

**IMPLEMENTASI METODE *K-MEDOIDS CLUSTERING* TERHADAP
KEJADIAN GEMPA BUMI DI INDONESIA**

SKRIPSI



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh

JAUHAROTUL INAYAH

H02219012

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : JAUHAROTUL INAYAH

NIM : H02219012

Program Studi : Matematika

Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "IMPLEMENTASI METODE *K-MEDOIDS CLUSTERING* TERHADAP KEJADIAN GEMPA BUMI DI INDONESIA". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 11 Juli 2023

Yang menyatakan,





JAUHAROTUL INAYAH

NIM. H02219012

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi oleh

Nama : JAUHAROTUL INAYAH
NIM : H02219012
Judul skripsi : IMPLEMENTASI METODE *K-MEDOIDS CLUSTERING*
TERHADAP KEJADIAN GEMPA BUMI DI INDONESIA

telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Pembimbing I



Aris Fanani, M.Kom
NIP. 198701272014031002

Pembimbing II



Wika Dianita Utami, M.Sc.
NIP. 199206102018012003

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika
UIN Sunan Ampel Surabaya



Yuniar Farida, M.T
NIP. 197905272014032002

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI


Skripsi oleh

Nama : JAUHAROTUL INAYAH
NIM : H02219012
Judul Skripsi : IMPLEMENTASI METODE *K-MEDOIDS CLUSTERING*
TERHADAP KEJADIAN GEMPA BUMI DI INDONESIA

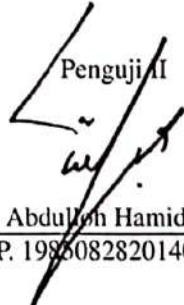
Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 11 Juli 2023

Mengesahkan,
Tim Penguji

Penguji I


Nurisaidah Ulinnuha, M.Kom.
NIP. 199011022014032004

Penguji II


Dr. Abdulloh Hamid, M.Pd.
NIP. 198308282014031003

Penguji III


Aris Fanani, M.Kom
NIP. 198701272014031002

Penguji IV


Wika Dianita Utami, M.Sc.
NIP. 199206102018012003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Sunan Ampel Surabaya



Dr. A. Saepul Hamdani, M.Pd.
NIP. 196507312000031002



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Jauharotul Inayah
NIM : H02219012
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika
E-mail address : jauharotul.inayah@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Sekripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)
yang berjudul :

Implementasi metode K-Medoids Clustering Terhadap kejadian
Gempa Bumi di Indonesia

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 11 Juli 2023

Penulis

(Jauharotul Inayah)
nama terang dan tanda tangan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	8
1.3. Tujuan Penelitian	8
1.4. Manfaat Penelitian	8
1.5. Batasan Masalah	9
1.6. Sistematika Penulisan	10
II TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1. Gempa Bumi	12
2.2. <i>Preprocessing Data</i>	16
2.2.1. <i>Cleaning Data</i>	17
2.2.2. <i>Min-Max Normalization</i>	17
2.3. Uji Multikolinearitas	18
2.4. <i>Clustering</i>	19
2.5. <i>K-Medoids Clustering</i>	21

2.6. <i>Silhouette Coefficient</i>	23
2.7. Integrasi Keislaman	25
III METODE PENELITIAN	29
3.1. Jenis Penelitian	29
3.2. Sumber Data	29
3.3. Variabel Penelitian	29
3.4. Metode Analisis Data	30
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. <i>Preprosesing Data</i>	33
4.1.1. <i>Cleaning Data</i>	35
4.1.2. <i>Min-Max Normalization</i>	35
4.2. Uji Multikolinearitas	36
4.3. <i>K-Medoids Clustering</i>	37
4.3.1. <i>K-Medoids Clustering</i> untuk $k = 2$	37
4.3.2. <i>K-Medoids Clustering</i> untuk $k = 3$	41
4.3.3. <i>K-Medoids Clustering</i> untuk $k = 4$	48
4.3.4. <i>K-Medoids Clustering</i> untuk $k = 5$	52
4.3.5. <i>K-Medoids Clustering</i> untuk $k = 6$	58
4.4. <i>Silhouette Coefficient</i>	65
4.5. Interpretasi Hasil Penelitian	69
4.6. Integrasi Keilmuan	72
V PENUTUP	75
5.1. Kesimpulan	75
5.2. Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	76
A DATA KEJADIAN GEMPA BUMI DI INDONESIA JANUARI 2020 - MARET 2023	86

DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Kaufman dan Rousseeuw	25
3.1	Definisi Keterangan Variabel	30
4.1	Data kejadian gempa bumi di Indonesia	33
4.2	Deskriptif Data Kejadian Gempa Bumi di Indonesia	34
4.3	Data setelah dilakukan <i>cleaning</i> data	35
4.4	Data setelah dilakukan normalisasi	36
4.5	Nilai VIF antar variabel	36
4.6	<i>Medoid</i> awal $k = 2$	37
4.7	Jarak objek terhadap <i>medoid</i> awal $k = 2$	38
4.8	Kandidat <i>medoid</i> baru $k = 2$	39
4.9	Jarak objek terhadap kandidat <i>medoid</i> baru $k = 2$	40
4.10	Hasil Klaster dengan $k = 2$	41
4.11	<i>Medoid</i> awal $k = 3$	41
4.12	Jarak objek terhadap <i>medoid</i> awal $k = 3$	43
4.13	Kandidat <i>medoid</i> baru $k = 3$	43
4.14	Jarak objek terhadap kandidat <i>medoid</i> baru $k = 3$	44
4.15	Kandidat <i>medoid</i> baru selanjutnya $k = 3$	45
4.16	Jarak objek terhadap kandidat <i>medoid</i> baru selanjutnya $k = 3$	46
4.17	Hasil Klaster dengan $k = 3$	47
4.18	<i>Medoid</i> awal $k = 4$	48
4.19	Jarak objek terhadap <i>medoid</i> awal $k = 4$	49
4.20	kandidat <i>edoid</i> baru $k = 4$	50
4.21	Jarak objek terhadap kandidat <i>medoid</i> baru $k = 4$	51
4.22	Hasil Klaster dengan $k = 4$	52
4.23	<i>Medoid</i> awal $k = 5$	53
4.24	Jarak objek terhadap <i>medoid</i> awal $k = 5$	54

4.25	Kandidat <i>medoid</i> baru $k = 5$	55
4.26	Jarak objek terhadap kandidat <i>medoid</i> baru $k = 5$	56
4.27	Hasil Klaster dengan $k = 5$	57
4.28	<i>Medoid</i> awal $k = 6$	58
4.29	Jarak objek terhadap <i>medoid</i> awal $k = 6$	60
4.30	Kandidat <i>medoid</i> baru $k = 6$	61
4.31	Jarak objek terhadap <i>medoid</i> baru $k = 6$	63
4.32	Hasil Klaster dengan $k = 6$	64
4.33	Jarak <i>Euclidean</i> antar data	65
4.34	Nilai <i>Silhouette Coefficient</i> pada setiap k klaster	68
4.35	Hasil Klaster Tingkat Kerawanan Sangat Tinggi	70
4.36	Hasil Klaster Tingkat Kerawanan Tinggi	71



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

2.1	Peta Pergerakan Lempeng Tektonik Dunia	13
3.1	Diagram Alir Tahap Penelitian	32
4.1	Grafik nilai <i>Silhouette Coefficient</i> pada $k = 2$	68
4.2	Pemetaan Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia	72



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRAK

IMPLEMENTASI METODE *K-MEDOIDS CLUSTERING* TERHADAP KEJADIAN GEMPA BUMI DI INDONESIA

Secara geografis Indonesia berada di antara tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Kondisi ini membuat Indonesia menjadi sangat rentan terhadap bencana alam gempa bumi. Kejadian gempa bumi di Indonesia yang paling dahsyat hingga menyebabkan tsunami terjadi pada tahun 2004 di Provinsi Aceh dengan berkekuatan 9,3 skala richer dengan kedalaman 30 km di dasar Samudera Hindia yang mengakibatkan kerusakan parah dan diperkirakan memakan sebanyak 230.000 korban jiwa. Pada tahun 2022 terjadi sebanyak 24 kejadian gempa bumi merusak di Indonesia dengan salah satu kejadian tersebut yang memiliki dampak paling besar adalah gempa di Cianjur yang memakan sebanyak 635 korban jiwa. Kejadian tersebut menunjukkan bahwa Indonesia merupakan daerah yang rawan gempa bumi, sehingga tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengklasterkan daerah rawan gempa bumi di Indonesia dengan menggunakan metode *K-Medoids* dan evaluasi klaster dengan menggunakan *silhouette coefficient*. Data kejadian gempa bumi diperoleh dari website *United States Geological Survey* (USGS) dengan total data sebanyak 582 kejadian. Hasil penelitian ini diperoleh nilai *Silhouette Coefficient* sebesar 0.68016 dengan jumlah dua klaster yang dikategorikan sebagai klaster tingkat kerawanan sangat tinggi yaitu daerah di sekitar pulau Bali, Sulawesi, hingga Irian Jaya, dan klaster tingkat kerawanan tinggi yaitu daerah bagian barat pulau Sumatra hingga bagian selatan pulau Jawa.

Kata kunci: Bencana Alam, Gempa Bumi, K-Medoids, Pengklasteran.

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF K-MEDOIDS CLUSTERING METHOD ON EARTHQUAKES IN INDONESIA

Indonesia is geographically surrounded by three tectonic plates, namely the Indo-Australian, Eurasian, and Pacific plates, making the country highly susceptible to earthquakes. One of the most devastating earthquakes in Indonesia occurred in Aceh in 2004, which triggered a tsunami. The earthquake had a magnitude of 9,3 on the Richter scale and occurred at a depth of 30 km in the Indian Ocean, causing severe damage and an estimated death toll of 230,000. In 2022, Indonesia experienced a total of 24 destructive earthquake events, with one significant event being the earthquake in Cianjur, which claimed the lives of 635 individuals. These occurrences highlight that Indonesia is a seismic-prone area. The purpose of this research is to cluster earthquake-prone areas in Indonesia using the K-Medoids method and evaluate the clusters using the silhouette coefficient. The earthquake occurrence data was obtained from the United States Geological Survey (USGS) website, consisting of a total of 582 events. The results of this study obtained a *Silhouette Coefficient* value of 0.68016 with a total of two clusters which were categorized as very high vulnerability clusters, namely the areas around the islands of Bali, Sulawesi, to Irian Jaya, and high vulnerability clusters, namely the western part of the island of Sumatra to southern part of the island of Java.

Keywords: Clustering, Earthquake, K-Medoids, Natural Disaster

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Negara Indonesia adalah sebuah negara kepulauan yang terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik (Rahman and Wijayanto, 2021). Lempeng tektonik Indo-Australia bergerak dari arah selatan, mendorong kepulauan Indonesia ke arah utara dan menekan ke dalam lempeng Eurasia. Sementara itu, lempeng Pasifik bergerak dari arah timur, mendorong kepulauan Indonesia ke arah barat (Prihatini and Rochman, 2022). Di bagian selatan dan timur kepulauan Indonesia, terdapat sabuk vulkanik yang membentang dari pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, hingga Sulawesi, yang sisinya terdiri dari gunung-gunung berapi tua dan dataran rendah yang sebagian besar terdiri dari rawa (Jefrianto and Sari, 2022). Sehingga dengan kondisi geografis Indonesia yang dikelilingi oleh lempeng tektonik tersebut membuat negara Indonesia rentan terhadap bencana alam seperti gempa bumi (Alif et al., 2021).

Gempa bumi merupakan proses alami yang telah membentuk lanskap bumi selama ribuan tahun yang disebut sebagai bahaya alam (Chaudhary and Piracha, 2021). Bahaya alam dapat menyebabkan bencana alam jika berinteraksi dengan fitur buatan manusia seperti pemukiman, pertanian, dan infrastruktur (Mühlhofer et al., 2023). Gempa bumi dapat dikatakan sebagai kejadian bergetarnya bumi akibat pembebasan cepat energi di bumi yang didefinisikan oleh pecahnya lapisan

batu di kerak bumi (Sözen, 2019). Gempa bumi terjadi karena akumulasi energi dari pergerakan lempeng tektonik. Energi tersebut dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik yang merambat ke segala arah, sehingga efeknya dapat dirasakan hingga ke permukaan bumi. (Marsita, 2021).

Kejadian bencana alam gempa bumi di Indonesia yang paling dahsyat hingga mengakibatkan terjadinya tsunami adalah gempa bumi pada 26 Desember 2004 di Provinsi Aceh. Gempa berkekuatan 9,3 pada skala richer dengan kedalaman 30 km ini terjadi di dasar Samudera Hindia (Husin and Muslim). Gempa ini menghasilkan gelombang tsunami yang naik 30 meter tinggi dan bepergian dengan kecepatan hingga 100 m/s, atau 360 km/jam. Gelombang tersebut memantul dari Aceh ke 12 pantai di sepanjang pantai Samudra Hindia. Bencana ini tidak hanya berdampak di Indonesia, tetapi juga meluas ke beberapa negara lain, antara lain Malaysia, India, Thailand, Sri Lanka, India, Maldives, Somalia, Myanmar, Seychelles, Tanzania, Kenya, dan Bangladesh (Meutia, 2007). Para ilmuwan NASA mengklaim bahwa gempa bumi dan tsunami di Provinsi Aceh, yang diperkirakan telah mengakibatkan kematian sekitar 230.000 orang, juga memiliki pengaruh terhadap rotasi bumi. Dampaknya termasuk memperpendek durasi hari selama 2,68 mikrosekunder, mengakibatkan sedikit perubahan pada bentuk planet, dan memindahkan posisi kutub utara beberapa sentimeter (Buis, 2005).

Pada dua tahun terakhir, menurut badan geologi Indonesia terjadi total sebanyak 50 kejadian gempa bumi merusak dengan 26 kejadian pada tahun 2021 dan 24 kejadian pada tahun 2022 (Supartoyo, 2022). Gempa bumi merusak atau *destructive earthquake* merupakan kejadian gempa bumi yang telah mengakibatkan terjadinya korban jiwa, kerusakan bangunan, kerusakan

lingkungan dan kerugian harta benda. Pada 2021, gempa yang memiliki dampak yang luar biasa adalah gempa Mamuju pada 15 Januari 2021, dengan berkekuatan 6,2 skala richer pada kedalaman 10 km. Gempa ini mengakibatkan 105 orang tewas, 6.489 orang terluka, dan kantor Gubernur Sulawesi Barat rusak parah. Selain itu, ada pergerakan tanah yang sangat substansial yang menutup jalan trans-Sulawesi di wilayah Tappalang, termasuk retak tanah dan likuidasi. Sedangkan Gempa Cianjur yang berkekuatan 5,6 skala richer pada kedalaman 10 km di bawah gempa bumi pada 21 November 2022, adalah salah satu gempa di tahun 2022 yang memiliki dampak paling besar. Gempa Cianjur menyebabkan 635 orang tewas, 1.083 terluka, dan bahaya sekunder (kerusakan tanah, likuidasi, dan gerakan tanah) (Supartoyo, 2023).

Bencana alam gempa bumi di Indonesia sering kali memakan ratusan hingga ribuan korban jiwa dan kerusakan parah terhadap bangunan dan infrastruktur (Erlangga, 2020). Daya rusak yang dihasilkan disebabkan karena beberapa faktor parameter gempa bumi, yakni kekuatan gempa (*magnitude*) dan kedalaman gempa yakni (*depth*). Faktor kurangnya pengetahuan masyarakat tentang bencana dan kurangnya kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana juga berkontribusi terhadap tingginya jumlah korban dalam bencana gempa bumi (Suku et al., 2022).

Bencana alam seperti gempa bumi tidak bisa diprediksi secara akurat mengenai kapan dan di mana akan terjadi. Namun dengan adanya data kejadian pada masa lampau, dapat dilakukan analisis terhadap data tersebut sebagai antisipasi dengan kesiapsiagaan atas terjadinya bencana alam gempa bumi agar tidak mengalami kerentanan dan kesedihan yang begitu mendalam. Konsep bencana alam gempa bumi dalam Islam dipaparkan dalam firman Allah berikut.

فَكَذَّبُوهُ فَأَخَذَتْهُمُ الرَّجْفَةُ فَأَصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جَاثِمِينَ

Artinya : Maka mereka mendustakan Syu'aib, lalu mereka ditimpa gempa yang dahsyat, dan jadilah mereka mayat-mayat yang bergelimpangan di tempat-tempat tinggal mereka. (Q.S. Al-'Ankabut :30)

Dalam tafsir Al-Mishbah oleh Ulama Indonesia Muhammad Quraish Shihab, arti dari ayat tersebut ditafsirkan sebagai "Lalu mereka mendustakan dan mendurhakainya. Maka Allah menghancurkan mereka dengan gempa sangat keras yang meruntuhkan rumah-rumah mereka dan menimpa diri mereka sehingga mereka mati bergelimpangan" (Shihab, 2002). Menurut penafsiran tersebut, dapat diketahui bahwa dalam Al-Qur'an juga disebutkan bencana gempa dapat meruntuhkan bangunan dan memakan korban jiwa. Sehingga salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk menghindari bencana tersebut adalah kesiapsiagaan terhadap terjadinya bencana. Sebagaimana dalam ayat Al-Qur'an berikut yang menyebutkan untuk tetap bersiap siaga atas apa yang akan terjadi.

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا اصْبِرُوا وَصَابِرُوا وَرَابِطُوا وَاتَّقُوا اللَّهَ لَعَلَّكُمْ تُفْلِحُونَ

Artinya : Hai orang-orang yang beriman, bersabarlah kamu dan kuatkanlah kesabaranmu dan tetaplah bersiap siaga (di perbatasan negerimu) dan bertakwalah kepada Allah, supaya kamu beruntung. (Q.S. Ali Imron : 200).

Diriwayatkan dari Abu Hurairah radhiyallahu 'anhu dari Nabi shallallahu 'alaihi wasallam bersabda:

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ عَنِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ: مَا يُصِيبُ الْمُسْلِمَ مِنْ نَصَبٍ وَلَا وَصَبٍ وَلَا هَمٍّ وَلَا حُزْنٍ وَلَا أَذًى وَلَا غَمٍّ حَتَّى الشُّوْكَةِ يُشَاكُهَا إِلَّا كَفَّرَ اللَّهُ بِهَا مِنْ خَطَايَاهَا

“Tidaklah seorang muslim itu ditimpa musibah baik berupa rasa lelah, rasa sakit, rasa khawatir, rasa sedih, gangguan atau rasa gelisah sampaipun duri yang melukainya melainkan dengannya Allah akan mengampuni dosa-dosanya” (HR. Al-Bukhari, no. 5641 dan Muslim, no. 2573)

Menurut Syaikh Abdul Qadir Al-Jailani, segala musibah yang menimpa manusia didunia ini, terkait keluarga, harta, jiwa dan semua yang menyakitkan hal itu tidak lain merupakan hukuman dari Tuhan dengan manusia karena dosa yang telah mereka perbuat, dalam hal ini Tuhan memaafkan kesalahan dan dosa, maka Dia tidak akan menghukum karena hal itu (Al-Jailani, 2009).

Dalam teologi Islam terdapat salah satu prinsip yang berbunyi

لَا ضَرَرَ وَلَا ضِرَارَ

Prinsip tersebut dalam ajaran Islam diterjemahkan sebagai ”tidak ada bahaya yang boleh ditimbulkan dan tidak boleh membahayakan diri sendiri atau orang lain”. Prinsip ini menekankan pentingnya untuk menjauhkan diri dari tindakan yang dapat membahayakan baik diri sendiri maupun orang lain. (Trisnawati, 2022). Dalam konteks kejadian musibah seperti gempa bumi, menghindari bahaya bisa diartikan sebagai meminimaisir adaya kerusakan dan korban jiwa yang ditimbulkan.

Salah satu upaya kesiapsiagaan dalam mengantisipasi terjadinya bencana adalah dengan mengetahui daerah rawan sekaligus berpotensi dan berisiko terhadap gempa bumi di Indonesia dapat diketahui dengan mengelompokkan data sesuai dengan informasi yang ada. Sehingga upaya tersebut dapat meminimalisir dampak gempa bumi seperti korban jiwa serta kerusakan fasilitas dan bangunan. Proses pengelompokkan data dilakukan menggunakan metode *clustering* atau pengklasteran.

Pengklastran atau *clustering* merupakan bagian dari konsep data *mining* dengan menggunakan teknik pengelompokan (Teichgraeber and Brandt, 2019). Pengklastran merupakan proses membagi objek menjadi beberapa kelompok, dimana masing-masing objek anggotanya lebih dekat jaraknya atau atributnya lebih mirip daripada yang bukan anggota yang terletak diluar. Setiap kelompok tersebut disebut dengan klaster (Shi et al., 2021). Terdapat macam metode *clustering* yaitu *Hierarchical Clustering* dan *non-Hierarchical Clustering* (Syafiyah et al., 2022). Salah satu metode *non-Hierarchical Clustering* tersebut adalah *K-Medoids*. *K-Medoids* merupakan bagian dari jenis teknik metode *Partition-based Clustering*. Jenis teknik ini merupakan teknik pengelompokan berbasis partisi yang menggunakan metode iteratif, berdasarkan ukuran jarak yang dipilih untuk memperbarui klaster, hingga diperoleh partisi yang optimal (Botyarov and Miller, 2022).

K-Medoids atau disebut juga dengan PAM (*Partition Around Medoids*) adalah algoritma yang dikembangkan untuk mengatasi kelemahan dalam algoritma *K-Means* yang rentan terhadap outlier (Sureja et al., 2022). Berbeda dengan *K-Means* yang mengambil nilai rata-rata dari objek dalam suatu klaster sebagai titik acuan atau *centroid*, algoritma *K-Medoids* menggunakan objek sebenarnya atau objek asli dari data tersebut untuk mewakili klaster yang terpilih sebagai titik pusat dalam suatu klaster. Hasil klaster, selanjutnya akan dikelompokkan dengan objek perwakilan yang memiliki karakteristik yang paling mirip (Luthfi and Wijayanto, 2021).

Beberapa penelitian yang dilakukan menggunakan metode *K-Medoids* antara lain adalah penelitian dengan membandingkan metode *K-Medoids* dengan *K-Means* menggunakan variabel penelitian yang sama dengan penelitian oleh

penulis yaitu lintang tempat (*latitude*), bujur tempat (*longitude*), kedalaman gempa bumi (*depth*), kekuatan gempa bumi (*magnitude*), dan jarak minimum stasiun terhadap *episenter* (*dmin*). Hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa metode *K-Medoids* memiliki nilai *Silhouette Index* lebih besar daripada metode *K-Means* dengan nilai sebesar 0,4574067 dengan kluster paling optimal adalah 6 kluster (Senduk et al., 2019). Adapun penelitian yang dilakukan dengan judul pemetaan kelompok sebaran titik gempa bumi Mentawai dengan metode *K-Medoids Clustering*. Hasil pada penelitian tersebut didapatkan tiga kluster yang mendapatkan hasil evaluasi kluster yang maksimal dengan presentase nilai akurasi *Confusion Matrix* sebesar 94,267 (Setiawan et al., 2022b). Penelitian selanjutnya dengan membandingkan metode *K-Medoids*, *Common Nearest Neighbor Clustering (CNN)*, dan *Density-based Spatial Clustering of Application with Noise (DBSCAN)* terhadap klusterisasi bencana alam getaran tanah dan gempa bumi. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa metode *K-Medoids* lebih baik dalam membentuk kluster rentan gempa bumi dengan nilai *Silhouette* yang lebih baik diantara ketiganya (Setiawan et al., 2022a)

Berdasarkan latar belakang, penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan daerah rawan gempa bumi di Indonesia menggunakan metode *K-Medoids* dengan variabel lintang tempat (*latitude*), bujur tempat (*longitude*), kedalaman gempa bumi (*depth*), kekuatan gempa bumi (*magnitude*), dan jarak minimum stasiun terhadap *episenter* (*dmin*). Penelitian dengan melakukan pengklasteran terhadap daerah rawan akan gempa bumi ini penting dilakukan guna mengetahui tingkat kerawanan suatu daerah terhadap gempa bumi. Sehingga baik pemerintah maupun warga setempat dapat meningkatkan kesiapsiagaannya dan mengantisipasi terhadap terjadinya gempa bumi untuk meminimalisir adanya

korban jiwa. Hasil dari pengklasteran dalam penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan dalam meningkatkan strategi mitigasi risiko gempa, mengembangkan sistem peringatan dini, serta strategi dalam pembangunan infrastruktur dengan struktur bangunan dan wilayah yang tepat.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah dipaparkan pada latar belakang, maka diperoleh rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai *Silhouette Coefficient* terhadap hasil klaster menggunakan metode *K-Medoids*?
2. Bagaimana hasil klaster daerah rawan gempa bumi di Indonesia menggunakan metode *K-Medoids*?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari beberapa rumusan masalah yang telah dipaparkan, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai *Silhouette Coefficient* terhadap hasil klaster menggunakan metode *K-Medoids*.
2. Untuk mengetahui bagaimana hasil klaster daerah rawan gempa bumi di Indonesia menggunakan metode *K-Medoids*.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada banyak pihak sebagai berikut:

1. Secara Teoritis

(a) Bagi penulis

Manfaat bagi penulis yaitu dapat digunakan sebagai satu proses pembelajaran terkait penulisan dan penyelesaian masalah secara runtut dan sistematis serta dapat menambah wawasan tentang daerah rawan gempa bumi dan metode *K-Medoids*.

(b) Bagi pembaca

Manfaat bagi pembaca yaitu dapat digunakan sebagai referensi keilmuan dan menambah wawasan mengenai daerah rawan gempa bumi dan metode *K-Medoids*.

2. Secara Praktis

Secara praktis, penelitian ini dapat membantu pemerintah dan masyarakat dalam kesiapsiagaan terhadap terjadinya gempa bumi serta dapat menambah referensi yang dapat dimanfaatkan bagi pihak yang membutuhkan.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan data yang akan diolah dengan variabelnya yaitu antara lain lintang tempat (*latitude*), bujur tempat (*longitude*), kedalaman gempa bumi (*Depth*) dengan jarak kedalaman 0-300 km, kekuatan gempa bumi (*Magnitude*) dengan kekuatan lebih dari 5 skala richter, dan jarak minimum terhadap *Episenter* (*Dmin*).
2. Penelitian ini melakukan percobaan jumlah kluster sebanyak 2 hingga 6 kluster dalam mendapatkan jumlah kluster yang optimal.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini yaitu terdapat tiga bagian, dimana bagian-bagian tersebut adalah diawali dengan pendahuluan, tinjauan pustaka, dan metode penelitian. Bagian-bagian tersebut akan dijabarkan sebagaimana berikut ini:

1. BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penulisan, batasan masalah dan sistematika penelitian. Pada latar belakang diceritakan tentang penjelasan secara umum mengenai gempa bumi, dilanjutkan dengan alasan dari dilakukannya penelitian, lalu cara atau metode yang dapat digunakan dalam kasus tersebut, dan dikuatkan dengan adanya penelitian terdahulu.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi landasan teori yang berhubungan dengan penelitian, meliputi gempa bumi, metode *K-Medoids* dan *Silhouette Coefficient*.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Berisi jenis penelitian, objek penelitian, data yang akan digunakan, variabel yang dibutuhkan, alur dan tahap-tahap penelitian yang dilakukan.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi deskripsi mengenai interpretasi hasil penelitian pengelompokan daerah rawan gempa bumi di Indonesia Januari 2020 - Maret 2023.

5. BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan serta saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

6. DAFTAR PUSTAKA

Berisi daftar referensi yang digunakan dalam penelitian, baik berupa buku, jurnal maupun artikel.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan hasil dari gerakan tiba-tiba di sepanjang patahan di dalam bumi. Gerakan ini melepaskan energi '*elastic strain*' yang tersimpan dalam bentuk gelombang seismik, yang merambat melalui bumi dan menyebabkan permukaan tanah bergetar. Pergerakan seperti itu pada sesar umumnya merupakan respons terhadap deformasi jangka panjang dan penumpukan tegangan (Perdana et al., 2023).

Gelombang seismik dari gempa bumi besar melewati seluruh bumi. Gelombang ini mengandung informasi penting tentang struktur internal bumi. Saat gelombang seismik melewati bumi, gelombang tersebut dibiaskan, atau dibelokkan, seperti sinar cahaya yang dibelokkan saat melewati prisma kaca. Karena kecepatan gelombang seismik bergantung pada kerapatan, maka waktu tempuh gelombang seismik dapat digunakan untuk memetakan perubahan kerapatan terhadap kedalaman dan menunjukkan bahwa bumi terdiri dari beberapa lapisan (Damayanti, 2022).

Lapisan terluar bumi terbagi menjadi sekitar 15 lempeng besar yang dikenal sebagai lempeng tektonik. Lempeng-lempeng ini membentuk litosfer, yang terdiri dari kerak benua, kerak samudera, dan bagian atas mantel. (Tehseen et al., 2020). Lempeng tektonik bergerak secara relatif dengan kecepatan yang sangat lambat, biasanya hanya beberapa sentimeter per tahun. Tetapi hal ini masih menyebabkan

sejumlah besar deformasi pada batas lempeng, yang pada gilirannya menyebabkan gempa bumi (Setyogroho et al., 2022).

Pengamatan menunjukkan bahwa sebagian besar gempa bumi berasosiasi dengan batas lempeng tektonik. Teori lempeng tektonik dapat digunakan untuk memberikan penjelasan yang disederhanakan tentang pola sebaran gempa bumi secara global. Sedangkan beberapa karakteristik gempa bumi dapat dijelaskan dengan menggunakan teori pantulan elastis sederhana (Bening et al., 2022).



Gambar 2.1 Peta Pergerakan Lempeng Tektonik Dunia

Sumber : *British Geological Survey*

Terdapat tiga kemungkinan pergerakan relatif antara dua lempeng tektonik, antara lain yang pertama adalah *spreading* (penyebaran) yaitu kedua lempeng saling menjauhi satu sama lain. Di sepanjang batas lempeng ini terbentuk retakan dan terjadi pergerakan magma dari bawah kerak bumi untuk mengisi celah yang terbentuk. Contoh fenomena ini adalah Dorsal Atlantik Tengah.

Kedua, *collision* (tumbukan) yaitu kedua lempeng saling mendekati dan bertumbukan. Akibat tekanan yang besar, lempeng-lempeng ini dapat menimbulkan lipatan dan penyusupan materi lempeng yang lebih padat ke bawah.

Contoh fenomena ini adalah Pegunungan Himalaya yang terbentuk akibat tumbukan lempeng India dengan lempeng Eurasia.

Ketiga, *transform* (geser) yaitu kedua lempeng saling bergerak mendatar (*horizontal*) dalam arah yang berlawanan atau sejajar satu sama lain. Pergerakan ini seringkali menyebabkan gesekan dan energi terakumulasi hingga terjadi pembebasan energi dalam bentuk gempa bumi. Contoh fenomena ini adalah Patahan San Andreas di California, Amerika Serikat.

Gempa bumi memiliki parameter-parameter yang mencakup nilai besaran dan lokasi kejadian. Parameter tersebut adalah *origin time*, *episenter*, *depth*, serta *magnitudo*. *Origin time* yaitu waktu awal gempa bumi yang merujuk pada waktu tepat ketika gempa bumi pertama kali terjadi di mana energi tiba-tiba dilepaskan dan getaran seismik mulai terjadi di sumber gempa. *Origin time* gempa bumi biasanya dicatat dalam koordinat waktu UTC (Coordinated Universal Time) dan biasanya dilengkapi dengan tanggal, jam, menit, dan detik.

Episenter merupakan titik di mana getaran gempa bumi dirasakan paling kuat di permukaan bumi atau lokasi di mana energi gempa mencapai titik puncaknya dan menyebabkan dampak yang terlihat dan dirasakan. Letak gempa bumi tersebut dinyatakan dalam koordinat geografis, yaitu garis lintang (*latitude*) dan garis bujur (*longitude*) di mana gempa terjadi. Informasi ini penting untuk pemetaan dan pemahaman tentang sebaran gempa bumi di suatu wilayah tertentu. *Dmin* merupakan jarak *episenter* terhadap stasiun gempa. Semakin kecil angka *dmin*, kedalaman gempa yang dihitung akan lebih dapat diandalkan

Depth yaitu kedalaman pusat gempa bumi yang mengacu pada jarak vertikal dari permukaan bumi ke pusat gempa. Kedalaman gempa bumi dapat bervariasi mulai dari gempa dangkal yang terjadi di kedalaman hingga beberapa

kilometer di bawah permukaan, hingga gempa dalam yang terjadi di kedalaman yang lebih dalam, bahkan di zona subduksi di bawah lempeng tektonik. Kedalaman juga dapat mempengaruhi seberapa kuat getaran yang dirasakan di permukaan dan sejauh mana dampak gempa bumi dapat dirasakan oleh manusia dan lingkungan sekitarnya.

Magnitudo yang merupakan besaran gempa bumi. Besaran gempa bumi adalah ukuran kekuatan gempa yang dihitung berdasarkan data yang diperoleh dari alat seismograf. Alat ini digunakan untuk merekam dan mengukur getaran yang dihasilkan oleh gempa bumi. Data seismograf kemudian dianalisis untuk menentukan besaran gempa menggunakan berbagai skala, seperti Skala Richter atau Skala Magnitudo. Besaran gempa ini mencerminkan energi yang dilepaskan oleh gempa bumi. (Hidayanti et al., 2018)

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menyatakan bahwa secara umum, kejadian gempa bumi di Indonesia dapat dibagi menjadi tiga zona sumber berdasarkan mekanisme fisiknya (Metrikasari and Choiruddin, 2021). Salah satu zona tersebut adalah zona subduksi, yang terjadi di sekitar pertemuan antara lempeng tektonik. Zona subduksi ini sering menyebabkan gempa bumi dengan magnitudo besar karena terjadinya penelaan dan subduksi lempeng. Zona ini terbagi menjadi dua lajur model yakni lajur *megathrust* atau gempa bumi *interplate* dan lajur *benoif* atau gempa *intraplate* (Erlangga, 2020).

Selain zona subduksi, terdapat juga zona *transform*. Zona *transform* terbentuk pada batas antara dua lempeng tektonik yang mengalami pergeseran horizontal. Di zona ini, tidak terjadi penelaan kerak bumi, namun terjadi gesekan atau translasi antara lempeng, yang berakibat pada terjadinya gempa bumi besar (Pasau and Tanauma, 2011).

Zona sumber lainnya adalah zona sumber shallow crustal fault atau sesar kerak bumi dangkal. Zona ini terkait dengan patahan-patahan kerak bumi yang dangkal dan aktif. Gempa bumi yang terjadi di zona ini biasanya memiliki kedalaman dangkal dan dapat menyebabkan kerusakan signifikan di daerah sekitarnya (Hidayat and Santoso, 1997).

Pemahaman tentang tiga zona sumber tersebut penting dalam pemodelan dan pemetaan gempa bumi di Indonesia. Dengan mengidentifikasi zona-zona ini, dapat dilakukan upaya mitigasi dan penanganan risiko gempa bumi yang lebih efektif, termasuk dalam perencanaan pembangunan infrastruktur yang tahan gempa dan pengembangan sistem peringatan dini.

2.2. Preprocessing Data

Data *preprocessing*, komponen dari persiapan data, mencakup setiap jenis pemrosesan yang dilakukan pada data mentah untuk mempersiapkannya terhadap teknik pengolahan data lain (Alasadi and Bhaya, 2017). *Preprocessing data* mengacu pada seperangkat teknik untuk meningkatkan kualitas data mentah, seperti penghapusan outlier dan imputasi nilai yang hilang. Tahap ini menjadi tahap persiapan penting untuk proses data *mining*. Lebih baru-baru ini, teknik persiapan data telah digunakan untuk melatih model pembelajaran mesin dan model AI dan untuk membuat kesimpulan terhadap pembelajaran tersebut (Fan et al., 2021).

Preprocessing data menempatkan data ke dalam format yang lebih mudah dan efektif diproses dalam data mining, machine learning dan kegiatan ilmu data lainnya. Pendekatan ini sering digunakan pada tahap awal dari *machine learning* dan pengembangan AI untuk memastikan hasil yang dapat diandalkan, tepat dan

akurat. Pada *Preprocessing data* terdapat dua kategori utama yang sering digunakan yaitu *cleaning data* dan normalisasi data (Joshi and Patel, 2021).

2.2.1. *Cleaning Data*

Cleaning Data merupakan langkah untuk mendeteksi dan memperbaiki atau menghapus data set, tabel, dan database yang rusak atau tidak akurat. Dalam konteks ini, pembersihan data merujuk pada pengidentifikasian data yang tidak lengkap, tidak benar, tidak tepat, dan tidak relevan. Data yang tidak valid akan diganti, dimodifikasi, atau dihapus (Widiari et al., 2020). Proses pembersihan data memiliki peran penting dalam pengembangan data *warehouse* untuk mencegah duplikasi data, ambiguitas data, dan konflik penamaan. Tujuan utamanya adalah memastikan kualitas data yang baik sebelum digunakan dalam analisis dan pengambilan keputusan. Dengan membersihkan data, kesalahan yang mungkin terjadi seperti kesalahan penulisan, nilai yang hilang, atau format yang salah dapat diatasi (Han et al., 2022).

2.2.2. *Min-Max Normalization*

Teknik mengukur nilai atribut dari data ke skala tertentu dikenal sebagai normalisasi dalam data mining. Dengan menggunakan normalisasi ini, skala karakteristik data dapat diimbangi ke skala yang lebih kecil, seperti 0 ke 1. Salah satu teknik normalisasi yang sering digunakan adalah normalisasi min-max, yang menghasilkan nilai perbandingan yang seimbang antara data sebelum dan setelah pemrosesan dengan melakukan transformasi linear pada karakteristik data asli (Nasution et al., 2019).

Berikut ini persamaan dari min-max normalization :

$$v_{new} = \frac{v - v_{min}}{v_{max} - v_{min}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

v_{new} = data setelah dinormalisasi

v = data yang akan dinormalisasi

v_{min} = nilai absolut minimal dari v

v_{max} = nilai absolut maximal dari v

2.3. Uji Multikolinearitas

Pengujian multikolinearitas bertujuan untuk mengetahui adanya korelasi antar variabel bebas. Dalam melakukan pengelompokan sebaiknya tidak terdapat korelasi antar variabel karena jika variabel-variabel memiliki kemiripan yang tinggi, pengamatan dalam data cenderung memiliki pola yang mirip atau serupa. Sehingga menghasilkan kluster yang sulit dibedakan atau memiliki batas yang kabur antara kluster. Pengelompokan yang tidak jelas membuat interpretasi dan penggunaan hasil klusterisasi menjadi lebih sulit. Salah satu metode umum yang digunakan untuk uji multikolinearitas adalah dengan menggunakan Variance Inflation Factor (VIF) (Sartika et al., 2022). Nilai VIF yang tinggi menunjukkan adanya multikolinearitas yang signifikan. Dalam notasi matematis, VIF untuk variabel dirumuskan sebagai berikut (Nasikah, 2021).

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (2.2)$$

Keterangan :

VIF_i = Variance Inflation Factor untuk variabel ke-i.

R_i^2 = Koefisien determinasi (R-squared) dari regresi variabel ke-i terhadap variabel independen lainnya.

Jika $VIF = 1$, artinya tidak ada multikolinearitas antara variabel bebas. Jika $1 < VIF < 5$, artinya tidak ada multikolinearitas yang signifikan. Nilai ini dianggap masih dapat diterima. Jika $VIF \geq 5$, artinya terdapat multikolinearitas yang signifikan. Nilai ini menandakan adanya korelasi yang kuat antara variabel bebas (Supriyadi et al., 2017).

2.4. Clustering

Clustering atau pengklasteran adalah identifikasi objek serupa yang dapat ditempatkan ke dalam kelompok tanpa pengetahuan lanjutan tentang kelompok itu sendiri (Harini et al., 2020). Tidak seperti klasifikasi, *clustering* adalah algoritma pembelajaran tanpa pengawasan. Sehingga *clustering* dianggap lebih sulit daripada klasifikasi karena tidak ada label yang melekat pada pola dalam *clustering* (Saxena et al., 2017). Metode *clustering* telah diterapkan diberbagai bidang seperti pemrosesan gambar, analisis dokumen, data *mining* dan seterusnya (Lim et al., 2021). Teknik *clustering* dapat dikategorikan dalam 2 kelompok sebagai berikut.

1. Hierarchical Clustering

Pengelompokan hierarki bekerja dengan mengelompokkan objek secara hierarkis, yang merupakan pohon klaster (Bu et al., 2020). Teknik pengelompokan hierarki dapat dikategorikan lebih lanjut menjadi pendekatan ke atas yaitu penggabungan (*agglomerative*) dan pendekatan ke bawah yaitu pemecahan (*divisive*). Kedua jenis teknik pengelompokan

hierarkis memiliki kelemahannya sendiri. Klaster tidak dapat diurungkan setelah digabungkan atau dipisah (Lim et al., 2021). Hasil pengelompokan hirarki *agglomeratif* dapat divisualisasikan menggunakan dendrogram untuk menunjukkan bagaimana pengelompokan terbentuk. Klaster yang dihasilkan kemudian ditentukan dengan mengiris dendrogram dengan garis horizontal (Hariani et al., 2022).

2. *Non-Hierarchical Clustering*

Metode pengelompokan ini diawali dengan menentukan jumlah klaster terlebih dahulu. Kemudian dilakukan proses pengklasteran. Terdapat beberapa macam metode *Clustering non-hierarchical*, salah satunya adalah *Partition-based Clustering* (Lim et al., 2021).

Teknik ini berbasis partisi dengan menggunakan metode iteratif, berdasarkan ukuran jarak yang dipilih untuk memperbarui klaster, hingga diperoleh partisi yang optimal (Wang et al., 2017). Dalam teknik ini, jumlah klaster yang dihasilkan ditentukan sebelumnya oleh pengguna. Ada dua teknik pengelompokan berbasis partisi yang sering digunakan dalam data mining, yaitu *K-Means* dan *K-Medoids*.

K-Means clustering adalah kasus dimana klaster dipresentasikan dengan *centroid* nya. *Centroid* yang dipilih tidak harus menjadi anggota klaster (Zhang and Peng, 2022). Sedangkan *K-Medoids* memiliki cara kerja yang sama dengan *K-Means* namun *centroid* yang dipilih harus merupakan anggota dari suatu klaster (Kamila et al., 2019).

2.5. *K-Medoids Clustering*

K-Medoids adalah salah satu macam metode *clustering Non-Hierarchical* yang termasuk dalam jenis mekanisme pengelompokan *Partition-based Clustering* (Lim et al., 2021). *K-medoids* juga dikenal dengan sebutan *Partitioning Around Medoid* (PAM) diusulkan pada tahun 1987 oleh Kaufman dan Rousseeuw. Metode ini merupakan versi improvisasi dari algoritma *K-Means* yang terutama dirancang untuk meminimalisir sensitivitas data *outlier*. Dibandingkan dengan algoritma partisi lainnya, algoritma ini sederhana, cepat, dan mudah diimplementasikan (Kamila et al., 2019).

Penggunaan metode *K-Medoids* tidak bergantung pada pengamatan nilai rata-rata setiap kluster seperti pada metode *K-Means*. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi sensitivitas partisi dengan nilai yang tinggi dalam dataset. (Nurkholik, 2022). *K-Medoids* didasarkan pada titik data yang disebut "*medoid*" yang bertindak sebagai pusat kluster. *Medoid* merupakan titik dalam kluster yang jumlah jaraknya ke semua objek dalam kluster adalah minimal. Jarak tersebut merupakan jarak *Euclidean* yaitu jarak yang dapat digunakan pada data yang rentang antara data dengan data yang lain tidak jauh (Pulungan et al., 2019).

Metode *K-medoids* ini memungkinkan untuk memecahkan masalah yang terdapat pada *K-Means*, terutama ketika berurusan dengan data yang berisi outliers yang mungkin berbeda dari distribusi data (Fira et al., 2021). Akibatnya, tidak ada banyak perbedaan antara algoritma yang digunakan dalam pendekatan ini dan algoritma yang digunakan di metode *K-Means*. Algoritma *K-Medoids* membagi kumpulan data n objek menjadi k kluster dengan memilih *medoid* dari data di mana jumlah k kluster diasumsikan diketahui secara *apriori* yaitu telah ditentukan sebelum masuk ke dalam proses algoritma.

Langkah-langkah pengelompokkan dalam metode *K-Medoids Clustering* sebagai berikut :

1. Menentukan jumlah k kluster
2. Menentukan pusat kluster (*medoid*) awal secara acak
3. Menghitung jarak *euclidean* objek data pada *medoid* awal

$$D(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{m=1}^n (x_{im} - x_{jm})^2} \quad (2.3)$$

dimana,

D = jarak *euclidean*

x_i = data ke- i

x_j = data ke- j

x_{im} = data ke- i atribut- m

x_{jm} = data ke- j atribut- m

4. Memilih objek data *non-medoid* pada masing-masing kluster sebagai kandidat *medoid* baru
5. Menghitung jarak *euclidean* setiap objek yang berada pada masing-masing kluster dengan kandidat *medoid* baru
6. Menghitung Total Simpangan (S), yaitu selisih dari total jarak terdekat objek pada *medoid* awal dan kandidat *medoid* baru

$$(S) = b - a \quad (2.4)$$

dimana,

b = jumlah jarak terdekat antara objek ke *medoid* akhir

a = jumlah jarak terdekat antara objek ke *medoid* awal

jika $S < 0$, maka kandidat *medoid* baru diterima sebagai pembaruan *medoid* dan dilakukan pengulangan dari langkah 4

jika $S \geq 0$, maka menolak kandidat *medoid* baru untuk pembaruan *medoid* dan hasil klusterisasi telah ditemukan.

Konsep mendapatkan nilai total simpangan paling kecil pada metode *k-medoid clustering* melibatkan pemilihan *medoid* yang dapat menghasilkan klusterisasi dengan simpangan yang minimal. Total simpangan yang dimaksud adalah jumlah dari jarak antara setiap titik data dengan *medoid* yang terkait dalam kluster yang sesuai. Dalam setiap iterasi, *medoid* diganti dengan titik data lain dan total simpangan dihitung ulang. Jika total simpangan baru lebih kecil, maka *medoid* diubah. Jika tidak, *medoid* dikembalikan ke *medoid* sebelumnya. Proses ini diulang untuk setiap *medoid* dalam kluster hingga konvergensi tercapai atau tidak ada perubahan lebih lanjut dalam total simpangan.

2.6. *Silhouette Coefficient*

Terdapat beberapa metode interpretasi dan validasi terhadap analisis hasil *clustering* seperti *Rand index*, *Adjusted Rand index*, *Distortion Score* dan *Silhouette Coefficient*. Sementara sebagian besar metode memerlukan *Training set*, *Silhouette Coefficient* tidak memerlukan *Training set* untuk mengevaluasi hasil pengelompokan (Shutaywi and Kachouie, 2021). *Silhouette Coefficient* memberikan representasi grafis yang ringkas tentang seberapa baik setiap objek telah diklasifikasikan. Metode ini diusulkan oleh ahli statistik Belgia Peter Rousseeuw pada tahun 1987. *Silhouette coefficient* pada suatu kelompok data

didapatkan dengan mencari suatu jarak antara objek dengan memakai persamaan Euclidean Distance. Terdapat langkah-langkah yang dilakukan dalam menghitung nilai *Silhouette Coefficient* yaitu sebagai berikut (Palacio-Niño and Berzal, 2019).

1. Menghitung nilai $a(x_i)$, rata-rata jarak objek ke- i pada objek cluster yang sama.

$$a(x_i) = \frac{1}{|C_a| - 1} \sum_{j \in C_a, i \neq j}^N d(x_i, x_j) \quad (2.5)$$

dimana,

x_i = data ke- i

C_a = jumlah anggota kluster a

$d(x_i, x_j)$ = fungsi jarak data ke- i pada kluster j

2. Menghitung nilai $b(x_i)$, rata-rata jarak objek ke- i dengan objek cluster yang berbeda.

$$b(x_i) = \min_{C_b \neq C_a} \frac{1}{|C_b|} \sum_{j \in C_b}^N d(x_i, x_j) \quad (2.6)$$

dimana,

x_i = data ke- i

C_b = jumlah anggota kluster b

$d(x_i, x_j)$ = fungsi jarak data ke- i pada kluster j

3. Menentukan nilai $S(x_i)$, *Silhouette Coefficient* dari nilai $a(x_i)$ dan $b(x_i)$ yang telah didapatkan

$$S(x_i) = \frac{b(x_i) - a(x_i)}{\max \{b(x_i), a(x_i)\}} \quad (2.7)$$

dimana,

$S(x_i)$ = nilai silhouette coefficient pada data ke- i

$a(x_i)$ = rata-rata jarak objek ke- i pada objek intra klaster

$b(x_i)$ = rata-rata jarak objek ke- i dengan objek antar klaster

Nilai *Silhouette* dapat bervariasi antara (-1) dan $(+1)$. Berdasarkan Persamaan (2.7) dapat terlihat jika semakin besar selisih antara $a(x_i)$ dan $b(x_i)$ maka jarak objek data intraklaster lebih kecil dari jarak objek data pada antar klaster. Sehingga semakin indeks mendekati nilai maksimum yaitu $(+1)$, maka semakin tinggi kemungkinan objek berada pada kelompok kebenarannya (Inayah et al., 2022). Penentuan kebaikan suatu klaster dapat dilihat melalui tabel Kaufman dan Rousseeuw sebagai berikut (Rousseeuw, 1987).

Tabel 2.1 Tabel Kaufman dan Rousseeuw

Nilai <i>Silhouette Coefficient</i>	Keterangan
$0,7 < silhouette\ coefficient \leq 1$	Struktur Terkuat (Terdapat ikatan yang baik antar objek dan kelompok yang terbentuk)
$0,5 < silhouette\ coefficient \leq 0,7$	Struktur Medium (Terdapat ikatan yang cukup baik antar objek dan kelompok yang terbentuk)
$0,25 < silhouette\ coefficient \leq 0,5$	Struktur Lemah (Terdapat ikatan yang lemah antar objek dan kelompok yang terbentuk)
$silhouette\ coefficient \leq 0,25$	Tidak terdapat ikatan antar objek dan kelompok yang terbentuk

2.7. Integrasi Keislaman

Kejadian gempa bumi turut dibahas dalam Al-Qur'an yang merupakan kitab suci umat Islam. di balik kejadian tersebut terdapat hikmah yang tersirat, sebagai bukti akan keagungan dan keesaan Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Bahkan, dalam Al-Qur'an terdapat ayat-ayat yang menerangkan bencana alam ini.

Sesungguhnya segala fenomena alam terjadi sesuai dengan hukum-hukum Allah yang ditetapkannya di alam ini (Utami et al.).

Gempa bumi dalam bahasa arab diibaratkan dengan Al-Zalزالah. Secara harfiah, kata Al-zalزالah berasal dari *zalزالa-zalزالatan-zilزالan* yang berarti menggemparkan atau mengguncangkan (Firdausiyah, 2019).

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا

Artinya : Apabila bumi diguncangkan dengan guncangannya, (QS. Al-Zalزالah : 1)

Dalam kitab tafsir Jalalayn disebutkan dengan arti (Apabila bumi diguncangkan) yaitu mengalami gempa di saat hari kiamat tiba (dengan guncangannya) yang amat dahsyat sesuai dengan bentuknya yang besar. Hal tersebut menjelaskan bahwa bumi memiliki kemampuan untuk berguncang, dan guncangan ini menggemparkan penduduk bumi. Dampaknya, gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan yang besar bagi kehidupan di permukaan bumi, sehingga jiwa manusia menjadi ketakutan dan terkejut karena guncangan yang kuat. Kejadian gempa bumi sudah terjadi sejak zaman Nabi. Beberapa kisah nabi yang mengalami gempa bumi tertuang dalam Al-Quran, seperti kisah Nabi Syuaib dan Kota Madyan. Gempa bumi dahsyat tersebut mengakibatkan penduduk Kota Madyan tertimbun di bawah reruntuhan rumah mereka, sehingga orang-orang yang datang kemudian mengira bahwa tempat itu sudah lama tidak berpenghuni.

Perintah Nabi untuk menjaga kelestarian alam menjadi dasar penting dalam upaya pelestarian alam, hadis yang dimaksud adalah sebagai berikut :

حَدَّثَنَا ابْنُ أَبِي عُمَرَ حَدَّثَنَا سُفْيَانُ عَنْ عَمْرِو بْنِ دِينَارٍ عَنْ أَبِي قَابُوسٍ عَنْ عَبْدِ اللَّهِ بْنِ

عَمْرٍ قَالَ قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ الرَّاحِمُونَ يَرْحَمُهُمُ الرَّحْمَنُ اِرْحَمُوا مَنْ فِي الْأَرْضِ يَرْحَمَكُم مَّن فِي السَّمَاءِ الرَّحِمُ شَجَنَةٌ مِنَ الرَّحْمَنِ فَمَنْ وَصَلَهَا وَصَلَهُ اللَّهُ وَمَنْ قَطَعَهَا قَطَعَهُ اللَّهُ قَالَ أَبُو عَيْسَى هَذَا حَدِيثٌ حَسَنٌ صَحِيحٌ

Artinya : Telah menceritakan kepada kami [Ibnu Abu Umar], telah menceritakan kepada kami [Sufyan] dari [Amr bin Dinar] dari [Abu Qabus] dari [Abdullah bin Amr] ia berkata; Rasulullah shallallahu 'alaihi wasallam bersabda: "Orang-orang yang mengasihi akan dikasihi oleh Ar Rahman, berkasih sayangnya kepada siapapun yang ada di bumi, niscaya Yang ada di langit akan mengasihi kalian. Lafazh Ar Rahim (rahim atau kasih sayang) itu diambil dari lafazh Ar Rahman, maka barang siapa yang menyambung tali silaturrahmi niscaya Allah akan menyambunginya (dengan rahmat-Nya) dan barang siapa yang memutus tali silaturrahmi maka Allah akan memutusnya (dari rahmat-Nya)." Berkata Abu 'Isa: Ini merupakan hadits hasan shahih. (H.R. Trimidzi/1847)

Hadis tersebut secara eksplisit mengajarkan kepada umat manusia untuk mencintai segala yang ada di bumi, termasuk manusia dan alam. Salah satu cara untuk mencintai alam adalah dengan merawatnya dengan sebaik-baiknya. Salah satu langkah dalam mengurangi dampak bencana gempa bumi adalah dengan memahami daerah-daerah yang memiliki potensi besar untuk terjadinya gempa bumi. Dengan pengetahuan ini, upaya penanganan terhadap gempa bumi dapat dilakukan dengan lebih tepat sasaran.

Dalam perspektif teologi Islam, menyelamatkan diri dari musibah atau bencana dianggap sebagai suatu kewajiban yang dikenal dalam beberapa prinsip. Salah satu prinsip tersebut terdapat dalam kaidah fikih yang berbunyi

الضَّرَرُ يُزَالُ

artinya, "*Kemudlaratan itu harus dihilangkan*". Dalam konteks teologi Islam, prinsip ini merupakan salah satu prinsip utama dalam hukum Islam. Prinsip ini mengacu pada kepentingan untuk menghindari dan menghilangkan segala bentuk kemudlaratan atau bahaya yang dapat menimpa individu atau masyarakat. Makna dari kaidah tersebut dapat diartikan bahwa segala upaya dan sarana yang dapat menyebabkan terjadinya bencana harus dicegah (Faizin et al., 2016).



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode jenis penelitian terapan dengan pendekatan secara kuantitatif, dimana data yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk numerik atau angka. Dari data tersebut akan dijadikan beberapa kelompok data dengan menggunakan metode pengelompokan yang kemudian akan didapatkan kelas atau label cluster pada masing-masing data.

3.2. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari website USGS (*United States Geological Survey*), USGS merupakan agensi ilmiah di Amerika Serikat yang salah satu fungsinya adalah memantau bencana gempa bumi di seluruh dunia. Data yang didapatkan berupa data gempa bumi pada negara Indonesia dengan periode 02 januari 2020 hingga 28 maret 2023 dan atribut yang digunakan adalah *latitude*, *longitude*, *magnitude*, *depth*, dan *dmin*. Data yang digunakan dalam penelitian ini berisi 582 peristiwa dengan *magnitude* $\geq 5SR$ dan *depth* 0-300 km.

3.3. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *latitude*, *longitude*, *magnitude*, *depth*, dan *dmin*. Pada Tabel 3.1 merupakan penjelasan dari variabel yang digunakan dalam penelitian yaitu sebagai berikut.

Tabel 3.1 Definisi Keterangan Variabel

Variabel	Definisi keterangan
<i>Latitude</i>	Koordinat lintang pusat kejadian gempa
<i>Longitude</i>	Koordinat bujur pusat kejadian gempa
<i>Magnitude</i>	Kekuatan gempa bumi dengan dalam skala <i>richter</i>
<i>Depth</i>	Kedalaman gempa dalam satuan kilometer
<i>Dmin</i>	Jarak minimum stasiun terhadap <i>episenter</i>

3.4. Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis *clustering* dengan metode *K-Medoids Clustering* dan menggunakan metode *Silhouette Coefficient* sebagai perhitungan evaluasi terhadap klaster yang dihasilkan.

Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Input data*

Penelitian ini menggunakan data yang didapatkan dari website USGS (*United States Geological Survey*), berupa data gempa bumi di Indonesia pada tahun 2020 hingga 2023 dengan variabel yang digunakan adalah *latitude*, *longitude*, *magnitude*, *depth*, dan *dmin*.

2. *Preposesing data*

Pada tahapan ini dilakukan untuk mempersiapkan data mentah menjadi data yang siap untuk dilakukan mining. Tahapan ini adalah pembersihan data (*cleaning data*) yang bertujuan untuk menghilangkan nilai-nilai yang keliru atau tidak terisi, duplikasi data, serta memperbaiki data yang tidak konsisten. Setelah pembersihan data dilakukan normalisasi data yang digunakan untuk

menyamakan skala atribut data menggunakan *Min-Max Normalization* dengan rumus pada persamaan (2.1).

3. Uji Multikolinearitas

Pada tahap ini, Pengujian multikolinearitas bertujuan untuk mengetahui adanya korelasi antar variabel bebas. Metode yang digunakan untuk uji multikolinearitas pada penelitian ini adalah Variance Inflation Factor (VIF) menggunakan rumus pada Persamaan (2.2)

4. Klasterisasi menggunakan Algoritma *K-Medoids*

Langkah-langkah pengelompokkan dalam metode *K-Medoids Clustering* sebagai berikut :

- (a) Menentukan jumlah k klaster
- (b) Menentukan pusat klaster (*medoid*) awal secara acak
- (c) Menghitung jarak *Euclidean* data terhadap *medoid* awal menggunakan persamaan (2.3)
- (d) Memilih objek data *non-medoid* pada masing-masing klaster sebagai kandidat *medoid* baru
- (e) Menghitung jarak *Euclidean* data terhadap kandidat *medoid* baru menggunakan persamaan (2.3)
- (f) Menghitung Total Simpangan (S) seperti pada persamaan (2.4)

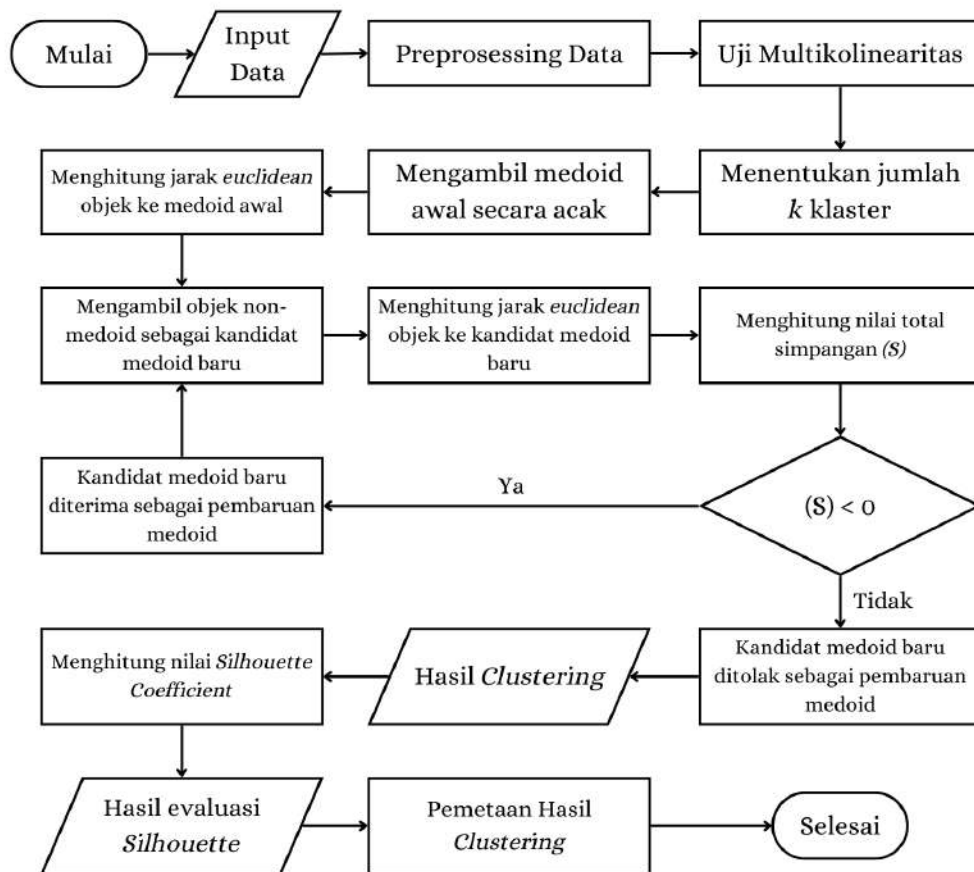
jika $S < 0$, maka kandidat *medoid* baru diterima sebagai pembaruan *medoid* dan dilakukan pengulangan dari langkah (d)

jika $S \geq 0$, maka menolak kandidat *medoid* baru untuk pembaruan *medoid* dan hasil klasterisasi telah ditemukan.

5. Pengujian kebaikan kluster

Pada tahap ini, pengujian klusterisasi dilakukan dengan menggunakan *Silhouette Coefficient* untuk mengukur kualitas dan kekuatan kluster. *Silhouette Coefficient* digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana suatu objek ditempatkan dengan baik dalam kluster dengan persamaan (2.4).

Tahapan-tahapan tersebut dapat disajikan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahap Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Preprocessing Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berisi 582 peristiwa dengan magnitude $\geq 5SR$ dan depth 0-300 km.

Tabel 4.1 Data kejadian gempa bumi di Indonesia

No	Tempat	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin
1	287 km ESE of Katabu	124,976	-5,7527	10	5,6	3,947
2	14 km S of Sinabang	96,3575	2,3481	17	6,3	1,599
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
579		101,8745	-3,7623	63,378	5	1,231
580	106 km E of Maumere	123,1609	-8,8035	109,503	5,1	0,928
581	113 km NW of Tual	131,9716	-4,9622	47,357	5,1	2,048
582	105 km NE of Luwuk	123,5482	-0,3835	74,625	5	1,015

Data kejadian gempa bumi pada Tabel 4.1 dijabarkan menggunakan deskriptif data seperti pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Deskriptif Data Kejadian Gempa Bumi di Indonesia

Variabel	Rata-rata	Minimum	Maksimum
Longitude	119,5292	93,1737	140,9429
Latitude	-2,1	-10,6	5,9278
Depth	51,7102	4	300
Magnitude	5,31	5	7,6
Dmin	2,2238	0,104	10,739

Tabel 4.2 menjelaskan tentang deskriptif data dengan masing-masing variabel yang digunakan dalam penelitian ini. Dalam variabel longitude memiliki nilai rata-rata 119,5292, minimum 93,1737, maksimum 140,9429. Variabel latitude memiliki nilai rata-rata -2,1, minimum -10,6, maksimum 5,9278. Sedangkan variabel depth memiliki nilai rata-rata 51,7102, minimum 4 dengan kejadian yang berlokasi di 65 km utara barat laut dari Kota Bukittinggi Indonesia, dan nilai maksimum 300 pada kejadian gempa bumi di laut Sulawesi 167 km selatan barat daya dari Pulau Sarangani Filipina. Variabel magnitude memiliki nilai rata-rata 5,31, minimum 5 dengan jumlah 161 kejadian gempa bumi, dan nilai maksimum 7,6 pada kejadian gempa bumi di Pulau Tanimbar Indonesia. Dan untuk variabel dmin memiliki nilai rata-rata 2,2238, minimum 0,104 yang berlokasi pada 9 km timur tenggara dari Jayapura Indonesia, dan nilai maksimum 10,739 dengan kejadian gempa bumi yang berlokasi di Papua Indonesia.

4.1.1. *Cleaning Data*

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdapat *misssing value* sebanyak 13 data gempa bumi pada atribut keterangan tempat sehingga dilakukan pembersihan data dengan menghapus data *missing value* tersebut. Data gempa bumi yang sebelumnya terdapat 582 data diproses menjadi 569 data gempa bumi.

Tabel 4.3 Data setelah dilakukan *cleaning data*

No	Tempat	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Depth</i>	<i>Magnitude</i>	<i>Dmin</i>
1	287 km ESE of Katabu	124,976	-5,7527	10	5,6	3,947
2	14 km S of Sinabang	96,3575	2,3481	17	6,3	1,599
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
566	96 km ESE of Pondaguitan	126,9379	5,9278	74,68	5	1,764
567	106 km E of Maumere	123.1609	-8.8035	109.503	5.1	0.928
568	113 km NW of Tual	131.9716	-4.9622	47.357	5.1	2.048
569	105 km NE of Luwuk	123.5482	-0.3835	74.625	5	1.015

4.1.2. *Min-Max Normalization*

Pada penelitian ini dilakukan normalisasi data terhadap variabel *depth*, *magnitude*, dan *dmin*. Tujuan dilakukannya normalisasi data adalah agar didapatkan nilai perbandingan yang seimbang dengan indikator. Skala yang

digunakan dalam tahap normalisasi data pada penelitian ini adalah 0 ke 1 sehingga normalisasi dilakukan menggunakan rumus pada Persamaan (2.1).

Tabel 4.4 Data setelah dilakukan normalisasi

<i>No</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Depth</i>	<i>Magnitude</i>	<i>Dmin</i>
1	124,97600	-5,75270	0,02027	0,23076	0,36135
2	96,35750	2,34810	0,04391	0,50000	0,18279
3	124,08570	-10,3733	0,02027	0,269230	0,03225
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	123,16090	-8,80350	0,35642	0,03846	0,07748
568	131,97160	-4,96220	0,14647	0,03846	0,18279
569	123,54820	-0,38350	0,23859	0	0,08566

4.2. Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas bertujuan untuk mengetahui adanya korelasi antar variabel. Dalam penelitian ini, digunakan uji multikolinearitas menggunakan nilai VIF dengan perumusan pada Persamaan (2.2). Apabila nilai VIF yang dihasilkan dalam perhitungan tersebut lebih kecil dari 5, maka tidak terjadi multikolinearitas antar variabel. Berikut merupakan nilai VIF hasil perhitungan antar variabel.

Tabel 4.5 Nilai VIF antar variabel

Variabel	VIF	Variabel	VIF
X_1, X_2	1,007959566	X_2, X_4	1,000000253
X_1, X_3	1,000612877	X_2, X_5	1,104407189
X_1, X_4	1,000260515	X_3, X_4	1,000980037
X_1, X_5	1,001375224	X_3, X_5	1,006552365
X_2, X_3	1,022293065	X_4, X_5	1,000252191

Pada Tabel 4.5, diketahui bahwa nilai VIF antar variabel < 5 sehingga dapat diartikan bahwa tidak terjadi multikolinearitas antar variabel yang digunakan dalam penelitian.

4.3. *K-Medoids Clustering*

Data kejadian gempa bumi di Indonesia dengan variabel *latitude*, *longitude*, *magnitude*, *depth*, dan *dmin* menggunakan *K-Medoids Clustering* dicobakan dalam beberapa kelompok yaitu dengan jumlah kluster sebanyak 2-6 kluster.

4.3.1. *K-Medoids Clustering* untuk $k = 2$

Data pada Tabel 4.4 akan dilakukan perhitungan dengan inisiasi jumlah k kluster sebanyak 2 kluster. Setelah dilakukan penentuan jumlah kluster, tentukan pusat kluster (*medoid*) awal secara acak seperti pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 *Medoid* awal $k = 2$

No	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Depth</i>	<i>Magnitude</i>	<i>Dmin</i>
51	126,82760	0,29050	0,11652	0	0,05792
560	101,80710	-3,85120	0,18147	0	0,10794

Setelah mengambil *medoid* awal secara acak yaitu didapatkan m_1 adalah data ke-51 dan m_2 adalah data ke-560, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak objek terhadap *medoid* awal menggunakan rumus pada Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak antara x_1 yaitu data ke-1 dengan m_1 dan m_2 .

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_1) &= \sqrt{(126,82760 - 124,97600)^2 + (0,29050 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,11652 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,23076)^2 + (0,05792 - 0,36135)^2} \\
 &= 6,33271
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_2) &= \sqrt{(101,80710 - 124,97600)^2 + (-3,85120 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,18147 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,23076)^2 + (0,10794 - 0,36135)^2} \\
 &= 23,24988
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak objek terhadap *medoid* awal yang tertera pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Jarak objek terhadap *medoid* awal k = 2

<i>No</i>	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	Jarak Terdekat	Klaster
1	6,33271	23,24988	6,33271	1
2	30,54378	8,27039	8,27039	2
3	11,01440	23,21589	11,01440	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	9,80841	21,92129	9,80841	1
568	7,35320	30,18509	7,35320	1
569	3,35028	22,01599	3,35028	1
Total Jarak terdekat			3295,22942	

Setelah didapatkan jarak objek pada *medoid* awal, selanjutnya adalah memilih secara acak objek pada setiap kluster sebagai kandidat *medoid* baru. Didapatkan kandidat *medoid* baru seperti pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Kandidat *medoid* baru k = 2

No	Longitude	Latitude	Depth	Magnitute	Dmin
5	132,09800	-6,58920	0,02027	0,03846	0,14019
55	99,59950	1,22990	0,04432	0	0,14094

Setelah mengambil kandidat *medoid* baru secara acak yaitu didapatkan m_1 adalah data ke-5 dan m_2 adalah data ke-55, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak objek terhadap *medoid* baru menggunakan rumus pada Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak *euclidean* antara x_1 yaitu data ke-1 dengan m_1 dan m_2 .

$$D(x_1, m_1) = \sqrt{(132,09800 - 124,97600)^2 + (-6,58920 - (-5,75270))^2 + (0,02027 - 0,02027)^2 + (0,038461 - 0,23076)^2 + (0,14019 - 0,36135)^2}$$

$$= 7,17694$$

$$D(x_1, m_2) = \sqrt{(99,59950 - 124,97600)^2 + (1,22990 - (-5,75270))^2 + (0,04432 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,23076)^2 + (0,14094 - 0,36135)^2}$$

$$= 26,32158$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak objek terhadap *medoid* baru yang tertera pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Jarak objek terhadap kandidat *medoid* baru $k = 2$

<i>No</i>	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	Jarak Terdekat	Klaster
1	7,17694	26,32158	7,17694	1
2	36,84389	3,46567	3,46567	2
3	8,86460	27,09784	8,86460	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	9,21367	25,61077	9,21367	1
568	1,63732	32,95919	1,63732	1
569	10,56702	24,00383	10,56702	1
Total Jarak terdekat			4751,79824	

Selanjutnya dilakukan perhitungan total simpangan yaitu dengan menghitung selisih dari total jarak terdekat pada medoid awal dan total jarak terdekat pada kandidat medoid baru seperti pada Persamaan (2.4)

$$(S) = b - a$$

$$= 4751,79824 - 3295,22942$$

$$= 1456,56881$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui bahwa nilai simpangan total (S) lebih dari 0 yang artinya hasil klaster telah ditemukan dan algoritma dihentikan. Berikut merupakan hasil klaster yang didapatkan dengan $k = 2$.

Tabel 4.10 Hasil Klaster dengan $k = 2$

Klaster	Rata-rata Longitude	Rata-rata Latitude	Rata-rata Depth	Rata-rata Magnitude	Rata-rata Dmin	Total Kejadian
1	127,5369	-1,5053	57,1528	5,3143	2,4044	390
2	102,0822	-3,3957	39,8519	5,2977	1,8303	179

Berdasarkan Tabel 4.10, diketahui bahwa pada klaster 1 terdapat 390 kejadian gempa bumi dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 57,1528 km, 5,3143 SR dan 2,4044 km. Sedangkan pada klaster 2 terdapat 179 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 39,8519 km, 5,2977 SR dan 1,8303 km.

4.3.2. K-Medoids Clustering untuk $k = 3$

Data pada Tabel 4.4 akan dilakukan perhitungan dengan inisiasi jumlah k klaster sebanyak 3 klaster. Setelah dilakukan penentuan jumlah klaster, tentukan *medoid* awal secara acak seperti pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 *Medoid* awal $k = 3$

No	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin
1	124,97600	-5,75270	0,02027	0,23076	0,36135
73	110,94980	-8,92110	0,27905	0,07692	0,09243
188	127,26020	2,33910	0,25925	0,03846	0,13690

Setelah mengambil *medoid* awal secara acak yaitu didapatkan m_1 adalah data ke-1, m_2 adalah data ke-73 dan m_3 adalah data ke-188, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap *medoid* awal menggunakan rumus pada

Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak antara x_1 yaitu data ke-1 dengan m_1 , m_2 dan m_3 .

$$\begin{aligned} D(x_1, m_1) &= \sqrt{(124,97600 - 124,97600)^2 + (-5,75270 - (-5,75270))^2 +} \\ &\quad \sqrt{(0,02027 - 0,02027)^2 + (0,23076 - 0,23076)^2 + (0,36135 - 0,36135)^2} \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D(x_1, m_2) &= \sqrt{(110,94980 - 124,97600)^2 + (-8,92110 - (-5,75270))^2 +} \\ &\quad \sqrt{(0,27905 - 0,02027)^2 + (0,27905 - 0,23076)^2 + (0,09243 - 0,36135)^2} \\ &= 14,38527 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D(x_1, m_3) &= \sqrt{(127,26020 - 124,0857)^2 + (2,33910 - (-10,37330))^2 +} \\ &\quad \sqrt{(0,25925 - 0,02027)^2 + (0,03846 - 0,26923)^2 + (0,13690 - 0,03225)^2} \\ &= 8,41660 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak objek terhadap *medoid* awal yang tertera pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Jarak objek terhadap *medoid* awal $k = 3$

No	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	$D(x_1, m_3)$	jarak terdekat	Klaster
1	0	14,38527	8,41660	0	1
2	29,74497	18,44360	30,90689	18,44360	2
3	4,71724	13,21999	13,10739	4,71724	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	3,58225	12,21198	11,87327	3,58225	1
568	7,04614	21,39196	8,69028	7,04614	1
569	5,57170	15,21899	4,60391	4,60391	3
Total Jarak terdekat				3727,06382	

Setelah didapatkan jarak objek pada *medoid* awal, selanjutnya adalah memilih secara acak objek pada setiap klaster sebagai kandidat *medoid* baru. Didapatkan kandidat *medoid* baru seperti pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Kandidat *medoid* baru $k = 3$

No	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin
178	129,88340	-6,40610	0,52540	0,07692	0,18796
560	101,80710	-3,85120	0,18147	0,00000	0,10794
458	126,57260	2,07880	0,11055	0,07692	0,13333

Setelah mengambil kandidat *medoid* baru secara acak yaitu didapatkan m_1 adalah data ke-178, m_2 adalah data ke-560 dan m_3 adalah data ke-458, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap *medoid* baru menggunakan rumus pada Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak antara x_1 yaitu data ke-1 dengan m_1 , m_2 dan m_3 .

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_1) &= \sqrt{(129,88340 - 124,97600)^2 + (-6,40610 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,52540 - 0,02027)^2 + (0,07692 - 0,23076)^2 + (0,18796 - 0,36135)^2} \\
 &= 4,98180
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_2) &= \sqrt{(101,80710 - 124,97600)^2 + (-3,85120 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,18147 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,23076)^2 + (0,10794 - 0,36135)^2} \\
 &= 23,24988
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_3) &= \sqrt{(126,57260 - 124,0857)^2 + (2,07880 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,11055 - 0,02027)^2 + (0,07692 - 0,26923)^2 + (0,13333 - 0,03225)^2} \\
 &= 7,99783
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap kandidat *medoid* baru yang tertera pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Jarak objek terhadap kandidat *medoid* baru k = 3

No	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	$D(x_1, m_3)$	Jarak Terdekat	Klaster
1	4,9818	23,24988	7,99783	4,98180	1
2	34,6559	8,27039	30,21933	8,27039	2
3	7,04758	23,21589	12,70018	7,04758	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	7,14015	21,92129	11,40741	7,14015	1
568	2,56720	30,18509	8,87299	2,56720	1
569	8,74672	22,01599	3,90313	3,90313	3
Total Jarak terdekat				2549,57442	

Selanjutnya dilakukan perhitungan total simpangan yaitu dengan menghitung selisih dari total jarak terdekat pada medoid awal dan total jarak terdekat pada kandidat medoid baru seperti pada Persamaan (2.4)

$$\begin{aligned}(S) &= b - a \\ &= 2549,57442 - 3727,06382 \\ &= -1177,4894\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui bahwa nilai simpangan total (S) kurang dari 0 yang artinya medoid baru telah ditemukan dan algoritma dilanjutkan dengan mencari kandidat medoid baru yang selanjutnya. Langkah berikutnya dilakukan pencarian terhadap kandidat medoid baru selanjutnya. Sehingga didapatkan medoid baru selanjutnya seperti pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Kandidat *medoid* baru selanjutnya $k = 3$

No	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin
369	120,6142	-8,1038	0,02027	0,07692	0,14922
454	101,4217	-3,1900	0,10135	0,15384	0,17094
445	131,3864	-5,4006	0,28327	0	0,23159

Setelah mengambil kandidat *medoid* baru selanjutnya didapatkan m_1 adalah data ke-369, m_2 adalah data ke-454 dan m_3 adalah data ke-445, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap *medoid* baru menggunakan rumus pada Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak antara x_1 yaitu data ke-1 dengan m_1 , m_2 dan m_3 .

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_1) &= \sqrt{(120,6142 - 124,97600)^2 + (-8,1038 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,02027 - 0,02027)^2 + (0,07692 - 0,23076)^2 + (0,14922 - 0,36135)^2} \\
 &= 4,96201
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_2) &= \sqrt{(101,4217 - 124,97600)^2 + (-3,1900 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,10135 - 0,02027)^2 + (0,15384 - 0,23076)^2 + (0,10794 - 0,36135)^2} \\
 &= 23,69432
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_3) &= \sqrt{(131,3864 - 124,0857)^2 + (-5,4006 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,28327 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,26923)^2 + (0,23159 - 0,03225)^2} \\
 &= 6,43089
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap kandidat *medoid* baru selanjutnya yang tertera pada Tabel 4.16

Tabel 4.16 Jarak objek terhadap kandidat *medoid* baru selanjutnya k = 3

No	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	$D(x_1, m_3)$	Jarak Terdekat	Klaster
1	4,96201	23,69432	6,43089	4,96201	1
2	26,41608	7,51270	35,88010	7,51270	2
3	4,15362	23,77595	8,84360	4,15362	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	2,66362	22,45420	8,90332	2,66362	1
568	11,78468	30,60151	0,74647	0,74647	3
569	8,26250	22,30489	9,30762	8,26250	1
Total Jarak terdekat				2549,57442	

Selanjutnya dilakukan perhitungan total simpangan yaitu dengan menghitung selisih dari total jarak terdekat pada medoid baru dan total jarak terdekat pada kandidat medoid baru selanjutnya seperti pada Persamaan (2.4)

$$\begin{aligned}(S) &= b - a \\ &= 3535,57736 - 2549,57442 \\ &= 986,00294\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui bahwa nilai simpangan total (S) lebih dari 0 yang artinya hasil kluster telah ditemukan dan algoritma dihentikan. Berikut merupakan hasil kluster yang didapatkan dengan $k = 3$.

Tabel 4.17 Hasil Kluster dengan $k = 3$

Kluster	Rata-rata Longitude	Rata-rata Latitude	Rata-rata Depth	Rata-rata Magnitude	Rata-rata Dmin	Total Kejadian
1	129,61075	-5,9090	55,1314	5,3143	2,9736	174
2	102,0822	-3,3957	39,8519	5,2977	1,8304	179
3	125,8663	2,0421	58,7812	5,3143	1,9458	216

Berdasarkan Tabel 4.17, diketahui bahwa pada kluster 1 terdapat 174 kejadian gempa bumi dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitude dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 55,1314 km, 5,3143 SR dan 2,9736 km. Sedangkan pada kluster 2 terdapat 179 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitude dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 39,8519 km, 5,2977 SR dan 1,8304 km. Serta pada kluster 3 terdapat 216 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitude dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 58,7812 km, 5,3143 SR dan 1,9458 km.

4.3.3. K-Medoids Clustering untuk $k = 4$

Data pada Tabel 4.4 akan dilakukan perhitungan dengan inisiasi jumlah k kluster sebanyak 3 kluster. Setelah dilakukan penentuan jumlah kluster, tentukan pusat kluster (*medoid*) awal secara acak seperti pada Tabel 4.18

Tabel 4.18 *Medoid* awal $k = 4$

No	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin
369	120,6142	-8,1038	0,02027	0,07692	0,14922
454	101,4217	-3,1900	0,10135	0,15384	0,17094
445	131,3864	-5,4006	0,28327	0,00000	0,23159
109	126,8005	2,3965	0,09425	0,07692	0,15101

Setelah mengambil *medoid* awal secara acak yaitu didapatkan m_1 adalah data ke-369, m_2 adalah data ke-454, m_3 adalah data ke-445 dan m_4 adalah data ke-109, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap *medoid* awal menggunakan rumus pada Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak antara x_1 yaitu data ke-1 dengan m_1, m_2, m_3 dan m_4 .

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_1) &= \sqrt{(120,61420 - 124,97600)^2 + (-8,1038 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,02027 - 0,02027)^2 + (0,07692 - 0,23076)^2 + (0,14922 - 0,36135)^2} \\
 &= 4,96201
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_2) &= \sqrt{(101,42170 - 124,97600)^2 + (-3,19000 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,10135 - 0,02027)^2 + (0,15384 - 0,23076)^2 + (0,17094 - 0,36135)^2} \\
 &= 23,69432
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_3) &= \sqrt{(126,80050 - 124,0857)^2 + (-5,40060 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,28327 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,26923)^2 + (0,23159 - 0,03225)^2} \\
 &= 6,43089
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_4) &= \sqrt{(126,57260 - 124,0857)^2 + (2,39650 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,09425 - 0,02027)^2 + (0,07692 - 0,26923)^2 + (0,15101 - 0,03225)^2} \\
 &= 8,35533
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap *medoid* awal yang tertera pada Tabel 4.19

Tabel 4.19 Jarak objek terhadap *medoid* awal $k = 4$

No	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	$D(x_1, m_3)$	$D(x_1, m_4)$	Jarak Terdekat	Klaster
1	4,96201	23,69432	6,43089	8,35533	4,96201	1
2	26,41608	7,51270	35,88010	30,44602	7,51270	2
3	4,15362	23,77595	8,84360	13,05735	4,15362	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	2,66362	22,45420	8,90332	11,77974	2,66362	1
568	11,78468	30,60151	0,74647	8,99421	0,74647	3
569	8,26250	22,30489	9,30762	4,28215	4,28215	4
Total Jarak terdekat					2127,78877	

Setelah didapatkan jarak objek pada *medoid* awal, selanjutnya adalah memilih secara acak objek pada setiap klaster sebagai kandidat *medoid* baru. Didapatkan kandidat *medoid* baru seperti pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 kandidat *edoid* baru k = 4

No	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin
3	124,0857	-10,3733	0,02027	0,26923	0,03225
75	106,3418	-6,3146	0,31368	0,03846	0,11819
170	133,5283	-1,9282	0,02027	0,03846	0,14188
569	123,5482	-0,3835	0,23859	0,00000	0,08566

Setelah mengambil kandidat *medoid* baru secara acak yaitu didapatkan m_1 adalah data ke-3, m_2 adalah data ke-75, m_3 adalah data ke-170 dan m_4 adalah data ke-569, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap kandidat *medoid* baru menggunakan rumus pada Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak antara x_1 yaitu data ke-1 dengan m_1, m_2, m_3 dan m_4 .

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_1) &= \sqrt{(124,08570 - 124,97600)^2 + (-10,37330 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,02027 - 0,02027)^2 + (0,26923 - 0,23076)^2 + (0,03225 - 0,36135)^2} \\
 &= 4,71724
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_2) &= \sqrt{(106,34180 - 124,97600)^2 + (-6,31460 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,31368 - 0,02027)^2 + (0,03846 - 0,23076)^2 + (0,11819 - 0,36135)^2} \\
 &= 18,64755
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_3) &= \sqrt{(133,52830 - 124,0857)^2 + (-1,92820 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,02027 - 0,02027)^2 + (0,03846 - 0,26923)^2 + (0,14188 - 0,03225)^2} \\
 &= 9,37303
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_4) &= \sqrt{(123,54820 - 124,0857)^2 + (-0,38350 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,23859 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,26923)^2 + (0,08566 - 0,03225)^2} \\
 &= 5,57170
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap kandidat *medoid* baru yang tertera pada Tabel 4.21

Tabel 4.21 Jarak objek terhadap kandidat *medoid* baru k = 4

No	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	$D(x_1, m_3)$	$D(x_1, m_4)$	Jarak Terdekat	Klaster
1	4,71724	18,64755	9,37303	5,57170	4,71724	1
2	30,50823	13,22932	37,41882	27,33288	13,22932	2
3	0	18,20620	12,67074	10,01039	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	1,86757	17,00235	12,44467	8,42981	1,86757	1
568	9,56866	25,66608	3,41263	9,58840	3,41263	3
569	10,01039	18,20017	10,10152	0	0	4
Total Jarak terdekat					2935,87755	

Selanjutnya dilakukan perhitungan total simpangan yaitu dengan menghitung selisih dari total jarak terdekat pada *medoid* awal dan total jarak terdekat pada kandidat *medoid* baru seperti pada Persamaan (2.4)

$$\begin{aligned}
 (S) &= b - a \\
 &= 2935,87755 - 2127,78877 \\
 &= 808,08877
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui bahwa nilai simpangan total (S) lebih dari 0 yang artinya hasil klaster telah ditemukan dan algoritma dihentikan. Berikut merupakan hasil klaster yang didapatkan dengan $k = 4$.

Tabel 4.22 Hasil Klaster dengan $k = 4$

	Rata-rata	Rata-rata	Rata-rata	Rata-rata	Rata-rata	Total
Klaster	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin	Kejadian
1	119,2025	-7,8767	42,5451	5,2947	1,9661	76
2	101,0856	-2,8346	37,2659	5,3049	1,8729	163
3	132,8548	-4,7202	59,6176	5,3273	3,3086	128
4	126,0908	2,3264	61,8033	5,3064	1,9164	202

Berdasarkan Tabel 4.22, diketahui bahwa pada klaster 1 terdapat 76 kejadian gempa bumi dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 42,5451 km, 5,2947 SR dan 1,9661 km. Klaster 2 terdapat 163 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 37,2659 km, 5,3049 SR dan 1,8729 km. Serta pada klaster 3 terdapat 128 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 59,6176 km, 5,3273 SR dan 3,3086 km. Sedangkan pada klaster 4 terdapat 76 kejadian gempa bumi dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 61,8033 km, 5,3064 SR dan 1,9164 km.

4.3.4. K-Medoids Clustering untuk $k = 5$

Data pada Tabel 4.4 akan dilakukan perhitungan dengan inisiasi jumlah k klaster sebanyak 3 klaster. Setelah dilakukan penentuan jumlah klaster, tentukan

pusat kluster (*medoid*) awal secara acak seperti pada Tabel 4.23

Tabel 4.23 *Medoid* awal k = 5

No	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin
199	129,6807	-6,6522	0,50554	0,03846	0,18570
10	101,0474	-2,9219	0,19777	0,00000	0,21401
281	119,2526	-9,1652	0,26358	0,00000	0,27193
509	139,1064	-2,7657	0,17207	0,00000	0,63441
458	126,5726	2,0788	0,11055	0,07692	0,13333

Setelah mengambil *medoid* awal secara acak yaitu didapatkan m_1 adalah data ke-199, m_2 adalah data ke-10, m_3 adalah data ke-281, m_4 adalah data ke-509 dan m_5 adalah data ke-458, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap kandidat *medoid* awal menggunakan rumus pada Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak antara x_1 yaitu data ke-1 dengan m_1 , m_2 , m_3 , m_4 dan m_5 .

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_1) &= \sqrt{(129,6807 - 124,97600)^2 + (-6,6522 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,50554 - 0,02027)^2 + (0,03846 - 0,23076)^2 + (0,18570 - 0,36135)^2} \\
 &= 4,82147
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_2) &= \sqrt{(101,0474 - 124,97600)^2 + (-2,9219 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,10135 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,23076)^2 + (0,21401 - 0,36135)^2} \\
 &= 24,09767
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_3) &= \sqrt{(119,2526 - 124,0857)^2 + (-9,1652 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,26358 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,26923)^2 + (0,27193 - 0,03225)^2} \\
 &= 6,67254
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_4) &= \sqrt{(139,1064 - 124,0857)^2 + (-2,7657 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,17207 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,26923)^2 + (0,63441 - 0,03225)^2} \\
 &= 14,44787
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_5) &= \sqrt{(126,5726 - 124,0857)^2 + (2,0788 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,11055 - 0,02027)^2 + (0,07692 - 0,26923)^2 + (0,13333 - 0,03225)^2} \\
 &= 7,99783
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap *medoid* awal yang tertera pada Tabel 4.24

Tabel 4.24 Jarak objek terhadap *medoid* awal k = 5

No	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	$D(x_1, m_3)$	$D(x_1, m_4)$	$D(x_1, m_5)$	Jarak Terdekat	Klaster
1	4,82147	24,09767	6,67254	14,44787	7,99783	4,82147	1
2	34,52345	7,07439	25,63312	43,05960	30,21933	7,07439	2
3	6,74261	24,21618	5,00074	16,85096	12,70018	5,00074	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	6,86802	22,88329	3,93110	17,06047	11,40741	3,93110	1
568	2,86936	30,99151	13,39631	7,47904	8,87299	2,86936	1
569	8,77421	22,64393	9,77781	15,74922	3,90313	3,90313	5
Total Jarak terdekat						1821,71980	

Setelah didapatkan jarak objek pada *medoid* awal, selanjutnya adalah memilih secara acak objek pada setiap kluster sebagai kandidat *medoid* baru. Didapatkan kandidat *medoid* baru seperti pada Tabel 4.25

Tabel 4.25 Kandidat *medoid* baru k = 5

No	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin
58	129,7852	-6,7761	0,31081	0,69230	0,17085
235	96,6442	0,1364	0,02364	0,65384	0,13004
210	112,469	-8,3613	0,36878	0,03846	0,14706
43	139,1131	-2,9507	0,11486	0,26923	0,63479
564	126,9296	4,7176	0,11380	0,15384	0,24362

Setelah mengambil kandidat *medoid* baru secara acak yaitu didapatkan m_1 adalah data ke-58, m_2 adalah data ke-235, m_3 adalah data ke-564, m_4 adalah data ke-43 dan m_5 adalah data ke-458, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap *medoid* baru menggunakan rumus pada Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak antara x_1 yaitu data ke-1 dengan m_1 , m_2 , m_3 , m_4 dan m_5 .

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_1) &= \sqrt{(129,7852 - 124,97600)^2 + (-6,7761 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,31081 - 0,02027)^2 + (0,69230 - 0,23076)^2 + (0,17085 - 0,36135)^2} \\
 &= 4,95070
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_2) &= \sqrt{(96,6442 - 124,97600)^2 + (0,1364 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,02364 - 0,02027)^2 + (0,65384 - 0,23076)^2 + (0,13004 - 0,36135)^2} \\
 &= 28,94140
 \end{aligned}$$

$$D(x_1, m_3) = \sqrt{(112,469 - 124,0857)^2 + (-8,3613 - (-10,37330))^2 + \sqrt{(0,36878 - 0,02027)^2 + (0,03846 - 0,26923)^2 + (0,14706 - 0,03225)^2}} \\ = 12,78413$$

$$D(x_1, m_4) = \sqrt{(139,1131 - 124,0857)^2 + (-2,9507 - (-10,37330))^2 + \sqrt{(0,11486 - 0,02027)^2 + (0,26923 - 0,26923)^2 + (0,63479 - 0,03225)^2}} \\ = 14,41506$$

$$D(x_1, m_5) = \sqrt{(126,9296 - 124,0857)^2 + (4,7176 - (-10,37330))^2 + \sqrt{(0,11380 - 0,02027)^2 + (0,15384 - 0,26923)^2 + (0,24362 - 0,03225)^2}} \\ = 10,65233$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak objek terhadap kandidat *medoid* baru yang tertera pada Tabel 4.26

Tabel 4.26 Jarak objek terhadap kandidat *medoid* baru k = 5

No	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	$D(x_1, m_3)$	$D(x_1, m_4)$	$D(x_1, m_5)$	Jarak Terdekat	Klaster
1	4,95070	28,94140	12,78413	14,41506	10,65233	4,95070	1
2	34,65214	2,23562	19,35433	43,08620	30,66599	2,23562	2
3	6,76067	29,38787	11,79761	16,77169	15,35870	6,76067	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	6,95916	27,99195	10,70127	17,00441	14,04005	6,95916	1
568	2,91980	35,69898	19,79787	7,43678	10,91505	2,91980	1
569	8,95864	26,91786	3,65343	15,78752	6,12529	6,12529	5
Total Jarak terdekat						2213,89101	

Selanjutnya dilakukan perhitungan total simpangan yaitu dengan menghitung selisih dari total jarak terdekat pada medoid awal dan total jarak terdekat pada kandidat medoid baru seperti pada Persamaan (2.4)

$$\begin{aligned}(S) &= b - a \\ &= 2213,89101 - 1821,71980 \\ &= 392,17121\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui bahwa nilai simpangan total (S) lebih dari 0 yang artinya hasil kluster telah ditemukan dan algoritma dihentikan. Berikut merupakan hasil kluster yang didapatkan dengan $k = 5$.

Tabel 4.27 Hasil Kluster dengan $k = 5$

Kluster	Rata-rata Longitude	Rata-rata Latitude	Rata-rata Depth	Rata-rata Magnitude	Rata-rata Dmin	Total Kejadian
1	129,6772	-5,9780	71,6943	5,3597	2,4431	87
2	101,0332	-2,7955	37,2067	5,3068	1,8748	162
3	118,4327	-8,3778	46,8441	5,2791	1,8573	67
4	138,3565	-2,5361	32,2746	5,28	5,0754	45
5	125,9700	2,1801	60,419	5,3057	1,905	208

Berdasarkan Tabel 4.27, diketahui bahwa pada kluster 1 terdapat 87 kejadian gempa bumi dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 71,6943 km, 5,3597 SR dan 2,4431 km. Kluster 2 terdapat 162 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 37,2067 km, 5,3068 SR dan 1,8748 km. Kluster 3 terdapat 67 total kejadian dengan rata-rata kedalaman

gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 46,8441 km, 5,2791 SR dan 1,8573 km. Sedangkan pada klaster 4 terdapat 45 kejadian gempa bumi dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 32,2746 km, 5,28 SR dan 5,0754 km. Serta pada klaster 5 terdapat 128 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 60,419 km, 5,3057 SR dan 1,905 km.

4.3.5. K-Medoids Clustering untuk $k = 6$

Data pada Tabel 4.4 akan dilakukan perhitungan dengan inisiasi jumlah k klaster sebanyak 3 klaster. Setelah dilakukan penentuan jumlah klaster, tentukan pusat klaster (*medoid*) awal secara acak seperti pada Tabel 4.28

Tabel 4.28 Medoid awal $k = 6$

No	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin
199	129,6807	-6,6522	0,50554	0,03846	0,18570
67	97,0530	1,7181	0,02540	0,07692	0,05265
369	120,6142	-8,1038	0,02027	0,07692	0,14922
509	139,1064	-2,7657	0,17207	0,00000	0,63441
338	126,6240	2,1321	0,07574	0,11538	0,13511
136	102,9300	-5,0092	0,17307	0,07692	0,05077

Setelah mengambil *medoid* awal secara acak yaitu didapatkan m_1 adalah data ke-199, m_2 adalah data ke-67, m_3 adalah data ke-369, m_4 adalah data ke-509, m_5 adalah data ke-338 dan m_6 adalah data ke-136, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap *medoid* awal menggunakan rumus pada Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak antara x_1 yaitu

data ke-1 dengan m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 dan m_6 .

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_1) &= \sqrt{(129,6807 - 124,97600)^2 + (-6,6522 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,50554 - 0,02027)^2 + (0,03846 - 0,23076)^2 + (0,18570 - 0,36135)^2} \\
 &= 4,82147
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_2) &= \sqrt{(97,0530 - 124,97600)^2 + (1,7181 - (-5,75270))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,02540 - 0,02027)^2 + (0,07692 - 0,23076)^2 + (0,05265 - 0,36135)^2} \\
 &= 24,09767
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_3) &= \sqrt{(120,6142 - 124,0857)^2 + (-8,1038 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,02027 - 0,02027)^2 + (0,07692 - 0,26923)^2 + (0,14922 - 0,03225)^2} \\
 &= 6,67254
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_4) &= \sqrt{(139,1064 - 124,0857)^2 + (-2,7657 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,17207 - 0,02027)^2 + (0,00000 - 0,26923)^2 + (0,63441 - 0,03225)^2} \\
 &= 14,44787
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_5) &= \sqrt{(126,6240 - 124,0857)^2 + (2,1321 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,07574 - 0,02027)^2 + (0,11538 - 0,26923)^2 + (0,13511 - 0,03225)^2} \\
 &= 8,05937
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_6) &= \sqrt{(102,9300 - 124,0857)^2 + (-5,0092 - (-10,37330))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,17307 - 0,02027)^2 + (0,07692 - 0,26923)^2 + (0,05077 - 0,03225)^2} \\
 &= 22,06178
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak objek terhadap *medoid* awal yang tertera pada Tabel 4.29

Tabel 4.29 Jarak objek terhadap *medoid* awal k = 6

No	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	$D(x_1, m_3)$	$D(x_1, m_4)$	$D(x_1, m_5)$	$D(x_1, m_6)$	Jarak Terdekat	Kluster
1	4,82147	24,09767	6,67254	14,44787	8,05937	22,06178	4,82147	1
2	34,52345	7,07439	25,63312	43,05960	30,26973	9,87579	1,03328	2
3	6,74261	24,21618	5,00074	16,85096	12,76186	21,82654	4,15362	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	6,86802	22,88329	3,93110	17,06047	11,47468	20,58450	2,66362	3
568	2,86936	30,99151	13,39631	7,47904	8,88476	29,04197	2,86936	1
569	8,77421	22,64393	9,77781	15,74922	8,88476	29,04197	2,86936	1
Total Jarak terdekat							1520,0412	

Setelah didapatkan jarak objek pada *medoid* awal, selanjutnya adalah memilih secara acak objek pada setiap kluster sebagai kandidat *medoid* baru. Didapatkan kandidat *medoid* baru seperti pada Tabel 4.30

Tabel 4.30 Kandidat *medoid* baru k = 6

No	Longitude	Latitude	Depth	Magnitude	Dmin
58	129,7852	-6,7761	0,3108	0,6923	0,1708
139	98,2137	3,2875	0,4196	0,0000	0,0768
4	123,7967	-9,1328	0,2564	0,0000	0,0629
549	140,1828	-2,2921	0,0719	0,0000	0,7377
39	126,4508	-1,1964	0,0580	0,0000	0,1931
561	103,9819	-6,5536	0,1327	0,1153	0,2164

Setelah mengambil *medoid* baru secara acak yaitu didapatkan m_1 adalah data ke-58, m_2 adalah data ke-139, m_3 adalah data ke-4, m_4 adalah data ke-549, m_5 adalah data ke-39 dan m_6 adalah data ke-569, selanjutnya dilakukan perhitungan jarak *euclidean* objek terhadap kandidat *medoid* baru menggunakan rumus pada Persamaan (2.3). Di bawah ini merupakan perhitungan jarak antara x_1 yaitu data ke-1 dengan m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 dan m_6 .

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_1) &= \sqrt{(129,7852 - 124,9760)^2 + (-6,7761 - (-5,7527))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,3108 - 0,0202)^2 + (0,6923 - 0,2307)^2 + (0,1708 - 0,3613)^2} \\
 &= 4,9507
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_2) &= \sqrt{(98,2137 - 124,9760)^2 + (3,2875 - (-5,7527))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,02364 - 0,0202)^2 + (0,0000 - 0,2307)^2 + (0,0768 - 0,3613)^2} \\
 &= 28,2531
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_3) &= \sqrt{(123,7967 - 124,085)^2 + (-9,1328 - (-10,3733))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,2564 - 0,0202)^2 + (0,0000 - 0,2692)^2 + (0,0629 - 0,0322)^2} \\
 &= 3,60748
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_4) &= \sqrt{(140,1828 - 124,0857)^2 + (-2,2921 - (-10,3733))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,0719 - 0,0202)^2 + (0,0000 - 0,2692)^2 + (0,7377 - 0,0322)^2} \\
 &= 15,60192
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_5) &= \sqrt{(126,4508 - 124,0857)^2 + (-1,1964 - (-10,3733))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,0580 - 0,0202)^2 + (0,0000 - 0,2692)^2 + (0,1931 - 0,0322)^2} \\
 &= 4,7976
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(x_1, m_6) &= \sqrt{(103,9819 - 124,0857)^2 + (-6,5536 - (-10,3733))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,1327 - 0,0202)^2 + (0,1153 - 0,2692)^2 + (0,2164 - 0,0322)^2} \\
 &= 21,0104
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut diteruskan hingga pada x_n , dengan n merupakan banyaknya data yaitu data ke-569. Sehingga didapatkan hasil perhitungan jarak objek terhadap *medoid* baru yang tertera pada Tabel 4.31

Tabel 4.31 Jarak objek terhadap *medoid* baru $k = 6$

No	$D(x_1, m_1)$	$D(x_1, m_2)$	$D(x_1, m_3)$	$D(x_1, m_4)$	$D(x_1, m_5)$	$D(x_1, m_6)$	Jarak Terdekat	Klaster
1	4,95070	28,25313	3,60748	15,60192	4,79769	21,01048	3,60748	3
2	34,65214	2,17328	29,74931	44,07715	30,30549	11,72746	2,17328	2
3	6,76067	29,26109	1,32346	18,02762	9,48203	20,46516	1,32346	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
567	6,95916	27,72292	0,72413	18,23901	8,29429	19,31246	0,72413	3
568	2,91980	34,75256	9,17882	8,65264	6,68355	28,03503	2,91980	1
569	8,95864	25,59972	8,75287	16,75725	3,02159	20,51711	3,02159	5
Total Jarak terdekat							2003,9903	

Selanjutnya dilakukan perhitungan total simpangan yaitu dengan menghitung selisih dari total jarak terdekat pada medoid awal dan total jarak terdekat pada medoid baru seperti pada Persamaan (2.4)

$$\begin{aligned}
 (S) &= b - a \\
 &= 2003,9903 - 1520,0412 \\
 &= 483,9491
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui bahwa nilai simpangan total (S) lebih dari 0 yang artinya hasil kluster telah ditemukan dan algoritma dihentikan. Berikut merupakan hasil kluster yang didapatkan dengan $k = 6$.

Tabel 4.32 Hasil Klaster dengan $k = 6$

Klaster	Rata-rata Longitude	Rata-rata Latitude	Rata-rata Depth	Rata-rata Magnitude	Rata-rata Dmin	Total Kejadian
1	129,6772	-5,9780	71,6943	5,3597	2,4431	87
2	97,3055	1,5979	38,6006	5,3568	1,8284	58
3	119,4828	-7,8527	41,3842	5,3	1,9772	65
4	138,3565	-2,5361	32,2746	5,28	5,0755	45
5	126,0848	2,2872	61,5230	5,3049	1,8945	203
6	103,5930	-5,4708	38,8769	5,2693	1,8490	111

Berdasarkan Tabel 4.32, diketahui bahwa pada klaster 1 terdapat 87 kejadian gempa bumi dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 71,6943 km, 5,3597 SR dan 2,4431 km. Klaster 2 terdapat 58 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 38,6006 km, 5,3568 SR dan 1,8284 km. Klaster 3 terdapat 65 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 41,3842 km, 5,3 SR dan 1,9772 km. Sedangkan pada klaster 4 terdapat 45 kejadian gempa bumi dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 32,2746 km, 5,28 SR dan 5,0755 km. Pada klaster 5 terdapat 203 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 61,5230 km, 5,3049 SR dan 1,8945 km. Serta pada klaster 6 terdapat 111 kejadian gempa bumi dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan jarak episenter terhadap stasiun gempa adalah 38,8769 km, 5,2693 SR dan 1,8490 km.

4.4. Silhouette Coefficient

Setelah diperoleh hasil kluster menggunakan metode *K-Medoids Clustering*, tahap selanjutnya adalah evaluasi kluster dengan menggunakan *Silhouette Coefficient* untuk mengetahui jumlah k kluster terbaik diantara $k = 2, k = 3, k = 4, k = 5$, dan $k = 6$.

Sebelum melakukan perhitungan pada *Silhouette Coefficient*, dilakukan perhitungan jarak antar data ke data lainnya terlebih dahulu menggunakan rumus jarak *euclidean distance* seperti pada Persamaan (2.3)

$$\begin{aligned}
 D(x_2, x_1) &= \sqrt{(96,3575 - 124,97600)^2 + (2,3481 - (-5,7527))^2 +} \\
 &\quad \sqrt{(0,04391 - 0,02027)^2 + (0,5 - 0,23076)^2 + (0,14057 - 0,36135)^2} \\
 &= 29,74497
 \end{aligned}$$

Perhitungan dilanjutkan pada seluruh data dan diperoleh hasil pada tabel berikut.

Tabel 4.33 Jarak Euclidean antar data

$D(x_i, x_j)$	x_1	x_2	\dots	x_{568}	x_{569}
x_1	0	29,74497	\dots	7,04614	5,57170
x_2	29,74497	0	\dots	36,35972	27,33288
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots
x_{568}	7,04614	36,35972	\dots	0	9,58840
x_{569}	5,57170	27,33288	\dots	9,58840	0

Setelah didapatkan jarak antar data menggunakan persamaan *Euclidean Distance*, dilakukan perhitungan nilai *Silhouette Coefficient* dengan langkah yang pertama yaitu menghitung nilai $a(x_i)$ pada $k = 2$ menggunakan Persamaan (2.5)

$$\begin{aligned}
 a(x_i) &= \frac{1}{|C_a| - 1} \sum_{j \in C_a, i \neq j}^N d(x_i, x_j) \\
 a(x_1) &= \frac{1}{390 - 1} (d(x_1, x_3) + d(x_1, x_4) + \dots + d(x_1, x_{568}) + d(x_1, x_{569})) \\
 &= \frac{1}{389} (4, 71724 + 3, 60748 + \dots + 7, 04614 + 5, 57170) \\
 &= 7, 89215 \\
 &\vdots \\
 a(x_{569}) &= \frac{1}{390 - 1} (d(x_{569}, x_1) + d(x_{569}, x_3) + \dots + d(x_{569}, x_{567}) + d(x_{569}, x_{568})) \\
 &= \frac{1}{389} (5, 57170 + 10, 01039 + \dots + 8, 42981 + 9, 58840) \\
 &= 6, 97438
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai $a(x_i)$ pada $k = 2$, selanjutnya akan dicari nilai $b(x_i)$ yaitu jarak data ke data pada kluster lain pada $k = 2$ menggunakan Persamaan (2.6) kemudian diambil nilai minimalnya ketika k kluster lebih dari dua.

$$\begin{aligned}
 b(x_i) &= \min C_b \neq C_a \frac{1}{|C_a|} \sum_{j \in C_b}^N d(x_i, x_j) \\
 b(1) &= \frac{1}{179} (d(x_1, x_2) + d(x_1, x_{10}) + \dots + d(x_1, x_{561}) + d(x_1, x_{565})) \\
 &= \frac{1}{179} (29, 74497 + 24, 09767 + \dots + 28, 18609 + 12, 63700) \\
 &= 23, 32055 \\
 &\vdots \\
 b(569) &= \frac{1}{179} (d(x_{569}, x_2) + d(x_{569}, x_{10}) + \dots + d(x_{569}, x_{561}) + d(x_{569}, x_{565})) \\
 &= \frac{1}{179} (27, 33288 + 22, 64393 + \dots + 25, 79980 + 14, 46762) \\
 &= 22, 21376
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai $a(x_i)$ dan $b(x_i)$ pada $k = 2$, selanjutnya adalah menghitung nilai *Silhouette Coefficient* tiap data pada $k = 2$ menggunakan Persamaan (2.7)

$$\begin{aligned}
 S(x_i) &= \frac{b(x_i) - a(x_i)}{\max \{b(x_i), a(x_i)\}} \\
 S(x_1) &= \frac{b(x_1) - a(x_1)}{\max \{b(x_1), a(x_1)\}} \\
 &= \frac{23,32055 - 7,89214}{23,32055} \\
 &= 0,66158 \\
 &\vdots \\
 S(x_{569}) &= \frac{b(x_{569}) - a(x_{569})}{\max \{b(x_{569}), a(x_{569})\}} \\
 &= \frac{22,21376 - 6,97438}{22,21376} \\
 &= 0,68603
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung nilai *Silhouette Coefficient* pada setiap data pada $k = 2$, selanjutnya dilakukan perhitungan keseluruhan nilai *Silhouette Coefficient* dengan menghitung nilai rata-rata dari nilai *Silhouette Coefficient* setiap data

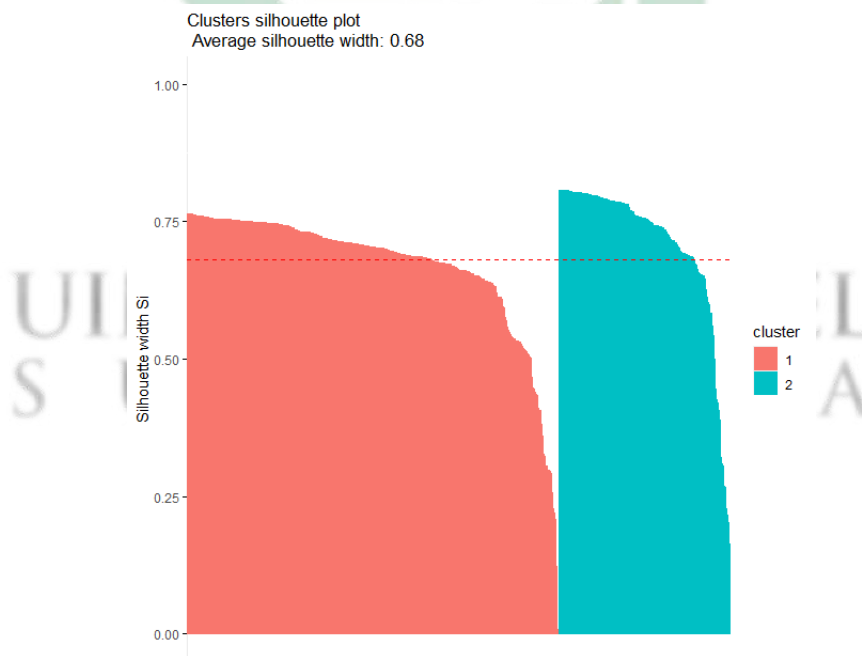
$$\begin{aligned}
 SC &= \frac{1}{569} (S(x_i) + \dots + S(x_{569})) \\
 SC &= \frac{1}{569} (0,66158 + \dots + 0,68603) \\
 &= 0,68016
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan diatas, didapatkan nilai *Silhouette Coefficient* pada $k = 2$ adalah 0,68016. Selanjutnya yaitu menghitung nilai *Silhouette Coefficient* pada $k = 3, k = 4, k = 5, k = 6$ dan didapatkan hasil nilai *Silhouette Coefficient* sebagai berikut.

Tabel 4.34 Nilai *Silhouette Coefficient* pada setiap k klaster

Jumlah Klaster	<i>Silhouette Coefficient</i>
$k = 2$	0,68016
$k = 3$	0,54336
$k = 4$	0,57896
$k = 5$	0.59538
$k = 6$	0.56567

Berdasarkan Tabel 4.34, nilai *Silhouette Coefficient* maksimum terdapat pada klaster $k = 2$ yang artinya klaster optimum pada penelitian ini merupakan klaster dengan $k = 2$. Berikut merupakan grafik nilai *Silhouette Coefficient* pada hasil dari klaster $k = 2$ yang divisualisasikan dalam Gambar 4.1

Gambar 4.1 Grafik nilai *Silhouette Coefficient* pada $k = 2$

Berdasarkan Gambar 4.1 terlihat bahwa tidak terdapat nilai yang negatif pada nilai silhouette setiap data pada hasil kluster $k = 2$ sehingga menunjukkan bahwa jarak data pada intra kluster lebih dekat dari pada jarak pada antar kluster yang artinya objek setiap data berada pada kluster yang tepat.

4.5. Interpretasi Hasil Penelitian

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan sebelumnya, maka jumlah kluster terbaik yang merupakan kluster dengan $k = 2$ digunakan dalam pemetaan daerah rawan gempa bumi berdasarkan data gempa bumi di Indonesia pada bulan Januari tahun 2020 hingga Maret 2023. Hasil kluster yang didapatkan dengan $k = 2$ menyatakan bahwa pada kluster 1 terdapat 390 kejadian gempa bumi dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan dmin adalah 57,1528 km, 5,3143 SR dan 2,4044 km. Sedangkan terdapat 179 total kejadian dengan rata-rata kedalaman gempa bumi, magnitudo dan dmin adalah 39,8519 km, 5,2977 SR dan 1,8303 km.

Berdasarkan Tabel 4.10, didapatkan nilai rata-rata magnitudo dan total kejadian gempa bumi pada kluster 1 lebih tinggi dibandingkan dengan kluster 2. Sedangkan nilai rata-rata depth dan dmin yang merupakan satuan jarak lebih tinggi kluster 1 dibandingkan kluster 2. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daerah pada kluster 1 lebih rentan sering terjadinya gempa bumi daripada daerah pada kluster 2 yang artinya kluster 1 dapat dikategorikan sebagai tingkat kerawanan sangat tinggi.

Sedangkan daerah pada kluster 2 lebih jarang terjadi gempa bumi sehingga dikategorikan sebagai tingkat kerawanan tinggi. Namun jika dilihat pada nilai rata-rata depth dan dmin, jarak pusat gempa pada kluster 2 lebih dangkal dari pada kluster 1 sehingga gempa bumi yang terjadi pada daerah kluster 2 lebih cenderung

membahayakan dan merusak dari pada gempa bumi yang terjadi pada klaster 1.

Berikut hasil dari klaster tingkat kerawanan sangat tinggi disajikan dalam Tabel 4.35, Sedangkan pada tingkat kerawanan tinggi disajikan dalam Tabel 4.36.

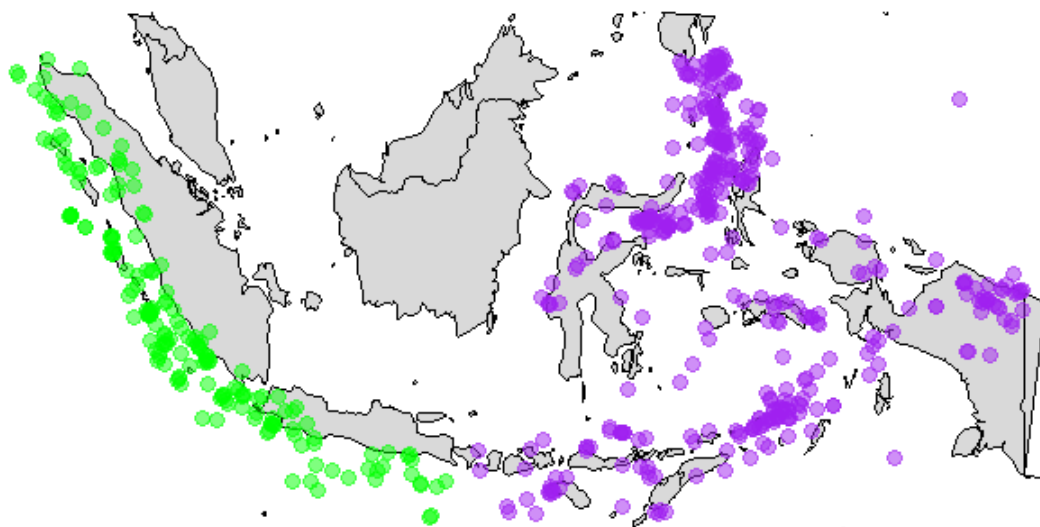
Tabel 4.35 Hasil Klaster Tingkat Kerawanan Sangat Tinggi

No	Tempat	Latitude	Longitude	Depth	Magnitute	Dmin
1	287km ESE of Katabu	-5,7527	124,976	10	5,6	3,947
2	Timor region	-10,3733	124,0857	10	5,7	0,447
3	51km N of Naisano Dua	-9,1328	123,7967	79,91	5	0,773
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
388	106km E of Maumere	-8,8035	123,1609	109,503	5,1	0,928
389	113km NW of Tual	-4,9622	131,9716	47,357	5,1	2,048
390	105km NE of Luwuk	-0,3835	123,5482	74,625	5	1,015
	Rata - rata	-1,5053	127,536	57,152	5,3	2,404

Tabel 4.36 Hasil Klaster Tingkat Kerawanan Tinggi

No	Tempat	Latitude	Longitude	Depth	Magnitute	Dmin
1	14km S of Sinabang	2,3481	96,3575	17	6,3	1,599
2	103km SSW of Sungai Penuh	-2,9219	101,0474	62,54	5	2,38
3	16km WNW of Pagar Alam	-3,9512	103,1177	93,99	5,1	0,437
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
177	188km SW of Bandar Lampung	-6,5536	103,9819	43,297	5,3	2,406
178	43km S of Singkil	1,8949	97,8496	51,119	5,3	0,648
179	256km S of Kencong	-10,6	113,3077	10	5,2	2,274
Rata - rata		-3,3957	102,0822	39,851	5,2	1,830

Hasil dari klaster daerah rawan gempa bumi di Indonesia berdasarkan data pada bulan Januari tahun 2020 hingga bulan Maret tahun 2023 divisualisasikan dalam Gambar 4.2 dengan keterangan bahwa simbol titik berwarna ungu merupakan klaster tingkat kerawanan sangat tinggi, sedangkan simbol titik berwarna hijau merupakan klaster tingkat kerawanan tinggi.



Gambar 4.2 Pemetaan Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat terlihat bahwa klaster 1 dengan tingkat kerawanan sangat tinggi merupakan daerah di sekitar pulau Bali, Sulawesi, hingga Irian Jaya. Sedangkan klaster 2 merupakan daerah di bagian barat pulau Sumatra hingga di bagian selatan pulau Jawa dengan tingkat kerawanan tinggi. Pada Gambar 4.2 tersebut juga terlihat bahwa tidak terdapat titik di sekitar pulau Kalimantan yang menandakan bahwa pulau Kalimantan memiliki tingkat kerawanan paling rendah diantara 5 pulau besar di Indonesia.

4.6. Integrasi Keilmuan

Pencegahan terhadap segala hal yang dapat menyebabkan keburukan, baik itu disebabkan oleh faktor alam maupun faktor manusia, merupakan kewajiban. Dalam konteks bencana seperti gempa bumi, prinsip ini mengarahkan umat muslim untuk mengambil langkah-langkah yang bertujuan melindungi diri dan orang lain dari bahaya yang mungkin terjadi. Meskipun bencana yang disebabkan oleh faktor alam tidak dapat dihindari sepenuhnya, upaya untuk meminimalkan dampak bencana agar tidak menimbulkan kerugian jiwa dan harta benda dapat

dilakukan. Sebagaimana dalam firman Allah SWT pada surah Asy-Syuara ayat 56 sebaga berikut.

وَإِنَّا لَجَمِيعٌ حٰذِرُونَ

Artinya : dan sesungguhnya kita benar-benar golongan yang selalu berjaga-jaga.
(Q.S. Asy-Syuara : 56)

Menurut penafsira pada tafsir Jalalayn, makna dari ayat tersebut dapat diterangkan sebagaimana yang dimaksud dalam golongan yang selalu berjaga-jaga merupakan Kaum yang selalu bersiap-siap. Dalam tafsiran tersebut juga disebutkan bahwa suatu qiraat *Haadziruuna* dibaca *Hadziruuna* yang artinya selalu waspada. Makna tersebut selaras dengan hadits nabi berikut :

أَخْبَرَنَا قُتَيْبَةُ قَالَ حَدَّثَنَا سُفْيَانُ عَنْ سُمَيِّ عَنْ أَبِي صَالِحٍ عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ أَنَّ النَّبِيَّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ كَانَ يَسْتَعِيدُّ مِنْ سُوءِ الْقَضَاءِ وَشِمَاتَةِ الْأَعْدَاءِ وَدَرَكِ الشَّقَاءِ وَجَهْدِ الْبَلَاءِ

Artinya : Telah mengabarkan kepada kami [Qutaibah] ia berkata; telah menceritakan kepada kami [Sufyan] dari [Sumay] dari [Abu Shalih] dari [Abu Hurairah] ia berkata; "Nabi shallallahu 'alaihi wasallam berlindung dari ketetapan yang jelek, kebahagiaan musuh, su'ul khatimah dan bencana yang dahsyat." (H.R. Nasai / 5397)

Pada hadis tersebut disebutkan bahwa nabi Muhammad Saw berlindung dari 3 hal, diantaranya termasuk berlindung dari bencana yang dahsyat. Dalam konteks gempa bumi ini, berlindung dari adanya bencana dapat dilakukan dengan mengelompokkan daerah dengan tingkat kerawanannya terhadap gempa bumi. Sehingga dapat meminimalisir akibat yang ditimbulkan dari gempa bumi tersebut. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa menghindari kerusakan merupakan hal yang harus diprioritaskan.

دَرْءُ الْمَفَاسِدِ مُقَدَّمٌ عَلَى جَلْبِ الْمَصَالِحِ

Kaidah fikih ini memiliki makna bahwa "*menghindari kerusakan lebih diutamakan daripada mendapatkan manfaat.*" Hal ini menjelaskan bahwa upaya untuk mencegah dan mengurangi kerusakan atau bencana harus ditempatkan sebagai prioritas yang lebih tinggi daripada mencari manfaat semata. Salah satu upaya menghindari kerusakan lebih dalam konteks gempa bumi adalah membuat pemetaan zona-zona yang berisiko tinggi terhadap gempa bumi dan mengintegrasikan informasi tersebut ke dalam perencanaan pembangunan. Menghindari pembangunan infrastruktur kritis seperti pembangkit listrik, instalasi industri, dan rumah sakit di zona berisiko tinggi adalah langkah yang penting.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengklasteran daerah rawan gempa bumi di Indonesia berdasarkan data pada bulan Januari 2020 hingga Maret 2023 menggunakan metode *K-Medoids Clustering* dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan *Silhouette Coefficient* dengan uji coba pada jumlah kluster $k = 2, k = 3, k = 4, k = 5$ dan $k = 6$ dihasilkan nilai *Silhouette Coefficient* maksimum yaitu 0,68016 dengan jumlah kluster $k = 2$ yang dapat diartikan bahwa struktur kluster yang diperoleh cukup baik.
2. Hasil pada pemetaan wilayah didapatkan bahwa terdapat 2 kluster optimum dengan kategori kluster tingkat kerawanan sangat tinggi dengan total 390 kejadian gempa bumi dan kluster tingkat kerawanan tinggi dengan total 179 kejadian gempa bumi. Daerah yang tergolong kluster tingkat kerawanan sangat tinggi adalah daerah disekitar pulau Bali, Sulawesi, hingga Irian Jaya. Sedangkan daerah yang tergolong dalam kluster tingkan kerawanan tinggi adalah daerah di bagian barat pulau Sumatra hingga bagian selatan pulau Jawa.

5.2. Saran

Setelah didapatkan hasil dari penelitian, penulis ingin menyampaikan beberapa saran.

1. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan data yang lebih besar pada rentang waktunya untuk meningkatkan nilai rata-rata *Silhouette Coefficient* yang diperoleh sehingga dapat menghasilkan kluster yang lebih baik.
2. Penelitian selanjutnya dapat membandingkannya dengan teknik evaluasi kluster yang lain seperti *Sum of Square Error (SSE)*, *Davies Bouldin Index (DBI)* dan beberapa teknik lainnya.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jailani, A. Q. (2009). *Tafsir Aljailani, Terj. Rohimuddin Nawawi A-l-Jahary AlBantani.*
- Alasadi, S. A. and Bhaya, W. S. (2017). Review of data preprocessing techniques in data mining. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(16):4102–4107.
- Alif, S. M., Hidayah, A. N., Fauzi, A. I., and Perdana, R. S. (2021). Analisis pentingnya gempa bumi sebagai faktor pemicu kejadian gerakan tanah di lampung barat. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 12(3):170–180.
- Bening, M. A., Sahara, D. P., Triyoso, W., and Kusumawati, D. (2022). Modeling the impact of the viscoelastic layer thickness and the frictional strength to the lithosphere deformation in a strike-slip fault: Insight to the seismicity pattern along the great sumatran fault. *GeoHazards*, 3(4):452–464.
- Botyarov, M. and Miller, E. E. (2022). Partitioning around medoids as a systematic approach to generative design solution space reduction. *Results in Engineering*, 15:100544.
- Bu, J., Liu, W., Pan, Z., and Ling, K. (2020). Comparative study of hydrochemical classification based on different hierarchical cluster analysis methods. *International journal of environmental research and public health*, 17(24):9515.
- Buis, A. (2005). NASA Details Earthquake Effects on the Earth. <https://www.jpl.nasa.gov/news/>

nasa-details-earthquake-effects-on-the-earth. Last accessed 19 April 2023.

Chaudhary, M. T. and Piracha, A. (2021). Natural disasters—origins, impacts, management. *Encyclopedia*, 1(4):1101–1131.

Damayanti, M. (2022). *ANALISIS KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN DAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN ENSEMBLE EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION (EEMD) METODE MIKROSEISMIK DI WILAYAH YOGYAKARTA*. PhD thesis, UPN Veteran Yogyakarta.

Erlangga, W. (2020). Karakteristik dan parameter subduksi sumber gempa pulau jawa. *Teknisia*, pages 88–98.

Faizin, M. et al. (2016). Urgensi fiqh lingkungan dalam perkembangan fiqh kontemporer sebagai instrumen pendukung hukum lingkungan mu'adil faizin universitas islam negeri sunan kalijaga. *Nizham Journal of Islamic Studies*, 5(2):145–155.

Fan, C., Chen, M., Wang, X., Wang, J., and Huang, B. (2021). A review on data preprocessing techniques toward efficient and reliable knowledge discovery from building operational data. *Frontiers in Energy Research*, 9:652801.

Fira, A., Rozikin, C., Garno, G., et al. (2021). Komparasi algoritma k-means dan k-medoids untuk pengelompokan penyebaran covid-19 di indonesia. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 5(2):133–138.

Firdausiyah, U. W. (2019). *Telaah Ayat-Ayat Gempa Menurut Tanṭawi Jauhari (Studi Analisis Penafsiran Tanṭawi Jauhari Dalam Tafsīr Al-Jawāhir Fī Tafsīr Al-Qurān Al-Karīm)*. PhD thesis, Institut Agama Islam Negeri Jember.

- Han, C., Zhang, W., and Ma, T. (2022). Data cleaning framework for highway asphalt pavement inspection data based on artificial neural networks. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(14):5198–5210.
- Hariani, N. P. et al. (2022). Pengelompokan perguruan tinggi negeri di Indonesia menggunakan metode hirarki dan k-medoids dengan ukuran jarak modifikasi data campuran. *Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship (AJIE)*, pages 87–98.
- Harini, S., Fahmi, H., Mulyanto, A., and Khudzaifah, M. (2020). The earthquake events and impacts mapping in Bali and Nusa Tenggara using a clustering method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, volume 456, page 012087. IOP Publishing.
- Hidayanti, R., Arsyad, M., and Sulistiawaty (2018). Analisis jenis patahan gempa menggunakan metode inversi waveform (kasus gempa Banten 2018). *Prosiding Seminar Nasional Fisika PPS UNM*, 1:1–6.
- Hidayat, N. and Santoso, E. W. (1997). Gempa bumi dan mekanismenya. *Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 2(3):195–198.
- Husin, A. and Muslim, B. Efek gelombang tsunami Aceh 2004 pada gangguan ionosfer bergerak skala menengah dari pengamatan jaringan GPS Sumatra. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 16(2):130–137.
- Inayah, J., Maghfiroh, D. A. S. N., and Novitasari, D. C. R. (2022). Clustering daerah rawan kriminalitas menggunakan algoritma fuzzy c-means. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 27(2):95–106.
- Jefrianto, J. and Sari, D. P. (2022). Analisis k-medoids clustering pada episentrum

- gempa bumi di provinsi sumatera barat dan sekitarnya. *Journal of Mathematics UNP*, 7(2):22–27.
- Joshi, A. P. and Patel, B. V. (2021). Data preprocessing: The techniques for preparing clean and quality data for data analytics process. *Orient. J. Comput. Sci. Technol*, 13(0203):78–81.
- Kamila, I., Khairunnisa, U., and Mustakim, M. (2019). Perbandingan algoritma k-means dan k-medoids untuk pengelompokan data transaksi bongkar muat di provinsi riau. *Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Manajemen Sistem Informasi*, 5(1):119–125.
- Lim, Z.-Y., Ong, L.-Y., and Leow, M.-C. (2021). A review on clustering techniques: Creating better user experience for online roadshow. *Future Internet*, 13(9):233.
- Luthfi, E. and Wijayanto, A. W. (2021). Analisis perbandingan metode hirarchical, k-means, dan k-medoids clustering dalam pengelompokkan indeks pembangunan manusia indonesia. *INOVASI*, 17(4):761–773.
- Marsita, D. (2021). *CLUSTERING DAERAH RAWAN GEMPA DI SUMATRA BARAT MENGGUNAKAN METODE CLUSTERING LARGE APPLICATION DAN DENSITY BASED SPATIAL CLUSTERING OF APPLICATIONS WITH NOISE*. PhD thesis, Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Metrikasari, R. and Choiruddin, A. (2021). Pemodelan risiko gempa bumi di pulau sumatera menggunakan model inhomogeneous neyman-scott cox process. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 9(2):D102–D107.
- Meutia, T. (2007). *Managing the Risk of Natural Disasters in Coastal Zone: Lesson*

- Learn from Tsunami Disaster in Nanggroe Aceh Darussalam Province.* PhD thesis.
- Mühlhofer, E., Koks, E. E., Kropf, C. M., Sansavini, G., and Bresch, D. N. (2023). A generalized natural hazard risk modelling framework for infrastructure failure cascades. *Reliability Engineering & System Safety*, 234:109194.
- Nasikah, Z. (2021). *Pengelompokkan bencana banjir berdasarkan kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur menggunakan metode Cluster Divisive.* PhD thesis, UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Nasution, D. A., Khotimah, H. H., and Chamidah, N. (2019). Perbandingan normalisasi data untuk klasifikasi wine menggunakan algoritma k-nn. *CESS (Journal of Computer Engineering, System and Science)*, 4(1):78–82.
- Nurkholik, D. (2022). *Analisis K-Medoids clustering metode Elbow pada kasus Covid-19 di Provinsi DKI Jakarta.* PhD thesis, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Palacio-Niño, J.-O. and Berzal, F. (2019). Evaluation metrics for unsupervised learning algorithms. *arXiv preprint arXiv:1905.05667*.
- Pasau, G. and Tanauma, A. (2011). Pemodelan sumber gempa di wilayah sulawesi utara sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi. *Jurnal Ilmiah Sains*, 11(2):202–209.
- Perdana, M. I. B., Raihanati, M. P., et al. (2023). *Gempa Bumi Tektonik Menurut Sudut Pandang Fisika.* UNJ PRESS.
- Prihatini, S. and Rochman, C. (2022). Profile of earthquake disaster literacy in

- disaster mitigation understanding and ability to students in kuningan. *Journal of Teaching and Learning Physics*, 7(2):113–117.
- Pulungan, N., Suhada, S., and Suhendro, D. (2019). Penerapan algoritma k-medoids untuk mengelompokkan penduduk 15 tahun keatas menurut lapangan pekerjaan utama. *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi dan Komputer)*, 3(1).
- Rahman, R. R. A. and Wijayanto, A. W. (2021). Pengelompokan data gempa bumi menggunakan algoritma dbscan. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 22(1):31–38.
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of computational and applied mathematics*, 20:53–65.
- Sartika, E., Murniati, S., Binarto, A., and Habinuddin, E. (2022). Penerapan k-means cluster dan evaluasi clustering pada pesebaran kasus covid-19. *STATISTIKA Journal of Theoretical Statistics and Its Applications*, 22(2):147–156.
- Saxena, A., Prasad, M., Gupta, A., Bharill, N., Patel, O. P., Tiwari, A., Er, M. J., Ding, W., and Lin, C.-T. (2017). A review of clustering techniques and developments. *Neurocomputing*, 267:664–681.
- Senduk, F. R., Indwiarti, I., and Nhita, F. (2019). Clustering of earthquake prone areas in indonesia using k-medoids algorithm. *Indonesia Journal on Computing (Indo-JC)*, 4(3):65–76.
- Setiawan, I. N., Krismawati, D., Pramana, S., and Tanur, E. (2022a). Klasterisasi wilayah rentan bencana alam berupa gerakan tanah dan gempa bumi di indonesia. In *Seminar Nasional Official Statistics*, volume 2022, pages 669–676.

- Setiawan, Y., Suprianto, S. A., Wijanarko, A., Rini, D. S., and Yusa, M. (2022b). Pemetaan kelompok sebaran titik gempa bumi mentawai dengan metode k-medoids clustering. *Jurnal Teknoinfo*, 16(1):124–131.
- Setyogroho, B., Muslim, D., Sadewo, M. S., Muslim, G. O., Burhanuddin, S., and Hendarmawan, H. (2022). Correlation between building damages and losses with the microzonation map of mataram—case study: Lombok earthquake 2018, indonesia. *Sustainability*, 14(4):2028.
- Shi, Z., Ma, D., Yan, X., Zhu, W., and Zhao, Z. (2021). A density-peak-based clustering method for multiple densities dataset. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(9):589.
- Shihab, M. Q. (2002). *Tafsir Al Mishbah*. Lentera Hati, Jakarta.
- Shutaywi, M. and Kachouie, N. N. (2021). Silhouette analysis for performance evaluation in machine learning with applications to clustering. *Entropy*, 23(6):759.
- Sözen, E. (2019). The earthquake awareness levels of undergraduate students. *Journal of Pedagogical Research*, 3(2):87–101.
- Suku, Y. L., Wora, M., Radja, V. M., Nissanson, M. Y., Siso, S. M., Ari, E. A., et al. (2022). Optimalisasi mitigasi bahaya gempa bumi melalui penyuluhan rumah tahan gempa di kelurahan rewarangga selatan provinsi nusa tenggara timur. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 6(2):1030–1040.
- Supartoyo (2022). Gempa Bumi Merusak Di Indonesia Tahun 2021. <https://vsi.esdm.go.id/index.php/kegiatan-pvmbg/kegiatan-diseminasi-informasi/>

3888-gempa-bumi-merusak-di-indonesia-tahun-2021. Last accessed 19 April 2023.

Supartoyo (2023). Kejadian Gempa Bumi Merusak Di Indonesia Tahun 2022. <https://vsi.esdm.go.id/index.php/kegiatan-pvmbg/kegiatan-diseminasi-informasi/4041-kejadian-gempa-bumi-merusak-di-indonesia-tahun-2022>. Last accessed 19 April 2023.

Supriyadi, E. et al. (2017). Perbandingan metode partial least square (pls) dan principal component regression (pcr) untuk mengatasi multikolinearitas pada model regresi linear berganda. *Unnes Journal of Mathematics*, 6(2):117–128.

Sureja, N., Chawda, B., and Vasant, A. (2022). An improved k-medoids clustering approach based on the crow search algorithm. *Journal of Computational Mathematics and Data Science*, 3:100034.

Syafiyah, U., Puspitasari, D. P., Asrafi, I., Wicaksono, B., and Sirait, F. M. (2022). Analisis perbandingan hierarchical dan non-hierarchical clustering pada data indikator ketenagakerjaan di jawa barat tahun 2020. In *Seminar Nasional Official Statistics*, volume 2022, pages 803–812.

Tehseen, R., Farooq, M. S., and Abid, A. (2020). Earthquake prediction using expert systems: a systematic mapping study. *Sustainability*, 12(6):2420.

Teichgraeber, H. and Brandt, A. R. (2019). Clustering methods to find representative periods for the optimization of energy systems: An initial framework and comparison. *Applied energy*, 239:1283–1293.

Trisnawati, T. (2022). *Model Geographically Weighted Panel Regression (GWPR)*

pada kejadian tanah longsor di Provinsi Jawa Tengah. PhD thesis, UIN Sunan Ampel Surabaya.

Utami, R. Y., Rizky, S. A., et al. Menganalisis bencana alam gempa bumi dalam perspektif al-quran. *Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam dan Sains*, 4(1):255–260.

Wang, J., Zhu, C., Zhou, Y., Zhu, X., Wang, Y., and Zhang, W. (2017). From partition-based clustering to density-based clustering: Fast find clusters with diverse shapes and densities in spatial databases. *IEEE Access*, 6:1718–1729.

Widiari, N. P. A., Suarjaya, I., and Githa, D. (2020). Teknik data cleaning menggunakan snowflake untuk studi kasus objek pariwisata di bali. *J. Ilm. Merpati (Menara Penelit. Akad. Teknol. Informasi)*, 8(2):137.

Zhang, H. and Peng, Q. (2022). Pso and k-means-based semantic segmentation toward agricultural products. *Future Generation Computer Systems*, 126:82–87.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A