongan cenderung memiliki tingkat bahaya defisit air permukaan yang sangat tinggi.

Kondisi kekeringan hidrologi berupa defisit air permukaan di WS Pemali Comal mayoritas diakibatkan oleh faktor atropogenik yang terlihat dari sebaran tata guna lahan. Pada hasil pemetaan bahaya kekeringan meteorologi, daerah yang menunjukkan defisit air permukaan justru tidak mengalami kondisi bahaya defisit hujan secara alamiah. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan mitigasi seperti pemanenan air hujan, pembuatan tampungan air, serta penghijauan kembali pada wilayah yang memiliki bahaya sangat tinggi pada kekeringan air permukaan terutama di bagian Utara WS Pemali-Comal.

### **Saran**

Untuk kajian selanjutnya, disarankan untuk dilakukan pemetaan risiko dan kerawanan kekeringan yang memperhatikan aspek sosial dan ekonomi di WS Pemali-Comal, diluar aspek alamiah seperti peta bahaya yang dibuat dalam penelitian ini.

### **Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan, Direktorat Bina Teknik Sumber Daya Air, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atas dukungan sehingga tulisan ilmiah ini dapat berhasil diselesaikan. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih atas bantuan data dari Dr. Ardhasena Sopaheluwakan, selaku Kepala Pusat Layanan Informasi Iklim Terapan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.

### **Daftar Referensi**

- BPBD Jawa Tengah. 2014. 3519904 BPBD Pemerintah Provinsi Jawa Tengah *Studi Identifikasi Kearifan Lokal Dalam Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana Di Eks Karesidenan Pekalongan*.
- Das, Jayanta, Amiya Gayen, Piu Saha, dan Sudip Kumar Bhattacharya. 2020. "Meteorological Drought Analysis Using Standardized Precipitation Index over Luni River Basin in Rajasthan, India." *SN Applied Sciences* 2(9): 1–17. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03321-w>.

- Gesim, Nasir Ahmad, dan Takeo Okazaki. 2018. "Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution Using DRASTIC Model and Fuzzy Logic in Herat City, Afghanistan." *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 9(10): 181–88. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.091021>.
- Harisuseno, Donny. 2020. "Comparative Study of Meteorological and Hydrological Drought Characteristics in the Pekalen River Basin, East Java, Indonesia." *Journal of Water and Land Development* 45: 19–41.
- Kebaili Bargaoui, Zoubeida, dan Sabrine Jemai. 2022. "SPI-3 Analysis of Medjerda River Basin and Gamma Model Limits in Semi-Arid and Arid Contexts." *Atmosphere* 13(12). <https://doi.org/10.3390/atmos13122021>.
- Kementerian PUPR. 2004. "Pd T-02-2004-A: Perhitungan Indeks Kekeringan Dengan Menggunakan Teori Run."
- Koem, Chhuonvuoch, Korakod Nusit, dan Sarintip Tantanee. 2022. "Spatial Distribution of Drought Hazard Mapping Based on AHP and GIS in Kampong Speu Province." *GMSARN International Journal* 16(4): 442–50.
- Łabędzki, Leszek. 2007. "Estimation of Local Drought Frequency in Central Poland Using the Standardized Precipitation Index SPI." *Irrigation and Drainage* 56(1): 67–77. <https://doi.org/10.1002/ird.285>.
- Ramdhani, Gilar. 2019. "Gagal Panen, Petani Tegal Bisa Klaim Asuransi Hingga Rp 6 Juta." *Liputan6*. <https://www.liputan6.com/bisnis/read/4036761/gagal-panen-petani-tegal-bisa-klaim-asuransi-hingga-rp-6-juta>.
- Senatilleke, Udara dkk. 2023. "Monitoring the Meteorological and Hydrological Droughts in the Largest River Basin (Mahaweli River) in Sri Lanka." *Climate* 11(3): 57. <https://doi.org/10.3390/cli11030057>.
- Sutanto, Samuel Jonson. 2017. "Wawasan Mengenai Sistem Peringatan Dini Kekeringan Di Indonesia." *Jurnal Sumber Daya Air* 13(1): 53. <https://doi.org/10.32679/jsda.v13i1.158>.

[Halaman ini sengaja dibiarkan kosong/*This page is intentionally left blank*]