

Clustering Data Meteorologi di Pulau Kalimantan Menggunakan Algoritma K-Means

Jordi Pradipta Kusuma¹, Irvan Lewenusa², Teny Handhayani^{3*}

Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi

Universitas Tarumanagara

Jakarta, Indonesia

e-mail: ¹jordi.535190052@stu.untar.ac.id, ²@irvanl@fti.untar.ac.id, ³tenyh@fti.untar.ac.id

Diajukan: 29 Februari 2024; Direvisi: 3 April 2024; Diterima: 5 April 2024

Abstrak

Kalimantan merupakan salah satu pulau yang ada di wilayah Indonesia. Clustering data meteorologi pulau Kalimantan bertujuan untuk mengelompokkan kota-kota di wilayah tersebut guna mempelajari pertanda perubahan iklim. Artikel ini menggunakan data meteorologi time series harian dari 17 kota periode 1 Januari 2012 sampai 31 Juli 2023. Data dikumpulkan dari 17 kota yang tersebar di Pulau Kalimantan meliputi variabel temperatur minimum, temperatur maksimum, temperatur rata-rata, dan kecepatan angin rata-rata. Clustering dilakukan menggunakan metode K-Means dan K-Medoid. Metode Silhouette dan Davied Bouldin Index digunakan untuk memilih jumlah cluster optimal. Berdasarkan hasil evaluasi, metode K-Means mengungguli kinerja metode K-Medoid. Hasil eksperimen dengan menggunakan algoritma K-Means memperoleh jumlah cluster terbaik yaitu dua cluster dengan nilai Silhouette dan Davies Bouldin Index masing-masing sebesar 0.139 dan 1.923. Hasil clustering menggunakan metode K-Means memperoleh hasil kota Pontianak, Palangkaraya, Sambas, Ketapang, Sintang, Kapuas Hulu, Melawi, Kuburaya, Kotawaringin Barat, Kotawaringin Timur, Barito Selatan, dan Berau berada di Cluster 1. Tarakan, Balikpapan, Banjarmasin, Samarinda, dan Nunukan berada di Cluster 2. Trend tahunan variabel temperatur minimum di kota-kota cluster 1 mengalami kenaikan. Secara umum, tren tahunan menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata dari tahun 2012 – 2023 mengalami penurunan. Kenaikan temperatur dan penurunan kecepatan angin menjadi tanda adanya perubahan iklim.

Kata kunci: Clustering , Kalimantan, K-Means, Meteorologi, Silhouette.

Abstract

Kalimantan is one of the islands in Indonesia. Clustering meteorological data on the island of Kalimantan aims to group cities in the region to study signs of climate change. This article uses daily time series meteorological data from 17 cities for the period 1 January 2012 to 31 July 2023. Data was collected from 17 cities spread across Kalimantan Island including minimum temperature, maximum temperature, average temperature and average wind speed variables. Clustering was carried out using the K-Means and K-Medoid methods. The Silhouette method and the Davied Bouldin Index are used to select the optimal number of clusters. Based on the evaluation results, the K-Means method outperforms the K-Medoid method. The experimental results using the K-Means algorithm obtained the best number of clusters, namely two clusters with Silhouette and Davies Bouldin Index values of 0.139 and 1.923 respectively. The results of clustering using the K-Means method showed that the cities of Pontianak, Palangkaraya, Sambas, Ketapang, Sintang, Kapuas Hulu, Melawi, Kuburaya, West Kotawaringin, East Kotawaringin, South Barito and Berau were in Cluster 1. Tarakan, Balikpapan, Banjarmasin, Samarinda , and Nunukan is in Cluster 2. The annual trend of the minimum temperature variable in cluster 1 cities has increased. In general, the annual trend of average wind speed from 2012 – 2023 has decreased. Increasing temperatures and decreasing wind speeds are signs of climate change.

Keywords: Clustering , Kalimantan, K-Means, Meteorology, Silhouette.

1. Pendahuluan

Pulau Kalimantan terletak di kawasan Asia Tenggara yang memiliki iklim tropis memiliki beragam flora dan fauna. Kehidupan masyarakat Kalimantan dipengaruhi oleh kondisi geografi dan meteorologi. Meteorologi adalah ilmu atmosfer yang mempelajari karakteristik elemen cuaca, yaitu

kelembapan, arah, curah hujan, kecepatan angin, dan temperatur [1]. Perubahan iklim bumi selama beberapa dekade terakhir telah menjadi fokus perhatian ilmiah dan sosial. Perubahan iklim yang paling dekat akhir-akhir ini adalah peningkatan suhu atmosfer karena meningkatnya kadar karbon dioksida (CO₂) dan gas rumah kaca lainnya. Kuantitas curah hujan dan kejadiannya juga menjadi lebih tidak menentu. Di tempat-tempat tertentu, iklim ekstrem seperti kekeringan, banjir, waktu curah hujan dan pencairan salju juga meningkat [2] [3] [4] [5] [6] [7]. Perubahan kecepatan angin menjadi salah satu parameter perubahan iklim [8] [9].

Isu perubahan iklim menjadi salah satu program pembangunan berkelanjutan dari pemerintah Republik Indonesia [10], [11]. Penanganan perubahan iklim menjadi tanggung jawab bersama masyarakat dan pemerintah. Indonesia merupakan negara kepulauan sehingga kondisi geografis dari satu daerah dengan daerah lain berbeda-beda. Perbedaan kondisi geografis inilah yang mempengaruhi perbedaan kondisi meteorologi dan kemungkinan pola perubahan iklim juga berbeda. Beberapa penelitian terkait perubahan iklim di Indonesia telah dilakukan untuk berbagai tujuan misalnya untuk mengetahui karakteristik regional iklim dan pemetaan wilayah yang berguna sebagai informasi untuk mitigasi bencana. Analisis data meteorologi menggunakan data *time series* harian tahun 2010 – 2022 menyatakan bahwa beberapa kota di pulau Jawa mengalami peningkatan temperatur dan pengurangan kecepatan angin [9]. Hasil studi menggunakan data meteorologi tahun 2010 – 2022, kenaikan temperatur dan penurunan kecepatan angin juga dialami oleh beberapa kota di Indonesia Timur [12]. Tahun 2013 – 2019, Jakarta mengalami tren kenaikan temperatur sekitar 0.55°C [13].

Clustering merupakan metode populer untuk analisis data yang dimanfaatkan di berbagai bidang, misalnya *machine learning*, *data mining*, *pattern recognition*, analisis citra, dan bioinformatika. Clustering adalah proses pengelompokan sampel yang mirip ke dalam cluster yang berbeda atau partisi dari sebuah set data ke dalam subset, sehingga sampel dalam setiap subset sesuai dengan beberapa ukuran jarak yang ditentukan [14]. Clustering bertujuan untuk menyelesaikan masalah dalam mengasosiasikan, menyusun, mendeskripsikan, menyimpulkan, dan memvisualisasikan yang ditangani dengan pengelompokan. Clustering telah berhasil digunakan untuk melakukan pengelompokan wilayah berdasarkan data meteorologi, misalnya temperatur, curah hujan, dan kelembapan [15], [16], [17].

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian perubahan iklim di Indonesia. Permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana melakukan pemetaan wilayah di Pulau Kalimantan berdasarkan kondisi meteorologi untuk mendeteksi adanya pola perubahan iklim. Tujuan dari penelitian ini yaitu clustering kota-kota di Kalimantan berdasarkan data meteorologi untuk memetakan kelompok kota yang memiliki kesamaan perubahan iklim. Manfaat penelitian ini yaitu mengetahui kelompok kota di Kalimantan berdasarkan kemiripan kondisi meteorologi berdasarkan data histori *time-series* harian. Penelitian ini mengusulkan menggunakan algoritma K-Means clustering. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi tambahan untuk studi perubahan iklim di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Alur kerja penelitian ditampilkan pada Gambar 1. Tahap pertama yaitu pengumpulan data. Dataset dikumpulkan dari *website* resmi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) periode 1 Januari 2012 sampai dengan 31 Juli 2023. Dataset diambil dari *website* BMKG yang merupakan koleksi data dari 17 stasiun meteorologi yang tersebar di wilayah pulau Kalimantan [18]. Informasi detail tentang stasiun ditampilkan pada Tabel 1. Dataset yaitu data meteorologi *time-series* harian meliputi variabel *temperature* minimum, temperatur maksimum, temperatur rata - rata, dan kecepatan angin rata-rata. Temperatur diukur dalam satuan celsius dan kecepatan angin rata-rata dalam m/s. Tahap pra-pemrosesan data meliputi pembersihan data, penanganan *missing values*, dan integrasi data. Pembersihan data dilakukan untuk membersihkan data dari nilai-nilai yang tidak sesuai, misalnya nilai 8888 dan 9999 yang merupakan nilai bawaan ketika data tidak tersedia. Metode interpolasi linear digunakan untuk mengisi nilai-nilai yang hilang atau *missing values*. Data integrasi dilakukan untuk menggabungkan data dari berbagai stasiun meteorologi yang berbeda untuk membentuk satu format data yang bisa diterima oleh metode clustering. Data yang sudah menjadi format tunggal menjadi *input* bagi metode clustering. Hasil clustering dievaluasi menggunakan metode Silhouette. Hasil clustering kemudian dianalisis untuk mendapatkan informasi terkait kondisi meteorologi masing-masing cluster.



Gambar 1. Alur Kerja Penelitian.

J. MacQueen mengembangkan metode clustering K-Means pada tahun 1967 [9]. K-Means mempartisi n observasi menjadi k cluster yang mana setiap observasi termasuk dalam cluster dengan mean terdekat (pusat cluster atau centroid cluster). Metode K-means meminimalkan varians dalam cluster.

K-Medoids merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk menemukan medoids di dalam sebuah kelompok (cluster) yang merupakan titik pusat dari suatu kelompok (cluster). Pada tahun 1987, Leonard Kaufman dan Peter J. Rousseeuw mengembangkan metode clustering K-Medoids atau disebut sebagai algoritma Partition Around Medoids (PAM). Metode K-Medoid clustering mengelompokkan sejumlah samples ke dalam cluster. Cluster pada metode K-Medoid dibentuk berdasarkan jarak sampel ke medoid [9].

Kualitas hasil clustering dapat diukur menggunakan metode Silhouette [9] [19]. Silhouette menerapkan teknik separasi dan kohesi. Seberapa jauh antar cluster diukur menggunakan teknik separasi dan seberapa dekat antar objek dalam satu cluster diukur menggunakan kohesi. Nilai koefisien Silhouette yaitu antara -1 sampai 1. Semakin tinggi nilai Silhouette maka kualitas hasil clustering semakin baik. Validasi clustering dilakukan untuk menilai kualitas dan kekuatan hasil clustering. Davies Bouldin Index adalah metode untuk mengevaluasi algoritma clustering [20] [21]. Validasi seberapa baik pengelompokan dilakukan menggunakan kuantitas dan fitur yang melekat pada kumpulan data. Nilai indeks yang lebih rendah menunjukkan hasil clustering yang lebih baik. Rasio korelasi (*correlation ratio*) atau eta adalah ukuran hubungan lengkung antara sebaran statistik dalam kategori individu dan sebaran di seluruh populasi atau sampel [22]. Ukuran tersebut didefinisikan sebagai rasio dua standar deviasi yang mewakili jenis variasi. Rasio korelasi disebut juga dengan istilah ETA.

3. Hasil dan Pembahasan

Eksperimen pada penelitian ini menerapkan algoritma K-Means. Kinerja algoritma K-Means dibandingkan dengan K-Medoid. Clustering dievaluasi menggunakan metode Silhouette dan Davies Bouldin Index. Eksperimen dilakukan dengan jumlah cluster $k = \{2,3,4,5\}$. Tabel 1 menunjukkan daftar masing-masing kota beserta label cluster menggunakan K-Means ketika jumlah cluster $k = 2$. Analisis dilakukan pada hasil clustering menggunakan K-Means dengan jumlah cluster $k = 2$. Rasio korelasi (ETA) clustering K-Means ketika $k = 2$ dengan garis bujur yaitu 0.513. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan antara hasil clustering dan garis bujur.

Tabel 1. Daftar Kota di Kalimantan dan Label Cluster dari K-Means.

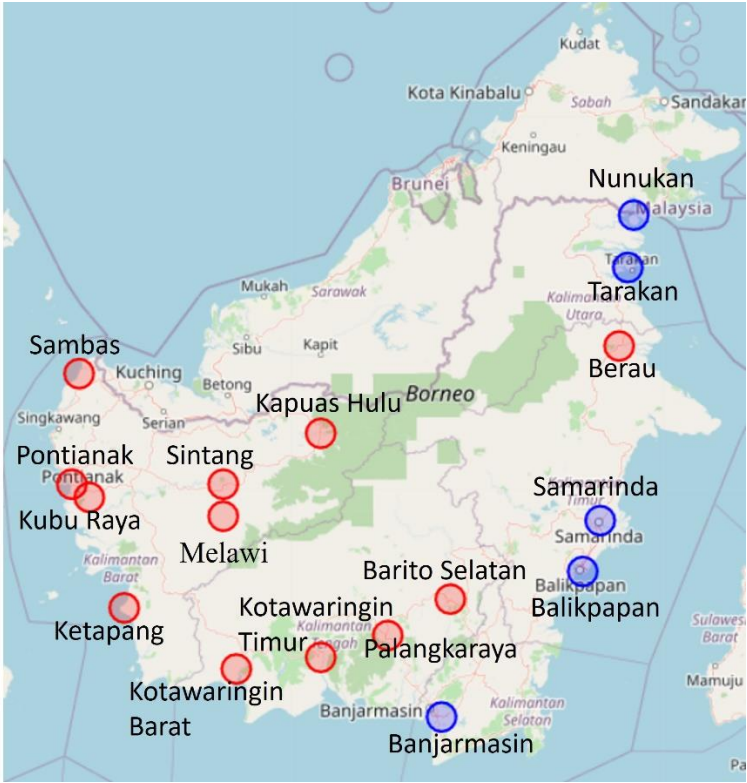
Kota	Stasiun Meteorologi	Bujur	Lintang	Elevasi	Cluster
Pontianak	Stasiun Klimatologi Kalimantan Barat	0.0750	109.19	2	1
Tarakan	Stasiun Meteorologi Juwata	3.3300	117.57	6	2
Balikpapan	Stasiun Meteorologi Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang	-1.2600	116.90	3	2
Palangkaraya	Stasiun Meteorologi Tjilik Riwut	-2.2200	113.95	27	1
Banjarmasin	Stasiun Meteorologi Syamsudin Noor	-3.4420	114.754	32	2
Sambas	Stasiun Meteorologi Paloh	1.74000	109.30	15	1
Ketapang	Stasiun Meteorologi Rahadi Oesman	-1.80000	109.97	9	1
Sintang	Stasiun Meteorologi Tebelian	0.06000	111.47	31	1
Kapuas Hulu	Stasiun Meteorologi Pangsuma	0.84000	112.93	43	1
Melawi	Stasiun Meteorologi Nangapinoh	-0.42000	111.47	40	1
Kuburaya	Stasiun Meteorologi Supadio	-0.14206	109.45	3	1
Kotawaringin Barat	Stasiun Meteorologi Iskandar	-2.7300	111.66	22	1
Kotawaringin Timur	Stasiun Meteorologi H. Asan	-2.5500	112.93	3	1
Barito Selatan	Stasiun Meteorologi Sanggu	-1.6700	114.90	37	1
Berau	Stasiun Meteorologi Kalimantan	2.14562	117.43375	13	1
Samarinda	Stasiun Meteorologi Aji Pangeran Tumenggung Pranoto	-0.4800	117.16	10	2
Nunukan	Stasiun Meteorologi Nunukan	4.1300	117.67	8	2

Tabel 2. Perbandingan Kinerja K-Means dan K-Medoid.

Algoritma	Jumlah Cluster	Silhouette Score	Davies Bouldin Index	ETA Lintang	ETA Bujur	ETA Elevasi
K-Means	2	0.139	1.923	0.048	0.513	0.079
K-Means	3	0.089	2.092	0.395	0.694	0.201
K-Means	4	0.090	1.781	0.614	0.775	0.103
K-Medoid	2	0.051	2.762	0.015	0.032	0.266
K-Medoid	3	0.049	2.109	0.059	0.669	0.334
K-Medoid	4	0.013	2.470	0.014	0.805	0.482

Perbandingan kinerja K-Means dan K-Medoid ditampilkan pada Tabel 2. Algoritma K-Means memperoleh nilai Silhouette tertinggi ketika jumlah cluster $k = 2$ dan nilai indeks Davies Bouldin yang lebih rendah dari metode K-Medoid. Hal ini menunjukkan bahwa K-Means memiliki kinerja yang lebih unggul dari K-Medoid untuk mengelompokkan kota-kota di Kalimantan sesuai kondisi meteorologinya. Hasil clustering dari algoritma K-Means selanjutnya digunakan untuk melakukan analisis.

Visualisasi clustering kota-kota di wilayah Kalimantan menggunakan metode K-Means ditampilkan pada Gambar 2. Pontianak, Palangkaraya, Sambas, Ketapang, Sintang, Kapuas Hulu, Melawi, Kuburaya, Kotawaringin Barat, Kotawaringin Timur, Barito Selatan, dan Berau berada di cluster 1. Tarakan, Balikpapan, Banjarmasin, Samarinda, dan Nunukan berada di cluster 2. Sebagian besar kota-kota yang berada di pantai bagian timur berada di cluster 2. Berdasarkan visualisasi dan nilai asio korelasi (ETA), kondisi iklim di kota-kota kalimantan dipengaruhi oleh letak geografis terhadap garis bujur.

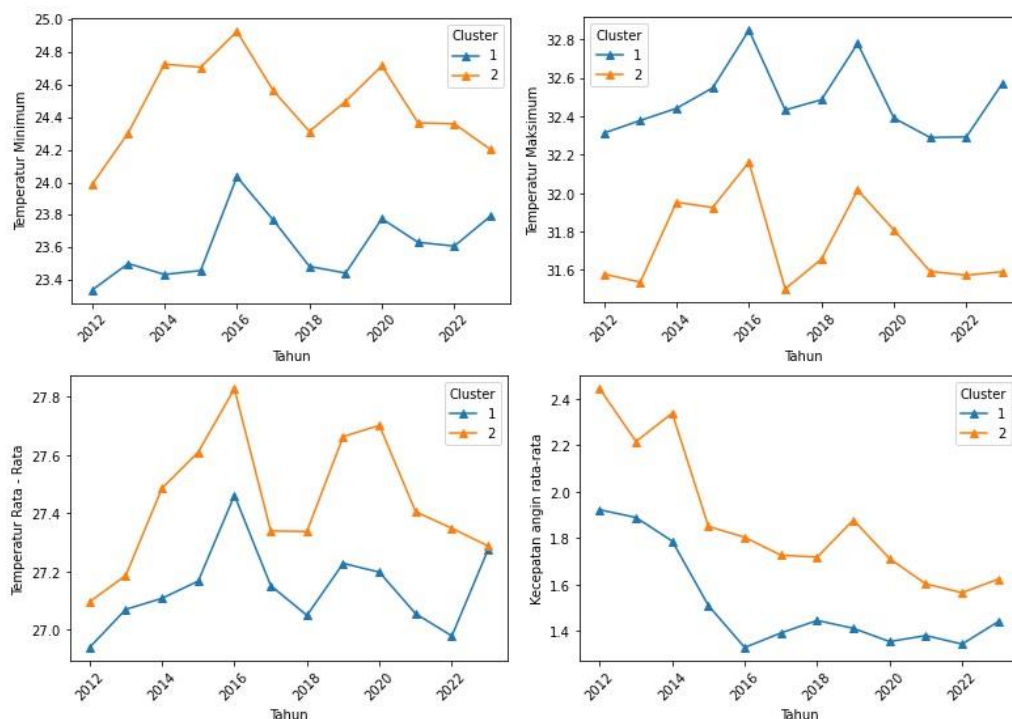


Gambar 2. Visualisasi clustering kota-kota di Kalimantan.

Gambar 3 dan Gambar 4 menampilkan tren bulanan dan tren tahunan variabel temperatur dan kecepatan angin dari Cluster 1 dan Cluster 2. Secara umum, kota-kota di cluster 2 memiliki temperatur minimum dan temperatur rata-rata lebih panas dibandingkan kota-kota di cluster 1. Akan tetapi, kota-kota di cluster 2 memiliki temperatur maksimum yang lebih dingin dari kota-kota di cluster 1. Kecepatan angin rata-rata terendah terjadi pada bulan Mei dan November. Tren tahunan temperatur minimum di kota-kota cluster 1 dari tahun 2012 – 2023 mengalami sedikit kenaikan. Kota-kota di cluster 2 cenderung lebih panas dibandingkan dengan kota-kota di cluster 1. Langkah yang harus dilakukan yaitu analisis lebih lanjut

mengenai faktor yang mempengaruhi peningkatan temperatur di wilayah-wilayah terdampak sehingga dapat mengantisipasi adanya efek negatif akibat kenaikan suhu. Tren tahunan kecepatan angin rata-rata pada kota-kota di cluster 1 dan cluster 2 mengalami penurunan. Penambahan temperatur dan pengurangan kecepatan angin dapat menjadi isyarat bahwa perubahan iklim terjadi di wilayah tersebut. Tren penurunan kecepatan angin dan kenaikan *temperature* juga terjadi di beberapa kota di Indonesia [13] [14] [15]. Dampak penurunan kecepatan angin yang konsisten akan mempengaruhi ketersediaan sumber energi yang berasal dari tenaga angin [23].

Penelitian ini hanya menggunakan variabel temperatur dan kecepatan angin sehingga analisis menyeluruh terhadap kondisi meteorologi belum dapat dilakukan. Analisis menyeluruh menggunakan data *temperature*, kecepatan angin, curah hujan, kelembapan dan lama penyinaran matahari dapat menghasilkan analisis yang lebih handal untuk pemetaan wilayah terkait perubahan iklim di Kalimantan.



Gambar 3. Tren Tahunan Variabel Temperatur dan Kecepatan Angin Periode 2012-2023.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu algoritma K-Means mengungguli kinerja metode K-Medoid untuk melakukan clustering kota-kota di Pulau Kalimantan berdasarkan data meteorologi *time series* harian variabel temperatur dan kecepatan angin pada periode 1 Januari 2012 – 31 Juli 2023. Metode K-Means memperoleh skor Silhouette optimal sebesar 0.139 ketika jumlah cluster $k = 2$. K-Means mengelompokkan beberapa kota yaitu Pontianak, Palangkaraya, Sambas, Ketapang, Sintang, Kapuas Hulu, Melawi, Kuburaya, Kotawaringin Barat, Kotawaringin Timur, Barito Selatan, dan Berau di cluster 1 dan kota Tarakan, Balikpapan, Banjarmasin, Samarinda, dan Nunukan di cluster 2. Tren tahunan menampilkan adanya tren kenaikan pada variabel temperatur minimum di kota-kota yang berada di cluster 1. Lebih lanjut, tren tahunan juga menemukan bahwa kecepatan angin rata-rata berkurang secara konsisten dari tahun 2012 – 2023. Kekurangan dari penelitian ini yaitu belum memasukkan variabel curah hujan dan kelembapan karena keterbatasan ketersediaan data. Saran untuk penelitian berikutnya yaitu melakukan clustering wilayah berdasarkan data meteorologi dengan melibatkan variabel temperatur, kecepatan angin, curah hujan, kelembapan, dan lama penyinaran matahari. Penelitian akan dilanjutkan dengan melakukan analisis sebab akibat dari variabel data meteorologi untuk mempelajari pengaruh perubahan iklim.

Daftar Pustaka

- [1] S. Verma and B. Desai, "Effect of Meteorological Conditions on Air Pollution of Surat City," *Journal of International Environmental Application and Science*, pp. 358–367, 2008.
- [2] L. Q. Avia, "Change in rainfall per-decades over Java Island, Indonesia," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 374, no. 1, p. 012037, Nov. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/374/1/012037.
- [3] H. Tabari, "Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability," *Sci Rep*, vol. 10, no. 1, p. 13768, Aug. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-70816-2.
- [4] L. Laurent *et al.*, "The impact of climate change and glacier mass loss on the hydrology in the Mont-Blanc massif," *Sci Rep*, vol. 10, no. 1, p. 10420, Jun. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-67379-7.
- [5] M. Shahgedanova, "Climate change and melting glaciers," in *The Impacts of Climate Change*, Elsevier, 2021, pp. 53–84. doi: 10.1016/B978-0-12-822373-4.00007-0.
- [6] H. Saidah, L. Hanifah, and I. D. G. J. Negara, "Climate Change Impact on Drought Characteristics in North Lombok Regency," *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 9, no. 5, pp. 2332–2340, May 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9i5.2380.
- [7] R. Varghese, P. Patel, D. Kumar, and R. Sharma, "Climate change and glacier melting: risks for unusual outbreaks?," *J Travel Med*, vol. 30, no. 4, Jun. 2023, doi: 10.1093/jtm/taad015.
- [8] Á. Arroyo, Á. Herrero, V. Tricio, and E. Corchado, "Analysis of meteorological conditions in Spain by means of clustering techniques," *Journal of Applied Logic*, vol. 24, pp. 76–89, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.jal.2016.11.026.
- [9] T. Handhayani and Z. Rusdi, "K-Means Using Dynamic Time Warping For Clustering Cities in Java Island According to Meteorological Conditions," in *2023 Eighth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, IEEE, Dec. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICIC60109.2023.10381899.
- [10] Bappenas, "SDGs KNOWLEDGE HUB Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan," <https://sdgs.bappenas.go.id/>.
- [11] BAPPENAS, *Pedoman Teknik Penyusunan Rencana Aksi Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Edisi II*. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, 2020.
- [12] G. Andrian, D. Arisandi, and T. Handhayani, "CLUSTERING DATA METEOROLOGI WILAYAH INDONESIA TIMUR DENGAN METODE K-MEANS DAN FUZZY C-MEANS," *INTI Nusa Mandiri*, vol. 18, no. 2, pp. 100–106, Feb. 2024, doi: 10.33480/inti.v18i2.5039.
- [13] T. Handhayani, "An integrated analysis of air pollution and meteorological conditions in Jakarta," *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, p. 5798, Apr. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-32817-9.
- [14] C. X. Gao *et al.*, "An overview of clustering methods with guidelines for application in mental health research," *Psychiatry Res*, vol. 327, p. 115265, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.psychres.2023.115265.
- [15] K. F. Silveira Marinho *et al.*, "Climate Profiles in Brazilian Microregions," *Atmosphere (Basel)*, vol. 11, no. 11, p. 1217, Nov. 2020, doi: 10.3390/atmos11111217.
- [16] A. de Souza *et al.*, "Climate Regionalization in Mato Grosso do Sul: a Combination of Hierarchical and Non-hierarchical Clustering Analyses Based on Precipitation and Temperature," *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 65, 2022, doi: 10.1590/1678-4324-2022210331.
- [17] B. Guerreiro Miranda, R. Galante Negri, and L. Albertani Pampuch, "Using clustering algorithms and GPM data to identify spatial precipitation patterns over southeastern Brazil," *Atmósfera*, vol. 37, pp. 365–381, Mar. 2023, doi: 10.20937/ATM.53155.
- [18] BMKG, "Pusat Database BMKG," <https://dataonline.bmkg.go.id/home>.
- [19] T. Handhayani and I. Lewenusa, "An Intelligent Clustering Approach For Analyzing A Multivariate Time Series Dataset, Case Study COVID-19 Outbreak in Indonesia," in *2023 17th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, IEEE, Oct. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/TSSA59948.2023.10367007.
- [20] D. L. Davies and D. W. Bouldin, "A Cluster Separation Measure," *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, vol. PAMI-1, no. 2, pp. 224–227, Apr. 1979, doi: 10.1109/TPAMI.1979.4766909.
- [21] A. Tania, T. Handhayani, and J. Hendryli, "PERBANDINGAN ANTARA ALGORITMA K-MEANS DAN ALGORITMA BISECTING K-MEANS DALAM MENGANALISIS GEMPA BUMI DI INDONESIA," *Simtek : jurnal sistem informasi dan teknik komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 265–270, Oct. 2023, doi: 10.51876/simtek.v8i2.205.
- [22] T. Handhayani and I. Lewenusa, "An Intelligent Clustering Approach For Analyzing A Multivariate Time Series Dataset, Case Study COVID-19 Outbreak in Indonesia," in *2023 17th*

-
- International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, IEEE, Oct. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/TSSA59948.2023.10367007.
- [23] A. Martinez and G. Iglesias, “Global wind energy resources decline under climate change,” *Energy*, vol. 288, p. 129765, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.energy.2023.129765.