

# ANALISIS VARIASI SPASIAL *B-VALUE* MENGGUNAKAN LOKASI GEMPA PRESISI TINGGI WILAYAH SELAT SUNDA TAHUN 2009–2018

Shavira Widya Pangestika<sup>1</sup>, Tedi Yudistira<sup>2</sup>, Erlangga Ibrahim Fattah<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan  
Ryacudu, Jati Agung, 35365

Program Studi Teknik Geofisika Intitut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10,  
Coblong, 40132

\*Email korespondensi: [shavirawidya58@gmail.com](mailto:shavirawidya58@gmail.com)

---

## ABSTRAK

Tektonik Selat Sunda yang didominasi oleh pergerakan lempeng serta sesar-sesar besar aktif yang berada disekitar Selat Sunda menyebabkan wilayah tersebut memiliki tektonik aktif dengan seismisitas yang tinggi, sehingga memiliki kerentanan seismik yang tinggi pula. Pada penelitian ini dilakukan analisis variasi nilai-*b* untuk mendapatkan informasi yang lebih baik mengenai keadaan *stress* pada wilayah Selat Sunda. Langkah pertama yang dilakukan yaitu merelokasi hiposenter sebanyak 641 gempa yang diambil dari katalog BMKG periode 2009–2018 dengan magnitudo 3,1 sampai 5,5 MLv dan kedalaman 6 sampai 177 km pada koordinat 103,66° BT s.d 105,94° BT dan -6,90° LU s.d -5,69° LU dengan menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter*. Hasil nilai-*b* yang telah diperoleh menunjukkan bahwa wilayah Selat Sunda memiliki variasi nilai-*b* yang cukup rendah yaitu berkisar antara 0,58–0,92 dan variasi nilai-*a* berkisar antara 4,1–5,35.

**Kata Kunci :** relokasi, nilai *a-value*, nilai *b-value*

## ABSTRACT

*The tectonics of the Sunda Strait are dominated by plate movements and large active faults that is connected to the Sunda Strait caused by this area has active tectonics with high seismicity, so it has a high seismic vulnerability as well. In this study, the analysis of B-Value variations was carried out to obtain better information about the stress situation in the Sunda Strait region. The first step was to relocate the hypocenter of 641 earthquakes taken from the BMKG catalog for the 2009 - 2018 period with a magnitude of 3,1 to 5,5 MLv and a depth of 6 to 177 km at coordinates 103,66° BT to 105,94° BT and -6,90° LU to -5,69° LU using the Coupled Velocity-Hypocenter method. The results of the b-value obtained shows that the Sunda Strait region has a variation of the b-value is quite low, namely between 0,58 to 0,92 and the variation of a-value between 4,1 to 5,35.*

**Keywords:** relocation, *b-value*, *a-value*

## **Pendahuluan**

Dinamika tektonik Selat Sunda didominasi oleh pergerakan Lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke utara bertumbukan dengan Lempeng Eurasia yang relatif diam. Tunjaman Busur Sunda terbagi atas dua bagian utama, yaitu Busur Sunda tunjaman asimetri miring di lepas pantai sebelah barat Pulau Sumatera dan Busur Sunda tunjaman asimetri tegak di bagian selatan Pulau Jawa dan Kepulauan Nusa Tenggara. Tunjaman Busur Sunda tersebut merupakan zona sumber gempa bumi yang sangat potensial. Selain sumber gempa bumi tunjaman Busur Sunda pada lepas pantai di sebelah Barat Pulau Sumatera ini, dapat dijumpai pula sumber gempa bumi Patahan Aktif Mendatar Mentawai. Gempa bumi dengan magnitudo besar dan berkedalaman yang dangkal tercatat sering terjadi di kedua zona sumber gempa bumi tersebut [1].

Selain pergerakan lempeng, tektonika Selat Sunda juga dipengaruhi oleh sesar-sesar besar dan aktif, yaitu Sesar Semangko dan Sesar Kota Agung membentuk graben, Sesar Panjang yang merupakan sesar normal mendatar mengangan, Sesar Krakatau yang bersifat bukaan telah mengontrol pemunculan deratan gunung api. Sesar-sesar tersebut berpotensi sebagai sumber gempa bumi bawah laut [1]. Tunjaman lempeng dan sesar mengakibatkan pergerakan unsur-unsur batuan. Kondisi ini menjadikan wilayah Selat Sunda sebagai wilayah di Indonesia yang memiliki tektonik aktif dengan tingkat seismisitas yang tinggi [2].

Kewaspadaan dan kesiapsiagaan

terhadap kemungkinan terjadinya gempa besar yang dapat mengganggu kesetimbangan lingkungan geologi dan keberlangsungan hidup merupakan hal pokok dan mendasar yang harus diperhatikan dan dilakukan. Salah satu langkah yang harus diperhatikan dan dilakukan yaitu dengan melakukan kajian seismogenetik di daerah Selat Sunda diantaranya yaitu penentuan nilai *b-value* dengan menggunakan lokasi gempa presisi tinggi dari daerah tersebut. Penelitian nilai *b-value* dapat digunakan untuk melihat aktivitas *stress* lokal, dimulai dari studi *b-value* untuk mengetahui seismotektonik struktur bawah permukaan berdasarkan data gempa daerah tersebut dengan menggunakan metode Maksimum Likelihood [3].

Kedudukan Busur Selat Sunda sebagai zona peralihan tersebut menyebabkan kawasan ini memiliki kondisi geodinamika yang sangat aktif dengan kondisi geologi yang dinamis dan kompleks. Hal ini ditunjukkan dengan tingginya frekuensi gempa bumi di Selat Sunda dan sekitarnya yang dipengaruhi oleh proses tektonik yang terjadi [1].

## **Metode**

### ***Metode Couple Velocity-Hipocenter***

Data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Badan Meteorologi, Klomatologi dan Geofisika (BMKG) dengan rentang waktu April 2009 sampai April 2018. Data yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa data katalog gempa bumi yang terdapat informasi mengenai waktu kejadian gempa, *origin time*, *arrival time*

gelombang P dan S, hiposenter gempa (*latitude, longitude*, dan kedalaman), model kecepatan 1D gelombang seismik dan data stasiun pengamat.

Serangkaian data yang diperoleh kemudian dilakukan relokasi hiposenter guna mendapatkan lokasi hiposenter gempa bumi yang lebih presisi dengan menggunakan metode *Coupled Velocity-Hipocenter* dengan menggunakan perangkat lunak *Velest*. Metode ini memiliki anggapan bahwa bumi terdiri dari lapisan datar yang homogen isotropik, sehingga waktu tiba gelombang gempa yang terjadi karena pemantulan dan pembiasan untuk setiap lapisan dapat dihitung dengan menggunakan. Dalam melakukan pengamatan waktu tiba gelombang dapat dinyatakan dalam suatu formula tobs, yaitu  $t_{obs} = f(s, h, m)$ , dimana  $s$ ,  $h$ , dan  $m$  adalah koordinat stasiun, parameter hiposenter (origin time dan lokasi koordinat hiposenter) dan model kecepatan, sedangkan fungsi  $f$  adalah fungsi nonlinear dari parameter  $h$  dan  $m$  yang tidak diketahui sebelumnya. Dengan dapat dihitungnya waktu tiba gelombang  $t_{cal}$  untuk setiap stasiun, maka di peroleh pembaharuan model kecepatan menggunakan persamaan Kissling dimana  $k$ ,  $i$  dan  $e$  adalah jumlah hiposenter, jumlah stasiun, dan koreksi stasiun [5,6]:

$$r = t_{obs} - t_{cal} = \sum_{k=1}^4 \frac{\partial f}{\partial h_k} \Delta h_k + \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial m_i} \Delta m_i + e$$

### Relasi Gutenberg-Richter

Metode yang digunakan untuk mengetahui parameter seismik dan tektonik suatu wilayah adalah dengan menggunakan relasi Gutenberg-Richter

atau *Magnitude Frequent Relation* (MFR) yang ditulis sebagai:

$$\log n(M) = a - bM$$

dimana  $n(M)$  adalah jumlah gempa bumi dengan magnitudo  $M$ . Nilai  $a$  merupakan parameter seismik yang besarnya bergantung banyaknya gempa. Nilai  $b$  merupakan parameter tektonik yang biasanya mendekati 1 dan menunjukkan jumlah relatif dari getaran yang kecil dan besar. Nilai  $b$  dapat ditentukan dengan menggunakan metode *least square* atau maksimum Likelihood. Metode maksimum likelihood menggunakan persamaan yang diberikan Utsu (1965) yaitu [7]:

$$\hat{b} = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0}$$

dimana  $\bar{M}$  adalah magnitudo rata-rata,  $M_0$  adalah magnitudo minimum dan  $\log e$  bernilai 0,4343. Nilai  $a$  ditentukan dari menggunakan formula dari Wekner (1965) berikut [8]:

$$\hat{a} = \log N(M \geq M_0) + \log (\hat{b} \ln 10) + M_0 \hat{b}$$

dimana  $N(M \geq M_0)$  adalah Indeks seismisitas untuk gempa bumi dengan magnitudo  $M \geq M_0$ .

## Hasil dan Pembahasan

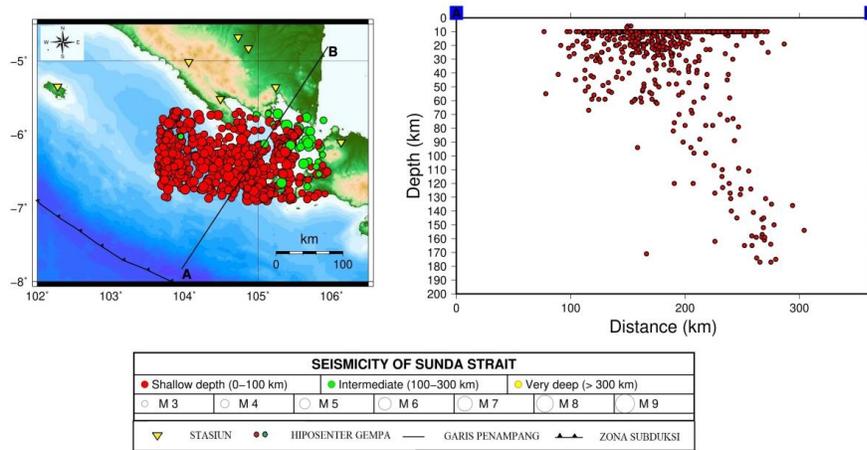
### Relokasi Hiposenter Gempa Bumi

Pada penelitian ini digunakan data gempa sebanyak 641 *event* gempa dengan stasiun perekam sebanyak 22 stasiun. Pada **Gambar 1** menunjukkan sebaran hiposenter gempa bumi

memiliki magnitudo 2,2 – 6,4 Magnitudo Lokal menggunakan perpindahan vertikal (MLv) tetapi persebaran hiposenter gempa dominan berada pada magnitudo 3 – 4 MLv. Jika dilihat dari peta sebaran hiposenter dengan irisan penampang vertikal, persebaran hiposenter banyak berada pada kedalaman 10 km. Hal ini disebabkan

oleh otomatisasi penentuan kedalaman gempa bumi oleh perangkat lunak Seiscomp3 yang digunakan BMKG. Apabila hasil analisis kedalaman tidak terpusat dengan baik, maka perangkat lunak Seiscomp3 secara otomatis akan membuat kedalaman gempa bumi tersebut pada kedalaman 10 km atau dikenal dengan *fix depth* [9].

Peta Persebaran Hiposenter Sebelum Relokasi

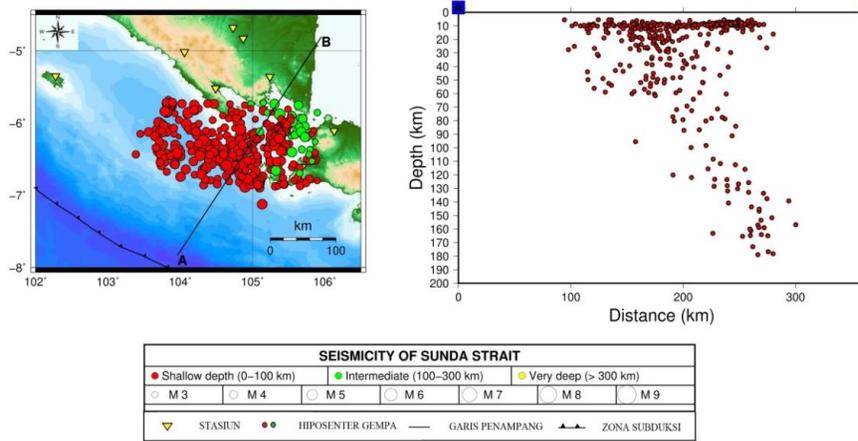


Gambar 1 Persebaran hiposenter gempa sebelum relokasi.

Hasil dari relokasi relokasi hiposenter gempa bumi (**Gambar 2**) didapat pergeseran posisi baik *latitude*, *longitude*, maupun kedalaman pada setiap kejadian gempa bumi. Perbedaan tersebut terjadi karena metode ini secara simultan akan menginversi waktu tempuh sekelompok hiposenter untuk mendapatkan lokasi hiposenter yang lebih akurat [10] serta besaran koreksi stasiun sebagai koreksi terhadap kesalahan akibat pemilihan model kecepatan gelombang 1 dimensi yang digunakan sebelumnya [11]. Hasil irisan penampang vertikal memperlihatkan bahwa hiposenter gempa menjadi lebih bervariasi pada kedalaman dangkal. Koreksi *azimuth* GAP juga dilakukan

pada hasil data yang telah diperoleh. *Azimuth* GAP menunjukkan sudut yang dibentuk antara titik hiposenter gempa dengan stasiun perekam gempa. Pada penelitian ini persebaran hiposenter dari 641 *event* hiposenter gempa didapat nilai *azimuth* GAP rata-rata sebesar 202°. Terdapat lokasi gempa bumi jauh dari stasiun pencatat sehingga nilai *azimuth* GAP yang terdeteksi cukup besar. Untuk itu perlu dilakukan sorting data gempa untuk *event* dengan nilai *azimuth* GAP yang baik yaitu kurang dari 220° guna mengurangi bias dalam model kecepatan dan stasiun koreksi sebagai akibat pergeseran hiposenter yang sistematis [12].

Peta Persebaran Hiposenter Koreksi GAP <220

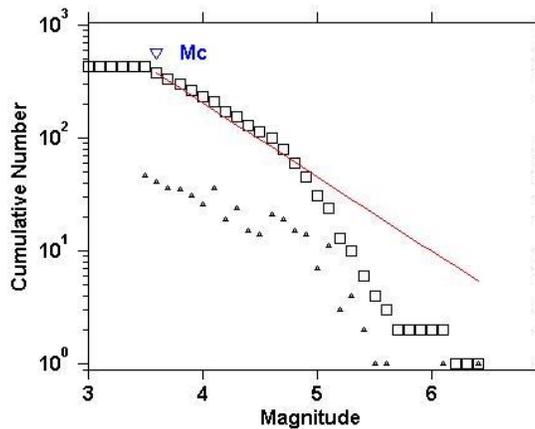


Gambar 2 Persebaran hiposenter setelah relokasi dengan koreksi GAP <220.

**Persebaran Nilai *b-value* dan *a-value* pada Selat Sunda**

Distribusi frekuensi-magnitudo menggambarkan distribusi katalog gempa bumi mengenai hubungan magnitudo dan jumlah gempa yang terjadi dalam rentang waktu yang ditentukan. Parameter yang dibutuhkan dalam menentukan nilai *a-value* dan *b-value* adalah *magnitude completeness* (*Mc*) [8]. Dari distribusi magnitudo

(**Gambar 3**) diketahui nilai *Mc* dari katalog adalah 3,6 MLv. Hal ini menunjukkan katalog yang digunakan merekam dengan baik gempa dengan magnitudo terkecil 3,6 MLv di wilayah Selat Sunda. Dari distribusi frekuensi magnitudo diperoleh parameter kegempaan secara umum, *a-value* yaitu 4,95, sedangkan *b-value* yaitu 0,658.



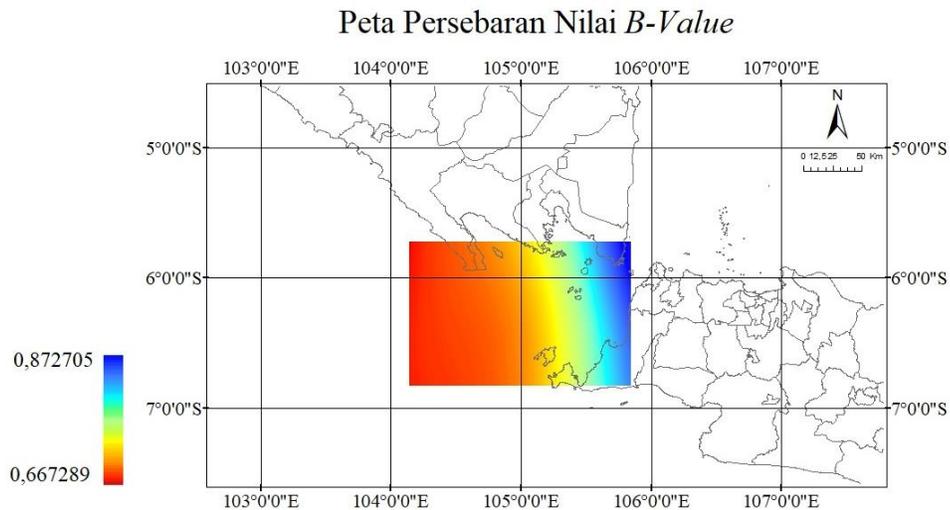
Maximum Likelihood Solution  
*b-value* = 0.658 +/- 0.03, *a value* = 4.95, *a value* (annual) = 3.99  
 Magnitude of Completeness = 3.6

Gambar 3 Distribusi Frekuensi-Magnitudo Kegempaan pada Selat Sunda.

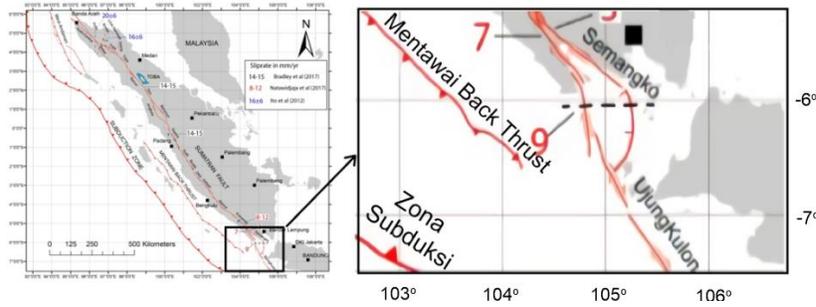
Nilai *b-value* merupakan nilai yang dapat menunjukkan tingkat kerapuhan batuan. Semakin tinggi nilai *b-value* pada suatu wilayah maka semakin tua dan rapuh batuan sehingga aktifitas seismik wilayah tersebut juga akan semakin besar. Nilai *b-value* juga dapat menggambarkan kondisi *stress* batuan pada suatu wilayah. Nilai *b-value* yang tinggi menggambarkan tingkat *stress* yang rendah, namun jika suatu wilayah memiliki nilai *b-value* yang rendah maka wilayah tersebut memiliki tingkat *stress* yang tinggi [13,14]. Selain sumber gempa bumi tunjaman Busur Sunda di lepas pantai di sebelah Barat Pulau Sumatera, dapat dijumpai pula sumber gempa bumi Patahan Aktif Mendatar Mentawai. Gempa bumi - gempa bumi kuat dan berkedalaman dangkal tercatat sering terjadi di kedua zona sumber gempa bumi tersebut [1]. Selain itu, secara geodinamika, daerah Selat Sunda merupakan kemenerusan dari Zona Sesar Sumatra yang aktif dan membentuk sistem terban (*Pull-Apart Basin*) sebagai akibat dinamika tektonik

ekstensional [15,16].

Berdasarkan hasil yang didapat dengan mengontrol jumlah dan magnitudo gempa bumi pada setiap data yang digunakan (**Gambar 4**) tampak variasi spasial nilai *b-value* di wilayah Selat Sunda dengan nilai *b-value* terendah sebesar 0,58 dan nilai tertinggi sebesar 0,92. Nilai *b-value* tersebut tergolong rendah karena memiliki angka dibawah [3]. Terlihat adanya anomali nilai *b-value* yang relatif rendah yang ditunjukkan oleh warna merah pada bagian tengah sampai bagian paling Barat wilayah penelitian dibandingkan dengan sekitarnya. Jika dilihat dari **Gambar 5** Gempa bumi yang terjadi pada daerah anomali nilai *b-value* rendah berada pada daerah kemenerusan dari Zona Sesar Sumatra, Sesar Ujung Kulon dan juga bersinggungan dengan Sesar Mentawai. Hal ini menunjukkan peluang terjadinya gempa bumi besar yang merusak dan menyebabkan dampak negatif pada wilayah Selat Sunda dan sekitarnya.



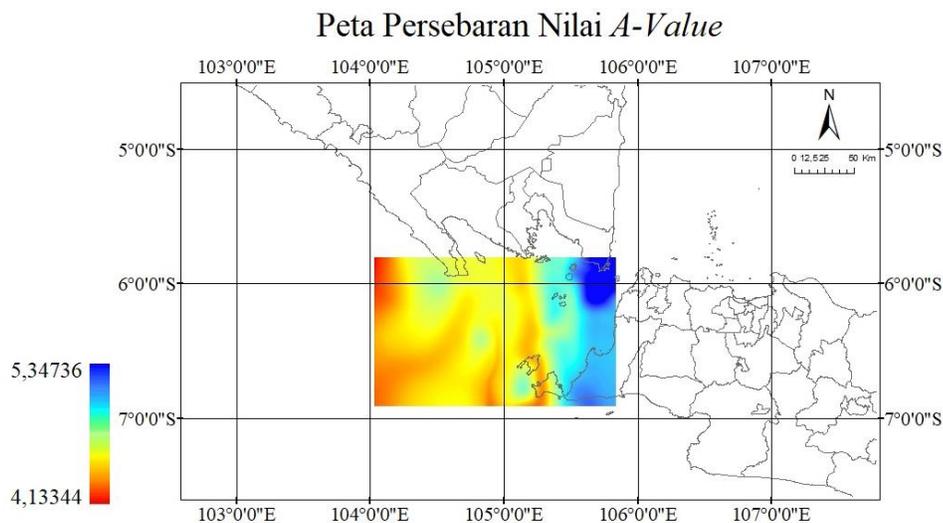
**Gambar 4** Peta Sebaran Nilai b-value Wilayah Selat Sunda.



**Gambar 5** Peta Zona Sesar Sumatera (SFZ) yang disederhanakan oleh Tim PuSGeN [17].

Pada penelitian ini didapatkan variasi spasial  $a$ -value dengan minimum  $a$ -value sekitar 4,1 dan nilai maksimum sekitar 5,35. Distribusi spasial  $a$ -value pada **Gambar 6** tampak mirip dengan sebaran nilai  $b$ -value, dimana  $a$ -value yang rendah ditunjukkan oleh warna merah berada pada bagian tengah wilayah penelitian. Sebanyak 424 data kejadian gempa bumi yang dipakai dengan magnitudo  $<6,0$  MLv lebih sering terjadi dibandingkan dengan gempa bumi dengan magnitudo  $>6,0$  MLv. Hal ini disebabkan oleh gelombang seismik yang melalui batuan sebagian diredam dan sebagian lagi diteruskan. Gelombang seismik yang diteruskan menyebabkan

gempa bumi dengan kekuatan 3,5 sampai 5,6 MLv. Gelombang seismik yang teredam dan terkumpul pada batuan secara terus-menerus akan menekan batuan yang dilaluinya, sehingga batuan tersebut akan menyimpan energi potensial yang besar sehingga pada batas elastisitas batuan tidak dapat lagi menahan tekanan gelombang seismik sehingga terakumulasi menjadi gempa bumi besar [4]. Akumulasi energi tersebut menyebabkan nilai  $a$ -value yang rendah pada wilayah Selat Sunda yang menunjukkan aktivitas kegempaan yang relatif rendah.



**Gambar 6** Peta Sebaran Nilai  $a$ -value Wilayah Selat Sunda.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil melakukan relokasi gempa bumi dan menentukan persebaran nilai *a-value* dan *b-value* dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil relokasi hiposenter gempa bumi yang telah dilakukan menunjukkan perubahan posisi baik secara horizontal maupun vertikal. Hasil relokasi penampang vertikal menunjukkan kedalaman yang lebih bervariasi pada kedalaman *fix depth* ( $\pm 10$  km).
2. Nilai *a-value* dan *b-value* yang relatif rendah pada wilayah Selat Sunda mengindikasikan bahwa wilayah tersebut berpotensi terjadinya gempa besar di waktu mendatang yang disebabkan oleh adanya akumulasi energi yang menimbulkan tingkat *stress* yang tinggi pada wilayah tersebut.

## Ucapan Terima Kasih

Mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing yaitu Bapak Dr. Tedi Yudistira S.Si., M.Si. dan Bapak Erlangga Ibrahim Fattah S.Si., M.T. yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Serta mengucapkan terima kasih kepada dosen-dosen Program Studi Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera.

## Daftar Pustaka

- [1] M. W. Memed, A. Soehaimi dan H. Gunawan, "*Dinamika Geologi Selat Sunda Dalam Pembangunan Berkelanjutan*," Bandung: Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral, 2019.
- [2] P. Huchon dan X. Le Pichon, "*Sunda Straith and Central Sumatran Fault*," *Geology* 12:668-

72, 1984.

- [3] I. Amalia dan Madlazim, "Kajian B Value dengan Magnitudo dan Frekuensi Gempa bumi Menggunakan Metode Guttenberg-Richter di Sumatera Utara Tahun 2002-2012," *Jurnal Fisika, FMIPA Universitas Negeri Surabaya* v.03, n.2, hal.46-52, 2014.
- [4] H. Diament, H. Harjono, K. Karta, C. Deplus, D. Dahrin, M. T. Zwn Jr., M. Gerard, O. Lassas, A. Martin, dan J. Malod, "*Mentawai Fault Zone off Sumatra: A New Key to The Geodinamics of Western Sumatra*," *Geology*, 20(3), doi:10.1130/0091-7613(1992)020<0259:MFZOSA>2.3.CO;2, 1992.
- [5] M. F. Gracynthia, "Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Menggunakan Metode Coupled Velocity - Hypocenter dan Local Earthquake Tomography Untuk Sesar Palu Koro," ITS - Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [6] A. Sabtaji, "Metode Coupled Velocity-Hypocenter Untuk Menentukan Model 1 Dimensi Kecepatan Gelombang P dan Relokasi Hiposenter Di Wilayah Sumatera Bagian Selatan," *Buletin BMKG*, vol. 7, 2017.
- [7] T. Utsu, "*A method for determining the value of b in formula  $\log N = a - bM$  showing the magnitude-frequency relation for earthquakes*," *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.* 13, 99-103, 1965.
- [8] S. Rohadi, H. Grandis dan A. R. Mezak, "Studi Variasi Spatial Seismisitas Zona Subduksi Jawa," *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, Vol.8, No.1, 2007.
- [9] N. A. Lusti, T. Arif dan S. Agung, "Relokasi Hiposenter Gempa Bumi dan Model Struktur

- Kecepatan 1 Dimensi Gelombang P dengan Menggunakan Metode Coupled Velocity – Hypocenter Di Daerah Sulawesi Tengah dan Sekitarnya,” Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, v. 2, no. 1, 2019.
- [10] J. Havskov dan P. Bormann, (n.d.). Topic Seismic source location.
- [11] R. Quintero dan E. Kissling, “An improved P-wave velocity reference model for Costa Rica,” *Geofísica Internacional*, 40(1), 3–19, 2001.
- [12] E. Kissling, “Program VELEST USER’S GUIDE – Short Introduction,” Institute of Geophysics. ETH Zuerich, 1995.
- [13] G. Hamson, “*The Tectonic Evolution of East Timor and the Banda Arc*,” Honours Literature Review Submitted as part of the B.Sc. (Hons) Degree in the School Of Earth Sciences, University of Melbourne, 2004.
- [14] O. Kulhanek, “Seminar on b-value,” Prague: Dept. of Geophysics: Charles University, 2005.
- [15] H. Harjono, M. Diament, J. Dubois, M. Larue dan JR. M.T. Zen, “*Seismicity of the Sunda Strait: Evidence for Crustal Extension and Volcanological Implications*,” *Tectonics* 10, 17–30, 1991.
- [16] Susilohadi, C. Gaedicked dan Y.Djajadihardja, “Structures and sedimentary deposition in the Sunda Strait, Indonesia,” *Tectonophysics* 467 (2009) 55–71, 2009.
- [17] D. H. Natawidjaja, “Updating active fault maps and slip rates along the Sumatran Fault Zone, Indonesia,” IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018.