



Identifikasi Mekanisme Sesar di Bagian Timur Pulau Jawa dengan Menggunakan Data GNSS Kontinyu 2010-2016

Henri Kuncoro¹, Monica Maharani¹

¹ Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung

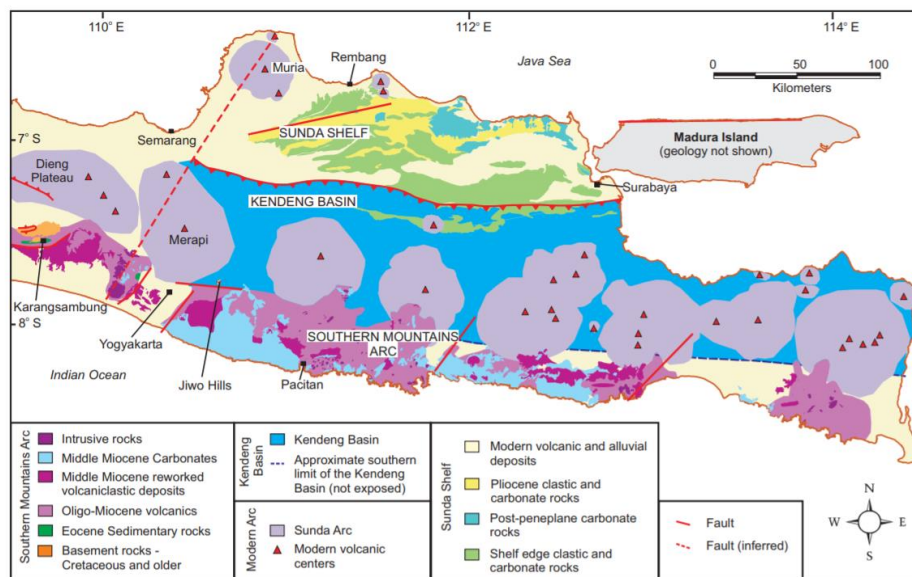
Abstrak. Pulau Jawa terletak tepat di utara zona subduksi Jawa yang merupakan zona pertemuan Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Sunda. Beberapa Sesar terbentuk di Pulau Jawa mengakomodasi stress yang dihasilkan oleh subduksi Jawa yang berada di selatan Pulau Jawa. Studi deformasi dengan menggunakan 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.

Keywords: *sesar kendeng, laju geser, gnss, mekanisme sesar, Jawa timur.*

1 Pendahuluan

Pulau Jawa terletak di pertemuan antara Lempeng Sunda dengan Lempeng Indo-Australia yang 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. The section title use 12 pt, bold, Times, title case with 6 pt spacing to the body text. Use 11 pt Times for body of the text with one spacing between lines, 12 pt spacing between paragraph and 18 pt spacing for the next heading.¹ To set the style, simply use this template and follow the instructions on section 2.



Gambar 1 Peta Geologi Jawa Timur (Smyth dkk., 2008).

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. 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.

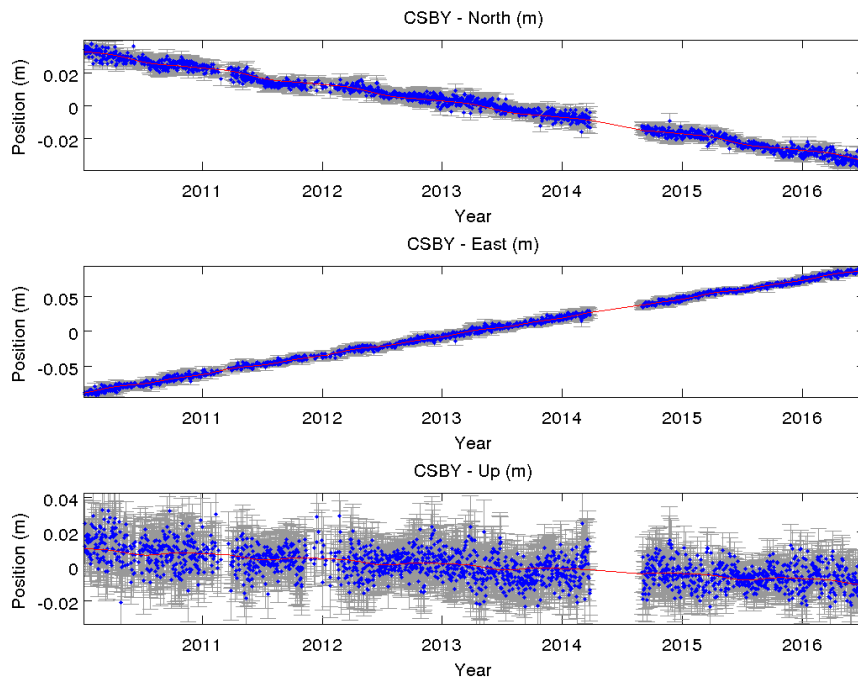
Metode pemodelan blok tersebut sangat bergantung kepada seberapa baik model dapat merepresentasikan rotasi blok. Setidaknya terdapat dua

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 pengestimasi 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.

2 Metode

Penelitian ini menggunakan data GNSS kontinyu dari 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 digunakan dalam penelitian ini. Data GNSS tersebut diolah dengan menggunakan perangkat lunak imliah 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 2σ .



Gambar 2 GNSS timeseries stasiun CSBY untuk komponen horizontal 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:

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

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):

$$LG = (\Sigma Vs2 / \Sigma W2) - (\Sigma Vs1 / \Sigma W1) \quad (2)$$

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:

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

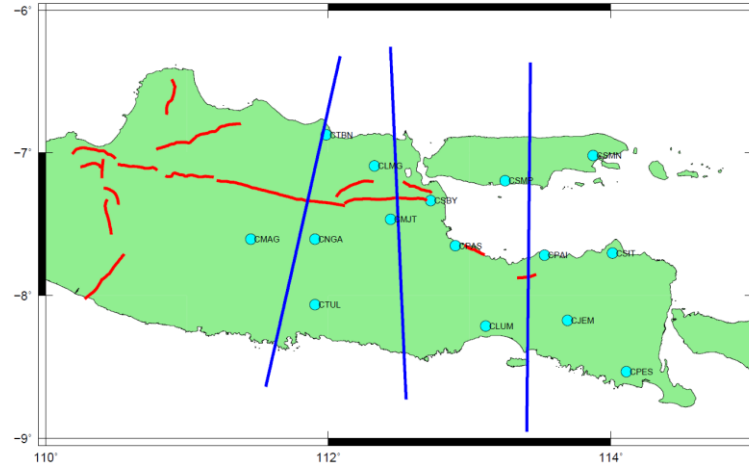
dimana:

ϵ = 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.

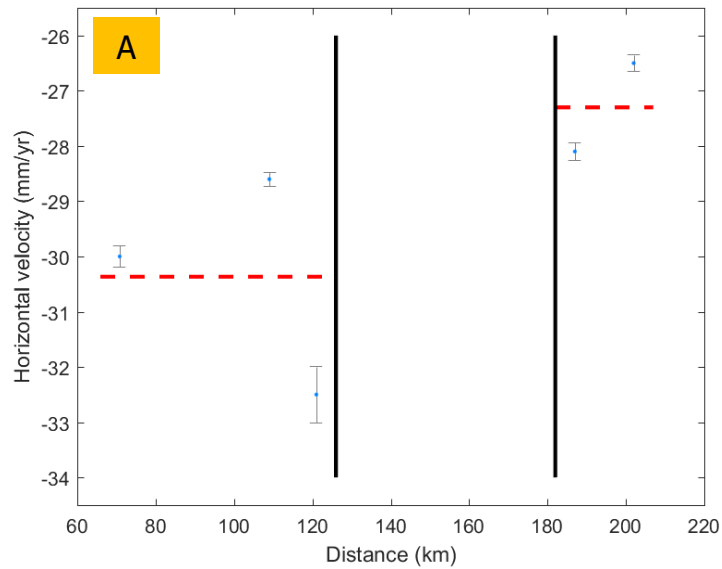
3 Hasil dan Pembahasan

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.

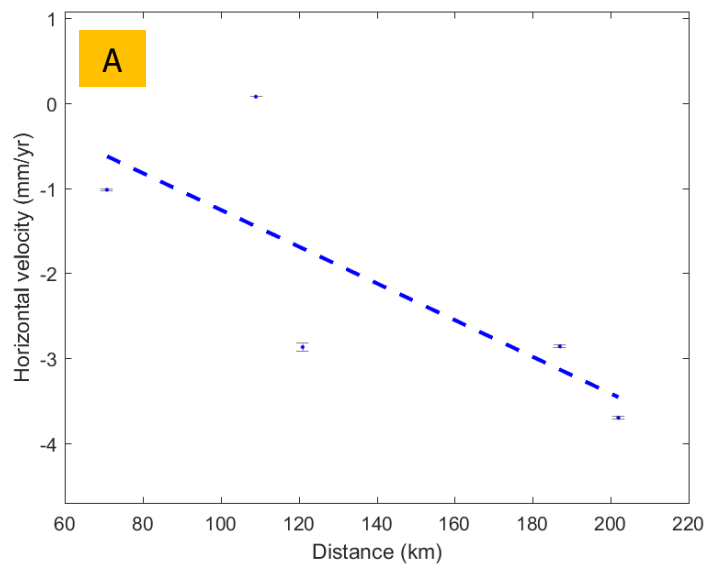
Profil B melintasi Sesar Kendeng pada segmen bagian timur. Hasil laju geser untuk segmen yang terlintasi profil B sebesar $0.90 \text{ mm/tahun} \pm 0.11 \text{ mm/tahun}$ dengan mekanisme sesar mengiri (Gambar 6). Nilai laju geser pada segmen ini cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan laju geser 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).

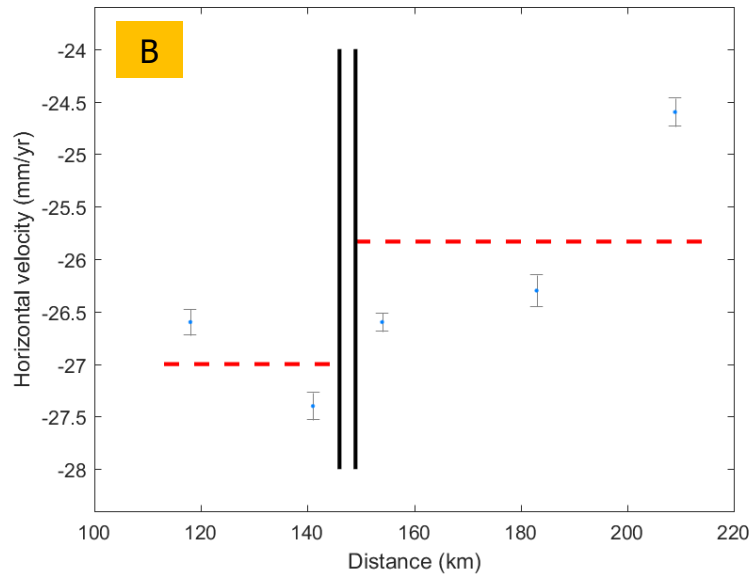
Ketiga profil yang melintasi Sesar Kendeng dan ekstensinya menunjukkan mekanisme yang sama yaitu kompresi di semua segmen dengan kompresi terkecil ada pada segmen Sesar Kendeng bagian barat dan kompresi terbesar berada pada segmen Sesar Kendeng bagian timur serta laju geser yang mengecil dari barat ke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



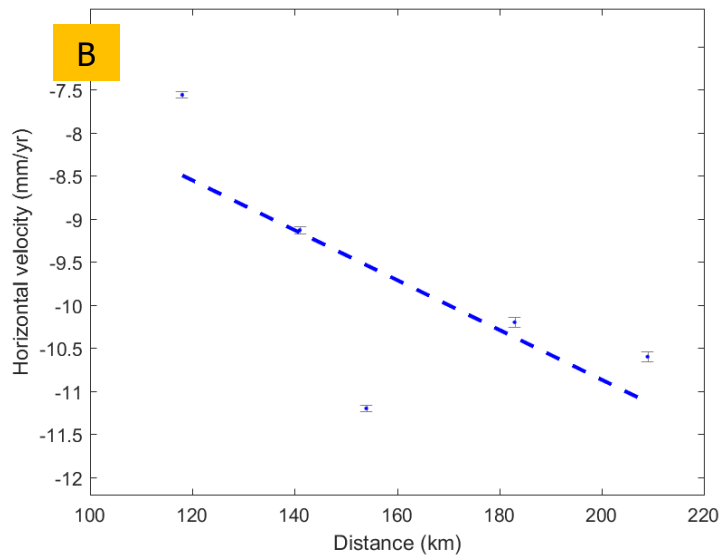
Gambar 4 Komponen sejajar kecepatan GNSS pada profil A. Garis putus merah menunjukkan rata-rata dari komponen sejajar kecepatan GNSS di sebelah selatan dan utara sesar.



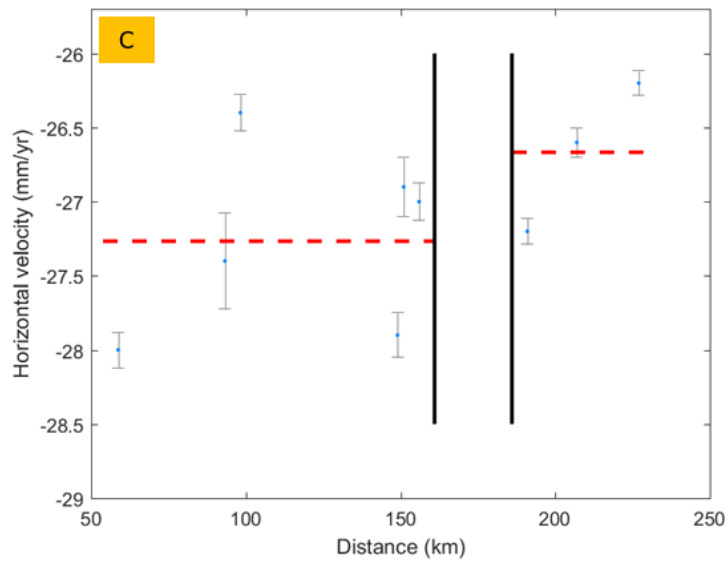
Gambar 5 Komponen tegak lurus kecepatan GNSS pada profil A. Garis putus biru menunjukkan nilai strain rate. Kompresi jika kemiringan garis bernilai negatif dan sebaliknya.



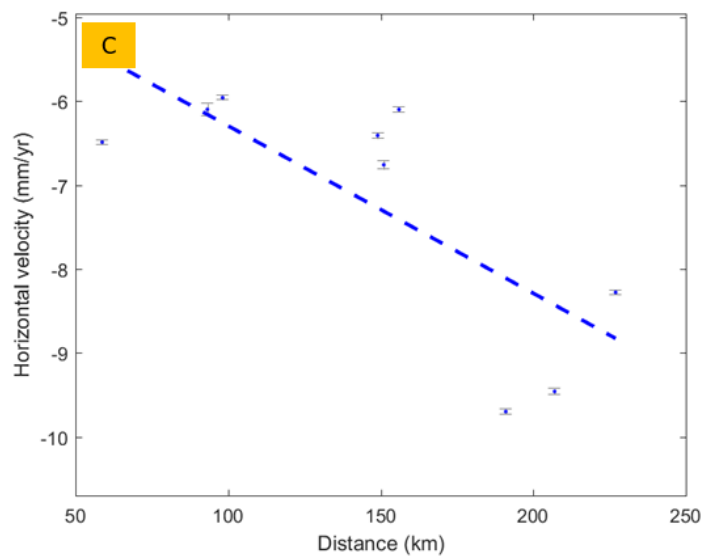
Gambar 6 Komponen sejajar kecepatan GNSS pada profil B. Garis putus merah menunjukkan rata-rata dari komponen sejajar kecepatan GNSS di sebelah selatan dan utara sesar.



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.

4 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.

5 Ucapan Terima Kasih

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

6 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.