

## Prediksi dan Pemetaan Kekeringan Menggunakan Metode Thomas Fiering dan *Standardized Precipitation Index* (SPI) di Kabupaten Tuban

Made Indrayana Supriyatna<sup>1,\*</sup>, Anak Agung Ngurah Satria Damar Negara<sup>1</sup>, Nastasia Festy Margini<sup>1</sup>

Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [madeindrayana54@gmail.com](mailto:madeindrayana54@gmail.com)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	20 Juni 2023	<i>Mapping and predicting the level of drought is carried out in Tuban Regency because Tuban Regency is a drought-prone area. Drought level analysis uses the Standardized Precipitation Index (SPI) method by utilizing monthly rainfall data of 70.23 – 114.6 mm. Drought level mapping was carried out in Tuban Regency using a GIS application. The results of the drought mapping in October 2021 in Tuban Regency show that Banjar and Palang sub-districts have fairly dry conditions. As for field conditions in October 2021, the Banjar and Palang sub-districts were not included from the 9 drought-affected sub-districts in Tuban Regency. So that from the results of the SPI analysis, it shows that rainfall is not the only cause of drought. Drought prediction is carried out from 2022 to 2030 using the Thomas Fiering Method as a rainfall prediction method. The validation results of the Thomas Fiering model have RMSE% values ranging from 70.57 to 97.64% time series, for probabilistic ranges from 4.15 to 17.72%. The RMSE calculation results illustrate that Thomas Fiering is not good for predictions with timeliness. SPI prediction results show that 2028 will be the driest year compared to other years with monthly average SPI at -0.179 and minimum monthly SPI at -0.533 and still in the close to normal category.</i>
Diperbaiki	24 Juli 2023	
Disetujui	28 Juli 2023	

Keywords: drought, SARIMA, Standardized Precipitation Index, Thomas Fiering

### Abstrak

Pemetaan dan prediksi tingkat kekeringan dilakukan di Kabupaten Tuban dikarenakan Kabupaten Tuban merupakan daerah rawan terjadinya kekeringan. Analisis tingkat kekeringan menggunakan metode Standardized Precipitation Index (SPI) dengan memanfaatkan data curah hujan bulanan 70,23 – 114,6 mm. Pemetaan tingkat kekeringan dilakukan di Kabupaten Tuban menggunakan aplikasi GIS. Hasil dari pemetaan kekeringan pada bulan Oktober 2021 di Kabupaten Tuban menunjukkan bahwa kecamatan Banjar dan Palang memiliki kondisi cukup kering. Sedangkan untuk kondisi lapangan pada bulan Oktober 2021 Kecamatan Banjar dan Palang tidak termasuk dari 9 kecamatan yang terdampak kekeringan di Kabupaten Tuban. Sehingga dari hasil analisis SPI, menunjukkan bahwa curah hujan bukan satu-satunya penyebab terjadinya kekeringan. Prediksi kekeringan dilakukan dari 2022 hingga tahun 2030 dengan menggunakan Metode Thomas Fiering sebagai metode prediksi curah hujan. Hasil validasi dari model Thomas Fiering memiliki nilai RMSE% berkisar 70,57 – 97,64 % time series, untuk probabilistik berkisar 4,15 – 17,72 %. Dari hasil perhitungan RMSE menggambarkan bahwa Thomas Fiering tidak baik untuk prediksi dengan ketepatan waktu. Hasil prediksi SPI menunjukkan bahwa tahun 2028 adalah tahun terkering dibandingkan tahun lainnya dengan SPI rata-rata bulanan di -0,179 dan minimum SPI bulanan di -0,533 dan masih dalam kategori mendekati normal.

Kata kunci: kekeringan, SARIMA, Standardized Precipitation Index, Thomas Fiering

### 1. Pendahuluan

Suatu daerah dikatakan terjadi kekeringan jika kondisi ketersediaan air yang ada pada kebutuhan air sehari-hari [1]. Beberapa indikator jika suatu daerah mengalami kekeringan diantaranya: penduduk yang kekurangan air bersih, turunnya muka air yang sangat signifikan pada tampungan air (seperti: bendungan, waduk, dan embung), dan sawah – sawah yang mengalami gagal panen [2].

Kabupaten Tuban merupakan salah satu kabupaten yang memiliki berpotensi terjadinya kekeringan [2]. Pada bulan

Oktober 2021, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Tuban menerima informasi bahwa 65 dusun pada 9 kecamatan di Kabupaten Tuban terdampak kekeringan berupa krisis air bersih. Menurut BPBD Kabupaten Tuban, hal tersebut disebabkan karena sumber air yang jauh dari pemukiman serta debit yang mengecil pada sumber air sehingga tidak mampu memenuhi kebutuhan air pada daerah sekitarnya [3]. Salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan debit pada sumber air adalah penurunan curah hujan.

Untuk memperhitungkan kekeringan, WMO (World Meteorological Organization) menyebutkan bahwa terdapat 50 metode untuk memperhitungkan indeks kekeringan [4]. Salah satu perhitungan indeks kekeringan yang sering digunakan adalah metode *Standardized Precipitation Index* (SPI). Metode SPI sudah menjadi konsensus di 22 negara (termasuk Indonesia) sebagai metode untuk memonitor kekeringan [2]. Metode SPI sudah digunakan di beberapa daerah di Indonesia, seperti: Pulau Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat [5]; DAS Ngrowo, Provinsi Jawa Timur [6]; Provinsi Jawa Timur [7]; Daerah irigasi Kelayang, Provinsi Riau [8]; DAS Sampean, Provinsi Jawa Timur [2].

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data curah hujan dari tahun 2007 sampai 2021. Data tersebut digunakan untuk memperhitungkan tingkat SPI di Kabupaten Tuban dan dipetakan menggunakan aplikasi *Geographic Information System* (GIS) dengan metode kontur berupa *Isoline* sehingga menghasilkan peta persebaran kekeringan. Peta persebaran kekeringan akan digunakan untuk melakukan validasi dengan kecamatan-kecamatan yang terdampak kekeringan pada bulan Oktober 2021. Hasil validasi digunakan untuk mengetahui apakah curah hujan merupakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya kekeringan pada Kabupaten Tuban.

Untuk mencegah terjadinya kekeringan kedepannya, pada penelitian ini dilakukan prediksi indeks kekeringan. Prediksi kekeringan dilakukan dengan menggunakan metode gabungan antara SPI dan Thomas Fiering. Metode Thomas Fiering merupakan kelompok pemodelan stokastik empiris, dimana pemodelan tersebut digunakan untuk menduga peluang kejadian berdasarkan pengalaman (data terdahulu) dan percobaan [9]. Metode ini digunakan untuk memprediksi curah hujan di masing-masing pos hujan. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan Thomas Fiering sebanyak 1000 model di setiap pos hujan. Dari ke 1000 model tersebut akan dipilih model terbaik menggunakan perhitungan tingkat *error* dengan metode *Root Mean Squared Error* (RMSE). Model terbaik digunakan untuk menganalisis SPI eksisting dan prediksi. Panjang prediksi dilakukan selama 9 tahun sehingga hasil prediksi dapat digunakan sebagai rekomendasi kepada pemerintah setempat untuk pertimbangan program mitigasi kekeringan ke depannya dan dapat membantu merealisasikan program SDG's yang dimana kekeringan merupakan salah satu masalah yang harus diatasi. Hasil dari penelitian ini berupa validasi antara analisis SPI terhadap kondisi lapangan pada bulan Oktober 2021; Hasil prediksi pemodelan Thomas Fiering; Hasil prediksi kekeringan pada tahun 2022 hingga 2030 di Kabupaten Tuban.

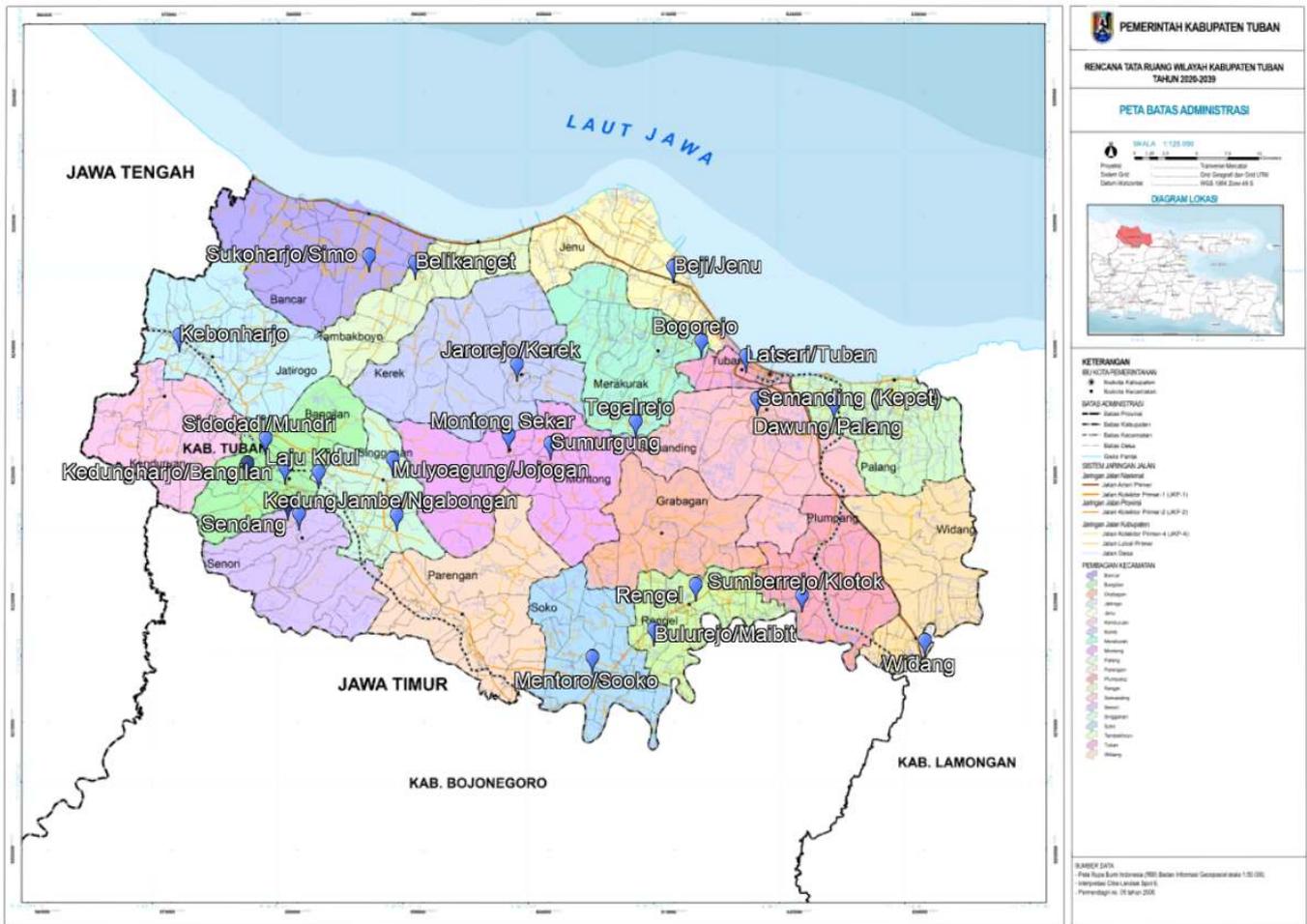
## 2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif berupa Pemetaan kekeringan dan prediksi indeks kekeringan. Pemetaan kekeringan dilakukan untuk mengetahui peta persebaran kekeringan menurut SPI dengan menggunakan aplikasi GIS. Peta yang dibuat akan digunakan untuk validasi terhadap kondisi lapangan pada Bulan Oktober 2021. Kemudian Untuk analisis prediksi kekeringan dilakukan dengan memprediksi data curah hujan menggunakan metode Thomas Fiering dan selanjutnya dilakukan analisis SPI untuk kabupaten Tuban di setiap bulan dari tahun 2022 hingga 2030.

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data curah hujan pada 25 pos hujan di Kabupaten Tuban. Data curah hujan diperoleh dari dinas PUPR Kabupaten Tuban yang tersebar sesuai pada **Gambar 1**. Data terdiri dari tahun 2007 hingga 2021, dimana terdapat data yang rusak dan perlu dilakukan perbaikan data. Metode yang digunakan adalah Metode Reciprocal dengan Persamaan (1) [10]. Data yang telah diperbaiki selanjutnya digunakan untuk memprediksi curah hujan dengan menggunakan Metode Thomas Fiering.

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \quad (1)$$

Sebelum dilakukan analisis dengan Metode Thomas Fiering, data dibagi menjadi dua bagian. bagian pertama adalah bagian tahap analisis training yang menggunakan data selama 13 tahun pertama (2007 – 2019) dan bagian kedua adalah tahap analisis validasi yang menggunakan data 2 tahun terakhir (2020–2021). Untuk analisis pemodelan Thomas Fiering dapat dilakukan dengan Persamaan (2) [9]. Pada pemodelan Thomas Fiering, terdapat variabel bilangan acak yang disebut dengan kelompok bilangan random. Kelompok bilangan random terdiri dari bilangan random yang dimiliki oleh masing-masing bulan di setiap tahun yang akan dimodelkan. Persyaratan dari pembentukan bilangan random adalah kelompok bilangan random harus memiliki nilai rata-rata mendekati 0 dengan standar deviasinya mendekati 1. Adapun metode yang dapat digunakan untuk membentuk kelompok bilangan random dengan menggunakan Persamaan (3) [11]. Penelitian ini membentuk 1000 kelompok bilangan random sehingga menghasilkan model sebanyak 1000 model di setiap pos hujannya. Setiap pemodelan akan menghasilkan data selama 23 tahun (2008 – 2030). Untuk mempermudah pembentukan 1000 model, maka pada penelitian ini menggunakan *software* bantu berupa Matlab. Dari 1000 model yang telah dibentuk selanjutnya dipilih salah satu model dengan menggunakan metode perhitungan tingkat eror berupa RMSE (*Root Mean Squared Error*).



Gambar 1. Peta Administrasi dan Lokasi Pos hujan di Kabupaten Tuban [12]

$$X_{i,j+1} = \mu_{i,j+1} + r_{x,j(1)} \left( \frac{\sigma_{i,j+1}}{\sigma_{i,j}} \right) (X_{i,j} - \mu_{i,j}) + t_{i,j+1} \cdot \sigma_{i,j+1} \cdot \sqrt{1 - r^2_{i,j(1)}} \quad (2)$$

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N R_i - N/2}{\sqrt{N/12}} \quad (3)$$

Analisis RMSE dilakukan pada tahap training dan tahap validasi. Analisis ini digunakan untuk mencari model terbaik dengan tingkat eror yang terkecil. Untuk analisis RMSE dapat menggunakan Persamaan (4) [13] dan menghasilkan eror dengan satuannya sesuai satuan data. Agar analisis dapat digunakan untuk perbandingan antara analisis secara *time series* dan probabilistik, maka dapat digunakan persamaan (5) dan menghasilkan satuan persentase [13]. Setelah selesai melakukan analisis RMSE dan mendapatkan model yang terbaik pada setiap pos hujan, selanjutnya model yang terbaik digunakan untuk menganalisis SPI.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum f_t - d_t} \quad (4)$$

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum f_t - d_t}}{\frac{\sum d}{n}} \quad (5)$$

Metode SPI merupakan model penilaian kekeringan yang menggunakan variable input tunggal berupa curah hujan bulanan. Prinsip Metode SPI adalah dengan cara membandingkan data-data curah hujan dalam periode waktu tertentu (di bulan yang sama) pada tahun yang berbeda. Penelitian dengan analisis SPI dapat dilakukan dengan menggunakan periode waktu tertentu. Periode waktu yang digunakan dapat mengindikasikan kondisi kekeringan pada lapangan yang berbeda-beda. Untuk hubungan antara periode waktu yang digunakan terhadap indikasi kondisi kekeringan pada lapangan dapat dilihat pada **Tabel 1**. Periode waktu yang digunakan pada penelitian ini adalah 12 bulanan. Alasan menggunakan periode 12 bulanan dikarenakan kekeringan yang terjadi pada lapangan karena jarak antara sumber air ke daerah-daerah yang terdampak cukup jauh serta terjadinya penurunan debit pada sumber air di daerah sekitarnya. Dapat disimpulkan kekeringan yang terjadi di lokasi studi menurut **Tabel 1** dapat dikategorikan dalam

rentan waktu menengah maupun panjang sehingga digunakan indeks SPI dengan periode 12 bulanan. SPI 12 bulanan akan membandingkan antara data curah hujan di 12 bulan terakhir terhadap bulan yang sama dengan tahun yang berbeda. Untuk perhitungan SPI dapat menggunakan Persamaan (6 jika nilai  $0 < H(x) \leq 0,5$ , dan Persamaan (7 jika nilai  $0,5 < H(x) < 1$  [2].

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0+c_1t+c_2t^2}{1+d_1t+d_2t^2+d_3t^3} \right) \tag{6}$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{c_0+c_1t+c_2t^2}{1+d_1t+d_2t^2+d_3t^3} \right) \tag{7}$$

dimana:

$$\begin{aligned} c_0 &= 2,515517 & d_1 &= 1,432788 \\ c_1 &= 0,802853 & d_2 &= 0,189269 \\ c_2 &= 0,010308 & d_3 &= 0,001308 \end{aligned}$$

Untuk nilai  $H(x)$  dapat diperoleh menggunakan Persamaan (8). Kemudian untuk nilai  $t$  dapat diperoleh menggunakan Persamaan (9, jika nilai  $0 < H(x) \leq 0,5$  dan Persamaan (10, jika nilai  $0,5 < H(x) < 1$ .

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \tag{8}$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \tag{9}$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \tag{10}$$

Untuk nilai  $G(x)$  dapat menggunakan Persamaan (11). Sedangkan koefisien-koefisien untuk memperhitungkan Persamaan (11) dapat menggunakan Persamaan (12 hingga Persamaan (15).

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} = \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \tag{11}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \tag{12}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \tag{13}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \tag{14}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \tag{15}$$

Hasil analisis SPI menghasilkan indeks kekeringan dari tahun 2008 hingga 2030 di setiap bulannya, dengan analisis SPI pada tahun 2008 hingga 2021 menggunakan data curah hujan lapangan. Sedangkan tahun 2022 hingga 2030 adalah data hasil dari prediksi. Nilai SPI dapat diinterpretasikan menjadi 7 klasifikasi yang dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** [14]. Analisis SPI pada penelitian ini menggunakan *software* bantu berupa SPI generator yang telah dipublikasikan oleh Organisasi *National Drought Mitigation Center* di Universitas Nebraska [15].

Selanjutnya hasil dari analisis SPI digunakan untuk penggambaran peta persebaran kekeringan dengan aplikasi GIS. Peta peta persebaran digunakan untuk melakukan

validasi terhadap kondisi pada bulan Oktober 2021, dimana terdapat 9 kecamatan yang terdampak kekeringan pada bulan tersebut. Untuk 9 kecamatan tersebut adalah: Kecamatan Parengan, Kenduruan, Semanding, Grabagan, Montong, Jatirogo, Rengel, Soko dan Merakurak [3]. Peta persebaran kekeringan yang digunakan adalah bulan Oktober 2021 dengan analisis SPI-nya menggunakan data curah hujan lapangan.

**Tabel 1.** Hubungan antara analisis SPI terhadap kemungkinan indikasi yang terjadi [16]

Interval SPI		Indikasi
1 Bulan	- 3 Bulan	Untuk analisis dengan rentan Waktu pendek (1 hingga 3 bulanan SPI), dapat digunakan sebagai indikator bahwa akan terjadi perubahan secara mendadak seperti berkurangnya kelembaban, terjadinya tumpukan salju, aliran di anak sungai mengecil.
3 Bulan	- 12 Bulan	Untuk analisis dengan rentan Waktu menengah (3 hingga 12 bulanan SPI), dapat digunakan sebagai indikator untuk terjadi perubahan debit air yang signifikan pada sungai dan tampungan air pada reservoir atau bendungan.
12 Bulan	- 48 Bulan	Untuk analisis dengan rentan Waktu yang panjang (12 hingga 48 bulanan SPI), dapat digunakan sebagai indikator untuk berkurangnya tampungan air pada reservoir atau bendungan dan aliran dalam tanah.

**Tabel 2.** Klasifikasi Nilai SPI [2]

Nilai SPI	Klasifikasi
$\geq 2.00$	Amat Sangat Basah
1.50 s.d 1.99	Sangat Basah
1.00 s.d 1.49	Cukup Basah
-0.99 s.d 0.99	Mendekati Normal
-1.49 s.d -1.00	Cukup Kering
-1.99 s.d -1.50	Sangat Kering
$\leq 2.00$	Amat Sangat Kering

Hasil analisis prediksi kekeringan pada tahun 2022 hingga 2030 digunakan untuk analisis perhitungan nilai SPI rata-rata di Kabupaten Tuban pada setiap bulannya. Nilai SPI

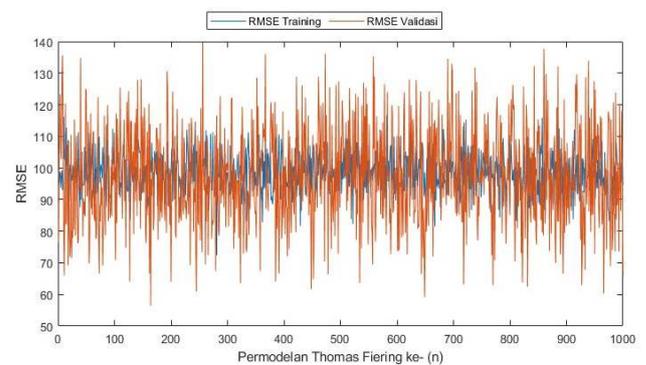
rata-rata bulanan tersebut digunakan untuk mencari nilai rata-rata tahunan dari SPI rata-rata bulanan, nilai minimum tahunan dari SPI rata-rata bulanan, dan nilai maksimum tahunan dari SPI rata-rata bulanan. Hasil dari analisis SPI tersebut digunakan untuk mengetahui pola persebaran tingkat kekeringan setiap tahunnya serta tahun terkering menurut hasil analisis SPI.

### 3. Hasil dan Pembahasan

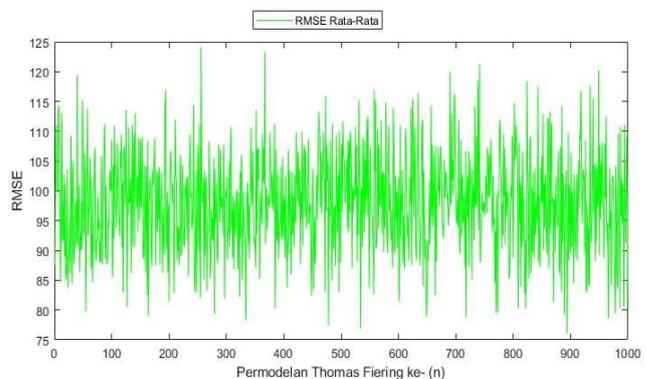
Penelitian ini dilakukan pada masing-masing kecamatan di Kabupaten Tuban. Pada awal penelitian dilakukan pengumpulan data di 25 pos hujan pada Kabupaten Tuban dari tahun 2007 hingga 2021. Dari hasil pengumpulan data, terdapat beberapa data yang hilang maupun rusak. Data-data yang hilang dilakukan perbaikan dengan menggunakan metode Reciprocal sesuai Persamaan (1). Beberapa pos hujan yang dilakukan perbaikan data adalah Pos Hujan Bogorejo, Jenu, Tegalrejo, Soko, Kebonharjo, Tuban, Sumurgung, Soko Mendalem, Banyuurip, Laju dan Belikanget. Perbaikan data tersebut dilakukan dikarenakan tidak tercatatnya tinggi curah hujan pada pos hujan tersebut, sedangkan pada pos hujan sekitarnya terdapat curah hujan yang tercatat. Beberapa pos hujan memiliki data yang kosong sepanjang tahun sehingga diperlukan perbaikan data pada pos hujan tersebut.

Selanjutnya data curah hujan digunakan untuk pemodelan dengan metode Thomas Fiering. Salah satu contoh analisis Thomas Fiering di Pos Hujan Simo untuk tahap training dan validasi menghasilkan besar RMSE sesuai dengan **Gambar 2**. Dari **Gambar 2** terlihat bahwa besar RMSE untuk tahap training dan tahap validasi tidak memiliki hubungan berbanding lurus, sehingga dilakukan pemilihan data terbaik menggunakan analisis RMSE rata-rata dengan memperhitungkan nilai rata-rata dari nilai RMSE tahap training dan validasi. Untuk hasil perhitungan nilai RMSE rata-rata Pos Hujan Simo dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dari **Gambar 3** dapat diketahui bahwa model yang terbaik adalah model yang memiliki nilai RMSE rata-rata yang terkecil. Hasil pemodelan terbaik pada Pos Hujan Simo adalah model ke 894 dengan RMSE rata-rata sebesar 75,98. Penggambaran hasil model terbaik dan data lapangan dapat dilihat pada **Gambar 4**. Jika dilihat dari **Gambar 4** dan hasil analisis RMSE rata-rata sebesar 75,98 mm dapat disimpulkan bahwa model Thomas Fiering memiliki error yang cukup tinggi secara *time series*. Jika dilihat pada **Gambar 4**, besaran data antara hasil prediksi dan data lapangan memiliki interval data yang mendekati. Sehingga dapat dilakukan perbandingan antara kedua data tersebut secara probabilistik untuk mengetahui perbandingan probabilitas data lapangan terhadap prediksi.

Hasil dari perbandingan antara data lapangan dan prediksi model terbaik di Pos Hujan Simo dalam bentuk grafik probabilitas dapat dilihat pada **Gambar 5**. Jika dilihat pada **Gambar 5** dapat diambil kesimpulan bahwa bentuk lengkung probabilitas antara data lapangan dan hasil prediksi model memiliki bentuk yang hampir mendekati dengan RMSE sebesar 3,45 %. Dari hasil analisis secara probabilistik dapat disimpulkan bahwa pemodelan Thomas Fiering memiliki error yang kecil. Untuk rekapan analisis RMSE pada 25 pos hujan dapat dilihat di **Gambar 6** dengan besaran RMSE secara *time series* berkisaran di 70,23 – 114,6 mm dan RMSE secara *probabilistik* berkisar 4,15 – 17,72 %.

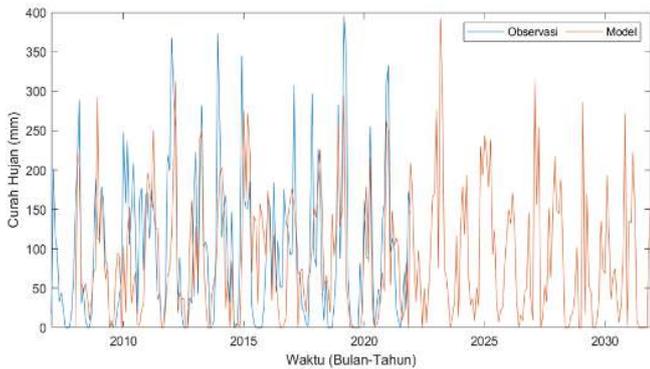


**Gambar 2.** Grafik RMSE terhadap Pemodelan Thomas Fiering di Pos Hujan Simo

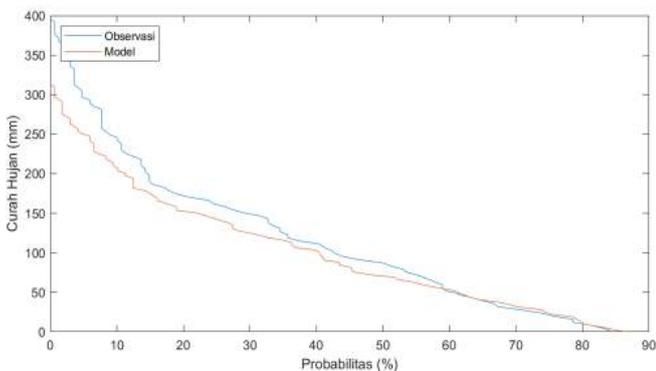


**Gambar 3.** Grafik Besar RMSE Rata-Rata Terhadap Pemodelan Thomas Fiering Pos Hujan Bangilan

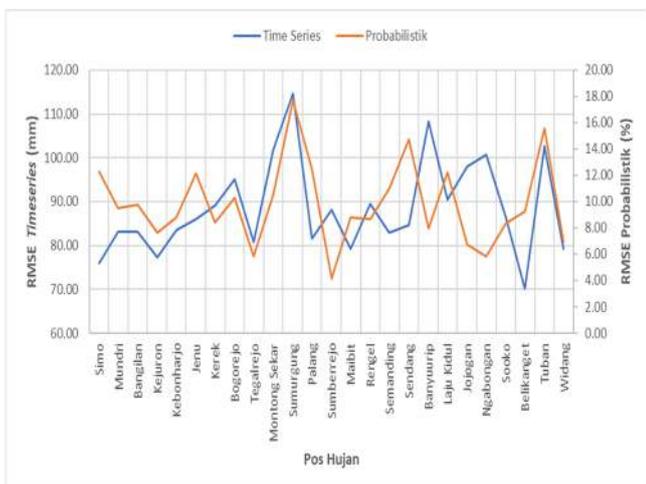
Dikarenakan RMSE antara perhitungan secara *time series* dan probabilistik memiliki satuan yang berbeda, maka dilakukan perhitungan RMSE% dengan menggunakan persamaan (5). Hasil analisis perhitungan RMSE% menghasilkan nilai berkisar 70,57 – 97,64 % secara *time series*, dan untuk probabilistik berkisar 4,15 – 17,72 %. Untuk rekapan perhitungan RMSE dapat dilihat pada **Gambar 7**.



**Gambar 4.** Grafik Plotting Data dan Hasil Prediksi Model di Pos Hujan Simo



**Gambar 5.** Grafik Probabilitas Data dan Hasil Prediksi di Pos Hujan Simo

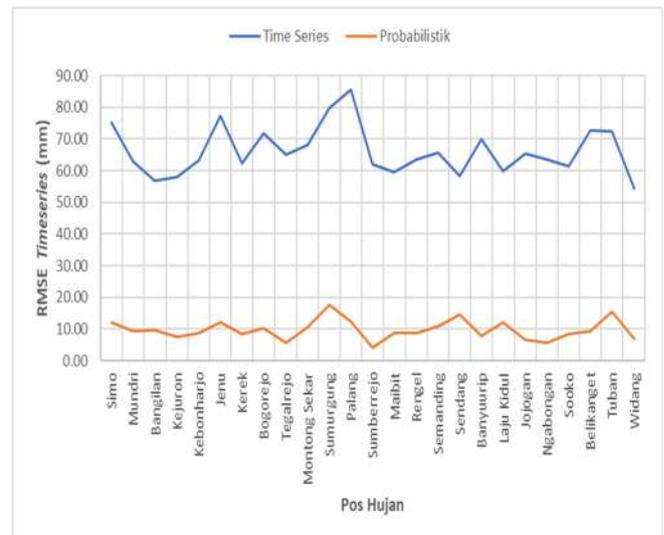


**Gambar 6.** Grafik Hasil Analisis RMSE Rata-Rata Terhadap Pemodelan Terbaik Thomas Fiering di Setiap Pos Hujan

Setelah selesai melakukan pemodelan Thomas Fiering dan memilih model terbaik, selanjutnya hasil prediksi dan data lapangan digunakan untuk menganalisis SPI pada masing masing pos hujan. Salah satu contoh analisis SPI pada Pos Hujan Simo dapat dilihat pada **Gambar 9**. Hasil analisis SPI dari masing-masing pos hujan digambarkan dalam bentuk peta persebaran kekeringan dengan menggunakan

GIS. Untuk peta persebaran kekeringan pada bulan Oktober 2021 dapat dilihat pada **Gambar 8**. Kemudian untuk perhitungan nilai SPI rata-rata di setiap kecamatan pada bulan Oktober 2021 dapat dilihat pada **Gambar 10**. Hasil pada **Gambar 8** menunjukkan bahwa daerah yang memiliki indeks kekeringan dengan tingkat sangat kering berada di Kecamatan Bancar dan Palang. Sedangkan menurut BPBD terdapat 9 kecamatan yang terdampak kekeringan pada daerah tersebut, dimana untuk Kecamatan Bancar dan Palang tidak termasuk dari kecamatan tersebut. Jika dilihat dari **Gambar 10**, terlihat bahwa Kecamatan Bancar, Palang, Parengan, dan Tambakboyo memiliki nilai SPI dibawah 0 yang artinya dibawah rata-rata. Dari 4 kecamatan tersebut hanya kecamatan Parengan saja yang merupakan kecamatan terdampak kekeringan.

Dari hasil analisis secara *time series* dan *probabilistik* metode Thomas Fiering, dapat disimpulkan bahwa model tidak berhasil untuk memprediksi data secara *time series*. Tetapi jika dilihat secara *probabilistik* maka model dapat memprediksi probabilitas kejadian tanpa mempertimbangkan waktu.

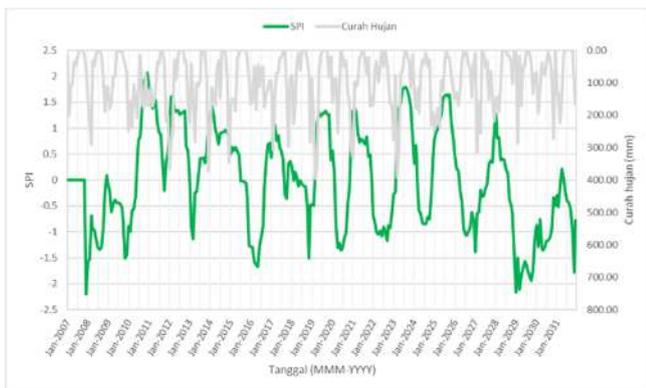


**Gambar 7.** Grafik Hasil Analisis RMSE Rata-Rata Terhadap Pemodelan Terbaik Thomas Fiering di Setiap Pos Hujan

Dari validasi antara peta persebaran kekeringan dan nilai SPI di setiap kecamatan terhadap kecamatan yang terdampak kekeringan pada bulan Oktober 2021, maka dapat disimpulkan bahwa metode SPI tidak dapat menggambarkan kekeringan yang terjadi di lokasi studi. Dikarenakan SPI adalah metode perhitungan indeks kekeringan yang menggunakan data curah hujan saja, maka dapat disimpulkan bahwa curah hujan bukan merupakan satu-satunya penyebab kekeringan pada Kabupaten Tuban.



Gambar 8. Peta Persebaran SPI-12 Bulan Oktober 2021 Kabupaten Tuban



Gambar 9. Indeks Kekeringan (SPI) di Pos Hujan Simo

Menurut BPBD pada tahun 2017, ada 3 indikator yang menyebabkan terjadinya kekeringan pada Kabupaten Tuban [17], yaitu:

1. Fenomena El Nino (Anomali iklim di pasifik selatan) yang menyebabkan terjadi kemarau panjang dan kekeringan.
2. Kondisi Geografis Kabupaten tuban yang di dominasi dengan struktur pegunungan kapur.

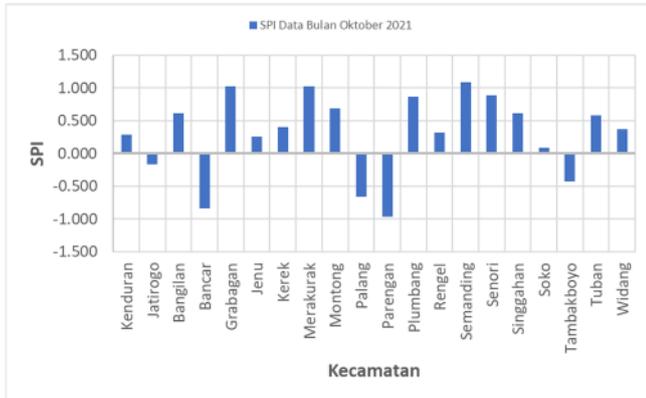
3. Kabupaten Tuban termasuk berada di daerah peta cekungan air dengan arsiran merah yang menandakan debit air tanahnya tergolong kecil atau minim.

Dari pernyataan tersebut dapat dilihat bahwa pada umumnya kekeringan yang terjadi di Kabupaten Tuban terjadi dikarenakan kondisi hidrologi, geografis, dan hidrogeologis.

Selain digunakan untuk pemetaan peta persebaran kekeringan, hasil analisis SPI digunakan untuk memperhitungkan SPI rata-rata bulanan untuk Kabupaten Tuban selama periode 2008 sampai 2030 dan mencari tiga jenis data berupa rata-rata, minimum, dan maximum bulanan di setiap tahunnya. Untuk hasil Analisis tersebut dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12. Pada Gambar 11 menunjukkan hasil analisis SPI pada periode 2008 hingga 2021 yang menggunakan data curah hujan lapangan untuk analisis SPInya. Kemudian untuk hasil prediksi SPI pada tahun 2022 hingga 2030 dapat dilihat pada Gambar 12.

Dari hasil analisis pada Gambar 11 terlihat bahwa data pada tahun 2008 memiliki nilai SPI rata-rata terendah dibandingkan dengan tahun 2007 - 2021, baik untuk nilai SPI minimum, maximum maupun rata-rata bulanan. Kemudian di

tahun 2009 hingga tahun 2011 terjadi peningkatan SPI sehingga indeks rata-rata menjadi 0,829 yang mengindikasikan terjadinya curah hujan yang lebih dari rata-rata. Pada tahun 2012 hingga 2016, indeks rata-rata berada mendekati angka 0 yang mengindikasikan terjadinya curah hujan yang mendekati normal. Selanjutnya pada tahun 2017 hingga 2021 terjadi perubahan indeks rata-rata yang berfluktuatif dan cukup besar, dimana pada tahun 2017 indeks rata-rata berada di 0,888; 2018 indeks rata-rata berada di -0,612; 2019 indeks rata-rata berada di 0,002; Dan 2020 indeks rata-rata berada di -1,089 yang mengindikasikan terjadinya kekeringan. Akan tetapi pada tahun 2021, dimana terdapat berita terjadinya kekeringan di beberapa kecamatan, indeks rata-rata bulanan pada tahun tersebut berada di 0,669 dengan indeks minimum bulanan berada di 0,280. Dari 2 indikator indeks tersebut mengindikasikan bahwa hasil analisis SPI di Kabupaten Tuban dalam kondisi mendekati normal pada umumnya. Dikarenakan SPI hanya menggunakan data curah hujan saja untuk menganalisis, maka dapat disimpulkan bahwa pada bulan Oktober 2021 Kabupaten Tuban memiliki jumlah curah hujan pada kondisi normal atau di atas rata-rata dibandingkan dengan tahun tahun sebelumnya.

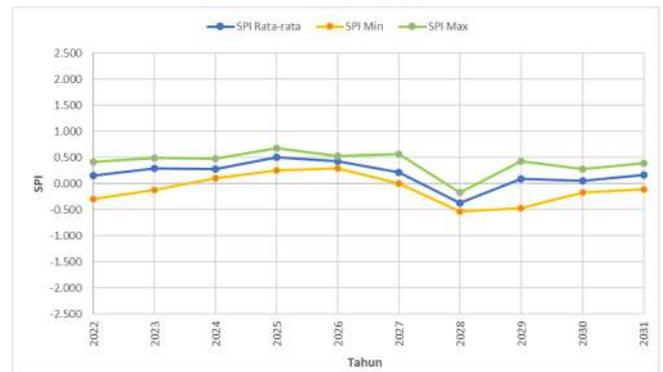


**Gambar 10.** Nilai SPI 12 bulan eksisting pada bulan Oktober 2021 di masing-masing kecamatan



**Gambar 11.** Nilai Eksisting SPI 12 bulan Rata-Rata, Minimum, dan Maximum Bulanan di Setiap Tahunnya di Kabupaten Tuban

Kemudian untuk hasil prediksi SPI di Kabupaten Tuban dapat dilihat pada **Gambar 12**. Hasil prediksi menggambarkan bahwa kondisi di Kabupaten Tuban dari tahun 2022 hingga 2030 dalam kondisi mendekati normal. Dapat dilihat pada grafik, perubahan indeks terjadi tidak begitu signifikan, dimana pada tahun 2022 hingga 2027 terjadinya peningkatan indeks. Untuk tahun 2022 indeks rata-rata berada di 0,412; tahun 2023 indeks rata-rata di 0,486; tahun 2024 indeks rata-rata di 0,478; tahun 2025 indeks rata-rata di 0,672; tahun 2026 indeks rata-rata di 0,531. Kemudian pada tahun 2027 sampai 2028 mengalami penurunan indeks, yang mana tahun 2028 merupakan tahun terkering berdasarkan hasil analisis prediksi SPI. Untuk tahun 2027 indeks rata-rata di 0,816; kemudian untuk tahun 2028 indeks SPI rata-rata bulanan berada di -0,179 dengan indeks minimum berada di -0,533. Selanjutnya untuk tahun 2029 terjadi peningkatan indeks kembali dengan indeks rata-rata 0,426 dan pada tahun 2030 indeks menjadi 0,275.



**Gambar 12.** Nilai Prediksi SPI Rata-Rata, Minimum, dan Maximum Bulanan di Setiap Tahunnya di Kabupaten Tuban

Hasil dari prediksi penelitian masih belum bisa digunakan sepenuhnya dikarenakan model Thomas Fiering tidak bisa memprediksi data secara *time series* dikarenakan memiliki tingkat eror yang besar. Akan tetapi jika dilihat secara keseluruhan model atau probabilistik, sesuai dengan **Gambar 5**, model dapat menggambarkan probabilitas kejadian tanpa memandang waktu. Selain itu, SPI tidak dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi kekeringan yang terjadi pada lokasi studi, dimana hasil dari validasi perbandingan antara kondisi lapangan dan hasil analisis menunjukkan bahwa curah hujan bukan merupakan satu-satunya penyebab terjadinya kekeringan pada penelitian ini. Sedangkan menurut BPBD terjadinya kekeringan diakibatkan karena ada faktor lain yang menyebabkan

kekeringan, yaitu kondisi geografis berupa batuan kapur, dan kondisi akuifer.

#### 4. Simpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil prediksi pemodelan Thomas Fiering memiliki tingkat eror yang tinggi secara *time series* dengan nilai RMSE% berkisar 70,57 – 97,64 %, sedangkan untuk probabilitik berkisar 4,15 – 17,72 %. Sehingga hasil prediksi tidak dapat digunakan secara keakuratan waktu. Akan tetapi untuk probabilitas kejadian data masih dapat digunakan.
2. Validasi antara kondisi lapangan dan hasil analisis SPI pada bulan Oktober 2021, menunjukkan bahwa analisis SPI tidak dapat menggambarkan kekeringan yang terjadi pada lapangan. Hasil penggambaran peta persebaran kekeringan menunjukkan bahwa Kecamatan Banjar dan Palang memiliki daerah dengan indeks cukup kering. Sedangkan Kecamatan Banjar dan Palang tidak termasuk dari 9 kecamatan yang terdampak kekeringan pada bulan tersebut. Dari analisis validasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode SPI tidak dapat menggambarkan kondisi kekeringan pada lapangan, yang mana curah hujan sebagai data yang digunakan untuk analisis SPI, bukan merupakan satu-satunya penyebab terjadinya kekeringan.
3. Hasil prediksi menyebutkan pada tahun 2022 hingga 2030 Kabupaten Tuban memiliki indeks kekeringan dengan kategori mendekati normal. Dimana pada tahun 2022 hingga 2026 SPI rata-rata bulanan berada diantara 0 – 0,5. Kemudian pada tahun 2027 mengalami penurunan sampai tahun 2028. Untuk Tahun 2028 adalah tahun terkering dengan SPI rata-rata bulanan berada di -0,179 dengan minimum SPI bulanan di -0,533. Meskipun 2028 merupakan hasil prediksi tahun terkering, pada tahun tersebut masih tergolong kondisi mendekati normal. Untuk tahun 2029 dan tahun 2030 indeks kembali berada mendekati rata-rata.

#### Daftar Pustaka

- [1] N. N. Mautiadewi, E. Suhartanto, and D. Harisuseno, "Perbandingan Metode Deciles Index (DI) dan Metode Standard Percipitation Index (SPI) untuk Menentukan Indeks Kekeringan Pada Sub DAS Slahung Kabupaten Ponorogo," Malang, 2016. Accessed: May 28, 2023. [Online]. Available: <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/144768/>
- [2] N. Anwar and G. Halik, *Prediksi Kekeringan Berbasis Data Luaratan GCM*. Surabaya: ITS Press, 2017. Accessed: May 28, 2023. [Online]. Available: <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/82785>
- [3] I. Nurcahyo, "Dampak Kemarau, 46 Dusun di Tuban Alami Kekeringan dan Krisis Air Bersih," *Kumparan*, 2021. <https://kumparan.com/beritabojonegoro/dampak-kemarau-46-dusun-di-tuban-alami-kekeringan-dan-krisis-air-bersih-1wifB4ZPWwv/full>
- [4] M. Svoboda and B.A. Fuchs, "Handbook of Drought Indicators and Indices," Geneva, 2016. [Online]. Available: [www.droughtmanagement.info](http://www.droughtmanagement.info)
- [5] H. Saidah, M. Bagus Budianto, and L. Hanifah, "Analisa Indeks dan Sebaran Kekeringan Menggunakan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) dan Geographical Infromation System (GIS) Untuk Pulau Lombok," Badung, Jun. 2017. [Online]. Available: <http://ojs.unud.ac.id/index.php/-jsn/index>
- [6] H. Muliawan, D. Harisuseno, and E. Suhartanto, "Analisa Indeks Kekeringan Dengan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) dan Sebaran Kekeringan Dengan Geographic Information System (GIS) Pada DAS Ngrowo," 2016. Accessed: May 28, 2023. [Online]. Available: <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/144042/>
- [7] T. Umiati, Suroso, and Ardiansyah, "Spatial analysis and monitoring of drought using Standardized Precipitation Index in East Java," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1367/1/012088.
- [8] W. Rahmalina and Novreta, "Peramalan Indeks Kekeringan Kelayang Menggunakan Metode Sarima dan SPI," *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, vol. 22, no. 1, pp. 64–75, Mar. 2020, doi: 10.35313/potensi.-v22i1.1824.
- [9] Jr. Henryk Mitosek, "Mathematical Model in Hydrology," in *The International Association of Hydrological Sciences*, 1971, pp. 56–61. Accessed: Jun. 09, 2023. [Online]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000018137>
- [10] B. Triadmojo, *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, 2016. Accessed: Jun. 09, 2023. [Online]. Available: <http://balaiyanpus.jogjaprovo.go.id/opac/detail-opac?-id=86510>
- [11] F. Karunia and N. Pandjaitan, "Estimating Water Supply Using Thomas Fiering Method in Kali Rungkut, Jakarta," Bogor, 2022. Accessed: Jun. 09, 2023. [Online]. Available: <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/57935>

- [12] PUPR Kabupaten Tuban, "Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Tuban Tahun 2020-2039," Tuban, 2022.
- [13] N. Vandeput, "Forecast KPIs: RMSE, MAE, MAPE & Bias," *towardsdatascience.com*, Jun. 05, 2019. <https://towardsdatascience.com/forecast-kpi-rmse-mae-mape-bias-cdc5703d242d> (accessed Jun. 09, 2023).
- [14] T. B. Mckee, N. J. Doesken, and J. Kleist, "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales," Anaheim, Jan. 1993. Accessed: May 29, 2023. [Online]. Available: [https://www.-droughtmanagement.info/literature/AMS\\_Relationshi](https://www.-droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationshi) p\_Drought\_Frequency\_Duration\_Time\_Scales\_1993.pdf
- [15] N. D. M. C. Center, "Standardized Precipitation Index," Nov. 2021. <https://drought.unl.edu/-monitoring/SPI.aspx> (accessed Jun. 09, 2023).
- [16] E. Commission, "Standardized Precipitation Index (SPI)," 2020. Accessed: Jun. 09, 2023. [Online]. Available: [https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/-factsheets/factsheet\\_spi.pdf](https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/-factsheets/factsheet_spi.pdf)
- [17] Mus and Roh, "Begini Penjelasan BPBD Tuban Kenapa Bumi Wali Mengalami Kekeringan," Nov. 12, 2017. <https://www.halopantura.com/begini-penjelasan-bpbd-tuban-kenapa-bumi-wali-mengalami-kekeringan/> (accessed Jun. 09, 2023).