

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia, dengan lebih dari 130 gunung berapi aktif, merupakan salah satu negara yang paling terdampak oleh aktivitas vulkanik dan gempa bumi. Kondisi geologis ini disebabkan oleh interaksi kompleks antara lempeng tektonik yang membentuk kawasan Pasifik, termasuk zona subduksi dan kolisi, yang menyebabkan ancaman bencana alam seperti letusan gunung berapi sering terjadi. Secara spesifik, letusan Gunung Sinabung adalah contoh perilaku vulkanik yang telah menambah tantangan bagi pemerintah dan masyarakat setempat (Arisalwadi et al. 2024; Syahbana et al. 2019)..

Gunung Sinabung di Sumatra Utara juga menunjukkan peningkatan aktivitas sejak tahun 2013, dengan analisis seismik dilakukan untuk menentukan distribusi hiposenter dari gempa vulkanik, terutama pada tahun 2021 (Arisalwadi et al. 2024). Pemantauan seismik diperlukan untuk mengidentifikasi pola aktivitas vulkanik yang relevan bagi peringatan dini. Meskipun ada kemajuan dalam pemahaman tentang gempa bumi dan letusan (Hutchings and Mooney 2021), tantangan dalam memprediksi waktu dan intensitas letusan tetap menjadi isu yang belum sepenuhnya (Arrais, Urquiza-Aguiar, and Tripp-Barba 2022).

Pada tahun 2022, panduan untuk operasi observatorium gunung berapi selama krisis dikeluarkan, memberikan rekomendasi untuk penanganan yang lebih baik dalam situasi kritis (Lowenstern et al. 2022). Pertemuan tersebut merangkum pengalaman dari berbagai kasus sebelumnya, menunjukkan bahwa perhatian lebih besar pada komunikasi antara ilmuwan, pemerintah, dan masyarakat sangat penting. Temuan tersebut menegaskan pentingnya sistem pemantauan yang mampu mengidentifikasi perubahan aktivitas seismik secara cepat dan akurat (Arrais et al. 2022).

Beberapa letusan besar pada sistem vulkanik aktif diketahui tidak menunjukkan prekursor seismik yang jelas, sehingga meningkatkan ketidakpastian dalam pemantauan dan peringatan dini (Pesicek, Ogburn, and Prejean 2021). Oleh karena itu, penekanan lebih lanjut dalam mencari indikator dan metode peringatan dini sangat mendesak. Sensor dan sistem pemantauan yang efektif saat ini sangat penting, karena informasi yang tepat waktu dan akurat dapat menyelamatkan jiwa dan mengurangi kerugian (Arrais et al. 2022).

Tantangan komunikasi dalam situasi darurat seringkali menjadi hambatan terbesar dalam manajemen krisis. Berdasarkan temuan pada letusan sebelumnya, penting untuk meningkatkan jaringan informasi serta ketersediaannya untuk meningkatkan kesadaran publik dan respons dalam waktu (Arrais et al. 2022). Ini penting karena pemahaman yang lebih baik tentang ancaman vulkanik dan seismik dapat meningkatkan ketahanan komunitas terhadap bencana.

Secara keseluruhan, pengetahuan yang dihasilkan dari studi tentang aktivitas vulkanik di Indonesia menunjukkan bahwa meskipun ada sistem pemantauan yang semakin baik, masih banyak pekerjaan yang harus dilakukan dalam pengumpulan dan distribusi informasi. Integrasi teknologi baru dalam pemantauan vulkanik dan penguatan komunikasi di antara masyarakat, pemerintah, dan lembaga penelitian akan sangat penting ke depan. Pendekatan multidisiplin yang melibatkan ahli geologi, seismolog, dan penanganan bencana juga harus menjadi bagian dari strategi mitigasi risiko bencana untuk mengurangi dampak sosial dan ekonomi yang diakibatkan oleh aktivitas vulkanik yang tinggi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang di atas maka masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan pra-pemrosesan data seismik Gunung Sinabung agar dapat digunakan sebagai masukan dalam proses ekstraksi fitur dan pemodelan *Deep Learning*?

2. Bagaimana merancang dan melatih model CNN *AutoEncoder* untuk mengekstraksi representasi fitur laten dari data seismik Gunung Sinabung serta mengelompokkan *Event* gempa berdasarkan kemiripan karakteristik sinyal menggunakan algoritma *K-Means* ?
3. Bagaimana mengevaluasi kualitas hasil pengelompokan *Event* gempa menggunakan metrik *Silhouette Score*, *Davies-Bouldin Index*, dan *Calinski-Harabasz Index*?

C. Tujuan Penelitian

1. Melakukan pra-pemrosesan data seismik Gunung Sinabung agar siap digunakan dalam proses ekstraksi fitur dan pemodelan *Deep Learning*.
2. Merancang dan melatih model CNN *AutoEncoder* untuk memperoleh representasi fitur laten dari data seismik Gunung Sinabung serta mengelompokkan *Event* gempa menggunakan algoritma *K-Means* .
3. Mengevaluasi kualitas hasil pengelompokan *Event* gempa menggunakan metrik *Silhouette Score*, *Davies-Bouldin Index*, dan *Calinski-Harabasz Index*.

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

1. Menambah referensi ilmiah di bidang seismologi dan penerapan *Deep Learning* pada klasifikasi sinyal gempa.
2. Menjadi dasar penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengembangan model kecerdasan buatan untuk deteksi dan klasifikasi aktivitas vulkanik.

2. Manfaat Praktis

1. Memberikan sistem klasifikasi gempa otomatis yang dapat membantu pihak terkait, seperti BRIN, dalam mempercepat identifikasi jenis gempa.

2. Mendukung proses mitigasi bencana dengan menyediakan informasi yang lebih cepat dan akurat terkait aktivitas vulkanik.
3. Membantu pengembangan teknologi monitoring gunung api secara *real time* dengan memanfaatkan kecerdasan buatan.

E. Pembatasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian dan efektivitas pelaksanaannya, maka penelitian ini dibatasi pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Data yang digunakan berasal dari rekaman sinyal seismik Gunung Sinabung yang telah melalui proses deteksi dan segmentasi *Event* menggunakan metode *Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA)*.
2. Penelitian ini menggunakan representasi sinyal berupa *Spectrogram*, *Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)*, *Waveform*, dan *FFT Spectral* yang digabungkan menjadi dataset multikanal sebagai masukan model *CNN AutoEncoder*.
3. Penelitian ini berfokus pada ekstraksi fitur laten menggunakan *CNN AutoEncoder* dan pengelompokan *Event* gempa menggunakan algoritma *K-Means* tanpa menggunakan label jenis gempa sebagai acuan pelatihan model.