



Evaluasi Pola Pergeseran Stasiun CORS untuk Keperluan Pemantauan Deformasi Sesar Baribis

Evaluation of the Displacement Pattern of CORS Stations for Baribis Fault Deformation Monitoring

Tata Mulya Widyatma¹, Yulaikhah²

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

² Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Penulis Korespondensi: Yulaikhah | **Email:** yulaikhah@ugm.ac.id

Diterima (*Received*): 08/05/2025 Direvisi (*Revised*): 04/06/2025 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 04/06/2025

ABSTRAK

Letak Indonesia yang berada pada pertemuan empat lempeng yaitu Eurasia, Indo-Australia, Laut Filipina, dan Pasifik menyebabkan tingginya aktivitas tektonik termasuk terbentuknya sesar-sesar, salah satunya Sesar Baribis. Pergerakan sesar ini dapat diamati dengan pengamatan GNSS. Penelitian sebelumnya menggunakan data CORS untuk mengidentifikasi pola pergerakan Sesar Baribis. Penggunaan data stasiun CORS memiliki keunggulan yaitu data tersedia secara kontinu, namun CORS tidak dirancang khusus untuk memantau pergerakan sesar tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi apakah stasiun CORS dapat mewakili pergerakan sesar tersebut. Penelitian ini menggunakan data tujuh stasiun CORS di sekitar Sesar Baribis pada tahun 2019 s.d. 2023 dan data *campaign* pengamatan GNSS di sekitar Sesar Baribis pada tahun 2019 s.d. 2021. Data tersebut diolah dengan metode *Precise Point Positioning* (PPP), kemudian dilakukan analisis laju dan arah pergeseran. Laju pergeseran dihitung dengan metode *linear square adjustment*. Evaluasi pergerakan CORS apakah dapat merepresentasikan pergerakan sesar atau tidak dilakukan dengan membandingkan pola kecepatan dan arahnya terhadap titik *campaign* yang memang didesain untuk pemantauan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa titik pantau *campaign* secara keseluruhan memiliki laju pergeseran yang lebih besar dibandingkan dengan CORS. Sementara itu, arah pergeseran komponen horizontal titik CORS secara umum mengarah ke timur, sedangkan titik pantau *campaign* memiliki arah yang cukup beragam. Pola pergerakan stasiun CORS di sekitar Sesar Baribis tidak menunjukkan kesesuaian dengan tipe Sesar Baribis yaitu sesar naik, sekaligus tidak menunjukkan kesesuaian dengan pola laju dan arah pergeseran titik *campaign*. Dapat dikatakan bahwa stasiun CORS tidak merepresentasikan pola pergerakan Sesar Baribis.

Kata Kunci: Sesar Baribis, Precise Point Positioning, GNSS, CORS, laju dan arah pergeseran.

ABSTRACT

Indonesia was located at the meeting point of four plates, namely Eurasia, Indo-Australian, the Philippine Sea, and the Pacific, causes high tectonic activity including the formation of faults, one of which is the Baribis Fault. The movement of this fault can be observed with GNSS observations. Previous study have used CORS data to identify the movement patterns of the Baribis fault. The use of CORS data has the advantage that the data is available continuously, but CORS is not specifically designed to monitor the movement of the fault. Therefore, it is necessary to evaluate whether CORS data can represent this movement. This study uses data from seven CORS stations around the Baribis Fault in 2019 to 2023 and GNSS observation campaign data around the Baribis Fault in 2019 to 2021. The data is processed using the Precise Point Positioning (PPP) method, then the rate and direction of displacement are analyzed. The displacement rate is calculated using the linear square adjustment method. Evaluation of CORS movement, whether it can represent the fault movement or not, is done by comparing the rate and direction trend to the campaign points that are designed for fault monitoring. The results of the study indicate that the campaign monitoring points as a whole have a higher rate of movement compared to the CORS. Meanwhile, the direction of the horizontal displacement of the CORS as a whole is towards the east, while the campaign monitoring points have quite diverse directions. The movement pattern of CORS stations around the Baribis Fault does not show conformity with the type of Baribis Fault, namely a reverse fault, and does not show conformity with the rate and direction patterns of the campaign point movement. It can be said that the CORS stations do not represent the movement pattern of the Baribis Fault.

Keywords: Baribis Fault, Precise Point Positioning, GNSS, CORS, displacement rate and direction.

1. Pendahuluan

Indonesia berada di antara empat lempeng yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik sehingga rawan terhadap aktivitas tektonik (PuSGen, 2017). Lempeng Indo-Australia bergerak menuju blok Sunda di selatan Pulau Jawa membentuk zona subduksi yang disebut subduksi Sunda (Helmi dkk., 2021). Akibat proses subduksi tersebut terbentuklah beberapa sesar di sepanjang Pulau Jawa yang merupakan bentuk akomodasi stress dari subduksi lempeng tersebut (PuSGen, 2017). Terdapat beberapa sesar aktif di wilayah Jawa bagian barat salah satunya adalah Sesar Baribis (Supartoyo dkk., 2005). Pergerakan sesar dapat diamati berdasarkan perubahan posisi atau deformasi yang terjadi salah satunya dengan pengamatan GNSS dalam studi geodetik (Mauradhia dkk., 2020).

Ilahi (2018) telah melakukan penelitian mengenai analisis deformasi Sesar Baribis dan Anjak Kendeng berdasarkan data pengamatan 16 stasiun CORS pada *epoch* 2015, 2016 dan 2017 serta 11 stasiun IGS menggunakan metode pengolahan GAMIT. Penelitian mengenai Sesar Baribis juga dilakukan oleh Zakka (2023) dengan data pengamatan GNSS *campaign* tahun 2017 s.d. 2021 menggunakan metode *Precise Point Positioning* (PPP). Penelitian yang dilakukan oleh Haryanto (2014) menyatakan bahwa Sesar Baribis memiliki pola pergerakan sesar naik (*reverse fault*), hal tersebut ditandai dengan adanya salah satu blok batuan yang bergeser ke arah atas dan blok batuan lainnya bergerak ke arah bawah. Hasil penelitian Marliyani (2016) yang kemudian diadopsi oleh Pokja Geologi mengatakan bahwa Sesar Baribis merupakan zona sesar yang terdiri atas beberapa segmen yang memiliki mekanisme sesar yang berbeda antarsegmen. Segmen Tampomas merupakan segmen Sesar Baribis dengan mekanisme sesar normal, sedangkan segmen Subang, segmen Cirebon, dan segmen Brebes merupakan segmen Sesar Baribis dengan mekanisme sesar naik sedangkan segmen Ciremai merupakan sesar dengan mekanisme sesar geser.

Penelitian-penelitian tersebut menggunakan titik pantau yang berbeda untuk pemantauan Sesar Baribis (titik CORS dan *campaign*) dan menghasilkan laju pergerakan yang berbeda. Penggunaan titik CORS memiliki keunggulan terkait ketersediaan data yang kontinyu, namun titik tersebut tidak didesain khusus untuk pemantauan deformasi sesar. Dengan demikian, belum diketahui secara pasti apakah titik-titik CORS tersebut sebetulnya dapat mewakili/merepresentasikan pergerakan Sesar Baribis atau tidak. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji penggunaan data CORS di sekitar Sesar Baribis untuk pengamatan deformasi Sesar Baribis. Dengan demikian, dapat diketahui apakah pergerakan titik-titik CORS dapat merepresentasikan pola pergerakan Sesar Baribis atau tidak. Apabila penggunaan data CORS tersebut tidak merepresentasikan pergerakan Sesar Baribis maka untuk penelitian selanjutnya diperlukan data *campaign* untuk

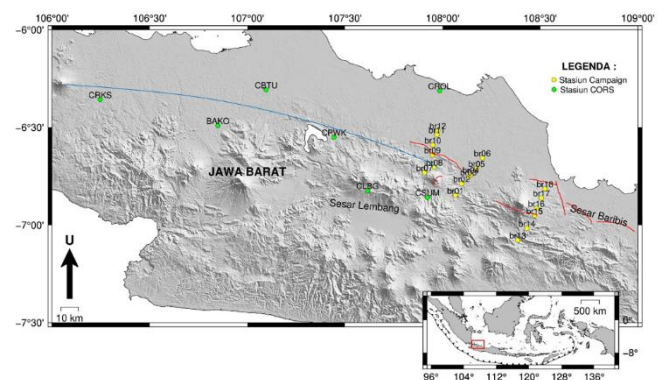
mengidentifikasi pergerakan sesar. Namun, apabila data CORS tersebut merepresentasikan pergerakan Sesar Baribis maka untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan data CORS untuk mengetahui pola pergerakan Sesar Baribis sehingga lebih efisien waktu dan juga biaya karena tidak perlu dilakukan pengamatan *campaign*, cukup menggunakan data CORS atau bahkan bisa menggunakan data gabungan *campaign* dan CORS.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan di sekitar Sesar Baribis yang memanjang mulai dari Majalengka hingga Subang. Lokasi titik pantau *campaign* yang digunakan yaitu enam titik di Kuningan, enam titik di Majalengka, dan enam titik di Subang. Lokasi titik pantau CORS yang digunakan yaitu Rangkas Bitung, Bakosurtanal, Purwakarta, Cibitung, Patrol, Sumedang dan Lembang.

Persebaran titik pantau CORS dan juga titik pantau *campaign* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Distribusi titik pantau CORS dan *campaign* di sekitar Sesar Baribis

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data pengamatan GNSS tujuh titik pantau CORS (CRKS, BAKO, CPWK, CBTU, CROL, CSUM dan CLBG) yang terdiri atas lima *epoch* antara tahun 2019 s.d. 2023 dan data 18 titik pantau *campaign* yang terdiri atas tiga *epoch* antara tahun 2019 s.d. 2021. Data tersebut diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data lain yang digunakan yaitu data *precise product*, data *broadcast ephemeris*, *file leap second*, dan *file sat.parameters*.

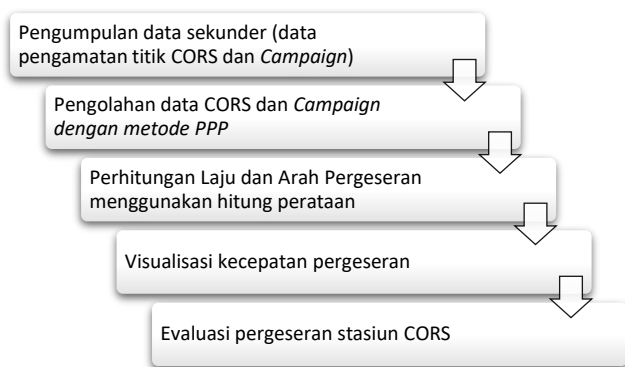
2.2. Metodologi

Secara umum, tahapan penelitian disajikan pada Gambar 2.

2.2.1 Pengumpulan Data

Data utama yang digunakan merupakan data sekunder yang berupa data pengamatan CORS dan data pengamatan GNSS pada titik *campaign* yang berada di sekitar Sesar

Baribis. Secara detail tentang data tersebut telah diuraikan di sub bab sebelumnya.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

2.2.2 Pengolahan Data Pengamatan CORS dan Campaign

Pengolahan data GNSS dilakukan terpisah antara data pengamatan CORS dan *campaign*. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak PRIDE PPP-AR. Pengolahan data GNSS dengan PPP-AR dapat mencapai ketelitian milimeter untuk posisi statik dan ketelitian sentimeter untuk kasus kinematik dengan produk CNES/CODE AR (Zhang dkk.,2023). Kegiatan pertama yang perlu dilakukan sebelum pengolahan yaitu membuat direktori. Direktori dibuat berdasarkan jenis data pengamatan GNSS yang digunakan yaitu data CORS dan juga data *campaign*. Setiap jenis data pengamatan GNSS dibuat direktori berdasarkan tahun pengamatan sehingga diperlukan sebanyak delapan direktori dengan nama sesuai dengan tahun dan jenis data yang digunakan. Setelah itu, data rinex pada masing-masing data pengamatan GNSS dimasukkan sesuai jenis data dan tahun pengamatan yang diolah. Kemudian dilakukan pengaturan pengolahan dan proses pengolahan. Hasil pengolahan PPP ini membentuk sebuah direktori baru yang berisikan beberapa bentuk report dengan file keluaran yang digunakan untuk pengolahan selanjutnya yaitu file *pos* yang berisi nilai koordinat harian dan simpangan bakunya dengan acuan ITRF2014.

Pada pengolahan data GNSS konfigurasi dilakukan untuk mengatur lokasi direktori produk file yang berupa koreksi orbit satelit, koreksi jam satelit, *Earth Ration Parameter* (ERP), koreksi bias *code/phase*, dan koreksi *quaternion*. Selain itu, dilakukan juga input parameter tides yang berupa koreksi pasang surut air laut, *Horizontal Troposphere Gradient* (HKG) model, *Zenith Tropospheric Delay* (ZDT), dan koreksi *delay ionosfer* dengan *2nd ordered*. Pengolahan data CORS maupun *campaign* dalam *software* PRIDE PPPAR menghasilkan beberapa file yaitu :

1. *amb file*, berisi nilai ambiguitas yang digunakan dalam pengolahan data GNSS.
2. *cst file*, berisi nilai ambiguitas integer.
3. *htg file*, berisi koreksi gradient horizontal troposfer.
4. *log file*, berisi hasil identifikasi mengenai kesehatan RINEX.

5. *pos file*, berisi koordinat harian suatu stasiun pengamatan GNSS.
6. *rck file*, berisi koreksi offset jam *receiver*.
7. *res file*, berisi residu dari pengamatan.
8. *stt file*, berisi residu phase dari satelit tunggal.
9. *ztd file*, berisi arah keterlambatan troposfer

2.2.3 Perhitungan Laju dan Arah Pergeseran

Hasil pengolahan PPP-AR dalam format *pos file* tersebut selanjutnya digunakan untuk menganalisis laju pergeseran titik pantau di Sesar Baribis pada seluruh *epoch*. *Pos file* tersebut berisikan *time series* yang diperoleh dari fungsi *pbopos*. Perhitungan pada fungsi *pbopos* yaitu mencari besar pergeseran antara dua titik dengan persamaan (1).

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_t - X_0 \\ Y_t - Y_0 \\ Z_t - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dalam hal ini :

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: Pergeseran

X_t, Y_t, Z_t : Koordinat kartesi 3D titik saat t

X_0, Y_0, Z_0 : Koordinat kartesi 3D titik referensi (saat t₀)

Data *time series* yang telah didapatkan selanjutnya digunakan untuk perhitungan laju pergeseran di setiap titik pantau pengamatan GNSS baik titik CORS maupun titik *campaign* dengan metode hitung perataan. Rumus yang digunakan dalam perhitungan laju pergeseran yaitu persamaan (2) (Ghilani, 2010).

$$Y_i = ax_i + b \quad (2)$$

Dalam hal ini:

Y_i : nilai pergeseran ke i

a : kecepatan pergeseran

x_i : selang waktu pergeseran ke i

b : konstanta

Setelah proses perhitungan selesai didapatkan *file* dengan ekstensi **.vel* yang berisi laju pergeseran ketiga komponen *East*, *North*, dan *Up* serta simpangan baku. Laju pergeseran komponen *East* dan *North* digunakan untuk menganalisis arah pergeseran horizontal, sedangkan laju pergeseran komponen *Up* digunakan untuk menganalisis arah pergeseran vertikal. Arah pergeseran diperoleh dari nilai *azimuth* pada komponen horizontal yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (3).

$$\alpha = \arctan (V_{EW}/V_{NS}) \quad (2)$$

Dalam hal ini :

α : *azimuth*

VEW : laju pergeseran komponen *East*

VNS : laju pergeseran komponen *North*

Untuk memperjelas pola besar dan arah pergeseran, hasil tersebut dapat divisualisasikan menggunakan perangkat lunak GMT. Selanjutnya ketiga komponen laju pergeseran, *East*, *North*, dan *Up*, diuji menggunakan distribusi t dengan tingkat kepercayaan 95% untuk mengetahui pergeseran yang terjadi signifikansi atau tidak.

2.2.4 Evaluasi Pergeseran Stasiun CORS

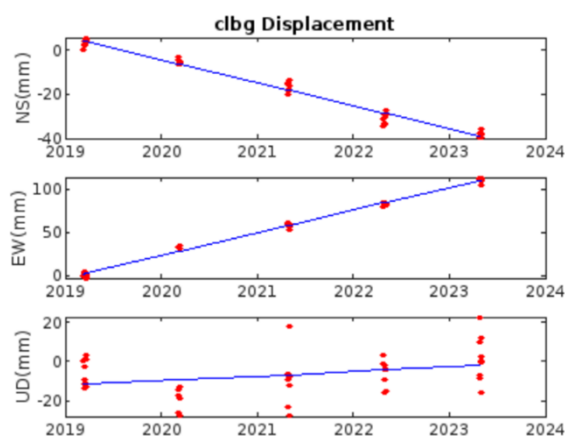
Telah banyak penelitian sebelumnya yang membahas topik terkait Sesar Baribis. Diantaranya mengidentifikasi tipe sesar, ada juga yang melakukan pemantauan laju pergeseran. Oleh karena itu evaluasi terhadap stasiun CORS pada penelitian ini meliputi:

1. Evaluasi hasil pengamatan stasiun CORS berdasarkan tipe sesar,
2. Evaluasi perbandingan hasil pengamatan stasiun CORS terhadap hasil pengamatan titik *campaign*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Besar Laju Pergeseran Titik Pantau Sesar Baribis

Pengolahan data pengamatan GNSS baik pada stasiun CORS maupun titik *campaign* menghasilkan *data time series* di setiap titik seperti contoh pada Gambar 3. Gambar tersebut merupakan salah satu contoh hasil *time series* atau solusi koordinat harian dan simpangan baku pada salah satu stasiun CORS yaitu stasiun CLBG. Grafik tersebut menampilkan pergeseran pada komponen *East-West(EW)*, *North-South(NS)*, dan *Up-Down(UD)*.

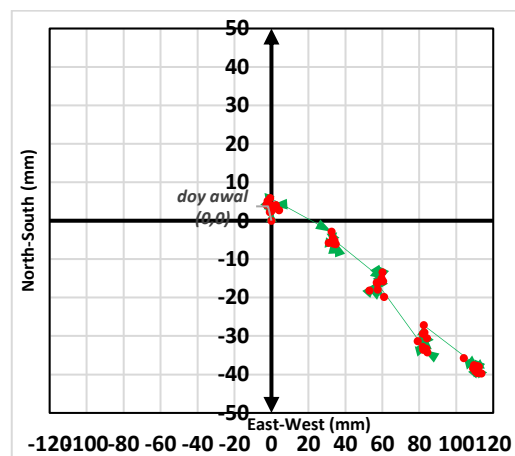


Gambar 3. Contoh hasil *time series* pada stasiun CLBG

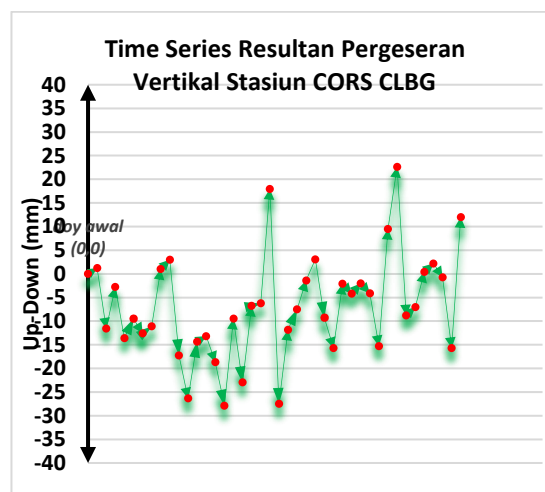
Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa komponen *EW* dan *UD* memiliki pola pergerakan yang cenderung naik, sedangkan komponen *NS* mengalami pola pergerakan ke arah bawah atau menurun yang cukup besar. Hal tersebut menunjukkan titik pantau pengamatan CLBG bergerak ke arah selatan. Komponen *EW* menunjukkan stasiun mengalami pergerakan ke arah timur, sedangkan komponen *UD* menunjukkan stasiun bergerak ke arah naik.

Komponen *EW* dan *NS* hasil pengolahan dalam *pbopos* dilakukan *plotting* untuk mengetahui pergeseran *real* dari

komponen horizontal. Sementara itu, komponen *Up* juga dilakukan *plotting* untuk mengetahui pergeseran *real* dari komponen vertikal. Hasil *plotting* dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. *Plotting* horizontal pergeseran stasiun CLBG



Gambar 5. *Plotting* vertikal pergeseran stasiun CLBG

Berdasarkan data *time series* tersebut selanjutnya dapat dihitung laju pergeseran baik pada komponen horizontal maupun vertikal di setiap titik pantau.

3.1.1. Laju Pergeseran Horizontal

Laju pergeseran horizontal meliputi laju pergeseran pada komponen *East* dan *North*. Laju pergeseran horizontal pada titik pantau CORS dan *campaign* disajikan berturut-turut pada Tabel 1 dan Tabel 2. Berdasarkan kedua tabel tersebut, titik pantau *campaign* memiliki laju pergeseran horizontal komponen *east* antara 3,4 s.d. 65,7 mm/tahun dengan nilai simpangan baku antara 0,9 s.d. 35,5 mm/tahun. Laju pergeseran horizontal komponen *north* antara 1,0 s.d. 17,2 mm/tahun dengan nilai simpangan baku antara 0,6 s.d. 19,0 mm/tahun. Sementara itu, titik pantau CORS laju pergeseran stasiun horizontal komponen

east antara 22,6 s.d. 27,6 dengan nilai simpangan baku antara 0,2 s.d. 0,3 mm/tahun. Laju pergeseran horizontal komponen *north* antara 8,6 s.d. 11,4 dengan nilai simpangan baku antara 0,2 s.d. 0,5 mm/tahun. Tabel 1 dan Tabel 2 juga menunjukkan bahwa laju pergeseran horizontal komponen *East* maupun *North* pada titik CORS memiliki nilai yang lebih stabil dibandingkan dengan titik *campaign*. Selain itu, titik pantau *campaign* memiliki nilai laju pergeseran antar *doy* pada tiap stasiun yang lebih bervariasi dibandingkan titik CORS. Hal tersebut dapat dilihat nilai simpangan baku titik *campaign* yang lebih tinggi daripada titik CORS (Widyatma, 2024). Dapat dikatakan bahwa ketelitian koordinat hasil pengamatan CORS lebih baik dibandingkan hasil pengamatan *campaign*. Hal ini diantaranya dikarenakan data CORS bersifat kontinyu sehingga jumlah data jauh lebih banyak.

Tabel 1. Laju pergeseran horizontal titik CORS

| Stasiun | (mm/tahun) | | | |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | V _{EW} | V _{NS} | 6 _{EW} | 6 _{NS} |
| CRKS | 25,9 | -10,0 | 0,3 | 0,5 |
| BAKO | 24,2 | -8,8 | 0,3 | 0,2 |
| CPWK | 24,8 | -9,4 | 0,3 | 0,3 |
| CBTU | 25,3 | -8,6 | 0,2 | 0,2 |
| CROL | 22,6 | -11,4 | 0,2 | 0,3 |
| CSUM | 27,6 | -9,5 | 0,3 | 0,3 |
| CLBG | 26,2 | -10,5 | 0,3 | 0,2 |

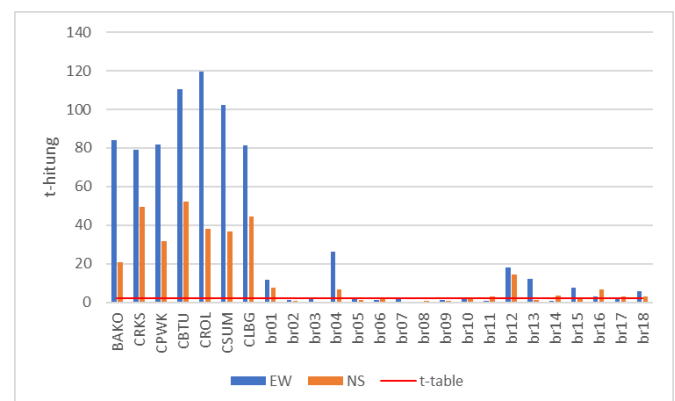
Tabel 2. Laju pergeseran horizontal titik *campaign*

| Stasiun | (mm/tahun) | | | |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | V _{EW} | V _{NS} | 6 _{EW} | 6 _{NS} |
| br01 | 24,0 | -9,0 | 2,1 | 1,2 |
| br02 | 26,8 | -8,2 | 26,2 | 15,4 |
| br03 | 42,8 | -1,0 | 17,5 | 4,1 |
| br04 | 24,0 | -11,0 | 0,9 | 1,7 |
| br05 | 53,1 | -4,9 | 24,6 | 4,5 |
| br06 | 18,0 | -11,0 | 14,8 | 6,3 |
| br07 | 24,0 | -2,5 | 9,9 | 19,0 |
| br08 | -6,8 | -5,0 | 50,8 | 10,3 |
| br09 | 17,4 | -7,3 | 17,9 | 10,1 |
| br10 | 58,7 | -8,5 | 28,9 | 5,8 |
| br11 | 30,2 | -17,2 | 34,5 | 5,8 |
| br12 | 26,9 | -8,7 | 1,5 | 0,6 |
| br13 | 27,4 | -7,5 | 2,2 | 5,8 |
| br14 | 3,4 | -11,3 | 5,7 | 3,1 |
| br15 | 27,7 | -6,1 | 3,6 | 2,7 |
| br16 | 25,6 | -9,2 | 3,7 | 2,9 |
| br17 | 65,7 | -9,6 | 35,5 | 3,2 |
| br18 | 17,7 | -5,3 | 3,2 | 1,8 |

Berdasarkan Tabel 1, stasiun CORS memiliki kecepatan yang relatif seragam baik pada komponen *east* maupun *north*, demikian juga dengan nilai simpangan bakunya. Adapun Tabel 2 menunjukkan bahwa titik pantau *campaign*

memiliki laju pergeseran horizontal yang sangat bervariasi, dari fraksi milimeter sampai dengan sentimeter, demikian juga dengan nilai simpangan bakunya baik untuk komponen *east* maupun *north*. Beberapa titik *campaign* memiliki simpangan baku yang lebih besar dibandingkan nilai kecepatan pergeserannya. Hal ini menunjukkan koordinat titik *campaign* memiliki ketelitian yang kurang baik. Oleh karena itu hal ini perlu dikaji lebih lanjut, mengingat Sesar Baribis memiliki struktur yang kompleks dan terdiri atas beberapa sesar yang bisa jadi memiliki karakteristik yang berbeda (Gambar 8). Selain itu perlu juga dikaji mengenai jarak titik *campaign* terhadap garis sesar, karena titik yang terlalu dekat atau terlalu jauh dari garis sesar tidak sensitif terhadap pergerakan sesar. Jarak optimum titik pantau 4,5 sampai dengan 8,5 km terhadap garis sesar (Yulaikhah, dkk, 2021) bahkan Gerasimenko dkk (2000) merekomendasikan titik pantau dipasang pada jarak 7 sampai dengan 8 km dari garis sesar.

Laju pergeseran komponen horizontal titik pantau Sesar Baribis perlu dianalisis statistik untuk menguji apakah hasil laju pergeseran yang diperoleh terjadi signifikan atau tidak. Uji statistik tersebut menggunakan distribusi tabel *t-student* dengan tingkat kepercayaan 95% dan *degree of freedom* tak hingga. Hasil t-tabel yang diperoleh sebesar 2,064. Hasil uji statistik signifikansi pergeseran dapat dilihat dari Gambar 6. Secara statistik semua titik CORS, tanpa kecuali, mengalami pergeseran secara signifikan, sedangkan titik *campaign* sebagian besar pergeserannya tidak signifikan meskipun nilai pergeseran lebih besar dibanding titik CORS. Hal ini disebabkan karena nilai laju pergeseran pada titik *campaign* memiliki simpangan baku lebih besar, atau dengan kata lain ketelitiannya lebih rendah.



Gambar 6. Uji signifikansi pergeseran horizontal

3.1.2. Laju Pergeseran Komponen Vertikal

Laju pergeseran komponen vertikal dapat digunakan untuk menentukan apakah titik pantau mengalami penurunan tanah atau tidak. Adapun hasil laju pergeseran vertikal yang terjadi pada titik CORS dan titik *campaign* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Laju pergeseran vertikal titik CORS

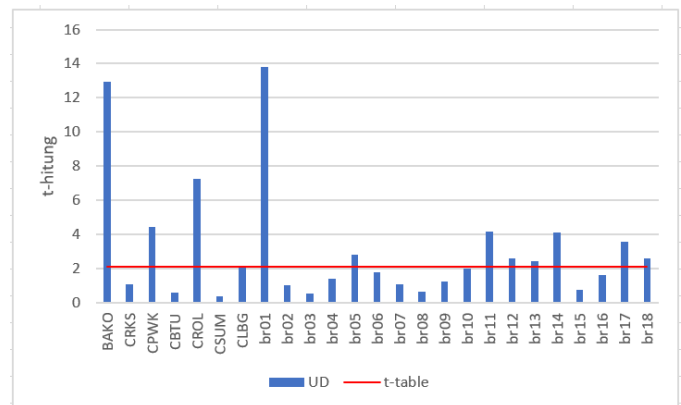
| Stasiun | (mm/tahun) | |
|---------|-----------------|-----------------|
| | V _{UD} | 6 _{UD} |
| CRKS | -40,1 | 3,1 |
| BAKO | -1,2 | 1,1 |
| CPWK | -21,9 | 5,0 |
| CBTU | 0,4 | 0,7 |
| CROL | -34,4 | 4,8 |
| CSUM | 0,3 | 0,8 |
| CLBG | 2,3 | 1,1 |

Tabel 4. Laju pergeseran vertikal titik *campaign*

| Stasiun | (mm/tahun) | |
|---------|-----------------|-----------------|
| | V _{UD} | 6 _{UD} |
| br01 | -23,0 | 1,7 |
| br02 | -32,0 | 31,1 |
| br03 | 7,0 | 14,0 |
| br04 | 8,0 | 5,9 |
| br05 | -29,4 | 10,5 |
| br06 | -35,3 | 20,3 |
| br07 | -44,0 | 40,7 |
| br08 | -40,0 | 62,6 |
| br09 | -24,5 | 19,9 |
| br10 | -39,7 | 20,2 |
| br11 | -49,3 | 11,8 |
| br12 | -30,3 | 11,8 |
| br13 | -25,8 | 10,6 |
| br14 | -38,7 | 9,4 |
| br15 | -30,7 | 21,6 |
| br16 | -30,7 | 21,6 |
| br17 | -37,4 | 10,6 |
| br18 | -13,1 | 5,1 |

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4, laju pergeseran vertikal pada data *campaign* antara 7,0 s.d. 49,3 mm/tahun dengan nilai simpangan baku antara 1,7 s.d. 62,6. Sementara itu, laju pergeseran komponen vertikal pada data CORS antara 0,3 s.d. 40,1 dengan nilai simpangan baku antara 0,7 s.d. 5,0 mm/tahun. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa laju pergeseran komponen vertikal pada titik pantau CORS memiliki nilai yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan titik pantau *campaign* meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Selain itu, titik pantau *campaign* memiliki variasi laju pergeseran antar *doy* pada tiap stasiun yang lebih bervariasi dibandingkan titik CORS. Hal tersebut dapat dilihat nilai simpangan baku titik *campaign* yang lebih tinggi dari pada titik CORS.

Laju pergeseran vertikal titik pantau Sesar Baribis secara statistik signifikan hanya terjadi di beberapa titik baik CORS maupun *campaign* seperti terlihat pada Gambar 7. Adapun sebagian besar titik CORS dan *campaign* dapat dikatakan tidak bergeser secara signifikan.



Gambar 7. Uji signifikansi pergeseran vertikal

3.2. Arah Pergeseran Titik Pantau Pengamatan GNSS

3.2.1. Arah Pergeseran Horizontal

Arah pergeseran horizontal pada titik pantau CORS maupun *campaign* yang dinyatakan dalam azimuth dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

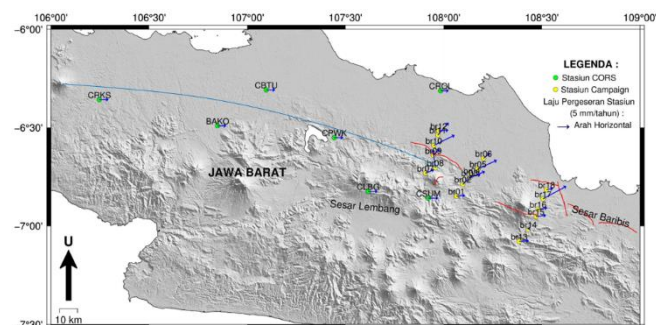
Tabel 5. Arah pergeseran horizontal titik pantau CORS

| Stasiun | Azimuth (°, ', ") | Arah |
|---------|-------------------|-------|
| CRKS | 111° 5' 42" | Timur |
| BAKO | 110° 0' 3,6" | Timur |
| CPWK | 110° 45 '21,6" | Timur |
| CBTU | 108°51'18" | Timur |
| CROL | 116° 43 '1,2" | Timur |
| CSUM | 108° 57'10,8" | Timur |
| CLBG | 111° 53'9,6" | Timur |

Tabel 6. Arah pergeseran horizontal titik pantau *campaign*

| Stasiun | Azimuth (°, ', ") | Arah |
|---------|-------------------|------------------|
| br01 | 110°27'18" | Timur |
| br02 | 106°58'1,2" | Timur |
| br03 | 91°19'51,6" | Timur |
| br04 | 114°32'13,2" | Timur Tenggara |
| br05 | 95°17'6" | Timur |
| br06 | 121°29'20,4" | Timur Tenggara |
| br07 | 96°1'37,2" | Timur |
| br08 | 234° 3'39,6" | Barat Daya |
| br09 | 112° 36'32,4" | Timur Tenggara |
| br10 | 98° 14'2,4" | Timur |
| br11 | 119° 35'31,2" | Timur Tenggara |
| br12 | 107° 52'26,4" | Timur |
| br13 | 105°17'42" | Timur |
| br14 | 163°20'52,8" | Selatan Tenggara |
| br15 | 102°28'48" | Timur Tenggara |
| br16 | 86°43'8,4" | Timur |
| br17 | 98°18'18" | Timur |
| br18 | 106° 45'14,4" | Timur |

Berdasarkan Tabel 5 dan Tabel 6, titik pantau CORS secara keseluruhan bergerak ke arah timur dengan nilai azimuth antara 108° - 116° . Sementara itu, titik pantau *campaign* bergerak secara horizontal dengan arah yang cukup beragam namun didominasi ke arah timur dan timur tenggara. Hanya terdapat dua stasiun yang memiliki arah berbeda yaitu stasiun br08 ke arah barat daya dengan nilai azimuth $234,061^{\circ}$ dan stasiun br14 ke arah selatan tenggara dengan nilai azimuth $163,348^{\circ}$. Visualisasi arah pergeseran horizontal dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Arah pergeseran horizontal titik pantau GNSS di sekitar Sesar Baribis

Gambar 8 menunjukkan bahwa simbol panah warna biru merupakan arah pergeseran horizontal, sedangkan garis warna merah merupakan lokasi Sesar Baribis. Simbol lingkaran warna hijau melambangkan titik pantau CORS dan lingkaran warna kuning merupakan titik pantau *campaign*.

3.2.2. Arah Pergeseran Vertikal

Arah pergerakan vertikal hanya terjadi pada dua arah yaitu naik atau turun. Hal itu dapat diidentifikasi dari laju pergeseran di setiap stasiun apakah memiliki nilai positif atau negatif. Jika nilai positif maka menunjukkan pergeseran ke atas, sedangkan nilai negatif maka menunjukkan pergeseran ke bawah. Hasil arah pergeseran vertikal titik pantau CORS maupun *campaign* dapat dilihat dalam Tabel 7 dan Tabel 8.

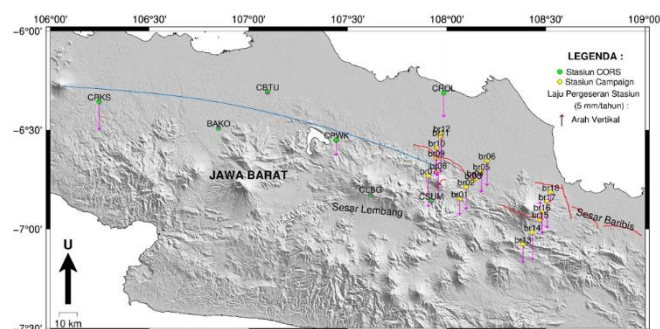
Tabel 7. Arah pergeseran vertikal titik pantau CORS

| Stasiun | (mm/tahun) | Arah |
|---------|------------|-------|
| | V_{UD} | |
| CRKS | -40,1 | Turun |
| BAKO | -1,2 | Turun |
| CPWK | -21,9 | Turun |
| CBTU | 0,4 | Naik |
| CROL | -34,4 | Turun |
| CSUM | 0,3 | Naik |
| CLBG | 2,3 | Naik |

Tabel 8. Arah pergeseran vertikal titik pantau *campaign*

| Stasiun | (mm/tahun) | Arah |
|---------|------------|-------|
| | V_{UD} | |
| br01 | -23,0 | Turun |
| br02 | -32,0 | Turun |
| br03 | 7,0 | Naik |
| br04 | 8,0 | Naik |
| br05 | -29,4 | Turun |
| br06 | -35,3 | Turun |
| br07 | -44,0 | Turun |
| br08 | -40,0 | Turun |
| br09 | -24,5 | Turun |
| br10 | -39,7 | Turun |
| br11 | -49,3 | Turun |
| br12 | -30,3 | Turun |
| br13 | -25,8 | Turun |
| br14 | -38,7 | Turun |
| br15 | 25,5 | Naik |
| br16 | -30,7 | Turun |
| br17 | -37,4 | Turun |
| br18 | -13,1 | Turun |

Berdasarkan Tabel 7 dan Tabel 8, titik pantau CORS memiliki arah yang bervariasi yaitu empat titik mengalami penurunan dan tiga titik mengalami kenaikan, dengan nilai pergeseran $40,1$ mm/tahun s.d. $2,3$ mm/tahun. Sementara itu, titik pantau *campaign* mengalami pergeseran vertikal dominan ke arah turun. Hanya terdapat tiga stasiun yang memiliki pergeseran naik yaitu stasiun br03, br04, dan stasiun br14 dengan nilai pergeseran sebesar $7,0$ s.d. $25,5$ mm/tahun. Visualisasi arah pergeseran vertikal dapat dilihat pada Gambar 9.



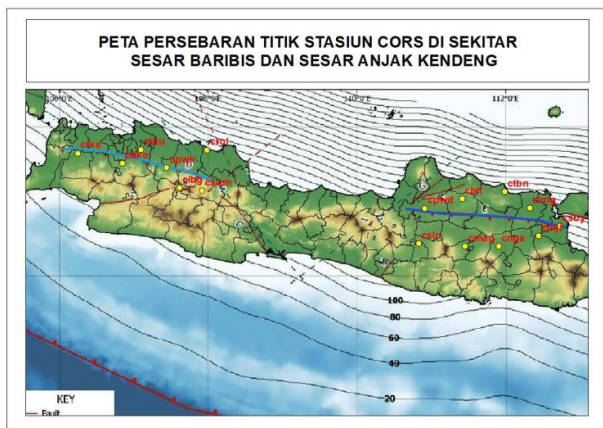
Gambar 9. Arah pergeseran vertikal titik pantau GNSS di sekitar Sesar Baribis

Gambar 9 menunjukkan bahwa simbol panah warna merah muda merupakan arah pergeseran vertikal, sedangkan garis warna merah merupakan lokasi Sesar Baribis. Simbol lingkaran warna hijau melambangkan titik pantau CORS dan lingkaran warna kuning merupakan titik pantau *campaign*.

3.3. Evaluasi Penggunaan Data CORS untuk Mengidentifikasi Deformasi Sesar Baribis

3.3.1. Evaluasi Deformasi titik CORS berdasarkan tipe Sesar Baribis

Haryanto (2014) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa Sesar Baribis memiliki pola pergerakan sesar naik (*reverse fault*), hal tersebut ditandai dengan adanya salah satu blok batuan yang bergeser ke arah atas dan blok batuan lainnya bergerak ke arah bawah. Sesar Baribis memanjang dari Majalengka sampai Subang di wilayah Jawa Barat dan teridentifikasi sebagai sesar naik yang dapat diamati dari topografi dan seismik refleksi hasil perhitungan model blok (PusGen, 2017). Sementara itu, hasil penelitian Marliyani (2016) yang kemudian diadopsi oleh Pokja Geologi mengatakan bahwa Sesar Baribis terdiri atas beberapa segmen yang memiliki mekanisme sesar yang berbeda antarsegmen. Segmen Tampomas merupakan segmen Sesar Baribis dengan mekanisme sesar normal. Sementara itu, segmen Subang, segmen Cirebon, segmen Brebes memiliki mekanisme sesar naik sedangkan segmen Ciremei memiliki mekanisme sesar geser.



Gambar 10. Persebaran stasiun CORS di sekitar sesar Baribis dan sesar Anjak Kendeng (Ilahi, 2018)

Berdasarkan penelitian sebelumnya, Sesar Baribis memiliki pola pergeseran sesar naik. Sesar naik adalah sesar dimana bagian *hanging wall* mengalami pengangkatan sehingga jika direpresentasikan dengan titik pantau yang terdistribusi di sekitar sesar mestinya titik-titik pantau yang berada di salah satu sisi sesar menunjukkan kenaikan (*uplift*), sedangkan di sisi lainnya mestinya menunjukkan pergerakan turun atau tetap.

Pada penelitian ini stasiun CBTU dan CROL berada di sisi bagian utara Sesar Baribis, sedangkan stasiun CRKS, BAKO, CPWK, CSUM, dan CLBG di sisi bagian selatan Sesar Baribis seperti terlihat pada Gambar 10. Pada kenyataannya, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa stasiun CRKS, BAKO, CPWK, dan CROL bergerak turun, sementara stasiun CBTU, CSUM, dan CLBG bergerak naik. Pola pergerakan stasiun CROL, CLBG, CSUM tidak sesuai dengan pola sesar naik, sehingga dapat dikatakan bahwa pola pergerakan stasiun

CORS hasil penelitian ini belum merepresentasikan pola pergerakan sesar naik sebagaimana yang diungkapkan oleh penelitian Haryanto (2014) dan PusGen (2017). Namun demikian hasil tersebut didasarkan hanya menggunakan data tujuh stasiun CORS, masih perlu dilakukan kajian menggunakan stasiun yang lebih banyak.

3.3.3. Perbandingan Pola Pergerakan Stasiun CORS terhadap Titik *Campaign*

Titik *campaign* didesain dan dibangun memang khusus untuk keperluan pemantauan deformasi Sesar Baribis, sedangkan stasiun CORS digunakan sebagai titik referensi geodesi untuk mendukung Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI). Namun jika lokasi stasiun CORS berada di sekitar sesar dan merepresentasikan pola pergerakan sesar maka stasiun CORS sekaligus dapat dimanfaatkan untuk pemantauan pergerakan sesar tersebut. Dengan asumsi bahwa titik *campaign* yang didesain untuk pemantauan sesar tentunya dapat merepresentasikan pola pergerakan sesar, maka evaluasi stasiun CORS dilakukan dengan membandingkan pola laju dan arah pergeserannya terhadap titik *campaign*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola pergerakan stasiun CORS tidak menunjukkan kesesuaian dengan pola laju dan arah pergeseran titik pantau *campaign* Sesar Baribis. Laju pergeseran horizontal pada titik pantau *campaign* memiliki laju yang bervariasi sedangkan stasiun CORS memiliki nilai yang hampir sama di setiap titik. Selain itu, titik *campaign* memiliki laju pergeseran yang lebih besar dibandingkan dengan stasiun CORS. Arah pergeseran horizontal di setiap stasiun CORS bergerak ke arah timur sedangkan titik pantau *campaign* memiliki arah yang beragam yang didominasi arah timur dan timur tenggara.

Laju pergeseran komponen vertikal stasiun CORS maupun *campaign* memiliki nilai yang hampir sama dan bervariasi pada setiap titik. Sementara itu arah pergeseran titik pantau CORS terdapat tiga titik pantau CORS yang bergerak turun dan empat titik lainnya bergerak naik dengan laju pergeseran yang kecil. Pada titik pantau *campaign* terdapat 15 titik pantau bergerak turun dan tiga titik lainnya bergerak naik. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pola pergerakan stasiun CORS di sekitar Sesar Baribis tidak menunjukkan kesesuaian dengan pola pergerakan titik *campaign* sehingga dapat dikatakan bahwa stasiun CORS tersebut tidak merepresentasikan pergerakan Sesar Baribis meskipun penggunaan data CORS lebih efisien dari segi waktu dan juga biaya. Hal tersebut dikarenakan tidak semua titik pantau CORS berada di sekitar sesar dan juga *epoch* dan jumlah *doy* yang digunakan pada titik pantau CORS berbeda dengan titik pantau *campaign*.

4. Kesimpulan

Titik pantau *campaign* memiliki laju pergeseran horizontal antara 3,5 s.d. 68,0 dengan nilai simpangan baku antara 1,7 s.d. 74,4 mm/tahun dan laju pergeseran

komponen vertikal antara 7,0 s.d. 49,3 mm/tahun dengan nilai simpangan baku antara 1,7 s.d. 62,6. Sementara itu, titik pantau CORS memiliki laju pergeseran horizontal antara 22,2 s.d. 29,9 mm/tahun dengan nilai simpangan baku antara 0,3 s.d. 0,6 mm/tahun dan laju pergeseran komponen vertikal antara 0,3 s.d. 40,1 dengan nilai simpangan baku antara 0,7 s.d. 5,0 mm/tahun.

Arah pergeseran komponen horizontal titik pantau CORS secara keseluruhan mengarah ke arah timur, sedangkan titik pantau *campaign* memiliki arah yang cukup beragam. Arah pergeseran komponen vertikal titik pantau CORS memiliki arah yang tidak konstan, sementara itu titik pantau *campaign* memiliki arah yang didominasi ke arah turun.

Pola pergerakan stasiun CORS di sekitar Sesar Baribis tidak menunjukkan kesesuaian dengan tipe Sesar Baribis yaitu sesar naik, sekaligus tidak menunjukkan kesesuaian dengan pola laju dan arah pergeseran titik *campaign*. Dapat dikatakan bahwa stasiun CORS tidak merepresentasikan pola pergerakan Sesar Baribis. Oleh karena itu, untuk keperluan pemantauan pergerakan Sesar Baribis pada kala selanjutnya, tetap diperlukan pengukuran titik *campaign* atau bisa juga dikombinasikan dengan stasiun CORS.

5. Pernyataan Konflik Kepentingan

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

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini baik langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah menyediakan data utama pada penelitian ini.

7. Referensi

- Gerasimenko, M. D., Shestakov, N. V., & Kato, T. (2000). On optimal geodetic network design for fault-mechanics studies. *Earth, Planets and Space*, 52(11), 985–987. <https://doi.org/10.1186/BF03352317>
- Ghilani, C. D. (2010). *Adjustment computations: spatial data analysis*. John Wiley & Sons.
- Haryanto, I. (2014). *Evolusi Tektonik Pulau Jawa Bagian Barat Selama Kurun Waktu Kenozoikum*. (Disertasi, Universitas Padjajaran).
- Ilahi, R. (2018). *Analisis deformasi stasiun CORS BIG di sekitar sesar baribis dan anjak kendeng berdasarkan data pengamatan multi tahun (2015, 2016, 2017)* (Skripsi, Universitas Gadjah Mada).
- Marliyani, G. I., Arrowsmith, J. R., & Whipple, K. X. (2016). Characterization of slow slip rate faults in humid areas: Cimandiri fault zone, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 121(12), 2287–2308. <https://doi.org/10.1002/2016JF003854>
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. Badan Penelitian dan Pembangunan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. <https://doi.org/10.1234/example>
- Wananda, B. R. (2016). *Studi deformasi dan aktivitas sesar Baribis berdasarkan data pengamatan GPS tahun 2007–2016* (Skripsi, Institut Teknologi Bandung).
- Widyatma, T.M. (2024). *Evaluasi Pola Pergeseran Titik CORS Berdasarkan Data Campaign Tahun 2019-2023 pada Sesar Baribis* (Skripsi, Universitas Gadjah Mada).
- Yulaikhah, Pramumijoyo, S., Widjajanti, N., Widagdo, A. (2021). Optimal design of the Sermo Fault deformation monitoring network using sensitivity criteria based on geological information. *Arabian Journal of Geosciences* (2021) 14:2072 <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08411-6>
- Zakka, A. M. (2023). *Analisis laju dan arah pergeseran titik pantau sesar Baribis berdasarkan data pengamatan GNSS campaign menggunakan metode PPP pada tahun 2017 sd 2021* (Skripsi, Universitas Gadjah Mada).
- Zhang, C., Guo, A., Ni, S., Xiao, G., & Xu, H. (2023). PPP-ARISEN: An open-source Precise Point Positioning software with ambiguity resolution for interdisciplinary research of seismology, geodesy and geodynamics. *GPS Solutions*, 27(1), 45