

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pulau Sumatera merupakan bagian tepi Sunda *arc* dari Lempeng Eurasia bagian selatan yang dimulai dari laut Andaman utara Aceh Sumatera-Jawa sampai ke pulau Sumbawa selatan. Rangkaian tersebut termasuk ke dalam *island arc systems* dengan mekanisme subduksi antara Lempeng Hindia-Australia terhadap Lempeng Eurasia di bagian utaranya (Mulyana, 2006). Lempeng Hindia-Australia yang merupakan lempeng samudera memiliki rapat massa lebih besar akan menumbuk dan menunjam ke bagian bawah Lempeng Eurasia. Akibat tumbukan kedua lempeng tersebut terbentuk jalur penunjaman (subduksi) sepanjang 6.500 km (Yulaelawati dan Syihab, 2008).

Zona subduksi Lempeng Hindia-Australia merupakan zona yang sering melepaskan energi. Adanya pergerakan lempeng tersebut menyebabkan seringnya terjadi gempa bumi di sekitar pulau Sumatera. Sejak tahun 1978 hingga 2018, terdapat sebanyak 79 gempa bumi signifikan dan merusak dengan magnitudo $M > 5$, dengan aktivitas kegempaan yang mengalami peningkatan sejak tahun 2004, di mana tercatat 61 gempa terjadi dalam rentang waktu tersebut (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2019). Beberapa diantaranya merupakan gempa bumi besar, yaitu terjadi pada gempa Aceh tanggal 26 Desember 2004 dengan kekuatan $M 9,0$, tanggal 28 Maret 2005 dengan kekuatan $M 8,6$ di Sumatera Utara, tanggal 12 September 2007 dengan kekuatan $M 7,9$ di Bengkulu, dan tanggal 25 Oktober 2010 dengan kekuatan $M 7,2$ di Mentawai-Sumatera Barat (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2019). Akibat tingginya aktivitas gempa, pulau Sumatera memiliki tingkat kerentanan bencana gempa terhadap populasi masyarakat dengan persentase sekitar 18,94% berada pada tingkat risiko sangat

tinggi, 13,18% pada tingkat risiko tinggi, 18,63% pada tingkat risiko menengah, dan 49,25% pada tingkat risiko rendah serta sangat rendah(Rai et al., 2023).

Upaya pencegahan dan mitigasi risiko bencana gempabumi terbagi menjadi dua tindakan, yakni mitigasi pasif dan mitigasi aktif, di mana salah satu bentuk mitigasi pasif adalah penelitian atau karakterisasi terhadap bencana tersebut(Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2008). Salah satu karakteristik gempabumi adalah dapat menyebabkan kerak bumi disekitarnya terdeformasi. Deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergeseran suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif yang salah satunya adalah pergeseran lempeng bumi(Kuang, 1996). Pemantauan pergeseran lempeng bumi dapat ditentukan dengan observasi langsung menggunakan GPS (*Global Positioning System*) geodetik(Rasmi et al., 2018). GPS geodetik merupakan alat ukur yang mengandalkan satelit untuk pemetaan dan penentuan posisi dengan ketelitian serta akurasi yang tinggi. Data GPS dapat mencatat gerakan dengan presisi submilimeter per tahun dan GPS terbukti menjadi alat yang sangat diperlukan dalam analisis deformasi kerak bumi(Friska, 2022). Pulau Sumatera memiliki 39 stasiun pengamatan GPS yaitu SuGAr (*Sumatran GPS Array*) yang tersebar sepanjang 1.300 km di pantai barat Pulau Sumatera yang setiap harinya merekam data GPS dengan akurasi tinggi secara kontinu yang dapat dimanfaatkan untuk studi deformasi(Feng et al., 2015).

Walaupun deformasi kerak bumi dapat diamati dengan survey geodetik (GPS, InSAR, dan lain-lain), tetapi pengamatan ini terbatas pada titik tertentu saja. Deformasi secara lebih detail dan luas dapat dianalisis menggunakan model dengan bantuan data hasil survey lapangan dan formulasi matematis. Formulasi matematis yang umum digunakan dalam studi deformasi adalah teori *elastic half-space dislocation* yang dikembangkan oleh Okada(Okada, 1985)(Okada, 1992). Okada menerangkan hubungan antara pergeseran pada bidang sesar sebagai sumber gempa

dengan pergeseran yang terjadi di permukaan bumi, dengan mengasumsikan kerak bumi sebagai medium homogen dan isotropik. Sehingga model pergeseran bawah permukaan dapat menjelaskan deformasi kerak bumi secara menyeluruh. Formulasi Okada diwujudkan dalam sebuah program berupa subrutin dengan nama DC3D sebagai alat standar untuk memodelkan fenomena seismik yang kemudian dikenal dengan model Okada(NIED, 2012).

Model Okada merupakan pemodelan ke depan (*forward modeling*) dimana proses perhitungan data secara teoritis akan teramati di permukaan bumi ketika data parameter bawah permukaan telah diketahui. Model pergeseran bawah permukaan yang menghasilkan respon yang cocok atau *fit* dengan data pengamatan/lapangan merupakan model yang dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan. Untuk memperoleh data parameter bawah permukaan yang sesuai dengan data pengamatan permukaan bumi tidak dapat dilakukan melalui pengukuran ataupun pengamatan langsung, sehingga dapat dilakukan melalui proses coba-coba (*trial and error*) dengan mengubah-ubah estimasi data parameter bawah permukaan. Keberhasilan dan kecepatan dalam mendapatkan model yang tepat melalui proses coba-coba secara manual sangat bergantung pada pengalaman subyektif seseorang(Grandis, 2009). Dengan demikian, penentuan estimasi data parameter model Okada secara manual tidak mudah untuk dilakukan sehingga dibutuhkan pengembangan metode yang efisien dan praktis.

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pengembangan model Okada dilakukan oleh Joko Prihantono(Prihantono, 2013) tentang pembuatan perangkat lunak SurfDef untuk memodelkan deformasi kerak bumi yang berada di dasar laut sebagai kondisi awal model perambatan gelombang tsunami. Perangkat lunak SurfDef, yang dibangun berdasarkan program subrutin DC3D buatan Okada(NIED, 2012), telah berhasil dikembangkan dari perangkat lunak yang basis perintah baris (*command line*) menjadi perangkat lunak dengan antarmuka grafis atau *Graphics*

User Interface (GUI) yang mudah dioperasikan (*user friendly*). Namun, dalam penelitian Joko Prihantono, pengujian perangkat lunak SurDef pada gempa Mentawai tanggal 25 Oktober 2010, estimasi data parameter model masih dilakukan secara manual.

Penelitian yang lebih berkembang tentang model pergeseran bawah permukaan pada saat ini adalah pemodelan inversi (*inverse modeling*) menggunakan formulasi Okada (Okada, 1992). Pemodelan inversi sering dikatakan sebagai “kebalikan” dari pemodelan ke depan karena parameter model diperoleh secara langsung dari data pengamatan (Grandis, 2009). Beberapa penelitian tentang pengembangan pemodelan inversi yaitu penelitian McCaffrey (McCaffrey, 2009) dengan perangkat lunak TDEFNODE yang digunakan oleh Zheng (Zheng, 2019) dalam analisis deformasi kerak bumi di pulau Sumatera dari Januari 1999 sampai dengan Desember 2015 terutama pada gempa Aceh tahun 2004 dan gempa lepas pantai barat pulau Sumatera (*Wharton Basin*) tahun 2012, penelitian Awaluddin dkk. (Awaluddin et al., 2012) dengan metode inversi kuadrat terkecil (*least-squares inversion*) pada gempa Bengkulu tahun 2007, penelitian Prasidya dkk. (Prasidya et al., 2021) dengan model elemen hingga dalam kerangka bumi bulat (*spherical-earth finite element model*) pada gempa Mentawai tahun 2010, dan banyak penelitian lainnya.

Berdasarkan penjelasan di atas, bahwa penelitian model Okada (*forward modeling*) belum dikembangkan untuk menentukan estimasi data parameter dengan metode yang efisien dan praktis. Pemodelan deformasi kerak bumi akibat gempa besar di pulau Sumatera yang banyak tersedia saat ini diperoleh melalui pemodelan inversi. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan automasi pemodelan deformasi kerak bumi dari model Okada pada gempa besar Sumatera menggunakan metode Hooke-Jeeves. Dimana, proses coba-coba (*trial and error*) yang sebelumnya dilakukan secara manual ditingkatkan untuk dilakukan secara

otomatis. Gempa besar Sumatera yang menjadi fokus penelitian ini adalah gempa Nias-Simeulue tahun 2005, gempa Bengkulu tahun 2007, gempa Mentawai tahun 2010, gempa lepas pantai barat pulau Sumatera tahun 2012 dan 2016. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data SuGAR dari katalog(Feng et al., 2015) untuk gempa tahun 2005 – 2012 dan data SuGAR yang diolah menggunakan *software* GAMIT/GLOBK untuk gempa tahun 2016.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan parameter model deformasi kerak bumi dari model Okada pada gempa besar Sumatera secara otomatis menggunakan metode Hooke-Jeeves dan menganalisis hasil automasi pemodelan deformasi.

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memperoleh model Okada pada deformasi kerak bumi pada gempa besar Sumatera dengan efisien dan praktis. Selain itu, penelitian ini juga bermanfaat untuk meningkatkan pemahaman tentang pemodelan deformasi kerak bumi dari model Okada dengan program subrutin DC3D.

1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Ruang lingkup dan batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian hanya difokuskan pada gempa besar di pulau Sumatera pada fase *coseismic*.
2. Data yang digunakan merupakan data pengamatan stasiun GPS jaringan SuGAR (*Sumatran GPS Array*).
3. Pemodelan deformasi kerak bumi menggunakan model Okada (*forward modeling*) dengan program subrutin DC3D.
4. Deformasi akan digambarkan dalam peta menggunakan *software* GMT.