

ABSTRAK

Klasifikasi sinyal gempa vulkanik merupakan komponen penting dalam sistem pemantauan aktivitas gunung api karena setiap tipe gempa merepresentasikan proses fisik yang berbeda di bawah permukaan. Namun, pendekatan konvensional berbasis fitur manual masih memiliki keterbatasan dalam menangkap kompleksitas sinyal seismik yang bersifat tidak stasioner dan bising. Penelitian ini mengusulkan penerapan Convolutional Autoencoder (CAE) dengan multi-domain loss untuk mengekstraksi fitur seismik secara otomatis, yang selanjutnya diklasifikasikan menggunakan XGBoost. Multi-domain loss mengombinasikan informasi domain waktu dan domain frekuensi untuk mempertahankan karakteristik bentuk gelombang serta distribusi energi sinyal secara simultan. Eksperimen dilakukan menggunakan data seismik hasil pemantauan Gunung Merapi yang diperoleh dari BPPTKG pada periode September 2025, dengan tiga kelas gempa, yaitu Multiphase (MP), Rockfall, dan Volcano-Tectonic (VTB). Hasil pengujian menunjukkan bahwa model XGBoost berbasis fitur manual memperoleh akurasi sebesar 90,04%, sedangkan penerapan CAE dengan optimasi MSE meningkatkan akurasi menjadi 93,42%. Performa terbaik dicapai oleh model CAE-XGBoost dengan multi-domain loss, dengan akurasi sebesar 98,04%, disertai peningkatan nilai precision, recall, dan F1-score yang lebih seimbang pada seluruh kelas. Visualisasi t-SNE juga menunjukkan pemisahan kluster yang lebih jelas pada representasi fitur laten. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi informasi domain waktu dan frekuensi mampu meningkatkan separabilitas fitur dan kinerja klasifikasi sinyal gempa vulkanik secara signifikan.

Kata kunci: gempa vulkanik, convolutional autoencoder, multi-domain loss, ekstraksi fitur, XGBoost

ABSTRACT

Volcanic earthquake classification plays a crucial role in monitoring volcanic activity, as each seismic event type represents different physical processes beneath the surface. However, conventional approaches based on handcrafted features remain limited in capturing the complexity of non-stationary and noisy seismic signals. This study proposes the use of a Convolutional Autoencoder (CAE) with a multi-domain loss for automatic seismic feature extraction, followed by classification using XGBoost. The multi-domain loss combines time-domain and frequency-domain information to preserve waveform characteristics and energy distribution simultaneously. Experiments were conducted using seismic monitoring data from Mount Merapi, obtained from BPPTKG during September 2025, involving three earthquake classes: Multiphase (MP), Rockfall, and Volcano-Tectonic (VTB). Experimental results show that the baseline XGBoost model using handcrafted features achieved an accuracy of 90.04%, while applying CAE with MSE optimization improved the accuracy to 93.42%. The best performance was achieved by the CAE-XGBoost model with multi-domain loss, reaching an accuracy of 98.04%, along with more balanced precision, recall, and F1-score across all classes. Furthermore, t-SNE visualization demonstrates clearer cluster separation in the latent feature space. These results indicate that integrating time-domain and frequency-domain information significantly enhances feature separability and overall performance in volcanic earthquake classification.

Keywords: volcanic earthquake, convolutional autoencoder, multi-domain loss, feature extraction, XGBoost