

**PEMETAAN PRIORITAS MITIGASI BENCANA BERBASIS WEBGIS
BERDASARKAN DATA GEMPA DIRASAKAN BMKG DAN
KERENTANAN SOSIAL MENGGUNAKAN METODE
CLUSTERING K-MEANS DI JAWA BARAT**

SKRIPSI

Oleh :
GUSTIN RHEZA RASYIDI NUANZA AZDY
NIM. 220605110107



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**PEMETAAN PRIORITAS MITIGASI BENCANA BERBASIS WEBGIS
BERDASARKAN DATA GEMPA DIRASAKAN BMKG DAN
KERENTANAN SOSIAL MENGGUNAKAN METODE
CLUSTERING K-MEANS DI JAWA BARAT**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :

GUSTIN RHEZA RASYIDI NUANZA AZDY
NIM. 220605110107

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

PEMETAAN PRIORITAS MITIGASI BENCANA BERBASIS WEBGIS BERDASARKAN DATA GEMPA DIRASAKAN BMKG DAN KERENTANAN SOSIAL MENGGUNAKAN METODE K-MEANS CLUSTERING DI JAWA BARAT

SKRIPSI

Oleh :

GUSTIN RHEZA RASYIDI NUANZAAZDY
NIM. 220605110107

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 25 November 2025

Pembimbing I,



Nurizal Dwi Priandani, M.Kom
NIP. 19920830 202203 1 001

Pembimbing II,



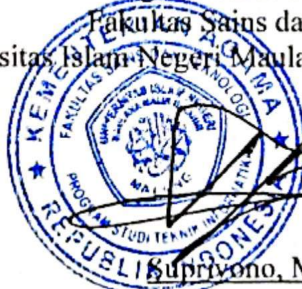
Dr. Ir. Fachrul Kurniawan ST., M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Informatika

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Supriyono, M. Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

HALAMAN PENGESAHAN

PEMETAAN PRIORITAS MITIGASI BENCANA BERBASIS WEBGIS BERDASARKAN DATA GEMPA DIRASAKAN BMKG DAN KERENTANAN SOSIAL MENGGUNAKAN METODE K-MEANS CLUSTERING DI JAWA BARAT

SKRIPSI

Oleh :

GUSTIN RHEZA RASYIDI NUANZA AZDY
NIM. 220605110107

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 10 Desember 2025


Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji	: <u>A'la Syauqi, M.Kom</u> NIP. 19771201 200801 1 007
Anggota Penguji I	: <u>Roro Inda Melani, M.T, M.Sc</u> NIP. 19780925 200501 2 008
Anggota Penguji II	: <u>Nurizal Dwi Priandani, M.Kom</u> NIP. 19920830 202203 1 001
Anggota Penguji III	: <u>Dr. Ir. Fachrul Kurniawan ST., M.MT., IPU</u> NIP. 19771020200912 1 001

()
()
()
()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Supriyono, M. Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gustin Rheza Rasyidi Nuanza Azdy
NIM : 220605110107
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Pemetaan Prioritas Mitigasi Bencana Berbasis
WEBGIS Berdasarkan Data Gempa Dirasakan
BMKG dan Kerentanan Sosial Menggunakan
Metode K-Means Clustering di Jawa Barat

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 20 Desember 2025
Yang membuat pernyataan,



Gustin Rheza Rasyidi Nuanza Azdy
NIM. 220605110107

MOTTO

“The past is the past. Be a better person, be a better human”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, karya ini penulis persembahkan kepada:

Ayah, Ibu, dan kakak-kakak tercinta

Atas doa, dukungan, dan kasih sayang tanpa henti yang selalu menjadi sumber
kekuatan dan motivasi.

Seluruh keluarga besar

Yang senantiasa memberikan dukungan dan doa dalam setiap langkah penulis.

Dosen pembimbing dan para pengajar

Atas bimbingan, arahan, serta ilmu yang sangat berarti bagi penulis.

Teman-teman Infinity Teknik Informatika 2022

Yang telah menjadi bagian dari perjalanan ini melalui kebersamaan dan semangat
yang tidak pernah padam.

Dan akhirnya, untuk diri sendiri

Yang terus berusaha, melangkah, dan bertahan hingga mencapai titik ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alam, segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. atas limpahan rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas skripsi yang berjudul “PEMETAAN PRIORITAS MITIGASI BENCANA BERBASIS WEBGIS BERDASARKAN DATA GEMPA DIRASAKAN BMKG DAN KERENTANAN SOSIAL MENGGUNAKAN METODE CLUSTERING K-MEANS DI JAWA BARAT” dengan baik dan lancar. Shalawat serta salam tak lupa penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW., sosok teladan mulia yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menuju zaman kebenaran, Islam, dan ilmu pengetahuan yang kita rasakan manfaatnya hingga hari ini.

Tugas skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Dalam proses penyusunan tugas ini, penulis mendapatkan bantuan, dukungan, serta doa dari banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

3. Supriyono, M. Kom, selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Nurizal Dwi Priandani, M.Kom, selaku Dosen Pembimbing I, yang dengan kesabaran dan dedikasinya membimbing penulis selama penyusunan skripsi.
5. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan ST., M.MT., IPU, selaku Dosen Pembimbing II, yang senantiasa memberikan arahan dan masukan yang sangat berharga dalam pengerjaan skripsi ini.
6. A'la Syauqi, M.Kom., dan Roro Inda Melani, M.T, M.Sc., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan bimbingan untuk menyempurnakan skripsi ini.
7. Nia Faricha, S.Si., admin Program Studi Teknik Informatika, yang membantu dalam urusan administrasi dan selalu mengingatkan tentang kelengkapan berkas.
8. Bapak Nurul Huda dan Ibu Musa Azdiyyah, orang tua tercinta, serta kakak-kakak penulis, yang selalu menjadi pilar kekuatan dengan doa, cinta, dan dukungan tanpa henti.
9. Rekan seperjuangan “Kontrakan Penghuni Surga”, yang beranggotakan Syamsul, Adi, Gumi, Fahry, Farros, Rama, Afif, Maul. Karya kecil ini kupersembahkan untuk kalian yang selalu menjadi sumber semangatku. Terima kasih sudah mau berbagi tawa dan air mata selama ini.
10. Teman bertumbuh “2RU” yang beranggotakan Maul, Sada, Izzan, Fiki. Yang kebersamai baik ketika berada dikala senang maupun sedih.

11. Teman eksplorasi yakni Dzarief, Tegar, Alwi yang senantiasa mau untuk eksplor hal baru dalam hidup saya.
12. Rekan-rekan Ma'had Ibnu Rusyd kamar 26 tahun 2022 dan teman-teman angkatan Infinity 2022, yang telah memberikan kebersamaan dan pengalaman berharga selama masa studi.
13. Seluruh keluarga, teman, sahabat, dan kerabat penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang turut memberikan bantuan, semangat, dukungan, dan doa untuk penulis.

Dan terakhir tak lupa terimakasih kepada diri sendiri, yang dengan tekad kuat mampu melewati setiap tantangan, rintangan, dan kesulitan selama perjalanan ini, membuktikan bahwa kerja keras dan usaha tidak pernah sia-sia. Penulis menyadari bahwa penelitian dalam tugas skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan memiliki berbagai keterbatasan. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, penulis membuka diri untuk menerima kritik dan saran yang membangun dari para pembaca guna menjadi bahan evaluasi dan pengembangan di masa mendatang. Penelitian ini juga memiliki potensi untuk dilanjutkan dan dikembangkan lebih jauh dalam penelitian berikutnya, sehingga dapat melengkapi kekurangan yang ada. Penulis berharap, karya ini tidak hanya memberikan manfaat bagi pembaca, tetapi juga dapat berkontribusi positif bagi masyarakat secara luas.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Malang, 20 Desember 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
الملخص	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	8
BAB II STUDI PUSTAKA	9
2.1 Penelitian Terkait	9
2.2 Gempa Bumi dan Pemetaan Dampaknya.....	14
2.2.1 Parameter Sumber Gempa : Magnitudo	14
2.2.2 Parameter Sumber Gempa : Intensitas (MMI)	16
2.2.3 Data Pemetaan Sebaran Guncangan (<i>Shakemap</i>)	18
2.2.4 Data Gempa Bumi Dirasakan BMKG.....	19
2.3 Kerentanan Sosial.....	20
2.4 Metode Klasterisasi K-Means	23
2.4.1 Algoritma dan Perhitungan Jarak K-Mean	25
2.4.2 Evaluasi Klaster	25
2.5 Web GIS.....	27
BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI	29
3.1 Desain Penelitian.....	29
3.1.1 Alur Penelitian	29
3.1.2 Pengumpulan Data	30
3.1.3 Desain Sistem.....	31
3.1.4 Input Dataset	35
3.1. Preprocessing	36
3.1.6 K-Means Clustering	42
3.1.7 Evaluasi Silhouette Index.....	45
3.1.8 Desain Sistem Web GIS.....	47
3.2 Implementasi	48

3.2.1 Implementasi Algoritma K-Means.....	49
3.2.2 Implementasi Evaluasi Silhouette Index	54
3.2.3 Implementasi Web GIS	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	63
4.1 Hasil	63
4.1.1 Pengaturan Eksperimen.....	63
4.1.2 Hasil Eksperimen	64
4.2 Pembahasan.....	69
4.3 Integrasi Islam.....	71
4.3.1 Muamalah Ma'a Allah	72
4.3.2 Muamalah Ma'a An-Nas.....	73
4.3.3 Muamalah Ma'a Al-Alam	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Parameter Penyusun dan Skoring Kerentanan	21
Gambar 3.1 Desain Penelitian.....	30
Gambar 3.2 Arsitektur Sistem.....	32
Gambar 3.3 Alur Penggunaan Sistem	33
Gambar 3.4 Use Case Diagram	34
Gambar 3.5 Implementasi Algoritma K-Means.....	53
Gambar 3.6 Implementasi Silhouette Index.....	55
Gambar 3.7 Landing Page.....	56
Gambar 3.8 Halaman Peta.....	57
Gambar 3.9 Halaman About	58
Gambar 3.10 Halaman Login.....	59
Gambar 3.11 Admin Dashboard	60
Gambar 4.1 Distance to Centroid Scatterplot	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait	9
Tabel 3.1 Dataset Gempa Bumi Dirasakan	36
Tabel 3.2 Hasil Agregasi Data Gempa.....	39
Tabel 3.3 Data yang Sudah Digabungkan.....	41
Tabel 3.4 Iterasi pertama perhitungan jarak ke centroid.....	43
Tabel 3.5 Pembaruan centroid.....	43
Tabel 3.6 Iterasi kedua perhitungan jarak ke centroid	44
Tabel 3.7 Hasil Clustering.....	45
Tabel 3.8 Detail Hasil Clustering	46
Tabel 4.1 Hasil Evaluasi	65
Tabel 4. 2 Rata-rata nilai fitur di tiap cluster	67
Tabel 4. 3 Standar deviasi nilai fitur di tiap cluster	67

ABSTRAK

Azdy, Gustin Rheza Rasyidi Nuanza Azdy. 2025. **Pemetaan Prioritas Mitigasi Bencana Berbasis WebGIS Berdasarkan Data Gempa Dirasakan BMKG Dan Kerentanan Sosial Menggunakan Metode K-Means Clustering Di Jawa Barat.** Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Nurizal Dwi Priandani, M.Kom (II) Dr. Ir. Fachrul Kurniawan ST., M.MT., IPU.

Kata kunci: Mitigasi Bencana, WebGIS, Gempa Dirasakan, Kerentanan Sosial, K-Means.

Pemetaan prioritas mitigasi bencana membutuhkan integrasi informasi seismik dan kerentanan sosial agar risiko wilayah dapat dipahami secara lebih komprehensif. Studi ini berfokus pada pemanfaatan data gempa dirasakan BMKG dan indikator kerentanan sosial untuk mengelompokkan kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat menggunakan metode K-Means. Tahapan analisis meliputi pengolahan dan normalisasi data dengan z-score, serta penerapan algoritma K-Means untuk membentuk klaster berdasarkan karakteristik risiko. Sistem visualisasi dibangun menggunakan FastAPI–Supabase pada sisi backend dan Leaflet pada antarmuka WebGIS. Hasil menunjukkan bahwa K-Means dengan jumlah klaster $k=2$ dan inisialisasi sebanyak 10 dan 20 menghasilkan nilai Silhouette Score yang sama yakni sebesar $= 0,379115$, yang mengindikasikan klaster yang terbentuk belum sepenuhnya terpisah secara tegas. Dengan demikian, klasterisasi pada penelitian ini diposisikan sebagai referensi awal untuk melihat kecenderungan risiko wilayah, bukan sebagai dasar tunggal dalam penentuan prioritas mitigasi. Sistem WebGIS yang dikembangkan berhasil menampilkan peta klaster secara dinamis dan menyediakan visualisasi spasial yang mendukung proses eksplorasi data risiko bencana.

ABSTRACT

Azdy, Gustin Rheza Rasyidi Nuanza Azdy 2025. **WebGIS-Based Disaster Mitigation Priority Mapping Using Felt Earthquake Data from BMKG and Social Vulnerability Indicators with K-Means Clustering in West Java.** Undergraduate Thesis. Department of Informatics, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Nurizal Dwi Priandani, M.Kom; (II) Dr. Ir. Fachrul Kurniawan ST., M.MT., IPU.

Mapping disaster mitigation priorities requires the integration of seismic information and social vulnerability indicators to enable a more comprehensive understanding of regional risk. This study focuses on the utilization of felt earthquake data from BMKG and social vulnerability indicators to cluster districts and cities in West Java Province using the K-Means clustering method. The analytical stages include data preprocessing and z-score normalization, followed by the application of the K-Means algorithm to form clusters based on regional risk characteristics. The visualization system was developed using a FastAPI–Supabase backend and a Leaflet-based WebGIS interface. The results indicate that K-Means clustering with $k=2$ and initialization runs of 10 and 20 produces the same Silhouette Score of 0.379115, suggesting that the resulting clusters are not yet distinctly separated. Therefore, the clustering results in this study are positioned as an initial reference for identifying regional risk tendencies rather than as a sole basis for determining mitigation priorities. The developed WebGIS system successfully displays dynamic cluster maps and provides spatial visualizations that support exploratory analysis of disaster risk.

Keywords: Disaster Mitigation, WebGIS, Felt Earthquakes, Social Vulnerability, K-Means.

الملخص

. عزدي، غوستين ريزا رشيدى نوانزا عزدي. ٢٠٢٥. بالاعتماد على بيانات الزلازل WebGIS رسم خرائط أولويات التخفيف من مخاطر الكوارث باستخدام K-Means والهشاشة الاجتماعية باستخدام خوارزمية BMKG المحسوسة من بحث تخرج. قسم تقنية المعلومات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرف الأول : نورزال دوي بريانداني، ماجستير في علوم الحاسوب. المشرف الثاني :الدكتور المهندس فخرول كورنياوان، ST، M.MT، IPU.

الكلمات الرئيسية: التخفيف من مخاطر الكوارث WebGIS، الهشاشة الاجتماعية، الزلازل المحسوسة. K-Means،

يتطلب رسم خرائط أولويات التخفيف من آثار الكوارث تكاملاً بين المعلومات الزلزالية وبيانات الهشاشة الاجتماعية لفهم مخاطر المناطق بشكل شامل. تركز هذه الدراسة على الاستفادة من بيانات الزلازل المحسوسة الصادرة عن وكالة (BMKG) ومؤشرات الهشاشة الاجتماعية لتصنيف المحافظات والمدن في مقاطعة جاوة الغربية باستخدام طريقة (K-Means Clustering). تشمل مراحل التحليل معالجة البيانات وتطبيقها باستخدام مقياس (z-score)، وتطبيق خوارزمية (K-Means) لتشكيل مجموعات (Clusters) بناءً على خصائص المخاطر. تم بناء نظام التصور باستخدام (FastAPI-Supabase) في الجانب الخلفي (Backend) و (Leaflet) في واجهة نظام المعلومات الجغرافية عبر الويب (WebGIS). أظهرت النتائج أن خوارزمية "K-Means" بعدد مجموعات (k=2) مع تحفة تكرارية بلغت 10 و 20 مرة، أنتجت نفس قيمة (Silhouette Score) وهي 0.379115، مما يشير إلى أن المجموعات المتكونة لم تنفصل تماماً بشكل حاد. وبناءً على ذلك، يتم وضع نتائج التصنيف في هذا البحث كمرجع أولي لرصد اتجاهات مخاطر المناطق، وليس كقاعدة وحيدة لتحديد أولويات التخفيف. وقد نجح نظام (WebGIS) المطور في عرض خرائط المجموعات بشكل ديناميكي وتوفير تصور مكاني يدعم عملية استكشاف بيانات مخاطر الكوارث.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah satu dari sekian negara dengan tingkat kerawanan gempa bumi tertinggi di dunia karena terletak di kawasan cincin api pasifik (Ring of Fire). Secara geografis Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Kondisi ini menjadikan Indonesia sebagai wilayah dengan aktivitas seismik yang sangat tinggi, sehingga gempa bumi dapat terjadi hampir di seluruh wilayah. Risiko gempa bumi tersebut semakin dipengaruhi oleh faktor kerentanan sosial, seperti jumlah kepadatan penduduk, keberadaan kelompok usia rentan, jumlah disabilitas serta kondisi ekonomi masyarakat di setiap daerah.

Jawa Barat adalah provinsi di Indonesia yang memiliki tingkat risiko gempa bumi yang tinggi, ini dikarenakan Jawa Barat memiliki sesar aktif dan kritis seperti Sesar Lembang, Sesar Cimandiri, dan Sesar Baribis (*Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, 2017). Pada periode 5 tahun dari 2020-2024 Jawa Barat menjadi provinsi dengan jumlah kejadian bencana gempa bumi tertinggi mencapai 29 kejadian gempa (Badan Pusat Statistik (BPS), 2024). Tak hanya itu, kepadatan penduduk juga menjadi faktor yang memperbesar risiko tersebut. Jawa Barat memiliki jumlah kepadatan penduduk tertinggi se-Indonesia mencapai hingga 50 juta penduduk (Badan Pusat Statistik, 2025) Kombinasi antara bahaya geologi dan tingginya kepadatan penduduk menjadikan Jawa Barat sebagai daerah dengan kerentanan bencana yang sangat signifikan.

Kejadian gempa bumi Cianjur pada 21 November 2022 adalah kejadian nyata dimana gempa berskala moderat (M 5.6) mampu menimbulkan kerusakan parah dan korban jiwa dalam jumlah besar (Supendi et al., 2022) Faktor kedalaman dangkal, pusat gempa yang berlokasi di darat, serta kondisi sosial yang rentan memperparah dampak bencana tersebut. Kondisi ini menegaskan bahwa mitigasi bencana gempa di Jawa Barat bukan lagi kebutuhan jangka panjang, melainkan sebuah urgensi yang harus segera dilakukan.

Gempa bumi yang dirasakan memiliki peran penting dalam pemetaan risiko karena memberikan gambaran nyata dampak di permukaan. Dalam konteks nasional, BMKG telah mengembangkan sistem Shakemap (Peta Guncangan Gempa) dan SIMAP (Seismic Intensity Map) yang menyajikan intensitas guncangan di berbagai wilayah. Evaluasi berkelanjutan terhadap kedua sistem ini menekankan pada akurasi, validasi data akselerograf dan makroseismik, serta keterpahaman produk agar dapat dimanfaatkan secara luas untuk mitigasi bencana (BMKG, 2025).

Namun, risiko gempa tidak hanya dipengaruhi oleh aspek kebumihan. Kerentanan sosial masyarakat turut menentukan tingkat dampak yang terjadi. Menurut (Cutter et al., 2003), kerentanan sosial mencakup faktor demografi, ekonomi, pendidikan, dan akses terhadap sumber daya. Dengan demikian, bahaya yang sama dapat menimbulkan dampak berbeda pada wilayah yang memiliki tingkat kerentanan sosial yang berbeda pula.

Di Indonesia, kerangka penilaian kerentanan sosial telah distandardisasi oleh pemerintah. BNPB melalui Perka No. 2 Tahun 2012 (BADAN NASIONAL

PENANGGULANGAN BENCANA, 2012) menekankan indikator kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, kelompok rentan (balita, lansia, disabilitas), dan kemiskinan sebagai komponen utama dalam analisis risiko bencana. Standar ini memperkuat kebutuhan akan pendekatan terintegrasi yang menggabungkan aspek bahaya dengan kondisi sosial masyarakat.

Sistem pemetaan risiko yang ada saat ini, seperti InaRISK milik BNPB, masih memiliki keterbatasan dalam hal interaktivitas dan fleksibilitas analisis. Peta yang disajikan umumnya belum disusun berdasarkan batas administratif secara detail, sehingga kurang mendukung analisis terarah pada tingkat daerah.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan kerangka kerja terintegrasi yang menggabungkan data Gempabumi Dirasakan BMKG dengan indikator kerentanan sosial melalui analisis kluster. Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk Web-GIS interaktif untuk mendukung pengambilan keputusan yang dinamis lintas wilayah administratif. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan tidak hanya menyajikan metode analisis yang komprehensif, tetapi juga memberikan inovasi pada aspek diseminasi informasi, sehingga lebih mudah diakses oleh pemerintah daerah, lembaga kebencanaan, maupun masyarakat.

Berbagai studi telah menunjukkan bahwa algoritma clustering K-Means efektif untuk mengelompokkan aktivitas gempa dan memvisualisasikan pola penyebarannya. (Agustina, 2023) menggunakan K-Means untuk gempa di Jawa Barat, sementara (Reviantika et al., 2020) dan (Jufriansah et al., 2021) menggunakan metode yang sama untuk gempa di Pulau Jawa dan Indonesia.

(Hakim et al., 2025) dalam tinjauan literturnya juga menegaskan bahwa K-Means merupakan salah satu algoritma paling sesuai untuk data spasial gempa karena kesederhanaan dan kemampuannya mengidentifikasi pola kelompok yang jelas, K-Means adalah salah satu algoritma yang paling sesuai untuk data spasial gempa. Penelitian ini menggunakan K-Means untuk menggabungkan variabel bahaya dan kerentanan sosial untuk menghasilkan peta prioritas mitigasi yang lebih mudah dipahami dengan menggunakan metodologi ini.

Dalam menghadapi bencana, manusia diajarkan untuk selalu berusaha melakukan tindakan preventif dan evaluatif. Sebagaimana disebutkan dalam QS Al Baqarah ayat 177:

لَيْسَ الْبِرَّ أَنْ تُوَلُّوا وُجُوهَكُمْ قِبَلَ الْمَشْرِقِ وَالْمَغْرِبِ وَلَكِنَّ الْبِرَّ مَنْ ءَامَنَ بِاللّٰهِ وَالْيَوْمِ الْآخِرِ

وَالْمَلَائِكَةِ وَالْكِتَابِ وَالنَّبِيِّينَ وَءَاتَى الْمَالَ عَلَى حُبِّهِ ذَوِي الْقُرْبَىٰ وَالْيَتَامَىٰ وَالْمَسْكِينِ وَابْنَ السَّبِيلِ وَالسَّائِلِينَ

وَفِي الرِّقَابِ وَأَقَامَ الصَّلَاةَ وَءَاتَى الزَّكَاةَ وَالْمُوفُونَ بِعَهْدِهِمْ إِذَا عَاهَدُوا ۚ وَالصَّابِرِينَ فِي الْبَأْسَاءِ وَالضَّرَّاءِ وَحِينَ

الْبَأْسِ ۚ أُولَٰئِكَ الَّذِينَ صَدَقُوا ۚ وَأُولَٰئِكَ هُمُ الْمُتَّقُونَ

"Kebajikan itu bukanlah menghadapkan wajahmu ke arah timur dan barat, melainkan kebajikan itu ialah (kebajikan) orang yang beriman kepada Allah, hari Akhir, malaikat-malaikat, kitab suci, dan nabi-nabi; memberikan harta yang dicintainya kepada kerabat, anak yatim, orang miskin, musafir, peminta-minta, dan (memerdekakan) hamba sahaya; melaksanakan salat; menunaikan zakat; menepati janji apabila berjanji; sabar dalam kemelaratan, penderitaan, dan pada masa peperangan. Mereka itulah orang-orang yang benar dan mereka itulah orang-orang yang bertakwa." (QS Al-Baqarah 2:177)

Dalam Tafsir Al-Muyassar hakikat kebajikan di sisi Allah bukanlah sekadar menghadap ke timur atau barat dalam shalat apabila tidak berlandaskan perintah

dan syariat-Nya. Kebajikan sejati adalah iman yang kokoh kepada Allah tanpa menyekutukan-Nya, meyakini hari kebangkitan dan pembalasan, beriman kepada para malaikat, kitab-kitab yang diturunkan, serta seluruh nabi tanpa membedakan. Manifestasi kebajikan itu juga tampak dalam tindakan sosial, seperti menafkahkan harta yang dicintai kepada kerabat, anak yatim, orang miskin, musafir yang membutuhkan, serta orang-orang yang terpaksa meminta-minta, termasuk dalam upaya membebaskan budak. Selain itu, kebajikan diwujudkan melalui penegakan shalat, pembayaran zakat, menepati janji, serta bersabar dalam kondisi sulit seperti kemiskinan, sakit, maupun peperangan. Orang-orang dengan karakter demikian digolongkan sebagai mereka yang benar dalam keimanan dan bertakwa, serta senantiasa menjauhi perbuatan maksiat. Dalam konteks kebencanaan, masyarakat yang terdampak gempa dan musibah lain termasuk dalam golongan yang berhak memperoleh pertolongan sebagaimana disebut dalam ayat tersebut. Oleh karena itu, upaya untuk mengantisipasi, menanggulangi, dan membantu korban bencana dapat dipandang sebagai perwujudan nilai kebajikan yang diperintahkan Allah. Hal ini sekaligus menjadi bentuk solidaritas sosial yang perlu dikembangkan dalam kehidupan bermasyarakat.

Dengan demikian, penanganan bencana gempa di Jawa Barat perlu dilakukan secara lebih menyeluruh, terpadu, dan praktis. Sebagian besar penelitian sebelumnya masih dilakukan secara terpisah, terbatas pada wilayah tertentu, dan belum memanfaatkan teknologi penyajian data yang interaktif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menggabungkan data aktivitas gempa dan indikator kerentanan sosial menggunakan metode klasterisasi K-Means. Hasil analisis

tersebut akan digunakan untuk menghasilkan peta prioritas mitigasi bencana yang lebih representatif serta disesuaikan dengan batas administratif wilayah.

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini mengangkat topik tersebut dengan judul: “Pemetaan Prioritas Mitigasi Bencana berbasis Web GIS Berdasarkan Data Gempa Dirasakan BMKG dan Kerentanan Sosial Menggunakan Metode Clustering K-Means di Jawa Barat”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya, dapat dinyatakan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan dan implementasi platform Web-GIS yang dapat menampilkan hasil klasterisasi wilayah administrasi berdasarkan data bahaya gempa dan kerentanan sosial menggunakan metode K-Means?
2. Berapa klaster dan iterasi yang paling optimal untuk mengelompokkan wilayah administrasi berdasarkan data bahaya gempa dan kerentanan sosial?
3. Seberapa baik kualitas klaster dengan K paling optimal dapat mengelompokkan wilayah berdasarkan evaluasi Silhouette Score?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga agar analisis lebih terfokus, penelitian ini menetapkan sejumlah batasan. Batasan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut :

1. Data Lingkup Wilayah: Penelitian hanya mencakup wilayah administratif Provinsi Jawa Barat dengan unit analisis pada tingkat kabupaten/kota. Analisis tidak dilakukan pada tingkat kecamatan atau desa.
2. Periode Data: Data aktivitas gempa yang digunakan terbatas pada periode 2021–2024. Data di luar periode tersebut tidak dianalisis.
3. Variabel yang Digunakan: Penelitian hanya memperhitungkan aspek kerentanan sosial (misalnya kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, rasio kelompok umur rentan, rasio penduduk miskin, dan rasio penduduk cacat dengan catatan rasio penduduk cacat adalah jumlah dari tiap kategori dikarenakan ketidaksediaan mikrodta). Aspek kerentanan fisik (kualitas bangunan), ekonomi, maupun kapasitas penanggulangan bencana tidak dimasukkan dalam analisis.
4. Platform Web-GIS: Sistem Web-GIS yang dibangun menampilkan informasi tentang panduan mitigasi gempa dan hasil klusterisasi secara interaktif (zoom, pan, dan identifikasi atribut). Sistem tidak memiliki fitur pembaruan data otomatis secara real-time.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan platform WebGIS yang mampu menampilkan hasil klusterisasi wilayah administrasi berdasarkan data bahaya gempa dan indikator kerentanan sosial menggunakan metode K-Means.

2. Menentukan jumlah klaster (k) dan iterasi yang paling optimal dalam pengelompokan wilayah administrasi berdasarkan data bahaya gempa dan kerentanan sosial melalui proses pengujian parameter K-Means.
3. Mengevaluasi kualitas klaster yang dihasilkan oleh nilai k optimal menggunakan metrik Silhouette Score untuk mengetahui seberapa baik algoritma K-Means mampu memisahkan karakteristik risiko antar wilayah.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini mencakup aspek berikut:

1. Menjadi referensi penerapan K-Means dalam pemetaan risiko bencana dan pengembangan kajian kebencanaan berbasis GIS.
2. Menyajikan informasi pendukung berupa peta prioritas mitigasi yang dapat melengkapi referensi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan dalam merencanakan intervensi kebencanaan.
3. Meningkatkan pemahaman tentang tingkat kerentanan wilayahnya dan mendorong kesiapsiagaan bencana pada masyarakat.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terdahulu yang relevan dengan topik ini dapat dikelompokkan ke dalam tiga fokus utama, yaitu penerapan metode klasterisasi untuk data gempa, analisis kerentanan spasial, dan pengembangan platform Web-GIS untuk diseminasi informasi bencana. Masing-masing pendekatan ini memberikan landasan penting bagi penelitian yang akan dilakukan, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terkait

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1.	(Febrian et al., 2025)	Analisis Spasial Bebas K-Means Clustering untuk Identifikasi Daerah Rawan Gempa berdasarkan Data Historis	K-Means	Mengelompokkan daerah di Indonesia berdasarkan tingkat intensitas kejadian gempa menggunakan algoritma K-Means Clustering.
2.	(Kristianto Anver & Prasetyo, 2025)	Analysis of Earthquake Intensity on Java Island Using K-Means Clustering and GeoMap	K-Means dan Visualisasi Geomap	Mengelompokkan wilayah berdasarkan tingkat intensitas gempa dalam bentuk visual secara terstruktur.
3.	(Lumowa, 2025)	Zonasi Wilayah Rawan Gempa di Sulawesi Menggunakan Metode K-Means Clustering terhadap Data Historis USGS (1974-2024)	K-Means	Menunjukkan bahwa algoritma K-Means Clustering efektif dalam memetakan zona rawan gempa bumi di Sulawesi berdasarkan data historis dari USGS yang mencakup periode 1974-2024.
4.	(Sauti et al., 2021)	GIS spatial modelling for	Analisis Spasial	Merumuskan pendekatan terpadu dalam menilai

		seismic risk assessment based on exposure, resilience, and capacity indicators to seismic hazard: a case study of Pahang, Malaysia		kerentanan dan risiko seismik di wilayah Pahang melalui integrasi analisis multivariat dan pemodelan spasial berbasis GIS.
5.	(Lestari & Susiloningtyas, 2022)	Spatial Analysis of Social Vulnerability to Earthquake Hazard in Bengkulu City	Analisis Spasial	Penelitian ini menegaskan pentingnya analisis spasial berbasis indikator sosial dan PGA dalam mengidentifikasi wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi, sehingga dapat menjadi dasar dalam perencanaan mitigasi risiko gempa yang lebih tepat sasaran.
6.	(Kinasih et al., 2023)	Kajian risiko bencana gempa bumi akibat aktivitas Sesar Lembang di Kabupaten Bandung Barat	Analisis Spasial	Hasil kajian menunjukkan bahwa wilayah yang dilintasi Sesar Lembang, khususnya Kabupaten Bandung Barat, memiliki potensi guncangan gempa yang tinggi dengan intensitas mencapai skala V–VIII MMI. Ketika potensi bahaya ini dikaitkan dengan kondisi kerentanan fisik, sosial, dan ekonomi masyarakat, maka risiko bencana gempa bumi menjadi semakin besar. Oleh karena itu, pemetaan risiko yang mempertimbangkan baik aspek bahaya maupun kerentanan sangat penting untuk mendukung upaya mitigasi yang lebih tepat sasaran.
7.	(Sinta et al., 2024)	Pemetaan Menggunakan Leaflet Dan Open Street Maps Pada Daerah Rawan	Rapid Application Development	Menghasilkan aplikasi berbasis WebGIS yang mampu meningkatkan kecepatan dan akurasi penyampaian informasi terkait laporan bencana di

		Bencana Kabupaten Jember Berbasis WebGIS		Kabupaten Jember, dengan respons sistem yang dinilai sangat cepat serta penyediaan peta terbaru yang mendukung perencanaan dan mitigasi bencana secara lebih efektif.
8.	(Paula Asmara, 2023)	Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Daerah Rawan Bencana Kota Palopo Berbasis Webgis	System Development Life Cycle	Hasil penelitian berupa aplikasi WebGIS yang dikembangkan yang telah berfungsi dengan baik dan memungkinkan masyarakat Kota Palopo untuk mengetahui lokasi-lokasi rawan bencana secara akurat.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan adanya perbedaan fokus dalam pendekatan pemetaan gempa dan kerentanan sosial untuk upaya mitigasi. Pendekatan clustering banyak digunakan pada penelitian berskala nasional maupun regional, seperti yang dilakukan oleh (Febrian et al., 2025), (Kristianto Anver & Prasetyo, 2025), serta (Iqbal Prayoga Willyana et al., 2025) yang memanfaatkan metode K-Means Clustering untuk membentuk zona rawan gempa di Indonesia dan Jawa. Penelitian serupa pada skala lebih kecil, misalnya oleh (Lumowa, 2025) di Pulau Sulawesi, juga menghasilkan pembagian wilayah rawan dengan teknik clustering. Namun, kelemahan utama dari pendekatan ini adalah analisis hanya berfokus pada pengelompokan titik kejadian gempa tanpa mempertimbangkan faktor kebumihan yang lebih penting, seperti atenuasi gelombang atau nilai Peak Ground Acceleration (PGA). Selain itu, hasil clustering tidak langsung terhubung dengan batas wilayah administratif, sehingga sulit digunakan untuk pemetaan per daerah.

Di sisi lain, pendekatan berbasis analisis spasial banyak digunakan untuk menilai kerentanan sosial-ekonomi, fisik, lingkungan maupun risiko gempa berbasis tata ruang. Misalnya, penelitian oleh (Pamungkas et al., 2025) di Kecamatan Cisarua, (Kinasih et al., 2023) di Kabupaten Bandung Barat, serta (Tim Riset Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian (FITB) et al., 2021) di Kota Bandung, yang menekankan pentingnya integrasi kerentanan sosial dalam pemetaan risiko gempa. Analisis serupa juga dilakukan oleh (Lestari & Susiloningtyas, 2022) di Kota Bengkulu serta (Sauti et al., 2021) di Pahang, Malaysia, dengan menggabungkan indikator sosial, kapasitas, dan PGA. Meskipun komprehensif, pendekatan ini memiliki kelemahan mendasar pada sifat outputnya yang seringkali disajikan dalam format statis seperti peta atau laporan PDF, sehingga menghalangi pengguna untuk melakukan eksplorasi atau pemfilteran data secara interaktif. Keterbatasan lainnya adalah cakupan analisis yang cenderung terpaku pada wilayah tertentu, sehingga menyulitkan perbandingan atau agregasi data pada tingkat administrasi yang lebih luas.

Pada sisi implementasi teknologi, beberapa penelitian juga mengembangkan aplikasi berbasis WebGIS untuk mendukung penyampaian informasi kebencanaan, seperti (Sinta et al., 2024) di Kabupaten Jember dan (Paula Asmara, 2023) di Kota Palopo. Sistem ini terbukti meningkatkan kecepatan dan aksesibilitas informasi, namun umumnya masih terbatas pada penyajian data bahaya atau lokasi rawan bencana tanpa mengintegrasikan hasil analisis kerentanan sosial maupun hasil clustering.

Berdasarkan uraian penelitian terdahulu, masih terdapat kesenjangan dalam menghasilkan peta prioritas mitigasi yang benar-benar aplikatif. Di satu sisi, metode clustering mampu mengelompokkan wilayah rawan, namun seringkali mengabaikan data kebumihan dan keterhubungan dengan batas administratif yang krusial untuk kebijakan. Di sisi lain, pendekatan kerentanan sosial spasial lebih komprehensif, namun cenderung menghasilkan peta statis yang membatasi akses dan interaktivitas bagi pemangku kepentingan. *Novelty* penelitian ini terletak pada penggabungan keunggulan kedua pendekatan tersebut: analisis kluster berbasis data gempabumi dirasakan dari BMKG dan integrasi parameter kerentanan sosial, yang kemudian disajikan melalui platform WebGIS interaktif. Dengan kerangka kerja ini, hasil penelitian tidak hanya menghadirkan klasifikasi prioritas mitigasi yang lebih menyeluruh dan berbasis wilayah administratif, tetapi juga menyajikannya dalam bentuk sistem terbuka dan interaktif yang dapat diakses lintas pemangku kepentingan. Pendekatan ini belum banyak dijumpai dalam penelitian terdahulu, sehingga menawarkan kontribusi baru baik dari sisi metodologi analisis maupun inovasi teknologi penyajian informasi. Secara ringkas, hasil telaah terhadap penelitian terdahulu menunjukkan bahwa belum ada pendekatan yang mengintegrasikan analisis kluster risiko gempa dengan pemetaan kerentanan sosial dalam satu sistem interaktif berbasis WebGIS. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengisi celah tersebut melalui pengembangan model pemetaan risiko yang mudah diakses.

2.2 Gempa Bumi dan Pemetaan Dampaknya

Gempa bumi merupakan fenomena geofisika yang dampaknya tidak hanya ditentukan oleh keberadaan kejadian gempa itu sendiri, tetapi juga oleh karakteristik sumber gempa dan bagaimana energi gempa tersebut dirambatkan hingga dirasakan di permukaan. Dalam kajian pemetaan dampak gempa bumi, diperlukan sejumlah parameter yang mampu merepresentasikan kekuatan, sebaran, dan tingkat guncangan yang terjadi pada suatu wilayah. Parameter-parameter ini menjadi dasar dalam analisis spasial guna memahami variasi dampak gempa antarwilayah serta sebagai masukan penting dalam perencanaan mitigasi bencana. Oleh karena itu, pembahasan selanjutnya akan menguraikan parameter sumber gempa yang digunakan dalam penelitian ini, yang diawali dengan parameter magnitudo sebagai indikator utama kekuatan gempa bumi.

2.2.1 Parameter Sumber Gempa : Magnitudo

Gempabumi adalah fenomena pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam kerak bumi yang menyebabkan timbulnya gelombang seismik. Titik di dalam bumi tempat energi ini pertama kali dilepaskan disebut hiposentrum atau fokus. Untuk mengukur besaran energi yang dilepaskan di sumbernya, para seismolog menggunakan parameter yang disebut magnitudo.

Magnitudo adalah ukuran kuantitatif yang menggambarkan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa. Berbeda dengan intensitas yang bersifat deskriptif, magnitudo merupakan nilai absolut yang tidak bergantung pada lokasi pengamatan (Hanks & Kanamori, 1979). Nilai magnitudo akan tetap sama, tidak peduli seberapa jauh jarak seorang pengamat dari pusat gempa. Konsep ini

pertama kali diperkenalkan oleh Charles F. Richter pada tahun 1935, yang kemudian dikenal sebagai Skala Richter (Local Magnitude - ML).

Skala Richter pada awalnya dirancang untuk gempa-gempa lokal di California Selatan dan dihitung berdasarkan amplitudo maksimum gelombang seismik yang terekam oleh seismograf Wood-Anderson. Namun, seiring berkembangnya teknologi dan pemahaman tentang mekanisme gempa, beberapa skala magnitudo lain dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan Skala Richter, terutama untuk gempa-gempa besar dan yang terekam pada jarak jauh. Beberapa skala tersebut antara lain:

1. Magnitudo Gelombang Badan (*Body-wave Magnitude* - mb): Dihitung berdasarkan amplitudo gelombang P (*Primary waves*).
2. Magnitudo Gelombang Permukaan (*Surface-wave Magnitude* - Ms): Dihitung berdasarkan amplitudo gelombang permukaan, efektif untuk gempa dangkal.
3. Magnitudo Momen (*Moment Magnitude* - Mw): Skala ini dianggap yang paling akurat saat ini, terutama untuk gempa bumi besar (magnitudo > 7). Skala magnitudo bersifat logaritmik. Artinya, kenaikan satu satuan magnitudo (misalnya dari 5.0 M menjadi 6.0 M) bukan berarti energinya naik satu kali lipat, melainkan mewakili peningkatan amplitudo gelombang sebesar 10 kali dan pelepasan energi sekitar 32 kali lebih besar (Bruce A. Bolt, 2003). Dengan demikian, magnitudo menjadi parameter fundamental untuk mengklasifikasikan kekuatan inheren dari sebuah peristiwa gempabumi di sumbernya.

Skala magnitudo bersifat logaritmik. Artinya, kenaikan satu satuan magnitudo (misalnya dari 5.0 M menjadi 6.0 M) bukan berarti energinya naik satu kali lipat, melainkan mewakili peningkatan amplitudo gelombang sebesar 10 kali dan pelepasan energi sekitar 32 kali lebih besar (Bruce A. Bolt, 2003). Dengan demikian, magnitudo menjadi parameter fundamental untuk mengklasifikasikan kekuatan inheren dari sebuah peristiwa gempabumi di sumbernya.

2.2.2 Parameter Sumber Gempa : Intensitas (MMI)

Untuk memberikan gambaran yang cepat dan komprehensif mengenai sebaran dampak guncangan setelah terjadi gempabumi, sistem pemetaan otomatis telah dikembangkan. Produk utama dari sistem ini adalah Shakemap, sebuah peta yang menggambarkan distribusi spasial intensitas guncangan tanah di suatu wilayah. Shakemap dihasilkan dalam waktu beberapa menit setelah gempa terjadi dan menjadi alat yang sangat vital bagi lembaga penanggulangan bencana, pemerintah, dan tim tanggap darurat untuk memperkirakan potensi kerusakan dan memprioritaskan wilayah respons (Wald et al., 2005)

Skala yang paling umum digunakan untuk mengukur intensitas gempabumi adalah Skala Modified Mercalli Intensity (MMI). Skala ini terdiri dari 12 tingkatan yang ditulis dalam angka Romawi (I hingga XII), mulai dari guncangan yang tidak dirasakan (I) hingga kehancuran total (XII). Setiap tingkatan MMI memiliki deskripsi spesifik mengenai apa yang dirasakan oleh orang-orang dan bagaimana respons struktur bangunan terhadap guncangan tersebut (Wood & Neumann, 1931). Besarnya nilai intensitas di suatu lokasi tidak hanya ditentukan oleh magnitudo dan jarak, tetapi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor kunci lainnya:

1. Atenuasi: Merupakan pelemahan energi gelombang seismik saat merambat melalui medium batuan. Gelombang akan kehilangan energinya seiring bertambahnya jarak dari sumber gempa, sehingga guncangan yang dirasakan akan lebih lemah di lokasi yang lebih jauh.
2. Kondisi Geologi Lokal (Efek Tapak Lokal): Jenis tanah atau batuan di permukaan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap tingkat guncangan. Tanah lunak, seperti endapan aluvial atau sedimen tebal, cenderung memperkuat (mengamplifikasi) guncangan gempa dibandingkan dengan batuan dasar yang keras. Fenomena ini, yang dikenal sebagai amplifikasi tapak (site amplification), dapat menyebabkan kerusakan yang lebih parah di wilayah dengan kondisi tanah lunak meskipun jaraknya dari episentrum relatif jauh (Kramer, 1996).
3. Peak Ground Acceleration (PGA): Merupakan percepatan maksimum tanah yang terekam oleh alat seismograf (akselerometer) selama terjadi gempa. PGA adalah ukuran instrumental dari kekuatan guncangan dan seringkali memiliki korelasi yang kuat dengan nilai intensitas MMI. Dalam pemetaan modern, data PGA digunakan untuk mengestimasi nilai MMI secara lebih objektif, terutama di area yang tidak berpenghuni di mana laporan dampak dari masyarakat tidak tersedia.

Kombinasi dari faktor-faktor inilah yang menyebabkan pola kerusakan akibat gempabumi seringkali tidak seragam. Pemahaman terhadap intensitas menjadi sangat krusial dalam analisis risiko dan mitigasi bencana karena parameter

ini secara langsung menggambarkan tingkat bahaya fisik yang dialami oleh suatu komunitas.

2.2.3 Data Pemetaan Sebaran Guncangan (*Shakemap*)

Untuk memberikan gambaran yang cepat dan komprehensif mengenai sebaran dampak guncangan setelah terjadi gempa bumi, sistem pemetaan otomatis telah dikembangkan. Produk utama dari sistem ini adalah Shakemap, sebuah peta yang menggambarkan distribusi spasial intensitas guncangan tanah di suatu wilayah. Shakemap dihasilkan dalam waktu beberapa menit setelah gempa terjadi dan menjadi alat yang sangat vital bagi lembaga penanggulangan bencana, pemerintah, dan tim tanggap darurat untuk memperkirakan potensi kerusakan dan memprioritaskan wilayah respons (Wald et al., 2005).

Shakemap dikembangkan oleh United States Geological Survey (USGS) dan kini telah diadopsi oleh berbagai badan geologi di seluruh dunia, termasuk Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) di Indonesia. Peta ini mengintegrasikan berbagai jenis data untuk menghasilkan estimasi intensitas yang seakurat mungkin. Input utama yang digunakan dalam pembuatan Shakemap meliputi:

1. Data Instrumental: Rekaman dari jaringan seismograf dan akselerometer yang mengukur parameter seperti Percepatan Tanah Puncak (PGA) dan Kecepatan Tanah Puncak (PGV). Data ini menjadi tulang punggung dalam estimasi guncangan.
2. Laporan Masyarakat ("Did You Feel It?" - DYFI): Data berbasis *crowdsourcing* di mana masyarakat dapat melaporkan secara daring tingkat guncangan yang

mereka rasakan. Laporan ini memberikan informasi berharga, terutama di area yang tidak terjangkau oleh sensor seismik

3. Hubungan Atenuasi: Model matematis yang memprediksi bagaimana kekuatan gelombang seismik akan melemah seiring dengan jaraknya dari sumber gempa.
4. Informasi Kondisi Geologi Lokal: Data mengenai jenis tanah dan batuan di permukaan untuk memperhitungkan efek amplifikasi tapak lokal

2.2.4 Data Gempa Bumi Dirasakan BMKG

Pemilihan data bahaya (*hazard*) merupakan langkah fundamental yang menentukan relevansi dan akurasi dalam sebuah analisis risiko bencana. Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data gempa bumi dirasakan yang dirilis secara resmi oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Keputusan ini didasarkan pada pertimbangan bahwa data ini merupakan produk akhir yang paling komprehensif dan relevan untuk analisis dampak sosial. Data Gempabumi Dirasakan BMKG dipilih dengan justifikasi sebagai berikut:

1. Berbasis pada Analisis Ilmiah (Shakemap): Informasi Gempabumi Dirasakan bukanlah data mentah, melainkan hasil olahan yang didasarkan pada analisis Shakemap. Ini berarti data tersebut telah memperhitungkan berbagai faktor kompleks seperti magnitudo, jarak, atenuasi, dan efek tapak lokal. Dengan kata lain, data ini mewarisi keunggulan ilmiah dari Shakemap dalam merepresentasikan sebaran guncangan yang realistis.
2. Keterbacaan dan Kelengkapan Informasi: Berbeda dengan data Shakemap mentah yang berupa peta kontur teknis, data Gempabumi Dirasakan disajikan oleh BMKG dalam format yang lebih mudah dipahami. Informasi ini biasanya

mencakup rincian penting seperti daftar wilayah terdampak beserta tingkat intensitasnya (dalam MMI), waktu kejadian, magnitudo, kedalaman, dan lokasi episenter. Kelengkapan ini sangat penting untuk validasi dan interpretasi hasil analisis kerentanan.

3. Relevansi Langsung dengan Dampak Sosial: Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kerentanan sosial, yang sangat bergantung pada dampak fisik yang dialami masyarakat. Dengan menyediakan daftar spesifik daerah yang merasakan guncangan beserta skala intensitasnya, data Gempabumi Dirasakan BMKG secara langsung menghubungkan fenomena fisik gempa dengan unit-unit wilayah administrasi tempat masyarakat tinggal. Hal ini memungkinkan analisis yang lebih fokus dan relevan.

Dengan demikian, penggunaan data Gempabumi Dirasakan dari BMKG merupakan pilihan metodologis yang kuat karena data ini tidak hanya akurat secara seismologis (berbasis Shakemap), tetapi juga disajikan dalam format yang terstruktur dan informatif, sehingga sangat sesuai untuk digunakan dalam analisis risiko dan kerentanan sosial.

2.3 Kerentanan Sosial

Kerentanan sosial merupakan salah satu komponen kunci dalam analisis risiko bencana. Konsep ini merujuk pada kondisi atau karakteristik suatu komunitas yang membuatnya lebih rentan terhadap dampak negatif dari suatu bahaya. BNPB dalam Perka No. 2 Tahun 2012 (BADAN NASIONAL PENANGGULANGAN BENCANA, 2012) mendefinisikan kerentanan secara luas sebagai rangkaian kondisi yang ditentukan oleh faktor-faktor fisik, sosial, ekonomi, dan lingkungan

yang meningkatkan kemungkinan masyarakat terdampak bencana. Dalam konteks sosial, kerentanan diukur melalui berbagai indikator yang mencerminkan kapasitas dan kerapuhan masyarakat. Dalam konteks sosial, kerentanan diukur melalui berbagai indikator yang mencerminkan kapasitas dan kerapuhan masyarakat. Indikator yang digunakan platform WebGIS InaRISK milik BNPB seperti tertera pada gambar 2.1

Parameter Penyusun dan Skoring Kerentanan Sosial

Parameter	Bobot (%)	Kelas		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Kepadatan Penduduk	60	<5 jiwa/ha	5 - 10 jiwa/ha	>10 jiwa/ha
Kelompok Rentan				
Rasio Jenis Kelamin (10%)	40	>40	20-40	<20
Rasio Kelompok Umur Rentan (10%)		<20	20-40	>40
Rasio Penduduk Miskin (10%)				
Rasio Penduduk Cacat (10%)				

Gambar 2.1 Parameter Penyusun dan Skoring Kerentanan

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Kepadatan Penduduk (jiwa/ha)

Data diperoleh dari *Data Penduduk, Laju Pertumbuhan Penduduk, Distribusi Persentase Penduduk, Kepadatan Penduduk, dan Rasio Jenis Kelamin Penduduk Menurut Provinsi, 2020* (BPS). Dikarenakan data BPS awalnya menyajikan kepadatan dalam satuan jiwa/km². Karena 1 km² = 100ha, maka kepadatan diubah menjadi jiwa/ha dengan:

$$Kepadatan(jiwa/ha) = \frac{Kepadatan(jiwa/km^2)}{100} \quad (2.1)$$

2. Rasio Jenis Kelamin (%)

Data diperoleh dari publikasi Data Penduduk, Laju Pertumbuhan Penduduk, Distribusi Persentase Penduduk, Kepadatan Penduduk, dan Rasio Jenis Kelamin Penduduk Menurut Provinsi, 2020 (BPS).

3. Rasio Kelompok Umur Rentan (%)

Jumlah Penduduk Berdasarkan Kelompok Umur dan Kabupaten/Kota di Jawa Barat, 2020 (Open Data Jabar,).

$$Rasio\ Umur\ Rentan = \frac{Jumlah\ Penduduk\ (0-4\ Tahun + >60\ Tahun)}{Jumlah\ Penduduk\ Total} \times 100\% \quad (2.2)$$

4. Rasio Penduduk Miskin (%)

Data diperoleh dari Persentase Penduduk Miskin Menurut Kabupaten/Kota di Jawa Barat (Persen), 2020 (BPS).

5. Rasio Penyandang Disabilitas (%)

Data diperoleh dari publikasi PENDUDUK PROVINSI JAWA BARAT Hasil Long Form Sensus Penduduk 2020 (BPS).

$$Rasio\ Penyandang\ Disabilitas = \frac{Jumlah\ Penyandang\ Disabilitas}{Jumlah\ Penduduk\ Total} \times 100\% \quad (2.3)$$

Kelima indikator di atas dihitung secara manual berdasarkan sumber data resmi BPS, kemudian digunakan sebagai variabel atau fitur yang menggambarkan kondisi sosial di tiap kabupaten/kota Jawa Barat.

Berbeda dengan pendekatan konvensional yang menggabungkan indikator melalui skor dan bobot untuk membentuk indeks tunggal, penelitian ini

menggunakan pendekatan klasterisasi. Dalam metode ini, parameter sosial diperlakukan sebagai variabel multidimensi yang dianalisis menggunakan algoritma K-Means, sehingga wilayah dengan profil kerentanan serupa akan dikelompokkan bersama secara statistik tanpa memerlukan pembobotan awal.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kerentanan sosial berpengaruh signifikan dalam ketahanan masyarakat. (Do et al., 2023) menggunakan *Social Vulnerability Index (SVI)* untuk memetakan wilayah yang membutuhkan dukungan tambahan sebelum, selama, dan setelah bencana. Studi di Pahang, Malaysia, juga menegaskan bahwa komunitas dengan kerentanan sosial tinggi lebih sulit pulih pascabencana. Oleh karena itu, analisis kerentanan sosial penting dalam perencanaan mitigasi dan strategi kesiapsiagaan (Sauti et al., 2021).

2.4 Metode Klasterisasi K-Means

Clustering atau klasterisasi adalah sebuah proses untuk mengelompokkan objek-objek data ke dalam beberapa kelompok (klaster) berdasarkan tingkat kemiripan antar objek. Objek dalam satu klaster akan memiliki tingkat kemiripan yang tinggi, sedangkan objek pada klaster yang berbeda akan memiliki tingkat kemiripan yang rendah (Pang-Ning Tan et al., 2019). K-means merupakan algoritma populer untuk digunakan untuk memetakan pola distribusi gempa karena efektifitasnya. Hal ini dibuktikan oleh beberapa penelitian sebelumnya, Penelitian pengelompokan intensitas gempa di Pulau Jawa menunjukkan bahwa K-Means efektif digunakan sehingga pola wilayah berisiko dapat terlihat jelas (Kristianto Anver & Prasetyo, 2025). Algoritma ini juga terbukti konsisten memiliki performa lebih baik dibandingkan metode lain seperti DBSCAN, K-Medoids, IWO, dan CNN

(Hakim et al., 2025). Hasil studi berbasis data historis BMKG bahkan menemukan bahwa K-Means dengan 3–4 klaster optimal menghasilkan nilai Davies-Bouldin Index sekitar 1,20–1,25, menandakan kualitas klaster yang cukup baik (Febrian et al., 2025). Namun perlu digarisbawahi efektivitas algoritma K-Means sangat dipengaruhi oleh skala dan sebaran data yang digunakan. Karena K-Means mengelompokkan objek berdasarkan jarak Euclidean, maka perbedaan satuan dan rentang nilai antar variabel dapat menyebabkan atribut dengan nilai besar mendominasi proses pembentukan klaster. Oleh karena itu, diperlukan proses normalisasi data agar setiap variabel memiliki kontribusi yang seimbang dalam perhitungan jarak. Penelitian terkini oleh (Wongoutong, 2024) menegaskan bahwa langkah feature scaling merupakan tahap krusial yang tidak boleh diabaikan, terutama ketika dataset mengandung fitur dengan satuan berbeda karena dapat menghasilkan klaster yang lebih akurat dan andal. Sementara itu, (Mohamad & Usman, 2013) menyatakan bahwa pemilihan metode standardisasi harus disesuaikan dengan karakteristik data, dan di antara berbagai metode yang diuji, Z-score normalization terbukti paling akurat dan efisien dalam meningkatkan performa algoritma K-Means. Normalisasi dengan metode Z-score dilakukan dengan mengubah nilai setiap atribut berdasarkan rata-rata dan simpangan baku dari data tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (2.4):

$$Z = \frac{(X-\mu)}{\sigma} \quad (2.4)$$

Keterangan:

X = nilai asli atribut,

μ = rata-rata atribut,

σ = standar deviasi atribut.

Melalui standardisasi ini, setiap variabel memiliki rata-rata 0 dan standar deviasi 1, sehingga tidak ada satu variabel pun yang lebih berpengaruh daripada yang lain dalam proses pembentukan klaster. Tahap ini memastikan bahwa hasil klaster yang dihasilkan oleh algoritma K-Means bersifat lebih objektif dan mencerminkan pola alami dari data penelitian.

2.4.1 Algoritma dan Perhitungan Jarak K-Mean

Ketika data memiliki lebih dari satu atribut atau kolom (multi-dimensi), perhitungan jarak antara titik data dan centroid menjadi kunci. Metode yang paling umum digunakan dalam algoritma K-Means adalah Euclidean Distance. Jarak ini menghitung akar dari jumlah kuadrat selisih antara dua titik dalam ruang multi-dimensi. Misalkan terdapat dua titik data, p dan q , dalam ruang n -dimensi, di mana $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ dan $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$. Rumus Euclidean Distance didefinisikan sebagai berikut:

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$d(p, q)$ = jarak Euclidean antara titik p dan q .

n = jumlah dimensi atau kolom data.

p_i dan q_i = nilai dari titik p dan q pada dimensi ke- i .

Dalam konteks K-Means, rumus ini digunakan untuk menghitung jarak dari setiap titik data ke setiap centroid pada setiap iterasi.

2.4.2 Evaluasi Klaster

Metode Silhouette Index memberikan evaluasi yang lebih komprehensif karena tidak hanya mengukur kepadatan internal klaster (kohesi) tetapi juga jarak

pemisah antar kluster (separasi). Untuk setiap titik data i , Silhouette Score $S(i)$ dihitung dengan langkah berikut:

- a. Hitung $a(i)$: Rata-rata jarak dari titik i ke semua titik data lain di dalam kluster yang sama.
- b. Hitung $b(i)$: Rata-rata jarak dari titik i ke semua titik data di kluster tetangga terdekat.

Setelah mendapatkan kedua nilai tersebut, Silhouette Score untuk titik i dihitung menggunakan rumus:

$$S(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))} \quad (2.6)$$

Keterangan:

- $S(i)$ = nilai Silhouette Coefficient untuk data ke- i
 $a(i)$ = rata-rata jarak data ke- i terhadap seluruh data lain dalam kluster yang sama
 $b(i)$ = nilai rata-rata jarak terendah data ke- i terhadap data pada kluster lain terdekat
 $\max(a(i), b(i))$ = nilai maksimum antara $a(i)$ dan $b(i)$ sebagai faktor normalisasi..

Nilai rata-rata Silhouette Score dari seluruh data kemudian digunakan untuk mengevaluasi kualitas klusterisasi untuk nilai K tertentu. Nilai K yang optimal adalah yang menghasilkan rata-rata Silhouette Score tertinggi (mendekati 1), karena ini menunjukkan bahwa kluster-kluster yang terbentuk padat dan terpisah dengan baik satu sama lain (Rousseeuw, 1987). Silhouette Index digunakan untuk mengevaluasi kualitas hasil pengelompokan dengan mengukur tingkat kesesuaian setiap data terhadap kluster tempatnya berada. Nilai indeks ini berkisar antara -1 hingga 1 , di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan bahwa data lebih cocok berada di kluster tersebut dibandingkan dengan kluster lain.

2.5 Web GIS

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem komputer yang berfungsi untuk menyimpan serta mengolah data geografis. SIG dibuat dengan tujuan mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis objek maupun fenomena yang berkaitan dengan lokasi geografis. Fitur utama yang dianalisis adalah informasi spasial atau lokasi. Menurut (Koko Mukti Wibowo et al., 2015) SIG atau Geographic Information System (GIS) adalah suatu sistem yang memiliki komponen perangkat keras, perangkat lunak, data, dan sumber daya manusia yang bekerja secara terpadu untuk memasukkan, menyimpan, memperbaiki, mengelola, memanipulasi, menganalisis, dan menyajikan data dalam suatu sistem informasi berbasis geografis. Dengan adanya SIG, proses pengolahan data berbasis lokasi dapat dilakukan lebih cepat, akurat, dan terstruktur sehingga dapat membantu pengambilan keputusan dalam berbagai bidang, termasuk mitigasi bencana.

Beberapa penelitian sebelumnya juga telah mengimplementasikan SIG berbasis WebGIS dalam pemetaan daerah rawan bencana. Penelitian yang dilakukan oleh (Paula Asmara, 2023) menunjukkan bahwa sistem pemetaan berbasis WebGIS mampu memberikan kemudahan bagi masyarakat maupun BPBD dalam memperoleh informasi daerah rawan bencana secara efektif. Sementara itu, penelitian oleh (Sinta et al., 2024) menekankan permasalahan BPBD Jember yang sering mengalami keterlambatan dalam penyampaian laporan serta keterbatasan pemetaan akurat dan terkini. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan WebGIS dengan Leaflet dan OpenStreetMap dapat membantu BPBD

menyalurkan informasi secara lebih cepat dan tepat, sehingga upaya mitigasi bencana menjadi lebih optimal.

BAB III

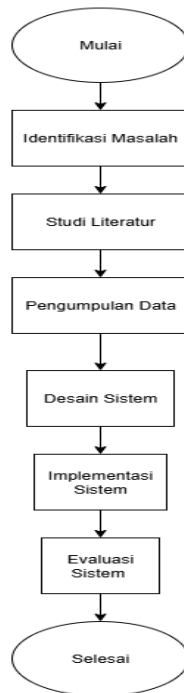
DESAIN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Desain Penelitian

Desain penelitian disusun sebagai pedoman untuk memastikan setiap tahapan penelitian berjalan secara sistematis, terarah, dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Dalam studi ini, desain penelitian mencakup perencanaan langkah-langkah mulai dari identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, desain implementasi dan evaluasi sistem menggunakan metode yang relevan. Dengan adanya rancangan penelitian yang jelas, proses pelaksanaan dapat dikontrol dengan baik, meminimalkan kesalahan, serta meningkatkan validitas dan reliabilitas temuan yang diperoleh.

3.1.1 Alur Penelitian

Alur penelitian dimulai dari proses identifikasi masalah, dilanjutkan dengan studi literatur, kemudian pengumpulan data. Setelah itu dilakukan tahap perancangan sistem, implementasi sistem, serta evaluasi terhadap sistem yang dihasilkan. Representasi visual alur kegiatan penelitian disajikan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Desain Penelitian

3.1.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dari dua sumber utama, yaitu:

1. Data Gempa Dirasakan diperoleh dari website <https://repogempa.bmkg.go.id/eventcatalog> BMKG, dengan parameter waktu kejadian, kedalaman, lokasi episentrum (lintang dan bujur), pusat gempa, MMI maksimum, kota dengan dampak terbesar, provinsi serta MMI di wilayah terdampak. Data ini digunakan untuk menggambarkan tingkat aktivitas seismik di wilayah Jawa Barat.
2. Data Kerentanan Sosial diperoleh dari:
 - a. Data Penduduk, Laju Pertumbuhan Penduduk, Distribusi Persentase Penduduk, Kepadatan Penduduk, dan Rasio Jenis

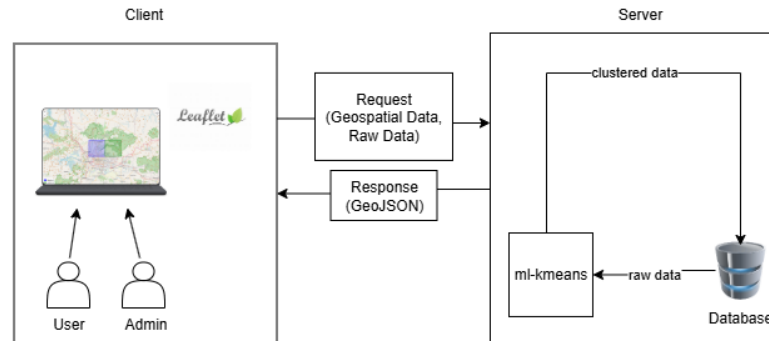
Kelamin Penduduk Menurut Provinsi, 2020 dari BPS untuk perhitungan kepadatan penduduk, dan rasio jenis kelamin.

- b. Jumlah Penduduk Berdasarkan Kelompok Umur dan Kabupaten/Kota di Jawa Barat untuk perhitungan rasio umur rentan.
- c. Persentase Penduduk Miskin Menurut Kabupaten/Kota di Jawa Barat (Persen), 2020 dari BPS untuk perhitungan rasio penduduk miskin.
- d. Publikasi BPS Jawa Barat dalam PENDUDUK PROVINSI JAWA BARAT Hasil Long Form Sensus Penduduk 2020 dari BPS untuk perhitungan rasio penduduk disabilitas.

Kedua data tersebut diolah ke dalam format tabel (CSV/Excel/Database) agar dapat digunakan pada tahap analisis dan implementasi sistem.

3.1.3 Desain Sistem

Untuk mempermudah pemahaman terhadap rancangan sistem, pada bagian ini desain sistem dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu alur penggunaan sistem dan arsitektur sistem. Pembagian ini dilakukan agar proses kerja dan komponen penyusun sistem dapat dijelaskan secara lebih jelas dan terstruktur. Berikut adalah arsitektur sistem yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Gambar 3.2:

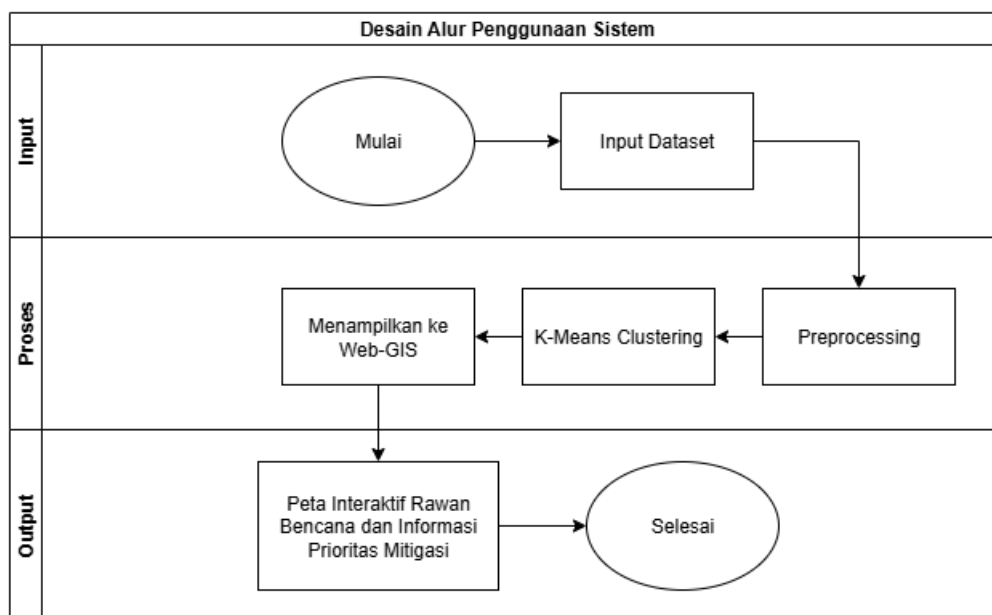


Gambar 3.2 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem pada penelitian ini menggunakan pendekatan client–server. Pada sisi client, pengguna (user) maupun administrator (admin) mengakses aplikasi berbasis web yang menampilkan peta interaktif melalui library Leaflet. Client berperan mengirimkan permintaan (request) ke server untuk mengirim data yang akan diolah maupun hasil pengolahan data dalam format GeoJSON.

Sisi server berfungsi sebagai pusat pemrosesan data. Server menerima request dari client, kemudian melakukan pengambilan data mentah dari database. Data tersebut selanjutnya diolah menggunakan algoritma clustering dengan k-means untuk menghasilkan data terkelompok. Hasil pengolahan kemudian disimpan kembali ke dalam database agar dapat digunakan pada proses selanjutnya.

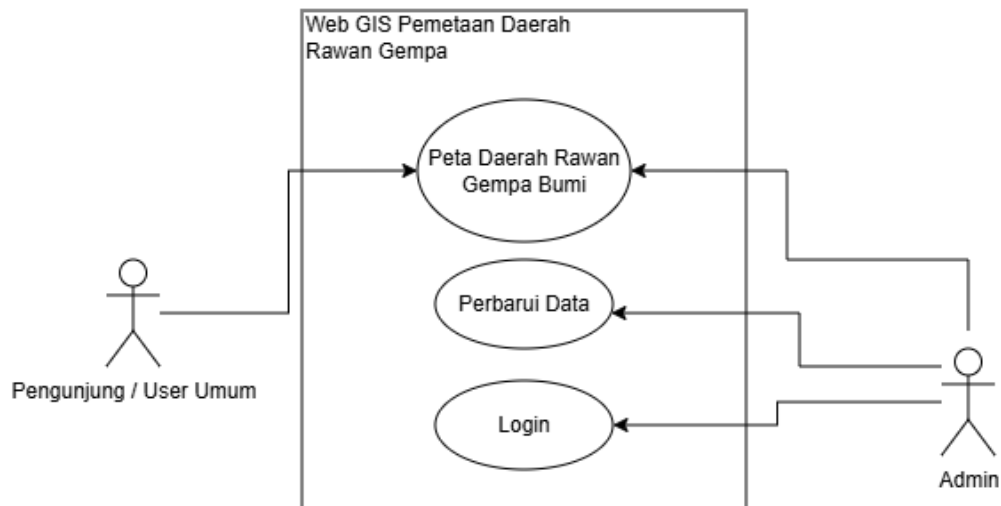
Server kemudian mengirimkan respon berupa data dalam format GeoJSON kepada client. Data ini dipetakan dan divisualisasikan pada antarmuka peta interaktif sehingga pengguna dapat melihat informasi spasial dengan layer yang sesuai menggunakan library leaflet. Dengan demikian, seluruh proses pengolahan data dilakukan di sisi server, sementara visualisasi dan interaksi peta dilakukan di sisi client.



Gambar 3.3 Alur Penggunaan Sistem

Gambar 3.3 menunjukkan alur penggunaan sistem yang telah dirancang dalam arsitektur sistem. Desain alur penggunaan sistem dimulai dari tahap input, ketika pengguna menyiapkan dan memasukkan dataset kerawanan bencana. Dataset tersebut tidak langsung diproses oleh sistem, melainkan terlebih dahulu melalui tahap preprocessing yang dilakukan pengguna secara manual menggunakan Google Colab. Proses ini mencakup pembersihan, transformasi, dan penyesuaian data agar siap dipakai. Setelah preprocessing selesai, data hasil olahan baru dimasukkan ke dalam sistem utama web server. Pada tahap ini sistem mulai bekerja dengan menerapkan algoritma K-Means Clustering untuk mengelompokkan wilayah berdasarkan tingkat kerawanan bencana. Hasil pengelompokan kemudian diproyeksikan ke dalam Web-GIS, sehingga menghasilkan peta interaktif rawan bencana yang menyajikan informasi prioritas mitigasi. Dengan demikian, bagian

sistem sebenarnya dimulai sejak proses clustering hingga visualisasi peta interaktif, sedangkan preprocessing tetap dilakukan di luar sistem oleh pengguna.



Gambar 3.4 Use Case Diagram

Seperti use case diagram yang tertera pada Gambar 3.4 dua aktor utama yang berinteraksi dengan sistem, yaitu Pengunjung atau User Umum dan Admin. Pengunjung merupakan pengguna umum yang dapat mengakses informasi tanpa perlu melakukan login, sedangkan admin adalah pihak yang bertanggung jawab dalam pengelolaan data. Aktor Pengunjung/User Umum memiliki hak akses terbatas, yaitu hanya dapat melihat peta daerah rawan gempa bumi. Melalui fitur ini, pengguna dapat memperoleh informasi visual mengenai wilayah-wilayah yang memiliki tingkat kerawanan gempa berbeda. Data yang ditampilkan bersumber dari basis data yang telah diperbarui oleh admin sebelumnya.

Sementara itu, Admin sebelum dapat mengelola sistem, admin harus terlebih dahulu melakukan proses login dengan memasukkan kredensial yang valid. Setelah berhasil masuk, admin dapat melakukan pembaruan data, seperti

menambah, mengubah, atau menghapus data wilayah rawan gempa. Fitur ini penting agar sistem selalu menampilkan informasi terkini dan dapat digunakan sebagai acuan dalam upaya mitigasi bencana. Dengan demikian, hubungan antara aktor dan sistem dalam use case diagram ini menunjukkan pembagian peran yang jelas. Pengunjung berfungsi sebagai penerima informasi, sedangkan admin berperan sebagai pengelola data.

3.1.4 Input Dataset

Input data Data gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah data Gempa Dirasakan yang diperoleh dari website resmi BMKG melalui repository katalog gempa pada website <https://repogempa.bmkg.go.id/eventcatalog>. Dataset ini berisi catatan kejadian gempa bumi di wilayah Indonesia yang disertai dengan parameter utama, seperti:

1. Waktu kejadian (origin time)
2. Koordinat episenter (lintang dan bujur)
3. Kedalaman gempa
4. Magnitudo gempa
5. Lokasi pusat gempa (deskripsi kedudukan episenter)
6. Informasi intensitas guncangan (MMI) pada berbagai daerah terdampak

Data gempa dari BMKG ini Resmi dan valid sebagai rujukan nasional terkait aktivitas kegempaan. Menyediakan informasi gempa yang dirasakan masyarakat (felt earthquake) sehingga relevan untuk analisis kerentanan sosial. Dapat diakses secara terbuka dalam format CSV/Excel/JSON yang memudahkan proses pengolahan lebih lanjut

3.1.5 Preprocessing

1. Labeling Data Gempa

Pada data gempa dirasakan BMKG, informasi intensitas guncangan (Modified Mercalli Intensity / MMI) disertai dengan daftar daerah terdampak. Daerah yang tercatat umumnya menggunakan nama kecamatan atau kabupaten/kota. Namun, terdapat permasalahan berupa kemiripan atau kesamaan nama kecamatan yang tersebar di lebih dari satu kabupaten/kota. Contoh kasus:

- a. Kecamatan Cipeundeuy terdapat di Kabupaten Bandung Barat, Kabupaten Garut, dan Kabupaten Subang.
- b. Kecamatan Pacet terdapat di Kabupaten Cianjur dan Kabupaten Bandung.

Jika tidak dilakukan penyesuaian, maka proses pemetaan akan menghasilkan label ganda yang ambigu sehingga mengganggu ketepatan agregasi data. Oleh karena itu, pada tahap ini dilakukan labeling daerah terdampak gempa dengan cara verifikasi manual yaitu menambahkan kolom “Label Daerah” untuk kasus yang ambigu. Labeling daerah ambigu dengan cara melihat pola baik dari daerah yang disebutkan pada kolom MMI maupun data pusat gempa. Contoh pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Dataset Gempa Bumi Dirasakan

Event ID	Origin Time (WIB)	Latitude	Longitude	Magnitude	Pusat Gempa	Depth	MMI Max	Kota Max	Provinsi	MMI	Label Daerah
7776	15/04/2021 20:28	-7.23	107.69	2.6	Pusat gempa berada di darat tengg	8	2	Pengalengan	Jawa Barat	II Pacet;II Ibun;II Pasirwangi;II Kamojangan;II	Pacet = Kab.Bandung

					ara Kab. Band ung					Pangale ngan;	
7786	23/04/ 2021 04:47	- 6.6 3	107.8 3	3.2	Pusat gemp a berad a di darat 10 km Teng gara Kab. Suba ng	5	3	Suba ng	Jawa Barat	II - III Subang;	Suban g = Kab.S ubang

2. Modifikasi Data Gempa

Data gempa dirasakan dari BMKG masih berbentuk data mentah (raw data) dengan format penulisan yang tidak seragam. Beberapa permasalahan yang ditemukan antara lain:

- Format penulisan nama daerah tidak konsisten. Contoh: Cijedil dan Cijeudil seharusnya seragam menjadi Cijeudil
- Daerah tidak terbaca oleh sistem
- Tulisan intensitas MMI tidak konsisten Terdapat variasi format penulisan skala MMI seperti: II - III (ada spasi), II-III (tanpa spasi), 2 (dengan angka). Seluruh variasi tersebut dimodifikasi dan diseragamkan menjadi format standar II-III agar dapat dibaca sistem.

Sebagian entri tidak cocok dengan daftar wilayah administratif Jawa Barat, sehingga perlu disesuaikan secara manual. Langkah modifikasi yang dilakukan:

- Standarisasi format teks

b. Semua nama daerah diubah menjadi huruf kecil, spasi/tanda baca diganti dengan underscore, atau digantikan dengan daerah kabupaten/kota administrasinya, dan variasi penulisan MMI diseragamkan.

c. Pelabelan manual untuk kasus khusus

Jika ditemukan desa atau nama yang tidak sesuai format, dilabelkan ke kabupaten/kota induknya.

d. Sinkronisasi dengan referensi wilayah

Hasil modifikasi diverifikasi agar sesuai dengan daftar kecamatan dan kabupaten/kota di Jawa Barat. Dengan adanya tahap modifikasi ini, data gempa menjadi lebih bersih dan konsisten, baik pada bagian daerah maupun intensitas guncangan, sehingga siap digunakan untuk tahap agregasi

3. Agregasi Daerah Terdampak Gempa

Setelah data gempa dimodifikasi dan setiap entri daerah berhasil dipetakan ke kabupaten/kota yang sesuai, tahap selanjutnya adalah agregasi data gempa berdasarkan wilayah administratif. Agregasi ini bertujuan untuk menghitung frekuensi kejadian dan tingkat intensitas maksimum yang dialami masing-masing kabupaten/kota di Jawa Barat selama periode penelitian. Langkah-langkah agregasi:

a. Ekstraksi MMI per kejadian

b. Dari setiap baris data gempa, informasi MMI yang tercatat dipetakan ke kabupaten/kota terkait.

c. Jika satu kejadian gempa dirasakan di beberapa daerah, maka setiap daerah mendapatkan nilai MMI masing-masing.

- d. Resolusi intensitas maksimum (MMI Max)
- e. Jika suatu daerah mengalami beberapa nilai MMI dalam satu kejadian (misalnya karena ambigu), maka dipilih nilai MMI tertinggi. Hal ini dilakukan dengan menggunakan fungsi `compare_mmi()` pada kode, yang membandingkan level numerik MMI (I sampai VIII).
- f. Pengelompokan berdasarkan kabupaten/kota. Semua data MMI yang sudah dipetakan dikelompokkan berdasarkan kabupaten/kota (group by Kabupaten/Kota).
- g. Penghitungan frekuensi kejadian

Untuk setiap kabupaten/kota, dihitung jumlah berapa kali daerah tersebut terdampak dalam masing-masing kategori MMI (I, II-III, IV, V, VI+). Hasil agregasi disusun dalam bentuk tabel dengan struktur sebagaimana pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Hasil Agregasi Data Gempa

Kabupaten/kota	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+
Kabupaten Bandung	0	71	2	0	0	0	0	0	0
Kabupaten Bandung Barat	0	14	0	0	0	0	0	0	0

4. Akumulasi Data Kerentanan Sosial

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data kerentanan sosial yang sebelumnya diperoleh dari beberapa sumber BPS (jumlah penduduk, kepadatan, rasio jenis kelamin, kelompok umur, kemiskinan, dan disabilitas). Data awal masih terpisah per indikator, sehingga perlu dilakukan beberapa langkah

- a. Ekstraksi Data

Setiap indikator kerentanan sosial (kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, rasio umur rentan, rasio penduduk miskin, dan rasio disabilitas) diambil dari publikasi BPS tahun 2020.

b. Perhitungan Manual

Nilai tiap indikator dihitung secara manual sesuai rumus (2.1), (2.2), dan (2.3).

1. Rasio jenis kelamin dihitung dari perbandingan jumlah penduduk laki-laki dan perempuan.
2. Rasio kelompok umur rentan dihitung dari persentase penduduk usia 0–14 tahun dan ≥ 60 tahun dibandingkan total penduduk.
3. Rasio penduduk miskin dihitung dari persentase jumlah penduduk miskin.
4. Rasio disabilitas dihitung dari jumlah penyandang disabilitas dibagi total penduduk.

c. Penyatuan Data

Setelah dihitung, seluruh indikator disatukan dalam satu tabel utama.

d. Normalisasi Format

Seluruh nilai disimpan dalam tipe data numerik float untuk memudahkan pengolahan lebih lanjut.

5. Merge Data

Data agregasi nilai MMI kemudian digabungkan dengan data kerentanan sosial. Dengan format tertera pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Data yang Sudah Digabungkan

Kabupaten/ Kota	Freq _Tot al	Max_M MI	Avg_M MI	pop_d ensity	sex_ra tio	vulnera be_age_ ratio	povert y_rati o	disabi lty_ ratio
--------------------	--------------------	-------------	-------------	-----------------	---------------	-----------------------------	-----------------------	-------------------------

Kabupaten Bandung	73	4	3,03	6.45	105.4	79.89	10.36	11.90
Kabupaten Bandung Barat	14	3	3	13.70	104.3	78.73	10.49	10.64

6. Konversi Tipe Data

Sistem Tahap ini dilakukan untuk memastikan seluruh data yang digunakan dalam analisis berada dalam tipe data yang sesuai, yaitu numerik (float/integer). Hal ini penting karena metode machine learning seperti K-Means hanya dapat memproses data numerik. Adapun permasalahan yang ditemui pada data mentah antara lain:

a. Penggunaan tanda koma (,) sebagai desimal

Contoh: nilai rata-rata MMI ditulis sebagai 3,03 sehingga terbaca sebagai teks (*string*) oleh sistem. Nilai tersebut harus dikonversi menjadi format desimal dengan titik (.), misalnya 3.03.

b. Nilai kosong atau NaN

Jika suatu kabupaten/kota tidak pernah mengalami gempa atau tidak memiliki data sosial, kolom terkait bisa bernilai kosong. Nilai ini kemudian dikonversi menjadi 0 (untuk data gempa) atau diisi dengan nilai median kolom (untuk data kerentanan sosial).

c. Standarisasi tipe data

Kolom seperti Freq_Total dikonversi ke tipe integer karena berupa hitungan kejadian. Kolom lain seperti Avg_MMI, pop_density, sex_ratio, dan rasio sosial dikonversi ke tipe float karena berupa nilai desimal.

Hasil dari proses ini adalah dataset yang sudah seragam, sehingga setiap variabel dapat diolah lebih lanjut pada tahap analisis clustering.

7. Standardisasi Data

Tahap ini dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh variabel memiliki skala yang sebanding sebelum proses pengelompokan dilakukan dengan algoritma K-Means. Hal ini penting karena K-Means mengukur kedekatan antar objek menggunakan jarak Euclidean, sehingga variabel dengan satuan atau rentang nilai yang lebih besar dapat mendominasi hasil perhitungan jarak dan menyebabkan bias pada hasil klaster. Metode standarisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Z-score normalization, yaitu teknik yang mengubah setiap nilai atribut berdasarkan rata-rata (μ) dan simpangan baku (σ) dari data tersebut. Rumus perhitungannya ditunjukkan pada persamaan (2.4).

3.1.6 K-Means Clustering

Proses K-Means Clustering dengan contoh nilai $K=3$. Tujuan dari metode ini adalah untuk membentuk tiga kelompok daerah berdasarkan kesamaan karakteristik gempa bumi dan kerentanan sosial.

1. Penentuan Centroid awal

Centroid awal ditentukan secara acak dari data yang ada. Misalnya:

- a. Cluster 1 (C1) = Kabupaten Bandung
- b. Cluster 2 (C2) = Kabupaten Bekasi
- c. Cluster 3 (C3) = Kabupaten Ciamis

2. Iterasi Pertama

- a. Hitung jarak tiap daerah ke centroid (menggunakan jarak Euclidean) menggunakan rumus (2.5).
- b. Tentukan cluster berdasarkan jarak terdekat. Hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 3.7 berikut:

Tabel 3.4 Iterasi pertama perhitungan jarak ke centroid

Daerah	Jarak ke C1 (Bandung)	Jarak ke C2 (Bekasi)	Jarak ke C2 (Ciamis)	Cluster
Bandung	0.00	4.00	3.75	C1
Bandung Barat	1.80	2.75	2.20	C1
Bekasi	4.00	0.00	3.20	C2
Bogor	2.55	2.45	2.80	C2
Ciamis	3.75	3.20	0.00	C3

Terlihat bahwa Bandung dan Bandung Barat berada di Cluster 1, Bogor dan Bekasi bergabung di Cluster 2, dan Ciamis ada di Cluster 3.

3. Pembaruan Centroid

Setelah pembagian cluster, centroid diperbarui dengan rata-rata data anggota cluster dengan hasil disajikan pada Tabel 3.8

Tabel 3.5 Pembaruan centroid

Fitur	Cluster 1 (Bandung + Bandung Barat)	Cluster 2 (Bekasi + Bogor)	Cluster 3 (Ciamis)
Freq_Total	$(1.70 + (-0.47))/2 = 0.62$	$(-0.96 + (-0.29))/2 = -0.63$	0.01
Max_MMI	$(0.24 + (-0.95))/2 = -0.36$	$(-0.95 + 1.43)/2 = 0.24$	0.24
Avg_MMI	$(-0.14 + (-0.83))/2 = -0.49$	$(-0.83 + 1.72)/2 = 0.45$	0.09
Pop_Density	$(-1.15 + (-0.16))/2 = -0.66$	$(1.44 + 0.71)/2 = 1.08$	-0.85

Sex_Ratio	$(0.76 + 0.24)/2 = 0.50$	$(-0.28 + 0.95)/2 = 0.34$	-1.66
Vulnerable_Age	$(0.21 + 0.10)/2 = 0.16$	$(-1.19 + (-0.73))/2 = -0.96$	1.79
Poverty_Raito	$(0.61 + 0.67)/2 = 0.64$	$(-1.87 + (-0.59))/2 = -1.23$	-0.62
Disability_Ratio	$(-0.02 + (-0.43))/2 = -0.23$	$(-0.99 + (-0.96))/2 = -0.98$	1.74

4. Iterasi Kedua

Hitung kembali jarak tiap daerah ke centroid baru, hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 3.6

Tabel 3.6 Iterasi kedua perhitungan jarak ke centroid

Daerah	Jarak ke C1 (baru)	Jarak ke C2 (baru)	Jarak ke C3 (baru)	Cluster
Bandung	1.29	4.14	3.73	C1
Bandung Barat	1.29	3.10	2.63	C1
Bekasi	3.74	0.92	3.46	C2
Bogor	2.45	1.05	2.85	C2
Ciamis	3.74	3.42	0.00	C3

Tidak ada perubahan keanggotaan cluster, sehingga proses berhenti (konvergen).

5. Hasil Akhir Clustering

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan metode *clustering*, diperoleh pengelompokan wilayah yang ditampilkan pada Tabel 3.10

Tabel 3.7 Hasil Clustering

Cluster	Anggota
C1	Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat

C2	Kabupaten Bogor, Kabupaten Bekasi
C3	Kabupaten Ciamis

6. Analisis

Dari hasil pengelompokan, terlihat bahwa wilayah penelitian dapat dikelompokkan menjadi tiga karakteristik utama. Cluster 1 terdiri atas Kabupaten Bandung dan Kabupaten Bandung Barat yang dicirikan oleh frekuensi kejadian gempa cukup tinggi dengan tingkat sosial-ekonomi menengah. Cluster 2 yang terdiri dari Kabupaten Bekasi dan Kabupaten Bogor menunjukkan karakteristik daerah padat penduduk dengan tingkat kerentanan yang relatif rendah. Adapun Cluster 3, yaitu Kabupaten Ciamis, membentuk kelompok tersendiri karena memiliki tingkat kerentanan sosial dan disabilitas yang tinggi serta perbedaan signifikan pada kondisi demografis dibandingkan wilayah lainnya.

3.1.7 Evaluasi Silhouette Index

Silhouette Index digunakan untuk mengevaluasi kualitas hasil clustering. Indeks ini mengukur seberapa baik setiap objek berada dalam cluster-nya sendiri dibandingkan dengan cluster terdekat lainnya menggunakan rumus (2.6). Nilai indeks berkisar antara -1 hingga 1, dengan kriteria:

1. Mendekati 1 = objek sangat cocok dengan cluster-nya.
2. Mendekati 0 = objek berada di perbatasan antara dua cluster.
3. Negatif = objek lebih dekat dengan cluster lain dibandingkan dengan cluster-nya.

Langkah perhitungan komponen *silhouette* dilakukan sebagai berikut:

1. Hitung $a(i)$ = rata-rata jarak objek i ke semua anggota dalam cluster yang sama.
2. Hitung $b(i)$ = rata-rata jarak objek i ke semua anggota di cluster terdekat.
3. Hitung Silhouette $s(i)$ dengan rumus.

Contoh Perhitungan:

Hasil clustering sebelumnya:

Cluster 1 (C1): Kabupaten Bandung dan Cluster 2 (C2): Kabupaten

Bandung Barat, Kabupaten Bekasi ditampilkan lebih detail dalam Tabel 3.11

Tabel 3.8 Detail Hasil Clustering

Daerah	Cluster	$a(i)$	$b(i)$	$s(i)$
Bandung	C1	1.80	3.50	0.49
Bandung Barat	C1	1.80	2.70	0.33
Bekasi	C2	2.45	3.00	0.18
Bogor	C2	2.45	2.60	0.06
Ciamis	C3	0.00	3.00	1.00

Silhouette Rata-Rata (Silhouette Score)

$$S = \frac{0.49 + 0.33 + 0.18 + 0.06 + 1.00}{5} \approx 0.41$$

Berdasarkan hasil perhitungan *Silhouette Score*, diperoleh nilai rata-rata sebesar 0.41. Nilai ini menunjukkan kualitas pengelompokan sedang (cukup baik). Kabupaten Bandung dan Kabupaten Bandung Barat tergabung dalam satu kelompok (Cluster 1) karena memiliki karakteristik aktivitas seismik yang relatif tinggi serta tingkat kerentanan sosial yang serupa. Kabupaten Bekasi dan Kabupaten Bogor membentuk Cluster 2, yang menunjukkan kesamaan dalam kepadatan penduduk tinggi dan tingkat kerentanan sosial yang lebih rendah dibandingkan cluster lainnya. Sementara itu, Kabupaten Ciamis berada pada

Cluster 3 secara terpisah karena memiliki nilai kerentanan sosial dan disabilitas yang paling tinggi di antara seluruh wilayah lainnya.

3.1.8 Desain Sistem Web GIS

Setelah proses klustering selesai dilakukan di sistem backend, hasil analisis kemudian ditampilkan dalam bentuk peta interaktif (Web GIS). Tujuan tahap ini adalah agar pengguna dapat dengan mudah memahami distribusi wilayah rawan bencana berdasarkan hasil klustering yang telah dihitung sebelumnya.

1. Integrasi Backend dan Frontend

- a. Backend menerima data dan melakukan klustering dari proses analisis (nilai cluster, centroid, serta daftar daerah anggota cluster). Kemudian menyimpan nilai hasil ke database.
- b. Data tersebut diubah ke dalam format GeoJSON atau API JSON yang siap digunakan oleh frontend. Proses ini memungkinkan pemisahan antara perhitungan analisis di server dan tampilan peta di sisi pengguna.

2. Visualisasi di Web GIS

- a. Frontend menggunakan library peta interaktif yakni leafletjs untuk menampilkan data.
- b. Setiap kabupaten/kota ditampilkan sebagai layer polygon dengan warna berbeda sesuai hasil cluster.
- c. Fitur tooltip/pop-up disediakan agar pengguna dapat melihat informasi detail tiap wilayah, seperti Frekuensi gempa (Freq_Total), Rata-rata MMI, Kepadatan penduduk, Rasio jenis kelamin, Persentase usia rentan, kemiskinan, dan disabilitas

3. Interaktivitas Peta

- a. Pengguna dapat melakukan zoom in/out dan pan untuk mengeksplorasi wilayah Jawa Barat.
- b. Warna cluster divisualisasikan menggunakan legend, sehingga memudahkan interpretasi hasil klustering.

4. Alur Data Sistem

- a. Data mentah diproses pengguna di Google Collab (preprocessing).
- b. Data siap pakai masuk ke backend untuk *clustering* dan pengelolaan API.
- c. Hasil klustering disajikan ke frontend dalam bentuk Web GIS interaktif.

Dengan desain ini, sistem tidak hanya melakukan analisis klustering, tetapi juga menyajikan hasilnya dalam bentuk visualisasi spasial yang informatif. Hal ini membantu dalam interpretasi wilayah rawan bencana dan pengambilan keputusan mitigasi.

3.2 Implementasi

Bagian ini menjelaskan proses implementasi dari sistem yang telah dirancang, mencakup penerapan metode klasterisasi, evaluasi kualitas klaster, serta pembangunan platform Web-GIS sebagai media visualisasi. Untuk memberikan pemahaman yang lebih terstruktur, pembahasan pada subbab berikutnya akan dimulai dari implementasi algoritma K-Means sebagai metode inti klasterisasi, dilanjutkan dengan penggunaan *Silhouette Index* untuk mengevaluasi kualitas hasil klaster, dan diakhiri dengan implementasi Web-GIS sebagai antarmuka penyajian data kepada pengguna.

3.2.1 Implementasi Algoritma K-Means

```

def euclidean(a: List[float], b: List[float]) -> float:
    return math.sqrt(sum((x - y) ** 2 for x, y in zip(a,
b)))

def kmeans_pp_init(data: List[List[float]], k: int) ->
List[List[float]]:
    if not data:
        return []
    centroids = [random.choice(data)]
    while len(centroids) < k:

        distances = []
        for p in data:
            d2 = min(euclidean(p, c) ** 2 for c in
centroids)

            distances.append(d2)
        total = sum(distances)
        if total == 0:

            while len(centroids) < k:
                centroids.append(random.choice(data))
            break

        probs = [d / total for d in distances]
        r = random.random()
        cum = 0.0
        for p, prob in zip(data, probs):
            cum += prob

```

```

        if r <= cum:

            centroids.append(p)

            break

    return centroids

def compute_inertia(data, centroids, labels):

    inertia = 0.0

    for i, p in enumerate(data):

        c = centroids[labels[i]]

        inertia += euclidean(p, c) ** 2

    return inertia

def kmeans_single_run(data: List[List[float]], k: int,
max_iter: int, tol: float):

    n = len(data)

    centroids = kmeans_pp_init(data, k)

    labels = [None] * n

    for _ in range(max_iter):

        changed = False

        clusters = [[] for _ in range(k)]

        for i, row in enumerate(data):

            distances = [euclidean(row, c) for c in
centroids]

            cluster_idx = distances.index(min(distances))

            clusters[cluster_idx].append(i)

```

```

        if labels[i] != cluster_idx:
            labels[i] = cluster_idx
            changed = True

    new_centroids = []
    for cluster in clusters:
        if cluster:
            dim = len(data[0])
            summed = [0.0] * dim
            for idx in cluster:
                for j, val in enumerate(data[idx]):
                    summed[j] += val
            new_centroids.append([s / len(cluster) for
s in summed])
        else:
            new_centroids.append(random.choice(data))

    centroid_shift = sum(
        euclidean(c1, c2) for c1, c2 in zip(centroids,
new_centroids)
    )
    centroids = new_centroids
    if centroid_shift < tol:
        break

    inertia = compute_inertia(data, centroids, labels)
    return centroids, labels, inertia

```

```

def kmeans(
    data: List[List[float]],
    k: int = 3,
    max_iter: int = 300,
    n_init: int = 10,
    tol: float = 1e-4
) -> Tuple[List[List[float]], List[int]]:
    n = len(data)
    if n == 0:
        return [], []

    best_inertia = float("inf")
    best_centroids = None
    best_labels = None

    for _ in range(n_init):
        centroids, labels, inertia =
kmeans_single_run(data, k, max_iter, tol)

        if inertia < best_inertia:
            best_inertia = inertia
            best_centroids = centroids
            best_labels = labels

    return best_centroids, best_labels
centroids, labels = kmeans(normalized, k=k, n_init=10)

```

Gambar 3.5 Implementasi Algoritma K-Means

Implementasi algoritma K-Means pada sistem ini dilakukan secara langsung menggunakan Python, seluruh proses perhitungan jarak, pemilihan centroid, pembentukan klaster, hingga evaluasi nilai inertia dihitung secara manual. Proses pertama dimulai dengan fungsi `euclidean()`, yang digunakan untuk menghitung jarak Euclidean antara dua titik data. Jarak ini menjadi dasar dalam menentukan kedekatan suatu data terhadap centroid terdekat selama proses klasterisasi.

Untuk menghasilkan centroid awal yang lebih stabil, sistem menerapkan metode inisialisasi K-Means++ melalui fungsi `kmeans_pp_init()`. Fungsi ini memilih centroid pertama secara acak, kemudian centroid berikutnya dipilih berdasarkan probabilitas proporsional terhadap jarak kuadrat dari centroid yang sudah terpilih. Pendekatan ini membantu mengurangi kemungkinan pemilihan centroid awal yang buruk dan meningkatkan kualitas hasil akhir klaster.

Proses klasterisasi utama dilakukan dalam fungsi `kmeans_single_run()`. Pada tahap ini, data dikelompokkan berdasarkan jarak terdekat ke masing-masing centroid. Setelah label klaster diperbarui, centroid dihitung ulang dengan mengambil nilai rata-rata dari seluruh anggota klaster. Evaluasi perubahan posisi centroid dilakukan melalui perhitungan jarak perpindahan antar centroid lama dan baru; jika perpindahan ini lebih kecil dari nilai toleransi (`tol`), iterasi dihentikan karena sistem dianggap telah mencapai konvergensi. Selain itu, fungsi ini juga menghitung nilai inertia, yaitu total jarak kuadrat antara setiap titik dan centroid klasternya, yang digunakan sebagai indikator kualitas pengelompokan (semakin kecil inertia, semakin baik klaster yang terbentuk).

Untuk mengatasi kelemahan K-Means yang sensitif terhadap pemilihan centroid awal, sistem menjalankan proses klasterisasi sebanyak beberapa kali melalui fungsi `kmeans()`, yang secara default melakukan `n_init = 10` pengulangan. Dari sepuluh hasil yang diperoleh, sistem memilih klaster dengan nilai inertia paling rendah sebagai hasil terbaik. Pendekatan ini meningkatkan kestabilan hasil klasterisasi dan mengurangi risiko terjebak pada local optimum.

3.2.2 Implementasi Evaluasi Silhouette Index

```
def silhouette_score(data, labels):
    n = len(data)
    if n == 0:
        return None

    unique_labels = set(labels)
    if len(unique_labels) < 2:
        return None

    dist_matrix = [[0.0] * n for _ in range(n)]
    for i in range(n):
        for j in range(i + 1, n):
            d = euclidean(data[i], data[j])
            dist_matrix[i][j] = d
            dist_matrix[j][i] = d

    silhouettes = []

    for i in range(n):
        label_i = labels[i]

        same_cluster = [idx for idx in range(n) if labels[idx]
                        == label_i and idx != i]

        if same_cluster:
            a_i = sum(dist_matrix[i][j] for j in same_cluster) /
len(same_cluster)
        else:
            a_i = 0 # Jika hanya satu anggota, kontribusinya nol

        b_i = float("inf")
        for other_label in unique_labels:
            if other_label == label_i:
                continue
```

```

        other_cluster = [idx for idx in range(n) if
labels[idx] == other_label]
        if not other_cluster:
            continue

        avg_dist = sum(dist_matrix[i][j] for j in
other_cluster) / len(other_cluster)
        b_i = min(b_i, avg_dist)

    s_i = (b_i - a_i) / max(a_i, b_i) if max(a_i, b_i) != 0
else 0
    silhouettes.append(s_i)

return sum(silhouettes) / len(silhouettes)

silhouette = None
try:
    silhouette = silhouette_score(normalized, labels)
except Exception as e:
    print(f"Silhouette error: {e}")

```

Gambar 3.6 Implementasi Silhouette Index

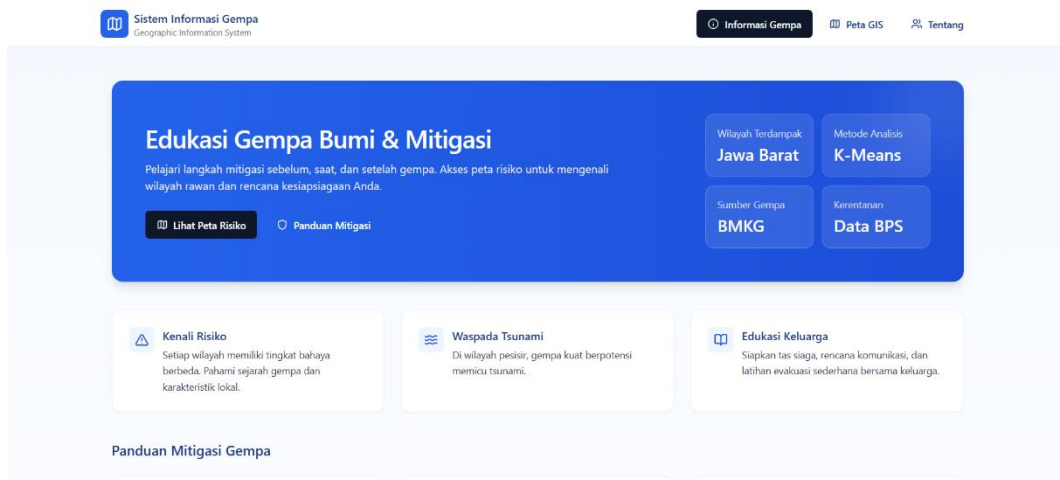
Pada tahap evaluasi kualitas kluster, penelitian ini menerapkan perhitungan Silhouette Score tanpa menggunakan pustaka eksternal seperti *scikit-learn*. Perhitungan dilakukan secara manual agar seluruh proses analisis tetap konsisten dengan algoritma dan fungsi jarak Euclidean yang telah diimplementasikan sebelumnya. Prosedur dimulai dengan menghitung matriks jarak antar seluruh pasangan data untuk menghindari komputasi berulang. Setelah itu, untuk setiap data dihitung nilai $a(i)$, yaitu rata-rata jarak antara data tersebut dengan seluruh anggota kluster yang sama. Selanjutnya dihitung nilai $b(i)$, yaitu rata-rata jarak terkecil antara data tersebut dengan kluster lain yang berbeda. Berdasarkan kedua nilai tersebut, Silhouette Score untuk setiap data dihitung. Nilai ini kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh skor Silhouette keseluruhan, yang menggambarkan seberapa baik struktur kluster terbentuk. Dengan pendekatan manual ini, sistem dapat mengevaluasi kualitas kluster secara mandiri tanpa ketergantungan pada

library pihak ketiga, serta memberikan transparansi penuh terhadap proses perhitungan dalam penelitian.

3.2.3 Implementasi Web GIS

1. Pengembangan Client

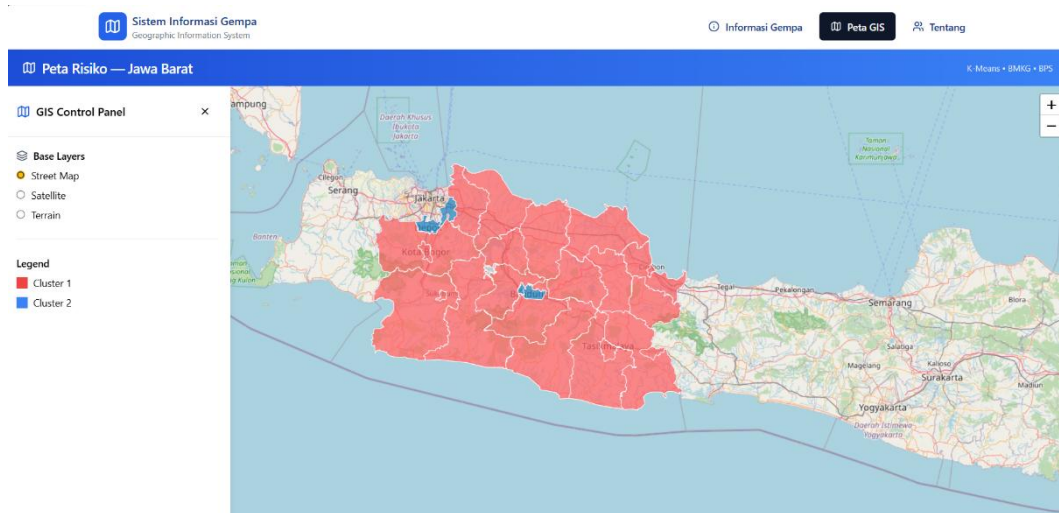
a. Landing Page



Gambar 3.7 Landing Page

Landing page merupakan halaman utama yang menampilkan informasi pengantar mengenai edukasi gempa bumi dan mitigasi. Pada bagian ini disediakan *hero section* berisi judul, deskripsi singkat, serta tombol menuju peta risiko dan panduan mitigasi. Halaman ini juga menampilkan fakta singkat terkait kesiapsiagaan bencana, ringkasan data penting seperti wilayah terdampak dan sumber data, serta panduan mitigasi dalam tiga fase: sebelum, saat, dan setelah gempa. Selain itu, terdapat *call to action* untuk mengakses peta risiko serta daftar referensi yang digunakan.

b. Halaman Peta



Gambar 3.8 Halaman Peta

Halaman peta risiko merupakan fitur utama yang menampilkan visualisasi hasil analisis klusterisasi K-Means pada wilayah Jawa Barat. Pada bagian atas, terdapat header sederhana yang menampilkan judul peta serta sumber data yang digunakan (BMKG, BPS, dan hasil pengolahan K-Means). Area utama halaman menampilkan peta interaktif menggunakan pustaka Leaflet, lengkap dengan pengaturan zoom, tile layer, serta overlay GeoJSON yang memuat data spasial hasil klusterisasi. Setiap wilayah ditampilkan dengan warna berbeda sesuai klusternya, sehingga memudahkan pengguna dalam memahami tingkat risiko.

Selain peta, halaman ini menyediakan control panel berbentuk sidebar yang dapat dibuka dan ditutup. Panel ini berisi pengaturan base layer (Street, Satellite, Terrain) serta legenda warna kluster. Fitur ini memudahkan pengguna untuk menyesuaikan tampilan peta dan memahami makna visualisasi.

c. Halaman About



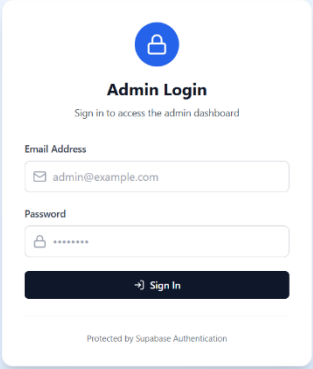
Gambar 3.9 Halaman About

Halaman About berfungsi memberikan informasi umum mengenai tujuan, latar belakang, serta dasar pengembangan sistem. Pada bagian awal ditampilkan hero section yang memperkenalkan sistem sebagai platform WebGIS interaktif untuk pemetaan risiko gempa bumi berbasis clustering dan indikator kerentanan sosial.

Bagian deskripsi menjelaskan bahwa website ini merupakan hasil penelitian skripsi dan memuat ringkasan metodologi yang digunakan, yaitu kombinasi data gempa dirasakan dari BMKG dan indikator kerentanan sosial dari BPS yang kemudian dianalisis menggunakan metode K-Means. Informasi ditampilkan untuk memberikan konteks akademis serta menjelaskan relevansi sistem dalam edukasi dan mitigasi bencana.

Selain itu, halaman ini menyediakan highlight section berisi poin-poin utama seperti metode clustering, sumber data, dan jenis visualisasi yang digunakan. Pada bagian akhir, terdapat uraian singkat mengenai sumber data yang digunakan, baik data gempa maupun indikator sosial, berikut perannya dalam proses analisis.

d. Halaman Login

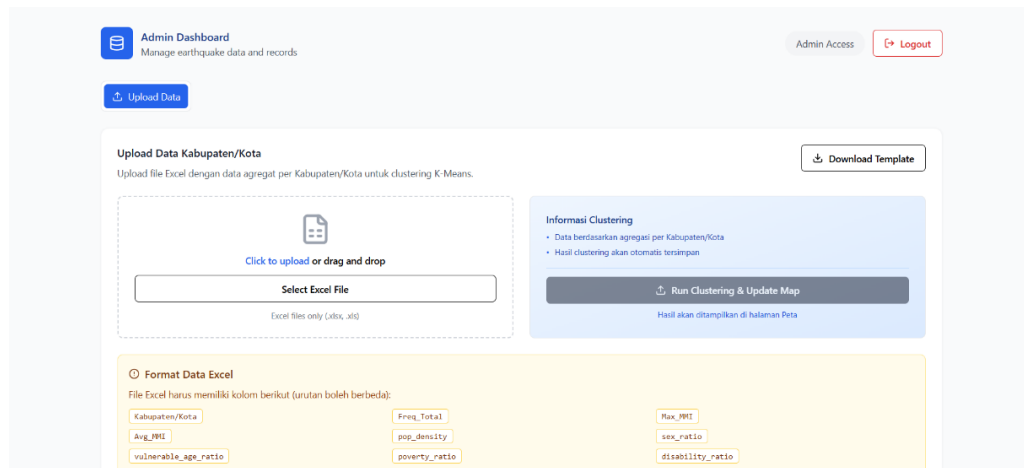
The image shows a login form titled "Admin Login" centered on a light blue background. At the top of the form is a blue circular icon with a white padlock. Below the icon, the text "Admin Login" is displayed in bold, followed by the subtitle "Sign in to access the admin dashboard". The form contains two input fields: "Email Address" with the placeholder text "admin@example.com" and an email icon, and "Password" with a password icon and masked characters "*****". A dark blue "Sign In" button with a white right-pointing arrow is positioned below the password field. At the bottom of the form, it says "Protected by Supabase Authentication".

Gambar 3.10 Halaman Login

Halaman Login berfungsi sebagai gerbang autentikasi untuk mengakses dashboard admin. Tampilan halaman dibuat sederhana dan terpusat, dengan elemen form yang terdiri dari input email dan password. Pada bagian atas ditampilkan ikon dan judul “Admin Login” yang memberikan konteks bahwa halaman ini hanya diperuntukkan bagi pengguna dengan akses administratif.

Form login dilengkapi indikator error message yang muncul apabila proses autentikasi gagal, sehingga memudahkan pengguna memahami kesalahan yang terjadi. Tombol Sign In dilengkapi animasi loading untuk menunjukkan proses sedang berlangsung ketika pengguna menekan tombol. Autentikasi dilakukan menggunakan layanan Supabase Authentication, sebagaimana ditampilkan pada bagian footer. Dengan adanya mekanisme login ini, sistem memastikan bahwa hanya admin yang terdaftar yang dapat melakukan pengelolaan data pada dashboard.

e. Halaman Admin



Gambar 3.11 Admin Dashboard

Halaman Admin Dashboard berfungsi sebagai pusat kontrol untuk mengelola data terkait clustering Kabupaten/Kota. Pada bagian atas terdapat header yang menampilkan identitas dashboard, status akses admin, serta tombol logout.

Dashboard memiliki satu tab utama, yaitu Upload Data, yang memungkinkan admin mengunggah file Excel berisi data agregat untuk proses clustering K-Means. Sistem menampilkan status file yang berhasil dimuat serta menyediakan tombol untuk mengunduh template Excel agar format data sesuai.

Area unggah dilengkapi drag-and-drop, indikator keberhasilan upload, serta panel informasi yang menjelaskan struktur data yang diperlukan. Setelah data berhasil dimuat, admin dapat menjalankan proses clustering yang otomatis akan memperbarui tampilan peta pada halaman pengguna.

Halaman ini juga menampilkan pesan notifikasi berupa success, error, atau info untuk memberikan umpan balik interaksi.

2. Pengembangan Server

Pengembangan sisi server dilakukan menggunakan FastAPI yang terintegrasi dengan layanan basis data Supabase. Sistem backend ini berfungsi menangani proses unggah data, menjalankan algoritma klasterisasi, mengelola penyimpanan hasil, serta menyediakan API untuk kebutuhan aplikasi WebGIS. Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh proses analitik dan manajemen data dapat berjalan secara otomatis dan konsisten dalam satu alur pemrosesan.

Fitur utama pada backend terdapat pada endpoint POST /upload-cluster, yang menjadi pusat proses analisis data. Endpoint ini menerima berkas Excel yang dikirimkan oleh admin, kemudian membaca dan memvalidasi seluruh kolom yang dibutuhkan. Setelah data diverifikasi, variabel numerik dinormalisasi menggunakan metode z-score melalui StandardScaler agar setiap atribut berada pada skala yang setara. Tahap selanjutnya adalah penerapan algoritma K-Means dengan nilai k yang dapat ditentukan pengguna. Proses klasterisasi menggunakan parameter random_state untuk menjaga konsistensi hasil, dan dari proses ini sistem menghasilkan label klaster, centroid, serta menghitung nilai silhouette score sebagai indikator kualitas pemisahan klaster.

Hasil klasterisasi kemudian disimpan dalam beberapa struktur data di Supabase. Tabel cluster digunakan untuk menyimpan pasangan nama kabupaten dan nomor klaster, sementara tabel cluster_summary menyimpan ringkasan statistik berupa nilai rata-rata setiap variabel dalam masing-masing klaster. Pada tahap ini juga dihitung dua indeks gabungan, yaitu indeks seismik dan indeks sosial, yang diperoleh dari rata-rata variabel terkait kondisi kegempaan dan kerentanan sosial. Setiap klaster diberikan deskripsi otomatis berdasarkan peringkat kedua indeks

tersebut untuk menggambarkan tingkat risiko dari dimensi seismik maupun sosial. Selain penyimpanan tabel, berkas input awal juga diunggah ke Supabase Storage sebagai dokumentasi.

Sebagai bagian dari proses integrasi dengan sistem pemetaan, backend menghasilkan GeoJSON terbaru dengan menambahkan informasi klaster dan deskripsi risiko pada atribut setiap fitur kabupaten. GeoJSON ini ditulis ulang ke berkas `latest_cluster.geojson` dan sekaligus disimpan ke dalam tabel `geojson_result` bersama nilai `k` serta `silhouette score` terakhir. Data ini kemudian digunakan oleh antarmuka WebGIS untuk menampilkan peta klaster secara dinamis.

Selain endpoint klasterisasi, server menyediakan endpoint `GET /latest_cluster` untuk mengambil GeoJSON hasil pemrosesan terakhir, serta endpoint `GET /cluster_summary` untuk mengakses ringkasan statistik klaster.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Untuk memastikan bahwa sistem berjalan sesuai dengan tujuan dan fungsionalitas yang dirancang, diperlukan serangkaian pengujian yang disusun secara terstruktur. Oleh karena itu, sebelum membahas hasil lebih lanjut, berikut dipaparkan *experimental setup* yang digunakan sebagai dasar evaluasi sistem.

4.1.1 Pengaturan Eksperimen

Pada subbab ini dijelaskan rancangan eksperimen yang digunakan dalam proses klasterisasi untuk memperoleh hasil yang optimal. Experimental setup disusun untuk memastikan bahwa seluruh proses pengujian dilakukan secara sistematis. Parameter-parameter yang digunakan dalam K-Means juga dijelaskan secara rinci agar proses evaluasi clustering dapat dipahami secara menyeluruh. Adapun parameter yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut.

1. Paramater

Skenario Pengujian disini menggunakan parameter berikut :

- a. `n_clusters` → jumlah klaster ($K = 2 - 5$)
- b. `n_init = 10` → Tiap nilai K dijalankan sebanyak 10, 20, dan 30 kali perulangan untuk menemukan hasil terbaik.

2. Proses Pembentukan Klaster

- a. Inisialisasi centroid awal secara acak menggunakan K-Means++ dengan fungsi `kmeans_pp_init()`

- b. Mengelompokkan data berdasarkan jarak Euclidean dengan fungsi `kmeans_single_run()`
- c. Menghitung ulang centroid berdasarkan rata-rata anggota klaster
- d. Mengulang sampai centroid tidak berubah signifikan
- e. Untuk setiap nilai `n_init` (10, 20, dan 30), algoritma dijalankan berulang kali dengan centroid awal berbeda. Dari seluruh percobaan tersebut dipilih model dengan nilai SSE/Inertia paling kecil sebagai solusi terbaik.

3. Evaluasi Klasterisasi Menggunakan Silhouette Score

Pengujian kualitas klaster pada penelitian ini dilakukan menggunakan Silhouette Score. Perhitungan ini menggunakan jarak Euclidean untuk menentukan nilai $a(i)$, yaitu rata-rata jarak data terhadap anggota klasternya sendiri, serta $b(i)$ yang merupakan jarak rata-rata terkecil ke klaster lain. Setelah kedua nilai diperoleh, Silhouette Score setiap data dihitung dengan rumus Silhouette Index, kemudian nilai-nilainya dirata-ratakan untuk memperoleh skor keseluruhan. Nilai ini digunakan untuk menilai apakah klaster yang terbentuk memiliki pemisahan yang baik, di mana skor mendekati 1 menunjukkan klaster yang lebih optimal, sementara skor mendekati 0 atau negatif mengindikasikan struktur klaster yang lemah atau tidak tepat.

4.1.2 Hasil Eksperimen

Clustering yang dihasilkan oleh algoritma K-Means pada penelitian ini dievaluasi berdasarkan variasi jumlah klaster (k) dan jumlah iterasi (run). Untuk memastikan kesesuaiannya dengan karakteristik data, dilakukan pengujian

Silhouette Score dengan variasi k dari 2 hingga 5. Dari rentang 10, 20, dan 30 run dari tiap rentang run dipilih model dengan nilai SSE/Inertia paling kecil sebagai solusi terbaik yang dievaluasi menggunakan Silhouette Score.

Tabel 4.1 Hasil Evaluasi

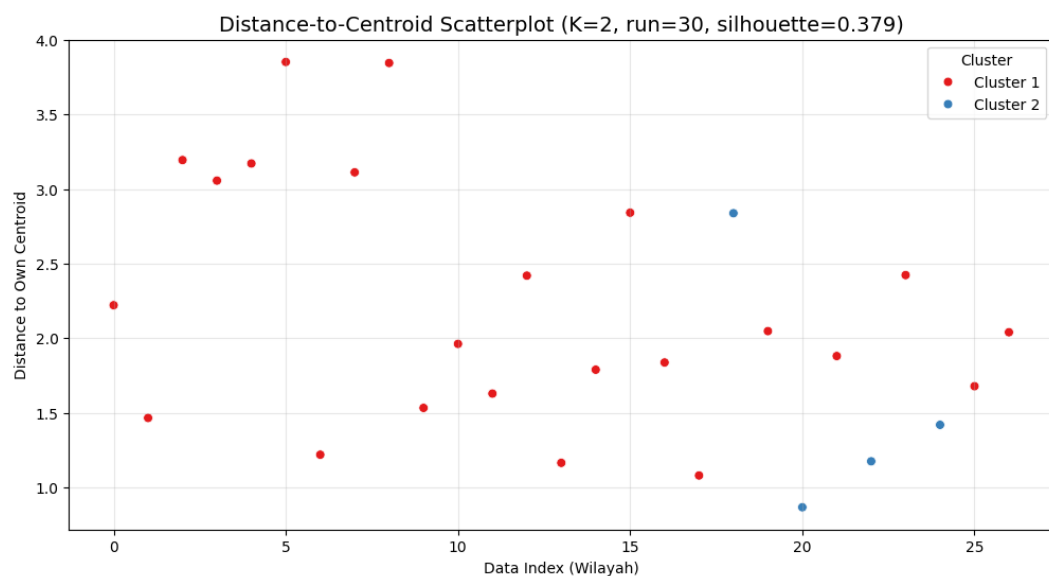
K	Run	Silhouette Score
2	10	0.379115
2	20	0.379115
2	30	0.346497
3	10	0.323437
3	20	0.323437
3	30	0.323437
4	10	0.311570
4	20	0.323506
4	30	0.323506
5	10	0.335320
5	20	0.335320
5	30	0.335320

Hasil pengujian Silhouette Score ditampilkan pada Tabel 4.1, yang menunjukkan bahwa:

1. $k = 2$ dengan run 10 dan 20 menghasilkan nilai sama yang juga merupakan Silhouette Score tertinggi, yaitu = 0.379115
2. $k = 3$ dengan run 10, 20, dan 30 menghasilkan nilai silhouette score yang sama yakni 0.323437,
3. $k = 4$ dengan run 10 menghasilkan nilai silhouette score 0.311570 kemudian run 20 dan 30 menghasilkan skor 0.323506,
4. $k = 5$ dengan run 10, 20, dan 30 memberikan nilai yang sama yakni 0.335320.

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat disimpulkan bahwa $k = 2$ dengan run 10 dan 20 memberikan nilai dengan Silhouette Score tertinggi. Nilai silhouette score ini ini

tercermin dari adanya wilayah-wilayah yang memiliki jarak jauh terhadap centroid klasternya sehingga dapat dikatakan kurang sesuai dengan kelompoknya yang menunjukkan kecenderungan berada di dekat batas klaster. Jarak yang tinggi ini juga mengindikasikan potensi tumpang tindih antar klaster, karena wilayah tersebut memiliki karakteristik yang tidak sepenuhnya sejalan dengan centroid klasternya. Pola ini divisualisasikan melalui distance-to-centroid scatterplot pada Gambar 4.1, yang memperlihatkan variasi tingkat kedekatan tiap wilayah terhadap klaster masing-masing.



Gambar 4.1 Distance to Centroid Scatterplot

Keterangan:

Cluster 1= wilayah dengan tingkat aktivitas gempa rendah dan tingkat kerentanan sosial rendah

Cluster 2 = wilayah dengan tingkat aktivitas gempa tinggi dan tingkat kerentanan sosial tinggi

Bukti terjadinya tumpang tindih (overlap) antar klaster disebabkan oleh variasi data yang tinggi di dalam klaster itu sendiri. Hal ini dapat diamati melalui perbandingan nilai rata-rata (mean) dan standar deviasi (standard deviation) pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4. 2 Rata-rata nilai fitur di tiap cluster

	Cluster 1	Cluster 2
Freq_Total	1.50	27.57
Max_MMI	0.75	3.52
Avg_MMI	0.75	2.90
Pop_Density	129.07	22.26
Poverty_Ratio	3.98	9.35
Vulnerable_Age_Ratio	73.68	82.49
Disability_Ratio	9.26	12.38

Tabel 4. 3 Standar deviasi nilai fitur di tiap cluster

	Cluster 1	Cluster 2
Freq_Total	3.00	37.55
Max_MMI	1.50	1.31
Avg_MMI	1.50	0.63
Pop_Density	20.47	25.61
Poverty_Ratio	1.12	2.18
Vulnerable_Age_Ratio	6.15	7.83
Disability_Ratio	1.63	2.36

Dari tabel kedua tabel diatas dapat dilihat Hasil klasterisasi menunjukkan bahwa pemisahan antara Cluster 1 dan Cluster 2 belum terbentuk secara optimal. Hal ini tercermin dari nilai rata-rata dan standar deviasi beberapa fitur utama yang mengindikasikan adanya variasi internal klaster yang cukup tinggi, khususnya pada Cluster 2 yang terdiri dari 23 wilayah dan memiliki standar deviasi Freq_Total sebesar 37,55, lebih besar dibandingkan nilai rata-ratanya sebesar 27,57. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebaran data frekuensi gempa di dalam Cluster 2 sangat lebar, sehingga sebagian wilayah berada cukup jauh dari pusat klaster (centroid).

Selain itu, karakteristik antar fitur menunjukkan perbedaan skala yang berlawanan arah. Cluster 1 memiliki nilai population density yang jauh lebih tinggi dengan rata-rata 129,07, sedangkan Cluster 2 hanya sebesar 22,26. Sebaliknya, fitur aktivitas gempa seperti Freq_Total, Max_MMI, dan Avg_MMI justru jauh lebih tinggi pada Cluster 2, masing-masing sebesar 27,57; 3,52; dan 2,90, dibandingkan Cluster 1 yang hanya memiliki nilai 1,50; 0,75; dan 0,75. Perbedaan skala yang kontras ini menyulitkan algoritma K-Means dalam menentukan posisi centroid yang benar-benar merepresentasikan pemisahan alami data.

Dari sisi kerentanan sosial, perbedaan antar klaster tergolong moderat. Nilai poverty ratio pada Cluster 1 sebesar 3,98 meningkat menjadi 9,35 pada Cluster 2, sementara vulnerable age ratio meningkat dari 73,68 menjadi 82,49, dan disability ratio dari 9,26 menjadi 12,38. Meskipun menunjukkan kecenderungan yang lebih tinggi pada Cluster 2, selisih nilai tersebut belum cukup besar untuk membentuk batas klaster yang tegas pada dimensi sosial.

Ketidakseimbangan jumlah anggota klaster, yaitu 4 wilayah pada Cluster 1 dan 23 wilayah pada Cluster 2, juga berpengaruh terhadap kualitas klasterisasi. Klaster dengan jumlah anggota yang jauh lebih besar cenderung memiliki centroid yang dipengaruhi oleh variasi internal yang tinggi, sementara klaster kecil menjadi kurang representatif. Akibatnya, beberapa wilayah berada pada posisi yang relatif dekat dengan lebih dari satu klaster, sehingga meningkatkan potensi overlap antar klaster.

Secara keseluruhan, meskipun secara konseptual Cluster 1 merepresentasikan wilayah dengan aktivitas gempa dan kerentanan sosial rendah,

sedangkan Cluster 2 merepresentasikan kondisi sebaliknya, dalam ruang fitur (feature space) algoritma K-Means pemisahan antar klaster belum terbentuk secara jelas. Hal ini tercermin dari tingginya variasi internal, perbedaan skala fitur yang tidak seimbang, serta ukuran klaster yang timpang, yang secara bersama-sama berkontribusi terhadap rendahnya nilai Silhouette Score sebagai indikator kualitas klasterisasi.

4.2 Pembahasan

Penentuan jumlah klaster optimal dilakukan dengan membandingkan nilai Silhouette Score pada beberapa konfigurasi jumlah klaster. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa konfigurasi dengan $k = 2$ memberikan nilai Silhouette Score tertinggi, yaitu sebesar 0.379115 pada pengujian dengan 10 dan 20 kali inisialisasi. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan konfigurasi $k = 3$ yang menghasilkan Silhouette Score 0.323437, serta konfigurasi $k = 4$ dan $k = 5$ yang menunjukkan nilai relatif stagnan pada rentang 0.311570 hingga 0.335320. Pola ini mengindikasikan bahwa peningkatan jumlah klaster tidak memberikan perbaikan pemisahan struktur data secara signifikan. Dengan demikian, konfigurasi $k = 2$ dipandang paling representatif karena mampu menangkap pola utama dalam data tanpa meningkatkan kompleksitas struktur klaster secara berlebihan, serta selaras dengan tujuan penelitian dalam memetakan tingkat risiko wilayah.

Karakteristik hasil klasterisasi tersebut diperkuat melalui analisis visual menggunakan distance-to-centroid scatterplot. Visualisasi ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah memiliki jarak yang relatif dekat dengan centroid klasternya masing-masing, yang mengindikasikan tingkat homogenitas internal yang cukup

baik. Namun demikian, terdapat sejumlah wilayah yang memiliki jarak cukup besar terhadap centroid dan berada pada area peralihan antar klaster. Keberadaan titik-titik ini menunjukkan bahwa tidak seluruh wilayah memiliki karakteristik yang sepenuhnya konsisten dengan pusat klasternya, melainkan berada pada kondisi transisi atau memiliki kombinasi karakteristik dari kedua klaster.

Fenomena tersebut mencerminkan adanya heterogenitas multidimensi dalam data, khususnya akibat perbedaan distribusi antara indikator aktivitas seismik dan indikator kerentanan sosial. Meskipun proses normalisasi telah diterapkan, perbedaan pola antarvariabel ini tetap memengaruhi posisi centroid dan menyebabkan sebagian wilayah sulit dipisahkan secara tegas dalam ruang fitur. Kondisi ini berdampak pada kohesi internal klaster yang bersifat moderat serta batas antar klaster yang tidak sepenuhnya tegas, yang selanjutnya tercermin pada nilai Silhouette Score yang tidak terlalu tinggi.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa algoritma K-Means dengan $K = 2$ berhasil mengidentifikasi dua pola utama tingkat risiko wilayah sesuai dengan tujuan penelitian. Namun, struktur klaster yang terbentuk belum sepenuhnya terpisah secara tegas, sehingga interpretasi hasil, khususnya pada wilayah yang berada di zona transisi antar klaster, perlu dilakukan secara lebih hati-hati dan kontekstual.

Berdasarkan hasil pemetaan spasial yang ditunjukkan pada Gambar 3.8, terlihat bahwa terdapat empat wilayah yang memiliki tingkat kerentanan sosial dan indeks seismik yang relatif rendah dan berada pada jarak yang saling berdekatan secara geografis. Kedekatan spasial ini tercermin dari hasil klasterisasi, di mana

wilayah-wilayah tersebut tergabung dalam klaster yang sama, sehingga menunjukkan kemiripan karakteristik baik dari sisi kondisi sosial maupun tingkat aktivitas seismik. Pola ini mengindikasikan bahwa faktor-faktor pembentuk kerentanan dan indeks seismik pada wilayah tersebut tidak bersifat acak, melainkan dipengaruhi oleh kesamaan kondisi regional, seperti letak geografis, struktur geologi, serta karakteristik sosial masyarakat setempat.

Lebih lanjut, visualisasi pada peta di Gambar 3.8 memperkuat hasil analisis kuantitatif, karena wilayah-wilayah dengan nilai rendah tersebut tidak tersebar secara terpencar, melainkan membentuk kelompok yang kompak. Hal ini menunjukkan adanya konsistensi antara hasil klasterisasi berbasis data numerik dengan representasi spasial di lapangan. Dengan demikian, peta tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga sebagai sarana validasi bahwa wilayah-wilayah dalam klaster yang sama memang memiliki kedekatan dan kemiripan karakteristik, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai satu kesatuan dalam perencanaan dan penentuan prioritas mitigasi bencana.

4.3 Integrasi Islam

Sebagai penutup dari analisis hasil klasterisasi dan evaluasi kualitas model, penelitian ini tidak hanya menyoroti aspek teknis seperti performa algoritma K-Means, pola persebaran variabel, serta interpretasi Silhouette Score, tetapi juga menempatkan pentingnya keterkaitan antara sains dan nilai-nilai etika dalam pengelolaan risiko bencana. Mengingat bahwa mitigasi bencana tidak sekadar persoalan teknis, tetapi juga menyangkut tanggung jawab moral, sosial, dan spiritual, maka diperlukan kerangka nilai yang mampu memperkaya cara pandang

terhadap hasil penelitian ini. Oleh karena itu, berikutnya akan dibahas integrasi nilai-nilai keislaman yang relevan, khususnya dalam konteks muamalah kepada Allah, kepada sesama manusia, serta upaya mengambil pelajaran dari pengetahuan dan peristiwa masa lalu pada alam. Integrasi ini diharapkan dapat memberikan landasan normatif yang memperkuat urgensi mitigasi dan pengurangan risiko bencana sebagai bagian dari amanah dan tanggung jawab seorang mukmin.

4.3.1 Muamalah Ma'a Allah

Dalam perspektif Muamalah Ma'a Allah, penelitian ini merupakan wujud ikhtiar manusia dalam memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk mengidentifikasi risiko dan mempersiapkan langkah mitigasi. Islam memerintahkan umatnya untuk melakukan usaha yang terukur dan terencana sebagai bagian dari tanggung jawab manusia untuk menjaga diri. Hal ini sejalan dengan firman Allah dalam QS. Ar-Ra'd ayat 11, yang berbunyi:

لَهُ مُعَقِّبَاتٌ مِّنْ بَيْنِ يَدَيْهِ وَمِنْ خَلْفِهِ يَحْفَظُونَهُ، مِّنْ أَمْرِ اللَّهِ ۚ إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُعْزِلُوهُ ۚ وَمَا لَهُمْ مِنْ دُونِهِ مِنْ وَّالٍ ۚ

“Baginya (manusia) ada (malaikat-malaikat) yang menyertainya secara bergiliran dari depan dan belakangnya yang menjaganya atas perintah Allah. Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan suatu kaum hingga mereka mengubah apa yang ada pada diri mereka. Apabila Allah menghendaki keburukan terhadap suatu kaum, tidak ada yang dapat menolaknya, dan sekali-kali tidak ada pelindung bagi mereka selain Dia.” (Q.S. Al-Ra’d: 11).

Tafsir Jalalain terhadap ayat ini menjelaskan: "Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan sesuatu kaum, artinya Dia tidak mencabut dari mereka nikmat-Nya, sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri dari

keadaan yang baik dengan melakukan perbuatan durhaka. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap suatu kaum, yakni menimpakan azab, maka tidak ada yang dapat menolaknya dari siksaan-siksaan tersebut, juga dari hal-hal lainnya yang telah dipastikan-Nya. Dan sekali-kali tidak ada bagi mereka selain Dia seorang penolong pun yang dapat mencegah datangnya azab Allah terhadap mereka."

Ayat ini menegaskan bahwa keselamatan dan perubahan positif harus diusahakan oleh manusia itu sendiri. Dengan demikian, penerapan algoritma K-Means, perhitungan Silhouette Score, hingga interpretasi kluster adalah bagian dari ikhtiar ilmiah untuk mengubah keadaan dari ketidaktahuan menjadi pemahaman risiko yang mendalam. Upaya ini sejalan dengan prinsip Islam untuk menjaga keselamatan dan melakukan perencanaan yang matang demi menghindari keburukan.

4.3.2 Muamalah Ma'a An-Nas

Integrasi Muamalah Ma'a An-Nas tercermin dalam tujuan penelitian ini yang berorientasi pada kemaslahatan dan perlindungan masyarakat melalui pemetaan risiko gempa dan kerentanan sosial. Penelitian ini menjadi bentuk pelaksanaan perintah untuk tolong-menolong dalam kebaikan, sebagaimana tercantum dalam QS. Al-Ma'idah ayat 2, yang berbunyi:

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا لَا تَحِلُّوا شَعَائِرَ اللَّهِ وَلَا الشَّهْرَ الْحَرَامَ وَلَا الْهَدْيَ وَلَا الْقَلَائِدَ وَلَا آمِينَ الْبَيْتِ الْحَرَامِ يَبْتَغُونَ
فَضْلًا مِّن رَّبِّهِمْ وَرِضْوَانًا وَإِذَا حَلَلْتُمْ فَاصْطَادُوا وَلَا يَجْرِمَنَّكُمْ شَنَا نُ قَوْمٍ أَن صَدُّوكُمْ عَنِ الْمَسْجِدِ الْحَرَامِ
أَن تَعْتَدُوا وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ وَالتَّقْوَىٰ وَلَا تَعَاوَنُوا عَلَى الْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ وَاتَّقُوا اللَّهَ إِنَّ اللَّهَ شَدِيدُ الْعِقَابِ

“Wahai orang-orang yang beriman, janganlah kamu melanggar syiar-syiar (kesucian) Allah, jangan (melanggar kehormatan) bulan-bulan haram, jangan (mengganggu) hadyu (hewan-hewan kurban) dan qalā'id (hewan-hewan kurban yang diberi tanda), dan jangan (pula mengganggu) para pengunjung Baitulharam sedangkan mereka mencari karunia dan rida Tuhannya! Apabila kamu telah bertahalul (menyelesaikan ihram), berburulah (jika mau). Janganlah sekali-kali kebencian(-mu) kepada suatu kaum, karena mereka menghalang-halangi dari Masjidilharam, mendorongmu berbuat melampaui batas (kepada mereka). Tolong-menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan permusuhan. Bertakwalah kepada Allah, sesungguhnya Allah sangat berat siksaan-Nya.” (Q.S. Al-Maidah: 2).

Tafsir Al Muyassar terhadap ayat ini adalah: "Wahai orang-orang yang beriman kepada Allah dan rasulNya serta menjalankan syariatNya, janganlah kalian melewati batasan-batasan Allah dan rambu-rambuNya, dan janganlah kalian menghalalkan peperangan di bulan-bulan haram, yaitu, Bulan dzulqadah, dzulhijjah, muharram, dan rajab. Dan ketentuan ini berlaku pada permulaan perkembangan islam. Dan janganlah kalian menghalalkan kehormatan binatang hadyu dan jangan pula binatang-binatang yang leher-lehernya telah dikalungi sesuatu. Hal itu karena mereka meletakkan kalung-kalung berbentuk kuciran-kuciran dari bulu domba atau unta pada batang lehernya sebagai pertanda bahwa binatang-binatang ternak tersebut diperuntukkan sebagai hadyu dan pembawanya adalah orang yang hendak mengerjakan ibadah haji. Dan janganlah kalian menghalalkan tindakan memerangi orang-orang yang bermaksud mendatangi Masjidil Haram yang mengharapkan dari Allah karunia yang dapat memperbaiki kualitas kehidupan dunia mereka dan mendatangkan keridhaan tuhan mereka. Apabila kalian telah selesai dari ihram kalian, maka halal bagi kalian binatang buruan. Dan janganlah menyeret kalian rasa kebencian kalian terhadap satu kaum gara-gara mereka menghalang-halangi kalian untuk memasuki masjidil haram,

sebagaimana yang terjadi pada tahun perjanjian Hudaibiyah, membuat kalian mengabaikan perbuatan adil terhadap mereka. Dan tolong-menolonglah di antara kalian wahai kaum Mukminin, dalam mengerjakan kebaikan dan ketakwaan kepada Allah. Dan janganlah kalian saling menolong dalam perbuatan yang memuat dosa, maksiat, dan pelanggaran terhadap batasan-batasan Allah, dan wasapadalah kalian dari melanggar perintah Allah, karena sesungguhnya Dia amat dahsyat siksaanNya. "

Dalam ayat ini disebutkan perihal ibadah haji dan anjurannya, namun fokus pembahasan pada potongan ayat yang memiliki arti perintah untuk saling tolong-menolong dalam kebaikan. Maka, membentuk sebuah peta wilayah klaster berdasarkan indeks seismik dan kerentanan sosial adalah salah satu bentuk tolong-menolong untuk meminimalisir dampak kerugian sebelum bencana terjadi. Hal ini membantu bagi peneliti maupun pemerintah daerah dalam menerapkan rancangan prioritas mitigasi. Walaupun hasil klasterisasi yang diperoleh belum menunjukkan pemisahan yang sepenuhnya optimal antar klaster, namun tetap mampu menggambarkan kecenderungan umum tingkat risiko wilayah. Oleh karena itu, penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai referensi awal dan dasar pengembangan penelitian selanjutnya.

4.3.3 Muamalah Ma'a Al-Alam

Dari aspek Muamalah Ma'a Al-Alam, penelitian ini merefleksikan nilai Islam tentang pentingnya mengamati, mempelajari, dan mengambil pelajaran dari alam semesta sebagai dasar perencanaan. Al-Qur'an melalui QS. Yunus ayat 101 secara jelas memerintahkan hal ini:

قُلْ انظُرُوا مَاذَا فِي السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ وَمَا تُغْنِي الْاٰيٰتُ وَالنُّذُرُ عَنْ قَوْمٍ لَا يُؤْمِنُوْنَ

“Katakanlah (Nabi Muhammad), “Perhatikanlah apa saja yang ada di langit dan di bumi!” Tidaklah berguna tanda-tanda (kebesaran Allah) dan peringatan-peringatan itu (untuk menghindarkan azab Allah) dari kaum yang tidak beriman.” (QS. Yunus:101).

Tafsir Jalalain menjelaskan bahwa perintah "Perhatikanlah apa yang ada di langit dan di bumi" ditujukan kepada orang-orang kafir Mekah untuk melihat "tanda-tanda yang menunjukkan akan keesaan Allah SWT." Lebih lanjut, Tafsir menyatakan bahwa tidaklah bermanfaat "tanda kekuasaan Allah dan rasul-rasul yang memberi peringatan (an-nuzur)" bagi orang-orang yang tidak beriman.

Ayat ini, meskipun bermula sebagai seruan kepada kaum ingkar, secara substansial mengandung perintah universal bagi manusia untuk memperhatikan segala yang ada di alam. Dalam konteks ini, penggunaan data historis gempa seperti frekuensi kejadian, intensitas MMI, serta indikator sosial merupakan implementasi langsung dari perintah tersebut dalam bentuk analisis ilmiah modern. Data-data ini berfungsi sebagai tanda-tanda yang diolah melalui metode K-Means untuk menghasilkan klaster dan peringatan tentang potensi risikonya. Dengan demikian, metode K-Means tidak hanya alat teknis, tetapi juga sarana untuk merealisasikan prinsip Islam dalam belajar dari alam agar masyarakat lebih waspada dan mampu merespons tanda-tanda Allah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah menghasilkan sebuah sistem WebGIS yang mampu melakukan proses klasterisasi tingkat kerawanan gempa bumi pada wilayah Kabupaten/Kota di Jawa Barat menggunakan algoritma K-Means serta menampilkannya dalam bentuk visualisasi peta interaktif. Berdasarkan tujuan penelitian dan hasil pembahasan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan proses pengolahan data, klasterisasi, penyimpanan hasil, serta visualisasi peta dalam satu alur yang terpadu. Komponen yang dibangun meliputi landing page, peta interaktif, halaman informasi, autentikasi admin, serta panel admin yang memungkinkan pengunggahan data dan eksekusi proses clustering secara langsung.
2. Berdasarkan percobaan variasi jumlah klaster ($K = 2-5$) dan beberapa konfigurasi inisialisasi ($n_init = 10, 20, 30$), diperoleh kombinasi terbaik pada $K = 2$ dengan $n_init = 10$ dan 20 , yang menghasilkan nilai Silhouette Index yang sama yakni 0.379115 , sekaligus menjadi nilai tertinggi di antara seluruh percobaan. Hasil ini menunjukkan bahwa model dengan dua klaster memberikan struktur pemisahan yang lebih baik dibandingkan konfigurasi lainnya.
3. Evaluasi menggunakan Silhouette Score menunjukkan bahwa struktur klaster yang terbentuk belum sepenuhnya terpisah secara tegas. Hal ini mengindikasikan masih adanya overlap antar klaster, yang dipengaruhi oleh

variasi internal data yang cukup tinggi, perbedaan skala antar fitur, serta ketidakseimbangan jumlah anggota klaster. Meskipun demikian, model klasterisasi tetap mampu mengelompokkan wilayah berdasarkan kombinasi variabel bahaya kegempaan (Freq_Total, Max_MMI, Avg_MMI) dan variabel kerentanan sosial (kepadatan penduduk, rasio usia rentan, kemiskinan, dan disabilitas), sehingga hasil yang diperoleh masih dapat diinterpretasikan dan digunakan sebagai gambaran awal tingkat kerawanan wilayah penelitian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat menjadi acuan bagi pengembangan penelitian selanjutnya maupun pihak yang akan memanfaatkan sistem ini:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk membandingkan performa K-Means dengan metode lain, seperti DBSCAN, Hierarchical Clustering, atau Gaussian Mixture Models, atau kombinasi PCA + K-Means untuk mendapatkan klasterisasi dengan Silhouette Score yang lebih tinggi.
2. Dataset historis kegempaan dapat diperluas baik secara temporal (tahun lebih panjang) maupun spasial (wilayah lebih luas) untuk meningkatkan kualitas distribusi data sehingga klaster lebih terpisah dengan baik.
3. Dalam pemanfaatan sistem, disarankan agar hasil klasterisasi digunakan sebagai informasi pendukung dan tidak dijadikan satu-satunya dasar keputusan, mengingat nilai evaluasi masih menunjukkan struktur klaster yang belum sangat kuat

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, M. (2023). IMPLEMENTASI ALGORITMA K-MEANS PADA PERISTIWA GEMPA BUMI DI WILAYAH JAWA BARAT. *Jurnal Wahana Informatika (JWI)*, 2(2), 257–264.
- BADAN NASIONAL PENANGGULANGAN BENCANA. (2012). *PERATURAN KEPALA BADAN NASIONAL PENANGGULANGAN BENCANA NOMOR 02 TAHUN 2012 TENTANG PEDOMAN UMUM PENGKAJIAN RISIKO BENCANA*.
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Penduduk, Laju Pertumbuhan Penduduk, Distribusi Persentase Penduduk, Kepadatan Penduduk, Rasio Jenis Kelamin Penduduk Menurut Provinsi, 2025*. BPS. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/V1ZSbFRUY3ITbFpEYTNsVWNGcDZjek53YkhsNFFUMDkjMyMwMDAw/population--population-growth-rate--percentage-distribution-of-population--population-density--and-population-sex-ratio-by-province.html?year=2025>
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2024). *Jumlah Bencana Alam Menurut Provinsi dan Jenis Bencana Alam (kejadian), 2020–2024*. Badan Pusat Statistik (BPS). <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/TUZaMGVteFVjSEJ4T1RCMllyRjRTazVvVDJocVFUMDkjMw==/jumlah-kejadian-bencana-alam-menurut-provinsi.html?year=2024>
- BMKG. (2025, July 14). *Evaluasi Berkelanjutan, BMKG Mantapkan Sistem Peta Guncangan Gempa Bumi Berbasis Instrumen*.
- Bruce A. Bolt. (2003). *Earthquakes*.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *SOCIAL SCIENCE QUARTERLY*.
- Do, V., McBrien, H., Flores, N. M., Northrop, A. J., Schlegelmilch, J., Kiang, M. V., & Casey, J. A. (2023). Spatiotemporal distribution of power outages with climate events and social vulnerability in the USA. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38084-6>
- Febrian, R., Suyatno, R., Salsabila, S., Budiman, F., & Sudaryanto, S. (2025). ANALISIS SPASIAL BERBASIS K-MEANS CLUSTERING UNTUK IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN GEMPA BERDASARKAN DATA HISTORIS. In *Cara Mengutip* (Vol. 1, Issue 1).
- Hakim, A., Yuniarto, P., & Nawangnugraeni, D. A. (2025). *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications Literature Review of Earthquake Clustering Algorithms in Indonesia* (Vol. 4, Issue 3). <https://ioinformatic.org/>

- Hanks, T. C., & Kanamori, H. (1979). A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*, 84(B5), 2348–2350.
<https://doi.org/10.1029/JB084iB05p02348>
- Iqbal Prayoga Willyana, Asep Id Hadiana, & Ridwan Ilyas. (2025). Analisis Klaster Daerah Rawan Gempa di Indonesia Menggunakan K-Means dan DBSCAN Berbasis Data Historis BMKG. *TEMATIK*, 12(1), 59–71.
<https://doi.org/10.38204/tematik.v12i1.2369>
- Jufriansah, A., Pramudya, Y., Khusnani, A., & Saputra, S. (2021). Analysis of Earthquake Activity in Indonesia by Clustering Method. *Journal of Physics: Theories and Applications*, 5(2), 92. <https://doi.org/10.20961/jphystheor-appl.v5i2.59133>
- Kaufman Leonard, & Rousseeuw J. Peter. (2005). Finding Groups in Data An Introduction to Cluster Analysis. *John Wiley & Sons*.
- Kinasih, F. A., Miladan, N., & Kusumastuti, K. (2023). Kajian risiko bencana gempa bumi akibat aktivitas Sesar Lembang di Kabupaten Bandung Barat. *Region : Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif*, 18(2), 357. <https://doi.org/10.20961/region.v18i2.57232>
- Koko Mukti Wibowo, Indra Kanedi, & Juju Jumadi. (2015). SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) MENENTUKAN LOKASI PERTAMBANGAN BATU BARA DI PROVINSI BENGKULU BERBASIS WEBSITE. *Jurnal Media Infotama*.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*.
- Kristianto Anver, G., & Prasetyo, Y. J. (2025). Analysis of Earthquake Intensity on Java Island Using K-Means Clustering and GeoMap. *Indonesian Journal of Social Technology*, 6(1), 469. <http://jst.publikasiindonesia.id/>
- Lestari, D. A., & Susiloningtyas, D. (2022). *Spatial Analysis of Social Vulnerability to Earthquake Hazard in Bengkulu City*. 12(5).
- Lumowa, A. N. (2025). Zonasi Wilayah Rawan Gempa di Sulawesi Menggunakan Metode K-Means Clustering terhadap Data Historis USGS (1974-2024) *Zoning of Earthquake-Prone Areas in Sulawesi Using the K-Means Clustering Method on USGS Historical Data (1974-2024)*. 4(2), 119–131.
- Mohamad, I. Bin, & Usman, D. (2013). Standardization and its effects on K-means clustering algorithm. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(17), 3299–3303.
<https://doi.org/10.19026/rjaset.6.3638>
- Pamungkas, T. D., Firdaus, R. A., Rohmah, N. A., Rizki, R., & Affriani, A. R. (2025). Analisis Spasial Rencana Tata Ruang Wilayah Berbasis Kerentanan Gempa Bumi (Studi Kasus: Kecamatan Cisarua Kabupaten Bandung Barat). *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 7(2), 161. <https://doi.org/10.22146/jgise.101944>

- Pang-Ning Tan, Micahel Steinbach, Anuj Karpatne, & Vipin Kumar. (2019). *Introduction to Data Mining* (3rd ed.).
- Paula Asmara, E. (2023). Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Daerah Rawan Bencana Kota Palopo Berbasis Webgis. In *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer* (Vol. 01, Issue 01).
- Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. (2017). Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Reviantika, F., Harahap, C. N., & Azhar, Y. (2020). Analisis Gempa Bumi pada Pulau Jawa menggunakan Clustering Algoritma K-Means. *Jurnal Dinamika Informatika*, 9(1), 51–60. <https://twitter.com/infobmkg>
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouette: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. In *Journal of Computational and Applied Mathematics* (Vol. 20).
- Sauti, N. S., Daud, M. E., Kaamin, M., & Sahat, S. (2021). GIS spatial modelling for seismic risk assessment based on exposure, resilience, and capacity indicators to seismic hazard: a case study of Pahang, Malaysia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1948–1972. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1947903>
- Sinta, D., Aini, N., Susanto, A., & Yunita, I. (2024). *Pemetaan Menggunakan Leaflet Dan Open Street Maps Pada Daerah Rawan Bencana Kabupaten Jember Berbasis WebGIS* (Vol. 3, Issue 1).
- Supendi, P., Priyobudi, P., Jatnika, J., Sianipar, D., Ali, Y. H., Heryandoko, N., Daryono, D., Adi, S. P., Karnawati, D., Anugerah, S. D., Fatchurochman, I., & Sudrajat, A. (2022). Analisis Gempa Bumi Cianjur (Jawa Barat) Mw 5.6 tanggal 21 November 2022. *Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika (BMKG)*, November, 1–4. <https://www.bmkg.go.id/berita/?p=42632&lang=ID&tag=cianjur>
- Tim Riset Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan (FITB), Pusat Penelitian Mitigasi Bencana (PPMB), & Institut Teknologi Bandung. (2021). *LAPORAN KAJIAN RISIKO BENCANA GEMPA BUMI DAN BANJIR KOTA BANDUNG*.
- Wald, D. J., Worden, B. C., Quitoriano, V., & Pankow, K. L. (2005). *ShakeMap Manual ShakeMap® Manual TECHNICAL MANUAL, USERS GUIDE, AND SOFTWARE GUIDE Prepared by*. <http://pubs.usgs.gov/tm/2005/12A01/>
- Wongoutong, C. (2024). The impact of neglecting feature scaling in k-means clustering. *PLoS ONE*, 19(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310839>
- Wood, H. O., & Neumann, F. (1931). Modified Mercalli intensity scale of 1931. *The Bulletin of the Seismological Society of America*, 21, 277–283.

