

BAB I

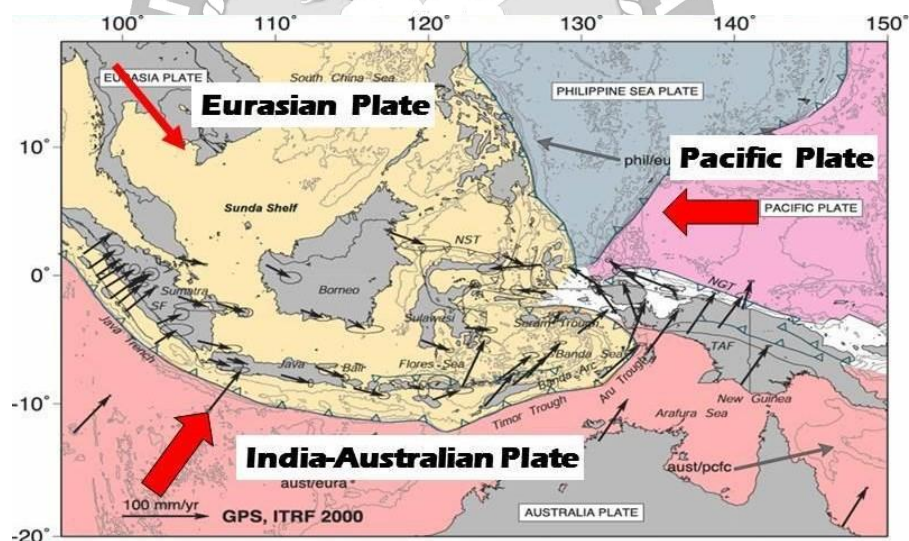
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana alam merupakan peristiwa atau rangkaian kejadian yang mengancam dan mengganggu kehidupan masyarakat, yang terjadi secara alamiah atau disebabkan oleh faktor alam. Gunn (2013) mengatakan, bencana alam dapat didefinisikan sebagai kerusakan ekologis dalam skala besar, baik secara fisik maupun dalam hubungan manusia dengan lingkungannya, yang disebabkan oleh faktor alam atau manusia. Kerusakan ini bisa terjadi secara tiba-tiba atau bertahap, dan skalanya sering kali melebihi kapasitas sumber daya yang tersedia, sehingga memerlukan upaya luar biasa bahkan hingga bantuan dari masyarakat internasional untuk pemulihannya. Menurut Buku Putih Pertahanan (2015), bencana alam digolongkan sebagai ancaman nyata dari dalam negeri yang dinilai dapat membahayakan kedaulatan negara, keutuhan wilayah, dan keselamatan bangsa. Salah satu contoh bencana alam yang sering terjadi adalah gempa bumi. Indonesia adalah salah satu negara dengan risiko tinggi terhadap bencana alam, terutama karena lokasinya yang terletak di antara tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Lokasi ini menyebabkan Indonesia mengalami aktivitas seismik yang sangat tinggi, menjadikannya rawan terhadap gempa bumi (Wekke, 2021; Yahya et al., 2024).

Gempa bumi tercatat sebagai salah satu bencana alam yang paling berbahaya dan merusak (Saputro et al., 2020; Tehseen et al., 2020). Di Indonesia, bencana gempa bumi menimbulkan kerusakan dan kerugian paling besar diantara bencana alam lain seperti banjir, tanah longsor, kebakaran hutan, puting beliung dan lain-lain (Ariyaningsih et al., 2021; Pakpahan et al., 2021). Hal tersebut dibuktikan dengan data dari Kementerian Keuangan Republik Indonesia (2019) dan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2020) yang mencatat dalam dekade terakhir,

bencana gempa bumi mengakibatkan kerugian terbesar senilai Rp. 7,56 triliun dan menelan korban jiwa paling banyak kedua setelah tsunami. Kerugian tersebut sebenarnya bisa diminimalisir dengan proses mitigasi yang matang serta pemahaman masyarakat mengenai risiko bahaya gempa bumi yang memadai. Sesuai dengan Pasal 1 Ayat 6 PP No 21 Tahun 2008 tentang mitigasi bencana merupakan serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Dari uraian yang telah dijelaskan diatas, studi mengenai bencana alam dalam bidang geologi/kegempaan sangat berpengaruh sebagai langkah upaya menyiapkan proses mitigasi bencana untuk ketahanan wilayah.



Gambar 1.1 Tektonik Aktif Wilayah Indonesia

Sumber : Bock et al., (2003); PUSGEN, (2017)

Berdasarkan kajian geologi dan geofisika, wilayah Jawa bagian barat atau Provinsi Jawa Barat menunjukkan suatu aktivitas kegempaan yang aktif. Seperti yang terlihat dari Gambar 1.1 ,kondisi geologi Provinsi Jawa Barat merupakan wilayah yang berada di zona pertemuan antara lempeng Eurasia dengan Indo-Australia, dimana gerakan lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara yang bertumbukan dengan lempeng Eurasia yang relatif diam. Selain adanya aktivitas subduksi lempeng di daerah Provinsi Jawa Barat, daerah ini juga rawan bencana gempa bumi dikarenakan

setidaknya dijumpai aktivitas sesar regional di wilayah tersebut, seperti Sesar Cimandiri, Sesar Cipeles, Sesar Baribis, Sesar Lembang, Sesar Palabuhanratu dan Sesar Citanduy (Munandar & Sulsaladin, 2022). Secara geografis Provinsi Jawa Barat merupakan wilayah dengan banyak aspek menguntungkan seperti letaknya yang berbatasan langsung dengan pusat perekonomian yakni Jakarta. Sumber daya alam yang melimpah serta konektivitas dan infrastruktur transportasi yang memadai juga menjadi daya tarik tersendiri bagi industri dan kawasan ekonomi terkait serta potensi pariwisata yang memadai. Provinsi Jawa Barat memiliki luas 35.377,76 km² atau menjadi provinsi kedua terbesar di pulau Jawa juga merupakan provinsi dengan jumlah populasi penduduk terbanyak di Indonesia dengan 50.345.200 jiwa pada tahun 2024 (Badan Pusat Statistik, 2024). Pertumbuhan jiwa tersebut diprediksi akan melesat lebih jauh lagi pada beberapa tahun mendatang mengingat negara Indonesia saat ini yang berada dalam fase puncak bonus demografi.

Berdasarkan beberapa aspek yang telah dijelaskan, sangat penting rasanya untuk mempersiapkan proses mitigasi bencana alam di wilayah Provinsi Jawa Barat dengan memprediksi kejadian gempa bumi. Prediksi kejadian gempa bumi di wilayah Provinsi Jawa Barat merupakan hal yang sangat penting dalam upaya mitigasi bencana alam. Mengingat Jawa Barat berada di kawasan yang rawan gempa, memiliki sistem peringatan dini yang akurat dapat membantu mengurangi risiko dan dampak bencana bagi masyarakat. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah pemodelan menggunakan *Long Short-Term Memory* (LSTM) dan *Convolutional LSTM* (ConvLSTM), dua jenis model jaringan saraf tiruan (*neural network*) yang sangat efektif dalam menangani data sekuensial dan spasial-temporal.

LSTM pertama kali diperkenalkan oleh Hochreiter dan Schmidhuber pada tahun 1997 untuk mengatasi masalah yang timbul dalam *Recurrent Neural Network* (RNN), yaitu *vanishing gradient* (Gallardo et al., 2023). LSTM dirancang untuk memproses data urutan waktu (*time series*) dengan

lebih baik, memungkinkan model untuk mengingat informasi penting dalam jangka panjang. Dalam konteks prediksi gempa bumi, LSTM sangat cocok karena gempa memiliki pola yang kompleks dan tersebar dalam rentang waktu yang panjang (Zhang et al., 2023). Kemampuan LSTM untuk menangkap ketergantungan temporal yang ada dalam data gempa historis seperti waktu kejadian, magnitudo, dan kedalaman sangat relevan untuk memprediksi kejadian gempa. Selain itu, LSTM memiliki kemampuan untuk mengatasi hubungan non-linear yang sering muncul dalam data gempa bumi, sehingga memberikan keunggulan dibandingkan dengan metode statistik konvensional seperti ARIMA (Aryal et al., 2024).

Convolutional LSTM (ConvLSTM) merupakan pengembangan dari LSTM yang mengintegrasikan operasi konvolusi dalam arsitekturnya. ConvLSTM digunakan ketika data yang dianalisis memiliki elemen spasial selain temporal (Zhang & Wang, 2024). Dalam hal ini, ConvLSTM sangat berguna untuk memprediksi lokasi episenter gempa, yang memiliki informasi spasial (seperti koordinat geografis) serta temporal (perubahan kejadian gempa dari waktu ke waktu). ConvLSTM menggabungkan kemampuan konvolusi dalam menangkap pola spasial dengan kemampuan LSTM dalam menangkap pola waktu jangka panjang, sehingga memungkinkan model untuk menganalisis pola spasial-temporal yang kompleks. Dengan ConvLSTM, model tidak hanya mampu memprediksi lokasi gempa berdasarkan data masa lalu, tetapi juga dapat memperhitungkan penyebaran spasial gempa di area yang lebih luas (Yao et al., 2023).

Sebagian besar penelitian sebelumnya masih memiliki keterbatasan dalam mengintegrasikan data spasial dan temporal secara menyeluruh untuk prediksi gempa bumi. Sebagai contoh, Permana & Faisal (2023) menggunakan model *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi frekuensi atau jumlah kejadian gempa. Meskipun model tersebut mampu mengenali pola dasar, model ANN cenderung kurang efektif dalam menangani kompleksitas data spasial-temporal seperti lokasi episenter,

magnitudo, dan kedalaman secara bersamaan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan ANN dalam mengolah dimensi spasial serta ketergantungannya pada input statis, sehingga menyulitkan prediksi lokasi gempa yang akurat, terutama di wilayah aktif seismik seperti Provinsi Jawa Barat. Sementara itu, penelitian oleh Zhang & Wang (2023) menunjukkan bahwa ConvLSTM efektif dalam memodelkan distribusi gempa secara global. Namun, fokus penelitian mereka hanya terbatas pada aspek spasial (longitude dan latitude), tanpa mempertimbangkan aspek lain yang penting seperti zona kedalaman atau jumlah kejadian gempa dalam jangka waktu tertentu. Selain itu, penelitian tersebut masih beroperasi dalam skala global, sehingga belum menjawab kebutuhan akan prediksi yang lebih spesifik dan kontekstual di tingkat regional, seperti di Provinsi Jawa Barat yang memiliki karakteristik geologi lokal yang khas. Penelitian lain oleh Rusho et al., (2024) menekankan penggunaan model LSTM untuk mendeteksi pola seismik dan mendukung sistem peringatan dini. LSTM terbukti akurat dalam menangkap pola temporal, namun hingga saat ini belum ada penelitian yang mengintegrasikan hasil prediksi ke dalam bentuk pemetaan spasial yang dapat digunakan langsung untuk mitigasi bencana. Padahal, visualisasi spasial dari hasil prediksi sangat penting untuk meningkatkan kesadaran masyarakat, mendukung pengambilan keputusan, dan memperkuat ketahanan wilayah.

Minimnya penelitian prediksi gempa bumi yang secara khusus difokuskan pada Provinsi Jawa Barat menjadikan penelitian ini penting untuk dilakukan. Provinsi ini memiliki karakteristik geologi yang kompleks, termasuk aktivitas subduksi antara Lempeng Eurasia dan Indo-Australia serta keberadaan sejumlah sesar lokal yang aktif, yang menyebabkan tingginya risiko seismik di wilayah tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang mampu menangani data spasial dan temporal secara bersamaan agar prediksi gempa bumi menjadi lebih akurat dan bermanfaat dalam mitigasi bencana. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut dengan mengombinasikan metode *Long Short-Term Memory*

(LSTM) dan *Convolutional LSTM* (ConvLSTM) yang dirancang untuk menangani data sekuensial secara efisien. LSTM digunakan untuk memprediksi karakteristik gempa seperti magnitudo dan kedalaman, sedangkan ConvLSTM difokuskan untuk memprediksi lokasi episenter gempa yang memerlukan pemrosesan spasial-temporal secara simultan. Kedua metode ini memiliki keunggulan dalam mengenali pola data historis yang kompleks dan dinamis, sehingga memberikan kelebihan dibandingkan metode prediksi gempa tradisional. Meskipun beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan model prediksi gempa, sebagian besar hanya berfokus pada satu aspek, seperti jumlah kejadian atau lokasi, dan belum mengintegrasikan informasi spasial dan temporal secara menyeluruh, khususnya dalam konteks regional seperti Jawa Barat. Selain itu, belum banyak penelitian yang menghasilkan visualisasi prediktif berbasis geografis yang dapat dimanfaatkan secara praktis dalam sistem mitigasi. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan mampu menjawab kekosongan tersebut dengan mengembangkan model prediksi gempa yang lebih komprehensif dan aplikatif, serta menghasilkan informasi spasial-temporal yang dapat digunakan untuk meningkatkan sistem peringatan dini, kesadaran masyarakat, dan ketahanan wilayah terhadap risiko gempa bumi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan, maka dapat didefinisikan permasalahannya sebagai berikut:

- a. Tingginya frekuensi gempa bumi di Provinsi Jawa Barat yang menimbulkan banyak ancaman.
- b. Minimnya penelitian terkait prediksi bencana alam gempa bumi serta tingkat kesadaran masyarakat yang masih rendah di wilayah Provinsi Jawa Barat yang menghambat upaya mitigasi bencana serta berpengaruh terhadap ketahanan wilayah.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan landasan yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah atau pertanyaan penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a. Bagaimana penerapan dari model LSTM dan ConvLSTM dalam memprediksi kejadian bencana alam gempa bumi di Provinsi Jawa Barat?
- b. Bagaimana evaluasi dari model LSTM dan ConvLSTM dalam memprediksi kejadian bencana alam gempa bumi di Provinsi Jawa Barat?
- c. Sejauh mana hasil prediksi gempa bumi menggunakan model LSTM dan ConvLSTM dapat dimanfaatkan sebagai informasi untuk mendukung upaya mitigasi akan ancaman bencana alam gempa bumi yang berpengaruh terhadap ketahanan wilayah di Provinsi Jawa Barat?

1.4 Tujuan Penelitian

Secara keseluruhan tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menerapkan model LSTM dan ConvLSTM dalam memprediksi kejadian bencana alam gempa bumi di Provinsi Jawa Barat.
- b. Mengevaluasi model LSTM dan ConvLSTM dalam memprediksi kejadian bencana alam gempa bumi di Provinsi Jawa Barat.
- c. Menghasilkan pemetaan prediksi sebaran gempa bumi untuk mendukung upaya mitigasi akan ancaman bencana alam gempa bumi yang berpengaruh terhadap ketahanan wilayah di Provinsi Jawa Barat.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Manfaat Teoritis : penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan kepada penulis maupun pembaca mengenai penggunaan metode LSTM dan ConvLSTM dalam memprediksi kejadian bencana alam gempa bumi di Provinsi Jawa Barat.
- b. Manfaat Praktis : diharapkan penelitian ini dapat membantu pihak terkait seperti pemerintah atau badan kebencanaan dalam

merencanakan proses mitigasi bencana serta masyarakat di wilayah rawan gempa dapat lebih siap dan waspada dalam menghadapi potensi terjadinya gempa bumi.

