



GPS Technology Implementation for Sangihe Islands' Movement Monitoring in 2017-2019

Hilmiyati Ulinnuha¹, Dwi Lestari¹, Leni Sophia Heliani¹, Nurrohmat Widjajanti¹, Cecep Pratama¹, Parseno¹, Krishna Fitranto Nugroho²

¹ Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

² Alumni Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

ARTICLE INFO

Article History:

Received 30 October 2019

Received in revised form 19 December 2019

Accepted 19 December 2019

Available online 30 December 2019

Keywords:

Earthquake, Sangihe, Subduction, Velocity, Geodynamic.

Corresponding Author:

Hilmiyati Ulinnuha

Email: hilmiyatiulinnuha01@ugm.ac.id

ABSTRACT

Sangihe Islands belong to a complex tectonic area at the subduction of the Eurasian plate and the Philippine Sea. Sangihe subduction zones are complex subduction zone, so that there is a need for continuous movement monitoring. Previous research had been carried out to monitor movement of the Sangihe subduction zone, but no monitoring has been done in 2019. Therefore, this study aims to monitor movement of Sangihe subduction zones with GPS observation data.

This study aims to obtain velocity of Sangihe Islands plate movement during 2017 to 2019. Observation was performed using 3 monitoring control points for 7 days in 2019. While observation data from 2017 to 2018 were obtained from previous studies. Observations was carried out using GNSS differential method technology. Loosely constrained of weighted parameter was performed in least square adjustment of GNSS data daily processing, while Kalman Filtering algorithm applied for combining multiyear GNSS data to estimate the velocity refer to ITRF 2014 using GAMIT/GLOBK.

This study indicates that Sangihe Islands has horizontal movement to the Southeast with velocity vector of 1 to 2.16 cm/year. This results confirm the previous studies in that area.

© Author(s) 2019. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Kepulauan Sangihe merupakan salah satu wilayah tektonik yang kompleks di batas pertemuan Lempeng Eurasia dan Laut Filipina (Bock dkk., 2003). Zona subduksi Sangihe merupakan zona kompleks yang memberikan gambaran beberapa tipe zona subduksi tapi saling berdekatan (Di Leo dkk. 2012). Terlahir 25 Juta tahun yang lalu, Subduksi Sangihe merupakan zona subduksi aktif tertua di kawasan Indonesia-Filipina (Jaffe dkk., 2004). Gambaran tektonik Sangihe di atas menjadikan Kepulauan Sangihe sebagai wilayah yang sangat penting untuk mempelajari kompleksnya proses subduksi.

Pengamatan *Global Positioning System* (GPS) telah digunakan dalam kajian ilmu kebumih. Ketelitian GPS

hingga sub-milimeter membuat banyak proses tektonik dapat dideteksi dalam proses siklus gempa seperti *interseismic*, *coseismic* dan *postseismic*. Kajian deformasi lempeng sepanjang Kepulauan Sangihe menggunakan pengamatan GPS menjadi satu kajian penting dalam memahami proses siklus interseismik. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan kecepatan titik-titik pengamatan GPS untuk melakukan analisis zona subduksi Kepulauan Sangihe.

Penelitian ini dikembangkan dari penelitian sejenis yang sudah pernah dilakukan sebelumnya. Diantaranya adalah penelitian Rangin, dkk (1999) melakukan pengamatan pada area *triple junction* antara Lempeng Sangihe, Lempeng Laut Maluku, Lempeng Halmahera dan Lempeng Laut

Filipina. Pada bagian selatan pulau Mindanao dengan laut Maluku, zone subduksi yang saling bertumbukan searah dengan Lempeng Sangihe dan pada bagian Lempeng laut Filipina bergerak ke arah timur laut terhadap zona subduksi antara Lempeng Sangihe – Halmahera dan Laut Maluku.

Terjadinya deformasi di zona subduksi Sangihe disebabkan oleh aktivitas vulkanik dan kondisi geologinya. Menurut Macpherson, Dkk (2003) geokimia magmatisme adalah penentu penting untuk memahami proses internal zona subduksi aktif dan untuk memberikan penjelasan tentang geodinamika kuno. Aktivitas dua lempeng vulkanik yaitu Lempeng Sangihe dan Halmahera serta pengaruh material subduksi pada zona subduksi Sangihe berkontribusi dalam kegiatan tektonik pada zona tumbukan dari lempeng-lempeng tersebut. Di bagian tenggara dari Kepulauan Sangihe, lempeng Laut Maluku telah ditenggelamkan seluruhnya oleh tabrakan busur Halmahera dengan busur Sangihe. Ini berarti bahwa lempeng Sangihe bergerak ke arah tenggara hingga menenggelamkan lempeng Laut Maluku. Pernyataan ini diperkuat dengan Bock, Dkk (2003) yang mengidentifikasi besar dan arah pergerakan lempeng yang berada di dekat Kepulauan Sangihe. Untuk arahnya, lempeng Sangihe bergerak ke arah tenggara. Sementara lempeng Halmahera diidentifikasi bergerak ke arah barat.

Tahun 2015, Kurniawan melaksanakan penelitian studi deformasi berdasarkan dua kala pengamatan GNSS *epoch* 2014 dan 2015 yang diikatkan pada ITRF 2008 dengan menggunakan 3 titik pantau deformasi (SGH1, SGH2, dan SGH3). Dari penelitian tersebut diketahui titik pantau deformasi Kepulauan Sangihe mengalami pergerakan ke arah tenggara dengan kecepatan pergerakan 3 s.d 15 mm/tahun. Pada studi ini titik SGH2 diidentifikasi telah terjadi perubahan posisi dikarenakan struktur tanah yang kurang stabil. Untuk itu, diperlukan adanya pembuatan dan pengukuran titik baru, yaitu SGH4 di daerah yang dekat dengan titik SGH2, sehingga pada tahun 2016 dilakukan pengukuran kembali pada tiga titik pantau deformasi (SGH1, SGH3, dan SGH4) yang diikatkan pada ITRF 2014 (Nugraha, 2017). Dari penelitian yang dilakukan oleh Nugraha diketahui titik SGH1 dan SGH3 mengalami pergerakan ke arah tenggara dan SGH4 mengalami pergerakan ke arah barat daya.

Tahun 2017, Ladivanov melaksanakan penelitian studi deformasi di Kepulauan Sangihe menggunakan tiga titik pantau deformasi (SGH1, SGH3, dan SGH4). Penelitian ini menggunakan teknologi GNSS *epoch* 2014 hingga 2017. Data GPS diikatkan dengan stasiun IGS yang kemudian diikatkan dengan ITRF 2014. Arah pergerakan SGH1, SGH3 dan SGH4 memiliki arah yang sama. SGH1, SGH3 dan SGH4 mengalami pergerakan ke arah tenggara dengan kecepatan pergerakan horizontal terbesar 16,97 mm/tahun.

Monitoring pergerakan lempeng perlu dilakukan secara berkala. Tahun 2019 dilakukan *monitoring* dan

pengumpulan data baru di Kepulauan Sangihe. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah:

- i. Menghitung besar kecepatan pergerakan lempeng di kepulauan Sangihe menggunakan data pengamatan GPS tahun 2017 sd 2019.
- ii. Menganalisis arah kecepatan pergeseran Lempeng Sangihe pada tahun 2017 sd 2019.

2. Data dan Metodologi

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data pengamatan 3 titik kontrol tahun 2019 (SGH1, SGH3, dan SGH4).
2. Hasil pengamatan GPS 3 titik kontrol tahun 2018.
3. Data RINEX dari 7 stasiun IGS, yaitu stasiun BAKO, COCO, DARW, DGAR, CUSV, PIMO, dan KARR. (diunduh melalui <http://garner.ucsd.edu>)
4. Data *precise ephemeris* (diunduh melalui <http://igsb.jpl.nasa.gov>)
5. Data *broadcast ephemeris* (diunduh melalui <http://igsb.jpl.nasa.gov>)
6. Data *h-file* global (diunduh melalui <http://garner.ucsd.edu>)
7. *File* koreksi pasang surut (diunduh melalui <http://garner.ucsd.edu>)
8. *File* pemodelan cuaca (diunduh melalui <http://everest.mit.edu>)
9. *File* atmosfer (diunduh melalui www.GNSSg.mit.edu)

Tahapan penelitian ini dapat dibagi menjadi tiga bagian besar, yaitu pengumpulan data dan pengukuran lapangan epoch 2019, pengolahan data, dan analisis hasil pengolahan data.

2.1. Pengukuran lapangan

Tahap ini dilakukan pengumpulan data pengamatan titik kontrol pada *epoch* 2017, 2018 dan pengukuran lapangan pada *epoch* 2019. Pengukuran lapangan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

a) Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan dilakukan ketika awal penelitian untuk mengetahui dan mengecek keberadaan titik serta transportasi yang diperlukan. Tiga buah titik yang digunakan sebagai titik kontrol. Lokasi titik-titik tersebut adalah :

- SGH 1 : Lokasi di Desa Mohongsawang, Kecamatan Kendahe
- SGH 3 : Lokasi di Selatan Desa Bebalang, Kecamatan Manganitu
- SGH 4 : Lokasi di Kelurahan Kolongan Mitung, Kecamatan Tahuna Barat

b) Pengukuran

Pengukuran dilakukan menggunakan *receiver GNSS geodetic* selama 7 hari pengamatan dengan interval pengamatan 15 detik. Pada proses ini dibutuhkan surveyor pengukuran minimal 6 orang. Adapun data pengamatan tahun 2017 dan 2018 dikumpulkan kembali dari data pengamatan pada penelitian sebelumnya.

2.2. Pengolahan data pengamatan

Pengolahan data pengamatan dilakukan melalui 3 tahapan yaitu :

a. Kontrol kualitas data pengamatan

Kontrol kualitas data diperlukan untuk mengetahui pengaruh eksternal pada saat pengamatan dan pengumpulan data lapangan. Hal ini termasuk efek ionosfer, efek *multipath* sinyal GNSS, dan kesalahan jam satelit. Kontrol kualitas ini dilakukan dengan perangkat lunak TEQC.

b. Pengolahan data pengamatan GNSS

Pengolahan data pengamatan ini menggunakan perangkat lunak *scientific* pengolah data GNSS yaitu GAMIT/GLOBK. Pengolahan ini terdiri dari dua tahap yaitu tahap pengolahan data harian pada modul GAMIT dan tahap pengolahan vektor kecepatan pada modul GLOBK. Pengolahan data harian dengan GAMIT merupakan perataan jaring bebas multi baseline dengan hitungan perataan *loosely constraint weighted parameter*. Pengolahan ini titik-titik GPS Sangihe dihubungkan dengan tujuh stasiun IGS, yaitu BAKO, COCO, DARW, DGAR, CUSV, PIMO, dan KARR. Uji statistik dilakukan untuk mengevaluasi hasil pengolahan harian ini sebelum dilakukan solusi gabungan untuk menentukan vektor kecepatan titik-titik pengamatan Sangihe dengan modul GLOBK. Hasil pengolahan GAMIT dikatakan bebas dari bias maupun kesalahan kasar apabila memenuhi kriteria nilai *postfit nrms* < 0.5 meter dan nilai *fract* < 10.

c. Perhitungan Vektor Kecepatan berdasarkan data tahun 2017, 2018 dan 2019

Perhitungan kecepatan dilakukan dengan menggunakan Kalman *filtering* pada modul GLOBK dengan menggabungkan hasil pengolahan harian tahun 2017, 2018 dan 2019. Perhitungan Kalman *filtering* merupakan proses penggabungan solusi harian dalam satu solusi dan mendapatkan posisi rata-rata titik pengamatan. Proses stabilisasi atau pengikatan dengan mengacu pada ITRF 2014, dan penentuan vektor kecepatan berdasarkan data multi tahun. Hasil dari tahapan ini adalah besar dan arah kecepatan pergerakan titik pantau.

2.3. Analisis pengolahan data

Pergerakan Lempeng Sangihe dianalisis berdasarkan arah dan besar kecepatan pergerakan yang terjadi pada titik-titik pantau dari tahun 2017 s.d 2019. Arah dan besar

pergeseran yang diperoleh dianalisis dan dibandingkan dengan hasil perhitungan oleh peneliti sebelumnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini dibagi dalam hasil pengukuran lapangan, hasil kontrol kualitas data, dan hasil pengolahan data.

3.1. Hasil pengukuran lapangan

Data pengamatan tahun 2019 diperoleh dari pengukuran yang dilakukan pada tanggal 27 Juli hingga 4 Agustus 2019. Dari pengukuran lapangan didapatkan data pada *Doy (Day Of Year)* 210 sd 216. Masing-masing *Doy* pengamatan memiliki interval data selama 15 menit. Tidak terdapat masalah berarti selama pengukuran. Namun, jarak antar titik yang sangat jauh dan terdapat lokasi yang tidak terjangkau internet, membuat komunikasi tim lapangan menjadi terhambat.

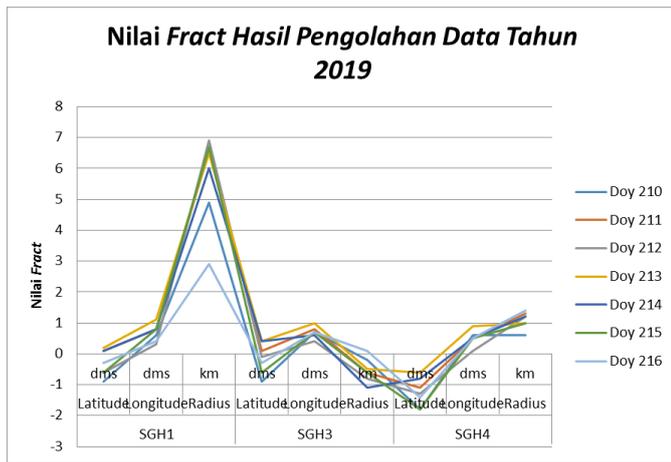
Pengukuran dilakukan di 3 titik yaitu titik SGH1, SGH3, dan SGH4. SGH1 terletak di Petra, SGH4 di Tahuna, dan SGH3 terletak di Desa Bebalang. Titik kontrol SGH3 terletak paling jauh dengan kota Tahuna, Kabupaten Kepulauan Sangihe.



Gambar 3.1 Titik Kontrol SGH1



Gambar 3.2 Titik Kontrol SGH3



Gambar 3.5 Nilai *fract* hasil pengolahan data tahun 2019

3.4. Hasil analisis pergerakan Kepulauan Sangihe

Setelah didapatkan hasil pengolahan jaring data tahun 2019, selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan menggabungkan hasil perataan jaring data tahun 2017, 2018, dan 2019. Data pengolahan jaring 2017 dan 2018 berdasarkan hasil pengolahan Nugroho (2019). Hasil pengolahan pergerakan Kepulauan Sangihe berdasarkan pengamatan 3 titik dituangkan dalam bagian ini.

Tabel 3.2 Komponen Kecepatan Pergerakan Kepulauan Sangihe (2017 sd 2019)

Titik	Kecepatan Pergerakan (mm/tahun)		
	Komponen	Nilai Kecepatan	Simpangan Baku
SGH1	V_N	-4,65	1,91
	V_E	11,34	2,52
	V_U	43,26	8,83
SGH3	V_N	-3,55	1,35
	V_E	9,98	1,27
	V_U	-2,49	3,57
SGH4	V_N	-17,79	1,25
	V_E	12,34	1,58
	V_U	-15,75	5,44

Tabel 3.2 Koordinat Acuan Kecepatan Pergerakan Kepulauan Sangihe (2017 sd 2019)

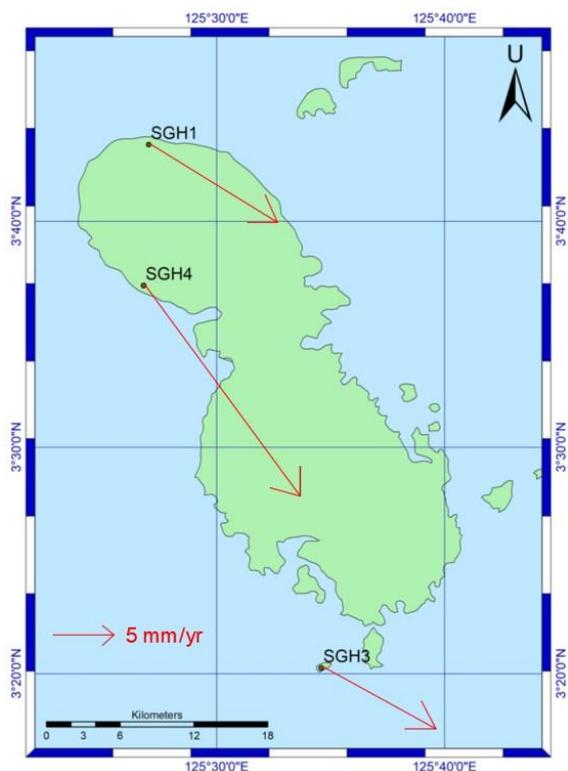
Titik	Koordinat Acuan (m)	
	Komponen	Nilai Koordinat
SGH1	N	415703,2957
	E	13934663,19
	U	93,33805
SGH3	N	371708,3342
	E	13954900,19

	U	146,97161
	N	403326,17
SGH4	E	13936373,05
	U	89,48429

Tabel 3.3 Besar Vektor Kecepatan dan Arah Pergerakan Kepulauan Sangihe (2017 sd 2019)

Titik	Vektor Kecepatan Horizontal (mm/tahun)	Azimuth	Arah
SGH1	12,256	112° 17' 46,41"	Tenggara
SGH3	10,592	109°34' 51,79"	Tenggara
SGH4	21,651	145° 15' 10,66"	Tenggara

Tabel 3.2 sd. 3.4 menunjukkan besar, arah dan koordinat acuan pergerakan tiga titik pantau Kepulauan Sangihe, Sedangkan pergerakan Kepulauan Sangihe berdasarkan 3 titik kontrol ditunjukkan pada Gambar 3.6. Komponen V_E dan V_N menunjukkan arah horisontal, sedangkan V_U menunjukkan arah vertikal. Nilai V_E positif menunjukkan pergerakan ke arah Timur dan V_E negatif menunjukkan pergerakan ke arah Barat.



Gambar 3.6 Pergerakan Kepulauan Sangihe (2017 sd 2019)

Komponen V_N positif menunjukkan pergerakan ke arah Utara dan V_E negatif menunjukkan pergerakan ke arah Selatan. Untuk komponen vertikal (V_U) bernilai negatif

apabila terjadi penurunan, sedangkan komponen vertikal (V_U) bernilai positif apabila pergerakan kenaikan tanah.

Pada masing-masing komponen kecepatan yaitu komponen V_E , V_N , V_U , titik SGH 1 memiliki pergerakan terbesar 43,26 mm dengan simpangan baku 8,83 mm, sedangkan kecepatan terendah pada titik SGH3 komponen V_U sebesar -2,49 mm dengan simpangan baku 3,57 mm. Komponen ini juga merupakan satu-satunya komponen kecepatan dengan nilai simpangan baku lebih besar dari pada nilai kecepataannya. Hal ini dapat disebabkan oleh lama waktu pengamatan yang dilakukan yang belum dapat mepresentasikan komponen vertikal dengan baik.

Secara keseluruhan, hasil pengolahan data 2017 sd 2019 ini menunjukkan bahwa Kepulauan Sangihe mengalami pergerakan horizontal ke arah Tenggara dengan vektor kecepatan sebesar 1 sd 2,16 cm/tahun. Hasil analisis ini mendukung hipotesis dan penelitian Ladivanov (2017) yang menyatakan Kepulauan Sangihe bergerak ke arah tenggara dengan pergerakan horizontal terbesar 16,97 mm/tahun.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah berdasarkan data pengamatan GPS pada tahun 2017 sd 2019, Kepulauan Sangihe mengalami pergerakan horizontal dengan kecepatan sebesar 1 sd 2,16 cm/tahun. Kepulauan Sangihe memiliki pergerakan ke arah Tenggara.

5. Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini (*The authors declare no competing interest*).

6. Referensi

- Anonim, 2000. "Documentation for the GAMIT GPS Analysis Software", Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Bock, Y., dkk. 2003. "Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements". *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B8). JOUR.
- Di Leo, J. F., dkk. 2012. "Deformation and mantle flow beneath the Sangihe subduction zone from seismic anisotropy". *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 194-195, 38-54.
- Herring, T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky, S.C., 2006. "Introduction to GAMIT/GLOBK". Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institutes of Technology.
- Jaffe, L. A., Hilton, D. R., Fischer, T. P., & Hartono, U. 2004. "Tracing magma sources in an arc-arc collision zone: Helium and carbon isotope and relative abundance systematics of the Sangihe Arc, Indonesia". *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*,

Kurniawan, G., 2016, "Analisis Deformasi Kepulauan Sangihe Berdasarkan data pengukuran GNSS Epoch 2014 dan Epoch 2015". Universitas Gadjah Mada.

Ladivanov, F., 2017. "Analisis Deformasi Kepulauan Sangihe Berdasarkan Data Pengukuran GNSS Epoch 2014, 2015, 2016, dan 2017". Universitas Gadjah Mada.

Macpherson, Forde, Hall and Thirlwall. 2003. "Intra-Oceanic Subduction Systems: Tectonic and Magmatic Processes", ISBN 1-86239-147-5 p208.

Nugraha, S., 2017. "Analisis Deformasi Kepulauan Sangihe Berdasarkan Tiga Kala Pengamatan Data Pengukuran GNSS Tahun 2014, 2015 dan 2016". Universitas Gadjah Mada.

Nugroho, K.F., 2019. "Analisis Deformasi Kepulauan Sangihe Berdasarkan Data Pengukuran Gns Epoch 2015, 2016, 2017, Dan 2018". Universitas Gadjah Mada.

Rangin, C., dkk. 1999. "Plate convergence measured by GPS across the Sundaland/Philippine Sea Plate deformed boundary: the Philippines and eastern Indonesia". *Geophys. J. Int.* (1999) 139, 296-316.