

ANALISIS DEFORMASI SESAR MATANO MENGGUNAKAN DATA UKURAN GNSS TAHUN 2018-2021

Fauzi Janu Amarrohman^{1*}, Arief Laila Nugraha¹, Christovel Mangaratua Hutagalung¹
¹Departemen Teknik Geodesi-Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Jawa Tengah Indonesia
Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia-75123 Telp./Faks: (024) 736834
e-mail: fauzijanu@lecturer.undip.ac.id*

(Diterima 12 April 2022, Disetujui 4 Juni 2022)

ABSTRAK

Indonesia berada antara tiga lempeng kerak utama yang aktif, yaitu lempeng Eurasia, lempeng India-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng mikro Filipina. Wilayah Sulawesi merupakan bagian dari Indonesia bagian timur yang memiliki lempeng tektonik yang kompleks dimana Sesar Matano merupakan salah satu sesar aktif di kawasan tersebut. Aktivitas pergerakan sesar tersebut perlu di pantau setiap tahunnya untuk keperluan mitigasi bencana gempa maupun tsunami. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas pergerakan lempeng yang terjadi pada periode tahun 2018 sampai dengan tahun 2021 melalui 20 Titik Pantau Geodinamika (TPG) yang berlokasi di kawasan jalur Sesar Matano. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data pengamatan GNSS di kawasan jalur sesar Matano secara episodik pada bulan Februari tahun 2018 sampai dengan bulan September tahun 2021 yang diperoleh dari Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika (PJKGG) Badan Informasi Geospasial (BIG) serta data pengamatan dari International GNSS Service (IGS) sebagai titik referensi. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* GAMIT/GLOBK. Nilai *Velocity rate* horizontal terbesar terjadi pada titik 4114 dengan nilai pergeseran 80,2000 milimeter/tahun dan nilai rata-rata 0,0066 meter/tahun. Nilai *Velocity rate* vertikal terbesar terjadi pada titik 4114 dengan nilai pergeseran 50,400 milimeter/tahun dan nilai rata-rata 12,7000 milimeter/tahun. Arah gerak stasiun GNSS Matano Periode tahun 2018 sampai dengan tahun 2021 menunjukkan bagian utara sesar mengalami vektor pergeseran horizontal yang dominan ke arah utara sedangkan bagian selatan sesar mengalami vektor pergeseran horizontal dominan ke arah timur. Pola pergeseran vertikal bagian utara dan selatan sesar mengalami sesar naik (*reverse fault/thrust fault*).

Kata kunci : *Deformasi, GAMIT, GNSS, Sesar Matano, Velocity*

ABSTRACT

Indonesia is located between three main active crustal plates, namely the Eurasian plate, the India-Australia plate, the Pacific plate, and the Philippine microplate. The Sulawesi region is part of eastern Indonesia which has complex tectonic plates where the Matano Fault is one of the active faults in the region. The fault movement activity needs to be monitored every year for earthquake and tsunami disaster mitigation purposes. This study aims to determine the plate movement activity that occurred in the 2018-2021 period through 20 Titik Pantau Geodinamika (TPG) located in the Matano fault line area. The data used in this study is GNSS observation data in the Matano fault line area episodic in February 2018, February 2019, February 2020 and September 2021 obtained from Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika (PJKGG) Geospatial Information Agency and observational data of the International GNSS Service (IGS) as a reference point. Data processing is done using GAMIT/GLOBK software. The largest horizontal Velocity rate value occurs at point 4114 with a shift value of 80.2000 mm/year and an average value of 0.0066 m/year. The largest vertical Velocity rate value occurs at point 4114 with a shift value of 50,400 mm/year and an average value of 12,7000 mm/year. The direction of motion of the Matano GNSS station for the 2018-2021 period shows that the northern part of the fault experiences a dominant horizontal shift vector to the north while the southern part of the fault experiences a dominant horizontal shift vector to the east. The vertical shift pattern in the north and south of the fault experiences a reverse fault/thrust fault.

Keywords : *Deformation, GAMIT, GNSS, Matano Fault, Velocity*

1. PENDAHULUAN

Secara struktural, Indonesia berada antara tiga lempeng kerak utama yang aktif, yaitu lempeng Eurasia, lempeng India-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng mikro Filipina. Pergerakan lempeng tektonik yang konvergen akan membentuk zona subduksi, dan sisa energi dari proses subduksi akan menimbulkan patahan di daratan dan lautan. Pergerakan lempeng seperti ini membuat Indonesia rawan gempa dan tsunami (BMKG, 2022). Hampir seluruh wilayah Sulawesi termasuk dalam kategori rawan gempa bumi dan tsunami, hal ini disebabkan karena wilayah Sulawesi terdapat sesar yang memiliki dimensi cukup besar (Saputra, 2016). Peran geodesi terhadap pemutakhiran seismogram adalah estimasi geodetik kecepatan dan regangan struktur, *slip rate* dari pengamatan GPS/GNSS, dan identifikasi segmentasi subduksi.

Wilayah Sulawesi merupakan bagian dari Indonesia bagian timur dan memiliki lingkungan tektonik yang kompleks. Sulawesi Utara terdapat beberapa sesar aktif yang berasal dari Sulawesi Tengah, salah satunya adalah sesar Matano. Penelitian ini melakukan perhitungan pengamatan GPS/GNSS pada stasiun pengamatan Titik Pantau Geodinamika (TPG) milik Badan Informasi Geospasial (BIG) yang tersebar di kawasan sesar Matano dengan rentang pengamatan tahun 2018 sampai dengan tahun 2021. Data pengamatan diproses menggunakan *software* GAMIT/GLOBK versi 10.71 dengan mengikat data pengamatan TPG terhadap IGS untuk mendapatkan nilai posisi dari TPG setiap tahunnya. Berdasarkan nilai posisi tersebut dapat diketahui nilai kecepatan pergeseran/tahun yang akan digunakan untuk menganalisis arah pergeseran Sesar Matano dalam kurun waktu tahun 2018 sampai dengan tahun 2021. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut pada Sesar Matano.

Tujuan penelitian yang dilakukan yaitu untuk mengetahui nilai *velocity rate* stasiun GNSS Matano sepanjang tahun 2018 sampai dengan tahun 2021 dan mengetahui arah gerak stasiun GNSS Matano akibat pergeseran yang terjadi periode tahun 2018 sampai dengan tahun 2021. Dalam mencapai tujuan tersebut maka batasan masalah dari penelitian ini yaitu; Wilayah Penelitian berada sekitar wilayah Sesar Matano, Sulawesi. Luas batas penelitian berada pada 120,417° bujur timur sampai 121,706° Bujur Timur dan -3.073° lintang selatan sampai -1,586° Lintang Selatan. Penelitian ini mengenai model *velocity* Matano menggunakan data Titik Pantau Geodinamika (TPG) sepanjang tahun 2018 sampai dengan tahun 2021. Penelitian

ini menggunakan 20 TPG yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Pengolahan data stasiun GNSS menggunakan *software* GAMIT/GLOBK versi 10.71 dengan mengikat ke kerangka ITRF 2014.

2. STATE OF THE ART DAN LITERATURE REVIEW

2.1. Deformasi

Deformasi merupakan perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu materi baik dari alam ataupun buatan manusia dalam skala waktu dan ruang (Sukmawaty, 2018). Suatu titik dikatakan bergerak mutlak jika terjadi perubahan pergerakan titik itu sendiri dan suatu titik dikatakan bergerak relatif jika pergerakan titik tersebut dilihat dari acuan titik lain. Model deformasi yang baik adalah model yang dapat secara akurat menggambarkan pola pergerakan lempeng tektonik secara keseluruhan. Dalam datum semi dinamis, model deformasi berfungsi untuk mengubah koordinat *epoch* pengukuran menjadi *epoch* referensi, sehingga data spasial yang posisinya ditentukan pada zaman yang berbeda dapat bersatu dalam satu *epoch*, yaitu *epoch* referensi (Geospasial, 2022).

Deformasi dapat terjadi jika suatu benda atau materi dikenai gaya (*force*). Deformasi dapat menjadi sumber dalam menganalisis bagaimana perubahan ataupun pergerakan pada suatu titik pengamatan dalam membuat keadaan bentuk benda di bumi secara absolut maupun relatif, yang menjadi sumber penyebab mengapa keadaan pergerakan lempeng bumi tersebut telah berubah. Suatu titik pengamatan dapat bergeser secara absolut apabila hasil yang dilakukan terdapat keadaan perubahan gerakan dari suatu titik pengamatan dapat disebut bergerak secara relatif apabila bentuk perubahan pergeseran titik pengamatan tersebut telah dilihat dari perbandingan referensi titik ikat dan pengamatan yang lain. Perubahan posisi titik pengamatan tersebut dapat mengacu pada sistem koordinat referensi yang telah digunakan untuk melihat dan mengetahui bagaimana keadaan perubahan tanah tersebut.

2.2. Sesar Matano

Sesar Matano terletak pada lempeng tektonik yang mengalami pergerakan yang memiliki kontribusi terhadap kejadian gempa. Pergerakan sesar mempengaruhi besarnya magnitudo gempa tergantung pada luasan bidang sesar yang saling mengunci dimana semakin luas area nya memiliki kemungkinan besarnya *magnitude* gempa tersebut (Fajriani, 2018). Pembagian sesar menurut

Anderson (1951) terbagi menjadi sesar mendatar, sesar naik, sesar turun dan sesar oblique. Sesar Matano sendiri memiliki tingkat kegempaan yang tinggi, hal ini terbukti banyak gempa bumi yang pernah terjadi di daerah tersebut, salah satunya pada tanggal 15 Februari 2011. Gempa mengguncang Soroako dengan pusat gempa di darat dan kedalaman dangkal. Akibat sesar, menyebabkan kerusakan infrastruktur yang serius (Ical, 2017). Sesar Matano yang terdapat di darat, dicirikan oleh lembah lurus memanjang dari Pantai Lengan Tenggara Sulawesi, memotong "Sesar Poso Atas" di Sulawesi Tengah, dan akhirnya bergabung dengan sesar Palu-Ko Luo.

2.3. Global Navigation Satellite System (GNSS)

GNSS adalah sistem satelit yang terdiri dari konstelasi satelit yang menyediakan informasi waktu dan lokasi, memancarkan macam-macam sinar dalam berbagai frekuensi secara terus-menerus, yang tersedia di semua lokasi diatas permukaan bumi (Anggara, 2019). GNSS yang saat ini digunakan dari berbagai negara antara lain GPS (*Global Positioning System*) oleh Amerika Serikat, GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) oleh Rusia, Galileo dari Uni Eropa, Compass atau BeiDou dari China (Prasetyaningsih, 2012).

2.4. Translate Editing and Quality Checking (TEQC)

Pengecekan kualitas data, konversi dan penyuntingan hasil pengukuran GNSS yang berupa file observasi dan file navigasi dapat dilakukan dengan perangkat lunak Translate Editing and Quality Checking (TEQC). Informasi hasil pengecekan dengan TEQC yaitu berupa nilai *multipath*, rentang perekaman data, waktu mulai dan berakhir pengukuran, pengaruh ion terhadap perambatan sinyal, dan informasi lainnya. Beberapa parameter yang harus dipenuhi agar data hasil pengukuran GNSS dinilai baik (Lestari, 2006) diantaranya *Moving average* MP12 (efek *multipath* pada frekuensi L1) dan *Moving Average* MP21 (efek *multipath* pada frekuensi L2) memiliki nilai kurang dari 0,5, nilai IOD Slips (*delay ionosfer*) kurang dari 100, nilai IOD dan MP Slips (*delay ionosfer* dan *multipath*) kurang dari 100, dan tingkat perekaman data, semakin mendekati 100% semakin baik.

2.5. GPS Analysis Package Developed at MIT (GAMIT/GLOBK)

GPS Analysis Package Developed at MIT (GAMIT) adalah sebuah perangkat lunak dalam deformasi yang telah dirancang untuk mengamati hasil pengolahan data dalam pengukuran GPS yang

telah dikembangkan oleh MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) dan SIO (*Scripps Institution of Oceanography*). GLOBK merupakan program pada perangkat GAMIT, yang mampu mengkombinasikan hasil pemrosesan pengerjaan data telah diamati. Hasil dari data tersebut, dapat input pada GLOBK yakni hasil data matriks kovarian dari koordinat stasiun, parameter dari keadaan rotasi bumi, parameter orbit, dan koordinat hasil pengamatan yang telah diamati disebut berubah. *Input file* hasil pengolahan dengan GAMIT atau GIPSY atau Barnesse yang digunakan adalah *h-file*.

2.6. Velocity

Velocity adalah perubahan perpindahan pada kerangka acuan yang merupakan fungsi dari waktu data yang didapat. *Velocity* juga dapat menjadi acuan pada tingkatan yang sudah menjadi penentuan dalam sebuah objek data yang mengalami berubah posisi dari posisi awal (Fadinda, 2021).

Velocity juga diartikan sebagai besaran vektor, yang hasil dari besaran data vektor telah mempunyai arah dari kecepatan tersebut dan sedangkan besaran skalar tidak mempunyai arah kecepatannya. Perhitungan *velocity* digunakan untuk menentukan keadaan suatu perhitungan dalam studi deformasi. Pergerakan lempeng di pulau Sulawesi dideskripsikan ke dalam perhitungan *velocity* ini. Hasil dari pergerakan pada lempeng tersebut dapat diamati bumi dan juga bagaimana arah/orientasi dari pergerakan lempeng tersebut dapat juga dikaitkan pada kurun waktu dapat diketahui hasilnya melalui proses perhitungan *velocity*.

2.7. Uji Statistik t (Student)

Uji t dikenal dengan uji parsial, yaitu untuk mengetahui bagaimana pengaruh masing-masing variabel bebasnya secara sendiri-sendiri terhadap variabel terikat nya. Uji ini dapat dilakukan dengan membandingkan t hitung dengan t *table* atau dengan melihat kolom signifikansi pada masing-masing t hitung. Rumus uji t dirumuskan pada rumus 1.

$$t = \frac{x-\varphi}{s/\sqrt{n}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- x : rata-rata populasi
- φ : rata-rata sampel
- s : standar deviasi
- n : jumlah sampel

Uji statistik pengamatan GNSS untuk pergeseran titik ini dilakukan dengan cara menguji variabel pergeseran titik (Pij) dari sesi pengamatan i ke sesi j yang nilainya dapat dihitung menggunakan

rumus 2.

$$P_{ij} = \sqrt{dN_{ij}^2 + dE_{ij}^2} \dots\dots\dots(2)$$

Standar deviasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus 3.

$$Std P_{ij} = \sqrt{sd dN_{ij}^2 + dE_{ij}^2} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- P_{ij} : Pergeseran titik pengamatan
- $Std P_{ij}$: standar deviasi pergeseran titik pengamatan
- dN_{ij}^2 : nilai deformasi kuadrat komponen n
- dE_{ij}^2 : nilai deformasi kuadrat komponen e
- $sd dN_{ij}^2$: standar deviasi deformasi kuadrat komponen n
- $sd dE_{ij}^2$: standar deviasi deformasi kuadrat komponen e
- t : besaran yang menunjukkan signifikan pergeseran
- df : derajat kebebasan
- α : level signifikansi yang digunakan

Tingkat kepercayaan yang digunakan pada penelitian ini adalah 95% dan level signifikansi (α) yang digunakan adalah $\alpha/2$ (*two tailed*) sebesar 0,025 karena dalam pengujian statistik menentukan adanya perbedaan dengan hipotesis nol. Pada penelitian ini, hipotesis nol (H_0) menunjukkan bahwa pergeseran titik tidak signifikan dan hipotesis alternatif (H_a) menunjukkan bahwa pergeseran titik yang signifikan. Derajat kebebasan yang digunakan adalah nilai tak hingga (∞), karena banyaknya data yang diterima receiver GNSS selama observasi 36 jam dengan interval 30 detik. Maka dari itu, nilai t-tabel ($t_{df,\alpha/2}$) yang digunakan adalah 1,960.

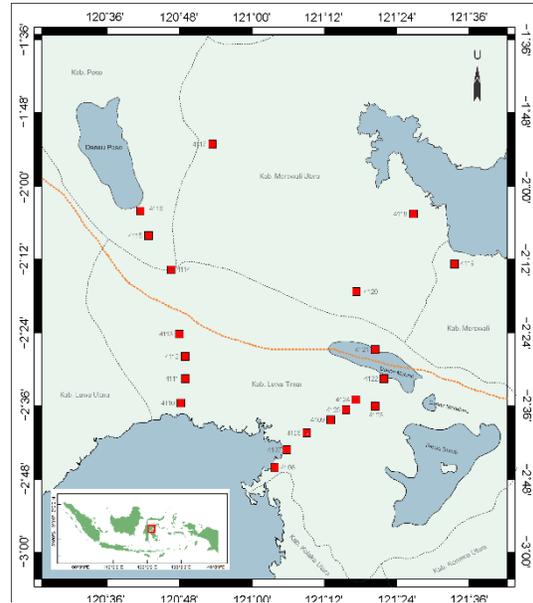
3. METODE PENELITIAN

Studi penelitian ini berlokasi di sekitar wilayah Sesar Matano yang berada di Pulau Sulawesi. Secara geografis lokasi penelitian berada pada 120,417° sampai 121,706° Bujur Timur dan -3,073° sampai -1,586° Lintang Selatan. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan 20 stasiun GNSS dengan kode titik 4106, 4107, 4108, 4109, 4110, 4111, 4112, 4113, 4114, 4115, 4116, 4117, 4118, 4119, 4120, 4121, 4122, 4123, 4124 dan 4125. Data pengamatan GNSS yang dipakai yaitu data pengamatan sepanjang tahun 2018 sampai dengan tahun 2021. Data GNSS tersebut

2. Data pengamatan dari stasiun International GNSS Service (IGS). Stasiun IGS yang digunakan yaitu ANMG (Malaysia), CUUT (Thailand), GUUG (USA), PNGM (Papua Nugini), BAKO (Indonesia), COCO (Australia), DARW (Australia), TOW2 (Australia).
3. Data broadcast ephemeris.
4. Data precise ephermis.
5. Data Ionex.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Tahap pengolahan data dalam penelitian ini dimulai dengan pengecekan kualitas data GPS menggunakan perangkat lunak *Translate Editing and Quality Checking (TEQC)*, kemudian pengolahan data GNSS menggunakan GAMIT hingga pembuatan koordinat menggunakan GLOBK. Pengolahan GAMIT terbagi menjadi beberapa tahapan persiapan sebelum menjalankan *automatic batch processing* untuk mengolah data secara otomatis. Persiapan tersebut meliputi pembuatan direktori kerja, penyalinan “folder tables”, pembaharuan *file* koreksi GAMIT dan pengeditan *file* agar sesuai dengan kebutuhan pengolahan. Salah satu *file* hasil *automatic batch processing* GAMIT adalah H-file yang berisi *file* perataan serta matriks varian dan kovarian. H-file hasil pengolahan GAMIT tersebut digunakan dalam pengolahan GLOBK dengan format h<nama proyek>a.<yy><doy>. Selain H-file hasil pengolahan GAMIT, H-file global juga dibutuhkan dalam proses pengolahan GLOBK yang bisa didapatkan dengan dua cara, yaitu diunduh melalui

situs <http://garner.ucsd.edu/pub/hfiles>. Perhitungan *velocity* dilakukan setelah mendapat hasil dari pengolahan GLOBK dengan menggunakan koordinat toposentrik. Data dimasukkan dalam perangkat lunak Matlab berupa *file* berekstensi *.txt.

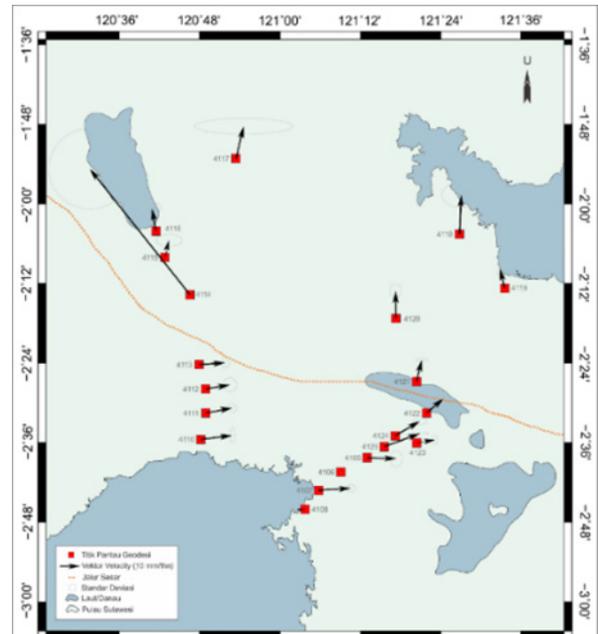
Sesar Matano merupakan salah satu sesar geser (*strike slip*) dimana pola pergeseran seperti ini memungkinkan 2 lempeng bergeser dengan arah yang saling berlawanan. Arah gerak Sesar Matano dapat diamati berdasarkan nilai dan arah *velocity* pergerakan dari setiap Titik Pantau Geodinamika (TPG) yang tersebar di setiap sisi jalur sesar Matano. Terdapat 12 titik TPG di sisi selatan jalur sesar Matano dan 8 titik TPG di sisi utara jalur sesar Matano. Nilai *velocity northing* dan *easting* digunakan untuk menganalisis pergeseran secara horizontal dan Nilai *velocity up* akan digunakan analisis pergeseran secara vertikal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan *velocity* dilakukan untuk mengetahui besar kecepatan pergeseran yang terjadi pada setiap titik pengamatan sesar Matano selama kurun waktu tahun 2018 sampai dengan tahun 2021. Hasil perhitungan *velocity rate* pada dapat diketahui bahwa titik 4114 memiliki nilai *velocity* pergeseran horizontal (komponen *north* dan *east*) terbesar antara tahun 2018 hingga tahun 2021, dengan nilai *velocity* komponen *north* sebesar 0,0629 m/tahun dan nilai *velocity* komponen *east* sebesar -0,0498 meter/tahun. Titik 4114 memiliki nilai *velocity* vertikal (komponen *up*) terbesar, sebesar 0,0504 m/tahun. Nilai *velocity horizontal* rata-rata pada Sesar Matano adalah 0,0066 meter/tahun serta memiliki nilai *velocity* vertikal sebesar 0,0127 meter/tahun.

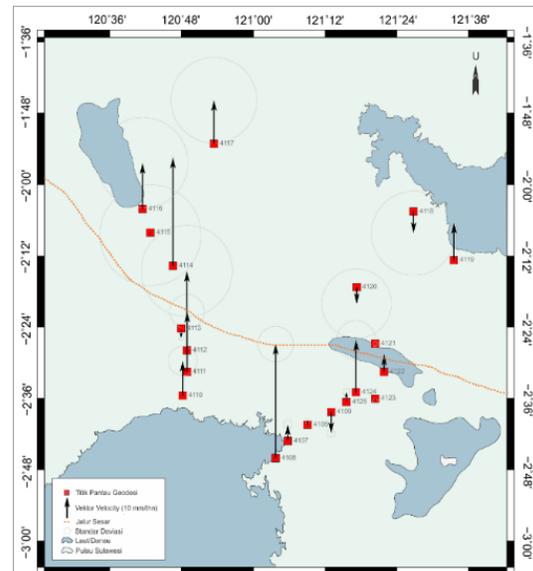
Kecepatan vektor *velocity* stasiun pengamatan Titik Pantau Geodinamika Sesar Matano yang telah dihitung perlu dilakukan uji statistik untuk mengontrol secara kualitatif dalam mengindikasikan baik atau tidaknya hasil pengolahan.

Hasil perhitungan *velocity* yang telah didapatkan kemudian digambarkan secara terpisah antara *velocity* horizontal dan *velocity* secara vertikal. *Plot velocity* dilakukan menggunakan perangkat lunak Generic Mapping Tool untuk mengetahui arah vektor pergeseran pada masing-masing titik pengamatan. Hasil *plot velocity* horizontal pada titik pengamatan Sesar Matano dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Plot Velocity Komponen Horizontal

Vektor pergeseran stasiun TPG di sekitar Sesar Matano menunjukkan pola geser ke arah kiri (*left-lateral strike-slip*). Bagian utara sesar mengalami vektor pergeseran yang dominan ke arah utara. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Plot Velocity Komponen Vertikal

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa arah titik GNSS yang bergerak ke arah utara adalah titik 4107, 4108, 4110, 4111, 4112, 4114, 4116, 4117, 4119, 4122, 4124 dan 4125. Arah Selatan adalah titik 4106, 4119, 4113, 4115, 4118, 412 dan 4123.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut ;

1. Hasil dari perhitungan nilai *Velocity rate* Sesar Matano selama kurun waktu tahun 2018 sampai dengan 2021 dapat diketahui bahwa titik 4114 memiliki nilai *velocity* vertikal (komponen *up*) terbesar, sebesar 0,0504 meter/tahun. Nilai *velocity* horizontal rata-rata pada Sesar Matano adalah 0,0066 meter/tahun serta memiliki nilai *velocity* vertikal sebesar 0,0127 meter/tahun. *Velocity rate* horizontal Sesar Matano selama kurun waktu tahun 2018 sampai dengan tahun 2021 menunjukkan hanya ada 1 titik yang mengalami pergeseran yang signifikan setelah dilakukan uji statistik yang berada pada titik 4107 dan pada *velocity* vertikal 1 titik yang mengalami pergeseran yang signifikan 4119.
2. Hasil dari analisis arah gerak stasiun GNSS Matano Periode tahun 2018 sampai dengan tahun 2021 menunjukkan bagian utara sesar mengalami vektor pergeseran horizontal yang dominan ke arah utara sedangkan bagian selatan sesar mengalami vektor pergeseran horizontal dominan ke arah timur. Pola pergeseran vertikal bagian utara dan selatan sesar sama-sama dominan naik.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan saran yang diberikan penulis antara lain ;

1. Data pengamatan stasiun GNSS akan lebih baik menggunakan pengamatan yang kontinu seperti stasiun CORS untuk mendapatkan pola pergerakan vector kecepatan yang baik.
2. Perhitungan *Velocity* pada penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan pengaruh pergerakan subduksi lempeng dan rotasi blok di Sulawesi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Penulis menyampaikan terimakasih kepada Pihak Pusat Jaring Kontrol Geodesi Badan Informasi Geospasial yang telah memberikan izin untuk menggunakan data pengukuran GNSS Sesar Matano tahun 2018, 2019, 2020 dan 2021 pada penelitian ini.

ACUAN REFERENSI

- Anggara, O. (2019). Studi Slip Gempa Selat Sunda 2 Agustus 2019 Dengan Magnitude 6.9 Berdasarkan Data GNSS. *Teknik Geomatika ITERA*, 3.
- BIG. (2022). MODEL DEFORMASI. Diakses pada 20 Maret 2022, dari

https://srgi.big.go.id/download/info_produk/INFO_MODEL_DEFORMASI.pdf

- BMKG. (2022). GEMPA BUMI. Diakses pada 1 maret 2022, dari http://inatews2.bmkg.go.id/new/tentang_eq.php
- Fadinda, R. P. (2021). Pengolahan Data Seismik Dasar. Retrieved from VELOCITY: <https://www.scribd.com/document/440997108/VELOCITY>.
- Fajriani, N. (2018). Analisis Pola-Pola Sesar Di Pulau Sulawesi Dengan Menggunakan Data Gempa. Skripsi Alauddin.
- Ical, Andi. (2017). Identifikasi Sesar Menggunakan Metode Mekanisme Fokus di Wilayah Sesar Matano. Universitas Hasanudin. Makasar.
- Lestari, D. (2006). GPS Study for Resolving the Stability of Borobudur Temple Site. 168.
- Prasetyaningsih, Dina. (2012). Partisipasi Indonesia dalam Pembahasan Sistem Satelit Navigasi Global (Global Navigation Satellite System). *Berita Dirgantara*.
- Saputra, H. (2016). Studi Analisis Parameter Gempa dan Pola Sebarannya Berdasarkan Data Multi Station (Studi Kasus : Kejadian Gempa Pulau Sulawesi Tahun 2000 - 2014). *Jurnal FMIPA Universitas Negeri Makassar*.
- Sukmawaty, D. (2018). Analisis Deformasi Tanah Lunak Terhadap Perkuatan Geogrid Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Siimo Engineering. Jurnal Teknik Sipil Siimo Engineering. Universitas Muhammadiyah Palu*.