

Pemantauan Deformasi Pulau Sumatra Berdasarkan Survey GNSS Stasiun Sumatran GPS Array (SUGAR), INA-CORS, DAN IGS (International GNSS Service) Tahun 2018-2022

Dira Muvianti Warman¹, Dwi Marsiska Driptufany², Dwi Arini³, Defwaldi⁴, Saiyidinal Fikri⁵, Susilo⁶

¹²³⁴⁵⁶Prodi Teknik Geodesi, FT, Institut Teknologi Padang, Indonesia

*Corresponding-Author. Email: diramuvianti9@gmail.com

Abstrak

Secara geografis Pulau Sumatra terletak di 6°LU - 6°LS dan di antara 95°BT - 109°BT, bagian barat Pulau Sumatra terdapat subduksi lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia, dan juga Pulau Sumatra juga terdapat jalur api pasifik. Zona patahan dan aktivitas vulkanik ini sangat aktif mengeluarkan energinya setiap tahunnya. Pada penelitian ini menggunakan 9 stasiun CORS dan 44 stasiun SuGAR yang tersebar di sepanjang Pulau Sumatera. Dengan DOY 001, 002, 003. Penelitian ini menggambarkan analisis dari perubahan posisi Pulau Sumatra berdasarkan pengamatan stasiun SuGAR dan INA-CORS. Pengolahan data penelitian ini menggunakan software sentific GAMIT, GLOBK. Penelitian ini menghasilkan kecepatan horizontal dan pola pergerakan dari masing – masing Stasiun CORS dan SuGAR yang ada di Pulau Sumatra. Pergerakan yang terbesar terdapat pada stasiun BTET yang bergerak ke timur sebesar 39,27 mm/tahun, dan ke arah utara sebesar 38,59 mm/tahun. Stasiun dengan pergerakan terkecil terdapat pada stasiun CORS CTCN yang bergerak ke arah timur sebesar 16,7 mm/tahun, dan ke arah barat sebesar 0,73 mm/tahun.

Kata kunci: INA-CORS, SuGAR, GAMIT, GLOBK, GMT, perubahan posisi

Abstract

Geographically, Sumatra Island is located at 6°N - 6°S and between 95°E - 109°East. In the western part of Sumatra Island, there is a subduction of the Indo-Australian plate against the Eurasian Plate, and also on the island of Sumatra, there is also the Pacific fire lane. This fault zone and volcanic activity is very active in releasing energy every year. In this study, 9 CORS stations and 44 SuGAR stations were used which were spread along the island of Sumatra. With DOY 001, 002, 003. This study describes an analysis of changes in the position of Sumatra Island based on observations of SuGAR and INA-CORS stations. Processing of this research data using GAMIT, GLOBK sentific software. This research produces horizontal velocity and movement patterns of each CORS and SuGAR Station on the island of Sumatra. The biggest movement is at the BTET station which moves eastward by 39.27 mm/year, and northward by 38.59 mm/year. The station with the smallest movement is at the CORS CTCN station which moves eastward by 16.7 mm/year, and westward by 0.73 mm/year.

Keywords: INA-CORS, SuGAR, GAMIT, GLOBK, GMT, Change of Position.

PENDAHULUAN

Bagian barat Pulau Sumatra terdapat patahan lempeng tektonik yang biasa disebut patahan Sumatra. Patahan Sumatra merupakan patahan geser yang terbentuk akibat penujaman miring antara subduksi

lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia, dan juga Pulau Sumatra juga terdapat jalur api pasifik. Pulau Sumatra sangat rentan terhadap aktifitas vulkanik. Sinaga, Awaluddin & Sabri, (2020), menyebutkan bahwa nilai pergerakan stasiun

SUGAR berkisar 8 – 58 mm/tahun. Secara umum pola arah pergerakan mengarah ke timur laut, pada penelitian ini mengamati stasiun SuGAR dan INA-CORS di sepanjang Pulau Sumatra. Gabungan dari pengamatan stasiun SuGAR dan INA-CORS digunakan dalam pemantauan perilaku lempeng tektonik di sepanjang pantai barat Pulau Sumatra. Pengamatan ini dimaksudkan agar bermanfaat sebagai mitigasi dan juga proses pengakajian potensi arah pergerakan lempeng tektonik pada Pulau Sumatra. Pemantauan pergerakan lempeng tektonik ini salah satunya dapat dilakukan dengan pengamatan pada beberapa stasiun pengamatan GPS yang secara kontinyu merekap data setiap saatnya (Fattaah, Sabri, & Awwaluddin, 2020). Data pengamatan tersebut dapat diolah dengan menggunakan perangkat lunak open source, yaitu menggunakan software scientific GAMIT/GLOBK berbasis LINUX. Penelitian ini menggunakan 44 stasiun SuGAR yang terbentang sepanjang 1300 KM di bagian sebelah barat Pulau Sumatra dan juga 9 stasiun INA-CORS yang ada di Pulau Sumatra.

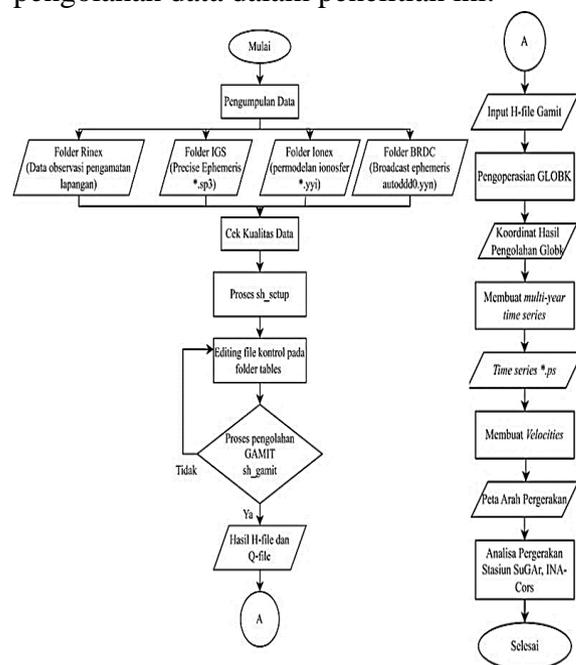
METODE

Penelitian ini dilakukan di sepanjang Pulau Sumatra. Pulau Sumatra merupakan salah satu pulau yang ada di Indonesia. Secara geografis Pulau Sumatra terletak di 6°LU - 6°LS dan di antara 95°BT - 109°BT, yang terdiri dari 10 provinsi. Penelitian membutuhkan piranti-piranti untuk mendukung berjalannya perancangan dan implementasi website, antara lain:

1. Perangkat Keras
 - a. Komputer HP dengan RAM 300GB.
 - b. Laptop Lenovo dengan spesifikasi Intel(R) Core(TM) i5-1035G1 CPU @ 1.00GHz 1.19 GHz
2. Perangkat Lunak
 - a. Linux, sebagai sistem operasi pada komputer.
 - b. Windows 10, sebagai sistem operasi pada laptop.

- c. Software TEQC, GAMIT, GLOBK, GMT, sebagai perangkat lunak pengolahan data.
- d. Microsoft word, sebagai media penulisan laporan.

Dalam penelitian ini, data yang diolah adalah data RINEX observasi (*.yyo) 40 stasiun pengamatan stasiun SuGAR, 9 stasiun INA-CORS dan 19 stasiun IGS dalam kurun waktu 2018 sampai 2022. dan juga data precise ephemeris, permodelan ionosfer, dan data broadcast ephemeris. Dimana pada Gambar.1 menunjukkan alur pengolahan data dalam penelitian ini.



Gambar 1: Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisi hasil-hasil pengolahan GAMIT, hasil pengolahan GLOBK, dan juga hasil GMT yang merupakan hasil dari pengolahan data stasiun INA- CORS, SUGAR, IGS di Pulau Sumatra, pada DOY 001, 002, 003.

1. Hasil Cek Kualitas TEQC

Pada pengecekan kualitas data dengan TEQC beberapa parameter hasil pengecekan data pengamatan memenuhi kriteria apabila efek multipath MP1 dan MP2. Adapun hasil cek kualitas data pada beberapa data stasiun pengamatan terdapat pada table.1.

Tabel 1. Hasil Cek Kualitas Data

Stasiun	Moving Average	
	MP1 (M)	MP2 (M)
bako0010.18o	0,296	0,346
cair0010.18o	0,896	1,17
lais0010.18o	0,548	0,555
bako0010.19o	0,296	0,346
cair0010.19o	1,046	0,997
lais0010.19o	0,571	0,579
bako0010.20o	0,485	0,779
cair0010.20o	0,464	0,742
lais0010.20o	0,717	0,745
cair0010.21o	0,489	0,87
lais0010.21o	0,533	0,549
cair0010.22o	0,485	0,779
lais0010.22o	0,578	0,574

Tabel 2. Nilai WRMS, NL, WL

Tahun	DOY	Posfit NRMS				NL	WL
2018	001	0,182	0,186	0,182	0,186	88,80%	94,60%
	002	0,182	0,188	0,182	0,187	90,10%	93,50%
	003	0,180	0,184	0,179	0,184	90,10%	93,50%
2019	001	0,182	0,186	0,182	0,186	88,10%	92,80%
	002	0,180	0,185	0,180	0,185	87,80%	93,30%
	003	0,180	0,185	0,180	0,184	89,60%	95,80%
2020	001	0,180	0,186	0,180	0,186	94,10%	96,10%
	002	0,181	0,187	0,181	0,187	93,10%	96,30%
	003	0,180	0,187	0,180	0,186	93,20%	96,00%
2021	001	0,189	0,193	0,188	0,193	89,90%	92,70%
	002	0,190	0,196	0,190	0,196	91,50%	93,90%
	003	0,189	0,195	0,189	0,195	88,20%	91,90%
2022	001	0,187	0,194	0,187	0,193	88,60%	91,40%
	002	0,187	0,193	0,187	0,193	90,20%	94,40%
	003	0,187	0,193	0,187	0,193	88,40%	91,70%

2. Hasil Pengolahan Gamit

Data Rinex yang diolah dengan menggunakan GAMIT akan menghasilkan beberapa file hasil pengolahan sebagai berikut.

a. File sh_gamit.summary

File sh_gamit summary memberikan informasi pengolahan GAMIT. Pada file ini ada 3 parameter evaluasi yaitu narrow lane, wide lane, dan postfit nrms yang digunakan sebagai parameter pengolahan data. Nilai postfit NRMS merupakan akar dari perbandingan varian a posteriori dan varian a priori untuk unit bobot tertentu. Nilai postfit nrms dapat dikatakan baik apabila bernilai kurang dari 0,25 (Arini, Meilano & Tanuwijaya, 2019; Purwanto & Awwaluddin, 2020). Parameter lainnya untuk pengecekan adalah ambiguitas fase yang dapat diselesaikan untuk jenis wide lane (WL) dan narrow lane (NL). Nilai WL yang baik adalah lebih dari 90%, apabila kurang dari 90% maka menandakan adanya noise pada pseudorange. Nilai NL yang baik adalah lebih 80%, apabila kurang dari 80% maka menandakan kemungkinan adanya kesalahan pada ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat apriori, atau kondisi atmosfer (Waluyo, Sudarsono, & Yuwono, 2016).

Berdasarkan hasil pengolahan yang telah dilakukan, nilai postfit nrms yang dihasilkan pada pengolahan berkisar 0,180 hingga 0,196. Nilai tersebut tidak melebihi 0,25 sehingga hasil pengolahan GAMIT yang dilakukan tidak ada kesalahan dalam pemodelan layak untuk dilanjutkan ke pengolahan berikutnya. Sementara pada ambiguitas fasenya, nilai wide line (WL) berkisar 87,80% hingga 96,30%. Hal ini menandakan bahwa tidak terdapat noise pada data pseudo range. Pada ambiguitas narrow line (NL) berkisar 88,10% hingga 94,10%. Hal tersebut menandakan tidak terdapat kesalahan pada ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat apriori atau kondisi atmosfer (Khairi, Awaluddin & Sudarsono, 2020).

- Qfile berisikan nilai fract pada setiap hari pengamatan yang dilakukan. Fract merupakan hasil perbandingan antara nilai adjust dan nilai formal.
- Hfile menunjukkan nilai postfit nrms dan adjustment serta matriks varian-kovarian keseluruhan stasiun yang masuk dalam pengolahan.
- g-file berisi laporan kondisi awal dari orbit satelit.
- t-file daftar ephemeris semua satelit pada setiap sesi.

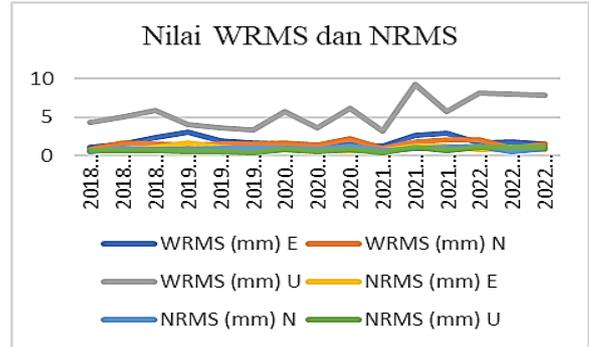
- e. j-file berisi parameter-parameter dari jam satelit yang diterima dan dipancarkan oleh receiver.
- f. d-file yang dihasilkan dari proses makexp. Dalam file tersebut mencakup banyaknya sesi setiap project yang dilaksanakan. Seperti jumlah receiver tiap sesi, jam titik pengamatan pada t-file, jam satelit pada j-file, koordinat l-file, dan termasuk didalamnya urutan dari sesi yang seharusnya diproses.
- g. Autcln.summary-file terdiri atas autcln.prefit.sum dan autcln.postfit.sum. File ini berisi data statistik dari hasil pengolahan auto batch.

3. Hasil Pengolahan GLOBK

Hasil pengolahan data pengamatan 75 stasiun pulau Sumatra dengan GLOBK dapat dievaluasi dari file globk.org. File globk.org terdapat nilai wrms dan nrms, informasi file *.glx yang digunakan, serta nilai koordinat dan simpangan baku koordinat masing-masing stasiun pulau Sumatra dalam sistem koordinat kartesi 3D dan system koordinat toposentrik. Informasi file *.glx merupakan informasi hasil pengolahan GAMIT yang digunakan dalam proses hitungan GLOBK (Fauzi & Heliani, 2020; Nurdianasari, Awaluddin & Amarrohman, 2017).

a. Nilai WRMS dan NRMS koordinat

Dalam penelitian ini, hasil pengolahan GLOBK memiliki nilai wrms dan nrms dalam fraksi yang nantinya akan digunakan dalam evaluasi model hitungan secara statistic dengan ketentuan nilai <10 (Maiyudi, Meilano & Sarsito, 2017). Hal ini menunjukkan hasil pada masing-masing pengolahan data memiliki kualitas yang baik karena memiliki ketelitian yang tinggi.



Gambar 2. Grafik Nilai WRMS dan NRMS

Pada gambar.2 menunjukkan nilai WRMS tertinggi pada komponen east 3,05 pada doy 001 pada tahun 2019, komponen north 2,26 pada doy 003 tahun 2020 dan komponen up 9,33 pada doy 002 tahun 2021. Untuk nilai NRMS terendah pada komponen east 0,70 pada doy 002 tahun 2020, komponen north 0,55 pada doy 001 tahun 2018 dan komponen up 0,40 pada doy 003 tahun 2019.

b. Nilai Koordinat dan Simpangan Baku

Hasil pengolahan data GPS menggunakan GLOBK menghasilkan koordinat dengan sistem koordinat kartesi 3D. Nilai koordinat beserta tingkat ketelitian dari masing-masing titik pengamatan terdapat pada org-file. Nilai koordinat beserta tingkat ketelitian dari masing-masing titik pengamatan yang terdapat pada org-file diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Koordinat Geosentrik

Stasiun	Koordinat Geosentrik (M)			Standar Deviasi (M)		
	X	Y	Z	Sx	Sy	Sz
ABGS	1.040.375,987	6.292.905,334	24.418,5005	0,0033	0,00977	0,00239
ALIC	4.052.052,814	4.212.835,968	2.545.104,476	0,00555	0,00461	0,0036
CBKL	1.352.109,273	6.218.970,144	-419.461,9275	0,00579	0,01499	0,00329
BAKO	1.836.969,523	6.065.616,922	-716.257,9482	0,00520	0,0135	0,00295
BIT2	866.669,7615	6.317.840,220	119.221,7643	0,00506	0,01735	0,00355
BNON	682.736,8141	6.335.332,438	278.648,9263	0,00291	0,01063	0,00235
BSAT	1.137.103,625	6.266.681,400	-340.044,3719	0,00315	0,01138	0,00241

BTET	- 958.358,6375	6.304.144,33 7	-141.693,8857	0,00262	0,00859	0,00205
BTLH	- 855.723,6523	6.320.224,67 8	62.936,8528	0,00308	0,00965	0,00212
BUKT	- 1.142.549,71 2	6.275.784,46 1	-22.323,24321	0,00307	0,00892	0,00217
CAIR	- 1.041.109,65 9	6.292.545,16 8	22.999,27139	0,00438	0,01335	0,00306
CKRI	- 1.529.277,48 1	6.165.276,93 1	-573.789,9333	0,00606	0,01658	0,00371
COCO	- 741.951,1622	6.190.961,71 4	- 1.337.767,272	0,00248	0,00773	0,00251

Setelah dihasilkan koordinat geosentrik, kemudian diubah ke dalam koordinat toposentrik. Hal ini dimaksudkan untuk memasuki tahap selanjutnya, yaitu perhitungan velocity. Perhitungan velocity ini menggunakan koordinat toposentrik karena untuk melihat pergerakan perubahan posisi maka diperlukan posisi awal yang mempunyai titik pusat pada day (day of year) pertama dalam pengamatan. Koordinat toposentrik adalah koordinat yang berpusat di permukaan bumi. Permukaan bumi yang dimaksud adalah letak dari titik CORS yang digunakan.

Tabel 4. Koordinat Toposentrik

Stasiun	Koordinat Toposentrik (M)			Standar Deviasi (M)		
	dN	dE	dU	Sn	Se	Su
ABGS	0,01535	0,02865	-0,0005	0,00239	0,00289	0,01
ALIC	0,11958	0,06285	-0,0094	0,00136	0,00178	0,008
CBKL	0,01345	0,03942	0,01944	0,00319	0,00433	0,016
BAKO	-0,0175	0,05039	-0,0061	0,00279	0,00358	0,014
BIT2	0,02163	0,02439	0,01247	0,00343	0,00397	0,018
BNON	0,03253	0,04999	-0,0174	0,00232	0,0029	0,011
BSAT	0,01723	0,01434	-0,0159	0,00242	0,00297	0,011
BTET	0,05667	0,05671	-0,002	0,00206	0,0024	0,009
BTLH	0,0312	0,02574	-0,0194	0,00211	0,00266	0,01
BUKT	0,00371	0,03024	0,01789	0,00217	0,00257	0,009
CAIR	0,03365	0,05957	-0,0146	0,00306	0,00366	0,014
CKRI	0,00663	0,03374	-0,0063	0,00332	0,00404	0,017
COCO	0,11159	0,09183	-0,0157	0,00173	0,0023	0,008

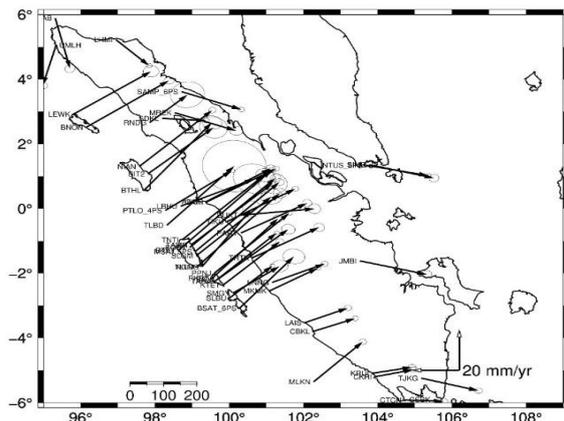
4. Plot Time Series Koordinat Stasiun

Dari keseluruhan pengelolaan stasiun GPS stasiun BTET memiliki nilai WRMS tertinggi pada north yaitu 46,97mm dan east 47,91mm. Dan nilai NRMS tertinggi pada north yaitu 20,5mm dan east 17,39mm. Pada stasiun CTCN memiliki nilai WRMS north terendah yaitu 2,04mm, dan nilai NRMS north terkecil yaitu 0,83mm. Pada stasiun CSBK memiliki NRMS east terkecil yaitu 1,91mm. Pada stasiun MSAI memiliki nilai WRMS up terkecil yaitu 2,33mm. Stasiun SAMP memiliki nilai WRMS up terbesar yaitu 117,07mm, dan nilai NRMS up terbesar yaitu 10,46mm. stasiun TLBD memiliki nilai NRMS up terkecil yaitu 0,27mm. Dan stasiun UMLH memiliki nilai WRMS east terendah yaitu 6,91mm.

5. Hasil Velocity

Proses pengolahan data pengamatan stasiun Sumatra selain menghasilkan koordinat dan simpangan bakunya, dalam penelitian ini juga menghasilkan besar kecepatan pergeseran pada setiap stasiunnya. Vektor kecepatan pergeseran horizontal dari 68 stasiun, fase 2018 s/d, 2022. Vel menunjukkan besar kecepatan komponen East (E), Vel menunjukkan besar kecepatan komponen North (N). Hasil perhitungan kecepatan pergeseran horizontal dengan nilai positif mengindikasikan pergeseran ke arah timur (Evel) dan utara (Nvel). Sedangkan kecepatan pergeseran horizontal dengan nilai negatif mengindikasikan pergeseran ke arah barat (Evel) dan selatan (Nvel). Dari tabel 4.5 di atas pergerakan yang terbesar terdapat pada stasiun SuGAR BTET yang terletak di daerah pulau Siberut, Mentawai. Pada stasiun BTET bergerak ke arah timur sebesar 39,27 mm/tahun, dan bergerak ke arah utara sebesar 38,59 mm/tahun. Untuk stasiun dengan pergerakan terkecil terdapat pada stasiun CORS CTCN yang terletak pada daerah Tampang Tua, Lampung. Stasiun bergerak ke arah timur sebesar 16,7 mm/tahun, dan bergerak ke arah barat sebesar 0,73 mm/tahun. Pulau Sumatra berada di antara pertemuan lempeng benua

(Eurasia) dengan lempeng samudra (Indo-Australia) dimana terjadi penujaman di daerah pantai barat Pulau Sumatra, sehingga menjadikan bagian barat Pulau Sumatra, sedangkan bagian timur relatif turun. Hal ini dapat di lihat pada stasiun MKMK dimana nilai elevasi stasiun MKMK naik sebesar 11,03 mm/tahun, sedangkan pada stasiun JMBI memiliki nilai elevasi turun sebesar 6,54 mm/tahun.



Gambar 3. Peta Arah Pergerakan

Gambar 3 menunjukkan peta arah pergerakan Pulau Sumatra. Secara umum pola arah kecepatan mengarah ke timur laut, sedangkan stasiun pada sisi timur Pulau Sumatra (terletak di timur Patahan Sumatra) mengarah ke tenggara. Hal ini menunjukkan aktifnya struktur right-lateral strike slip fault di Pulau Sumatra. Nilai dan Pola kecepatan pergeseran ini secara umum masih linier dengan penelitian sebelumnya oleh Prasidya dkk, 2015 dan Riyadi dkk, 2016. Nilai kecepatan secara umum telah baik dengan nilai simpangan baku kecepatan yang kecil (ditunjukkan dengan elips pada ujung vektor kecepatan). Pada stasiun CSAB bergerak ke arah selatan dengan kecepatan 24,48 mm/tahun ke arah selatan dan 6,29 mm/tahun ke arah timur, UMLH bergerak ke arah barat daya, dan stasiun LHMI bergerak ke arah tenggara dimana 12,63 mm/ tahun bergerak ke arah selatan dan 14,12 mm tahun bergerak ke arah timur, hal ini disebabkan adanya aktivitas postseismic yang masih berlangsung.

KESIMPULAN

Pergerakan stasiun yang terbesar terdapat pada stasiun SuGAR BTET yang terletak di daerah pulau Siberut, Mentawai. Pada stasiun BTET bergerak ke arah timur sebesar 39,27 mm/tahun, dan bergerak ke arah utara sebesar 38,59 mm/tahun. Untuk stasiun dengan pergerakan terkecil terdapat pada stasiun INA-CORS CTCN yang terletak pada daerah Tampang Tua, Lampung. Stasiun bergerak ke arah timur sebesar 16,7 mm/tahun, dan bergerak ke arah barat sebesar 0,73 mm/tahun. Nilai time-series sudah dikatakan baik apabila grafik time-series menunjukkan panjang yang pendek, Pada grafik data up memiliki kumpulan titik yang cukup panjang, hal ini berbeda dibandingkan dengan grafik data north, east hal ini disebabkan karena pengaruh standar deviasi yang diperoleh dari pengolahan data. Semakin pendek grafik maka semakin kecil standar deviasi yang dihasilkan maka data yang di peroleh semakin bagus. Berdasarkan hasil velocity dan time-series secara umum pola arah kecepatan mengarah ke timur laut, sedangkan stasiun pada sisi timur Pulau Sumatra (terletak di timur Patahan Sumatra) mengarah ke tenggara. Hal ini menunjukkan aktifnya struktur right-lateral strike slip fault di Pulau Sumatra. Rata-rata pergerakan Pulau Sumatera ke arah timur sebesar 25,28 mm/tahun, ke arah utara sebesar 13,75 mm/tahun, dan elevasi naik sebesar 23,33 mm/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Arini, D., Meilano, I., & Tanuwijaya, Z. A. J. (2019). Analisa Pola Pergerakan Sesar Sumatra Berdasarkan Pengamatan Data GPS 2016-2017 Guna Mengetahui Aktivitas Seismik. *Jurnal Spasial*, 6(3), 97–103.
- Fattaah, B. Y. A., Sabri, L. M., & Awwaluddin, M. (2020). Survei Deformasi Sesar Kaligarang Dengan Metode Survei GNSS Tahun 2019. *Jurnal Geodesi*

UNDIP, 9(2), 102-111.

Fauzi, M. A., & Heliani, L. S. (2020). Perbandingan Pergerakan Titik Pantau Deformasi Kepulauan Sangihe Menggunakan Metode Perhitungan Periodik dan Simultan Berdasarkan Data GNSS Tahun 2014, 2015, dan 2016. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 3(1), 28-38.

Khairi, A., Awaluddin, M., & Sudarsono, B. (2020). Analisis deformasi seismik sesar matano menggunakan GNSS dan interferometrik SAR. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(2), 32-42.

Nurdianasari, I., Awaluddin, M., & Amarrohman, F. J. (2017). Analisis Deformasi Postseismik Gempa Nias 2005 Menggunakan Data GPS. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(02), 517-525.

Maiyudi, R., Meilano, I., & Sarsito, D. (2017). Akumulasi Regangan di Sumatera Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2002-2008 dan Dampak Kerusakan Lingkungan Akibat Pelepasan Regangan. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 1(2), 89-99.

Purwanto, D. R., & Awwaluddin, M. (2020). Pemantauan Deformasi Bendungan Jatibarang Menggunakan Survei Gns Tahun 2017-2020. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 31-39.

Sinaga, S. S., Awaluddin, M., & Sabri, L. M. (2020). Analisis Deformasi Koseismik Gempa Nias 3 Juni 2019 Menggunakan Data Cors Big Dan Sugar. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 9(4), 12-21.

Waluyo, S., Sudarsono, B., & Yuwono, B. (2016). Analisis Ketelitian Titik Kontrol Horizontal Pada

Pengukuran Deformasi Jembatan Penggaron Menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.6. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 108-116.