

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara yang terletak di kawasan Cincin Api Pasifik, merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas gempa bumi tertinggi di dunia [1]. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), pada tahun 2024 mencatat peningkatan aktivitas seismik di wilayah Indonesia dengan total 12.000 kejadian, angka tersebut menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Pulau Jawa merupakan salah wilayah dengan risiko gempa tinggi. Letak geografis Pulau Jawa yang dekat dengan sumber-sumber penyebab gempa bumi, seperti subduksi lempeng Eurasia, Indo-Australia di selatan Pulau Jawa dan keberadaan sesar Kendeng, meningkatkan potensi terjadinya gempa bumi [2]. Aktivitas subduksi di kawasan ini berpotensi memicu gempa bumi dengan magnitudo besar atau megathrust, yang dapat melepaskan energi dalam jumlah besar dan menyebabkan kerusakan luas [3].

Selain faktor geologi tersebut, Pulau Jawa merupakan wilayah dengan kepadatan penduduk tertinggi di Indonesia dan pusat aktivitas ekonomi. Berdasarkan informasi dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), kepadatan penduduk yang tinggi dan sebaran sesar aktif di Pulau Jawa menjadikan wilayah ini sangat rentan terhadap dampak gempa bumi. Kondisi tersebut menyebabkan apabila terjadi gempa bumi, risiko kerusakan dan korban jiwa menjadi sangat besar karena banyaknya bangunan dan fasilitas yang terdampak serta banyaknya orang yang berada di wilayah tersebut. Selain itu, tidak semua bangunan di wilayah padat penduduk ini dibangun dengan standar tahan gempa, sehingga potensi kerusakan semakin tinggi. Oleh karena itu, menganalisis dan memprediksi gempa bumi di Pulau Jawa menjadi sangat penting dan relevan sebagai fokus penelitian untuk mendukung upaya mitigasi dan kesiapsiagaan masyarakat.

Untuk memahami potensi dan karakteristik gempa bumi di wilayah ini, salah satu parameter penting yang digunakan adalah *b-value*, yang merupakan hasil dari hukum distribusi *Gutenberg-Richter* yang menggambarkan hubungan antara frekuensi dan magnitudo gempa bumi dalam suatu wilayah. *B-value* memberikan wawasan mengenai kondisi seismotektonik, di mana *b-value* yang lebih rendah menunjukkan

dominasi gempa besar yang dapat berpotensi menyebabkan kerusakan signifikan, sementara *b-value* yang lebih tinggi mencerminkan lebih banyaknya gempa kecil dengan dampak yang relatif lebih ringan [4]. Oleh karena itu, prediksi *b-value* menjadi kunci dalam memetakan potensi dan karakteristik gempa bumi di masa depan.

Salah satu pendekatan untuk memprediksi *b-value* tersebut dapat melalui penerapan metode kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). Metode ini memungkinkan analisis data seismik untuk mengidentifikasi pola-pola yang sulit ditangkap oleh analisis konvensional [2]. Dengan memanfaatkan data historis *b-value* sebagai parameter seismik, metode kecerdasan buatan seperti *Deep Learning* dapat digunakan untuk membangun model prediksi yang akurat. *Deep Learning* berfokus pada identifikasi pola yang lebih dalam dan kompleks dari data besar dan terstruktur [5].

Penelitian yang dilakukan oleh Basuki Rahmat et al (2020). untuk memprediksi *b-value* sebagai prekursor gempa bumi menggunakan metode *Deep Learning* dan *Extreme Learning Machine* (ELM). Membuktikan bahwa metode *Deep Learning* memiliki akurasi lebih tinggi dalam proses training (99.78%) dibandingkan ELM (98.17%), namun dalam pengujian, ELM sedikit lebih unggul dengan akurasi 85.92% dibandingkan *Deep Learning* yang mencapai 85.82%. Kesimpulannya, meskipun *Deep Learning* membutuhkan lebih banyak iterasi (10.000 kali) dibandingkan ELM (1 kali iterasi), metode ini tetap lebih unggul dalam menangkap pola kompleks *b-value* dalam jangka panjang.

Penelitian Berhich et al. (2022) mengusulkan pendekatan prediksi gempa bumi berbasis lokasi menggunakan algoritma *Recurrent Neural Network* (RNN), khususnya LSTM, GRU, dan model hibrida LSTM-GRU. Studi ini memperkenalkan metode klusterisasi geografis dengan algoritma *K-Means* untuk membagi data seismik berdasarkan parameter lokasi (*latitude* dan *longitude*), yang kemudian dipecah lagi menjadi dua *subset* berdasarkan magnitudo (menengah dan besar). Dengan fokus pada wilayah Maroko, Jepang, dan Turki, model *deep learning* ini terbukti mampu mempelajari pola seismik lokal secara lebih efektif. GRU menunjukkan keunggulan dalam hal efisiensi komputasi dibandingkan LSTM dengan peningkatan kinerja mencapai sekitar 7% dalam hal akurasi prediksi waktu dan magnitudo gempa besar,

Berdasarkan penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa metode berbasis *deep learning*, khususnya yang menggunakan arsitektur RNN seperti GRU,

menunjukkan potensi tinggi dalam memprediksi parameter gempa bumi, baik dari sisi prekursor seperti *b-value* maupun lokasi, waktu, dan magnitudo kejadian gempa. Meskipun metode seperti *Extreme Learning Machine* (ELM) dapat memberikan akurasi yang kompetitif dalam pengujian dengan efisiensi iterasi yang lebih tinggi, *deep learning* unggul dalam menangkap pola kompleks dan memberikan akurasi lebih tinggi dalam proses pelatihan. Dengan demikian, integrasi metode *deep learning*, terutama GRU, memberikan keunggulan dalam akurasi jangka panjang dan adaptabilitas terhadap data seismik yang kompleks.

Meskipun *Deep Learning* telah terbukti efektif dalam menangani kompleksitas data seismik dan memberikan hasil yang akurat, masih terdapat ruang untuk meningkatkan performa metode ini, terutama dalam hal optimasi *hyperparameter*. Dalam penelitian ini akan memanfaatkan *Particle Swarm Optimization* (PSO) sebagai optimasi untuk meningkatkan *Deep Learning* dalam memprediksi *b-value* sebagai parameter seismik. PSO dipilih karena kemampuannya dalam mencari solusi optimal secara efisien pada ruang parameter yang kompleks [6]. Pada *Deep Learning*, PSO akan diimplementasikan untuk mengoptimalkan *hyperparameter* seperti *learning rate* dan *dropout rate* yang berkontribusi pada performa model. Hasil prediksi dari kedua metode akan dievaluasi menggunakan metrik *error* seperti *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Square Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk menilai tingkat akurasi dan keandalannya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem prediksi *b-value* menggunakan pendekatan berbasis *Deep Learning* dengan optimasi PSO. Fokus utama penelitian adalah menguji kinerja metode dalam memprediksi *b-value*. Selain itu, optimasi parameter menggunakan PSO diterapkan untuk meningkatkan akurasi prediksi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam memahami karakteristik gempa bumi, sekaligus mendukung upaya mitigasi risiko bencana secara lebih efektif dan akurat.

1.2. Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang dari penyusunan penelitian ini, penulis merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pengembangan model *Deep Learning* dengan arsitektur *Gated Recurrent Unit* (GRU) dalam memprediksi nilai *b-value*?

2. Bagaimana penerapan optimasi *hyperparameter* dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam meningkatkan performa model *Deep Learning* dalam memprediksi *b-value*?
3. Bagaimana pengaruh optimasi *hyperparameter* dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO) terhadap akurasi prediksi *b-value* pada model *Deep Learning*?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan persamaan masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang model prediksi *b-value* sebagai parameter seismik menggunakan metode *Deep Learning* berbasis GRU.
2. Menerapkan *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk optimasi *hyperparameter* pada model *deep learning*.
3. Mengevaluasi performa model prediksi sebelum dan sesudah optimasi, berdasarkan indikator *Mean Square Error* (MSE), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, penelitian ini membantu peneliti dalam memperluas wawasan dalam penerapan kecerdasan buatan, khususnya metode *Deep Learning* berbasis GRU yang dioptimasi menggunakan PSO, dalam prediksi parameter seismik *b-value*. Selain itu, peneliti dapat meningkatkan keterampilan teknis dalam pengembangan model prediktif, optimasi *hyperparameter*, serta evaluasi performa menggunakan metrik seperti MSE, RMSE, dan MAPE. Penelitian ini juga menjadi pengalaman berharga dalam mengetahui proses sebelum dan sesudah optimasi, sehingga dapat memperdalam pemahaman terhadap kelebihan dan kekurangan masing-masing metode dalam menangani data seismik.
2. Bagi pembaca, hasil dari penelitian ini akan memberikan wawasan mengenai penerapan *Deep Learning* berbasis GRU dalam analisis data seismik, khususnya untuk prediksi *b-value*. Penelitian ini juga menjelaskan pentingnya optimasi *hyperparameter* menggunakan PSO dalam meningkatkan akurasi

model prediksi. Selain menjadi referensi ilmiah, penelitian ini diharapkan dapat menginspirasi pembaca untuk mengeksplorasi lebih lanjut aplikasi kecerdasan buatan dalam berbagai bidang, khususnya mitigasi bencana alam.

3. Bagi masyarakat dan BMKG, penelitian ini menyediakan solusi prediksi *b-value* yang lebih akurat dan andal. Model prediksi yang dikembangkan diharapkan dapat membantu BMKG dalam meningkatkan kemampuan sistem pemantauan gempa bumi, terutama di wilayah Pulau Jawa. Informasi yang dihasilkan dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat dalam mitigasi risiko bencana. Secara tidak langsung, penelitian ini juga berkontribusi dalam meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap potensi bahaya gempa bumi, sehingga membantu mengurangi dampak kerugian yang ditimbulkan.

1.5. Batasan Masalah

1. **Dataset:** Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Badan Meteorologi Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), yang mencakup catatan gempa bumi di wilayah Pulau Jawa dari tahun 1962 hingga 2024, dengan magnitudo berkisar antara 3 hingga 9 *Skala Richter* (SR) dan kedalaman antara 5 km hingga 300 km.
2. **Lokasi Penelitian:** Penelitian hanya dilakukan untuk memprediksi *b-value* wilayah Pulau Jawa dengan mencakup batas 103.005° BT - 127.992° (BT) dan 12.955° - 3.026° (LS).
3. **Metode:** Penelitian ini menggunakan *Deep Learning* dengan algoritma *Gated Recurrent Unit* (GRU) untuk memprediksi *b-value* gempa bumi, yang selanjutnya dioptimasi dengan menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO).
4. **Penggunaan PSO:** Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) hanya digunakan untuk mengoptimasi *hyperparameter* pada model *Deep Learning*, yaitu jumlah unit pada *layer* GRU, *learning rate*, dan *dropout rate*.
5. **Evaluasi Model:** Model dievaluasi menggunakan metrik MSE, RMSE, dan MAPE untuk membandingkan kinerja model sebelum dan sesudah optimasi PSO.

Halaman ini sengaja dikosongkan