

# Pemetaan Risiko Petir di Sumatera Barat menggunakan *Kernel Density Estimation* dan *Simple Additive Weighting*

## *Lightning Risk Mapping in West Sumatra using Kernel Density Estimation and Simple Additive Weighting*

<sup>1</sup>Deny Hardika\*, <sup>2</sup>Muhammad Alvy Eka Fauzi, <sup>3</sup>Samidi

<sup>1,2,3</sup>Magister Ilmu Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Budi Luhur

<sup>1,2,3</sup>Jl. Raya Ciledug, Petukangan Utara, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan

\*e-mail: [2311601930@student.budiluhur.ac.id](mailto:2311601930@student.budiluhur.ac.id), [2311601591@student.budiluhur.ac.id](mailto:2311601591@student.budiluhur.ac.id),  
[samidi@budiluhur.ac.id](mailto:samidi@budiluhur.ac.id)

(received: 20 July 2025, revised: 6 September 2025, accepted: 7 September 2025)

### Abstrak

Penelitian ini menganalisis distribusi spasial, frekuensi kejadian, dan tingkat kerawanan bahaya petir di wilayah Sumatera Barat selama bulan Maret 2024 menggunakan pendekatan geospasial dan multi-kriteria. Dengan mengintegrasikan data meteorologi dan penilaian kerentanan lahan, penelitian ini menerapkan *Kernel Density Estimation* (KDE) untuk memetakan kepadatan sambaran petir dan menggunakan *Simple Additive Weighting* (SAW) untuk menggabungkan faktor tutupan lahan dan sosio-ekonomi ke dalam penilaian kerentanan. Pendekatan gabungan ini menghasilkan peta risiko bahaya petir yang komprehensif, yang mengidentifikasi zona risiko tinggi seluas 3,01%, risiko sedang 21,72%, risiko rendah 25,75%, dan zona aman sebesar 49,52% dari total luas wilayah. Metodologi inovatif ini merupakan langkah penting dalam meningkatkan strategi pengelolaan risiko petir dan kebijakan mitigasi bencana, khususnya di daerah yang rentan terhadap perubahan iklim dan urbanisasi cepat. Temuan ini tidak hanya menegaskan pentingnya menggabungkan data spasial kejadian petir dengan evaluasi kerentanan lingkungan, tetapi juga mendukung penerapan praktis dalam sistem peringatan dini dan perencanaan tata ruang untuk meminimalkan dampak bahaya petir secara efektif.

**Kata kunci:** petir, sumatera barat, kerentanan lahan, KDE, SAW

### Abstract

*This study analyzes the spatial distribution, occurrence frequency, and lightning hazard vulnerability levels in West Sumatra during March 2024 using a geospatial and multi-criteria approach. By integrating meteorological data with land vulnerability assessments, the research applies Kernel Density Estimation (KDE) to map lightning strike density and employs Simple Additive Weighting (SAW) to incorporate land cover and socio-economic factors into the vulnerability evaluation. This combined approach produces a comprehensive lightning hazard risk map, identifying high-risk zones covering 3.01%, medium-risk zones 21.72%, low-risk zones 25.75%, and safe zones 49.52% of the total area. This innovative methodology represents a significant step forward in improving lightning risk management strategies and disaster mitigation policies, particularly in regions vulnerable to climate change and rapid urbanization. The findings not only highlight the importance of integrating spatial lightning data with environmental vulnerability assessments but also support practical applications in early warning systems and spatial planning to effectively minimize the impact of lightning hazards.*

**Keywords:** lightning, west sumatera, land vulnerability, KDE, SAW.

## 1 Pendahuluan

Petir adalah fenomena alam yang sangat berbahaya karena energi yang dilepaskan sangat besar, terutama dalam bentuk sambaran petir *Cloud-to-Ground* (CG), yang sering menimbulkan kerugian fisik, material, dan korban jiwa di berbagai wilayah. Secara global, petir menyebabkan ribuan kecelakaan dan kerugian ekonomi setiap tahun, serta berkontribusi terhadap kerusakan sumber daya alam dan infrastruktur penting [1]. Di tingkat nasional, Indonesia menghadapi tantangan besar terkait kejadian petir, terutama selama musim penghujan, yang diperkirakan meningkat akibat perubahan iklim dan urbanisasi yang pesat. Data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) bulan

Juli tahun 2025 menunjukkan bahwa kawasan seperti Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, dan sebagian besar Pulau Jawa mengalami lebih dari 60.000 sambaran petir CG setiap bulannya, menegaskan urgensi dalam pengelolaan risiko dan mitigasi bencana petir secara nasional [2].

Di tingkat lokal, Sumatera Barat menunjukkan tingkat kejadian petir yang tinggi, yang telah menyebabkan banyak korban jiwa dan kerugian ekonomi. Kasus-kasus seperti lima petani tewas di Sijunjung pada 22 Desember 2023 [3], serta kematian petani di Agam pada April 2024, menunjukkan bahwa masyarakat di daerah ini sangat rentan terhadap bahaya petir. Data historis juga menunjukkan kejadian fatal di Tanah Datar yang mengakibatkan korban meninggal dan luka akibat sambaran petir [4]. Meski laporan langsung kerugian material relatif terbatas, insiden di tingkat nasional seperti kebakaran rumah di Sumba Barat pada 2023 yang menyebabkan kerugian mencapai ratusan juta rupiah menegaskan bahwa dampak ekonomi dari petir juga signifikan [5]. Kondisi ini memperlihatkan perlunya pemetaan risiko petir yang komprehensif untuk penguatan sistem mitigasi di tingkat masyarakat dan pemerintah daerah.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengembangkan pendekatan berbeda dalam pemetaan risiko petir, namun masih terdapat kekurangan karena belum memadukan analisis spasial intensitas kejadian dengan faktor kerentanan lingkungan secara sistematis. Studi oleh Umayu dan Supardiyono (2017) menggunakan metode *Simple Additive Weighting* (SAW) dalam pemetaan risiko petir yang menunjukkan hasil efektif untuk mendukung mitigasi [6]. Putri Yulia (2023) memperlihatkan akurasi tinggi dari *Kernel Density Estimation* (KDE) dalam memetakan distribusi kejadian petir berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) [7], namun, fokusnya terbatas pada distribusi spasial tanpa memperhitungkan faktor kerentanan wilayah secara menyeluruh. Tanalepy et al. juga menerapkan penggabungan analisis spasial dan multi-kriteria dalam pemetaan wilayah rawan bencana secara presisi, namun penelitian ini belum banyak diterapkan di konteks lokal Indonesia secara spesifik [8].

Keterbatasan utama dari penelitian terdahulu adalah kurangnya integrasi antara data kejadian spasial dengan faktor kerentanan lingkungan secara simultan, sehingga peta risiko yang dihasilkan belum mampu memberikan gambaran lengkap mengenai tingkat bahaya dan dampaknya bagi masyarakat. Oleh karena itu, studi ini bertujuan mengisi gap tersebut dengan menggabungkan metode *Kernel Density Estimation* (KDE) untuk memetakan distribusi spasial sambaran petir dan metode *Simple Additive Weighting* (SAW) untuk mengintegrasikan faktor kerentanan lingkungan seperti tutupan lahan, penggunaan lahan, serta karakteristik sosial ekonomi, sehingga menghasilkan peta risiko petir yang lebih akurat dan aplikatif di wilayah Sumatera Barat. Pendekatan inovatif ini diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan kebijakan mitigasi yang lebih efektif dan mendukung upaya perlindungan masyarakat dari risiko petir yang terus meningkat secara nasional dan lokal.

Penelitian ini tidak hanya memperluas literatur terkait metode gabungan dalam pemetaan risiko bencana, tetapi juga secara khusus menyesuaikan dengan kondisi aktual di wilayah Sumatera Barat berdasarkan data BMKG dan laporan kejadian bencana terbaru, sehingga dapat memberikan kontribusi baru dalam pengelolaan risiko petir di Indonesia. Secara spesifik, tujuan dari penelitian ini adalah memetakan risiko petir secara spasial dan kerentanan di Sumatera Barat melalui kombinasi KDE dan SAW, serta menyusun peta risiko yang komprehensif dan realistis untuk mendukung langkah mitigasi yang lebih tepat sasaran.

## 2 Tinjauan Literatur

Pemetaan risiko petir menjadi langkah krusial dalam mitigasi bencana di wilayah tropis seperti Indonesia, di mana frekuensi petir yang tinggi mengancam keselamatan manusia dan infrastruktur. Tujuan tinjauan pustaka ini adalah untuk memberikan landasan teoretis dan empiris bagi penelitian tentang pemetaan risiko petir di Sumatera Barat dengan pendekatan *Kernel Density Estimation* (KDE) dan *Simple Additive Weighting* (SAW). Tinjauan ini mengevaluasi metode dan temuan dari penelitian terkini untuk mengidentifikasi kesenjangan yang dapat diisi oleh penelitian ini. Fokus tinjauan mencakup penelitian yang menggunakan analisis geospasial dan metode multi-kriteria untuk pemetaan risiko petir di berbagai wilayah Indonesia, berdasarkan enam jurnal ilmiah. Tinjauan ini dimulai dengan konsep umum pemetaan risiko petir, diikuti oleh analisis metode spesifik, aplikasi regional, dan identifikasi celah yang relevan dengan konteks Sumatera Barat.

Pemetaan risiko petir bertujuan untuk menentukan daerah rentan dengan mempertimbangkan frekuensi petir dan faktor kerentanan seperti kepadatan penduduk, penggunaan lahan, serta kondisi

geologi. Pendekatan geospasial, seperti KDE dan Kriging, sering digunakan untuk memetakan distribusi spasial petir, sementara metode multi-kriteria seperti SAW memungkinkan integrasi berbagai faktor risiko untuk penilaian yang lebih komprehensif. Pendekatan ini mendukung perencanaan mitigasi bencana dengan menyediakan informasi spasial yang akurat. Penelitian di berbagai wilayah Indonesia menunjukkan bahwa kombinasi data meteorologi, demografi, dan lingkungan dapat menghasilkan peta risiko yang mendukung pengambilan keputusan strategis.

Pendekatan SAW telah banyak diterapkan dalam pemetaan risiko petir karena kemampuannya mengintegrasikan berbagai kriteria secara efisien. Penelitian di Provinsi Lampung menggabungkan data frekuensi petir dari BMKG dengan kepadatan penduduk untuk menghasilkan peta digital yang mengklasifikasikan risiko pada skala numerik [9]. Studi ini menunjukkan bahwa daerah dengan kepadatan penduduk tinggi dan frekuensi petir yang signifikan memiliki risiko tertinggi, memberikan alat visual yang efektif untuk perencanaan mitigasi. Studi lain di Bali memperluas pendekatan SAW dengan memasukkan penggunaan lahan sebagai kriteria tambahan, mengidentifikasi wilayah perkotaan dengan kepadatan penduduk dan infrastruktur tinggi sebagai daerah paling rentan [10]. Fleksibilitas SAW dalam mengakomodasi variabel lingkungan ini relevan dengan pendekatan penelitian di Sumatera Barat, yang juga mempertimbangkan penggunaan lahan.

Analisis geospasial juga menjadi pendekatan utama dalam memetakan distribusi petir, dengan fokus pada pola spasial dan temporal. Penelitian di Kabupaten dan Kota Bandung menggunakan analisis spasial dan klustering untuk mengkategorikan kepadatan petir ke dalam tingkat rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan jumlah sambaran per kilometer persegi [11]. Pendekatan ini efektif untuk memahami distribusi petir, tetapi kurang mempertimbangkan dampak pada populasi atau infrastruktur. Studi di Sulawesi Selatan menambahkan dimensi temporal dengan menganalisis variasi musiman aktivitas petir, mendukung perencanaan mitigasi berbasis musim [12]. Penelitian di Kabupaten Pasuruan, menerapkan SAW untuk menentukan kerentanan tiap kecamatan berdasarkan variabel meteorologis dan demografis [13]. Demikian pula, dalam studi di Surabaya (2017), metode SAW digunakan untuk mengintegrasikan faktor ancaman berupa kerapatan sambaran petir dan faktor kerentanan yang meliputi kepadatan penduduk serta penggunaan lahan, menghasilkan peta kerawanan tingkat kecamatan yang menunjukkan daerah dengan risiko sangat tinggi seperti Mulyorejo, Simokerto, dan Tambaksari [6]. Sementara itu, penelitian di Tanjung Jabung Timur mengkorelasikan kepadatan petir dengan penggunaan lahan dan formasi geologi, menemukan bahwa cekungan air dan formasi geologi konduktif meningkatkan intensitas petir [7]. Fokus pada faktor lingkungan ini sangat relevan untuk Sumatera Barat, yang memiliki dinamika serupa akibat interaksi laut-darat. Penelitian lain di Pontianak menggunakan metode Kriging untuk menghasilkan peta kontur risiko petir yang halus, menyoroti wilayah perkotaan sebagai area dengan kepadatan petir tertinggi [8]. Kriging memiliki kesamaan dengan KDE dalam analisis geospasial, tetapi lebih cocok untuk interpolasi data di lokasi yang tidak diobservasi.

Secara kritis, penelitian-penelitian ini menunjukkan kekuatan dan keterbatasan masing-masing pendekatan. Pendekatan SAW unggul dalam mengintegrasikan faktor kerentanan, seperti kepadatan penduduk dan penggunaan lahan, sehingga menghasilkan penilaian risiko yang lebih holistik, sebagaimana terlihat pada studi di Lampung dan Bali [9], [10]. Sebaliknya, pendekatan geospasial, seperti yang diterapkan di Bandung dan Sulawesi Selatan, lebih berfokus pada distribusi petir, memberikan wawasan tentang pola spasial dan temporal, tetapi kurang mempertimbangkan dampak sosial atau infrastruktur [11], [12]. Studi di Tanjung Jabung Timur menonjol karena memasukkan faktor lingkungan seperti penggunaan lahan dan geologi, yang relevan dengan pendekatan penelitian ini [7]. Namun, tidak ada penelitian yang secara spesifik membahas Sumatera Barat, yang memiliki karakteristik geografis unik seperti Pegunungan Bukit Barisan dan interaksi laut-darat yang memengaruhi pembentukan petir. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian yang disesuaikan dengan kondisi lokal Sumatera Barat. Dalam hal metode, KDE dipilih dalam penelitian ini karena kemampuannya menghasilkan estimasi densitas yang akurat untuk data petir berbasis titik, sementara SAW memungkinkan integrasi faktor kerentanan lahan, menghasilkan peta risiko yang lebih operasional.

Penelitian sebelumnya telah memberikan wawasan penting tentang pemetaan risiko petir di Indonesia, tetapi kesenjangan dalam literatur terkait Sumatera Barat menegaskan perlunya pendekatan regional yang spesifik. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan KDE untuk analisis densitas petir dan SAW untuk penilaian kerentanan lahan, menghasilkan peta risiko yang

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

relevan untuk mitigasi bencana di Sumatera Barat. Pendekatan ini tidak hanya melanjutkan metode yang telah terbukti efektif, tetapi juga menyesuaikannya dengan konteks regional yang unik, memberikan kontribusi signifikan terhadap upaya mitigasi bencana petir di Indonesia.

### 3 Metode Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sambaran petir berupa koordinat yang diperoleh dengan menggunakan *Lightning Detector* (LD) milik BMKG di Sumatera Barat pada bulan Maret 2024. Total terdapat 29.619 titik sambaran dengan atribut waktu kejadian, lintang–bujur, amplitudo (kA), serta parameter geometri (maxis, minaxis, inclin). Data ini menggunakan sistem koordinat WGS 84 (EPSG:4326). Selain itu, peta tata guna lahan tahun 2019 yang bersumber dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) digunakan sebagai penilaian risiko terhadap elemen-elemen yang terpapar, seperti permukiman, infrastruktur, dan lingkungan. Data ini berbentuk raster berukuran  $70 \times 91$  grid dengan resolusi spasial  $\pm 0,05^\circ$  per piksel, mencakup 17 kelas tutupan lahan. Untuk keperluan pembatasan wilayah, digunakan peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:5.000 dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan sistem koordinat EPSG:32747 – UTM Zone 47S.

Lokasi penelitian ini yaitu Provinsi Sumatera Barat yang terletak pada koordinat  $3,7^\circ\text{LS} - 1,3^\circ\text{LU}$  dan  $97,5^\circ\text{BT} - 102,5^\circ\text{BT}$ . Penelitian ini dirancang sebagai penelitian deskriptif-kuantitatif dengan pendekatan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dan metode multi-kriteria. Desain penelitian bersifat observasional non-eksperimental dengan pemanfaatan data sekunder.

Metodologi penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, mulai dari pengumpulan data, analisis data, hingga pembuatan peta model risiko petir. Pertama-tama, data historis kejadian petir dikumpulkan dari BMKG. Pra-pengolahan dilakukan dengan menghapus data duplikat, memotong (*clipping*) seluruh data sesuai batas administratif Sumatera Barat, serta menyeragamkan sistem koordinat agar seluruh dataset kompatibel untuk analisis.

Setelah data siap, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis kepadatan sambaran petir. Dalam analisis ini, metode *Kernel Density Estimation* (KDE) digunakan untuk menghitung distribusi spasial sambaran petir dan memperoleh nilai kepadatan. Hasilnya kemudian diklasifikasikan ke dalam empat kategori frekuensi (aman, rendah, sedang, tinggi) berdasarkan pembagian kuartil atau persentil distribusi.

Setelah data siap, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis kepadatan sambaran petir. Dalam analisis ini digunakan metode *Kernel Density Estimation* (KDE) untuk menghitung distribusi spasial sambaran petir dan memperoleh nilai kepadatan. Rumus umum KDE ditunjukkan pada persamaan (1), yang digunakan untuk memperkirakan fungsi kepadatan probabilitas dari suatu himpunan data spasial.

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

$f(x)$  : estimasi kepadatan pada titik  $x$

$n$  : jumlah total titik data

$x_i$  : titik data ke- $i$

$h$  : bandwidth (jarak pengaruh kernel)

$K$ : fungsi kernel (contoh: Gaussian, Epanechnikov)

Pada persamaan (1),  $f(x)$  menunjukkan nilai estimasi kepadatan pada titik  $x$ , sedangkan  $n$  merepresentasikan jumlah keseluruhan titik data. Variabel  $x_i$  menggambarkan posisi titik data ke- $i$ , sementara  $h$  berfungsi sebagai bandwidth yang mengatur tingkat penghalusan serta jarak pengaruh kernel. Fungsi  $K$  sendiri merupakan fungsi kernel, seperti Gaussian atau Epanechnikov, yang memberikan bobot terhadap kontribusi setiap titik data dalam proses estimasi. Melalui penerapan KDE, dapat diperoleh peta distribusi kepadatan sambaran petir yang kemudian dibagi ke dalam empat kategori frekuensi (aman, rendah, sedang, dan tinggi) dengan dasar pembagian kuartil atau persentil distribusi.

Untuk mempermudah analisis kerentanan, data tutupan lahan dalam bentuk vektor diubah menjadi raster dengan resolusi  $0,05^\circ$ . Kemudian setiap kelas lahan diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanan terhadap petir dalam skala ordinal 1–3, di mana lahan terbuka umumnya lebih rentan dibanding kawasan hutan lebat.

Peta kerentanan lahan terhadap petir dan peta klasifikasi frekuensi petir digabungkan dengan metode *Simple Additive Weighting* (SAW). Metode ini digunakan untuk menilai dan memilih alternatif

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

terbaik berdasarkan sejumlah kriteria dengan memberikan bobot (weight) pada setiap kriteria. Setiap alternatif dinilai pada berbagai kriteria, kemudian nilai-nilai itu dikonversi (dinormalisasi) dan dijumlahkan dengan bobot masing-masing kriteria.

Metode *Simple Additive Weighting* (SAW) digunakan untuk menghitung skor akhir dari setiap alternatif dengan mempertimbangkan bobot masing-masing kriteria. Rumus perhitungan ditunjukkan pada persamaan (2).

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij} \quad (2)$$

$S_i$  = nilai akhir untuk alternatif ke- $i$

$w_j$ : bobot untuk kriteria ke- $j$

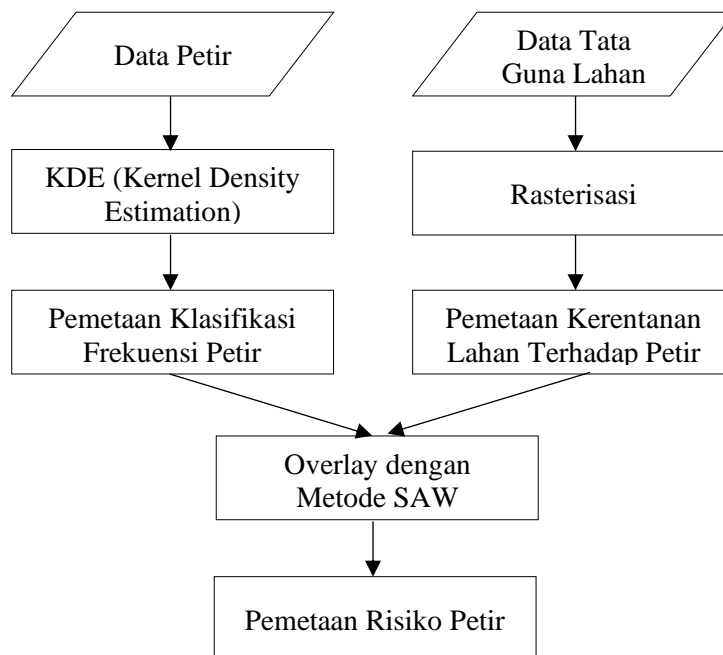
$r_{ij}$ : nilai normalisasi alternatif ke- $i$  pada kriteria ke- $j$

Pada persamaan (2),  $S_i$  merupakan nilai akhir untuk alternatif ke- $i$ , yang diperoleh dari penjumlahan nilai hasil perkalian antara bobot dan skor normalisasi. Variabel  $w_j$  adalah bobot yang diberikan pada kriteria ke- $j$ , sedangkan  $r_{ij}$  menyatakan nilai normalisasi alternatif ke- $i$  pada kriteria ke- $j$ . Melalui pendekatan ini, setiap alternatif dapat dievaluasi secara kuantitatif berdasarkan kombinasi bobot dan kriteria, sehingga hasil pemetaan risiko menjadi lebih objektif dan terukur.

Hasil perhitungan bobot dengan metode *Simple Additive Weighting* (SAW) menghasilkan nilai akhir risiko pada setiap sel raster di wilayah daratan Sumatera Barat. Nilai ini diperoleh dari penjumlahan skor frekuensi sambaran petir (hasil KDE) dan skor kerentanan lahan yang telah dinormalisasi sesuai bobot masing-masing kriteria. Dengan demikian, setiap lokasi dalam area studi memiliki skor risiko komposit yang bersifat kuantitatif dan dapat dibandingkan antarwilayah.

Selanjutnya, skor tersebut diklasifikasikan ke dalam empat kategori risiko dengan menggunakan batas interval yang ditentukan berdasarkan distribusi nilai (misalnya metode kuartil atau natural breaks). Kategori tersebut adalah: aman (risiko sangat rendah atau tidak signifikan), risiko rendah, risiko sedang, dan risiko tinggi. Hasil klasifikasi kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta tematik, sehingga dapat menggambarkan sebaran spasial daerah-daerah yang lebih rentan terhadap sambaran petir. Peta ini diharapkan menjadi dasar informasi yang praktis untuk mendukung kegiatan mitigasi bencana, perencanaan tata ruang, serta perlindungan infrastruktur vital di Sumatera Barat.

Adapun diagram alir pengolahan data secara keseluruhan adalah sebagaimana Gambar 1 berikut:



**Gambar 1 Diagram alir pengolahan data**

Selain tahapan utama tersebut, penelitian ini memanfaatkan Python dengan modul NumPy dan Matplotlib untuk mengolah serta memvisualisasikan data sambaran petir di Sumatera Barat. Data koordinat petir diolah menggunakan NumPy sebagai basis perhitungan numerik, kemudian dianalisis



dengan metode *Kernel Density Estimation* (KDE) untuk memperoleh peta distribusi frekuensi sambaran yang lebih halus.

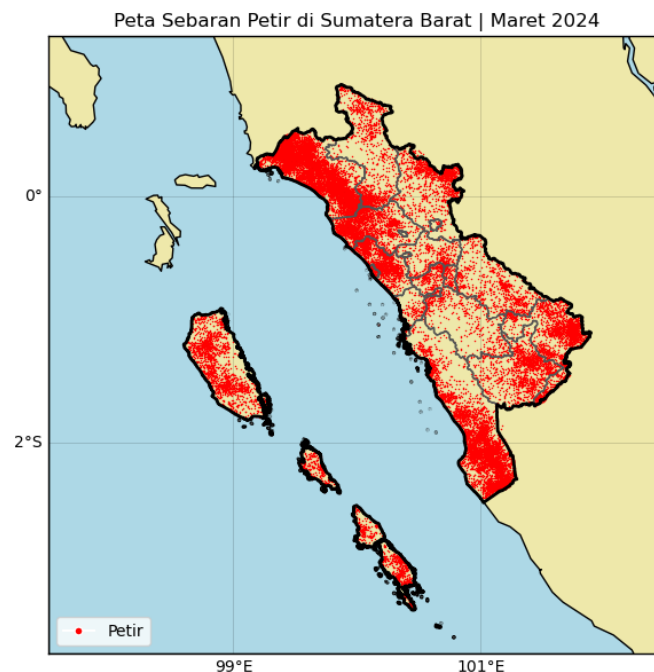
#### 4 Hasil dan Pembahasan

Untuk memahami pola serta tingkat risiko petir di Sumatera Barat, penelitian ini menganalisis data sambaran petir BMKG selama bulan Maret 2024. Bulan tersebut dipilih karena mewakili periode transisi musim, yaitu fase peralihan dari musim hujan ke kemarau yang secara klimatologis dikenal memiliki potensi tinggi terhadap kejadian petir. Analisis dilakukan secara bertahap, dimulai dari pemeriksaan distribusi spasial sambaran, penghitungan intensitas frekuensi, pemodelan kepadatan berbasis *Kernel Density Estimation* (KDE), analisis kerentanan lahan, hingga integrasi dalam bentuk peta risiko dengan metode *Simple Additive Weighting* (SAW).

##### 1. Distribusi Spasial Sambaran Petir

Gambar 2 memperlihatkan peta lokasi sambaran petir yang terpantau selama periode penelitian. Titik-titik petir (ditandai merah) tampak tersebar mulai dari kawasan pesisir barat, pedalaman, hingga kepulauan Mentawai. Pola ini menunjukkan bahwa aktivitas petir di Sumatera Barat tidak hanya terkonsentrasi di area tertentu, melainkan meluas di seluruh provinsi. Keadaan ini sangat dipengaruhi oleh interaksi massa udara lembap dari Samudra Hindia yang bertemu dengan udara kering dari daratan, sehingga memicu ketidakstabilan atmosfer.

Fenomena serupa juga ditemukan oleh Denov et al. [14], yang menegaskan bahwa distribusi sambaran petir di wilayah tropis-maritim dipengaruhi oleh kombinasi faktor laut dan topografi daratan. Hasil tersebut memperkuat temuan bahwa kondisi pesisir Sumatera Barat menjadi salah satu hotspot kejadian petir.



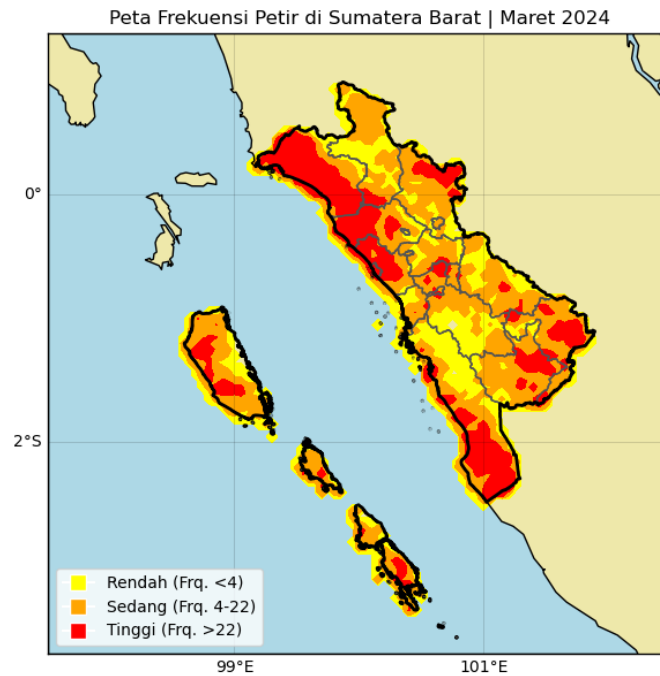
**Gambar 2** Peta lokasi sambaran

##### 2. Intensitas dan Frekuensi Kejadian

Gambar 3 menampilkan peta frekuensi petir yang diklasifikasikan ke dalam tiga kategori: rendah (<4 kejadian), sedang (4–22), dan tinggi (>22). Zona dengan frekuensi sangat tinggi (>22) tampak dominan di sepanjang pesisir barat, khususnya di Kabupaten Pasaman Barat, Agam, Padang Pariaman, dan Pesisir Selatan. Kondisi ini terkait dengan konvergensi angin laut-darat yang paling aktif terjadi pada siang hingga sore hari.

Wilayah perbukitan Bukit Barisan berada pada kategori sedang (4–22 kejadian), dengan mekanisme pengangkatan orografis (*orographic lifting*) sebagai pemicu utama terbentuknya awan konvektif. Di sisi lain, dataran tinggi bagian timur relatif lebih aman karena terlindungi secara topografis dari konveksi kuat. Kepulauan Mentawai justru menunjukkan intensitas tinggi akibat pengaruh konveksi laut terbuka dengan suhu permukaan laut yang hangat.

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

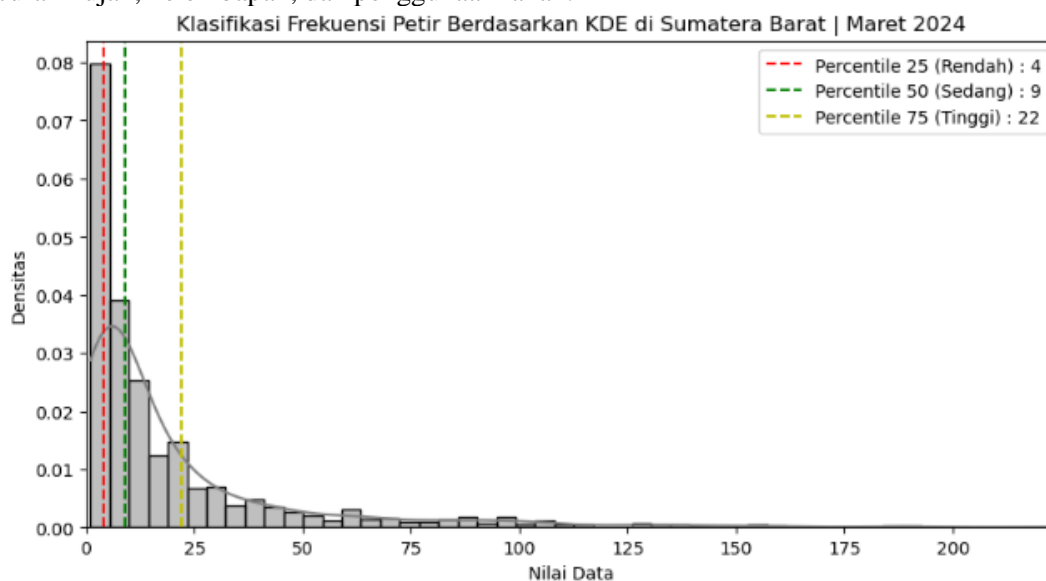


**Gambar 3 Tingkat frekuensi petir maret 2024**

3. Analisis Distribusi Statistik (KDE)

Analisis kuantitatif lebih lanjut menggunakan *Kernel Density Estimation* (KDE) ditampilkan pada Gambar 4. Grafik KDE memperlihatkan bahwa distribusi frekuensi sambaran petir sangat menceng ke kanan (*positively skewed*). Sebagian besar wilayah mengalami jumlah kejadian rendah (0–5 kali), sedangkan hanya sebagian kecil area mengalami frekuensi sangat tinggi (>22 kali).

Fenomena distribusi yang tidak merata ini menggambarkan adanya kantong-kantong area rawan yang berasosiasi dengan faktor lokal, seperti jenis tutupan lahan, kerapatan penduduk, serta kedekatan dengan garis pantai. Hasil ini konsisten dengan Andru et al. [15], yang menunjukkan bahwa risiko petir pada manusia sangat bergantung pada variasi spasial lingkungan, termasuk curah hujan, kelembapan, dan penggunaan lahan.



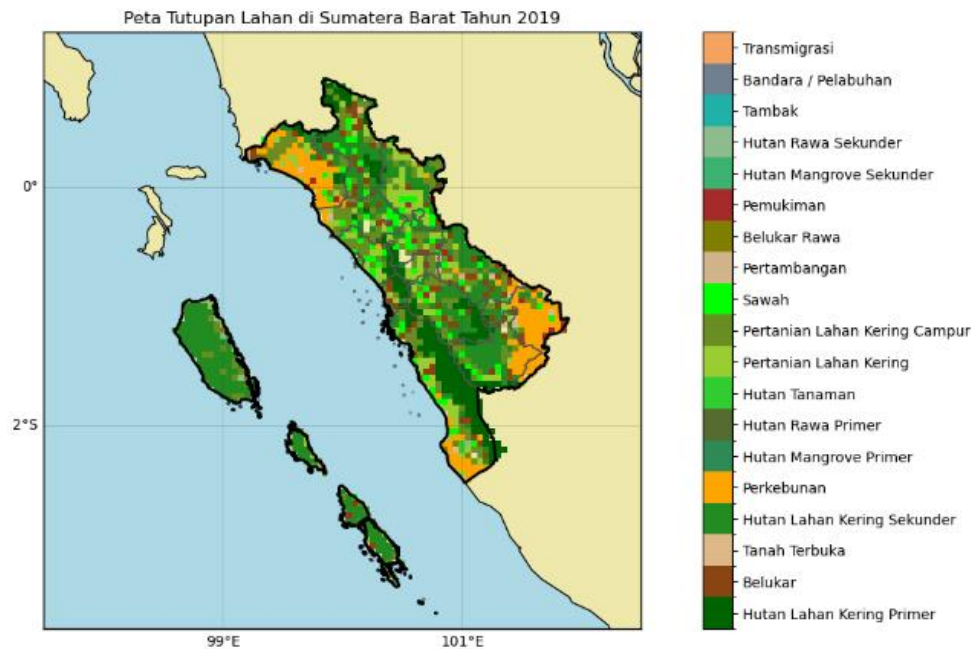
**Gambar 4 Diagram KDE dan batasan percentile petir di sumatera barat pada maret 2024**

4. Tutupan Lahan dan Kerentanan

Selain faktor atmosfer, tingkat kerentanan lahan juga menjadi penentu penting dalam risiko petir. Gambar 5 menampilkan distribusi tutupan lahan Sumatera Barat tahun 2019, sedangkan Tabel 1

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

menyajikan skorsing kerentanan berdasarkan jenis lahan. Permukiman, sawah, tanah terbuka, serta bandara/pelabuhan memiliki skor kerentanan tinggi (3), karena karakteristiknya cenderung meningkatkan potensi sambaran.



**Gambar 5 Peta tutupan lahan**

Sebaliknya, kawasan hutan primer dan sekunder mendapat skor rendah (1–2) karena kelembapan tinggi di bawah kanopi dan peran vegetasi sebagai penahan alami medan listrik. Hal ini sejalan dengan Harits et al. [16], yang menemukan bahwa kawasan dengan kepadatan vegetasi lebih rendah memiliki tingkat kerentanan yang lebih besar terhadap sambaran petir.

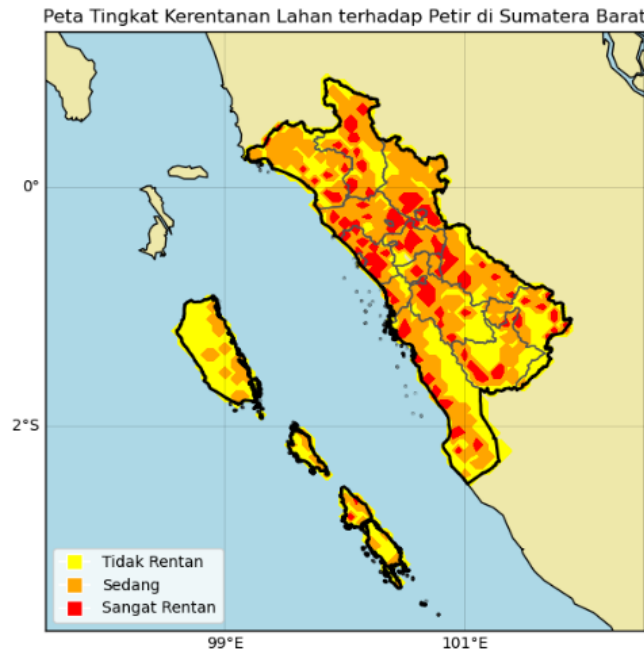
**Tabel 1 Skorsing kerentanan berdasarkan tata guna lahan**

Jenis Tata Guna Lahan	Skoring
Hutan Lahan Kering Primer	2
Belukar	2
Tanah Terbuka	3
Hutan Lahan Kering Sekunder	2
Perkebunan	1
Hutan Mangrove Primer	1
Hutan Rawa Primer	1
Hutan Tanaman	1
Pertanian Lahan Kering	2
Pertanian Lahan Kering Campur	1
Sawah	3
Pertambangan	2
Belukar Rawa	2
Pemukiman	3
Hutan Mangrove Sekunder	1
Hutan Rawa Sekunder	1
Tambak	1
Bandara / Pelabuhan	3
Transmigrasi	2

Hasil skoring tingkat kerentanan lahan terhadap petir kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta tematik yang ditunjukkan pada Gambar 6. Peta tersebut mengklasifikasikan wilayah Sumatera Barat dan pulau-pulau sekitarnya ke dalam tiga kategori kerentanan: 'Tidak Rentan' (berwarna kuning), 'Sedang' (berwarna oranye), dan 'Sangat Rentan' (berwarna merah),



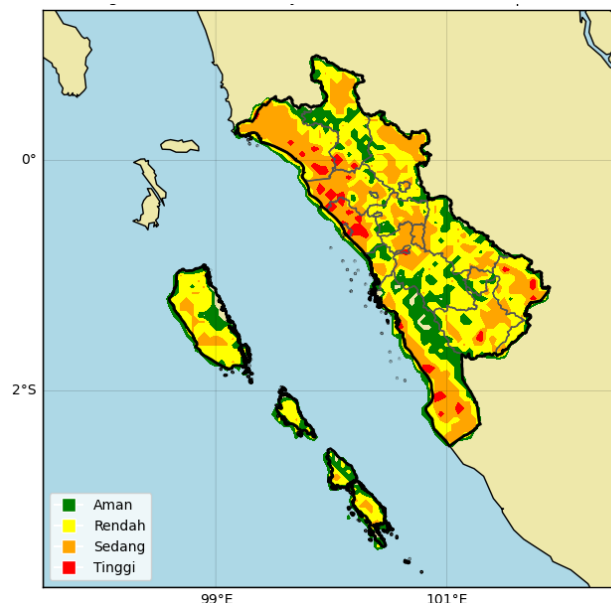
memberikan gambaran spasial mengenai area-area dengan potensi risiko sambaran petir yang bervariasi.



**Gambar 6 Tingkat kerentanan lahan terhadap petir tahun 2019**

5. Integrasi Risiko dengan SAW

Tahap akhir penelitian adalah integrasi indeks bahaya (frekuensi petir) dan indeks kerentanan (tutupan lahan) menggunakan metode *Simple Additive Weighting* (SAW). Bobot yang digunakan seimbang (50:50), dengan alasan bahwa faktor atmosfer dan faktor lahan sama-sama berperan penting dalam membentuk tingkat risiko. Nilai akhir dinormalisasi ke skala 0–1, lalu dibagi ke dalam empat kategori: Aman, Rendah, Sedang, dan Tinggi. Hasil overlay divisualisasikan pada Gambar 7.



**Gambar 7 Peta Tingkat Risiko Bahaya Petir di Sumatera Barat**

Untuk luas wilayah menurut kategori disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2 Luas wilayah menurut tingkat risiko petir (maret 2024, sumatea barat)**

No	Kategori Risiko	Luas (km <sup>2</sup> )	Persentase (%)
1	Aman	20.906	49,52
2	Rendah	10.871	25,75
3	Sedang	9.168	21,72
4	Tinggi	1.269	3,01

Hampir **50% wilayah Sumatera Barat berada pada kategori aman**, 26% rendah, 22% sedang, dan hanya sekitar 3% yang masuk kategori tinggi. Meski proporsi kategori tinggi relatif kecil, area ini memiliki signifikansi strategis karena mencakup kawasan pesisir dan infrastruktur vital.

#### 6. Diskusi, Perbandingan dan Implikasi

Hasil ini konsisten dengan Denov et al. [14] yang menunjukkan adanya variasi signifikan dalam distribusi spasial petir di Indonesia, terutama pada wilayah dengan topografi kompleks dan interaksi laut-darat yang intens. Lebih jauh, Andru et al. [15] menegaskan pentingnya faktor lingkungan lokal dalam membentuk tingkat risiko petir terhadap masyarakat.

Implikasi praktis dari penelitian ini antara lain:

- Perencanaan tata ruang di kawasan pesisir perlu mempertimbangkan peta risiko petir.
- Infrastruktur vital seperti bandara, pelabuhan, jaringan listrik, dan kawasan permukiman padat harus diprioritaskan untuk proteksi sambaran.
- Konservasi hutan di kawasan pegunungan tetap menjadi strategi jangka panjang dalam mereduksi risiko bencana petir.

#### 7. Keterbatasan

Beberapa keterbatasan perlu dicatat. Pertama, data sambaran petir yang digunakan hanya mencakup satu bulan (Maret 2024), sehingga belum menggambarkan pola tahunan atau multi-tahunan. Kedua, resolusi raster tutupan lahan ( $0,05^\circ$ ) relatif kasar, sehingga detail di kawasan perkotaan padat atau infrastruktur kecil belum sepenuhnya terwakili. Ketiga, validasi lapangan terhadap dampak aktual (misalnya kerugian PLN atau gangguan penerbangan) belum dilakukan, sehingga peta risiko masih bersifat prediktif.

Seperti ditunjukkan oleh Denov et al. [17], analisis multi-tahun sangat diperlukan agar peta risiko lebih stabil dan dapat dijadikan dasar kebijakan. Dengan demikian, penelitian lanjutan direkomendasikan untuk memasukkan data jangka panjang serta verifikasi dengan laporan kerugian dari BNPB, PLN, dan otoritas transportasi.

## 5 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil memetakan risiko petir di Sumatera Barat pada Maret 2024 dengan mengintegrasikan data frekuensi sambaran dan kerentanan lahan melalui metode KDE dan SAW. Hasil menunjukkan distribusi spasial yang heterogen, dengan intensitas tertinggi di pesisir barat dan Kepulauan Mentawai, serta kerentanan terbesar pada kawasan permukiman, sawah, dan lahan terbuka, sementara hutan primer dan sekunder relatif lebih aman karena perannya sebagai mitigasi alami. Temuan ini sejalan dengan penelitian Denov et al. [14] yang menekankan variasi spasial petir di wilayah tropis-maritim, serta Andru et al. [15] dan Harits et al. [16] yang menunjukkan bahwa kerentanan lingkungan dan penggunaan lahan berperan penting dalam menentukan risiko sambaran. Perbedaan utama penelitian ini terletak pada cakupan analisis kerentanan yang lebih detail, mencakup berbagai tipe lahan dibanding studi sebelumnya yang lebih berfokus pada faktor demografi atau kepadatan bangunan. Secara praktis, hasil ini merekomendasikan penguatan sistem peringatan dini berbasis deteksi spasial, integrasi peta risiko dalam tata ruang wilayah pesisir dan urban, konservasi hutan sebagai strategi mitigasi jangka panjang, serta edukasi masyarakat di daerah berisiko tinggi. Untuk penelitian lanjutan, disarankan penggunaan data multi-tahun dan penambahan parameter kapasitas wilayah guna menghasilkan model risiko yang lebih komprehensif, sebagaimana juga ditekankan oleh Denov et al. [17] dalam konteks studi multi-tahun.

## Referensi

- [1] V. Cooray, *The Lightning Flash*. Institution of Engineering and Technology, 2014. DOI: 10.1049/PBPO069E.

- [2] N. Woropalupi, "Informasi Sambaran Petir Bulan Juli 2025 - Peta Sambaran Petir - BMKG," Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. Accessed: Aug. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.bmkg.go.id/geofisika-potensial/peta-sambaran-petir/informasi-sambaran-petir-bulan-juli-2025>
- [3] R. Darmawan, "5 Pekerja Ladang di Sijunjung Tewas Tersambar Petir saat Berteduh." Accessed: Aug. 16, 2025. [Online]. Available: <https://regional.kompas.com/read/2023/12/23/081342178/5-pekerja-ladang-di-sijunjung-tewas-tersambar-petir-saat-berteduh>
- [4] H. Rizal, "Seorang Petani Tewas Disambar Petir di Agam," Kata Sumbar. Accessed: Jul. 20, 2025. [Online]. Available: <https://katasumbar.com/seorang-petani-tewas-disambar-petir-di-agam/>
- [5] O. Keda, "Detik-detik 2 Rumah Hangus Terbakar Tersambar Petir di Sumba Barat," Liputan 6. Accessed: Jul. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.liputan6.com/regional/read/5525268/detik-detik-2-rumah-hangus-terbakar-tersambar-petir-di-sumba-barat>
- [6] U. Umaya and S. Supardiyono, "Analisis Pemetaan Daerah Rawan Petir dengan menggunakan Metode Simple Additive Weighting (SAW)," *Silampari Jurnal Pendidikan Ilmu Fisika*, Vol. 6, No. 3, pp. 25–32, 2017.
- [7] E. Yulia, "Analisis Kerapatan Sambaran Petir Jenis *Cloud to Ground* berbasis Sistem Informasi Geografis di Wilayah Tanjung Jabung Timur," *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, Vol. 7, No. 1, pp. 9–19, Feb. 2023, DOI: 10.24198/jiif.v7i1.40387.
- [8] M Tanalepy, "Analisis Pemetaan Daerah Rawan Petir menggunakan Metode Kriging di Wilayah Kota Pontianak dan Sekitarnya," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology*, Vol. 11, No. 1, 2023.
- [9] N. Agani, K. Kunci, A. Gis, and P. Digital, "Model Peta Digital Rawan Sambaran Petir menggunakan Metode SAW (Simple Additive Weighting): Studi Kasus Provinsi Lampung," *Jurnal TELEMATIKA MKOM*, Vol. 4, No. 1, Mar. 2012.
- [10] T. Gunawan and L. N. L. Pandiangan, "Analisis Tingkat Kerawanan Bahaya Sambaran Petir dengan Metode Simple Additive Weighting di Provinsi Bali," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol. 15, No. 3, Dec. 2014, DOI: 10.31172/jmg.v15i3.221.
- [11] S. Erwan, "Penentuan Daerah Rawan Bencana Sambaran Petir di Wilayah Kabupaten dan Kota Bandung, Jawa Barat," *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, Vol. 2, No. 2, Nov. 2018, DOI: 10.24198/jiif.v2i2.19728.
- [12] E. Susanto, M. Wahyuddin, A. Setyahagi, and R. Hidayat, "Analisis Spasial dan Temporal Tingkat Ancaman Sambaran Petir CG di Wilayah Provinsi Sulawesi Selatan," *Prosiding Seminar Nasional Fisika PPs UNM*, Vol. 2, pp. 96–99, Feb. 2020.
- [13] S. Ria Riqmawatin and P. Keumala Intan, "Analisa Pemetaan Daerah Rawan Sambaran Petir di Wilayah Kabupaten Pasuruan dengan menggunakan Metode Simple Additive Weighting," *Jurnal Mahasiswa Matematika ALGEBRA*, Vol. 1, No. 1, pp. 198–210, Aug. 2020.
- [14] B. Denov, S. Hidayat, Suwarno, and R. Zoro, "A Method to Obtain Lightning Peak Current in Indonesia," *Energies (Basel)*, Vol. 16, No. 17, Sep. 2023, DOI: 10.3390/en16176342.
- [15] A. Andru, A. Amarsin, and A. Meijlan Yasir, "Model of Lightning Strike Risk to Humans based on Spatial Analysis and Environmental Factors," 2023. [Online]. Available: <https://journal.physan.org/index.php/jocpes/index>
- [16] M. Harits, I. Suardi, A. Marsono, M. Ali, and S. Adi, "Analysis of Lightning Vulnerability Level in the City of Mataram and Surrounding Area using the Simple Additive Weighting Method," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Dec. 2023. DOI: 10.1051/e3sconf/202346401014.
- [17] B. Denov, S. Hidayat, and R. Zoro, "Article title, Computer Vision and Image Understanding," 2017, DOI: 10.1016/j.cviu.2017.00.000.