

# PEMETAAN DAN KLASTERISASI DAERAH RAWAN BENCANA ALAM DI PROVINSI SULAWESI TENGAH MENGGUNAKAN K-MEANS

Refli Bob Sippan\*<sup>1)</sup>, Nina Setiyawati<sup>2)</sup>

1. Universitas Kristen Satya Wacana, Indonesia
2. Universitas Kristen Satya Wacana, Indonesia

## Article Info

**Kata Kunci:** Algoritma *K-Means*; Daerah Rawan Bencana Alam; Klasterisasi; *Leaflet Js*; Pemetaan

**Keywords:** *Clustering*; *Disaster Prone Area*; *K-Means Algorithm*; *Leaflet Js*; *Mapping*

## Article history:

Received 10 Oktober 2024

Revised 7 November 2024

Accepted 11 Desember 2024

Available online 15 March 2025

## DOI :

<https://doi.org/10.29100/jupi.v10i2.6161>

\* Corresponding author.

Refli Bob Sippan

E-mail address:

[672020076@student.uksw.edu](mailto:672020076@student.uksw.edu)

## ABSTRAK

Secara geografis Provinsi Sulawesi Tengah terletak di antara pertemuan tiga lempeng serta dilintasi garis khatulistiwa, menyebabkan daerah Provinsi Sulawesi Tengah menjadi daerah yang cukup rawan terhadap berbagai bencana alam. Bencana alam yang terjadi dapat memberikan dampak besar terhadap lingkungan dan kehidupan masyarakat. Mengantisipasi sekaligus meminimalisir dampak yang akan terjadi akibat bencana, perlu dilakukan identifikasi wilayah yang beresiko tinggi terhadap bencana alam. Penelitian ini bertujuan melakukan pengelompokan daerah rawan bencana alam di Provinsi Sulawesi Tengah menggunakan algoritma *K-Means* serta merancang sistem informasi berbasis web untuk visualisasi data hasil *clustering* ke dalam bentuk peta interaktif. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat lima daerah Kabupaten atau Kota di Provinsi Sulawesi Tengah yang masuk dalam kategori Daerah Rawan Bencana, dan delapan daerah yang masuk dalam kategori Daerah Tidak Rawan Bencana dengan hasil yang divisualisasikan ke dalam bentuk peta interaktif pada sistem informasi berbasis web yang telah dirancang. Hasil *clustering* dapat dikatakan sudah optimal, dibuktikan dengan hasil pengujian berdasarkan *Davies Bouldin Index* yang mendekati nol dengan nilai 0,6531711248. Adapun hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi alat dan acuan yang berguna bagi pemerintah serta pihak terkait dalam upaya perencanaan strategi mitigasi bencana dan meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana alam di Provinsi Sulawesi Tengah.

## ABSTRACT

*Geographically, Central Sulawesi Province is located between the confluence of three plates and is crossed by the equator, causing the Central Sulawesi Province area to be quite prone to various natural disasters. Natural disasters that occur can have a major impact on the environment and people's lives. Anticipating and minimizing the impact that will occur due to disasters, it is necessary to identify areas that are at high risk of natural disasters. This study aims to cluster natural disaster-prone areas in Central Sulawesi Province using the K-Means algorithm and design a web-based information system for the visualization of clustered data into the form of an interactive map. The results of this study show that there are five districts or cities in Central Sulawesi Province that are included in the category of Disaster Prone Areas, and eight areas that are included in the category of Non-Disaster Prone Areas with the results visualized in the form of interactive maps on the web-based information system that has been designed. The clustering results can be said to be optimal, as evidenced by the test results based on the Davies Bouldin Index which is close to zero with a value of 0.6531711248. The results of this study are expected to be a useful tool and reference for the government and related parties in efforts to plan disaster mitigation strategies and increase community preparedness for natural disasters in Central Sulawesi Province.*

## I. PENDAHULUAN

**B**ENCANA alam merupakan peristiwa alam yang seringkali dapat menimbulkan kerusakan serius, korban jiwa, dan dampak ekonomi yang signifikan. Indonesia yang secara geologis terletak di pertemuan tiga lempeng yaitu lempeng Australia, Eurasia, dan Pasifik, serta adanya aktivitas pergerakan lempeng tektonik aktif dan pengaruh iklim serta cuaca menyebabkan Indonesia kerap dilanda bencana alam seperti angin puting beliung, banjir, gempa bumi, letusan gunung api, tanah longsor, tsunami, serta bencana lainnya. Akibatnya, masyarakat mengalami berbagai permasalahan seperti kerugian materil, efek traumatis, konflik sosial, serta kematian [1], [2].

Provinsi Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah di Indonesia yang menjadi wilayah pertemuan tiga lempeng yang menyebabkan wilayah ini sangat rawan terhadap bencana alam, salah satunya adalah gempa bumi. Selain itu garis khatulistiwa yang melintasi semenanjung utara Sulawesi Tengah membuat daerah ini menjadi daerah tropis yang dapat berpotensi menyebabkan banjir [3]. Berdasarkan data yang dihimpun secara *online* dari laman resmi Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) sejak tahun 2018 sampai dengan 2023 di wilayah Sulawesi Tengah telah terjadi sebanyak 282 bencana alam seperti bencana angin puting beliung, banjir, gempa bumi, kebakaran, tanah longsor, tsunami, dan bencana lainnya yang telah menimbulkan dampak besar baik korban jiwa, kerugian materil, dan dampak lainnya.

Kondisi geografis serta geologis wilayah Provinsi Sulawesi Tengah yang berbeda dengan wilayah lainnya menjadi dasar pemilihan wilayah ini sebagai fokus penelitian. Kondisi geografis yang menyebabkan wilayah ini sangat rawan terhadap bencana seperti gempa bumi dimana tercatat pada tahun 2018 telah terjadi bencana gempa bumi berkekuatan 7,5 SR disusul bencana tsunami serta fenomena likuifaksi yang berdampak sangat besar terhadap kehidupan masyarakat daerah terdampak seperti kerusakan infrastruktur, dampak sosial ekonomi, serta banyak korban jiwa. Selain itu bencana banjir dan tanah longsor yang terjadi setiap tahunnya selama musim penghujan juga menyebabkan dampak besar bagi kehidupan masyarakat [4].

Terdapat beberapa penelitian yang pernah dilakukan dengan menggunakan algoritma *K-Means* untuk pemetaan dan *clustering*. Penelitian pertama berjudul “Pemetaan Potensi Bencana di Jawa Tengah Menggunakan Google Maps API dan KML dengan Metode *K-Means*” membahas penggunaan algoritma *k-means* dalam proses pengelompokan data dengan alur yang tersusun dimulai dari penentuan jumlah kelompok, pengalokasian data ke dalam *cluster* secara acak, menghitung pusat *cluster* (*centroid* atau rata-rata) dari data dalam setiap *cluster*, mengalokasikan tiap data ke *centroid* atau jarak minimum. Dalam penelitian ini dikatakan bahwa dari antara beberapa algoritma *clustering*, algoritma *k-means* dikenal sebagai salah satu metode terkemuka untuk mengelompokkan pola pada dataset [2].

Penelitian kedua yaitu “*Clustering* Zonasi Daerah Rawan Bencana Alam di Kabupaten Mandailing Natal menggunakan Algoritma *K-Means*” menjelaskan bahwa algoritma *k-means* berhasil diterapkan untuk menentukan daerah rawan bencana khususnya bencana banjir. Perhitungan algoritma *K-Means* dilakukan dengan beberapa langkah yakni normalisasi data, penentuan jumlah *cluster* (menggunakan tiga *cluster* yakni sangat rawan C1, rawan C2, dan tidak rawan C3), menetapkan *centroid* awal, dan proses perhitungan iterasi (iterasi awal dan iterasi kedua). Adapun hasil dari *clustering* diimplementasikan melalui sistem berbasis web yang dirancang dengan bahasa pemrograman PHP [5].

Penelitian lain dengan judul “Penerapan Metode *K-Means Clustering* Untuk Pemetaan Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Malang Berbasis *Website*” membahas tentang pemetaan daerah rawan kecelakaan lalu lintas berbasis web menggunakan metode *K-Means Clustering*. Setiap daerah diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu Sangat Rawan, Rawan, dan Cukup Rawan. Peneliti membandingkan hasil perhitungan manual menggunakan *Microsoft Excel* dengan perhitungan menggunakan Web, selanjutnya dilakukan pengujian metode menggunakan aturan *lift ratio* dengan hasil 2,5 yang menyatakan bahwa proses *cluster* menggunakan *K-Means* dikatakan kuat. Hal ini mengacu pada aturan *lift ratio* yang menyatakan bahwa nilai dari aturan *cluster* dikatakan kuat apabila hasil akhir pengujian adalah lebih dari satu. Sistem ini diimplementasikan dalam bentuk aplikasi berbasis web dengan hasil dari *clustering* divisualisasikan dalam bentuk peta [6].

Pada penelitian ini dilakukan pengelompokan dan pemetaan daerah rawan bencana alam di Provinsi Sulawesi Tengah berbasis web menggunakan *K-Means* dengan tujuan untuk mengidentifikasi daerah-daerah rawan bencana alam sehingga masyarakat dapat mempersiapkan diri dalam menghadapi resiko kemungkinan terjadinya bencana alam dan dapat digunakan pemerintah dan pihak terkait sebagai panduan untuk perencanaan kebijakan dalam upaya mengurangi dampak bencana alam di masa depan. Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang terletak pada bagaimana penelitian ini berfokus di Provinsi Sulawesi Tengah yang memiliki kondisi geografis dengan resiko bencana yang lebih kompleks serta cakupan jenis bencana yang dianalisis lebih variatif dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang memungkinkan identifikasi pola lebih kompleks dan

mendalam serta membantu mengungkap interaksi antar variabel yang mungkin tidak terlihat jika hanya menggunakan satu atau dua jenis bencana.

Adapun data hasil *clustering* akan diimplementasikan melalui sistem berbasis web dan divisualisasikan ke dalam bentuk peta interaktif dengan memanfaatkan *library leaflet js* yang memungkinkan pembuatan peta interaktif sekaligus informatif dimana pengguna dapat memperbesar, memperkecil serta menjelajahi peta dengan mudah. Selain itu *library leaflet js* juga mendukung kustomisasi penggunaan *plugin* yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik seperti *marker point* dan *popup* untuk menampilkan informasi detail tentang data hasil *clustering* secara dinamis.

## II. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah melalui empat tahapan yang diuraikan secara sistematis seperti pada Gambar 1.



Gambar. 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

### A. Pengumpulan Data dan Kebutuhan Sistem

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data mengenai data bencana alam di Provinsi Sulawesi Tengah serta analisis kebutuhan sistem untuk perancangan sistem berbasis web. Data dan informasi yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis untuk mendapatkan informasi data yang sesuai dan kebutuhan sistem yang akan dirancang. Kebutuhan sistem yang dimaksud meliputi fitur apa saja yang diperlukan serta teknologi yang dibutuhkan untuk proses perancangan sistem. Data yang dibutuhkan merupakan data bencana alam Provinsi Sulawesi Tengah berdasarkan Kabupaten atau Kota periode lima tahun terakhir yakni dari tahun 2019 sampai dengan tahun 2023. Data didapat secara *online* dari situs resmi Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi Sulawesi Tengah. Adapun Proses pembangunan aplikasi sistem informasi berbasis web ini menggunakan beberapa *software* dan juga *hardware* sebagai alat dan sistem pendukung proses pembangunan sistem yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem dan keterampilan dari peneliti.

### B. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan proses pengolahan data yang dimana data bencana alam di Provinsi Sulawesi Tengah yang telah didapatkan kemudian diinputkan ke dalam sistem yang telah dibuat untuk dilakukan proses *clustering* menggunakan algoritma *K-Means Clustering*. Setelah proses *clustering* dilakukan, data hasil kemudian divisualisasikan ke dalam bentuk peta interaktif pada sistem informasi berbasis web yang telah dirancang dengan memanfaatkan *Library Leaflet Js*.

Data yang diperoleh diolah dengan melakukan pemilihan jenis bencana yang sering terjadi di daerah Provinsi Sulawesi Tengah serta membuang data-data yang tidak diperlukan dalam penelitian seperti atribut nama desa dan kecamatan di tiap kabupaten, hal ini disebabkan karena data wilayah yang diperlukan hanya sampai pada skala kabupaten dan kota. Selain itu, terdapat penambahan beberapa atribut pada data yang akan dimasukkan ke dalam database untuk proses pemetaan seperti data geospasial yang meliputi data latitude dan longitude setiap kabupaten dan kota untuk penentuan posisi *mark point* pada peta yang dirancang. Penghapusan dan penambahan beberapa atribut merupakan bagian dari normalisasi data yang ada.

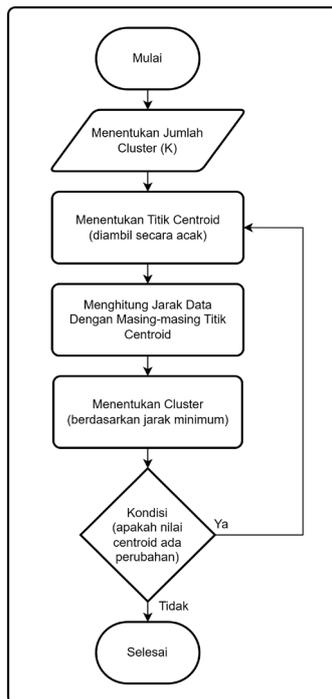
#### 1) Algoritma *K-Means*

Algoritma *K-Means* adalah suatu metode *clustering* atau pengelompokan data berbasis partisi dengan mengelompokkan data menjadi beberapa kelompok [7], [8]. Data yang memiliki karakteristik sama akan dikumpulkan menjadi satu kelompok yang sama, serta data yang memiliki karakteristik berbeda akan dikelompokkan ke dalam kelompok lainnya. Pengelompokan data bertujuan untuk meminimalkan perbedaan dalam kelompok serta memaksimalkan perbedaan antar kelompok [9], [10].

Algoritma *K-Means* juga dapat diartikan sebagai salah satu algoritma data mining untuk menyelesaikan masalah *clustering*, dimana algoritma ini juga termasuk dalam kelompok *Unsupervised Learning*. Dalam proses pengelompokan data terdapat titik pusat (*centroid*) yang merepresentasikan *cluster* yang ada [11], [12].

Pemilihan algoritma *K-Means* untuk penelitian ini didasarkan pada efisiensi, kesederhanaan, dan fleksibilitasnya dalam mengelola data besar dan beragam. Meskipun ada keterbatasan seperti penentuan jumlah *cluster* dan sensitivitas terhadap penyimpangan data, keuntungan *K-Means* dalam hal kesederhanaan, skalabilitas dan integrasi

dengan alat visualisasi menjadikan algoritma ini sebagai pilihan yang tepat untuk digunakan dalam penelitian ini. Alur proses *clustering* diuraikan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 2.



Gambar. 2. Digram Alur Proses *Clustering*

Langkah pertama adalah menentukan nilai  $K$  sebagai jumlah *cluster* yang akan dibentuk, pada penelitian ini jumlah *cluster* yang ditentukan adalah sebanyak dua *cluster*. Penentuan jumlah *cluster* didasarkan pada ketersediaan dan variasi data, tujuan analisis data memberikan rekomendasi atau kebijakan yang lebih sederhana dan mudah diterapkan, selain itu berdasarkan hasil pengamatan data menunjukkan bahwa ada dua kategori besar yang berbeda: satu kategori dengan frekuensi bencana tinggi dan satu kategori dengan frekuensi bencana rendah. Selanjutnya langkah kedua menentukan titik *centroid* yang diambil secara acak dari data yang ada. Langkah ketiga adalah dengan persamaan *Euclidean Distance*, dilakukan pengukuran rentang tiap data dengan titik pusat. Perhitungan ini bertujuan untuk mencari rentang terdekat setiap data dengan titik pusat. Adapun persamaan *Euclidean* yang digunakan untuk menghitung jarak data dengan masing-masing *centroid* adalah seperti pada Persamaan (1).

$$D(i, j) = \sqrt{(X_{1i} - X_{1j})^2 + (X_{2i} - X_{2j})^2 + \dots + (X_{ki} - X_{kj})^2} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) diketahui bahwa  $D(i, j)$  merupakan jarak data  $i$  ke pusat *cluster*  $j$ ,  $X_{ki}$  merupakan data ke  $i$  pada atribut  $k$ , dan  $X_{kj}$  merupakan *centroid* data  $j$  pada atribut ke  $k$ . Adapun untuk mencari pusat *centroid* baru untuk iterasi selanjutnya, dilakukan dengan menggunakan persamaan seperti pada Persamaan (2).

$$Clustercenter = \sum \frac{a_i}{n} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2) diketahui bahwa  $a_i$  adalah nilai keanggotaan dari masing-masing *cluster*, dan  $n$  adalah jumlah anggota dalam *cluster*. Selanjutnya langkah keempat yakni mengklasifikasikan *cluster* yang meliputi pengelompokan data yang telah dihitung jaraknya berdasarkan *cluster* yang telah ditentukan. Langkah terakhir adalah cek data apakah nilai *centroid* baru ada perubahan atau tidak. Jika ada perubahan, maka lakukan pengulangan dari proses hitung jarak data dengan masing-masing *centroid*, sebaliknya jika tidak ada perubahan, maka perhitungan dihentikan dan proses berakhir.

## 2) *Clustering*

*Clustering* adalah proses pengelompokan data yang melibatkan pembagian data ke dalam beberapa kelompok dengan data dalam satu kelompok memiliki kemiripan tinggi dan data antar kelompok memiliki kemiripan rendah (Fatmawati & Windarto, 2018). Proses *clustering* akan membantu mengidentifikasi struktur data sehingga

memungkinkan untuk pengelompokan data berdasarkan pola atau karakteristik yang mungkin tidak terlihat secara langsung [13], [14].

### 3) Davies Bouldin Index

*Davies Bouldin Index* (DBI) digunakan untuk mengukur kualitas *K-Means Algorithm* dalam pengelompokan atau menentukan jumlah *cluster* dengan cara meminimalisir jarak antar objek dalam satu *cluster*, serta memaksimalkan jarak antara *cluster* satu dengan *cluster* lainnya. Dalam skema DBI dikatakan bahwa nilai pengelompokan menggunakan *K-Means Algorithm* akan semakin baik jika hasil DBI bernilai semakin kecil (non-negatif  $\geq 0$ ) [7], [15]. Rumus untuk melakukan pencarian nilai DBI dapat dilihat pada Persamaan (3).

$$DBI = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \max_{i \neq j} (R_{i,j}) \quad (3)$$

Pada Persamaan (3),  $K$  adalah jumlah *cluster*, dan  $R_{ij}$  adalah nilai ratio. Sebelum melakukan perhitungan untuk mencari nilai *Davies Bouldin Index* (DBI), terlebih dahulu dilakukan pencarian nilai kohesi menggunakan Persamaan (4), nilai separasi menggunakan Persamaan (5), dan nilai ratio menggunakan persamaan (6).

$$MK_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} d(x_j, c_i) \quad (4)$$

Persamaan (4) merupakan rumus yang digunakan untuk mengetahui matrik kohesi dalam suatu *cluster*, dimana diketahui  $m_i$  adalah jumlah data dalam *cluster* ke  $i$ ,  $c_i$  adalah titik pusat atau *centroid cluster* ke  $i$ , dan  $d(x_j, c_i)$  adalah jarak data ke  $i$ , ke titik *cluster*  $i$ . Setelah nilai matrik kohesi ditemukan maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai separasi antar *cluster* menggunakan rumus seperti pada Persamaan (5) berikut.

$$SP_{i,j} = d(c_i, c_j) \quad (5)$$

Selanjutnya setelah didapatkan nilai kohesi dan separasi, dilakukan pengukuran nilai ratio menggunakan persamaan (6) untuk menentukan nilai perbandingan antara *cluster* ke  $i$ , dan *cluster* ke  $j$ . Hasil perhitungan nilai ratio kemudian dipakai untuk menentukan nilai DBI menggunakan Persamaan (3).

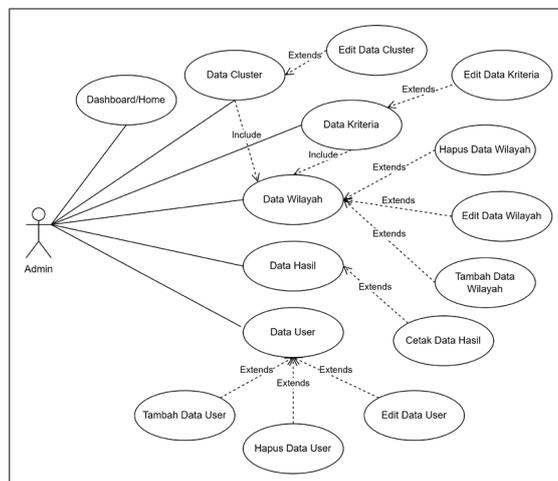
$$R_{ij} = \frac{MK_i + MK_j}{SP_{i,j}} \quad (6)$$

## C. Perancangan dan Pengujian Sistem

Tahapan ini dilakukan setelah tahapan pengumpulan data dan kebutuhan sistem telah selesai. Meliputi proses perancangan sistem yang terdiri dari *Use Case Diagram*, *Activity Diagram*, Implementasi atau Pengkodean, dan Pengujian sistem. Pengkodean dilakukan dengan menggunakan Bahasa pemrograman PHP serta memanfaatkan *Library Leaflet Js* untuk visualisasi data hasil ke dalam bentuk peta.

### 1) Use Case Diagram

*Use Case Diagram* merupakan salah satu model diagram *Unified Modeling Language* (UML) yang dirancang dan dipakai mengidentifikasi fungsi-fungsi yang ada dalam suatu sistem serta pihak-pihak dapat menggunakan fungsi tersebut [2], [16]. Selain itu *Use Case Diagram* mengilustrasikan rangkaian hubungan yang saling berkaitan antara sistem dengan *user* [17].

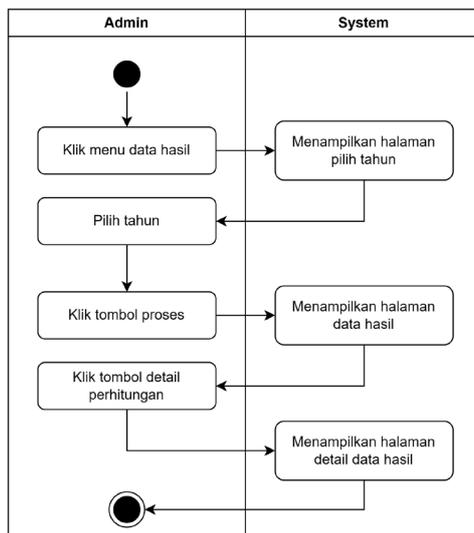


Gambar. 3. Use Case Diagram

*Use Case Diagram* seperti pada Gambar 3 menunjukkan bagaimana fungsional sistem dari sudut pandang pengguna. Pada *Use Case* tersebut terdapat aktor yang merupakan *user* atau pengguna yang pada sistem ini yang disebut sebagai admin. Admin memiliki akun untuk bisa *login* ke sistem. Adapun admin *login* terlebih dahulu kemudian mengakses menu-menu yang ada di dalam sistem yang terdiri dari menu *Home*, *Data Wilayah*, *Data Kriteria*, *Data Cluster*, *Data Hasil*, dan *Data User*.

## 2) Activity Diagram

*Activity Diagram* merupakan salah satu model diagram *Unified Modeling Language* (UML) yang menggambarkan bagaimana aliran kerja atau *workflow* suatu sistem yang sedang dirancang, aliran kerja dimulai dari awal, *decision* yang mungkin terjadi, sampai pada akhir aktivitas [17].



Gambar. 4. Activity Diagram Proses Clustering

*Activity Diagram* pada Gambar 4 menggambarkan aktivitas yang dilakukan admin ketika mengakses menu Data Hasil yang menampilkan proses *clustering* sekaligus hasil *clustering* yang dilakukan. Untuk menampilkan proses *clustering* sekaligus hasil *clustering* admin memilih data yang akan diproses apakah data per tahun atau data keseluruhan, dan selanjutnya sistem akan melakukan proses *clustering* berdasarkan inputan admin lalu mengembalikan respon dengan menampilkan data hasil secara detail.

## 3) Pengkodean

Pengkodean untuk membangun web dilakukan menggunakan Bahasa pemrograman PHP (*Hypertext Preprocessor*) yang merupakan bahasa pemrograman dengan perintah yang dijalankan pada sisi server. Bahasa pemrograman ini digunakan untuk pengembangan situs web baik statis maupun dinamis [18]. PHP diperkenalkan Rasmus Lerdorf pada tahun 1995 yang mulanya PHP memiliki kepanjangan *Personal Homepage*. PHP adalah salah satu bahasa pemrograman yang bersifat *open source* yang bisa didapatkan secara gratis [5], [16]. Adapun untuk visualisasi data hasil *clustering* dilakukan dengan memanfaatkan *Leaflet Js* yang merupakan *library JavaScript* untuk peta interaktif dengan sumber terbuka dan memiliki banyak fitur *mapping* yang dibutuhkan oleh pengembang [19]. *Leaflet* dikembangkan dengan mempertimbangkan aspek kemudahan, performa, fungsional, efisiensi di semua perangkat. API pada *library* ini mudah digunakan, memiliki dokumentasi yang baik dengan kode sumber yang sederhana dan mudah dibaca [20].

Pada sistem yang dirancang, peta diinisialisasi dengan koordinat pusat dan level *zoom* yang sesuai menggunakan "L.map". Layer peta dasar diintegrasikan melalui "L.tileLayer" dari OpenStreetMap. Untuk memvisualisasikan data *clustering*, digunakan *marker* berbentuk lingkaran dengan warna yang diatur oleh fungsi "getMarkerColor", yang menyesuaikan warna *marker* berdasarkan *cluster* atau jenis bencana yang dipilih pengguna. Untuk menyajikan data hasil *clustering* ke dalam tampilan yang informatif, digunakan fungsi "L.circleMarker" yang ditempatkan pada koordinat yang sesuai dan diberi warna serta ukuran berdasarkan data hasil *clustering* yang diambil dari database. Untuk menampilkan informasi terperinci tentang wilayah, tahun, dan jumlah kejadian bencana, yang disesuaikan dengan jenis bencana yang dipilih, digunakan sistem *popup* yang berisi detail informasi bencana yang akan muncul ketika *marker point* di klik.

## 4) Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kesesuaian kinerja atau fungsionalitas sistem yang telah dirancang dengan kebutuhan, serta untuk meminimalisir kesalahan yang dapat timbul nantinya. Adapun pengujian dilakukan dengan pengujian *Black Box Testing*. Pengujian *Black Box* biasa juga disebut dengan istilah *Behavioural Testing*

[21]. Pengujian *Black Box* merupakan pengujian sistem yang berfokus pada fungsionalitas terutama pada proses *input* data dan *output* atau hasil [22], [23].

#### D. Kesimpulan

Setelah proses pengolahan data selesai dilakukan selanjutnya pada tahapan akhir dilakukan proses analisis untuk penarikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan dataset daerah bencana alam menurut Kabupaten atau Kota di Provinsi Sulawesi Tengah periode tahun 2019 sampai 2023 yang di dapat secara *online* melalui laman resmi Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Sulawesi Tengah. Data yang diperoleh memiliki delapan atribut yaitu atribut No, Kab/Kota, Angin Puting Beliung, Banjir, Gempa Bumi, Kebakaran, Tanah Longsor, dan Tsunami. Data bencana alam dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I  
DATA BENCANA ALAM

No	Kab/Kota	Angin Puting Beliung	Banjir	Gempa Bumi	Kebakaran	Tanah Longsor	Tsunami
1	Kab. Banggai	3	61	0	4	5	0
2	Kab. Banggai Kepulauan	6	29	2	3	12	0
3	Kab. Banggai Laut	6	11	0	0	5	0
4	Kab. Buol	3	116	0	0	15	0
5	Kab. Donggala	2	53	1	0	2	0
6	Kab. Morowali	10	27	1	1	1	0
7	Kab. Morowali Utara	15	63	0	5	5	0
8	Kab. Parigi Moutong	7	74	4	3	3	0
9	Kab. Poso	24	106	0	7	17	0
10	Kab. Sigi	2	85	11	1	2	0
11	Kab. Tojo Una-una	26	32	3	1	1	0
12	Kab. Toli-toli	10	143	0	1	9	0
13	Kota Palu	5	19	0	2	0	0

Setelah mendapatkan data, kemudian dilakukan pengelompokan menggunakan *K-Means Algorithm*. Menentukan nilai *centroid* data dengan mengelompokan data sesuai *cluster* yang diinginkan yaitu sebanyak dua *cluster*, yang terdiri dari *Cluster 1* untuk kategori Daerah Rawan Bencana, dan *Cluster 2* untuk kategori Daerah Tidak Rawan Bencana. Pada penelitian ini penentuan nilai titik pusat *cluster* dilakukan dengan mengambil dua data secara acak dengan memperhatikan jumlah kejadian setiap jenis bencana pada suatu wilayah. Pemilihan data acak untuk penentuan *centroid* awal dapat mempengaruhi proses pengelompokan dan hasil akhir secara signifikan. Jika *centroid* awal tidak dipilih dengan baik, hasil *clustering* berpotensi tidak dapat merepresentasikan struktur data secara akurat. Untuk mengatasi bias ini, maka penentuan nilai *centroid* awal secara acak perlu memperhatikan struktur data yang ada seperti jumlah kejadian setiap jenis bencana pada suatu wilayah serta atribut terkait lainnya. Nilai *centroid* yang ditentukan dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL II  
CENTROID DATA AWAL

K	Kab/Kota	Angin Puting Beliung	Banjir	Gempa Bumi	Kebakaran	Tanah Longsor	Tsunami
C1	Kab. Poso	24	106	0	7	17	0
C2	Kota Palu	5	19	0	2	0	0

Diketahui C1 (*Cluster 1*) diambil dari data Kabupaten Poso dengan nilai 24, 106, 0, 7, 17, 0, dan C2 (*Cluster 2*) diambil dari data Kota Palu dengan nilai 5, 19, 0, 2, 0, 0.

Proses selanjutnya adalah melakukan perhitungan jarak data dengan masing-masing *centroid* menggunakan persamaan *Euclidean Distance* seperti pada Persamaan (1) dan proses perhitungan akan diulang secara iteratif hingga diperoleh data hasil *clustering* untuk iterasi saat ini sama dengan hasil iterasi sebelumnya. Perhitungan dimulai dari iterasi 1 yang dapat dilihat pada contoh Perhitungan (7).

$$D(\text{Kab. Banggai}, C1) = \sqrt{(3 - 24)^2 + (61 - 106)^2 + (0 - 0)^2 + (4 - 7)^2 + (5 - 17)^2 + (0 - 0)^2} \quad (7)$$

$$= 51,1761663277$$

$$D(\text{Kab. Banggai}, C2) = \sqrt{(3 - 5)^2 + (61 - 19)^2 + (0 - 0)^2 + (4 - 2)^2 + (5 - 0)^2 + (0 - 0)^2}$$

$$= 42,3910367885$$

Hasil perhitungan pada iterasi 1 membentuk *cluster* data dengan hasil terdapat 5 wilayah masuk kategori Daerah Rawan Bencana (*Cluster 1*) yakni Kabupaten Buol, Kabupaten Parigi Moutong, Kabupaten Poso, Kabupaten Sigi, dan Kabupaten Toli-toli. Pada kategori Daerah Tidak Rawan Bencana (*Cluster 2*) terdapat 8 wilayah, yakni Kabupaten Banggai, Kabupaten Banggai Kepulauan, Kabupaten Banggai Laut, Kabupaten Donggala, Kabupaten Morowali, Kabupaten Morowali Utara, Kabupaten Tojo Una-una, dan Kota Palu. Data lengkap hasil perhitungan iterasi 1 dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

TABEL III  
DATA HASIL *CLUSTERING* ITERASI I

No	Kab/Kota	Jarak Centroid ke Cluster 1	Jarak Centroid ke Cluster 2	Cluster
1	Kab. Banggai	51,1761663277	42,3910367885	Cluster 2
2	Kab. Banggai Kepulauan	79,3599395161	15,8113883008	Cluster 2
3	Kab. Banggai Laut	97,683161292	9,6953597148	Cluster 2
4	Kab. Buol	24,3721152139	98,1936861514	Cluster 1
5	Kab. Donggala	59,7327380923	34,263683398	Cluster 2
6	Kab. Morowali	82,036577208	9,5916630466	Cluster 2
7	Kab. Morowali Utara	45,5850852802	45,4972526643	Cluster 2
8	Kab. Parigi Moutong	39,2555728528	55,2720544217	Cluster 1
9	Kab. Poso	0	90,7964757025	Cluster 1
10	Kab. Sigi	36,1524549651	67,0149237111	Cluster 1
11	Kab. Tojo Una-una	76,0328876211	24,9198715888	Cluster 2
12	Kab. Toli-toli	40,8044115262	124,4307036065	Cluster 1
13	Kota Palu	90,7964757025	0	Cluster 2

Setelah hasil perhitungan pada iterasi 1 didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan pada iterasi 2 dengan mencari nilai titik pusat atau *centroid* baru menggunakan persamaan (2) yang dapat dilihat pada contoh Perhitungan (8). Untuk nilai titik pusat yang telah diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.

$$\begin{aligned} \text{Cluster 1} &= \{4, 8, 9, 10, 12\} \\ &= \{(3, 116, 0, 0, 15, 0)(7, 74, 4, 3, 3, 0)(24, 106, 0, 7, 17, 0)(2, 85, 11, 1, 2, 0)(10, 143, 0, 1, 9, 0)\} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Angin Puting Beliung} & 3 + 7 + 24 + 2 + 10/5 = 9,2 \\ \text{Banjir} & 116 + 74 + 106 + 85 + 143/5 = 104,8 \\ \text{Gempa Bumi} & 0 + 4 + 0 + 11 + 0/5 = 3 \\ \text{Kebakaran} & 0 + 3 + 7 + 1 + 1/5 = 2,4 \\ \text{Tanah Longsor} & 15 + 3 + 17 + 2 + 9/5 = 9,2 \\ \text{Tsunami} & 0 + 0 + 0 + 0 + 0/5 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cluster 2} &= \{1, 2, 3, 5, 6, 7, 11, 13\} \\ &= \{(3, 61, 0, 4, 5, 0)(6, 29, 2, 3, 12, 0)(6, 11, 0, 0, 5, 0)(2, 53, 1, 0, 2, 0)(10, 27, 1, 1, 1, 0) \\ & \quad (15, 63, 0, 5, 5, 0)(26, 32, 3, 1, 1, 0)(5, 19, 0, 2, 0, 0)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angin Puting Beliung} & 3 + 6 + 6 + 2 + 10 + 15 + 26 + 5/8 = 9,125 \\ \text{Banjir} & 61 + 29 + 11 + 53 + 27 + 63 + 32 + 19/8 = 36,875 \\ \text{Gempa Bumi} & 0 + 2 + 0 + 1 + 1 + 0 + 3 + 0/8 = 0,875 \\ \text{Kebakaran} & 4 + 3 + 0 + 0 + 1 + 5 + 1 + 2/8 = 2 \\ \text{Tanah Longsor} & 5 + 12 + 5 + 2 + 1 + 5 + 1 + 0/8 = 3,875 \\ \text{Tsunami} & 0 + 0 + 0 + 0 + 0/8 = 0 \end{aligned}$$

TABEL IV  
CENTROID DATA ITERASI II

K	Angin Puting Beliung	Banjir	Gempa Bumi	Kebakaran	Tanah Longsor	Tsunami
C1	9,2	104,8	3	2,4	9,2	0
C2	9,125	36,875	0,875	2	3,875	0

Menggunakan nilai titik pusat atau *centroid* baru yang telah diperoleh sebelumnya, dilakukan perhitungan jarak dengan masing-masing *centroid* pada iterasi 2 menggunakan Persamaan (1). Contoh pencarian nilai *centroid* dapat dilihat pada Perhitungan (9).

$$D(\text{Kab. Buol}, C1) = \sqrt{(3 - 9,2)^2 + (116 - 104,8)^2 + (0 - 3)^2 + (0 - 2,4)^2 + (15 - 9,2)^2 + (0 - 0)^2} \quad (9)$$

$$= 14,5698318453$$

$$D(Kab. Buol, C2) = \sqrt{\frac{(3 - 9,125)^2 + (116 - 36,875)^2 + (0 - 0,875)^2 + (0 - 2)^2 + (15 - 3,875)^2 + (0 - 0)^2}{6}}$$

$$= 80,1674029765$$

Hasil perhitungan pada iterasi 2 membentuk *cluster* data yang sama dengan hasil perhitungan pada iterasi sebelumnya (iterasi 1) dimana terdapat 5 wilayah masuk kategori Daerah Rawan Bencana (*Cluster 1*) yakni Kabupaten Buol, Kabupaten Parigi Moutong, Kabupaten Poso, Kabupaten Sigi, dan Kabupaten Toli-toli. Pada kategori Daerah Tidak Rawan Bencana (*Cluster 2*) terdapat 8 wilayah, yakni Kabupaten Banggai, Kabupaten Banggai Kepulauan, Kabupaten Banggai Laut, Kabupaten Donggala, Kabupaten Morowali, Kabupaten Morowali Utara, Kabupaten Tojo Una-una, dan Kota Palu, sehingga proses perhitungan jarak atau proses *clustering* berhenti pada iterasi 2. Data lengkap hasil perhitungan iterasi 2 dapat dilihat pada Tabel 5.

TABEL V  
 DATA HASIL *CLUSTERING* ITERASI II

No	Kab/Kota	Jarak Centroid ke Cluster 1	Jarak Centroid ke Cluster 2	Cluster
1	Kab. Banggai	44,5654574755	25,0112474699	Cluster 2
2	Kab. Banggai Kepulauan	75,9281239068	11,8348003785	Cluster 2
3	Kab. Banggai Laut	94,0270173939	26,1784739815	Cluster 2
4	Kab. Buol	14,5698318453	80,1674029765	Cluster 1
5	Kab. Donggala	52,8836458652	17,8413144135	Cluster 2
6	Kab. Morowali	78,2731116029	10,3712342563	Cluster 2
7	Kab. Morowali Utara	42,5943658246	26,9826333037	Cluster 2
8	Kab. Parigi Moutong	31,5163449657	37,3404941049	Cluster 1
9	Kab. Poso	17,6487959929	72,0941225066	Cluster 1
10	Kab. Sigi	23,6997890286	49,73 74355994	Cluster 1
11	Kab. Tojo Una-una	75,174995843	17,9530638054	Cluster 2
12	Kab. Toli-toli	38,3520534	106,2605877078	Cluster 1
13	Kota Palu	86,4469779692	18,7699893447	Cluster 2

Selanjutnya setelah mendapatkan hasil akhir dari pengelompokan atau proses *clustering* yang dilakukan, data hasil yang didapat kemudian divalidasi melalui tahapan pengujian menggunakan persamaan berdasarkan *Davies Bouldin Index* (DBI). Adapun tahapan pengujian menggunakan persamaan *Davies Bouldin Index* (DBI) dimulai dari proses mencari nilai kohesi yang akan digunakan untuk menghitung nilai separasi, kemudian nilai separasi digunakan untuk mencari nilai ratio, dan nilai ratio yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung nilai DBI. Untuk proses perhitungan nilai kohesi menggunakan Persamaan (4) dapat dilihat pada Perhitungan (10), dengan hasil keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 6.

$$MK_1 = \frac{1}{5} (14,5698318453 + 31,5163449657 + 17,6487959929 + 23,6997890286 + 38,3520534)$$

$$= 25,1573630465$$
(10)

TABEL VI  
 DATA HASIL PERHITUNGAN KOHESI

No	Kab/Kota	Jarak Centroid ke Cluster 1	Jarak Centroid ke Cluster 2	Kohesi
1	Kab. Banggai	44,5654574755	25,0112474699	25,1573630465
2	Kab. Banggai Kepulauan	75,9281239068	11,8348003785	19,3678446192
3	Kab. Banggai Laut	94,0270173939	26,1784739815	
4	Kab. Buol	14,5698318453	80,1674029765	
5	Kab. Donggala	52,8836458652	17,8413144135	
6	Kab. Morowali	78,2731116029	10,3712342563	
7	Kab. Morowali Utara	42,5943658246	26,9826333037	
8	Kab. Parigi Moutong	31,5163449657	37,3404941049	
9	Kab. Poso	17,6487959929	72,0941225066	
10	Kab. Sigi	23,6997890286	49,73 74355994	
11	Kab. Tojo Una-una	75,174995843	17,9530638054	
12	Kab. Toli-toli	38,3520534	106,2605877078	
13	Kota Palu	86,4469779692	18,7699893447	

Data pada Tabel 6 menunjukkan bahwa hasil perhitungan nilai kohesi untuk *Cluster 1* adalah 25,1573630465, dan nilai kohesi untuk *Cluster 2* adalah 19,3678446192. Setelah nilai kohesi masing-masing *cluster* telah didapatkan, selanjutnya yaitu menentukan nilai separasi dengan menerapkan aturan matematis seperti Persamaan (5). Berikut contoh perhitungan untuk mencari nilai separasi menggunakan data *centroid* untuk iterasi ke 2 dapat dilihat pada Perhitungan (11), dan hasil keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 7.

$$SP_{1,2} = \sqrt{\frac{(9,2 - 9,125)^2 + (104,8 - 36,875)^2 + (3 - 0,875)^2 + (2,4 - 2)^2}{(9,2 - 3,875)^2 + (0 - 0)^2}} \quad (11)$$

$$= 68,1677526401$$

TABEL VII  
 DATA HASIL PERHITUNGAN SEPARASI

No	Separasi	Cluster 1	Cluster 2
1	C1	0	68,1677526401
2	C2	68,1677526401	0

Setelah hasil perhitungan nilai separasi selesai, dengan menerapkan Persamaan (6) dilakukan perhitungan nilai ratio. Dapat dilihat seperti pada contoh Perhitungan (12), dan data keseluruhan hasil perhitungan nilai ratio dapat dilihat pada Tabel 8.

$$R_{1,2} = \frac{25,1573630465 + 19,3678446192}{68,1677526401} \quad (12)$$

$$= 0,6531711248$$

TABEL VIII  
 DATA HASIL PERHITUNGAN RATIO

No	Separasi	Cluster 1	Cluster 2	Ratio Max
1	C1	0	0,6531711248	0,6531711248
2	C2	0,6531711248	0	0,6531711248

Perhitungan nilai ratio menggunakan Persamaan (6) telah dilakukan dengan hasil nilai ratio untuk masing-masing *cluster* seperti pada Tabel 8, dimana sebagai contoh, dalam perhitungan tersebut nilai kohesi pada Tabel 6 yakni nilai kohesi *Cluster 1* = 25,1573630465 dan *Cluster 2* = 19,3678446192 dijumlahkan, kemudian hasilnya dibagi dengan nilai separasi *Cluster 1* ke 2 = 68,1677526401 yang terdapat pada Tabel 7, maka diperoleh hasil nilai ratio *Cluster 1* ke 2 adalah 0,6531711248. Setelah nilai ratio untuk setiap *cluster* didapatkan, selanjutnya dilakukan proses penentuan nilai *Davies Bouldin Index* (DBI) menggunakan Persamaan (3) yang dapat dilihat pada Perhitungan (13) berikut.

$$DBI = \frac{1}{2}(0,6531711248 + 0,6531711248) \quad (13)$$

$$= 0,6531711248$$

Setelah proses perhitungan seperti pada Perhitungan (13), diperoleh hasil untuk nilai *Davies Bouldin Index* (DBI) yaitu 0,6531711248 yang dimana ketika disesuaikan dengan skema dari *Davies Bouldin Index* (DBI) bahwa semakin kecil nilai DBI (mendekati angka nol), maka hasil *clustering* juga akan semakin optimal. Nilai DBI yang diperoleh menunjukkan bahwa *cluster* yang terbentuk memiliki tingkat kompak dan separasi yang cukup baik. Artinya, data dalam satu *cluster* cukup dekat satu sama lain (kompak), dan *cluster-cluster* tersebut cukup terpisah dari *cluster* lainnya (separasi). Dalam konteks pengelompokan ini, nilai DBI 0,6531711248 menunjukkan bahwa pengelompokan yang dilakukan masih tergolong cukup baik jika dibandingkan dengan penelitian serupa lainnya dengan nilai DBI sebesar 1,156763 [24]. Beberapa penelitian yang menggunakan data geografis dan risiko bencana sering kali menunjukkan nilai DBI di bawah 1 dan mendekati 0 yang berarti hasil *clustering* ini berada dalam rentang yang wajar dan dapat diterima.

Dengan demikian untuk proses perhitungan *clustering* yang dilakukan sebanyak 2 iterasi dimana hasil pada iterasi 2 sudah sama dengan hasil iterasi 1 yakni terdapat lima wilayah Kabupaten atau Kota yang masuk dalam *Cluster 1* dengan kategori Daerah Rawan Bencana, dan delapan wilayah Kabupaten atau Kota yang masuk dalam *Cluster*

2 dengan kategori Daerah Tidak Rawan Bencana dapat dikatakan memiliki hasil *clustering* yang sudah optimal berdasarkan hasil uji data menurut pengujian *Davies Bouldin Index* (DBI).

Wilayah yang masuk dalam *Cluster* 1 memiliki tingkat kejadian bencana yang lebih tinggi sehingga memiliki potensi kerugian lebih besar dari segi materil, sosial, dan ekonomi dibandingkan dengan wilayah yang masuk dalam *Cluster* 2. melihat kemungkinan resiko yang bisa terjadi, diperlukan pengembangan dan penerapan kebijakan mitigasi bencana yang lebih efektif, termasuk perbaikan infrastruktur, pembentukan sistem peringatan dini, dan pelatihan untuk respon bencana. Pemerintah dan pihak terkait harus fokus pada peningkatan kapasitas untuk menghadapi bencana dan melindungi masyarakat.

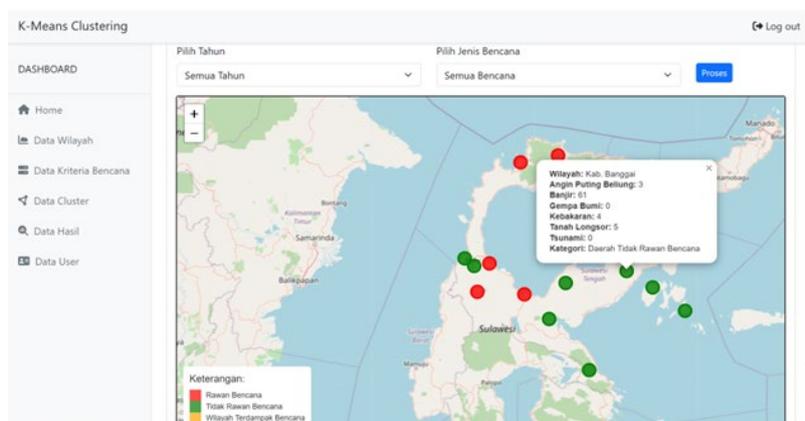
Pembagian *cluster* disebabkan beberapa faktor salah satunya faktor geografis, dimana dari segi topografi beberapa wilayah yang berada di pegunungan atau wilayah jalur gempa lebih rentan terhadap bencana alam seperti tanah longsor dan gempa bumi. Sebaliknya wilayah yang berada di dataran rendah dan jauh dari area jalur gempa akan lebih jarang mengalami bencana serupa.

Terdapat beberapa keterbatasan data yang perlu dipertimbangkan dalam penelitian ini. Pertama, tingkat akurasi data dipengaruhi oleh faktor pelaporan yang tidak konsisten atau keterbatasan dalam pendataan di lapangan, yang bisa menyebabkan beberapa kejadian bencana tidak tercatat atau tercatat secara tidak akurat. Kedua, data ini tidak sepenuhnya mewakili semua faktor yang mempengaruhi kerentanan bencana, seperti infrastruktur, kesiapan masyarakat, dan mitigasi risiko yang telah dilakukan oleh pemerintah daerah.

Penelitian ini memiliki persamaan dengan penelitian sebelumnya dalam hal penggunaan metode *K-Means* untuk pengelompokan serta penggunaan DBI untuk evaluasi kualitas pengelompokan yang dilakukan. Meski demikian, terdapat beberapa aspek yang menjadi pembeda penelitian ini dengan penelitian terdahulu, seperti lokasi penelitian dan data yang digunakan dimana penelitian ini berfokus pada wilayah di Provinsi Sulawesi Tengah dengan data bencana spesifik seperti angin puting beliung, banjir, gempa bumi, kebakaran, tanah longsor, dan tsunami. Sedangkan penelitian sebelumnya berfokus pada wilayah berbeda dengan data yang berbeda pula seperti penggunaan atribut jumlah bencana, korban meninggal, korban luka-luka, kerusakan rumah, kerusakan fasilitas umum, dan kepadatan penduduk. Selain itu jumlah *cluster* yang ditentukan juga memiliki perbedaan, menjadikan hal ini sebagai salah satu faktor pembeda [24].

Adapun kontribusi baru yang diperoleh dari penelitian ini dapat dilihat dari konteks lingkup penelitian yakni dengan fokus pada wilayah Provinsi Sulawesi Tengah, penelitian ini menawarkan wawasan khusus tentang bagaimana bencana alam terdistribusi di wilayah tersebut. Penelitian ini dapat memberikan panduan untuk kebijakan dan alokasi sumber daya yang lebih baik untuk mitigasi bencana di daerah dengan risiko tinggi. Selanjutnya penggunaan DBI untuk menilai hasil pengelompokan, memberikan kontribusi pada literatur dengan menyediakan metrik evaluasi yang jelas dan terukur untuk kualitas pengelompokan dalam konteks bencana alam.

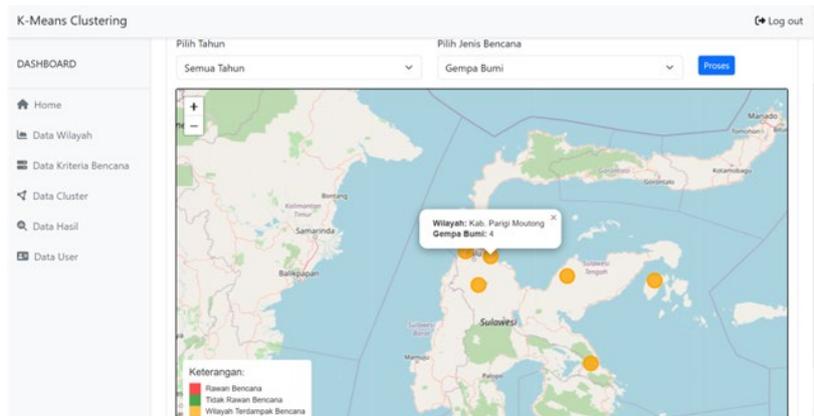
Hasil *clustering* yang telah didapat akan divisualisasikan ke dalam bentuk peta pada sistem informasi berbasis web yang telah dirancang menggunakan bahasa pemrograman PHP, dan pemanfaatan *Library Leaflet Js*. Adapun tampilan visualisasi data hasil *clustering* pada web yang telah dirancang terletak pada menu *Home*, dan dapat dilihat seperti pada Gambar 5 berikut.



Gambar. 5. Tampilan Visualisasi Data Hasil *Clustering*

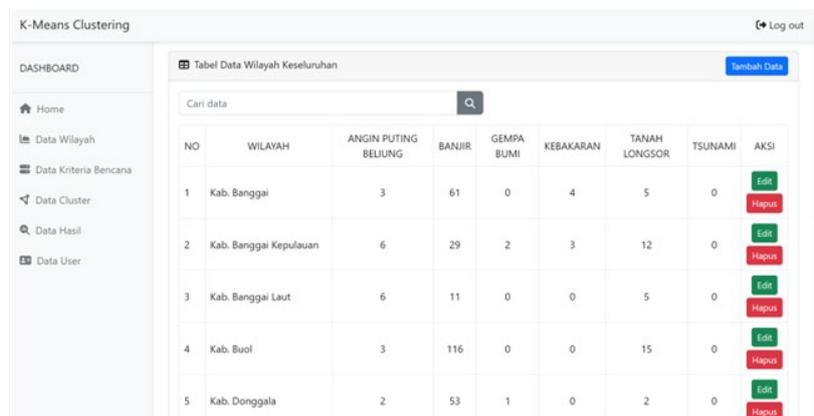
Terdapat dua *form selection* untuk memilih menampilkan data sesuai keinginan admin. Admin dapat memilih untuk menampilkan data secara keseluruhan (data tahun 2019 – 2023) atau menampilkan data per tahun pada *form selection* Pilih Tahun, serta dapat secara spesifik memilih menampilkan data keseluruhan atau per tahun untuk data berdasarkan jenis bencana tertentu pada *form selection* Pilih Jenis Bencana. *mark point* berwarna merah untuk data dengan kategori Daerah Rawan Bencana, *mark point* berwarna hijau untuk data dengan kategori Daerah Tidak

Rawan Bencana. Adapun *mark point* berwarna *orange* adalah untuk data yang ditampilkan berdasarkan jenis bencana tertentu. Visualisasi untuk data dengan *mark point* berwarna *orange* dapat dilihat seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan Visualisasi Data Hasil Berdasarkan Jenis Bencana Tertentu

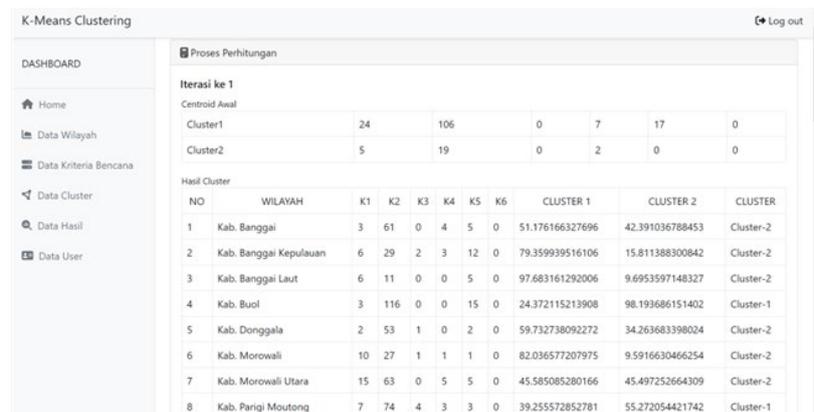
Terdapat menu Data Wilayah, yang menampilkan dua jenis data yang dibagi ke dalam dua tabel. Tabel Data Bencana Per Tahun menampilkan data bencana alam menurut Kabupaten/Kota berdasarkan tahun (data tahun 2019 – 2023), dan Tabel Data Bencana Keseluruhan menampilkan data bencana alam menurut Kabupaten/Kota secara keseluruhan (data akumulasi dari data tahun 2019 – 2023). Pada menu Data Wilayah, admin dapat melakukan aksi tambah data, edit data, dan hapus data wilayah. Tampilan menu Data Wilayah dapat dilihat seperti pada Gambar 7.



NO	WILAYAH	ANGIN PUTING BELIUNG	BANJIR	GEMPA BUMI	KEBAKARAN	TANAH LONGSOR	TSUNAMI	AKSI
1	Kab. Banggai	3	61	0	4	5	0	Edit Hapus
2	Kab. Banggai Kepulauan	6	29	2	3	12	0	Edit Hapus
3	Kab. Banggai Laut	6	11	0	0	5	0	Edit Hapus
4	Kab. Buol	3	116	0	0	15	0	Edit Hapus
5	Kab. Donggala	2	53	1	0	2	0	Edit Hapus

Gambar 7. Tampilan Menu Data Wilayah

Selanjutnya terdapat menu Data Hasil, yang menampilkan proses *clustering* dan hasil dari *clustering*. Data yang dihitung diambil dari Data Wilayah pada database, kemudian dilakukan proses perhitungan sesuai alur proses *clustering* menggunakan algoritma *K-Means* dengan menerapkan prinsip *Euclidean Distance* seperti pada Persamaan (1) yang telah diterjemahkan ke dalam bentuk kode program PHP. Adapun tampilan menu Data Hasil dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



NO	WILAYAH	K1	K2	K3	K4	K5	K6	CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER
1	Kab. Banggai	3	61	0	4	5	0	51.176166327696	42.391036788453	Cluster-2
2	Kab. Banggai Kepulauan	6	29	2	3	12	0	79.359939516106	15.811388300842	Cluster-2
3	Kab. Banggai Laut	6	11	0	0	5	0	97.683161292006	9.6953597148327	Cluster-2
4	Kab. Buol	3	116	0	0	15	0	24.372115213908	98.193686151402	Cluster-1
5	Kab. Donggala	2	53	1	0	2	0	59.732738092272	34.263683398024	Cluster-2
6	Kab. Morowali	10	27	1	1	1	0	82.036577207975	9.5916630466254	Cluster-2
7	Kab. Morowali Utara	15	63	0	5	5	0	45.585085280166	45.497252664309	Cluster-2
8	Kab. Parigi Moutong	7	74	4	3	3	0	39.255572852781	55.272054421742	Cluster-1

Gambar 8. Tampilan Menu Data Hasil Clustering

Sistem informasi berbasis web yang telah dirancang memiliki beberapa manfaat penting dalam mendukung pengambilan keputusan, seperti visualisasi data dalam bentuk peta interaktif dimana dengan peta yang menampilkan wilayah rawan bencana dan tidak rawan bencana, pembuat keputusan dapat dengan mudah mengidentifikasi area yang memerlukan perhatian khusus dan alokasi sumber daya. Peta ini memungkinkan pemerintah dan pihak terkait untuk memahami distribusi bencana secara geografis dan melihat pola yang mungkin tidak jelas dalam data tabular. Dari segi analisis data hasil, dengan menyediakan data terperinci tentang frekuensi kejadian bencana di masing-masing wilayah, sistem ini membantu dalam merencanakan langkah-langkah mitigasi yang lebih tepat sasaran. Misalnya, wilayah yang dikategorikan sebagai rawan bencana dapat menjadi prioritas untuk pembangunan infrastruktur tahan bencana atau pelatihan tanggap darurat. Selain itu fleksibilitas data yang ditawarkan sistem memungkinkan pengguna untuk memilih tahun dan jenis bencana yang ingin ditampilkan, memberikan fleksibilitas dalam analisis data. Hal ini dapat membantu dalam membuat keputusan berbasis data yang relevan dengan kondisi saat ini. Sistem yang dirancang juga tetap memperhatikan kualitas dari segi penyajian data yang informatif dan dinamis.

Sistem yang telah dirancang kemudian diuji untuk memastikan bahwa fungsionalitas dari sistem yang ada sudah berjalan dengan baik. Adapun pengujian yang dilakukan menggunakan pengujian *Black Box Testing*, dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 9.

TABEL IX  
 HASIL PENGUJIAN *BLACK BOX*

Pengujian	Aksi	Hasil Yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
<i>Login Page</i>	Admin mengakses <i>Login Page</i> kemudian memasukan <i>username</i> dan <i>password</i> pada <i>form login</i>	<i>Login Page</i> dapat diakses dan setelah memasukan <i>username</i> dan <i>password</i> pada <i>form login</i> , sistem dapat menampilkan menu <i>home</i>	<i>Login Page</i> dapat diakses dan setelah memasukan <i>username</i> dan <i>password</i> pada <i>form login</i> , sistem dapat menampilkan menu <i>home</i>	Valid
Menu <i>Home</i>	Admin menampilkan visualisasi data dengan memilih data yang akan ditampilkan sesuai dengan keinginan dengan memilih pilihan pada <i>form selection</i>	Data yang ditampilkan sesuai dengan pilihan admin	User dapat memilih pada <i>form selection</i> dan data yang ditampilkan sesuai dengan pilihan yang diinputkan oleh admin	Valid
Menu Data Wilayah	Admin mengakses menu data wilayah dan melakukan pencarian data, penambahan data, pengeditan data, dan penghapusan data	Sistem dapat merespon dengan baik masukan sesuai dengan aksi yang dilakukan admin	Sistem dapat merespon dengan baik masukan sesuai dengan aksi yang dilakukan admin	Valid
Menu Data Kriteria Bencana	Admin mengakses menu data kriteria bencana dan melakukan aksi pengeditan data	Sistem dapat merespon dengan baik inputan sesuai dengan aksi yang dilakukan admin	Sistem dapat merespon dengan baik masukan sesuai dengan aksi yang dilakukan admin	Valid
Menu Data <i>Cluster</i>	Admin mengakses menu data <i>cluster</i> dan melakukan aksi pengeditan data	Sistem dapat merespon dengan baik inputan sesuai dengan aksi yang dilakukan admin	Sistem dapat merespon dengan baik masukan sesuai dengan aksi yang dilakukan admin	Valid
Menu Data Hasil	Admin mengakses menu data hasil dan melakukan aksi memilih memroses data sesuai dengan pilihan pada <i>form selection</i> , admin mencetak data hasil <i>clustering</i>	Sistem dapat merespon dengan baik inputan sesuai dengan aksi yang dilakukan admin, serta dapat menampilkan proses perhitungan dan hasil <i>clustering</i> , admin dapat mencetak data hasil <i>clustering</i>	Sistem dapat merespon dengan baik inputan sesuai dengan aksi yang dilakukan admin, serta dapat menampilkan proses perhitungan dan hasil <i>clustering</i> , admin dapat mencetak data hasil <i>clustering</i>	Valid
Menu Data User	Admin mengakses menu data <i>user</i> dan melakukan penambahan data, pengeditan data, dan penghapusan data	Sistem dapat merespon dengan baik masukan sesuai dengan aksi yang dilakukan admin	Sistem dapat merespon dengan baik masukan sesuai dengan aksi yang dilakukan admin	Valid

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan sistem informasi berbasis web untuk visualisasi data bencana alam di provinsi Sulawesi Tengah menggunakan *k-means*. Hasil *clustering* terdiri dari dua *cluster*. Pada *Cluster 1* terdapat lima daerah Kabupaten/Kota yang termasuk dalam kategori Daerah Rawan Bencana, dan pada *Cluster 2* terdapat delapan daerah Kabupaten/Kota yang termasuk dalam kategori Daerah Tidak Rawan Bencana. Visualisasi data dirancang menggunakan *library Leaflet Js*.

Sistem informasi yang telah dirancang diuji menggunakan pengujian *Black Box Testing* dan menunjukkan status valid untuk semua fungsional yang diuji. Hasil *clustering* diuji menggunakan pengujian *Davies Bouldin Index (DBI)* dengan nilai 0,6531711248 yang menunjukkan hasil *clustering* optimal. Hal ini mengacu pada pernyataan *Davies Bouldin Index* bahwa semakin kecil nilai DBI (non-negatif  $\geq 0$ ) maka hasil *clustering* akan semakin baik.

Selain itu sistem informasi yang dihasilkan juga dapat menampilkan hasil pemetaan jenis bencana tertentu berdasarkan tahun yang dipilih.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dapat menggunakan algoritma lain dalam proses *clustering* untuk memperoleh hasil yang lebih variatif dan dapat dilakukan perbandingan tingkat keakuratan. Selanjutnya untuk sistem informasi berbasis web untuk visualisasi data dapat dikembangkan menggunakan teknologi terbaru untuk memberikan hasil yang lebih baik dan informatif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Murdiaty, Angela, Dan Sylvia Chatrine, "Pengelompokan Data Bencana Alam Berdasarkan Wilayah, Waktu, Jumlah Korban Dan Kerusakan Fasilitas Dengan Algoritma K-Means," *Jurnal Media Informatika Budidarma*, Vol. 4, No. 3, Hlm. 744–752, Jul 2020, Doi: 10.30865/Mib.V4i3.2213.
- [2] F. H. M. Adi Dan Yeremia Alfa Susetyo, "Pemetaan Potensi Bencana Di Jawa Tengah Menggunakan Google Maps API Dan KML Dengan Metode K-Means," *Indonesian Journal Of Computing And Modeling*, Vol. 3, Hlm. 43–51, 2020, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://ejournal.uksw.edu/icom/article/view/3902>
- [3] S. Alfandy Dkk., "Analisis Iklim Provinsi Sulawesi Tengah Berdasarkan Data Pemantau Cuaca Otomatis BMKG," *Buletin GAW Bariri*, Vol. 1, No. 1, Hlm. 1–11, Jun 2020, Doi: 10.31172/Bgb.V1i1.5.
- [4] F. C. Farisa Dan Erlangga Djumena, "Kronologi Gempa Dan Tsunami Palu-Donggala Yang Tewaskan Ratusan Orang." Diakses: 24 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: [https://nasional.kompas.com/read/2018/09/29/16415971/Begini-Kronologi-Gempa-Dan-Tsunami-Palu-Donggala-Yang-Tewaskan-Ratusan-Orang#Google\\_Vignette](https://nasional.kompas.com/read/2018/09/29/16415971/Begini-Kronologi-Gempa-Dan-Tsunami-Palu-Donggala-Yang-Tewaskan-Ratusan-Orang#Google_Vignette)
- [5] I. Hidayat, Eva Darnila, Dan Yesy Afrillia, "Clustering Zonasi Daerah Rawan Bencana Alam Di Kabupaten Mandailing Natal Menggunakan Algoritma K-Means," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, Vol. 7, No. 3, Hlm. 1218–1226, Jul 2023, Doi: 10.33379/Gtech.V7i3.2880.
- [6] A. A. Vernanda, Ahmad Faisol, Dan Nurlaily Vendyansyah, "Penerapan Metode K-Means Clustering Untuk Pemetaan Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas Di Kota Malang Berbasis Website," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, Vol. 5, No. 2, Hlm. 836–844, 2021, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/jati/article/view/3791>
- [7] A. Z. Wijaya Dan Irwan Sembiring, "Analisis Perilaku Pengguna Internet Dengan Metode K-Means Clustering Dan Pendekatan Davies Bouldin Index Menggunakan Data Log Universitas XYZ," *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Informatika)*, Vol. 9, No. 2, Hlm. 878–888, Mei 2024, Doi: 10.29100/Jupi.V9i2.4750.
- [8] A. Baldah, After Valent Duarisah, Dan Rizky Akbar Maulana, "Clustering Daerah Rawan Bencana Alam Di Indonesia Berdasarkan Provinsi Dengan Metode K-Means," *Jurnal Ilmiah Informatika Global*, Vol. 14, No. 2, Hlm. 31–36, 2023, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://ejournal.uigm.ac.id/index.php/IG/article/view/3186>
- [9] F. N. R. F. J. Aziz, Budi Darma Setiawan, Dan Issa Arwani, "Implementasi Algoritma K-Means Untuk Klasterisasi Kinerja Akademik Mahasiswa," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, Vol. 2, No. 6, Hlm. 2243–2251, 2018, [Daring]. Tersedia Pada: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [10] G. M. Sadewo, Agus Perdana Windarto, Dan Anjar Wanto, "Penerapan Algoritma Clustering Dalam Mengelompokkan Banyaknya Desa/Kelurahan Menurut Upaya Antisipasi/ Mitigasi Bencana Alam Menurut Provinsi Dengan K-Means," *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi Dan Komputer)*, Vol. 2, No. 1, Hlm. 311–319, 2018, [Daring]. Tersedia Pada: <http://ejournal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/komik>
- [11] D. Gultom, Hotma Dame Tampubolon, Luvitayolanda Hutabara, Fikrul Ilmi R H Zer, Dan Dedy Hartama, "Penerapan Algoritma K-Means Untuk Mengetahui Tingkat Tindak Kejahatan Daerah Pematangsiantar," *Jurnal Teknologi Informasi*, Vol. 4, No. 1, Hlm. 146–151, 2020, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://jurnal.una.ac.id/index.php/jurti/article/view/1263>
- [12] H. Dame Tampubolon, M. Safii, Dan D. Suhendro, "Penerapan Algoritma K-Means Dan K-Medoids Clustering Untuk Mengelompokkan Tindak Kriminalitas Berdasarkan Provinsi," Vol. 2, No. 2, Hlm. 6–12, 2021, [Daring]. Tersedia Pada: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- [13] I. Rinjani, Saeful Anwar, Dan Ruli Herdina, "Pengelompokan Daerah Bencana Alam Menggunakan Algoritma K-Means Clustering," *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi Dan Ilmu Komputer*, Vol. 3, No. 1, Hlm. 35–51, 2023, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://journal.sinov.id/index.php/juisik/article/view/417>
- [14] M. Gading Sadewo, Anggi Eriza, Agus Perdana Windarto, Dan Dedy Hartama, "Algoritma K-Means Dalam Mengelompokkan Desa/Kelurahan Menurut Keberadaan Keluarga Pengguna Listrik Dan Sumber Penerangan Jalan Utama Berdasarkan Provinsi," *Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS)*, Hlm. 754–761, 2019, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://prosiding.seminar-id.com/index.php/sainteks/article/view/227>
- [15] I. Rosaliyah Dan Bani Nurhahita, "Clustering Kejadian Bencana Alam Di Jawa Barat Berdasarkan Jenis Bencana Menggunakan K-Means," *Jurnal Teknik Elektro Dan Informatika*, Vol. 18, No. 1, Hlm. 10–16, 2023, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://journal.umg.ac.id/index.php/e-link/article/view/5318>
- [16] Ihramsyah, Verdi Yasin, Dan Johan, "Perancangan Aplikasi Sistem Informasi Penjualan Makanan Cepatsaji Berbasisweb Studikasuk Kedai Cheese.Box," *Jurnal Widya*, Vol. 4, No. 1, Hlm. 117–139, 2023, [Daring]. Tersedia Pada: <https://jurnal.amikwidyaloka.ac.id/index.php/awl>
- [17] E. Hutabri Dan Anggia Dasa Putri, "Perancangan Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Androidpada Mata Pelajaran Ilmu Pengetahuan Sosial Untuk Anak Sekolah Dasar," *Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian Dan Industri Terapan*, Vol. 08, No. 2, Hlm. 57–64, 2019, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://ojs.umrah.ac.id/index.php/sustainable/article/view/1575>
- [18] E. Siswanto, *Kupas Tuntas Pemrograman PHP*. 2021. Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: [https://digilib.stekom.ac.id/assets/dokumen/Ebook/feb\\_C6f4ce1d96f35eafb0de14f76e4c637389916348\\_1642050315.pdf](https://digilib.stekom.ac.id/assets/dokumen/Ebook/feb_C6f4ce1d96f35eafb0de14f76e4c637389916348_1642050315.pdf)
- [19] N. R. Tuasikal, Ahmad Faisol, Dan Nurlaily Vendyansyah, "Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Pemetaan Zona Ruang Rawan Bencana Kota Palu Berbasis Web," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, Vol. 4, No. 2, Hlm. 269–275, 2020, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/jati/article/view/2653>
- [20] P. N. K. Wiharadhita, I Gede Putu Krisna Juliharta, Dan I Gede Juliana Eka Putra, "Sistem Informasi Geografis Pemetaan Hasil Penjualan Sales Lapangan Dengan Leaflet.js Dan Openstreetmap," *Jurnal TEKNO KOMPAK*, Vol. 17, No. 1, Hlm. 39–53, 2023, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://ejournal.teknokrat.ac.id/index.php/teknokompak/article/view/2110>
- [21] Supriyono, "Software Testing With The Approach Of Blackbox Testing On The Academic Information System," *International Journal Of Information System & Technology*, Vol. 3, No. 2, Hlm. 227–233, 2020, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://ijistech.org/ijistech/index.php/ijistech/article/view/54/54>
- [22] A. S. Wulandari, Ahmad Saepudin, Meitasya Putri Kinanti, Ziki Sudesi, Aries Saifudin, Dan Yulianti, "Pengujian Aplikasi Sistem Informasi Akademik Berbasis Web Menggunakan Metode Black Box Testing Equivalence Partitioning," *Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Aplikasi*, Vol. 5, No. 2, Hlm. 102–109, Mei 2022, Doi: 10.32493/Jtsi.V5i2.17561.
- [23] F. Asrin, "Pengujian Fungsionalitas Sistem Inventaris Barang Pada Sekolah Menengah Kejuruan Citra Borneo Menggunakan Black Box Testing," *Jurnal Ilmiah ILKOMINFO*, Vol. 6, No. 2, Hlm. 2621–4962, 2023, Diakses: 4 Juli 2024. [Daring]. Tersedia Pada: <https://j-ilkominfo.org/index.php/ejournalaikom/article/view/202>

- [24] N. Wahidah, O. Juwita, Dan F. Nurman Arifin, “Pengelompokan Daerah Rawan Bencana Di Kabupaten Jember Menggunakan Metode K-Means Clustering,” *Informatics Journal*, Vol. 8, No. 1, Hlm. 22–29, 2023.