

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia adalah gempa bumi[1]. Kerugian yang diakibatkan tidak hanya bersifat material berupa kerusakan fisik pada infrastruktur, bangunan, dan lahan pertanian, tetapi juga berdampak pada aspek imaterial seperti trauma psikologis masyarakat, gangguan sosial, dan kerugian ekonomi akibat terhentinya aktivitas kehidupan sehari-hari dan roda perekonomian[2]. Berdasarkan Gambar 1.1, jumlah kejadian gempa bumi merusak di Indonesia menunjukkan tren peningkatan dari waktu ke waktu. Data Badan Geologi hingga September 2025 mencatat sebanyak 33 kejadian gempa bumi merusak, yang merupakan jumlah tertinggi sepanjang periode pengamatan (Gambar 1.1). Dari total kejadian tersebut, enam gempa terjadi di wilayah Jawa Barat, yang juga pada tahun 2023 dan 2024 tercatat sebagai wilayah dengan jumlah kejadian gempa bumi merusak tertinggi dibandingkan daerah lainnya[3].



Gambar 1. 1 Grafik sebaran kejadian gempa bumi merusak di Indonesia
Sumber : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi (2025)

Dengan mempertimbangkan besarnya dampak gempa bumi di Indonesia, upaya mitigasi bencana menjadi prioritas utama yang harus diperhatikan dengan serius oleh pemerintah dan masyarakat[4]. Oleh karena itu, prediksi magnitudo gempa bumi yang akurat dan tepat waktu tidak hanya menjadi tujuan akademis, tetapi juga merupakan bagian penting dalam strategi pengurangan risiko bencana (PRB) nasional[3]. Prediksi yang andal dapat mendukung penerapan langkah-langkah proaktif, seperti penyediaan sistem peringatan dini, perencanaan evakuasi yang lebih efektif, penguatan infrastruktur di wilayah rawan gempa, serta pengalokasian sumber daya yang lebih tepat sasaran.

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi *big data* dan pembelajaran mesin (*machine learning*) membuka peluang signifikan dalam meningkatkan akurasi prediksi gempa bumi[5]. Model pembelajaran mesin memiliki kemampuan yang semakin baik dalam mengolah data gempa bumi yang bersifat spasial dan temporal secara bersamaan. Berbeda dengan pendekatan tradisional yang cenderung bergantung pada analisis statistik historis atau model fisik-geologis, model ini lebih mampu menangkap pola yang kompleks dan hubungan non-linier dalam data, sehingga memberikan potensi yang lebih besar untuk menghasilkan prediksi yang lebih akurat[6].

Salah satu kemajuan penting dalam bidang ini adalah pengembangan model *Long Short-Term Memory* (LSTM), yang telah menunjukkan potensi besar dalam memprediksi gempa bumi[7]. *Long Short-Term Memory* (LSTM) memiliki keunggulan dibandingkan *Recurrent Neural Network* (RNN) dalam menangani pola temporal yang kompleks, khususnya dalam memodelkan ketergantungan jangka panjang pada data runtun waktu seperti data gempa bumi[8]. Lalu pada studi komparatif di Jepang [9] yang membandingkan LSTM dan *Bidirectional LSTM* (Bi-LSTM) menemukan bahwa model LSTM lebih unggul dalam metrik spesifikasi dan AUC dengan

akurasi mencapai 76%, menegaskan efektivitas dan kesederhanaan LSTM sebagai pilihan utama untuk prediksi kejadian gempa.

Namun demikian, penelitian [8] juga menyoroti bahwa LSTM dasar masih memiliki keterbatasan, terutama ketika diterapkan pada dataset dengan pola yang relatif sederhana. Pada kondisi tersebut, performa LSTM tidak selalu lebih baik dibandingkan RNN, bahkan dalam beberapa kasus menunjukkan kinerja yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa LSTM tidak selalu menjadi pilihan optimal tanpa adanya pengembangan arsitektur atau penerapan teknik tambahan.

Sebagai upaya untuk meningkatkan kemampuan LSTM, terdapat penelitian yang mengintegrasikan *attention mechanism* guna membantu model fokus pada bagian data yang dianggap paling relevan. Meskipun pendekatan LSTM dengan *attention mechanism* terbukti mampu meningkatkan performa pada penelitian [7] mengungkapkan bahwa penggunaan *attention mechanism* juga memiliki risiko, yaitu model menjadi terlalu bergantung pada *attention* dan mengabaikan kemampuan memori LSTM dalam menangkap ketergantungan jangka panjang. Kondisi ini menunjukkan adanya potensi *over-reliance* terhadap *attention mechanism*.

Berdasarkan berbagai keterbatasan yang ditemukan pada pendekatan LSTM konvensional maupun LSTM dengan *attention mechanism*, penelitian ini berupaya mengembangkan model prediksi gempa bumi berbasis LSTM yang diperkuat dengan *attention mechanism* dan *residual connection* untuk mengintegrasikan data spasial dan temporal secara simultan. *Attention mechanism* digunakan untuk membantu model memfokuskan pembelajaran pada informasi temporal yang paling relevan, sementara *residual connection* berperan penting dalam menjaga stabilitas gradien, mengurangi risiko degradasi kinerja pada jaringan yang lebih dalam, serta mencegah ketergantungan berlebihan pada satu komponen pembelajaran tertentu. Kombinasi kedua pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan ketahanan, stabilitas pelatihan, dan akurasi prediksi pada data seismik yang kompleks dan bervariasi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan model prediksi magnitudo

gempa bumi yang lebih adaptif dan sesuai dengan karakteristik seismik di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, Adapun rumusan masalah penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang model pengembangan berbasis *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk memprediksi magnitudo gempa bumi dengan menggunakan data registri kejadian gempa bumi di Indonesia berdasarkan data spasial-temporal?
2. Bagaimana menerapkan mekanisme peningkatan performa, seperti *attention mechanism* dan *residual connection*, dalam arsitektur LSTM untuk meningkatkan stabilitas serta keandalan prediksi?
3. Bagaimana pengaruh penerapan *hyperparameter tuning* terhadap kinerja prediksi pada model LSTM yang dikembangkan?
4. Sejauh mana tingkat akurasi model pengembangan berbasis LSTM, dengan penerapan mekanisme tambahan, lebih unggul dibandingkan *baseline* LSTM dalam memprediksi magnitudo gempa bumi di berbagai wilayah Indonesia?

1.3 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan yang ditetapkan supaya penelitian tetap fokus pada permasalahan yang diteliti seperti :

1. Penelitian ini menggunakan algoritma *Long Short-Term Memory* (LSTM) sebagai metode utama dalam perancangan model prediksi.
2. Dataset yang digunakan merupakan data historis gempa bumi di Indonesia yang diperoleh dari Kaggle.com, dengan rentang waktu 2024-2025.
3. Dataset terdiri atas 21.431 baris data mentah; setelah proses pembersihan data dan pembuangan outlier jumlah data yang digunakan untuk pemodelan menjadi 17.514 baris.

4. Metode evaluasi yang diterapkan dalam pengujian model meliputi *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Squared Error* (MSE), dan *Root Mean Squared Error* (RMSE).

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan hasil penjabaran rumusan masalah diatas, berikut ini merupakan tujuan dari penelitian :

1. Menganalisis kinerja model dasar LSTM dengan memanfaatkan data spasial-temporal dalam peramalan gempa bumi di Indonesia.
2. Mengimplementasikan model LSTM dengan mekanisme spasial-temporal *attention* dan *residual connection* untuk meningkatkan akurasi prediksi gempa bumi di Indonesia.
3. Mengkaji pengaruh *hyperparameter tuning* terhadap kinerja model LSTM dengan spasial-temporal *attention* dan *residual connection*.
4. Membandingkan hasil prediksi dari berbagai pendekatan model LSTM yang digunakan untuk memperoleh model dengan performa terbaik.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat yang dapat memberikan dampak positif. Berikut beberapa manfaat dari penelitian:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan keilmuan di bidang sistem informasi, *data mining*, dan *deep learning*, khususnya dalam penerapan model *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk prediksi bencana alam berbasis data spasial-temporal.

- b. Menambah referensi akademik terkait penggunaan dan evaluasi arsitektur LSTM dan pengembangannya dalam analisis data seismik untuk prediksi magnitudo gempa bumi di Indonesia.
- c. Menjadi landasan konseptual bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada pengembangan model prediksi gempa bumi, baik melalui integrasi data spasial-temporal yang lebih kompleks maupun penggunaan arsitektur *deep learning* alternatif.

2. Manfaat Praktis

- a. Memberikan gambaran mengenai performa berbagai model prediksi gempa bumi yang dapat dimanfaatkan sebagai referensi teknis dalam pengembangan sistem peringatan dini.
- b. Mendukung pihak terkait, seperti lembaga kebencanaan dan pemangku kebijakan, dalam memahami potensi pemanfaatan model prediksi berbasis data untuk pengurangan risiko bencana.
- c. Menjadi acuan awal dalam pengembangan sistem prediksi gempa bumi yang lebih adaptif dan sesuai dengan karakteristik seismik wilayah Indonesia.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam pendahuluan terdapat latar belakang topik yang ingin diteliti, rumusan masalah, batasan masalah agar peneliti dapat fokus terhadap permasalahan, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Dalam Landasan teori terdapat kajian literatur terkait topik dan permasalahan yang ingin diteliti. Kajian literatur tersebut disajikan dengan teori-teori yang berasal dari artikel jurnal terdahulu sebagai pemahaman dasar.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam metodologi penelitian terdapat gambaran penelitian terkait tahap-tahap yang akan dilakukan pada penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat penyajian data yang diperoleh, diikuti dengan analisis serta interpretasi temuan tersebut. Hasil penelitian kemudian dibahas dengan merujuk pada landasan teori untuk menjawab rumusan masalah dan menunjukkan implikasi dari temuan.

BAB V PENUTUP

Bab ini terdiri dari Kesimpulan, yang merupakan jawaban ringkas atas rumusan masalah, dan Saran, yang berisi rekomendasi untuk pengembangan penelitian di masa depan atau rekomendasi praktis bagi pihak terkait.

