

## **Analisis *Spatial Autoregressive* (SAR) terhadap Faktor yang Memengaruhi Desa Banjir di Pulau Kalimantan**

### ***Spatial Autoregressive (SAR) Analysis of the Factors Affecting Flooded Villages on Kalimantan Island***

Annisa Kusuma Dewi<sup>1\*</sup>, Ray Tamtama<sup>2</sup>, Desa Ayu Natalia<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. H. Nawawi, Pontianak;

<sup>3</sup>BPS Provinsi Kalimantan Barat, Jl. Sutan Syahrir, Pontianak;

\*Penulis Korespondensi. e-mail: h1091221024@student.untan.ac.id

#### ***ABSTRACT***

*Flooding is a natural disaster that occurs when water overflows and inundates land areas. Such events can lead to significant consequences, including damage to infrastructure, loss of property, and even casualties. This study aims to analyze the factors contributing to flooding in villages and to examine whether these factors are influenced by neighboring villages using the Spatial Autoregressive (SAR) approach on Kalimantan Island. The variables analyzed include the number of villages affected by flooding, land and forest fires, water pollution, and river management efforts. The SAR model results indicate that water pollution significantly influences the occurrence of flooding in villages. Moreover, spatial effects from adjacent villages also play a role, as water pollution in neighboring areas contributes to increased flood risk. These findings offer valuable insights for flood risk management, spatial planning, and disaster mitigation strategies in flood-prone regions.*

*Keywords: Flooding, Spatial Autoregressive (SAR), Water Pollution, Kalimantan Island*

#### **ABSTRAK**

Banjir merupakan bencana alam yang terjadi ketika air meluap dan menggenangi daratan. Peristiwa ini dapat menimbulkan dampak signifikan, seperti kerusakan infrastruktur, kehilangan aset, bahkan korban jiwa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor penyebab banjir di desa serta menilai apakah faktor-faktor tersebut dipengaruhi oleh kedekatan wilayah antar desa dengan menggunakan pendekatan *Spatial Autoregressive* (SAR) di Pulau Kalimantan. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jumlah desa terdampak banjir, jumlah desa yang mengalami kebakaran hutan dan lahan, jumlah desa yang mengalami pencemaran air, serta jumlah desa yang melakukan perawatan sungai. Hasil pemodelan SAR menunjukkan bahwa pencemaran air memiliki pengaruh besar terhadap terjadinya banjir di desa, dan pengaruh tersebut juga dipengaruhi oleh kondisi desa-desa yang berdekatan. Penelitian ini memberikan wawasan penting dalam upaya penanggulangan banjir, khususnya untuk perencanaan tata ruang dan mitigasi bencana di wilayah rawan banjir.

Kata kunci: Banjir, *Spatial Autoregressive* (SAR), Pencemaran Air, Pulau Kalimantan

## PENDAHULUAN

Bencana alam merupakan serangkaian fenomena alam yang mengancam keselamatan manusia, menimbulkan kerugian, kerusakan lingkungan, bahkan dapat menyebabkan hilangnya nyawa. Salah satu bencana alam yang sering terjadi di Pulau Kalimantan adalah banjir. Banjir terjadi ketika suatu wilayah mengalami kelebihan air yang tidak dapat diserap oleh sistem drainase, sehingga menimbulkan genangan dan kerusakan (Balahanti *et al.*, 2023). Dalam satu dekade terakhir, banjir menjadi permasalahan serius di Kalimantan dan menempati peringkat pertama sebagai bencana alam yang paling sering terjadi di Kalimantan Barat (BNPB, 2021).

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2024 Pulau Kalimantan terdiri atas 5 provinsi, 56 kabupaten/kota, dan 7.285 desa. Hampir seluruh kabupaten/kota di wilayah tersebut mengalami kejadian banjir, meskipun jumlah desa terdampak berbeda-beda di setiap daerah (BPS, 2024). Tercatat, sebanyak 2.574 desa di Kalimantan mengalami banjir pada tahun 2024. Angka tersebut tergolong tinggi, sehingga diperlukan penanganan yang cepat dan tepat dalam upaya pengurangan risiko bencana. Untuk merumuskan strategi penanggulangan yang efektif, perlu dilakukan analisis terhadap faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya banjir di tiap wilayah.

Banjir bisa disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti deforestasi, pembangunan jalan, dan pembukaan lahan. Salah satu praktik yang umum dilakukan adalah pembukaan lahan dengan cara pembakaran. Namun, sering kali api tidak terkendali sehingga menyebabkan kebakaran hutan. Kebakaran tersebut menyebabkan hutan menjadi gundul dan kehilangan fungsi utamanya sebagai penyerapan air hujan. Akibatnya, air hujan tidak terserap dengan baik ke dalam tanah dan mengalir ke wilayah lain, yang pada akhirnya memicu terjadinya banjir. Selain itu, kondisi sungai juga turut berkontribusi. Sungai yang bersih memungkinkan air mengalir lancar, sedangkan sungai yang tercemar dan dipenuhi sampah menghambat aliran air, sehingga menimbulkan genangan. Jika tidak ditangani, kondisi ini dapat memperparah risiko banjir.

Faktor-faktor penyebab banjir tersebut perlu dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui apakah benar berpengaruh terhadap kejadian banjir di masing-masing desa di Pulau Kalimantan. Analisis juga perlu mempertimbangkan pengaruh spasial antarwilayah, mengingat desa-desa yang berdekatan mungkin memiliki keterkaitan. Tujuannya adalah untuk merumuskan solusi yang tepat dalam penanggulangan banjir di tingkat desa. Menurut Rahmadani *et al.* (2024), data spasial tidak hanya memuat informasi terkait besaran data, tetapi juga mempertimbangkan posisi dan jarak geografis. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh lokasi terhadap fenomena yang diamati.

Model spasial yang umum digunakan antara lain *Spatial Error Model* (SEM), *Spatial Durbin Model* (SDM), *Spatial Autoregressive Moving Average* (SARMA), data panel spasial, dan *Spatial Autoregressive* (SAR). Metode SAR telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian. Salah satunya dilakukan oleh Rahmadani *et al.* (2024) dalam studi berjudul “*Analisis Spatial Autoregressive (SAR) terhadap Faktor yang Mempengaruhi Kasus Diare di Kota Medan*”. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa model SAR dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) tertinggi mencapai 71,7%, dengan variabel yang berpengaruh meliputi kepadatan penduduk, penggunaan air minum isi ulang, akses terhadap air bersih, dan keterbatasan akses air PAM.

Penelitian lain oleh Rahmadani (2020) berjudul “*Model Spatial Autoregressive (SAR) pada Tingkat Kemiskinan (Studi Kasus: Provinsi Riau)*” menyimpulkan bahwa IPM, tingkat pendidikan, PDRB, dan pengangguran berpengaruh signifikan terhadap tingkat kemiskinan. Sementara itu, studi oleh Sulasih *et al.* (2021) mengenai pemodelan kasus diare di Provinsi Bali juga menunjukkan bahwa jumlah penduduk dan ketersediaan fasilitas sanitasi di tingkat kecamatan memengaruhi jumlah kasus diare.

## METODOLOGI

Penelitian ini melibatkan dua jenis variabel, yaitu variabel terikat (*dependent variable*) dan variabel bebas (*independent variable*). Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau merupakan hasil dari variabel bebas, sedangkan variabel bebas adalah variabel yang memengaruhi atau menjadi penyebab munculnya variabel terikat (Sugiyono, 2016). Adapun variabel yang digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel terikat ( $Y$ ): jumlah desa yang terdampak banjir di Pulau Kalimantan pada tahun 2024.
2. Variabel bebas ( $X$ ): jumlah desa yang mengalami kebakaran hutan dan lahan ( $X_1$ ), jumlah desa yang melakukan perawatan sungai ( $X_2$ ), dan jumlah desa yang mengalami pencemaran air ( $X_3$ ).

Tahapan analisis dalam penelitian ini meliputi:

1. Mendeskripsikan jumlah desa yang terdampak banjir di Pulau Kalimantan.
2. Menyusun peta sebaran desa yang mengalami banjir beserta faktor-faktor penyebabnya.
3. Melakukan standardisasi data agar distribusi data lebih normal.
4. Menggunakan analisis regresi sederhana untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh serta menentukan nilai koefisien determinasi.
5. Menetapkan matriks bobot spasial ( $W$ ).
6. Menguji adanya efek spasial menggunakan Indeks Moran.
7. Melakukan estimasi parameter pada model *Spatial Autoregressive* (SAR) dan menetapkan model SAR.
8. Menentukan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dari model yang dihasilkan.

### Model Regresi Klasik

Model regresi spasial klasik dapat ditulis sebagai berikut (Yasin *et al.*, 2020):

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I) \quad (2)$$

Struktur matriks dari persamaan tersebut adalah:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{1.1} & x_{2.1} & \dots & x_{p.1} \\ 1 & x_{1.2} & x_{2.2} & \dots & x_{p.2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1.n} & x_{2.n} & \dots & x_{p.n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Model dugaan data berdasarkan operasi matriks di atas, apabila menggunakan model regresi klasik, menghasilkan bentuk estimasi sebagai berikut:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \dots + \hat{\beta}_p x_p \quad (4)$$

### Matriks Bobot Spasial

Matriks bobot spasial (*contiguity matrix*) adalah matriks atau kerangka pola yang menggambarkan hubungan kedekatan antarwilayah. Matriks ini memberikan nilai 1 pada wilayah yang berbatasan langsung dengan unit observasi, dan nilai 0 pada wilayah yang tidak berbatasan (Rahmadeni, 2020). Adapun metode yang dapat digunakan untuk membentuk matriks bobot spasial antara lain:

#### a. Rook Contiguity

Wilayah yang diamati ditetapkan berdasarkan sisi-sisi yang saling berhadapan, tanpa memasukkan sudut-sudutnya, yaitu mencakup arah kanan, kiri, atas, dan bawah. Pada Gambar 2, wilayah yang termasuk dalam pola *rook contiguity* adalah B1, B2, B3, dan B4.

|    |          |    |
|----|----------|----|
|    | B1       |    |
| B4 | <b>A</b> | B2 |
|    | B3       |    |

Gambar 1. Pola *rook contiguity*

b. *Bishop Contiguity*

Area yang diamati ditetapkan berdasarkan sudut-sudut yang saling berhadapan, tanpa memperhitungkan sisi-sisinya. Hanya arah diagonal yang diperhitungkan. Pada Gambar 3, wilayah yang diamati pada pola *bishop contiguity* adalah C1, C2, C3, dan C4.

|    |          |    |
|----|----------|----|
| C1 |          | C2 |
|    | <b>A</b> |    |
| C4 |          | C3 |

Gambar 2. Pola *bishop contiguity*

c. *Queen Contiguity*

Area yang diamati ditentukan berdasarkan sisi-sisi dan sudut-sudut yang saling bersentuhan, menyerupai pergerakan ratu pada papan catur, yaitu ke kanan, kiri, atas, bawah, serta arah diagonal. Pada Gambar 4, wilayah yang diamati pada pola *queen contiguity* adalah B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, dan C4.

|    |          |    |
|----|----------|----|
| C1 | B1       | C2 |
| B4 | <b>A</b> | B2 |
| C4 | B3       | C3 |

Gambar 3. Pola *queen contiguity*

### Indeks Moran's

Indeks Moran digunakan untuk mengukur hubungan spasial antara dua variabel, misalnya  $X$  ( $x_i$  dan  $x_j$ ) dimana  $i \neq j$ , dengan  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , dan  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  sebagai indeks luas wilayah yang diamati (Rahmadeni, 2020). Rumus untuk menghitung Indeks Moran adalah sebagai berikut (Sulasih *et al.*, 2021):

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})}{s_0 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} (x_j - \bar{x}) \quad (5)$$

Dengan:

$n$  : jumlah pengamatan (*area*)

$w_{ij}$ : komponen dari matriks pembobot

$\bar{x}$  : rata-rata nilai dari variabel  $x$

$s_0$  : total dari komponen pembobot ( $\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij}$ )

Identifikasi memakai kriteria *Indeks Moran's* sebagai berikut:

Jika  $I > I_0$ , berarti terjadi keterkaitan positif

Jika  $I = I_0$ , berarti tidak terjadi keterkaitan

Jika  $I < I_0$ , berarti terjadi keterkaitan negatif

$I_0$  adalah nilai yang diharapkan dari  $I$  dinyatakan sebagai:

$$E(I) = I_0 = -1/n - 1 \quad (6)$$

### ***Moran Scatterplot***

*Moran Scatterplot* adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara nilai observasi yang telah di standardisasi dengan rata-rata nilai terstandar dari wilayah sekitar. Metode ini berfungsi untuk mengidentifikasi pengaruh dan pola keseimbangan spasial. Berikut merupakan berbagai jenis hubungan spasial yang dapat diinterpretasikan melalui *Moran Scatterplot* (Wuryandari *et al.*, 2014):

|                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Kuadran I atau <i>High-High</i> | Kuadran IV atau <i>High-Low</i> |
| Kuadran II atau <i>Low-High</i> | Kuadran III atau <i>Low-Low</i> |

Gambar 4. Pola *Moran Scatterplot*

Dengan:

- Kuadran I menunjukkan bahwa wilayah dengan nilai observasi tinggi (*High*) dikelilingi oleh wilayah lain yang juga memiliki nilai observasi tinggi (*High*).
- Kuadran II menunjukkan bahwa wilayah dengan nilai observasi rendah (*Low*) dikelilingi oleh wilayah lain yang memiliki nilai observasi tinggi (*High*).
- Kuadran III menunjukkan bahwa wilayah dengan nilai observasi rendah (*Low*) dikelilingi oleh wilayah lain yang juga memiliki nilai observasi rendah (*Low*).
- Kuadran IV menunjukkan bahwa wilayah dengan nilai observasi tinggi (*High*) dikelilingi oleh wilayah lain yang memiliki nilai observasi rendah (*Low*).

### **Model Regresi Spasial**

Regresi spasial merupakan teknik regresi yang digunakan untuk menganalisis data spasial, yaitu data yang berkaitan dengan lokasi atau peka terhadap efek spasial (*spatial effect*). Metode ini merupakan pengembangan dari regresi linier klasik, dengan penyesuaian terhadap pengaruh lokasi dan keterkaitan spasial antar unit observasi (Yasin *et al.*, 2020). Model regresi spasial dapat dinyatakan sebagai berikut (Musyarofah *et al.*, 2020):

$$\mathbf{y} = \rho \mathbf{W} \mathbf{y} + \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} \quad (7)$$

$$\mathbf{u} = \lambda \mathbf{W} \mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (8)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2 \mathbf{I}_n) \quad (9)$$

Dengan:

$\mathbf{W}$  : matriks bobot spasial berukuran  $n \times n$

$\rho$  : rasio parameter lag spasial dari variabel pengaruh

$\mathbf{X}$  : matriks variabel peramal yang berukuran  $n \times (p + 1)$

$\mathbf{u}$  : kesalahan vektor terhadap efek spasial berukuran  $n \times 1$

$\boldsymbol{\beta}$  : vektor koefisien indikator regresi yang berukuran  $(p + 1) \times 1$

$\lambda$  : koefisien parameter kesalahan spasial

$\mathbf{y}$  : vektor variabel respons berukuran  $n \times 1$

Ketergantungan antar observasi pada suatu lokasi dengan lokasi lainnya dapat dianalisis menggunakan model *Spatial Autoregressive* (SAR). Model ini mempertimbangkan efek spasial dari variabel dependen pada unit-unit wilayah yang berdekatan. Format umum dari model SAR adalah sebagai berikut (Lorenza *et al.*, 2024):

$$\mathbf{y} = \rho \mathbf{W} \mathbf{y} + \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (10)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I) \quad (11)$$

Dengan:

$W$  : matriks bobot spasial berukuran  $n \times n$

$\rho$  : rasio parameter lag spasial dari variabel pengaruh

$X$  : matriks variabel peramal yang berukuran  $n \times (p + 1)$

$\beta$  : vektor koefisien indikator regresi yang berukuran  $(p + 1) \times 1$

$y$  : vektor variabel respons berukuran  $n \times 1$

$\varepsilon$  : vektor *error*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Peta Persebaran

Penelitian ini menggunakan sampel yang mencakup seluruh kabupaten/kota di Pulau Kalimantan, dengan total sebanyak 56 kabupaten/kota. Berikut ditampilkan peta distribusi wilayah administratif kabupaten/kota di Pulau Kalimantan.



Gambar 5. Peta kabupaten/kota seluruh provinsi di Pulau Kalimantan

Berdasarkan data BPS tahun 2024, terdapat total 2.574 desa yang terdampak banjir di seluruh Pulau Kalimantan. Jumlah tersebut diduga dipengaruhi oleh berbagai faktor, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Desa yang Mengalami Banjir

| Provinsi                        | Kabupaten/kota | Jumlah desa banjir | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> |
|---------------------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| (1)                             | (2)            | (3)                | (4)            | (5)            | (6)            |
| Kalimantan Barat <sup>1</sup>   | Sambas         | 76                 | 24             | 172            | 42             |
|                                 | Mempawah       | 19                 | 10             | 48             | 15             |
|                                 | ...            | ...                | ...            | ...            | ...            |
| Kalimantan Tengah <sup>2</sup>  | Kapuas         | 54                 | 40             | 56             | 44             |
|                                 | Barito Selatan | 62                 | 8              | 22             | 25             |
|                                 | ...            | ...                | ...            | ...            | ...            |
| Kalimantan Selatan <sup>3</sup> | Tanah Laut     | 12                 | 25             | 67             | 24             |
|                                 | Kotabaru       | 7                  | 7              | 32             | 13             |

|                               |             |     |     |     |     |
|-------------------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|
|                               | ...         | ... | ... | ... | ... |
| Kalimantan Timur <sup>4</sup> | Paser       | 25  | 5   | 54  | 20  |
|                               | Kutai Barat | 49  | 7   | 32  | 45  |
|                               | ...         | ... | ... | ... | ... |
| Kalimantan Utara <sup>5</sup> | Malinau     | 44  | 1   | 26  | 34  |
|                               | Bulungan    | 25  | 2   | 43  | 35  |
|                               | ...         | ... | ... | ... | ... |

Sumber: <sup>1</sup>Statistik Potensi Desa BPS Provinsi Kalimantan Barat, 2024

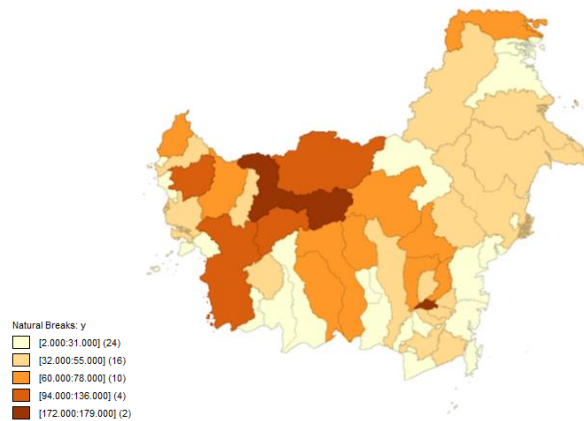
<sup>2</sup>Statistik Potensi Desa BPS Provinsi Kalimantan Tengah, 2024

<sup>3</sup>Statistik Potensi Desa BPS Provinsi Kalimantan Selatan, 2024

<sup>4</sup>Statistik Potensi Desa BPS Provinsi Kalimantan Timur, 2024

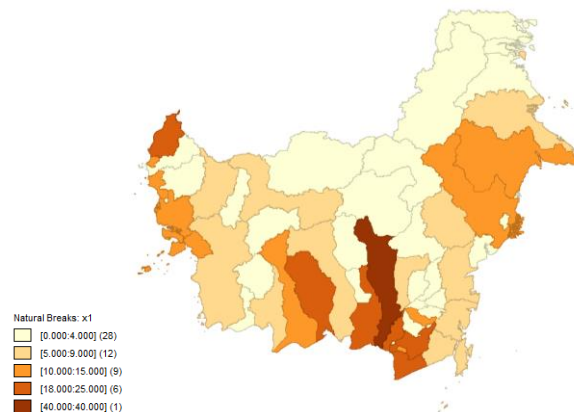
<sup>5</sup>Statistik Potensi Desa BPS Provinsi Kalimantan Utara, 2024

Keterangan: jumlah desa yang mengalami kebakaran hutan dan lahan ( $X_1$ ), jumlah desa yang melakukan perawatan sungai ( $X_2$ ), dan jumlah desa yang mengalami pencemaran air ( $X_3$ ). Berdasarkan data tersebut, peta persebaran masing-masing variabel dibuat menggunakan *software geoda*.



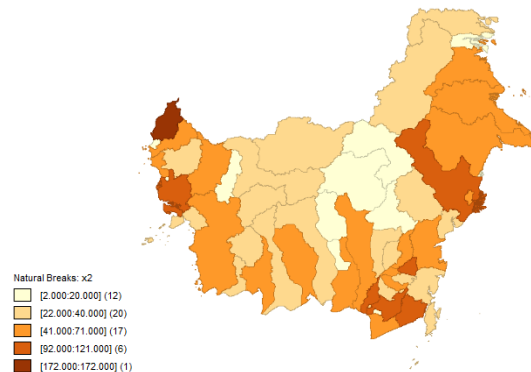
Gambar 6. Persebaran jumlah desa yang mengalami banjir

Gambar 6 menunjukkan peta persebaran jumlah desa yang mengalami banjir di Pulau Kalimantan pada tahun 2024. Semakin gelap warna suatu wilayah, semakin banyak desa yang terdampak banjir. Kabupaten Sintang dan Kabupaten Hulu Sungai Utara tercatat sebagai wilayah dengan jumlah desa terdampak banjir terbanyak, yaitu dalam rentang 172 hingga 179 desa.



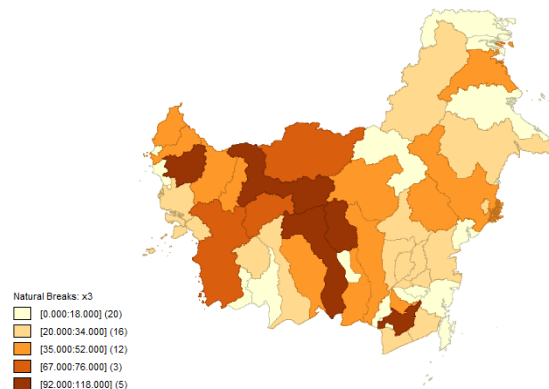
Gambar 7. Persebaran jumlah desa yang mengalami kebakaran hutan dan lahan

Gambar 7 menunjukkan peta persebaran jumlah desa yang mengalami kebakaran hutan dan lahan di Pulau Kalimantan pada tahun 2024. Warna yang semakin gelap pada peta menggambarkan semakin banyaknya desa yang terdampak. Kabupaten Kapuas tercatat sebagai wilayah dengan jumlah desa terdampak kebakaran hutan dan lahan terbanyak, yaitu sebanyak 40 desa.



Gambar 8. Persebaran jumlah desa yang melakukan perawatan sungai

Gambar 8 menunjukkan peta persebaran jumlah desa yang melakukan perawatan sungai di Pulau Kalimantan pada tahun 2024. Semakin gelap warna suatu wilayah, semakin banyak desa yang melakukan perawatan sungai. Kabupaten Sambas tercatat sebagai wilayah dengan jumlah desa terbanyak yang melakukan perawatan sungai, yaitu sebanyak 172 desa.



Gambar 9. Persebaran jumlah desa yang terdapat pencemaran air

Gambar 9 menunjukkan peta persebaran jumlah desa yang mengalami pencemaran air di Pulau Kalimantan pada tahun 2024. Semakin gelap warna suatu wilayah, semakin banyak desa yang mengalami pencemaran air. Kabupaten Landak, Kabupaten Sintang, Kabupaten Banjar, Kabupaten Katingan, dan Kabupaten Kotawaringin Timur termasuk dalam kategori wilayah dengan jumlah desa terdampak pencemaran air tertinggi, yaitu dalam rentang 92 hingga 118 desa.

### Model Spasial Desa Banjir di Pulau Kalimantan

Proses pembentukan model regresi dimulai dengan melakukan regresi linier menggunakan tingkat signifikansi  $\alpha = 5\%$  atau 0,05. Berikut ini merupakan hasil *output* dari regresi klasik.

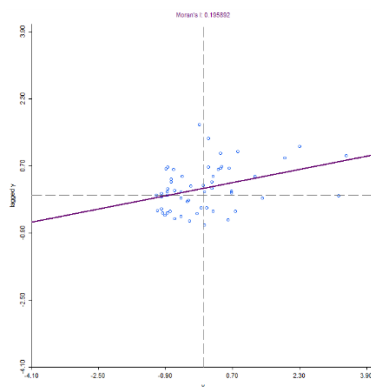
Tabel 2. Analisis regresi klasik

| Variable         | Coefficient | Std.Error | t-Statistic | Probability |
|------------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| (1)              | (2)         | (3)       | (4)         | (5)         |
| Constant         | 17,8295     | 8,3162    | 2,1440      | 0,0367      |
| Kebakaran hutan  | -0,8780     | 0,6338    | -1,3851     | 0,1719      |
| Perawatan sungai | 0,1676      | 0,1562    | 1,0729      | 0,2883      |
| Pencemaran air   | 0,8193      | 0,1504    | 5,4476      | 0,0000      |

Tabel 2 menunjukkan bahwa terdapat variabel independen yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah desa terdampak banjir di Pulau Kalimantan. Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap asumsi klasik. Analisis regresi linier mensyaratkan terpenuhinya beberapa asumsi, di antaranya adalah asumsi normalitas dan heteroskedastisitas.

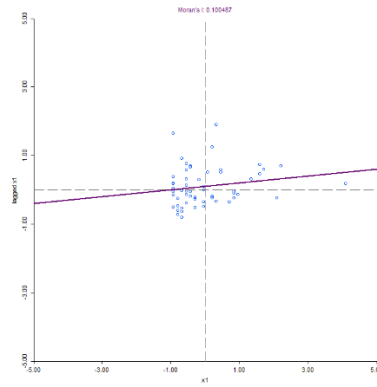
### Indeks Moran

Indeks Moran digunakan untuk menguji pengaruh spasial dengan menganalisis ada tidaknya autokorelasi spasial dalam data. Indeks ini mengukur tingkat autokorelasi suatu nilai observasi dengan nilai-nilai observasi di wilayah sekitarnya. Kehadiran autokorelasi spasial menunjukkan bahwa data memiliki ketergantungan spasial, sehingga dapat dimodelkan menggunakan *Spatial Autoregressive* (SAR). Analisis Indeks Moran dalam penelitian ini dilakukan menggunakan matriks bobot spasial dengan pola *queen contiguity*. Berikut merupakan hasil analisis Indeks Moran yang ditampilkan melalui *Moran Scatterplot* menggunakan *software geoda*.



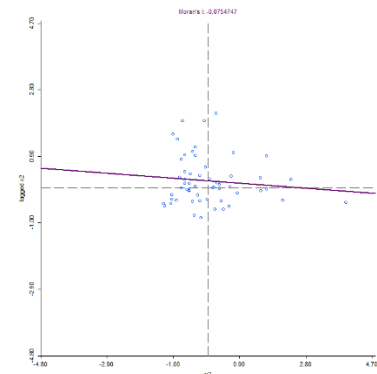
Gambar 10. Indeks Moran jumlah desa banjir

Hasil perhitungan Indeks Moran menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif dengan nilai sebesar 0,1959. Nilai ini mengindikasikan bahwa wilayah-wilayah yang berdekatan cenderung memiliki jumlah desa terdampak banjir yang serupa, sehingga membentuk pola pengelompokan.



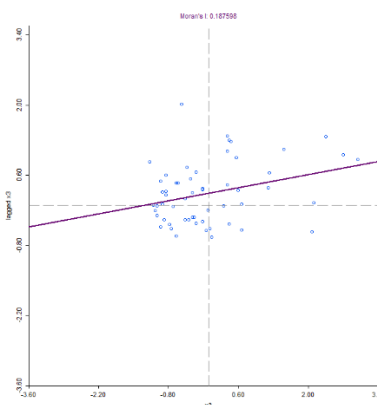
Gambar 11. Indeks Moran jumlah desa kebakaran hutan dan lahan

Hasil perhitungan Indeks Moran menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif dengan nilai sebesar 0,1005. Hal ini mengindikasikan bahwa wilayah-wilayah yang berdekatan cenderung memiliki jumlah desa yang terdampak kebakaran hutan dan lahan yang serupa, sehingga membentuk pola pengelompokan.



Gambar 12. Indeks Moran perawatan sungai

Hasil perhitungan Indeks Moran menunjukkan adanya autokorelasi spasial negatif dengan nilai sebesar -0,0755. Hal ini mengindikasikan bahwa wilayah-wilayah yang berdekatan cenderung memiliki jumlah desa yang melakukan perawatan sungai yang berbeda satu sama lain, sehingga membentuk pola penyebaran yang bersifat tersebar, bukan pengelompokan.



Gambar 13. Indeks Moran pencemaran air

Hasil perhitungan Indeks Moran menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif dengan nilai sebesar 0,1876. Hal ini mengindikasikan bahwa wilayah-wilayah yang berdekatan cenderung memiliki jumlah desa yang mengalami pencemaran air yang serupa, sehingga membentuk pola pengelompokan.

### Penentuan Model Regresi Spasial

Untuk memilih spesifikasi model spasial yang tepat, langkah awal yang perlu dilakukan adalah uji *Lagrange Multiplier* (LM). Uji ini bertujuan untuk mengidentifikasi bentuk dependensi spasial dalam data. Jika data menunjukkan adanya *spatial lag dependence*, maka pemodelan dilakukan menggunakan *Spatial Autoregressive* (SAR). Sebaliknya, jika terdapat *spatial error dependence*, maka digunakan *Spatial Error Model* (SEM). Berikut ini disajikan tabel yang menunjukkan hasil uji *Lagrange Multiplier* (LM).

Tabel 3. Uji *Lagrange Multiplier*

| Test<br>(1)                        | MI/DF<br>(2) | Value<br>(3) | Prob<br>(4) |
|------------------------------------|--------------|--------------|-------------|
| <i>Moran's I (error)</i>           | 0,1470       | 1,9476       | 0,0515      |
| <i>Lagrange Multiplier (lag)</i>   | 1            | 2,2725       | 0,1317      |
| <i>Robust LM (lag)</i>             | 1            | 0,1231       | 0,0923      |
| <i>Lagrange Multiplier (error)</i> | 1            | 2,4325       | 0,1188      |
| <i>Robust LM (error)</i>           | 1            | 0,2831       | 0,5947      |
| <i>Lagrange Multiplier (SARMA)</i> | 1            | 2,5556       | 0,2787      |

Berdasarkan Tabel 3 di atas, terlihat bahwa nilai probabilitas *Lagrange Multiplier Lag* sebesar 0,1317 dan *Robust LM Lag* sebesar 0,0923. Karena nilai *Robust LM Lag* lebih kecil dari tingkat signifikansi  $\alpha = 10\%$ , maka dapat disimpulkan bahwa model *Spatial Autoregressive* (SAR) layak digunakan, dengan mempertimbangkan adanya efek *spatial lag* dalam data.

### Hasil Pemodelan SAR Menggunakan Perhitungan *Spatial Lag*

Hasil estimasi model *Spatial Autoregressive* (SAR) ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Uji regresi SAR menggunakan perhitungan *Spatial Lag*

| Variable<br>(1)  | Coefficient<br>(2) | Std.Error<br>(3) | Z-value<br>(4) | Probability<br>(5) |
|------------------|--------------------|------------------|----------------|--------------------|
| W_banjir         | 0,2622             | 0,1450           | 1,8088         | 0,0705             |
| Konstanta        | 3,9954             | 10,4197          | 0,3835         | 0,7014             |
| Kebakaran hutan  | -0,8021            | 0,5954           | -1,3473        | 0,1779             |
| Perawatan sungai | 0,2203             | 0,1479           | 1,4890         | 0,1365             |
| Pencemaran air   | 0,7425             | 0,1436           | 5,1693         | 0,0000             |

Bentuk persamaan regresi spasial yang diperoleh dari hasil estimasi model adalah sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 3,9954 - 0,2662W_y - 0,8021X_1 + 0,2203X_2 + 0,7424X_3$$

Berdasarkan *output* di atas, diketahui bahwa koefisien autoregresif pada variabel pencemaran air signifikan secara statistik karena nilai probabilitasnya lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ . Hal ini menunjukkan bahwa pencemaran air memiliki pengaruh yang kuat terhadap jumlah desa yang mengalami banjir di Pulau Kalimantan. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,4255 menunjukkan bahwa sebesar 42,55% variasi jumlah desa yang mengalami banjir dapat dijelaskan oleh variabel-variabel independen dalam model.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan nilai Indeks Moran, diketahui bahwa wilayah-wilayah yang berdekatan cenderung memiliki karakteristik yang serupa dalam hal jumlah desa yang mengalami banjir, kebakaran hutan dan lahan, perawatan sungai, serta pencemaran air. Temuan ini menunjukkan adanya pola pengelompokan spasial. Hasil analisis regresi *spatial lag* (SAR) menunjukkan bahwa pencemaran air berpengaruh signifikan terhadap jumlah desa yang mengalami banjir. Selain itu, pengaruh pencemaran air juga diperkuat oleh kedekatan spasial antar desa, di mana desa-desa yang saling berdekatan cenderung mengalami pencemaran dan banjir secara bersamaan. Model SAR yang diperoleh dalam penelitian ini adalah  $\hat{Y} = 3,9954 - 0,2662W_y - 0,8021X_1 + 0,2203X_2 + 0,7424X_3$  dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,4255, yang berarti bahwa sebesar 42,55% variasi jumlah desa terdampak banjir di Pulau Kalimantan dapat dijelaskan oleh variabel-variabel bebas dalam model.

Dari hasil analisis tersebut, solusi yang dapat diterapkan untuk mengurangi risiko banjir di Pulau Kalimantan adalah menjaga kebersihan dan kualitas air. Masyarakat perlu dihimbau untuk tidak membuang sampah ke saluran air, seperti selokan, sungai, dan laut, serta secara rutin melakukan pembersihan sampah di wilayah perairan. Upaya ini dapat mencegah pencemaran air dan memperlancar aliran air, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya banjir di desa-desa, khususnya di Pulau Kalimantan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2021). *Kajian Risiko Bencana Nasional Provinsi Kalimantan Barat* 2022-2026. [https://inarisk.bnbp.go.id/pdf/Kalimantan%20Barat/Dokumen%20KRB%20Prov.%20Kalimantan%20Barat\\_final%20draft.pdf](https://inarisk.bnbp.go.id/pdf/Kalimantan%20Barat/Dokumen%20KRB%20Prov.%20Kalimantan%20Barat_final%20draft.pdf).
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Potensi Desa Provinsi Kalimantan Barat 2024*. <https://kalbar.bps.go.id/publication/2024/12/30/395a9a975ecf259933ffbdcb/statistik-potensi-desaprovinci-kalimantan-barat.html>.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Potensi Desa Provinsi Kalimantan Tengah 2024*. <https://kalteng.bps.go.id/publication/2024/12/31/cdfacd34072263c22d5ae8e4/statistik-potensi-desaprovinci-kalimantan-tengah-2024.html>.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Potensi Desa Provinsi Kalimantan Timur 2024*. <https://kaltim.bps.go.id/publication/2024/12/30/0ec0cb6478b68b4754831bf3/statistik-potensi-desaprovinci-kalimantan-timur-2024.html>.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Potensi Desa Provinsi Kalimantan Selatan 2024*. <https://kalsel.bps.go.id/publication/2024/12/20/276a6dcc47b421eed201450d/statistik-potensi-desaprovinci-kalimantan-selatan-2024.html>.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Potensi Desa Provinsi Kalimantan Utara 2024*. <https://kaltara.bps.go.id/publication/2024/12/13/c2c9a0886f54f6ae6c92ba11/statistik-potensi-desakalimantan-utara-2024.html>.
- Balahanti, R., Mononimbar, W., Pierre, G. (2023). Analisis Tingkat Kerentanan Banjir di Kecamatan Singkil Kota Medan. *Jurnal Spasial*, 11(0), 69-79.
- Lorenza, K. D., Pratiwi, S. C., Puspita, D., & Rini, S. (2024). Penerapan Spatial Autoregressive Model (SAR) untuk Mengetahui Faktor-Faktor yang Memengaruhi Indeks Pembangunan Manusia (IPM). *Proximal: Jurnal Penelitian Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 7(1), 267–279. <https://doi.org/10.30605/proximal.v7i1.3444>

- Musyarofah, H., Yasin, H., & Tarno, T. (2020). Robust Spatial Autoregressive untuk Pemodelan Angka Harapan Hidup Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Gaussian*, 9(1), 26–40. <https://doi.org/10.14710/J.Gauss.V9i1.27521>
- Rahmadani, A., Husein, I., & Cipta, H. (2024). Analisis Spatial Auto Regressive (SAR) Terhadap Faktor yang Mempengaruhi Kasus Diare di Kota Medan. *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, 5(2), 943–963. <https://doi.org/10.46306/Lb.V5i2.701>
- Rahmadeni, R. (2020). Model Spatial Autoregressive (SAR) pada Tingkat Kemiskinan (Studi Kasus: Provinsi Riau). *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, 6(2), 61. <https://doi.org/10.24014/Jsms.V6i2.10530>
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Pendidikan: (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R & D)* (Cet. 6). Alfabeta.
- Sulasih, I. G. A. D., Susilawati, M., & Suciptawati, N. L. P. (2021). Pemodelan Kasus Diare di Provinsi Bali dengan Metode Analisis Regresi Spasial. *E-Jurnal Matematika*, 10(2), 95. <https://doi.org/10.24843/Mtk.2021.V10.I02.P327>
- Wuryandari, T., Hoyyi, A., Kusumawardani, D. S., & Rahmawati, D. (2014). Identifikasi Autokorelasi Spasial pada Jumlah Pengangguran di Jawa Tengah Menggunakan Indeks Moran. *Media Statistika*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.14710/Medstat.7.1.1-10>
- Yasin, H., Hakim, A. R., Warsito, B. (2020). *Regresi Spasial (Aplikasi Dengan R)*. Wade Group. <https://eprints2.undip.ac.id/id/eprint/3926/1/Buku%20Regresi%20Spasial%20Aplikasi%20dengan%20R.pdf>