

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Gempa bumi merupakan kejadian getas di bumi yang disebabkan pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam kerak bumi. Energi ini disebabkan oleh gerakan relatif antara lempeng-lempeng tektonik di permukaan bumi. Ketika tekanan yang terakumulasi di antara lempeng-lempeng ini melebihi kekuatan batuan, terjadi pergeseran atau patahan yang menghasilkan gelombang getaran yang merambat melalui bumi [1].

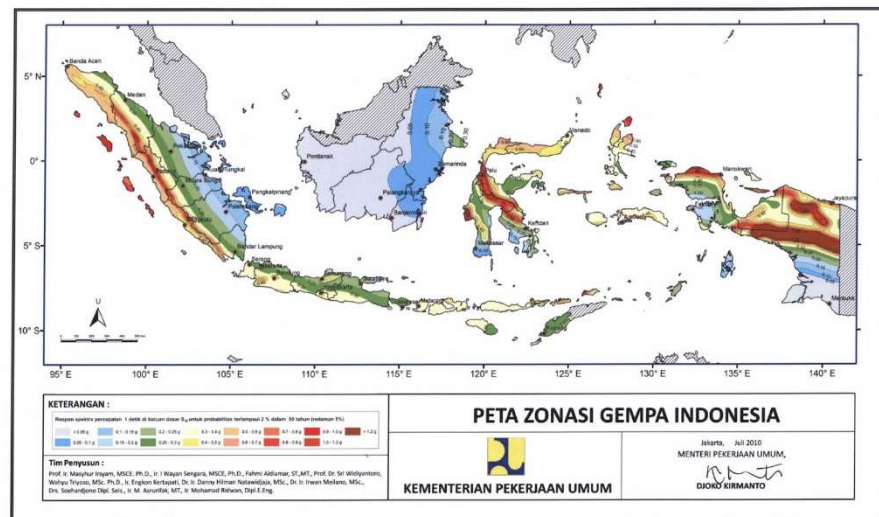
Berdasarkan karakteristiknya, gempa bumi digolongkan ke dalam tiga macam, yaitu gempa bumi runtuh, gempa bumi vulkanik, dan gempa bumi tektonik. Gempa bumi runtuh terjadi akibat runtuhnya lubang-lubang interior bumi, biasanya terjadi pada daerah pertambangan. Selanjutnya gempa vulkanik, merupakan gempa bumi yang berasal dari aktivitas gunung api sebelum meletus, akibat adanya aktivitas magma. Terakhir adalah gempa bumi jenis tektonik, terjadi akibat adanya pergeseran mendadak lempeng tektonik yang memiliki kekuatan dari skala kecil sampai sangat besar [2].

Terdapat ribuan gempa bumi yang terjadi secara global setiap tahunnya. Pusat Informasi Gempa Bumi Nasional (NEIC) mengidentifikasi sekitar 12.000-14.000 gempa bumi setiap tahun [3]. Peristiwa gempa bumi sering kali diikuti oleh serangkaian gempa susulan (*aftershock*), yang merupakan getaran tambahan yang terjadi setelah gempa utama. Gempa bumi kecil terjadi ratusan kali setiap hari di seluruh dunia, sedangkan gempa bumi besar (magnitudo 7 ke atas) terjadi lebih dari sekali sebulan, dan gempa bumi sangat besar (magnitudo 8 ke atas) terjadi sekitar sekali setahun [4].

Gempa bumi juga dapat menimbulkan berbagai bahaya lain seperti tsunami, longsor, dan bahkan letusan gunung berapi, tergantung pada karakteristik geografis, geologis, hingga topografi dari wilayah yang terkena dampak [2]. Contohnya pada

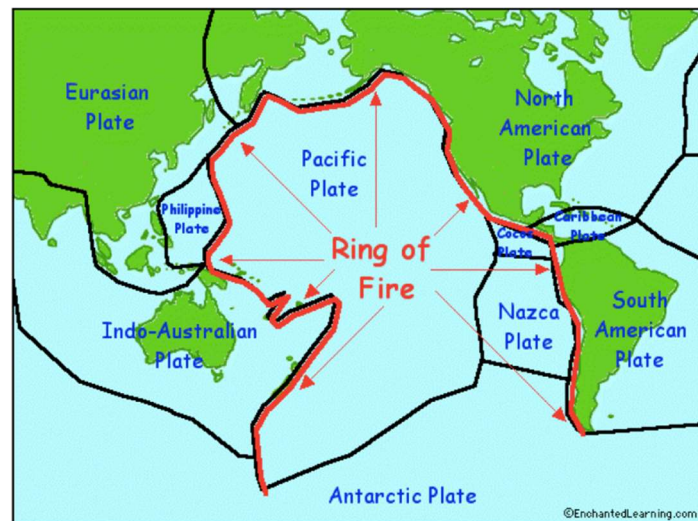
wilayah dengan topografi curam seperti lereng curam, memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk mengalami longsor pasca-gempa. Gempa dapat melemahkan struktur batuan dan tanah di lereng, yang berpotensi memicu runtuhnya material dalam skala kecil maupun besar. Oleh karena itu, wilayah yang sering mengalami gempa bumi memiliki risiko lebih tinggi terhadap bencana-bencana tersebut.[5].

Indonesia adalah negara yang rentan terhadap gempa bumi, selain karena letaknya yang dilalui oleh jalur pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Indonesia juga berada di dalam Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) yang merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas seismik yang tinggi di dunia [6].



Gambar 1.1 Peta zonasi gempa bumi di Indonesia [7]

Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) adalah sebuah zona geologis yang membentang sepanjang tepi Samudra Pasifik, yang terkenal dengan aktivitas seismik dan vulkanik yang tinggi, zona ini merupakan tempat terjadinya sebagian besar gempa bumi dan letusan gunung berapi besar di dunia. Secara geografis, Cincin Api Pasifik melingkari Samudra Pasifik, membentang dari tepi barat Amerika Utara, melewati Amerika Tengah dan Selatan, hingga ke timur laut Asia dan Oseania [8].



Gambar 1.2 *Ring of Fire*

Indonesia juga terletak pada pertemuan dua pegunungan muda, Mediterania dan Pasifik. Laut Mediterania mencapai Indonesia melalui Sumatera dan meluas ke Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan Maluku. Wilayah yang dilalui tersebut mempengaruhi jumlah gunung berapi aktif di Indonesia bagian barat. Jalur lingkaran Pasifik masuk ke wilayah Indonesia melalui pulau Sulawesi dan Halmahera lalu berakhir di Papua [9].

Letak geografis tersebut mempengaruhi keadaan geologi Indonesia yang sangat dinamis ini menyebabkan terjadinya gempa bumi dengan berbagai skala kekuatan. Mulai dari gempa-gempa kecil yang jarang dirasakan hingga gempa-gempa besar yang dapat menyebabkan banyaknya kerusakan. Sejarah mencatat beberapa gempa bumi dahsyat yang pernah terjadi di Indonesia, seperti Gempa Bumi Aceh tahun 2004 dengan kekuatan 9,2 magnitudo yang menyebabkan tsunami mengerikan, gempa ini masuk ke dalam catatan sepuluh gempa bumi terbesar sepanjang sejarah dunia dengan kekuatan [10]. Pada tahun 2018 daerah Palu dan sekitarnya juga diguncang gempa bumi berkekuatan 7,4 magnitudo yang kemudian disusul tsunami dan likuifaksi mengakibatkan banyak korban jiwa [11].

Dampak dari gempa bumi yang terjadi khususnya di Indonesia sangat luas, tidak hanya secara langsung berdampak pada kerusakan fisik dan korban jiwa, tetapi juga memiliki dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan yang signifikan. Gempa dengan kekuatan besar dapat merusak lingkungan akibat terjadinya erosi

tanah karena aktivitas gempa bumi yang mengguncang tanah sehingga tergeser lalu terjadi pengikisan, tanah longsor akibat guncangan di sekitar lereng-lereng perbukitan, serta kerusakan ekosistem terumbu karang akibat efek dari gelombang tsunami [12].

Analisis Gempa Bumi memiliki tantangan tersendiri, apalagi dengan kejadiannya yang sulit diprediksi, sehingga sangat perlu dilakukan pengelompokan dengan mengidentifikasi pola spasial dan temporal, untuk memperkirakan potensi rentannya suatu wilayah, serta merancang strategi mitigasi yang efektif di masa yang akan datang [13]. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang pola dan distribusi gempa bumi di Indonesia sangat penting untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan mitigasi risiko bencana di masa yang akan datang dan pemahaman tersebut dapat diperoleh dengan klasterisasi.

Clustering merupakan proses pengelompokan objek atau titik data ke dalam kelompok-kelompok yang serupa berdasarkan kesamaan karakteristik atau atribut tertentu. Pengelompokan ini memiliki tujuan agar objek-objek dalam satu kelompok lebih mirip satu sama lain dibandingkan dengan objek-objek di kelompok lain. Proses *clustering* melibatkan pengukuran jarak atau kesamaan antara objek-objek tersebut dan kemudian mengelompokkan mereka sesuai dengan metrik yang dipilih. *Clustering* masuk ke dalam kelompok *unsupervised learning* karena mampu mengungkap struktur tersembunyi dalam data tanpa memerlukan label sebelumnya, memudahkan eksplorasi data dan identifikasi pola. Ada beberapa jenis *clustering* yang umum digunakan, yaitu *hierarchical clustering*, *centroid-based clustering*, dan *density-based clustering* [14].

Pendekatan *density-based clustering* adalah metode pengelompokan data yang mengidentifikasi *cluster* berdasarkan kepadatan data dalam ruang fitur. *Density-based clustering* tidak memerlukan penentuan jumlah *cluster* sebelumnya, menjadikannya fleksibel dan adaptif untuk berbagai jenis data dan pola [15]. *Density-based spatial clustering applications with noise* (DBSCAN) merupakan salah satu algoritma populer termasuk pada pendekatan jenis ini. Algoritma ini bekerja dengan mencari area dengan kepadatan tinggi di mana banyak titik data berdekatan satu sama lain dan sangat tepat digunakan untuk tipe *clustering* dengan

pola sembarang pada data *bernoise*. Kategori *noise* pada algoritma DBSCAN merupakan poin-poin dengan kepadatan objek yang sedikit. Algoritma DBSCAN mengelompokkan poin-poin terpilih ke dalam beberapa *cluster* dan tidak memisahkan poin-poin tidak terpilih ke dalam kategori *noise* (pencilan). Data akan mengelompok berdasarkan tingkat kepadatannya, artinya jika ada suatu data yang tidak seharusnya dikelompokkan tidak akan diharuskan masuk ke dalam kelompok [16].

Penelitian terdahulu [17] mencoba melakukan *clustering* dengan membandingkan algoritma DBSCAN dan *K-Means* dalam mengelompokkan data nasabah dengan fasilitas kredit. Hasilnya menunjukkan dibandingkan dengan algoritma *K-Means*, DBSCAN memiliki kelebihan dalam hal kompleksitas, run time dan kemampuan menghadapi *noise*. Penelitian yang dilakukan [18] juga menyatakan bahwa algoritma DBSCAN lebih baik dalam menentukan parameter dibandingkan dengan algoritma DMDBSCAN (*Dynamic Method Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise*).

Berdasarkan performa dari penelitian sebelumnya, Algoritma DBSCAN memiliki beberapa kelebihan yang membuatnya unggul dalam analisis data. DBSCAN mampu mengidentifikasi *cluster* dengan bentuk yang tidak teratur, yang sangat penting dalam analisis gempa bumi karena pola seismik seringkali tidak berbentuk geometris sederhana. Selain itu, DBSCAN dapat menangani data dengan *noise* atau *outlier* secara efektif, yang seringkali ada dalam data gempa bumi. Ini memastikan bahwa hanya data yang benar-benar relevan yang akan di*cluster*kan, sementara data yang tidak sesuai (*noise*) akan diidentifikasi dan dikeluarkan dari analisis [16]. Keunggulan lainnya adalah algoritma ini tidak memerlukan penentuan jumlah *cluster* sebelumnya, berbeda dengan metode seperti *K-Means*, sehingga lebih fleksibel dan adaptif terhadap data seismik yang dinamis dan kompleks [17].

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan *clustering* gempa bumi menggunakan algoritma DBSCAN untuk mengidentifikasi pola spasial dan persebaran gempa bumi di berbagai wilayah Indonesia dengan menggunakan data gempa bumi yang terjadi sejak tahun 2014-2023.

Data tersebut akan digunakan untuk mengelompokkan daerah rawan gempa bumi menggunakan algoritma DBSCAN dengan evaluasi kinerja melalui *Silhouette Score*. *Clustering* dengan DBSCAN dimulai dengan menentukan radius *epsilon* (ϵ) dan jumlah minimum titik (*MinPts*) untuk membentuk *cluster*, kemudian mengunjungi setiap titik, menghitung tetangga dalam radius ϵ , dan membentuk *cluster* berdasarkan densitas titik. *Silhouette Score* dihitung untuk mengevaluasi kualitas *cluster*, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan hasil yang lebih baik.

Dalam algoritma DBSCAN, penentuan parameter yang tepat sangat penting untuk mendapatkan hasil *clustering* yang optimal. Dua parameter utama dalam DBSCAN adalah *Epsilon* (ϵ) dan *Minimum Points* (*MinPts*). Penelitian ini akan menggunakan fungsi *grid search* untuk menentukan nilai *Epsilon* dan *MinPts* terbaik untuk melakukan *clustering*.

Informasi dari hasil penelitian nantinya sangat penting dalam pemahaman tentang aktivitas seismik di wilayah Indonesia, serta memberikan wawasan yang berharga dalam mitigasi risiko bencana gempa bumi di masa depan.

1.2 Perumusan Masalah

Dampak dari gempa bumi yang terjadi khususnya di Indonesia sangat luas, tidak hanya secara langsung berdampak pada kerusakan fisik dan korban jiwa, tetapi juga memiliki dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan yang signifikan. Prediksi gempa bumi merupakan bidang yang kompleks dan sampai sekarang belum bisa diprediksi secara akurat. Meski penelitian dan teknologi terus berkembang, akan tetapi saat ini belum ada metode yang dapat memberikan prediksi akurat untuk menentukan waktu, lokasi, dan magnitudo gempa bumi di suatu wilayah tertentu [19]. Pemahaman yang mendalam tentang pola dan distribusi gempa bumi dapat membantu menemukan prediksi yang lebih baik. Salah satu upaya untuk memetakan zona dan menemukan pola rawan gempa bumi berdasarkan kesamaan atribut dapat dilakukan dengan *clustering* atau pengelompokan data.

1.3 Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana performa algoritma DBSCAN berdasarkan *silhouette score* dalam melakukan *clustering* gempa bumi di Indonesia?
2. Bagaimana hasil *clustering* gempa bumi di Indonesia menggunakan algoritma DBSCAN berdasarkan magnitudo dan *depth*?

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengevaluasi seberapa baik performa algoritma DBSCAN berdasarkan *silhouette score* dalam melakukan *clustering* gempa bumi wilayah Indonesia.
2. Mengidentifikasi *cluster* wilayah rentan gempa bumi di Indonesia menggunakan algoritma DBSCAN berdasarkan variabel magnitudo dan *depth*.

1.5 Batasan Masalah

1. Mengidentifikasi *cluster* gempa bumi menggunakan algoritma DBSCAN berdasarkan magnitudo dan kedalaman gempa bumi yang terjadi di Indonesia.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gempa bumi dengan kekuatan magnitudo 2 – 10 dengan kedalaman maksimal 700 km di Indonesia tahun 2014–2023 dari website *United State Geological Survey* (USGS).

1.6 Manfaat Penelitian

1. Mengidentifikasi daerah-daerah yang rentan terhadap gempa bumi.
2. Perencanaan mitigasi bencana gempa bumi di Indonesia.
3. Meningkatkan tanggap darurat pemerintah terhadap gempa bumi di berbagai wilayah di Indonesia.