

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia karena berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Interaksi antarlempeng tersebut membentuk zona subduksi dan sistem sesar aktif yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia, sehingga kejadian gempa bumi menjadi bencana yang relatif sering terjadi dan berpotensi menimbulkan dampak signifikan terhadap keselamatan manusia dan infrastruktur. Kondisi ini menempatkan gempa bumi sebagai salah satu ancaman bencana utama yang memerlukan upaya mitigasi yang efektif dan berkelanjutan [1].

Salah satu pendekatan mitigasi bencana gempa bumi yang telah banyak dikembangkan adalah Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi (*Earthquake Early Warning System* / EEWS). EEWS dirancang untuk memberikan peringatan beberapa detik hingga puluhan detik sebelum guncangan kuat mencapai wilayah terdampak, dengan memanfaatkan perbedaan kecepatan rambat gelombang seismik. Waktu jeda singkat tersebut dapat digunakan oleh masyarakat untuk melakukan tindakan mitigasi awal, seperti mencari perlindungan atau menghentikan aktivitas berisiko tinggi [2].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa keberadaan EEWS dapat secara signifikan mengurangi risiko korban jiwa dan kerusakan apabila sistem dirancang dan diimplementasikan secara tepat [3]. Meskipun demikian, implementasi EEWS konvensional masih menghadapi berbagai keterbatasan. Sistem peringatan dini berbasis jaringan seismometer memerlukan infrastruktur sensor yang mahal, perawatan berkelanjutan, serta cakupan geografis yang luas agar dapat bekerja secara optimal. Keterbatasan jumlah sensor dan distribusinya sering menyebabkan wilayah tertentu memiliki latensi peringatan yang tinggi atau bahkan tidak terjangkau oleh sistem peringatan dini [4]. Selain itu, efektivitas EEWS sangat bergantung pada kemampuan sistem dalam menyampaikan informasi yang relevan dan kontekstual kepada pengguna, bukan sekadar menyampaikan informasi kejadian gempa secara umum [5].

Seiring dengan perkembangan teknologi komputasi bergerak, pendekatan sistem peringatan dini berbasis *mobile* mulai banyak dikembangkan sebagai solusi alternatif. *Smartphone* modern telah dilengkapi dengan sensor, modul GPS, serta kemampuan komunikasi *real-time* yang memungkinkan perangkat tersebut berperan sebagai media distribusi peringatan dini yang luas dan cepat. Beberapa sistem bahkan memanfaatkan

Smartphone sebagai bagian dari jaringan sensor berbasis *crowdsourcing*, seperti yang diterapkan pada sistem MyShake [6].

Pendekatan ini menawarkan keunggulan dari sisi skalabilitas dan jangkauan, namun masih menghadapi tantangan dalam hal akurasi, validitas peringatan, serta potensi *false alarm*. Berbagai aplikasi peringatan gempa yang telah ada menunjukkan bahwa masih terdapat celah dalam penyampaian informasi kepada pengguna. Aplikasi GENTA, misalnya, mewajibkan pengguna untuk melakukan proses login, padahal dalam kondisi darurat sistem peringatan dini seharusnya dapat diakses langsung hanya dengan mengaktifkan layanan lokasi. Aplikasi WRS-BMKG cenderung menggunakan radius peringatan yang terlalu luas, sehingga gempa dengan jarak yang sangat jauh dari pengguna tetap memicu notifikasi dan berpotensi menimbulkan kepanikan yang tidak perlu. Sementara itu, sistem MyShake hanya memberikan layanan EEWs penuh pada wilayah tertentu seperti California, Oregon, dan Washington, sedangkan pengguna di wilayah lain hanya memperoleh informasi gempa tanpa notifikasi peringatan dini [7].

Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem peringatan dini yang ada belum sepenuhnya adaptif terhadap konteks lokasi dan tingkat risiko yang dihadapi pengguna. Salah satu aspek penting yang belum banyak dioptimalkan dalam sistem peringatan dini adalah pemanfaatan data historis gempa bumi untuk mengklasifikasikan tingkat risiko secara cerdas dan adaptif. Data historis gempa bumi mengandung karakteristik seismik yang kompleks sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi pola tingkat risiko melalui proses *Clustering*. Pendekatan ini memungkinkan sistem tidak hanya menyampaikan informasi kejadian gempa, tetapi juga memberikan konteks tingkat risiko dan rekomendasi mitigasi yang sesuai [8].

Sebagian penelitian terdahulu menggunakan metode *Clustering* konvensional seperti K-Means untuk mengelompokkan data gempa berdasarkan parameter seismik tertentu. Meskipun relatif sederhana dan efisien, metode K-Means memiliki keterbatasan dalam menangkap hubungan nonlinier dan struktur laten yang kompleks pada data gempa bumi. Ketergantungan pada inisialisasi centroid dan asumsi distribusi kluster berbentuk bulat menyebabkan hasil *Clustering* sering kali kurang stabil dan kurang representatif terhadap pola sebenarnya pada data berdimensi tinggi [9]. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, pendekatan *Deep Embedded Clustering* (DEC) mulai banyak dikembangkan dalam penelitian terkini. DEC menggabungkan kemampuan *representation learning* dari *deep neural network* dengan proses *Clustering* secara *end-to-end*, sehingga mampu mempelajari representasi [10].

Dalam konteks data gempa bumi yang bersifat multidimensi dan memiliki pola spasial-temporal yang kompleks, DEC menjadi alternatif yang menjanjikan untuk meningkatkan kualitas pengelompokan tingkat risiko gempa. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini

difokuskan pada pengembangan sistem peringatan dini gempa bumi berbasis *mobile* dengan memanfaatkan metode *Deep Embedded Clustering* (DEC) untuk mengelompokkan tingkat risiko gempa bumi berdasarkan data historis berdasarkan karakteristik magnitudo dan kedalaman. Sistem yang dikembangkan menggunakan arsitektur *client-server*, dengan aplikasi *mobile* sebagai media penyampaian informasi kepada pengguna, *backend* Laravel sebagai pengelola layanan dan data, basis data MySQL sebagai media penyimpanan, *Firebase Cloud Messaging* (FCM) sebagai mekanisme pengiriman notifikasi, serta data gempa bumi dari BMKG sebagai sumber informasi utama. Hasil pengelompokan menggunakan *Deep Embedded Clustering* (DEC) dimanfaatkan sebagai dasar penentuan tingkat risiko gempa bumi yang kemudian digunakan oleh sistem dalam memberikan status aman, waspada, atau siaga kepada pengguna berdasarkan karakteristik magnitudo dan kedalaman gempa serta lokasi pengguna.

Dengan mengintegrasikan hasil *Clustering* berbasis *Deep Embedded Clustering* (DEC) ke dalam mekanisme notifikasi berbasis lokasi, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan informasi gempa yang lebih adaptif sesuai tingkat risiko dan lokasi pengguna. Selain meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif penerapan metode pembelajaran mendalam pada pengembangan sistem mitigasi bencana berbasis *mobile*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat diidentifikasi bahwa meskipun telah tersedia berbagai aplikasi dan sistem peringatan dini gempa bumi, masih terdapat keterbatasan dalam penyampaian informasi yang bersifat kontekstual, adaptif terhadap lokasi pengguna, serta memanfaatkan analisis data secara mendalam. Oleh karena itu, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem peringatan dini gempa bumi berbasis *mobile* yang terintegrasi dengan layanan *backend* sehingga mampu menyampaikan informasi gempa secara cepat dan mudah diakses oleh pengguna?
2. Bagaimana menerapkan metode *Deep Embedded Clustering* (DEC) untuk mengelompokkan tingkat risiko gempa bumi berdasarkan data historis sehingga mampu menghasilkan pengelompokan tingkat risiko gempa bumi yang sesuai?
3. Bagaimana mengintegrasikan hasil *Clustering* tingkat risiko dengan mekanisme notifikasi berbasis lokasi sehingga informasi yang diterima pengguna menjadi lebih relevan sesuai kondisi wilayahnya?

4. Bagaimana mengevaluasi implementasi aplikasi SiGempa menggunakan metode *Black Box Testing* untuk mengetahui kesesuaian fungsi-fungsi sistem dengan kebutuhan fungsional?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi sistem peringatan dini gempa bumi berbasis *mobile* yang mampu melengkapi keterbatasan sistem dan aplikasi peringatan dini yang telah ada. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem peringatan dini gempa bumi berbasis *mobile* yang terintegrasi dengan layanan *backend* sehingga mampu menyampaikan informasi gempa secara cepat dan mudah diakses oleh pengguna.
2. Menerapkan metode *Deep Embedded Clustering* (DEC) untuk mengelompokkan tingkat risiko gempa bumi berdasarkan data historis sehingga menghasilkan pengelompokan tingkat risiko gempa bumi yang sesuai.
3. Mengintegrasikan hasil *Clustering* tingkat risiko gempa dengan mekanisme notifikasi berbasis lokasi sehingga informasi yang diterima pengguna menjadi lebih relevan sesuai kondisi wilayahnya.
4. Mengevaluasi implementasi aplikasi SiGempa menggunakan metode *Black Box Testing*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara akademik maupun praktis, antara lain:

1. Memberikan kontribusi akademik dalam pengembangan sistem peringatan dini gempa bumi melalui penerapan metode *Deep Embedded Clustering* (DEC) untuk pengelompokan tingkat risiko gempa berdasarkan data historis.
2. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pemanfaatan metode *deep learning* dan *unsupervised learning*, khususnya *Deep Embedded Clustering* (DEC), dalam bidang mitigasi bencana dan sistem peringatan dini gempa bumi.
3. Menghasilkan sistem peringatan dini gempa bumi berbasis *mobile* yang mampu menyampaikan informasi gempa secara lebih adaptif berdasarkan tingkat risiko hasil *Clustering* dan lokasi pengguna.
4. Mendukung penyampaian informasi gempa melalui mekanisme notifikasi berbasis lokasi sehingga pengguna memperoleh informasi sesuai dengan kondisi wilayahnya.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan ruang lingkup penelitian agar tetap terarah, maka penelitian ini dibatasi pada beberapa aspek sebagai berikut:

1. Data gempa bumi yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), meliputi data historis gempa bumi sebagai data pelatihan metode *Deep Embedded Clustering* (DEC) dan data gempa terbaru sebagai data operasional sistem.
2. Parameter yang digunakan dalam proses *Clustering* dibatasi pada magnitudo dan kedalaman gempa. Adapun data lintang dan bujur tidak digunakan sebagai fitur *Clustering*, melainkan digunakan untuk menghitung jarak antara lokasi pengguna dengan titik pusat gempa.
3. Metode yang digunakan untuk pengelompokan tingkat risiko gempa bumi adalah *Deep Embedded Clustering* (DEC).
4. Tingkat risiko gempa bumi pada sistem dibagi menjadi tiga kategori, yaitu aman, waspada, dan siaga, yang diperoleh berdasarkan hasil *Clustering* dan pemetaan kluster terhadap tingkat risiko.
5. Sistem yang dikembangkan berupa aplikasi peringatan dini gempa bumi berbasis *mobile* yang didukung oleh sistem *backend* untuk pengelolaan data gempa, penentuan status risiko, penyediaan layanan API, dan pengiriman notifikasi kepada pengguna.
6. Notifikasi peringatan pada sistem diberikan berdasarkan radius lokasi pengguna terhadap titik gempa. Sistem tidak membahas prediksi waktu terjadinya gempa bumi maupun deteksi gelombang seismik secara langsung.
7. Evaluasi implementasi aplikasi dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing* untuk menguji kesesuaian fungsi-fungsi sistem terhadap kebutuhan fungsional.

