

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak pada tiga lempeng tektonik besar di dunia yang mengitarinya, sehingga Indonesia rawan terhadap aktifitas seismik. Lempeng tersebut yaitu Eurasia, Hindia-Australia, dan Pasifik. Lempeng tersebut mengalami pergerakan yang konstan. Pergerakan tersebut perlahan mengalami gesekan atau tumbukan yang kuat sehingga menyebabkan terjadinya proses subduksi. Energi yang tersisa akibat subduksi dapat menimbulkan sesar baik didarat maupun di laut (Mauradhia dkk., 2019). Letak geografis Indonesia menjadikan negara ini memiliki tingkat kerawanan gempa yang sangat tinggi.

Aktifnya kondisi tektonik di Indonesia, menyebabkan banyaknya pusat gempa yang terjadi baik dari skala kecil sampai skala besar. Pulau Sumatera terletak pada daerah zona tektonik aktif. Pulau Sumatera berada pada bagian dari Lempeng Eurasia yang berinteraksi secara konvergen dengan Lempeng Indo-Australia. Gempa yang terjadi di Pulau Sumatra secara umum didominasi oleh gempa dengan mekanisme sesar naik yang terjadi akibat proses subduksi serta beberapa gempa sesar geser. Sesar yang terdapat di Sumatera merupakan sesar *strike slip* dengan arah dekstral dengan 20 segmen utama dengan jalur sesar yang ditandai oleh kenampakan bukit-bukit kecil, pergeseran alur-alur sungai dan danau yang diakibatkan oleh pergeseran bumi (Putri dkk., 2016).

Salah satu wilayah dengan struktur geologi yang kompleks yaitu Sumatera Barat. Wilayah tersebut diperkuat tingkat kerawannya karena berada pada area yang cukup dekat dengan zona pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia (Wulandari dkk., 2017). Selain itu, terdapat beberapa segmen sesar yang terdapat pada wilayah ini, yaitu Segmen Sumpur, Segmen Sianok, Segmen Sumani, dan Segmen Suliti. Tercatat sudah terjadi beberapa gempa bumi yang terjadi pada Segmen Sianok dengan magnitude cukup besar dan merusak, diantaranya gempa bumi besar Padang Panjang tahun 2007 dengan magnitudo 6,2 SR dan gempa bumi Batusangkar tahun 2014 dengan magnitude 5,0 SR.

Adanya anomali tektonik pada suatu daerah tersebut dapat dipantau dengan *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Pengamatan dilakukan untuk mengetahui arah dan laju pergeseran tektonik pada stasiun pengamatan yang terjadi di wilayah tersebut (Anggriani dkk., 2020). Penambahan data pengamatan dapat juga menggunakan teknologi *Continuously*

Operating Reference Station (CORS) yang juga berbasis GNSS. Data pengamatan CORS diolah untuk mendapatkan koordinat stasiun pengamatan. CORS beroperasi secara kontinu selama 24 jam, 7 hari per minggu untuk menyimpan data posisi dengan tingkat akurasi yang tinggi yang dapat diakses oleh masyarakat umum (Woodgate dkk., 2017).

Teknologi terbaru dalam memperoleh data koordinat yang sering digunakan saat ini yaitu CORS. CORS tersebut berupa jaring kerangka geodetik yang dilengkapi dengan *receiver* yang dapat memperoleh sinyal dari satelit-satelit GNSS. CORS beroperasi secara penuh dalam mengumpulkan, merekam, mengirim data, dan memungkinkan para pengguna memanfaatkan data dalam penentuan posisi, baik secara *post processing* maupun *real time*. Aplikasi ini dapat mencapai ketelitian tinggi dengan tingkat produktivitas yang tinggi. Awalnya, penentuan posisi relatif dengan GNSS hanya mungkin dilakukan dengan pengamatan *post processing* yang panjang. Namun demikian, dalam perkembangannya, penentuan posisi secara *real time* telah menggantikan aplikasi relatif yang sudah ada.

Banyak metode penentuan posisi akurat yang dapat digunakan hingga saat ini. Metode penentuan posisi relatif memiliki keterbatasan dalam waktu komputasi yang diakibatkan adanya perbedaan data simultan dari berbagai stasiun bumi. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan alternatif lain dengan metode PPP yang dapat memberikan perpindahan terhadap kerangka acuan global dengan satu GNSS *receiver* (Pikridas dkk., 2017). Adanya alternatif tersebut memungkinkan analisis terhadap pergerakan sesar dilakukan secara cepat dan membantu dalam penentuan mitigasi secara sigap. Oleh karena itu, penggunaan PPP dipilih dalam penelitian ini.

Perolehan nilai koordinat pengamatan hasil pengolahan dengan PPP kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kecepatan pergeseran. Estimasi nilai kecepatan pada Segmen Sianok pernah dilakukan pada pengamatan tahun 2007 oleh penelitian Efendi dkk., (2018). Penelitian tersebut menggunakan data koseismik untuk memperoleh nilai kecepatan pergeseran. Oleh karena itu, data pengamatan terbaru diperlukan untuk menganalisis pergerakan yang terjadi pada Sesar Segmen Sianok. Perhitungan estimasi nilai kecepatan pergeseran pada penelitian ini dilakukan dengan perangkat lunak MATLAB. Berdasarkan estimasi kecepatan pergeseran dapat diketahui apakah terjadi pergerakan pada Sesar Segmen Sianok baik pergerakan secara horizontal maupun vertikal. Besaran nilai regangan yang menjadi aspek analisis deformasi selanjutnya juga dilakukan berdasarkan estimasi nilai kecepatan dengan metode *Velocity Interpolation for Strain Rate* (VISR).

Semua pengukuran menyebabkan sejumlah variasi acak pada sinyal yang biasa disebut *noise*. Prosedur untuk mengurangi atau memperhalus *noise* dari sinyal yang diukur umumnya dikenal sebagai *filtering*. Terdapat banyak desain *filtering* yang berbeda, namun demikian *filtering* paling umum didasarkan pada nilai rerata. Hasil pengolahan dari data pengamatan titik CORS digunakan untuk mengidentifikasi sesar. Identifikasi sesar secara lebih lanjut memerlukan tahapan dekomposisi komponen *short wavelength* (gelombang pendek) dan *long wavelength* (gelombang panjang). Dekomposisi komponen gelombang tersebut dilakukan dengan metode *Moving Average Filter* (MAF). Perolehan deformasi lokasi dilakukan dengan menerapkan MAF yang mengurangi pola panjang gelombang dari data pengamatan yang bertujuan mendeteksi deformasi panjang gelombang pendek seperti pada penelitian sesar di Yogyakarta (Widjajanti dkk., 2020). Pada tahun yang sama juga dilakukan penelitian oleh Heliani dkk. (2020) terkait analisis sesar aktif di Jawa Barat dengan dekomposisi menggunakan MAF di laju regangan dengan data pengamatan GNSS tahun 2015 s.d. 2018. Penelitian menggunakan data laju pergeseran dan laju regangan sebagai data masukan dekomposisi komponen panjang gelombang sudah banyak dilakukan terhadap identifikasi sesar. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode MAF untuk melakukan *filtering* data pengamatan gelombang titik Ina-CORS dalam mengidentifikasi sesar Segmen Sianok.

I.2. Rumusan Masalah

Pulau Sumatera berada pada zona subduksi Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia. Zona subduksi menyebabkan akumulasi *stress* yang mengakibatkan adanya pola lokal sehingga terbentuk sesar aktif. Teknologi GNSS dapat digunakan untuk mengidentifikasi sesar aktif dengan anomali laju regangan berdasarkan laju pergeseran titik stasiun GNSS. Penelitian terdahulu terkait analisis deformasi Pulau Sumatera selain Segmen Sianok menggunakan data GNSS periodik sudah banyak dengan data terkini. Khusus Segmen Sianok, penelitian oleh (Efendi dkk., 2018) menggunakan data tahun 2007. Penggunaan data GNSS untuk periode terkini belum dilakukan kembali. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan data GNSS CORS tahun 2020 s.d. 2023 sebagai data GNSS kontinu terkini.

Penelitian sebelumnya menggunakan metode pengolahan data GNSS periodik maupun kontinu dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK dan metode pemisahan komponen dengan berdasarkan laju pergeseran dan laju regangan. Penggunaan perangkat lunak yang memerlukan analisis dengan cepat seperti pada penelitian (Pikridas dkk., 2017)

perlu dilakukan. Penggunaan perangkat lunak PPP menjadi solusi yang perlu dilakukan karena dianggap lebih fleksibel. Selanjutnya, belum ada studi yang mengkaji kemampuan metode untuk melakukan dekomposisi tersebut pada laju pergeseran dan laju regangan. Hasil perbandingan yang diperoleh dapat digunakan untuk mengetahui metode MAF yang tepat untuk menjelaskan potensi aktivitas sesar pada Segmen Sianok. Hasil perbandingan nantinya diharapkan dapat mendeteksi sinyal dan pergeseran yang terjadi.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah menentukan nilai kecepatan pergeseran dan nilai regangan titik CORS di sekitar Segmen Sianok. Tujuan khusus dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai dan ketelitian koordinat titik CORS di sekitar Segmen Sianok pada tahun 2020, 2021, 2022, dan 2023 dengan metode PPP.
2. Menentukan nilai kecepatan pergeseran titik CORS BIG di sekitar sesar Segmen Sianok.
3. Menentukan nilai laju regangan kawasan sesar Segmen Sianok.
4. Menganalisis penggunaan metode MAF pada ekstraksi laju pergeseran dan regangan kawasan sesar Segmen Sianok.

I.4. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang sudah dipaparkan, terdapat beberapa pertanyaan pada penelitian ini. Pertanyaan tersebut adalah:

1. Berapa nilai koordinat dan ketelitian titik CORS di sekitar Segmen Sianok pada tahun 2020, 2021, 2022, dan 2023 hasil pengolahan PPP?
2. Berapa nilai kecepatan pergeseran CORS BIG di sekitar sesar Segmen Sianok?
3. Berapa nilai laju regangan kawasan sesar Segmen Sianok?
4. Bagaimana penggunaan metode MAF pada ekstraksi nilai laju pergeseran dan regangan kawasan sesar Segmen Sianok?

I.5. Ruang Lingkup

Penelitian mencakup beberapa batasan, yaitu:

1. Data pengamatan, yaitu delapan titik CORS BIG di Sesar Segmen Sianok dan sekitarnya.

2. HKT digunakan untuk memperoleh nilai laju pergeseran pada tiap data pengamatan CORS.
3. Analisis regangan dari data pengamatan CORS dengan algoritma VISR.
4. Pemisahan sinyal gelombang panjang dan pendek pada laju pergeseran maupun laju regangan menggunakan MAF.
5. Analisis hasil dengan uji statistik signifikansi parameter.

I.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini menghasilkan nilai pergeseran dan regangan pada kawasan sesar Segmen Sianok dengan metode MAF. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam upaya mitigasi bencana di wilayah Sesar Sianok di masa mendatang, serta dapat menjadi referensi dalam bidang ilmu geodinamika pada studi kasus sesar.

I.7. Tinjauan Pustaka

Pemenuhan data dalam mitigasi bencana yaitu tersedianya data deformasi pada suatu lokasi. Data pola deformasi gempa dapat diperoleh melalui data pengamatan *Global Positioning System* (GPS). Analisis deformasi di Pulau Sumatera telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian tersebut menggunakan data CORS GNSS dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK (Santi dkk., 2021; Nur Safi'i & Ardhitasari Lumban-Gaol, 2016; Maiyudi dkk., 2017; Anggriani dkk., 2020; dan Warman dkk., 2023). Penelitian (Santi dkk., 2021) menggunakan enam titik CORS dan 14 titik IGS dalam menganalisis pergeseran dan regangan di Selat Sunda. Hasil penelitian tersebut menunjukkan nilai pergeseran titik pengamatan di Selat Sunda sebesar 34,2 s.d. 52,5 mm. Nilai kecepatan pergeseran secara horizontal pada Selat Sunda sebesar 18,399 s.d. 30,474 mm/th.

Deformasi tektonik Sumatera juga dilakukan oleh (Nur Safi'i & Ardhitasari Lumban-Gaol, 2016) khususnya pemantauan deformasi tektonik di Sumatera Barat dengan data CORS. Pengolahan data dilakukan pada empat titik Ina-CORS di Provinsi Sumatera Barat dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Hasil pengolahan berupa koordinat titik dan vektor pergerakan beserta standar deviasinya. Koordinat mempunyai standar deviasi horizontal antara 1,38 mm s.d. 2,83 mm. Pergerakannya sebesar 0,432 cm s.d. 1,206 cm ke arah timur dan 2,216 cm s.d. 2,829 cm ke arah utara. Nilai vektor pergerakan hasil penelitian ini menunjukkan stasiun tersebut mengarah timur laut.

Pemantauan deformasi Pulau Sumatera yang dilakukan oleh (Warman dkk., 2023; Sinaga dkk., 2020) dengan data stasiun GNSS *Sumatran GPS Array* (SuGAR), Ina-CORS, dan IGS pada tahun 2018 hingga 2022. Penelitian menggunakan sembilan titik CORS dan 44 stasiun SuGAR. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Hasilnya berupa kecepatan horizontal dan pola pergerakan dari masing-masing titik CORS dan SuGAR di Pulau Sumatera. Pergerakan terbesar mengarah ke timur sebesar 39,27 mm/tahun dan ke utara sebesar 38,59 mm/tahun. Titik CORS CTCN mempunyai pergerakan terkecil sebesar 16,7 mm/tahun ke arah timur dan 0,73 mm/tahun ke arah barat. Penelitian (Sinaga dkk., 2020) dilakukan dengan tujuh titik CORS BIG dan empat stasiun SuGAR dalam analisis deformasi koseismik gempa Nias tahun 2019. Penelitian tersebut menghasilkan adanya deformasi subduksi di Pulau Sumatera dengan nilai pergerakan sebesar 0,021 m ke arah barat daya. Pengolahan data GPS SugGAR dilakukan dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK.

Segmen Sianok pernah dilakukan penelitian oleh (Efendi dkk., 2018) dalam analisis pergeseran koseismik Gempa Sianok tahun 2007 dengan data pengamatan GPS. Analisis dilakukan terhadap nilai residu hasil validasi dengan koseismik pada 11 titik pengamatan GPS. Pengolahan data GPS dilakukan dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK dan TSVIEW untuk mengolah data *time series*. Hasil pengolahan dan analisis pada penelitian ini berupa estimasi pemodelan koseismik Gempa Sianok tahun 2007. Model koseismik paling optimal diperoleh dengan standar deviasi nilai residu sebesar $\pm 44,1$ mm ke arah timur-barat dan $\pm 17,6$ mm ke arah utara-selatan. Penelitian terhadap pemantauan sesar dengan pengolahan GAMIT juga pernah dilakukan oleh (Widjajanti dkk., 2020) untuk mengidentifikasi adanya deformasi lokal. Identifikasi deformasi tersebut dilakukan menggunakan metode MAF pada laju pergeseran. Analisis hasil pengolahan yang diperoleh berupa adanya pergerakan gelombang pendek yang menunjukkan gerak heterogen dan identifikasi adanya beberapa zona sesar di Yogyakarta. Penelitian menggunakan metode MAF dalam identifikasi sesar belum dilakukan pada wilayah Sumatera, khususnya Segmen Sianok.

Data GNSS CORS juga pernah dilakukan pengolahan dengan metode PPP dalam penelitian (Isnaini, 2019; Nursyifa, 2023) pada Sesar Kendeng. Penelitian (Isnaini, 2019) menggunakan metode PPP dan menghasilkan nilai pergeseran pada Sesar Anjak Kendeng berkisar antara 1,93 s.d. 1,23 mm/tahun. Penggunaan metode PPP dalam estimasi nilai kecepatan pergeseran tersebut memiliki ketelitian hasil yang lebih tinggi daripada metode

relatif (Isnaini, 2019). Keunggulan metode PPP juga diperkuat dalam penelitian (Nursyifa, 2023) pada penentuan posisi titik CORS di sekitar Sesar Kendeng dengan nilai standar deviasi mencapai fraksi milimeter. Penggunaan metode PPP menghasilkan nilai kecepatan pergeseran akibat deformasi Sesar Kendeng berkisar antara 0,96 s.d. 6,63 mm/tahun.

Berdasarkan acuan dari penelitian sebelumnya, penelitian ini memiliki perbedaan dari penelitian (Warman dkk., 2023; Sinaga dkk., 2020; Efendi dkk., 2018) yang menggunakan metode GAMIT dalam pengolahan data. Penelitian ini menggunakan metode yaitu PPP dalam pengolahan datanya. Penelitian sebelumnya dengan metode yang serupa hanya dilakukan terhadap data pengamatan tahun 2007 (Efendi dkk., 2018), sedangkan pada penelitian ini dilakukan terhadap data pengamatan dalam empat tahun pengamatan, yakni 2020 s.d. 2023.

I.8. Hipotesis

Efendi dkk., 2018 menyatakan bahwa penelitian tersebut masih membutuhkan data pengamatan GPS tambahan untuk penelitiannya serta perlu adanya pengukuran rutin secara berkala guna mencapai hasil yang maksimal. Penelitian terhadap sesar Sumatera terdahulu banyak menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK untuk mengolah data pengamatan GPS. Berdasarkan penelitian (Pikridas dkk., 2017; Nursyifa, 2023) terkait keunggulan penggunaan metode PPP, hipotesis penelitian ini yaitu:

1. Ketelitian koordinat titik CORS di sekitar sesar Segmen Sianok berada pada fraksi milimeter hingga sentimeter dengan kecepatan titik CORS mencapai ketelitian fraksi submilimeter.
2. Nilai kecepatan pergeseran horizontal titik CORS di sekitar sesar Segmen Sianok tidak berbeda dengan penelitian (Efendi dkk., 2018) sebesar 36,02 mm/tahun pada sisi barat dan 38,25 mm/tahun bagian sebelah timur.
3. Pola regangan di Segmen Sianok didominasi pola kompresi yang menunjukkan keberadaan sesar yang aktif.