

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peristiwa gempa besar sering menyebabkan kerusakan di permukaan Bumi, kerugian material, hingga korban jiwa. Pengalaman menunjukkan bahwa sebagian besar kerugian dan korban akibat gempa bumi ini disebabkan oleh kerusakan dan kegagalan infrastruktur (Irsyam dkk., 2010). Permasalahan utama dari bahaya gempa bumi adalah gempa bumi terjadi secara tiba-tiba dan tanpa adanya pertanda sebelumnya sehingga waktu, lokasi, serta magnitudonya sulit untuk diprediksi dengan pasti (Andersson, 2015). Alasan ini tentunya menjadi dorongan bagi ahli Seismologi selama beberapa dekade terakhir untuk mempelajari metode yang paling akurat dalam memprediksi kejadian gempa bumi.

Pendekatan yang dianggap valid dalam memprediksi waktu, magnitudo, dan lokasi terjadinya suatu gempa bumi adalah pemodelan statistik (Allen, 1982 dalam Mostafei dan Kordnoori, 2013). Pemodelan statistik gempa bumi semakin penting untuk dilakukan. Hal ini didukung dengan peningkatan jumlah data kejadian gempa bumi dalam katalog dan jaringan stasiun perekam gempa yang tersedia belakangan ini (Bağcı, 1996). Pemodelan statistik kejadian gempa yang dapat digunakan untuk memperkirakan kejadian gempa adalah pemodelan stokastik (Votsi dkk., 2013). Pemodelan stokastik kejadian gempa bumi dibagi menjadi dua, yaitu dengan memori (*with-memory*) dan tanpa memori (*memoryless*). Dalam hal ini yang dimaksud dengan memori adalah memori kejadian (lokasi, waktu, dan magnitudo) gempa bumi saat ini yang akan mempengaruhi kejadian gempa bumi yang akan datang.

Model Poisson maupun distribusi Gutenberg-Richter merupakan model stokastik yang sering digunakan untuk mendeskripsikan kejadian gempa bumi di suatu wilayah (Stein dan Wyssession, 2003). Dalam model ini diasumsikan bahwa kejadian gempa bumi tidak bergantung (*independent*) pada waktu dan lokasi kejadian gempa yang telah terjadi sebelumnya (*memoryless*) di wilayah yang sama. Tentunya hal ini kurang sesuai dengan teori bingkis elastis yang telah berkembang dalam ilmu Seismologi. Setelah tegangan yang terakumulasi dalam batuan dilepaskan dalam

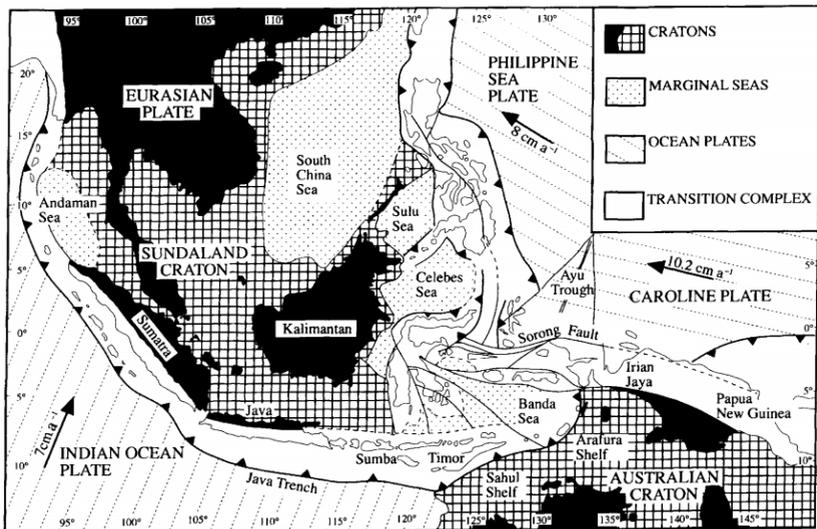
kejadian gempa, maka tegangan akan meningkat secara perlahan dan terakumulasi kembali hingga kejadian gempa berikutnya. Dalam kasus ini, probabilitas gempa besar di suatu wilayah akan segera berubah menjadi kecil setelah terjadi gempa dan untuk selanjutnya akan meningkat dengan bertambahnya waktu (Stein dan Wyssession, 2003).

Model Markov merupakan model stokastik yang dapat digunakan sebagai alternatif dalam pemodelan kejadian gempa bumi. Model Markov ini bersifat memori satu langkah (*one step memory*) (Patwardhan, 1980), yaitu kejadian gempa bumi di suatu wilayah bergantung (*dependent*) secara waktu dan lokasi dari kejadian gempa bumi sebelumnya. Model ini juga memungkinkan untuk dilakukan perkiraan kejadian gempa bumi di suatu wilayah berdasarkan data dalam katalog gempa yang tersedia (Cavers dan Vasudevan, 2014). Hal ini dilakukan dengan menganalisis probabilitas transisi kejadian gempa bumi, yaitu probabilitas kejadian gempa di suatu lokasi saat ini akan segera diikuti dengan kejadian gempa di lokasi lainnya. Oleh sebab itu, pertanyaan yang sering muncul setelah terjadi gempa besar adalah tentang lokasi dan waktu terjadi gempa besar selanjutnya.

Model Markov telah digunakan dalam analisis bahaya kegempaan sejak tahun 1980 (Votsi dkk., 2013). Beberapa peneliti telah menggunakan model Markov dan pengembangannya untuk memodelkan kejadian gempa di beberapa wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi. Patwardhan dkk. (1980) telah memodelkan perulangan kejadian gempa besar di Sirkum Pasifik (*Ring of Fire*) dengan model Markov. Selain itu, model Markov dapat mendeksripsikan kejadian gempa bumi yang berasosiasi dengan sistem sesar besar, seperti Sesar Anatolia di Turki (Bağcı, 1996; Doğaner dan Çalik, 2013; Altinok dan Kolcak, 1999; Ünal dan Çelebioğlu, 2011), maupun gempa di zona subduksi di Yunani (Polimenakos, 1995; Votsi dkk., 2013), Iran (Mostafei dan Kordnoori, 2013; Sadeghian, 2012), Sumatera bagian Utara (Orfanogiannaki dkk., 2014), serta Kepulauan Azores (Rodriguez dan Oliveira, 2016). Pemodelan Markov juga dapat menunjukkan adanya migrasi kejadian gempa di wilayah Alaska Selatan dan Kepulauan Aleutian (Tsapanos dan Papadopoulou, 1999). Lebih lanjut, Nava dkk. (2005) telah menerapkan pemodelan Markov untuk

melakukan evaluasi bahaya gempa bumi di wilayah Jepang. Dengan demikian, pemodelan kejadian gempa bumi dengan model Markov dapat diterapkan pada wilayah dengan aktivitas kegempaan yang tinggi.

Sementara itu, wilayah dengan tingkat kegempaan paling tinggi di dunia adalah Indonesia (Yozo, 2005). Kondisi kegempaan di wilayah Indonesia ini tidak terlepas dari lokasinya yang berada pada zona konvergensi empat lempeng sekaligus (Gambar 1.1), yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak dengan arah Utara-Timur Laut (7 cm/tahun), lempeng Filipina yang bergerak dengan arah Utara-Barat Daya (8 cm/tahun), lempeng Caroline yang bergerak dengan arah Barat-Barat Laut (10,2 cm/tahun), dan lempeng Eurasia yang bergerak lebih lambat, yakni 0,4 cm/tahun (Simandjuntak dan Barber, 1996).



Gambar 1.1 Struktur dan tatanan tektonik wilayah Indonesia dan Asia Tenggara (Simandjuntak dan Barber, 1996)

Berdasarkan aspek tenaga tektonik, Indonesia bagian Timur memiliki potensi ancaman bencana gempa bumi dua kali lipat dibandingkan dengan Indonesia bagian Barat. Hal ini diperkuat dengan beberapa bukti tumbukan maupun papasan lempeng yang teramati dengan baik di kawasan Indonesia Timur. Namun, berdasarkan aspek kerentanan, Indonesia bagian Barat, khususnya

Pulau Jawa dan Sumatera, dinilai lebih rentan terhadap bencana gempa bumi karena populasi penduduk yang lebih padat dan infrastruktur yang lebih berkembang (Natawidjaja dan Triyoso, 2007 dalam Pakpahan dkk., 2015). Dengan proyeksi populasi penduduk mencapai 145.143.600 jiwa, Pulau Jawa merupakan pulau dengan populasi penduduk terbesar di Indonesia atau bahkan di dunia. Sekitar 38.847.600 jiwa dari populasi tersebut tersebar di Provinsi Jawa Timur (Badan Pusat Statistik, 2015).

Wilayah Jawa Timur sering mengalami gempa berintensitas moderat hingga besar yang tercatat secara historis maupun instrumen. Potensi gempa merusak di Jawa Timur bersumber pada aktivitas subduksi maupun sesar di darat. Gempa terbesar di wilayah Jawa Timur yang pernah tercatat oleh instrumen adalah gempa bumi yang terjadi pada tanggal 3 Juni 1994 dengan M_w 7,8. Pada prinsipnya, apabila pada suatu wilayah pernah terjadi kejadian gempa besar yang merusak, maka dapat dipastikan bahwa wilayah tersebut rawan terhadap bahaya gempa bumi dengan magnitudo paling tidak sama dengan yang pernah terjadi. Wilayah tersebut harus siap menghadapi kejadian gempa bumi serupa atau lebih besar di masa yang akan datang. Hal ini dikarenakan, proses gempa bumi mempunyai siklus dan berulang dengan kisaran periode ulang tertentu (Wijaya dkk., 2014). Dengan demikian, penelitian mengenai karakteristik kejadian gempa bumi di wilayah Jawa Timur perlu dilakukan dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi.

Penelitian mengenai kegempaan di wilayah Jawa Timur telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Amalia (2016) telah menganalisis variasi spasial maupun temporal nilai- b dan diperoleh periode ulang kejadian gempa di Jawa Timur berdasarkan relasi Gutenberg-Richter. Analisis tersebut dilakukan dengan model yang bersifat tanpa memori. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan model Markov untuk melakukan analisis kejadian gempa bumi di wilayah Jawa Timur secara spasial, magnitudo, dan temporal. Hal ini mencakup penentuan probabilitas transisi suatu kejadian gempa dari suatu region ke region lainnya (spasial) maupun magnitudo ke magnitudo berikutnya. Selanjutnya, untuk penilaian bahaya kegempaan dilakukan perhitungan durasi rata-rata periode aktif maupun inaktif terjadinya gempa bermagnitudo moderat kedalaman dangkal di masing-masing region (temporal).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana transisi kejadian gempa bumi dari region ke region di Jawa Timur berdasarkan model rantai Markov?
2. Bagaimana transisi kejadian gempa bumi dari magnitudo ke magnitudo di Jawa Timur berdasarkan model rantai Markov?
3. Bagaimana durasi rata-rata periode aktif dan inaktif kejadian gempa moderat dengan kedalaman dangkal di masing-masing region di Jawa Timur?
4. Bagaimana prediksi kejadian gempa bumi selanjutnya di Jawa Timur berdasarkan analisis spasial dan temporal rantai Markov?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan sejumlah batasan, di antaranya:

1. Wilayah penelitian berada pada koordinat $05^{\circ}29'24''$ LS – $11^{\circ}54'07''$ LS dan $111^{\circ}00'00''$ BT – $114^{\circ}56'32''$ BT.
2. Gempa bumi yang dianalisis adalah gempa bumi tektonik dan merupakan gempa utama (*mainshock*) dengan magnitudo $M \geq 4$ untuk gempa subduksi dan $M \geq 3$ untuk gempa akibat sesar darat.
3. Data yang dianalisis merupakan data sekunder yang diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS) pada tanggal 1 Januari 1960 – 27 April 2017.
4. Pemodelan stokastik yang digunakan adalah model rantai Markov waktu diskrit orde pertama (*one step memory*).
5. Analisis durasi rata-rata periode aktif dan inaktif hanya dilakukan untuk gempa bermagnitudo moderat ($M \geq 5$) dan berkedalaman dangkal ($d < 70$ km).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini di antaranya untuk:

1. menganalisis transisi kejadian gempa dari region ke region di Jawa Timur dengan rantai Markov;
2. menganalisis transisi kejadian gempa dari magnitudo ke magnitudo di Jawa Timur dengan rantai Markov;

3. menganalisis durasi rata-rata periode aktif dan inaktif untuk gempa dangkal bermagnitudo moderat di masing-masing region di Jawa Timur;
4. memprediksi kejadian gempa bumi di Jawa Timur berdasarkan analisis spasial dan temporal rantai Markov.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi tambahan dalam melakukan evaluasi dan penilaian bahaya kegempaan di wilayah Jawa Timur yang merupakan langkah awal dalam upaya pengurangan risiko bahaya gempa bumi.