

Penerapan Agglomerative Hierarchical Clustering Untuk Pengelompokan Kabupaten/Kota di Provinsi Sumatera Barat Berdasarkan Potensi Sambaran Petir

Rahmadani¹, Zamahsary Martha²

^{1,2}Universitas Negeri Padang

¹rahma0danird@gmail.com

ABSTRAK

Sambaran petir merupakan fenomena atmosfer yang berpotensi menimbulkan risiko terhadap keselamatan manusia dan infrastruktur terutama pada wilayah tropis seperti Indonesia, termasuk Sumatera Barat. Variasi kondisi geografis dan lingkungan menyebabkan adanya perbedaan potensi sambaran petir antar kabupaten/kota. Penelitian ini bertujuan mengelompokkan kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Barat berdasarkan potensi sambaran petir, sehingga dapat mengidentifikasi wilayah dengan prioritas mitigasi yang lebih tinggi. Pengelompokan dilakukan menggunakan *Agglomerative Hierarchical Clustering* dengan metode *Ward* berdasarkan 3 variabel utama meliputi kerapatan petir, curah hujan dan kepadatan penduduk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Provinsi Sumatera Barat memiliki 4 klaster potensi sambaran petir yaitu potensi rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Klaster potensi rendah terdiri dari 6 kabupaten/kota, potensi sedang terdiri dari 6 kabupaten/kota, potensi tinggi terdiri dari 6 kabupaten/kota, dan potensi sangat tinggi hanya 1 kota. Temuan ini dapat memberikan gambaran spasial yang sistematis mengenai tingkat potensi sambaran petir dan dapat dimanfaatkan sebagai dasar penentuan prioritas mitigasi risiko serta perlindungan infrastruktur ditingkat regional.

Kata Kunci: *Clustering; Agglomerative Hierarchical Clustering; Metode Ward; Potensi Sambaran Petir.*

ABSTRACT

Lightning strike are an atmospheric phenomenon that pose significant risk to human safety and infrastructure, particularly in tropical regions such as Indonesia, including West Sumatra Province. Variations in geographical and environmental conditions contribute to differences in lightning strike potential across districts/municipalities. This study aims to classify districts/municipalities in West Sumatra Province based on their lightning strike potential in order to identify areas requiring higher mitigation priority. The classification was conducted using Agglomerative Hierarchical Clustering with Ward's method based on three main variables including lightning density, rainfall, and population density. The result indicate that West Sumatra Province can be grouped into 4 cluster of lightning strike potential: low, moderate, high, and very high. The low-potential cluster consists of 6 districts/municipalities, the moderate-potential cluster consists 6 districts/municipalities, the high-potential cluster consists 6 districts/municipalities, and the very high potential cluster contains only 1 municipality. These findings provide a systematic spatial overview of lightning strike potential levels and may serve as a basis for determining regional risk mitigation priorities and infrastructure protection strategies.

Keywords: Clustering; Agglomerative Hierarchical Clustering, Ward's Method; Lightning Strike Potential.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki potensi tinggi terhadap kejadian sambaran petir. Kondisi ini dipengaruhi oleh intensitas pemanasan matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun serta dominasi wilayah perairan yang luas. Kombinasi kedua faktor tersebut meningkatkan proses penguapan dan pembentukan massa udara lembab,

sehingga mendukung perkembangan awan konvektif penghasil petir, yaitu awan *cumulonimbus* (Yulia et al., 2023).

Tingginya potensi sambaran petir menjadikan fenomena ini tidak hanya sebagai gejala alam, tetapi juga sebagai ancaman yang berdampak langsung terhadap kehidupan manusia dan infrastruktur. Sambaran petir diketahui dapat menyebabkan kerugian, mulai dari kerusakan bangunan dan fasilitas publik, gangguan pada sistem kelistrikan dan telekomunikasi, hingga ancaman terhadap keselamatan jiwa (Viona et al., 2025). Dalam konteks pembangunan wilayah, keberadaan petir dengan intensitas tinggi dapat meningkatkan kerentanan infrastruktur terutama pada daerah dengan kepadatan penduduk yang tinggi dan sistem proteksi yang belum optimal (Amarsin & Yasir, 2023).

Provinsi Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah yang menunjukkan karakteristik geografis yang mendukung terbentuknya aktivitas konvektif secara intensif (Hardika et al., 2025). Secara topografis, wilayah ini didominasi oleh Bukit Barisan yang memanjang dari utara ke selatan serta berbatasan langsung dengan Samudra Hindia di bagian barat. Interaksi antara massa udara lembab dari lautan dan pengaruh orografi pegenungan berperan dalam proses pengangkatan udara (*orographic lifting*), yang pada akhirnya memperbesar peluang terbentuknya awan konvektif penghasil petir. Selain itu, topografis tersebut menyebabkan potensi risiko sambaran petir antar kabupaten/kota bersifat heterogen (Yusnaini et al., 2021).

Meskipun demikian, penelitian yang membahas pengelompokan wilayah berdasarkan kesamaan karakteristik potensi sambaran petir di Provinsi Sumatera Barat masih relatif terbatas. Sebagian besar kajian sebelumnya hanya berfokus pada analisis spasial atau temporal (Hardika et al., 2025; Saufina & Marzuki, 2016; Vadreas et al., 2014), sehingga belum memberikan gambaran komprehensif mengenai pola kemiripan antarwilayah. Pengelompokan wilayah dengan karakteristik serupa penting untuk mengidentifikasi area prioritas dan mendukung perumusan strategi mitigasi yang lebih efektif dan terarah. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam analisis pengelompokan wilayah adalah *Agglomerative Hierarchical Clustering*. Metode ini membentuk klaster secara bertahap melalui proses penggabungan objek berdasarkan tingkat kemiripan tertentu, sehingga memungkinkan identifikasi struktur pengelompokan secara hierarkis (Ni'matuzzahroh et al., 2022). Hasil analisis disajikan dalam bentuk dendrogram yang memberikan visualisasi hubungan kedekatan antarwilayah secara jelas dan terstruktur.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan kabupaten/kota di Provinsi Sumatera berdasarkan kesamaan karakteristik potensi sambaran petir menggunakan pendekatan analisis klaster. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan gambaran spasial yang lebih sistematis mengenai tingkat potensi sambaran petir. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar untuk perencanaan mitigasi bencana, peningkatan edukasi masyarakat, serta pengembangan kebijakan perlindungan infrastruktur terhadap bahaya petir, khususnya wilayah dengan tingkat potensi yang relatif tinggi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif melalui analisis klaster menggunakan metode *Agglomerative Hierarchical Clustering*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengelompokkan kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Barat berdasarkan potensi sambaran petir.

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dua lembaga resmi. Data kerapatan petir dan curah hujan diperoleh dari Stasiun Geofisika Klas 1 Padang Panjang, sedangkan data kepadatan penduduk berasal dari publikasi Badan Pusat Statistik (BPS) pada

tahun 2024. Data tersebut dipilih sebagai variabel indikator yang berkaitan dengan terjadinya sambaran petir. Variabel penelitian ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan
X_1	Kerapatan Petir	strike/km ²
X_2	Curah Hujan	mm
X_3	Kepadatan Penduduk	jiwa/km ²

Teknik analisis dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak *RStudio* dengan tahapan analisis data sebagai berikut:

1. Pengumpulan dan Penyusunan Data

Data disusun dalam bentuk matriks dengan objek berupa kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Barat. Setiap baris merepresentasikan satu wilayah, sedangkan setiap kolom merepresentasikan satu variabel.

2. Standardisasi Data

Dalam analisis data, sering kali dijumpai variabel-variabel yang memiliki skala dan rentang nilai yang tidak seragam. Ketidaksamaan skala tersebut berpotensi menimbulkan bias dalam proses pengolahan data, khususnya pada algoritma clustering yang sensitif terhadap perbedaan jarak. Oleh sebab itu, diperlukan tahap standardisasi agar setiap variabel memberikan pengaruh yang proposional terhadap hasil analisis (Han et al., 2023). Salah satu teknik standardisasi yang umum digunakan adalah metode *z-score* yang mentransformasi nilai setiap variabel sehingga memiliki nilai rata-rata sebesar nol dan simpangan baku sebesar satu. Rumus standarsisasi *z-score* dituliskan sebagai berikut:

$$Z = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

3. Perhitungan Ukuran Jarak

Dalam analisis kluster, pengukuran jarak merupakan komponen fundamental karena hasil pengelompokan sangat bergantung pada ukuran ketidakmiripan yang digunakan antar objek (Hair et al., 2019). Salah satu ukuran jarak yang paling umum digunakan pada data numerik adalah jarak *Euclidean*, yang merepresentasikan jarak geometris antar objek dalam ruang berdimensi p (Rahayu et al., 2024). Jarak *Euclidean* banyak diterapkan karena sifatnya yang simetris dan sesuai untuk data yang telah di standardisasi. Secara matematis, jarak *Euclidean* dirumuskan sebagai:

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (2)$$

4. Penggabungan dengan Metode *Ward*

Metode *Ward* merupakan salah satu teknik linkage dalam hierarchical clustering yang dikembangkan berdasarkan prinsip analisis ragam. Berbeda dengan teknik linkage lainnya yang berfokus pada jarak antar objek atau kluster, metode *Ward* bertujuan untuk meminimalkan peningkatan variansi didalam kluster (*within-cluster variance*) pada setiap tahap penggabungan (Ni'matuzzahroh et al., 2022). Kriteria penggabungan kluster pada metode *Ward* didasarkan pada nilai *Sum of Squared Errors* (SSE), yaitu jumlah kuadrat deviasi setiap objek terhadap rata-rata klasternya. Penggabungan dua kluster dilakukan jika menghasilkan kenaikan SSE terkecil dibandingkan alternatif penggabungan lainnya. Fungsi objektif metode *Ward* dirumuskan sebagai:

$$SSE_{uv} = \sum_{i=1}^{n_{uv}} (X_i - \bar{X}_{uv})'(X_i - \bar{X}_{uv}) \quad (3)$$

5. Dendrogram

Dalam *hierarchical clustering*, hasil pengelompokan direpresentasikan dalam bentuk dendrogram. Dendrogram merupakan diagram pohon yang menggambarkan proses penggabungan kluster secara bertahap berdasarkan tingkat ketidakmiripan antar objek (Han et al., 2023). Jumlah kluster ditentukan dengan memotong dendrogram pada tingkat tertentu yang menunjukkan perbedaan antar kelompok secara signifikan.

6. Profilisasi dan Visualisasi Hasil Kluster

Interpretasi hasil kluster dilakukan melalui profilisasi kluster, yaitu dengan membandingkan nilai rata-rata setiap variabel pada masing-masing kluster. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik dominan yang membedakan satu kluster dengan kluster lainnya. Hasil pengelompokan selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk peta tematik untuk memperlihatkan distribusi spasial kluster.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Matriks Data

Data yang sudah diperoleh kemudian direpresentasikan kedalam bentuk matriks observasi sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Data Penelitian

Kab/Kota	X_1	X_2	X_3
Agam	3.187	5.704	310
Kep. Mentawai	30	4.774	15
Kota Padang	2.096	4.377	1.376
⋮	⋮	⋮	⋮
Solok Selatan	39	5.001	58

Penyusunan matriks data pada Tabel 2, bertujuan untuk menyajikan seluruh variabel penelitian dalam bentuk terstruktur sehingga mempermudah proses analisis statistik.

Standardisasi Data

Standardisasi data dilakukan untuk mengatasi perbedaan skala antar variabel. Proses ini bertujuan agar setiap variabel memberikan kontribusi yang seimbang dalam perhitungan jarak antar objek. Hasil standardisasi data ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Stansardisasi

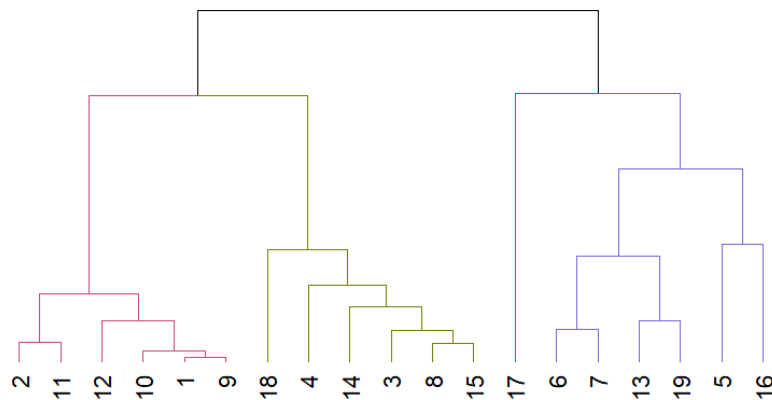
Kab/Kota	X_1	X_2	X_3
Agam	0,66	1,42	-0,40
Kep. Mentawai	-1,03	0,72	-0,63
Kota Padang	0,08	0,43	0,46
⋮	⋮	⋮	⋮
Solok Selatan	-1,02	0,90	-0,60

Data yang telah distandardisasi pada Tabel 3, selanjutnya digunakan dalam perhitungan ukuran jarak antar objek menggunakan jarak *Euclidean*. Nilai jarak tersebut menjadi dasar dalam proses penggabungan kluster menggunakan metode *Ward*.

Dendrogram

Setelah proses penggabungan dengan metode *Ward* berlangsung secara bertahap hingga seluruh objek tergabung dalam satu struktur hierarkis, selanjutnya direpresentasikan dalam bentuk diagram pohon yang disebut dendrogram. Hasil dendrogram dengan pendekatan metode *Ward* ditampilkan pada Gambar 1.

Dendrogram dengan Ward Method



Gambar 1. Dendrogram dengan Metode *Ward*

Berdasarkan Gambar 1, dendrogram hasil penggabungan menunjukkan bahwa terbentuk empat kluster utama yang merepresentasikan pengelompokan kabupaten/kota berdasarkan kemiripan karakteristik kerapatan petir, curah hujan, dan kepadatan penduduk. Wilayah yang bergabung pada ketinggian rendah memiliki tingkat homogenitas yang tinggi, sedangkan penggabungan pada ketinggian yang lebih besar menunjukkan adanya perbedaan karakteristik yang semakin signifikan antar kelompok. Penggunaan metode *Ward* mengoptimalkan proses penggabungan dengan meminimalkan peningkatan variansi dalam kluster (*within-cluster variance*) pada setiap tahap. Pendekatan ini menghasilkan kelompok yang relatif kompak dan memiliki batas pemisah yang lebih jelas antar kluster, sehingga klasifikasi potensi sambaran petir dapat dibedakan secara lebih tegas dan sistematis untuk mendukung penentuan prioritas mitigasi risiko di tingkat regional.

Profilisasi dan Visualisasi Hasil Kluster

Hasil pengelompokan selanjutnya dianalisis melalui tahap profilisasi kluster untuk mengidentifikasi karakteristik masing-masing kelompok berdasarkan nilai rata-rata setiap variabel. Profilisasi ini bertujuan untuk memberikan interpretasi substantif terhadap hasil pengelompokan sehingga setiap kluster dapat diklasifikasikan sesuai tingkat potensi sambaran petir. Ringkasan karakteristik masing-masing kluster ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik Klaster

<i>Cluster</i>	Kerapatan Petir	Curah Hujan	Kepadatan Penduduk	Kategori Potensi
1	146,33	4706,50	74,33	Rendah
2	1420,17	2419,50	572,33	Sedang
3	3817,50	4517,67	1065,67	Tinggi
4	4698	2363	4953	Sangat Tinggi

Berdasarkan hasil profilisasi klaster pada Tabel 4, terlihat adanya perbedaan karakteristik yang jelas antar klaster. Klaster 1 memiliki rata-rata kerapatan petir dan kepadatan penduduk paling rendah dibandingkan klaster lainnya, meskipun curah hujan relatif tinggi. Kondisi ini menunjukkan tingkat bahaya dan keterpaparan yang rendah sehingga dikategorikan sebagai kategori potensi rendah. Klaster 2 menunjukkan peningkatan kerapatan petir dan kepadatan penduduk dibandingkan klaster 1, sehingga dikategorikan sebagai potensi sedang. Klaster 3 dicirikan oleh tingginya kerapatan petir serta curah hujan yang relatif besar disertai kepadatan penduduk yang tinggi, mengindikasikan kombinasi *hazard* dan *exposure* yang signifikan sehingga termasuk kedalam potensi tinggi. Sementara itu, klaster 4 memiliki nilai kerapatan petir dan kepadatan penduduk paling tinggi dibanding seluruh klaster, sehingga dikategorikan sebagai potensi sangat tinggi karena menunjukkan tingkat risiko paling dominan.

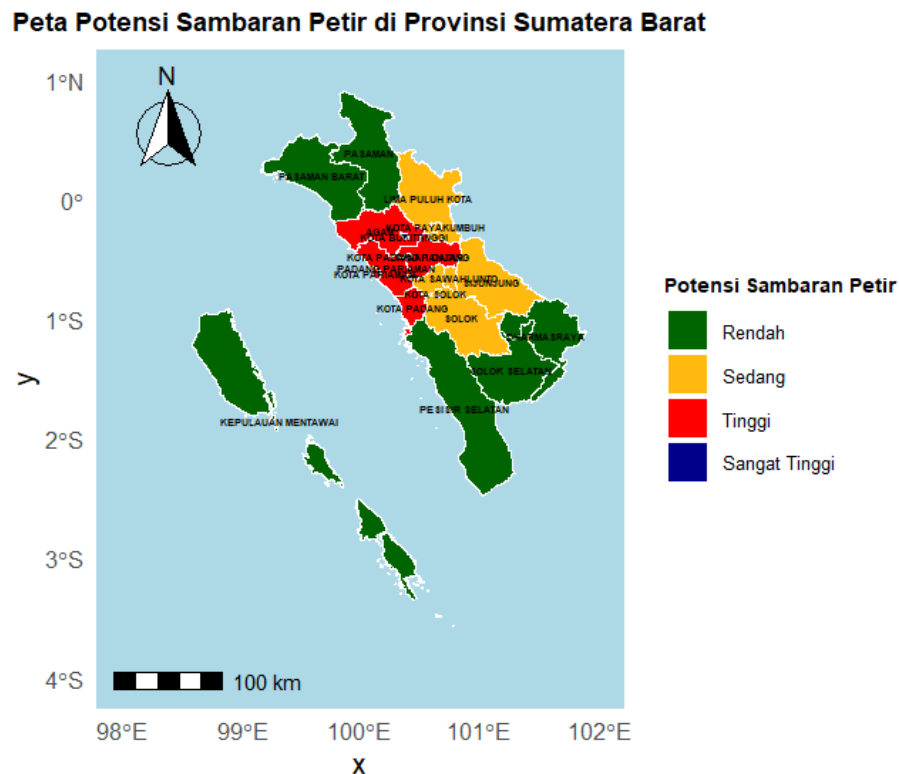
Selanjutnya, kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Barat dikelompokkan berdasarkan potensi sambaran petir sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengelompokan Kab/Kota berdasarkan Potensi Sambaran Petir

<i>Cluster</i>	Kabupaten/Kota	Total
Potensi Sambaran Petir Rendah	Kab. Kepulauan Mentawai, Kab. Pesisir Selatan, Kab. Pasaman, Kab. Solok Selatan, Kab. Dharmasraya, dan Kab Pasaman Barat	6
Potensi Sambaran Petir Sedang	Kab. Solok, Kab. Sijunjung, Kab. Lima Puluh Kota, Kota Solok, Kota Sawahlunto, Kota Payakumbuh	6
Potensi Sambaran Petir Tinggi	Kab. Tanah Datar, Kab. Padang Pariaman, Kab. Agam, Kota Padang, Kota Padang Panjang, Kota Pariaman	6
Potensi Sambaran Petir Sangat Tinggi	Kota Bukittinggi	1

Berdasarkan Tabel 5, kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Barat terbagi kedalam empat kategori potensi sambaran petir yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Setiap kategori terdiri dari enam daerah, kecuali kategori sangat tinggi yang hanya mencakup satu kota. Distribusi ini menunjukkan adanya variasi spasial yang cukup jelas dalam tingkat potensi sambaran petir antar wilayah. Wilayah pada kategori tinggi dan sangat tinggi memerlukan perhatian mitigasi yang lebih besar dibandingkan kategori lainnya karena menunjukkan kombinasi karakteristik *hazard* dan *exposure* yang lebih dominan.

Untuk memperjelas hasil pengelompokan tersebut, dilakukan visualisasi spasial klaster dalam bentuk peta tematik yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Potensi Sambaran Petir di Provinsi Sumatera Barat

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa secara spasial kategori potensi sambaran petir tinggi dan sangat tinggi membentuk konsentrasi wilayah yang relatif terpusat, sedangkan kategori rendah dan sedang menunjukkan pola distribusi yang lebih menyebar. Pola pengelompokan ini adanya kesamaan karakteristik antarwilayah yang berdekatan secara geografis, sekaligus menegaskan bahwa potensi sambaran petir di Provinsi Sumatera Barat bersifat heterogen dipengaruhi oleh kondisi spasial lokal.

Pembahasan

Hasil pengelompokan menggunakan *Agglomerative Hierarchical Clustering* menunjukkan bahwa struktur kemiripan antarwilayah terbentuk secara hierarkis dan sistematis. Dendrogram yang dihasilkan merepresentasikan proses penggabungan objek berdasarkan tingkat ketidakmiripan, di mana ketinggian penggabungan mencerminkan tingkat heterogenitas antar wilayah. Hal ini sesuai dengan teori hierarchical clustering yang menyatakan bahwa metode ini mampu mengungkap struktur data secara bertingkat dan memberikan representasi visual hubungan antar objek secara komprehensif (Murtagh & Contreras, 2012).

Hasil penelitian menunjukkan terbentuknya empat kluster dengan karakteristik yang berbeda secara signifikan. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa potensi sambaran petir merupakan fenomena multidimensional yang dipengaruhi oleh kombinasi beberapa variabel. Kerapatan petir berperan sebagai indikator utama bahaya (*hazard*), sedangkan kepadatan penduduk mencerminkan tingkat keterpaparan (*exposure*) (Amarsin & Yasir, 2023). Konsep ini sejalan dengan teori risiko bencana yang menyatakan bahwa risiko merupakan hasil dari interaksi antara bahaya dan keterpaparan (Lavell et al., 2012).

Selain itu, curah hujan dalam penelitian ini berperan sebagai faktor pendukung yang berkaitan dengan proses pembentukan awan konvektif. Secara meteorologis, peningkatan curah hujan berkorelasi dengan intensitas aktivitas konvektif di atmosfer yang dapat

memicu terbentuknya awan *cumulonimbus* sebagai penghasil petir (Pratama et al., 2018). Studi lain oleh Cecil et al., (2014) juga menunjukkan bahwa aktivitas petir memiliki hubungan erat dengan parameter konvektif seperti curah hujan dan kelembaban atmosfer. Hal ini menjelaskan mengapa kluster dengan curah hujan tinggi cenderung memiliki kerapatan petir yang lebih besar.

Secara spasial, hasil pengelompokan menunjukkan adanya konsentrasi wilayah berpotensi sambaran petir tinggi pada daerah tertentu. Fenomena ini berkaitan dengan kondisi geografis Provinsi Sumatera Barat yang didominasi oleh pegunungan dan berdekatan dengan sumber uap air. Pengaruh orografi diketahui dapat meningkatkan proses pengangkatan massa lembab udara (*orographic lifting*), sehingga memperbesar peluang terbentuknya awan konvektif. Temuan ini juga konsisten dengan penelitian global yang menyatakan bahwa distribusi petir sangat dipengaruhi oleh topografi dan dinamika atmosfer lokal (Albrecht et al., 2016).

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa distribusi petir di Provinsi Sumatera Barat memiliki variasi spasial yang tinggi (Hardika et al., 2025; Saufina & Marzuki, 2016). Namun demikian, penelitian ini memberikan kontribusi tambahan dengan mengelompokkan wilayah berdasarkan kemiripan karakteristiknya menggunakan pendekatan *clustering*, sehingga menghasilkan kelompok yang lebih sistematis dalam mendukung prioritas mitigasi risiko. Pendekatan ini juga didukung oleh Jain et al., (2010) yang menyatakan bahwa metode *clustering* efektif dalam mengidentifikasi pola spasial dan pengelompokan berbasis karakteristik lingkungan.

PENUTUP

Hasil pengelompokan terhadap 19 kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Barat menggunakan metode *Agglomerative Hierarchical Clustering* menghasilkan empat kluster potensi sambaran petir yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi.

Wilayah dengan potensi sambaran petir rendah meliputi Kab. Kepulauan Mentawai, Kab. Pesisir Selatan, Kab. Pasaman, Kab. Solok Selatan, Kab. Dharmasraya, dan, Kab. Pasaman Barat. Wilayah dengan potensi sambaran petir sedang terdiri atas Kab. Solok, Kab. Sijunjung, Kab. Lima Puluh Kota Solok, Kota Sawahlunto, dan Kota Payakumbuh. Selanjutnya, potensi sambaran petir tinggi mencakup Kab. Tanah Datar, Kab. Padang Pariaman, Kab. Agam, Kota Padang, Kota Padang Panjang, dan Kota Pariaman. Adapun wilayah dengan potensi sambaran petir sangat tinggi hanya terdiri dari Kota Bukittinggi.

Hasil pengelompokan ini mengindikasikan bahwa wilayah perkotaan cenderung memiliki potensi sambaran petir yang lebih tinggi sehingga memerlukan prioritas mitigasi yang lebih intensif dibandingkan wilayah lainnya. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar dalam penentuan prioritas mitigasi serta penguatan perlindungan infrastruktur terhadap sambaran petir oleh lembaga terkait di Provinsi Sumatera Barat.

REFERENSI

- Albrecht, R. I., Goodman, S. J., Buechler, D. E., Blakeslee, R. J., & Christian, H. J. (2016). Where Are the Lightning Hotspots on Earth? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1(November), 2051–2068. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00193.1>
- Amarsin, A. A. A., & Yasir, A. M. (2023). Model of Lightning Strike Risk to Humans Based on Spatial Analysis and Environmental Factors. *Journal of Computation Physics and Earth Science*, 3(1), 1–7. <https://journal.physan.org/index.php/jocpes/index>
- Cecil, D. J., Buechler, D. E., & Blakeslee, R. J. (2014). Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description. *Atmospheres Research*, 135–136, 404–414.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2013JD021105>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th Ed). Annabel Ainscow.
- Han, J., Pei, J., & Tong, H. (2023). *Data Mining Concepts and Techniques* (4th Editio). Morgan Kaufmann.
- Hardika, D., Fauzi, M. A. E., & Samidi. (2025). 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. *Jurnal Sistem Informasi*, 14(6), 2943–2953.
- Jain, A. K., Murty, M. N., & Flynn, P. J. (2010). Data Clustering: A Riview. *Pattern Recognition Letters*, 1–69. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>
- Lavell, A., Oppenheimer, M., Diop, C., Hess, J., Lempert, R., Li, J., & Myeong, S. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 25–64. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- Murtagh, F., & Contreras, P. (2012). Algorithms for hierarchical clustering: An overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 86–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/widm.53>
- Ni'matuzzahroh, L., Dani, A. T. R., & Adrianingsih, N. Y. (2022). Clustering Regencies/Cities in Kalimantan Island Based on Poverty Indicators using Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC). *Jurnal Matematika, Statistika, Dan Komputasi*, 19(1), 79–89. <https://doi.org/10.20956/j.v19i1.20882>
- Pratama, D. A., Kurniawan, R. B., & Dica, O. R. (2018). Korelasi Frekuensi Sambaran Petir Terhadap Intensitas Curah Hujan di Kota Manado Tahun 2016. *Unnes Physics Journal*, 6(5), 12–18. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/upj%0AKorelasi>
- Rahayu, P. W., Sudipa, I. G. I., Suryani, Surachman, A., Ridwan, A., Darmawiguna, I. G. M., Sutoyo, M. N., Slamet, I., Harlina, S., & Maysanjaya, I. M. D. (2024). *Buku Ajar Data Mning* (P. S. P. Indonesia (ed.)).
- Saufina, E., & Marzuki. (2016). Distribusi Spasial dan Temporal Petir di Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 5(4), 303–312.
- Vadreas, A. K., Emeraldi, P., & Hazmi, A. (2014). Sistem Informasi Petir (SIP) Dengan Metode Lightning Distribution (LD) di Wilayah Sumatera Barat. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 3(2), 177. <https://doi.org/10.25077/jnte.v3n2.83.2014>
- Viona, F., Anshar, C. N., & Ridal, Y. (2025). Analisa Sistem Penangkal Petir pada Gedung Polda Sumatera Barat. *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil)*, 6(1), 53–66.
- Yulia, E. P., Nurhidayah, Rustan, & Fauziah, A. (2023). Analisis Kerapatan Sambaran Petir Jenis Cloud to Groun Berbasis Sistem Informasi Geografis di Wilayah Tanjung Jabung Timur. In *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika* (Vol. 07, Issue 01).
- Yusnaini, H., Marzuki, Muharsyah, R., Vonnisa, M., & Tangang, F. (2021). Influence of topography on lightning density in Sumatra. *Journal of Physics: Conference Series*, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1876/1/012022>