

# **IDENTIFIKASI MEKANISME SESAR DI BAGIAN TIMUR PULAU JAWA DENGAN MENGGUNAKAN DATA GNSS KONTINYU 2010-2016**

*(Identification of Fault Mechanism in Eastern Part of Java Island Using Continuous GNSS Data From 2010 to 2016)*

**Henri Kuncoro<sup>1</sup>, Gusti Ayu Jessy Kartini<sup>1</sup>, Irwan Meilano<sup>2</sup>, dan Susilo<sup>3</sup>**

Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia<sup>1</sup>

Teknik Geodesi & Geomatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia<sup>2</sup>

Badan Informasi Geospasial, Cibinong, Indonesia<sup>3</sup>

Jl. PKH. Mustopha No. 23, Bandung 40124

E-mail: [henrikuncoro@itenas.ac.id](mailto:henrikuncoro@itenas.ac.id)

## **ABSTRAK**

Pulau Jawa terletak tepat di utara zona subduksi Jawa yang merupakan zona pertemuan Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Sunda. Beberapa Sesar terbentuk di Pulau Jawa mengakomodasi *stress* yang dihasilkan oleh subduksi Jawa yang berada di selatan Pulau Jawa. Studi deformasi dengan menggunakan data GNSS telah dilakukan untuk mengestimasi laju geser dari sesar-sesar utama di Pulau Jawa. Koulali dkk (2016) mengestimasi laju geser untuk Sesar Baribis dan Sesar Kendeng sebesar 2.3 – 5.6 mm/tahun dan dinyatakan sebagai sesar-sesar aktif. Pada studi ini, 15 data GNSS kontinyu dari tahun 2010 hingga 2016 di bagian timur Pulau Jawa digunakan untuk mengidentifikasi mekanisme sesar yang berada di wilayah ini meliputi Sesar Kendeng dan ekstensinya. Data fase GPS dari setiap stasiun GNSS diolah dengan menggunakan GAMIT/GLOBK 10.6 untuk mendapatkan koordinat di dalam sistem koordinat kartesian 3D di dalam kerangka referensi *International Terrestrial Reference Frame 2008* (ITRF2008). Sebanyak 15 vektor kecepatan GNSS digunakan untuk menghitung *strain rate* dan laju geser untuk setiap segmen sesar yang dilalui oleh 3 profil. Ketiga profil tersebut menunjukkan adanya kompresi sebagai akomodasi *stress* dari subduksi Jawa dan laju geser untuk segmen barat Sesar Kendeng, segmen timur Sesar Kendeng, dan ekstensinya sebesar 1.93 mm/tahun, 0.90 mm/tahun, dan 0.60 mm/tahun secara berurutan dengan mekanisme sesar mengiri. Mekanisme yang sama yang terjadi pada ekstensi Sesar Kendeng menunjukkan adanya potensi sumber gempa yang baru di sekitar Selat Madura. Hal ini merupakan informasi penting untuk mengidentifikasi potensi sumber gempa dari Sesar Kendeng dan ekstensinya mengingat zona dari sesar aktif ini merupakan zona yang berpenduduk cukup padat.

**Kata kunci:** sesar kendeng, laju geser, GNSS, mekanisme sesar, Jawa timur

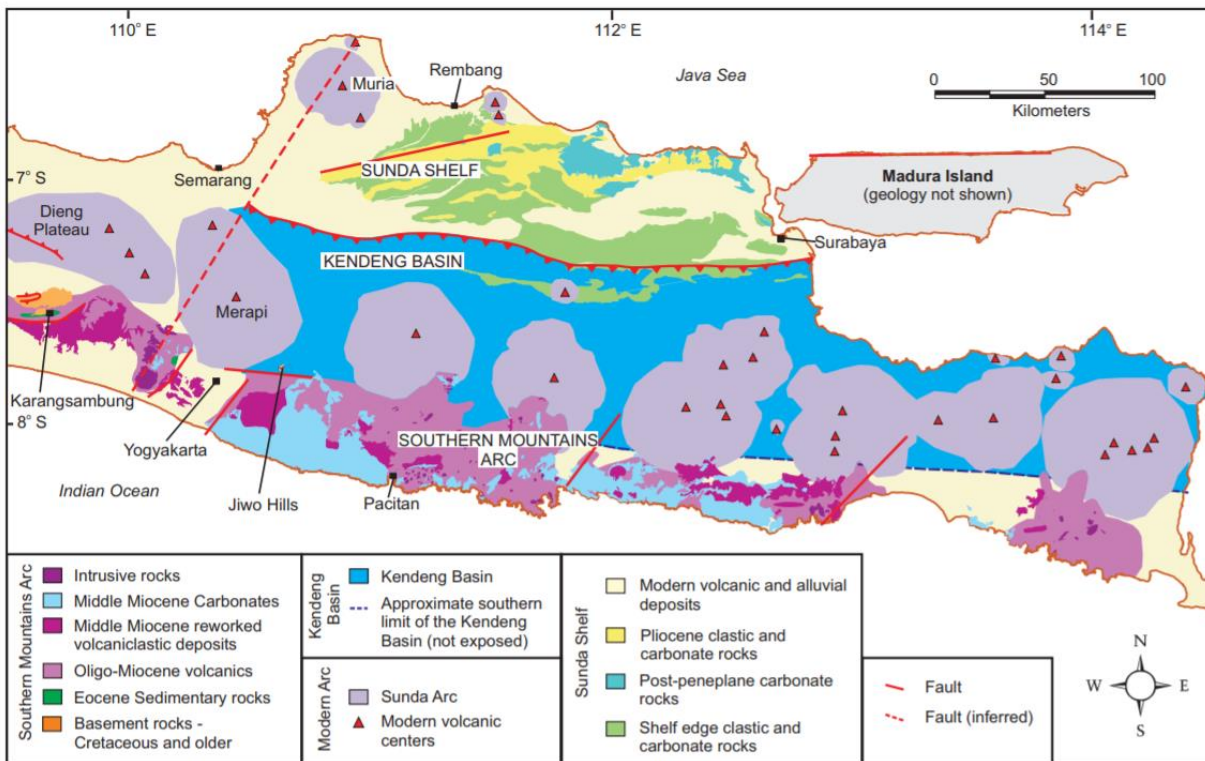
## **ABSTRACT**

*Java Island is located in the north of Java subduction zone where Indo-Australia plate subducts beneath Sunda plate. Some faults are formed to accommodate stress from Java subduction in the south of Java Island. Deformation studies have been done to estimate slip rates of faults in Java Island by using GNSS data. Koulali et.al. (2016) estimate the Baribis and Kendeng fault slip rates of 2.3 – 5.6 mm/year and inferred as active faults. In this study, we use 15 continuous GNSS data from 2010 to 2016 in the eastern part of Java to identify the fault mechanism in this area including Kendeng Fault and its extension. GNSS phase data from each GNSS station are processed by using GAMIT/GLOBK 10.6 to generate site coordinates in the 3D Cartesian coordinate system in the ITRF2008. The 15 GNSS velocity fields are used to estimate strain rates and slip rates for each segment crossed by 3 profile lines. Those 3 profiles show compression as stress accommodation from Java subduction and the slip rates of 1.93 mm/year, 0.90 mm/year, and 0.60 mm/year for west segment of Kendeng fault, east segment of Kendeng fault, and its extension respectively with left lateral mechanism. The same mechanism which occurred in the extension of Kendeng fault shows the potential of a new hazard source around Madura Strait. This is important information to identify the hazard sources from Kendeng fault and its extension since this zone has the most populated area in the East Java.*

**Keywords:** *kendeng fault, slip rate, GNSS, fault mechanism, east java*

## PENDAHULUAN

Pulau Jawa terletak di pertemuan antara Lempeng Sunda dengan Lempeng Indo-Australia, dimana pada barisan terdepan dari pertemuan tersebut terdapat zona subduksi Jawa yang terletak di selatan Pulau Jawa. Beberapa sesar di Pulau Jawa terbentuk untuk mengakomodasi *stress* yang dihasilkan oleh subduksi Jawa. Salah satu sesar yang terbentuk sebagai akibat dari *stress* subduksi Jawa di bagian timur adalah Sesar Kendeng. Sesar Kendeng membentang dari kota Semarang hingga kota Surabaya dengan arah barat-timur (**Gambar 1**). Bagian utara dari Sesar Kendeng merupakan bagian utama dari Lempeng Sunda sedangkan bagian selatan merupakan jajaran gunung api. Namun, ekstensi dari Sesar Kendeng ke arah timur belum diketahui secara pasti hingga kini.



Sumber: Smyth dkk, (2008).

**Gambar 1.** Peta Geologi Jawa Timur

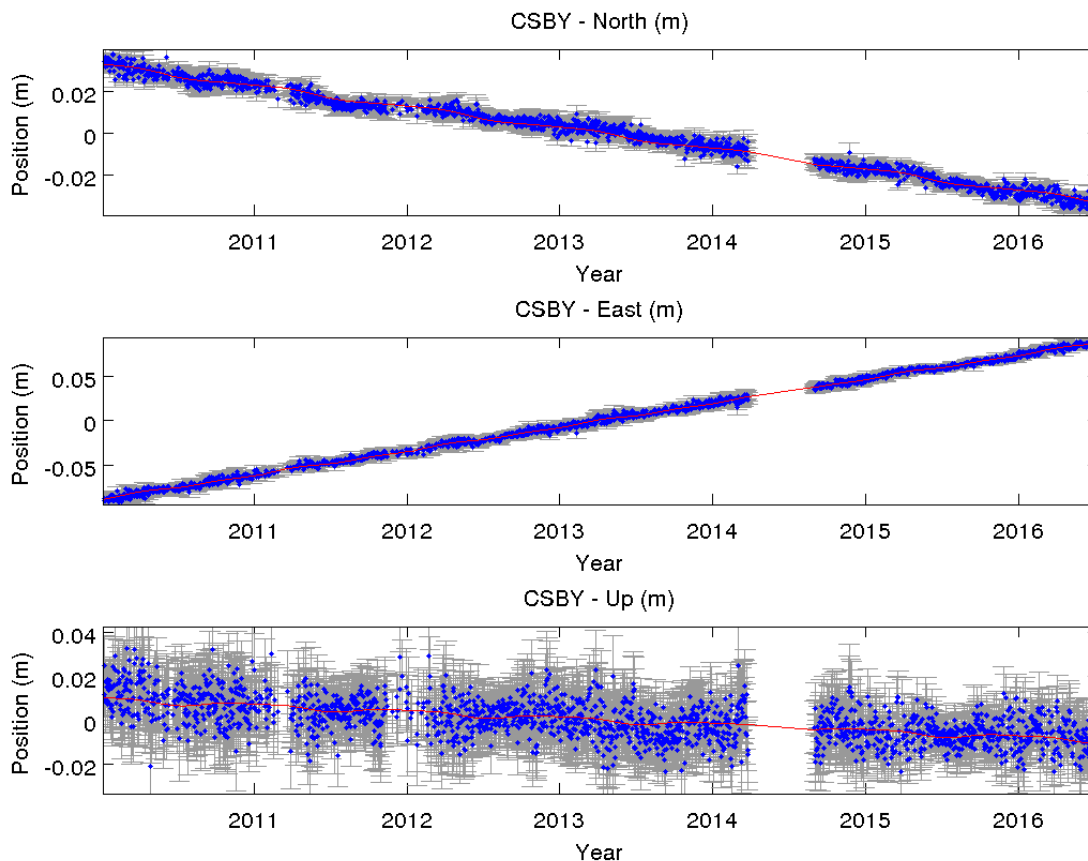
Teknologi GNSS (*Global Navigation Satellite System*) telah berkembang pesat hingga kini. Ketelitian dari hasil pengolahan data GNSS secara ilmiah dapat mencapai level millimeter. Hal ini sangat berguna untuk studi deformasi atau geodesi tektonik yang memang memerlukan ketelitian data GNSS dalam level millimeter. Dengan menginversi data GNSS kontinyu metode pemodelan blok, Koulali dkk. (2016) mengestimasi laju geser Sesar Kendeng sebesar 2.3 – 4.1 mm/tahun pada komponen sinistral. Sedangkan pada komponen normal terhadap Sesar menunjukkan terjadinya kompresi sebagai akomodasi subduksi Jawa.

Metode Pemodelan blok tersebut sangat bergantung kepada seberapa suksesnya model dapat merepresentasikan rotasi blok dengan baik. Setidaknya terdapat dua blok/lempeng yang harus dimodelkan pada kasus tersebut yaitu Lempeng Sunda dan Blok Jawa. Simons dkk. (2007) berhasil mengestimasi parameter rotasi Lempeng Sunda dengan menggunakan kombinasi antara data GNSS kontinyu dan episodik di wilayah Asia Tenggara. Mengingat luasnya area stabil dari Lempeng Sunda, maka penentuan rotasi Lempeng Sunda bukanlah hal yang sulit. Sebaliknya, Blok Jawa memiliki deformasi yang sangat kompleks dan hampir semua areanya bukanlah area stabil. Koulali dkk. (2016) menyederhanakan model distribusi penguncian subduksi Jawa dengan membuat bidang subduksi tersebut memiliki penguncian yang homogen pada kedalaman yang dangkal. Sedangkan penelitian lainnya (Hanifa dkk., 2014) menunjukkan bahwa subduksi Jawa bagian barat memiliki distribusi penguncian yang heterogen.

Kompleksnya deformasi Pulau Jawa menjadi hambatan dalam mengestimasi laju geser sesar-sesar aktif dengan tepat di Pulau Jawa. Dengan alasan ini, pada penelitian ini dilakukan pengestimasian laju geser dan mekanismenya dengan cara memproyeksikan vektor kecepatan GNSS pada beberapa garis profil yang melalui bidang sesar. Beberapa profil dibuat untuk mengidentifikasi sesar-sesar di bagian timur Jawa meliputi Sesar Kendeng dan ekstensinya. Hal ini merupakan informasi penting untuk mengidentifikasi potensi sumber gempa dari Sesar Kendeng dan ekstensinya mengingat zona dari sesar aktif ini merupakan zona yang berpenduduk cukup padat.

**METODE**

Pada studi ini, dikumpulkan data GNSS kontinyu yang juga merupakan jaringan CORS (Continuously Operating Reference Station) Indonesia yang dikelola oleh BIG (Badan Informasi Geospasial) sebanyak 15 GNSS kontinyu di wilayah timur Pulau Jawa dari tahun 2010 hingga 2016. Data GNSS tersebut diolah dengan menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK 10.6 (Herring dkk., 2015). Data fase GNSS untuk setiap stasiun diolah per-hari menghasilkan solusi harian yang memuat koordinat kartesian 3D dan kovarian matriksnya. Selanjutnya solusi harian dari 15 stasiun GNSS digabungkan dengan beberapa stasiun IGS (*International GNSS Service*) stabil yang berada di sekitar Indonesia. Dari solusi harian tersebut dihasilkan GNSS timeseries untuk setiap stasiun GNSS dan dihilangkan data *outlier*-nya dengan selang kepercayaan  $2\sigma$ .



**Gambar 2.** GNSS timeseries stasiun CSBY untuk komponen horisontal dan vertikal.

GNSS timeseries (**Gambar 2**) yang telah bersih dari *outlier* setiap epoknya ditransformasikan ke dalam kerangka referensi ITRF2008 menggunakan kuadrat terkecil dengan mengestimasi 6 parameter transformasi Helmert (3 translasi & 3 rotasi) menggunakan titik sekutu stabil dari stasiun IGS. Selanjutnya vektor kecepatan GNSS (**Gambar 3**) untuk setiap stasiun diestimasi menggunakan persamaan linear:

$$Y(t) = at+b \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- Y = nilai pergeseran setiap epok (mm)
- a = vektor kecepatan (mm/tahun)
- t = epok (tahun)
- b = nilai pergeseran pada epok awal (mm)

Vektor kecepatan GNSS kemudian digunakan untuk mengestimasi laju geser dan regangan pada profil (**Gambar 3**). Area studi dibagi menjadi 3 profil yaitu profil A, profil B, dan profil C yang melalui bidang sesar. Profil A dan profil B melintasi bidang Sesar Kendeng, sedangkan profil C melalui ekstensi dari Sesar Kendeng. Vektor kecepatan GNSS diproyeksikan sejajar dan tegak lurus terhadap sesar. Proyeksi sejajar terhadap sesar digunakan untuk mengestimasi laju geser dengan persamaan (Payne dkk., 2012):

$$LG = (\sum Vs2/\sum W2) - (\sum Vs1/\sum W1).....(2)$$

dimana:

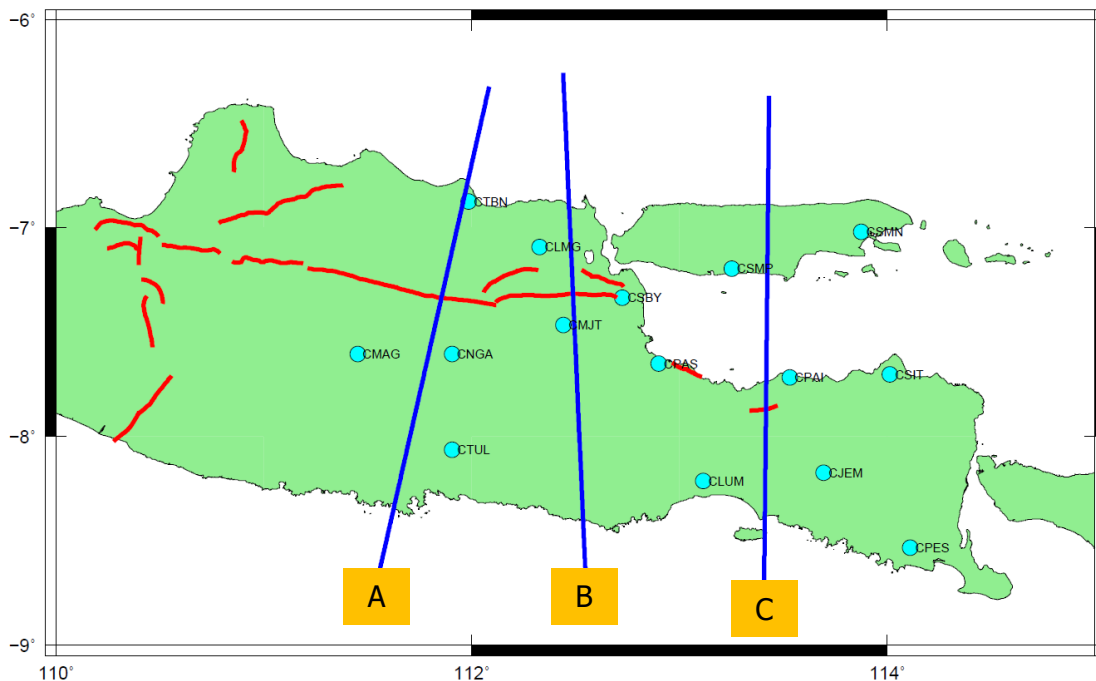
- Vs1 = komponen sejajar sesar kecepatan GNSS dengan pembobotan, di selatan sesar (mm/tahun)
- Vs2 = komponen sejajar sesar kecepatan GNSS dengan pembobotan, di utara sesar (mm/tahun)
- W1 = Bobot komponen sejajar sesar kecepatan GNSS, di selatan sesar
- W2 = Bobot komponen sejajar sesar kecepatan GNSS, di utara sesar

Proyeksi tegak lurus terhadap profil digunakan untuk mengestimasi *strain rate* dengan persamaan:

$$Vt = \epsilon d + b.....(3)$$

dimana:

- $\epsilon$  = normal strain rate (/tahun)
- d = jarak sepanjang profil (km)
- b = Kecepatan pada jarak ke-1 pada profil (mm/tahun)
- Vt = komponen tegak lurus sesar kecepatan GNSS (mm/tahun)



**Gambar 3.** Profil A, B, dan C yang ditunjukkan oleh garis biru melalui bidang sesar di wilayah timur Pulau Jawa. Lingkaran berwarna biru muda menunjukkan lokasi pengamatan GNSS kontinyu. Sesar-sesar aktif digambarkan dengan garis merah.

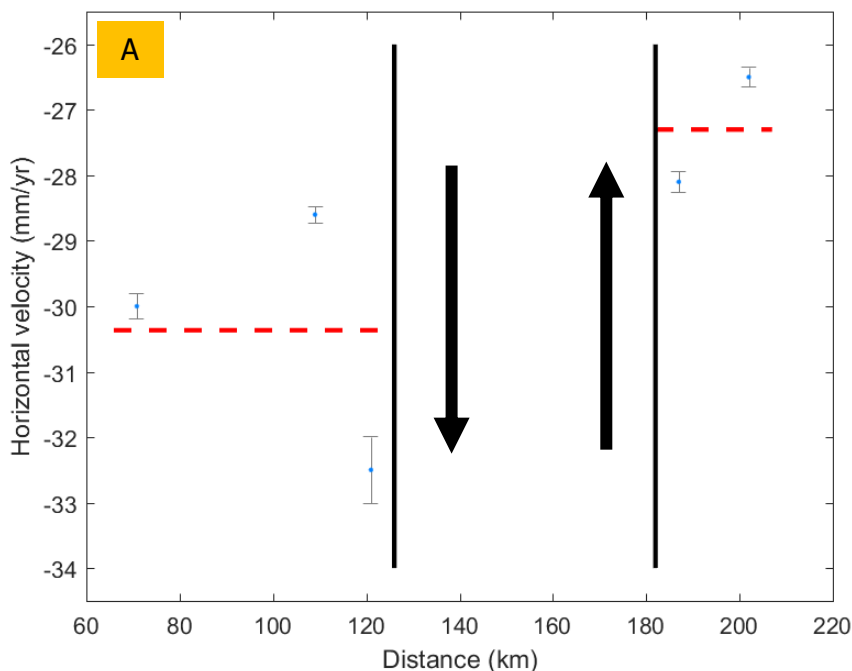
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil proyeksi sejajar sesar kecepatan GNSS pada profil A (**Gambar 4**) menunjukkan bahwa kecepatan GNSS di sebelah selatan sesar memiliki rata-rata yang lebih besar dibandingkan dengan kecepatan yang berada di utara sesar. Hasil dari perhitungan laju geser pada profil A sebesar  $1.93 \text{ mm/tahun} \pm 0.15 \text{ mm/tahun}$ . Laju geser tersebut menunjukkan bahwa mekanisme Sesar Kendeng adalah sinistral/sesar mengiri. Mekanisme sesar sesuai dengan studi geologi maupun geodesi sebelumnya, akan tetapi nilai laju geser sedikit lebih kecil dibandingkan dengan studi sebelumnya untuk Sesar Kendeng (Koulali dkk., 2016). Sedangkan komponen proyeksi tegak lurus sesar digunakan untuk mengestimasi *strain rate*. Hasil *strain rate* pada profil A menunjukkan terjadinya kompresi di sepanjang profil A sebesar  $9.775 \text{ ns/tahun} \pm 9.781 \text{ ns/tahun}$  (**Gambar 5**). Meskipun memiliki *error* yang nilainya hampir sama dengan nilai *strain rate*, *trend* dari kecepatan GNSS dengan jelas menunjukkan bahwa mekanisme Sesar Kendeng adalah kompresi. Hal ini sesuai dengan asumsi bahwa Sesar Kendeng mengakomodasi *stress* dari subduksi Jawa di bagian timur.

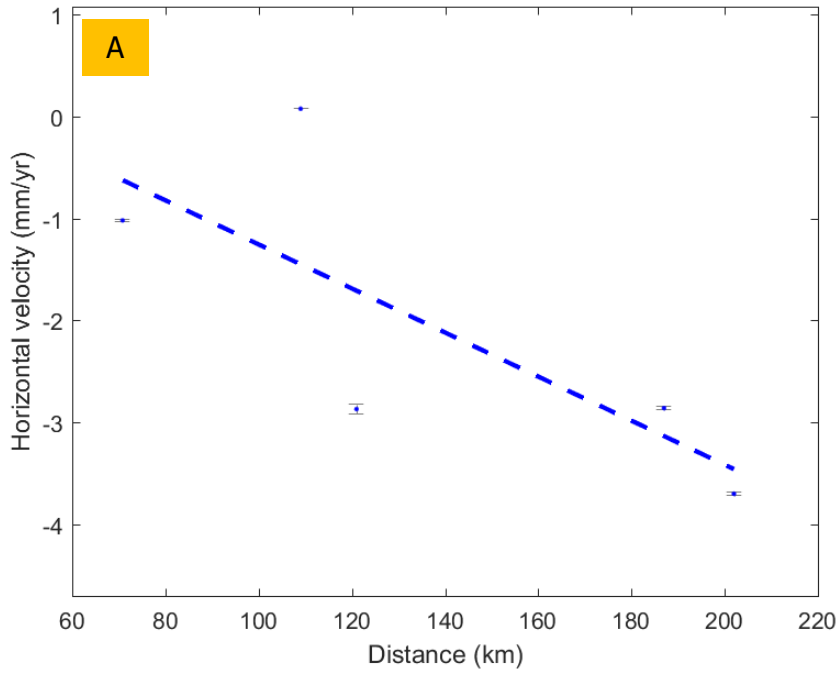
Profil B melintasi Sesar Kendeng pada segmen bagian timur. Hasil laju geser untuk segmen yang terlntasi profil B sebesar  $0.90 \text{ mm/tahun} \pm 0.11 \text{ mm/tahun}$  dengan mekanisme sesar mengiri (**Gambar 6**). Nilai laju geser pada segmen ini cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan laju geser pada profil A. Kemudian *strain rate* pada sepanjang profil B menunjukkan adanya kompresi sebesar  $37.231 \text{ ns/tahun} \pm 20.267 \text{ ns/tahun}$  (**Gambar 7**). Kompresi pada profil B lebih besar dibandingkan dengan kompresi pada profil A.

Laju geser pada profil C juga menunjukkan mekanisme sesar mengiri dengan nilai sebesar  $0.60 \text{ mm/tahun} \pm 0.08 \text{ mm/tahun}$  (**Gambar 8**). Asumsi pada studi ini adalah bahwa profil C melintasi ekstensi dari Sesar Kendeng di sekitar Selat Madura. Berdasarkan hasil yang diperoleh secara jelas menunjukkan bahwa segmen ini memiliki mekanisme yang sama dengan Sesar Kendeng dengan laju geser yang lebih kecil. Pada segmen ini juga terjadi kompresi sebesar  $18.033 \text{ ns/tahun} \pm 6.455 \text{ ns/tahun}$  (**Gambar 9**).

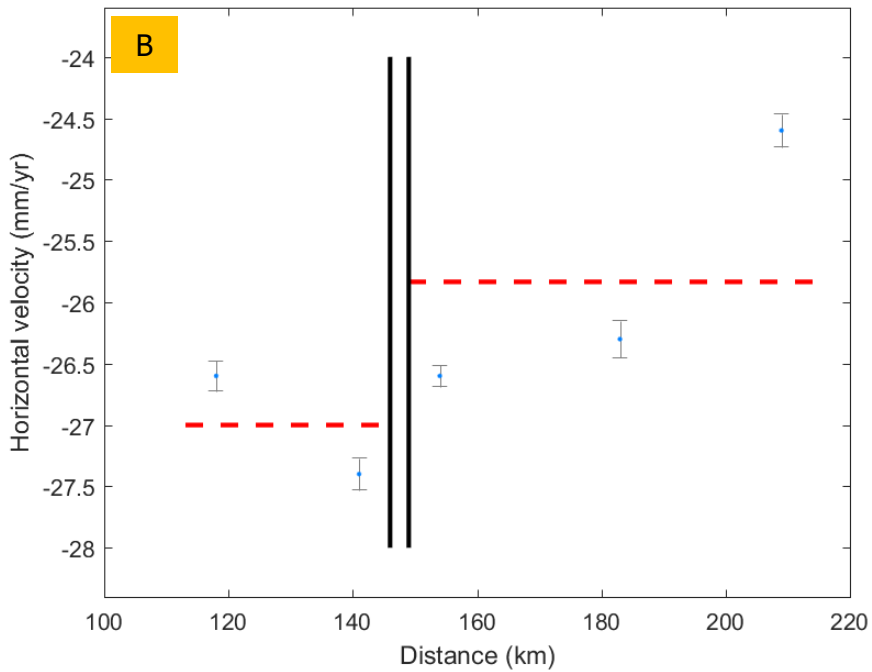
Ketiga profil yang melintasi Sesar Kendeng dan ekstensinya menunjukkan mekanisme yang sama yaitu kompresi di semua segmen dengan kompresi terkecil ada pada segmen Sesar Kendeng bagian barat dan kompresi terbesar berada pada segmen Sesar Kendeng bagian timur serta laju geser yang mengecil dari barat ke timur dengan mekanisme sesar mengiri.



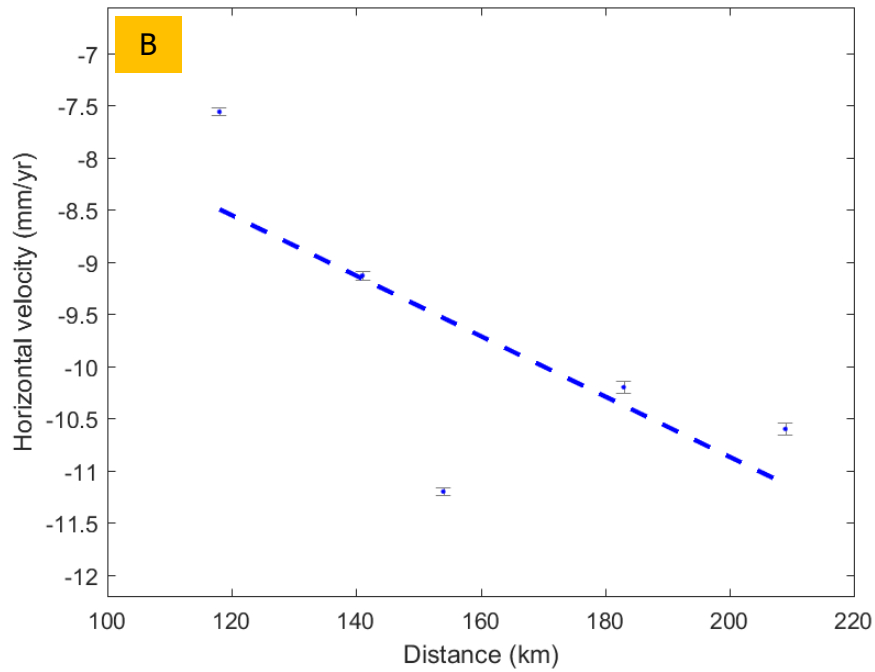
**Gambar 4.** komponen sejajar kecepatan GNSS pada profil A. Garis putus merah menunjukkan rata-rata dari komponen sejajar kecepatan GNSS di sebelah selatan dan utara sesar.



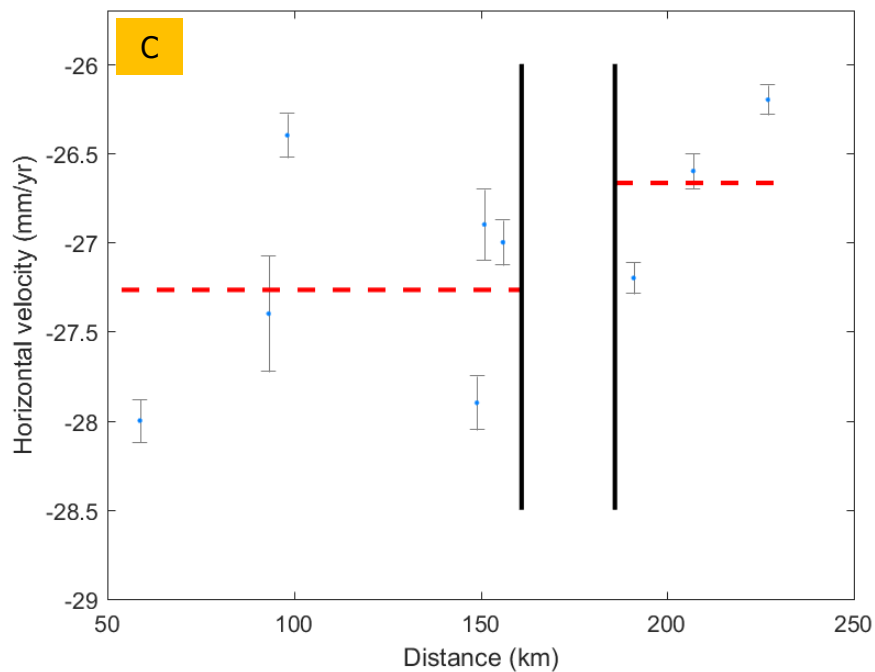
**Gambar 5.** komponen tegak lurus kecepatan GNSS pada profil A. Garis putus biru menunjukkan nilai *strain rate*. Kompresi jika kemiringan garis bernilai negatif dan sebaliknya.



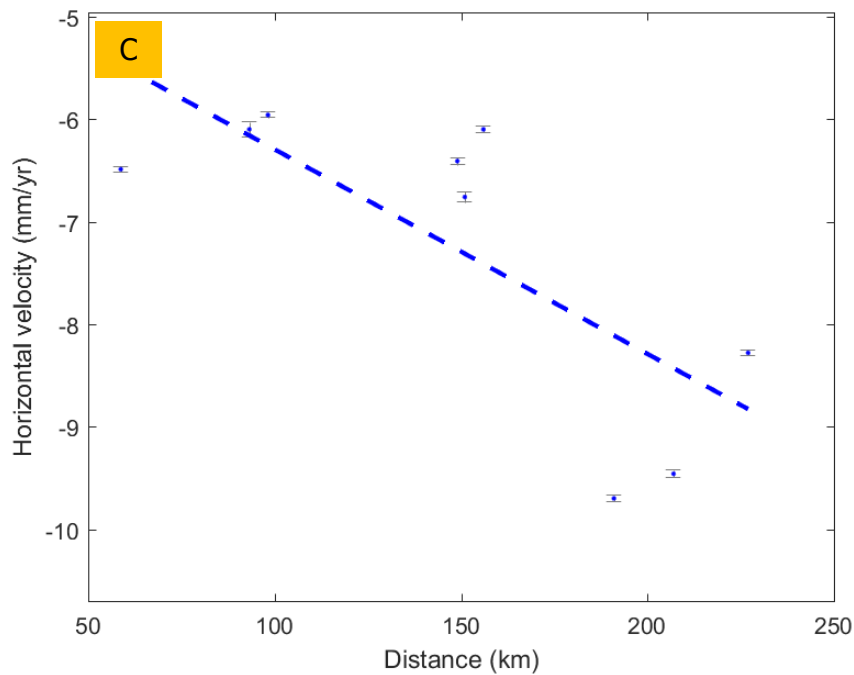
**Gambar 6.** komponen sejajar kecepatan GNSS pada profil B. Garis putus merah menunjukkan rata-rata dari komponen sejajar kecepatan GNSS di sebelah selatan dan utara sesar.



**Gambar 7.** komponen tegak lurus kecepatan GNSS pada profil B. Garis putus biru menunjukkan nilai *strain rate*. Kompresi jika kemiringan garis bernilai negatif dan sebaliknya.



**Gambar 8.** komponen sejajar kecepatan GNSS pada profil C. Garis putus merah menunjukkan rata-rata dari komponen sejajar kecepatan GNSS di sebelah selatan dan utara sesar.



**Gambar 9.** komponen tegak lurus kecepatan GNSS pada profil C. Garis putus biru menunjukkan nilai *strain rate*. Kompresi jika kemiringan garis bernilai negatif dan sebaliknya.

## KESIMPULAN

Hasil pada studi ini menunjukkan bahwa laju geser untuk segmen barat Sesar Kendeng, segmen timur Sesar Kendeng, dan ekstensinya sebesar 1.93 mm/tahun, 0.90 mm/tahun, dan 0.60 mm/tahun secara berurutan dengan mekanisme sesar mengiri. Sedangkan untuk ketiga segmen tersebut mengalami kompresi untuk mengakomodasi *stress* dari subduksi Jawa. Kompresi terbesar terjadi pada segmen timur Sesar Kendeng sedangkan kompresi terkecil terjadi pada segmen barat Sesar Kendeng. Mekanisme yang sama yang terjadi pada ekstensi Sesar Kendeng menunjukkan adanya potensi sumber gempa yang baru di sekitar Selat Madura.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih disampaikan kepada staf Badan Informasi Geospasial yang telah membantu penulis dalam penyediaan data GNSS.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hanifa, N. R., Sagiya, T., Kimata, F., Efendi, J., Abidin, H. Z., & Meilano, I. (2014). *Interplate coupling model off the southwestern coast of Java, Indonesia, based on continuous GPS data in 2008–2010*. *Earth and Planetary Science Letters*, 401, 159–171. doi:10.1016/j.epsl.2014.06.010.
- Herring, T. A., King, R. W., & McClusky, S. C. (2015). *Introduction to GAMIT/GLOBK 10.6*, Mass. Inst. of Tech., Cambridge.
- Koulali, A., McClusky, S., Susilo, S., Leonard, Y., Cummins, P., Tregoning, P., & Wijanarto, A. B. (2017). *The kinematics of crustal deformation in Java from GPS observations: Implications for fault slip partitioning*. *Earth and Planetary Science Letters*, 458, 69-79.
- Payne, S. J., McCaffrey, R., King, R.W., & Kattenhorn, S. A. (2012). *A new interpretation of deformation rates in the Snake River Plain and adjacent basin and range regions based on GPS measurements*. *Geophysical Journal International*, doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05370.x.
- Simons, W. J. F., Socquet, A., Vigny, C., Ambrosius, B. A. C., Abu, S. H., Promthong, C., Subarya, C., Sarsito, D. A., Matheussen, S., Morgan, P. & Spakman, W. (2007). *A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries*. *J. Geophys. Res.*, 112, B06420.
- Smyth, H. R., Hall, R., & Nichols, G. J. (2008). *Cenozoic volcanic Arc history of east Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin*. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 436, 199–222.