STUDI KOSEISMIK GEMPA BENGKULU 2019 MENGGUNAKAN DATA STASIUN SUGAR (SUMATERA GPS ARRAY)

Eben Ezer Wyranto Sirait¹ Dr. Irwan Meilano, S.T., M.Sc.², Satrio Muhammad Alif, S.T., M.T.¹. ¹Institut Teknologi Sumatera, Teknik Geomatika. ²Institut Teknologi Bandung, Teknik Geodesi dan Geomatika.

Abstrak: Gempa merupakan getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pergerakan lempeng yang saling bertumbukan satu sama lain dan menciptakan gelombang seismik. Indonesia merupakan negara dengan aktivitas lempeng tektonik terbesar karena Indonesia memiliki 3 pertemuan lempeng yaitu lempeng Indo-Australian, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Saat ini lempeng Indo-Australia masih terus bersubduksi di bawah lempeng Eurasia yang mengakibatkan Pulau Sumatera menjadi salah satu pulau di Indonesia dengan aktivitas tektonik yang cukup tinggi dan rawan bencana. Gempa yang akan digunakan sebagai penelitian adalah gempa Bengkulu 15 Oktober 2019. Penelitian ini mendapatkan nilai arah dan distribusi slip koseismik gempa Bengkulu 15 Oktober 2019. Manfaat penelitian memberikan informasi untuk mitigasi bencana gempa. Metode yang digunakan yaitu metode GNSS karena GNSS dapat melihat perubahan koordinat dan ketelitian hingga milimeter. Data GNSS bersumber dari *Sumatran GPS Array* (SuGAr) yang pengukuran secara kontinyu (CORS). Hasil yang diperoleh adalah arah pergeseran horizontal yang tertinggi pada stasiun MLKN sebesar -20.7 milimeter dan arah vertikal yang tertinggi pada stasiun BSAT sebesar -30.3 milimeter, dan untuk nilai momen leismic sebesar 8.42 x 10¹⁷ Nm pada gempa Bengkulu 15 Oktober 2019.

Kata kunci: Gempa, Lempeng Tektonik, GNSS, Koseismik.

1. Latar Belakang

Gempa merupakan getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa terjadi akibat pergerakan dari lempeng-lempeng yang menyusun bumi, lempeng tersebut dapat bertumbukan, bergesekan, maupun menindih satu sama lain [1]. Indonesia merupakan negara dengan aktivitas tektonik terbesar karena Indonesia merupakan pertemuan 3 lempeng besar yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik (Gambar 1.1). Saat ini lempeng Indo-Australia masih terus bersubduksi di bawah lempeng Eurasia yang mengakibatkan Pulau Sumatera menjadi salah satu pulau di Indonesia dengan aktivitas tektonik yang cukup tinggi dan rawan bencana [2].

Sumatera terletak di sepanjang jalur dua lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia dan lempeng India-Australia (Gambar 1.1). Batas dua lempeng ini terlihat jelas dari jalur alur laut di sebelah barat Sumatera sampai ke Kepulauan Andaman, dimana lempeng India-Australia menunjam di bawah Sumatera dengan kecepatan 50-60 mm/tahun dan kemiringan dari batas penunjaman sekitar 12° ke arah timur [3]. Sumatera merupakan pulau di Indonesia yang memiliki potensi gempa yang cukup besar, contoh salah satu kejadian yang dimana bencana terjadi pada provinsi Aceh, saat itu Aceh mengalami gempa dengan kekuatan 9.3 magnitudo mengakibatkan gelombang tsunami yang meluluhlantakkan kota Serambi Mekkah. Selain itu bencana Gunung Sinabung, gunung ini tidak pernah tercatat meletus sejak tahun 1600, tetapi aktif kembali pada tahun 2010. Bencana-bencana seperti gempa menunjukkan Pulau Sumatera memiliki tektonik lempeng yang aktif [3].

Metode GNSS (*Global Navigation Satellite System*) merupakan metode yang digunakan untuk menentukan posisi (lintang, bujur, dan ketinggian) serta waktu dalam satuan ilmiah di bumi. Pemantauan menggunakan metode GNSS dapat dilakukan secara berkala ataupun kontinyu (CORS).

Continuously Operating Reference Station (CORS) merupakan teknologi berbasis GNSS yang berwujud sebagai suatu jaring kerangka geodetik yang pada pada setiap titiknya dilengkapi dengan *receiver* yang mampu menangkap sinyal dari satelit dan beroperasi secara kontinyu 24 jam/hari. Indonesia mempunyai stasiun-stasiun pengamatan CORS, baik dikelola langsung Indonesia (InaCORS) atau dikelola oleh negara lain. *Sumatran GPS Array* (SuGAr) yang merupakan stasiun pengamatan CORS yang dikelola oleh *Earth Observatory of Singapore*, dan tersebar sepanjang 1300 km di pantai barat pulau Sumatera. *Sumatran GPS Array* (SuGAr) merekam pengamatan secara kontinyu dan data SuGAr dapat diakses setelah 3 bulan dan dimanfaatkan untuk studi deformasi dan geodinamika.

Penelitian fase koseismik (siklus saat terjadi gempa) yang diakibatkan gempa di Pulau Sumatera telah banyak dilakukan, sebagai berikut: [4, 6, 7, 8]. Pada penelitian ini membahas koseismik gempa Bengkulu 15 Oktober 2019 dengan pengamatan GNSS. Pengamatan GNSS pada penelitian ini memanfaatkan data stasiun pengamatan *Sumatran GPS Array* dan dilakukan pengolahan data menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK untuk mengetahui posisi, arah, besar pergeseran suatu titik pengamatan secara kontinyu dan kekuatan gempa berdasarkan data GNSS. Manfaat penelitian ini untuk bentuk dari mitigasi bencana yang difokuskan pada informasi gempa selanjutnya untuk efisiensi evakuasi dan hal lainnya. Karena itu suatu gempa selalu dilihat sejarah gempa terdahulu yang pernah terjadi khususnya di Bengkulu



Gambar 1. 1 Peta Persebaran Lempeng Indonesia [5]

2. Metode Penelitian

2.1 Metodologi

Metodologi penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.1. Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- 1. Identifikasi masalah mengenai gempa di Bengkulu pada tahun 2019, nilai dan arah pergeseran, dan penentuan metode dalam menyelesaikan penelitian ini.
- 2. Mendapatkan data mengenai penelitian ini, seperti data rinex SuGAr, data rinex IGS, data file navigasi, data precise ephemeris, dan data ionosfer.
- 3. Mengolah data menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT setelah mendapatkan nilai rangkaian waktu koordinat kemudian mengolah distribusi slip koseismik menggunakan perangkat lunak SDM2011.
- 4. Menganalisis dari hasil pengolahan. Penelitian ini menggunakan teknik analisa yaitu perubahan koordinat dan pergeseran koordinat.



Gambar 2.1 Metodologi Penelitian

2.2 Metode Pengolahan Data

Secara umum, metode pengolahan data terbagi menjadi dua adalah Pengolahan Data GNSS dan Pengolahan Distribusi Slip Koseismik ditunjukkan pada Gambar 2.1.

2.2.1 Pengolahan Data GNSS

Mengolah data GNSS menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT 10.7 ditunjukkan pada Gambar 3.2. Perangkat lunak ilmiah GAMIT 10.7 merupakan kumpulan program untuk memproses data fase untuk memperkirakan posisi tiga dimensi titik di permukaan bumi. GAMIT dirancang untuk berjalan dalam sistem operasi UNIX. Hasil yang diperoleh merupakan koordinat geosentrik dan koordinat toposentrik. Prosedur pengolahan data GNSS dimulai dari mendapatkan data

hingga pemrosesan koordinat deret waktu. Koordinat deret waktu digunakan nanti untuk menghitung kecepatan yang digunakan untuk menghitung nilai dan arah pergeseran digunakan untuk analisis. Adapun rincian kegiatan pengolahan data GNSS (Gambar 2.2):

1. Persiapkan data rinex

Tahap ini merupakan proses mendapatkan data rinex dari sumber data. Data rinex merupakan data mentah dari sebuah pengukuran GNSS. Beberapa data yang dibutuhkan diantaranya: informasi antena untuk setiap data, daftar stasiun pengamatan yang akan digunakan, data observasi IGS sebagai kontrol file, IGS SP3 sebagai file ephemeris, dan file navigasi brdc rinex.

2. Pengecekan

Tahap ini pengecekan *control file* diantara lain menentukan tempat mengolah, menyesuaikan letak folder yang tersedia, menyesuaikan titik ikat, memperbarui stasiun, mengisi koordinat apriori stasiun pengamatan dan titik ikat, mengatur skenario dan strategi mengolah data. Masukkan data pendukung terdiri dari *earth tide*, *ocean tide loading*, *atmospheric loading* untuk mengkoreksi model bumi (pasang surut dan atmosfer).

3. Proses pengolahan

Tahap pengolahan data GNSS yang akan dilakukan berdasarkan DOY dan kompilasi koordinat sehingga menghasilkan rangkaian waktu koordinat.

4. Standar daviasi

Tahap ini merupakan tahap untuk mengukur jumlah variasi atau sebaran sejumlah nilai data dan menghapuskan data yang menyimpang dalam suatu rangkaian waktu koordinat.



Gambar 2.2 Pengolahan Data GNSS

2.2.2 Pengolahan SDM2011

Pengolahan ini dapat dikerjakan setelah mendapatkan nilai koseismik setiap komponen (utara-selatan, timur-barat, atas-bawah). Setelah itu dapat mengolah menggunakan perangkat lunak SDM2011 ditunjukkan pada Gambar 2.3. SDM2011 digunakan untuk mengetahui model distribusi *slip*. Visualisasi pemodelan dapat ditampilkan melalui GMT (*Generic Mapping Tools*). Adapun rincian kegiatan pengolahan data menggunakan SDM2011 (Gambar 2.4):

- 1. *Steepst descent method* untuk melihat distribusi slip koseismik dan *plotting* melalui GMT.
- 2. Analisis suatu teknik dalam menganalisis dari hasil pengolahan. Penelitian ini menggunakan teknik analisa yaitu perubahan koordinat dan pergeseran koordinat.
- 3. Setelah kegiatan dan alur kerja terselesaikan maka melakukan penulisan laporan skripsi (penelitian) dengan baik dan benar.



Gambar 2.3 Pengolahan pada SDM2011

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 3. 1 Hasil Pengamatan Arah Koseismik								
	Lintang	– Bujur	Koseismik			Standar Deviasi		
Stasiun			Timur-	Utara-	Atas-	Timur-	Utara-	Atas-
			Barat	Selatan	Bawah	Barat	Selatan	Bawah
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
BSAT	-3.07671	100.28455	-1.4	-1.1	-30.3	4.5	2.1	18.8
KRUI	-5.09018	103.85471	-0.9	-3.9	10.0	1.8	1.8	8.2
LNNG	-2.28532	101.15648	-1.0	0	-3.5	1.4	1.5	6.4
MKMK	-2.54267	101.09141	-4.6	-0.1	-1.6	5.2	0.4	1.3
MLKN	-5.35255	102.27649	-20.7	-1.6	-1.2	8.3	0.9	3.4
PRKB	-2.96661	100.39961	-3.7	-1.9	-23.2	3.3	2.8	20.9
SLBU	-2.76641	100.00972	-1.1	-3.7	11.0	2.9	2.0	10.8
SMGY	-2.61447	100.10263	-4.9	-2.1	-12.7	17.8	6.3	41.9

3.1 Hasil Pengamatan dan Model Koseismik

Tabel 3. 2 Hasil Uji Statistik

-								
Stasiun	Koseismik		Standar Deviasi					
	Timur-	Utara-	Timur-	Utara-	Р	std P	т	Bergeser
	Barat	Selatan	Barat	Selatan	(mm)	(mm)	1	Dergeser
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
BSAT	-1.4	-1.1	4.5	2.1	1.8	5.0	0.4	Tidak
KRUI	-0.9	-3.9	1.8	1.8	4.0	2.6	1.6	Tidak
LNNG	-1.0	0.0	1.4	1.5	1.0	2.0	0.5	Tidak
MKMK	-4.6	-0.1	5.2	0.4	4.6	5.2	0.9	Tidak
MLKN	-20.7	-1.6	8.3	0.9	20.7	8.3	2.5	Iya
PRKB	-3.7	-1.9	3.3	2.8	4.2	4.3	1.0	Tidak
SLBU	-1.1	-3.7	2.9	2.0	3.9	3.5	1.1	Tidak
SMGY	-4.9	-2.1	17.8	6.3	5.3	18.9	0.3	Tidak

			Koseismik				
Stasiun	Lintang	Bujur	Timur-Barat (mm)	Utara-Selatan (mm)	Atas-Bawah (mm)		
BSAT	-3.07671	100.28455	-2.7	-1.6	-3.5		
KRUI	-5.09018	103.85471	-1.7	-2.3	2.4		
LNNG	-2.28532	101.15648	-1.3	-0.3	-1.0		
MKMK	-2.54267	101.09141	-2.1	0.0	-1.7		
MLKN	-5.35255	102.27649	-18.3	-1.6	-1.2		
PRKB	-2.96661	100.39961	-3.1	-1.2	-3.3		
SLBU	-2.76641	100.00972	-1.4	-3.5	3.3		
SMGY	-2.61447	100.10263	-1.5	-2.1	-3.4		

Tabel 3. 3 Hasil Model Arah Koseismik

3.2 Plotting Pengamatan dan Model Koseismik



Arah Horizontal

Gambar 3.1 Arah Horizontal Pengamatan dan Model





Gambar 3.2 Arah Vertikal Pengamatan dan Model

3.3 Distribusi Slip

Perhitungan nilai *distribution slip* dapat diketahui jika adanya aktivitas gempa. *Distribution slip* merupakan persebaran nilai-nilai dari pergeseran yang sumbernya berasal dari gempa yang terjadi. Pada penelitian ini hasil *distribution slip* merupakan hasil estimasi koseismik gempa Bengkulu terhadap stasiun pengamatan. Gambar 3.3 menghasilkan nilai slip maksimal yang berwarna merah dengan nilai 7.58 cm dan lokasi berdekatan dengan episenter gempa. Selanjutnya nilai distribusi slip digunakan untuk memperhitungkan nilai momen seismik dan nilai magnitudo momen. Momen seismik merupakan estimasi dari bentuk pergeseran bidang sesar yang direkam di stasiun pencatat, sedangkan magnitudo momen merupakan satuan kekuatan gempa yang berkaitan dengan energi yang dilepaskan oleh sumbernya.

Nilai momen seismik yang didapatkan dengan nilai $8.42 \ge 10^{17}$ Nm dan perhitungan magnitudo momen sebesar Mw 5.88. Pada penelitian mengenai estimasi slip akibat gempa Bengkulu 12 September 2007 [6] dengan gempa yang ada di wilayah Bengkulu diperoleh nilai momen seismik dengan nilai 7.14 $\ge 10^{21}$ Nm dan magnitudo momen sebesar Mw 8.5.





Gambar 3.3 Distribusi Slip Gempa Bengkulu 15 Oktober 2019

3.4 Pembahasan

Saat gempa terjadi (koseismik), akan mempengaruhi perubahan rangkaian waktu koordinat yang menimbulkan perubahan nilai pergeseran. Nilai pergeseran koseismik dari titik pengamatan akibat gempa diperoleh dari metode perataan parameter selanjutnya dilakukan selisih antara rata-rata koordinat setelah dan rata-rata koordinat sebelum. Penggunaan rumus didasarkan pada pola perubahan posisi dalam satu stasiun. Nilai koseismik yang akan dibahas hanya saat gempa 15 Oktober 2019. Tabel 3.1 menunjukkan nilai pergeseran pengamatan koseismik dan Tabel 3.3 menunjukkan nilai pergeseran model koseismik. Nilai pergeseran pada saat terjadi gempa (koseismik) yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 terdapat nilai pergeseran pengamatan tertingi adalah stasiun MLKN dengan nilai -20.7 mm sedangkan pergeseran terkecil pada stasiun LNNG dengan nilai -1.0 mm. Untuk Nilai model pergeseran pada saat terjadi gempa (koseismik) yang ditunjukkan pada Tabel 3.3 terdapat nilai pergeseran model tertingi pada stasiun MLKN dengan nilai -18.3 mm sedangkan pergeseran terkecil pada stasiun LNNG dengan nilai -1.3 mm. Dari hasil uji statistik pada Tabel 3.2 hanya satu stasiun yang teridentifikasi bergeser adalah stasiun MLKN. Selanjutnya melakukan visualisasi dari Tabel 3.1 dan 3.3 menggunakan Generic Mapping Tools (GMT). Gambar 3.1 menunjukkan arah horizontal pengamatan dan model koseismik dan Gambar 3.2 menunjukkan arah vertikal pengamatan dan model koseismik. Pada hasil visualisasi diperoleh arah relatif ke barat daya dan barat, sedangkan untuk hasil visualisasi vertikal diperoleh dominan arah ke bawah dan ada beberapa stasiun arah ke atas. Dari arah menunjukkan adanya pengaruh gempa Bengkulu 15 Oktober 2019 terhadap setiap stasiun SuGAr.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Nilai pergeseran tertinggi pada stasiun MLKN sebesar -20.7 mm. Pola arah pergeseran gempa Bengkulu 15 Oktober 2019 bergerak relatif ke arah barat daya dan barat atau mendekati episenter gempa sehingga menunjukkan adanya pengaruh koseismik gempa Bengkulu 15 Oktober 2019.

Nilai slip maksimal sebesar 8.86 cm dengan lokasi berdekatan dengan pusat gempa. Nilai momen seismik sebesar 8.42 x 10^{17} Nm dan perhitungan magnitudo momen sebesar Mw 5.88 pada gempa Bengkulu 15 Oktober 2019.

4.2 Saran

Perlunya kolaborasi ilmu antar bidang ilmu kebumian lainnya yang didukung teknologi dan sumber daya manusia yang baik, dalam upaya mengatasi potensi gempa untuk mitigasi bencana yang lebih baik.

Beberapa data stasiun pengamatan SuGAr memiliki kualitas data yang kurang baik, hal ini terlihat ada beberapa titik pengamatan yang datanya kosong. Oleh karena itu perlu pemeliharaan dan pemantauan lebih lanjut untuk mendapatkan kualitas data yang bagus.

Penambahan titik-titik kontinyu GNSS akan sangat menunjang penelitian yang dilakukan, sehingga diharapkan penelitian yang dilakukan berkembang dan tidak jalan di tempat.

5. Daftar Pustaka

- [1] H. Andreas, Karakteristik Deformasi Strain dan Stress, Bandung, Prodi Geodesi dan Geomatika ITB, 2007.
- [2] J. McCaughey, Sumatran earthquakes with GPS, Singapore: Earth Observatory of Singapore, 2012.
- [3] D. H. Natawidjaja and W. Triyoso, "The Sumatran Fault Zone from Source to Hazard.," *Journal of Earthquake and Tsunami LIPI*, Vols. 1, No. 1 (2007) 21–47. Bandung.
- [4] M. Awaluddin, I. Meilano and Widiyantoro, "Estimation of Slip Distribution of the 2007 Bengkulu Earthquake from GPS Observations Using the Least-Squares Inversion Method," *ITB Journal of Engineering Science*, Vols. 44:187-206, 2012.
- [5] R. Hall, Indonesia, Geology . London: Royal Holloway University of London, London, 2009.
- [6] Sugiyanto, "Analisis Deformasi Permukaan Patahan Aktif Segmen Seulimumdan Segmen Aceh," in *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Kebencanaan TDMRC-Unsyiah*, Banda Aceh, 13 – 19 April 2011, 2011.

- [7] Permana, I. Meilano and D. Sarsito, "Analisis Deformasi Gempa Padang Tahun 2009 Berdasarkan Data Pengamatan GPS Kontinu Tahun 2009 – 2010," *Jurnal Geofisika*, vol. 13 No. 2/2012, 2012.
- [8] S. M. Alif, I. Meilano, E. Gunawan and J. Efendi, "Evidence of Postseismic Deformation Signal of the 2007 M8.5 Bengkulu Earthquake and the 2012 M8.6 Indian Ocean Earthquake in Southern Sumatra, Indonesia, Based on GPS Data," *Journal of Applied Geodesy*, Vols. 10.1515/jag-2015-0019, 2016.