Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Volume 22, Nomor 2, Agustus 2025
1819-796X (p-ISSN); 2541-1713 (e-ISSN)
https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/f

Identifikasi Diskontinuitas Mantel Memanfaatkan Data Prekursor SS di Sekitar Palung Mariana

Fahruddin[1,*)], Muhammad Mulana[2)], Ibrahim Sota[2)], Sudarningsih[2)], Syamsulrijal[3)], Muhammad Altin Massinai[1)] , Bambang Harimei[1)]

[1)]Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin

[2)]Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat

[3)]Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

[*)]Email korespondensi: rafiedzf@gmail.com

DOI: https://doi.org/doi.org/10.20527/flux.v22i2.22343

Submitted: 24 April 2025; Revised: 11 Agustus 2025; Accepted: 12 Agustus 2025

ABSTRAK

Setiap tahun terjadi gempa di berbagai daerah di dunia. Gempa bumi merujuk pada guncangan tiba-tiba pada bumi yang disebabkan oleh penjalaran gelombang seismik melalui batuan di bawah permukaan bumi. Palung Mariana dan sekitarnya merupakan zona pertemuan antara 2 lempeng tektonik yang aktif yaitu lempeng Filipina dan Pasifik. Pertemuan lempeng ini mengakibatkan terbentuknya zona subduksi di sepanjang kepulauan Mariana, merupakan palung terdalam di Bumi. Data prekursor fasa gelombang seismik SS, berguna untuk menentukan bouncepoints antara sumber gempa dengan stasiun penerima gempa dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan diskontinuitas mantel di sekitar Palung Mariana. Data gempa yang digunakan memiliki kedalaman kurang dari 75 km berkekuatan lebih dari 5,8 Magnitudo dan jarak episentrum lebih dari 100°. Titik bouncepoints ditentukan berdasarkan jarak antara pusat gempa dengan stasiun penerima, dengan 15 titik bouncepoints di daerah penelitian. Hasil analisa gelombang gempa diperoleh tiga gelompang prekursor yang terletak pada waktu 110 , 220 dan 450 detik.
KATA KUNCI: Palung Mariana, Diskontinuitas mantel, Gelombang seismik SS.

ABSTRACT

Every year, earthquakes occur in various regions around the world. An earthquake refers to a sudden shaking of the Earth caused by the propagation of seismic waves through rocks beneath the Earth's surface. The Mariana Trench and its surroundings are a convergence zone of two active tectonic plates: the Philippine Plate and the Pacific Plate. The interaction of these plates results in the formation of a subduction zone along the Mariana Islands. Precursor data from SS seismic waves are useful for determining bounce points between the earthquake source and the receiving station, as well as for identifying mantle discontinuity depths around the Mariana Trench. The earthquake data used have a depth of less than 75 km, a magnitude greater than 5.8, and an epicentral distance of more than 100°. The bounce points are determined based on the distance between the earthquake's epicenter and the receiving station, with 15 bounce points in the study area. The results of the earthquake wave analysis obtained three precursor waves located at a rather short wave propagation time and medium wave propagation time.
KEYWORDS : Mariana Trench, Mantle discontinuities, SS seismic waves

PENDAHULUAN

Isu yang sangat penting dalam seismology adalah karakteristik global dan regional dari diskontinuitas kecepatan dalam mantel bumi. Beberapa diantaranya merepresentasikan terjadinya transis fase yang telah diketahui dalam mineral mantel serta perubahan significant dalam komposis dan

struktru mantel bumi. Keberadaan diskontinuitas dan sifat-sifatnya tersebut sangat penting karena keterkaitannya dengan dinamika internal bumi yang merupakan percampuran antara mantel bagian atas dan bawah serta memberikan masukkan yang dibutuhkan oleh fisikawan mineral untuk menghubungkan diskontinuitas seismic dengan perubahan fase mineraloginya. Disisi lain diskontinuitas mantel juga berperan penting untuk memahami anatomi , evolusi dan dinamika internal bumi (Jean-Joel Legre & Tolulope Olugboji, 2025), memahami penyebab diskontiniutas mantel, petrologi mantel dan evolusi tektronik(Begg et al 2009).

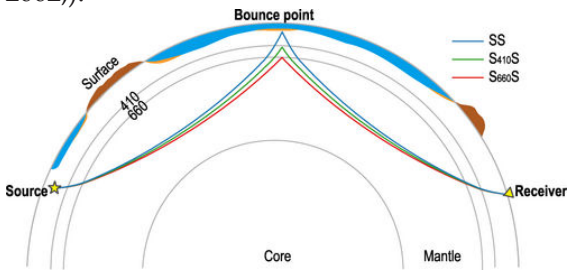
Diskontinuitas mantel pada seismologi merujuk pada perubahan atau peningkatan cepat kecepatan rambat gelombang seismik dan densitas secara tiba-tiba yang mengakibatkan gelombang seismik terpantul saat mencapai lapisan diskontinuitas(Deuss, 2014). Dalam beberapa literature dilaporkan bahwa diskontinuitas mantel dapat diamati dengan memanfaatkan gelombang seismic dari gempa bumi yang terekam dan di analisis gelombang perkursornya. Sebagai contoh batas antara mantel bagian atas yang merupakan zona transisi telah diidentifikasikan sebagai diskontinuitas global dengan kedalaman sekitar 410 km dan 660km (Koroni &Trampert, 2021). Disisi lain discontinuitas mantel juga berhasil di identifikasi dengan memanfaatkan data melalui percursos PP (Chambers et al, 2005) dan precursor SS (Flanagan & Shearer,1998, Fahruddin et al, 2017 Wang et al, 2022). Meskipun hasil-hasil temuan identifikasi diskontiunitas mantel di beberap tempat berhasil di lakukan dengan menggunakan metode seperti yang laporkan di atas, akan tetapi perubahan akibat evolusi jangka panjang dari mantel bumi yang memperngaruhi komposisi kimia khususnya pada daerah -daerah denga zona tektonik lempeng aktif akan memberikan tantangan yang menarik untuk dikaji lebih jauh. Disisi lain identifikasi menjadi hal yang penting mengingat perubahan-perubahan akibat diskontinuitas mantel dalam jangka panjang akan menjadi informasi yang dapat meningkatkan presisi dan akurasi data sehingga hal tersebut dapat meningkatkan pemahan yang lebih baik terkait zona-zona subduki yang memiliki tektonik lempeng aktif serta dampak perubahan-perubahan diskontinuitas mantel yang ditimbulkannya.

Palung Mariana dan sekitarnya merupakan salah satu zona dengan karakteristik struktur mantel yang kompleks karena keberadaan zona seismic ganda yang ditandai dengan aktivitas seismic yang meningkat dalam subduksi slab serta variasi kedalaman dan kekuatan diskontinuitas mantel pada kedalaman 410 km dan 660 km (Rigobert Tibi, 2007). Daerah ini juga diketahui merupakan pertemuan antara 2 lempeng tektonik aktif yaitu lempeng Filipina dan Pasifik. Pertemuan lempeng ini mengakibatkan terbentuknya zona subduksi di sepanjang kepulauan Mariana (Oakley at al., 2008). Kompleksitas daerah Mariana ini dapat dipandang sebagai loboratorium alam yang menarik untuk dikaji lebih jauh dalam upaya memahami diskontinuitas mantel dan interaksinya dengan proses-proses subduksi, yang diakibatkan oleh struktur mantel yang kompleks dan dinamik. Disisi lain, diskontinuitas disekitar pertemuan tektonik lempeng tersebut telah diketahi berpotensi mengakibatkan perubahan struktur lapisan kerak bumi disepanjang kepulauan tersebut. sehingga diperlukan investigasi lebih lanjut untuk mengetahui interaksi antara diskontinuitas mantel dan perubahan struktur kerak daerah tersebut. Meskipun dalam berberapa literatur seperti yang dilaporkan di atas, identifikasi diskontinuitas mantel disekitar Marian telah dilakukan dengan menggunakan berbagai metode, akan tetapi mengingat kompleksitas dari mantel tersebut dan evelusinya terahadap waktu, penelitian menggunakan metode yang serupa masih diperlukan untuk meningkatkan presisi dan akurasi serta pemahaman yang lebih baik tetang hal tersebut. Oleh karena itu penelitian ini difokuskan pada identifikasi diskuntiunitas mantel menggunakan data precursor SS.

Palung Mariana dan sekitarnya

merupakan zona pertemuan antara 2 lempeng tektonik yang aktif yaitu lempeng Filipina dan Pasifik. Pertemuan lempeng ini mengakibatkan terbentuknya zona subduksi di sepanjang kepulauan Mariana (Oakley et al., 2008). Hal ini mengakibatkan perubahan struktur lapisan kerak bumi, sehingga diperlukan investigasi lebih lanjut untuk mengetahui perubahan tersebut. Salah satu cara mengetahui perubahan struktur tersebut adalah dengan memanfaatkan gelombang sesimik yang berasal dari penjalaran gelombang seismik gempa bumi.

Mantel bumi dibagi atas dua bagian yaitu mantel atas dan bawah, batas antara dua bagian tersebut merupakan zona transisi yang diidentifikasikan sebagai diskontinuitas global dengan kedalaman sekitar 410 km dan 660 km(Koroni & Trampert, 2021). Diskontinuitas mantel pada seismologi merujuk pada perubahan atau peningkatan cepat rambat gelombang seismik dan densitas secara tiba-tiba yang mengakibatkan gelombang seismik terpantul saat mencapai lapisan diskontinuitas (Deuss, 2014). Beberapa penelitian mengenai lapisan diskontinuitas dengan resolusi yang tinggi mengunakan data prekursor SS dan PP (Chambers et.al., 2005; Gu dan Dziewonski, 2002;).



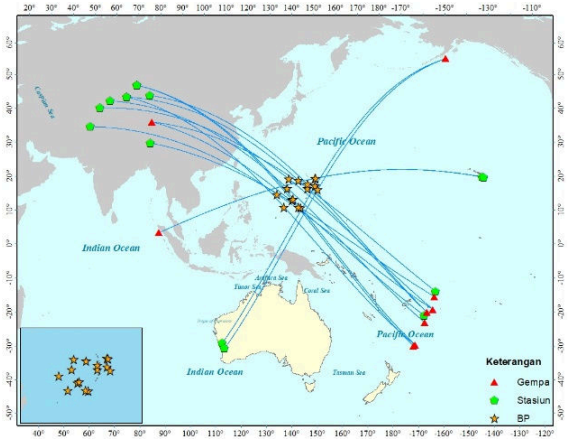
Gambar 1. Model kecepatan SS,$S_{410}S$ dan ,$S_{660}S$, titik *bouncepoints* gelombang SS yang terletak setengah dari jarak sumber dan penerima (Peifeng Wang et.al 2022).

Fase gelombang seismik SS adalah *shear waves* (gelombang geser) yang memantul sekali dipermukaan bumi dan diperkirakan terletak diantara sumber gempa dan stasiun penerimanya (Butler, 1979). Prekursor adalah gelombang yang terefleksikan pada lapisan diskontiuitas, yang fasa gelombangnya lebih dulu tiba daripada gelombang bodinya. Prekursor SS perioda panjang, titik refleksinya terletak di tengah antara sumber dan stasiun penerima pada diskontinuitas mantel atas (Schubert, 2007), seperti pada gambar 1. Prekursor SS adalah gelombang pantul bawah dari diskontinuitas yang tiba sebelum fasa SS (Flanagan et al, 1998).

Peneltian sebelumnya Fahruddin et.al (2017) melakukan penelitian di sekitar pulau Kalimantan bagian Utara. Dongdong et.al 2020 menemukan diskontinuitas yang bervariasi 520 km dan 560 km.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari tiga tahap utama. Tahap awal adalah menentukan daerah sumber gempa dan stasiun pencatat gempa yang kemudian digunakan untuk mendapatkan titik pantul (*bouncepoint*) di daerah penelitian. Fahruddin et.al (2023) telah membuat program untuk menentukan titik bouncepoint dengan menggunakan software Matlab. Sumber dan penerima diverifikasi, tahap selanjutnya adalah melakukan permintaan data ke website IRIS. Tahap terakhir melibatkan analisis data menggunakan beberapa perangkat lunak pemrosesan data seismik seperti SAC dan Matlab.



Gambar 2. Peta sebaran pusat gempa, bouncepoints dan Stasiun pencatat gempa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di sekitar Palung Mariana dengan memanfaatkan data seismik dalam bentuk seismogram dari kejadian gempa bumi. Penelitian ini berfokus

Tabel 1. Daftar koordinat gempa, stasiun, dan *bouncepoints*

Titik	Gempa (Y)	Gempa (X)	Stasiun (Y)	Stasiun (X)	*Bouncepoints* (Y)	*Bouncepoints* (X)	Jarak (°)
P1	-15,5119	-171,9369	29,70°	91,13°	10,6125	142,944722	103,51
P2	35,927	90,587	-13,91°	-171,78°	16,376389	145,301111	104,21
P3	35,927	90,587	-21,06°	-175,00°	10,840556	142,168056	104,97
P4	3,4125	95,9012	19,76°	-155,53°	19,336667	147,840278	106,2
P5	3,4125	95,9012	19,60°	-154,98°	19,329444	148,131389	106,74
P6	-20,1631	-174,1449	43,81°	87,70°	17,536944	145,353889	109,55
P7	55,0298	-158,5217	-29,07°	116,04°	17,124722	147,891944	111
P8	55,0298	-158,5217	-30,61°	116,71°	16,075278	148,723889	111,86
P9	-20,1631	-174,1449	43,33°	79,49°	18,635556	142,288333	115,4
P10	-29,9918	-177,8114	46,81°	81,98°	12,8575	140,062778	118
P11	-29,7226	-177,2791	46,81°	81,98°	13,124722	140,493889	118,18
P12	-29,7226	-177,2791	43,33°	79,48°	10,811944	137,466944	119
P13	-23,1555	-174,5899	42,13°	73,69°	16,39	138,521667	121,07
P14	-19,2868	-172,1488	40,06°	70,82°	19,083611	139,013056	122,75
P15	-19,2868	-172,1488	34,54°	69,04°	14,6475	135,003333	124,19

kepada identifikasi diskontinuitas di wilayah penelitian dengan menggunakan data prekursor SS. Data diambil dengan memperhatikan gempa bumi yang memiliki magnitudo ≥ 5,8 dan kedalaman ≤ 75 kilometer. Data yang memenuhi kriteria ini mencatat koordinat gempa beserta stasiun penerima sinyal gempa, kemudian menganalisis *Bouncepoints*-nya agar sesuai dengan lokasi penelitian. Setelah itu, data tersebut diminta dari web IRIS untuk memperoleh seismogramnya. Total data yang digunakan adalah 15 data seismogram dengan variasi jarak antara 103,51° hingga 124,19°, yang mencakup komponen BHN dan BHE. Data yang diperoleh dianalisis untuk memudahkan pengamatan terhadap prekursor SS-nya.

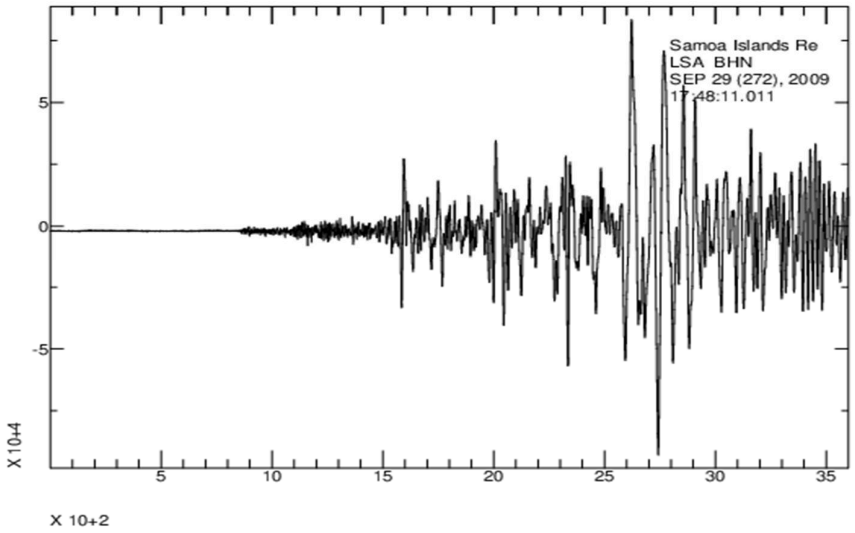
Selanjutnya, memastikan bouncepoint berada pada wilayah penelitian dengan cara memasukkan nilai latitude dan longitude sumber gempa dan stasiun penerima gempa di situs Movable Type Script. Dari situs tersebut didapatkan nilai koordinat boncepoint dan diperiksa letak titik koordinatnya menggunakan peta daring dengan rincian pada Tabel 1.

Data yang diperoleh berupa *file* seismogram dengan komponen horizontal berupa komponen *Broadband Horizontal East – West* (BHE) dan *Broadband Horizontal North – South* (BHN) dengan esktensi SAC. *File* jenis tersebut kemudian diolah dan dibaca dengan menggunkan aplikasi *Seismic Analysis Code* (SAC). Gambar 3 dan 4 merupakan data seismogram yang diperoleh dari pengolahan data. Setelah data diperoleh, tahapan selanjutnya adalah melakukan rotasi komponen terhadap arah datangnya gempa dengan menggunakan SAC. Adapun salah satu hasil dari rotasi transversal adalah seperti Gambar 5.

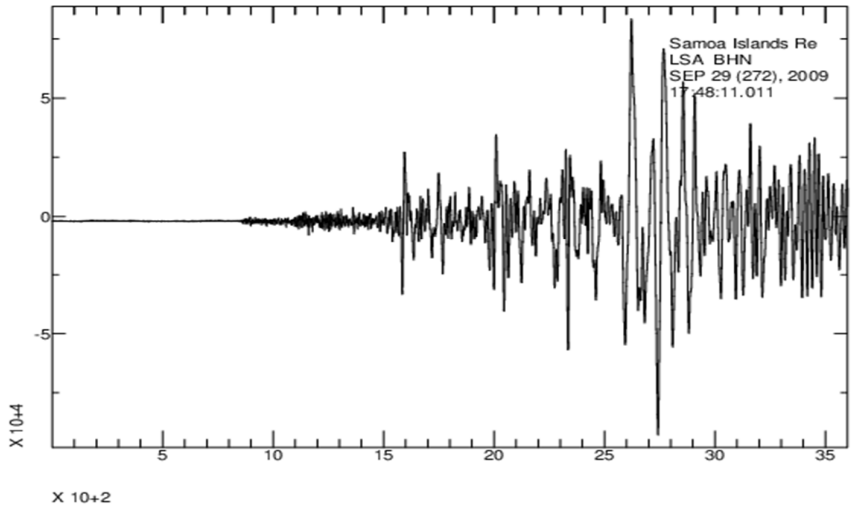
Selanjutnya dilakukan *filtering data* menggunakan *low pass filter* yang bertujuan untuk menghilangkan noise pada frekuensi yang lebih tinggi dari data asli. Sebelum melakukan penyaringan, data perlu disesuaikan terlebih dahulu dengan memotong seismogram beberapa saat setelah gelombang SS dan mengatur *number of points* (npts) berdasarkan waktu pada seismogram. Gambar 6 merupakan salah satu hasil filter dari data transversal.

Seluruh data seismogram bertipe data SAC kemudian dikonversikan menjadi tipe data ASCII agar dapat digunakan untuk pengolahan data menggunakan MATLAB. Data yang sudah dikonversi kemudian diplot

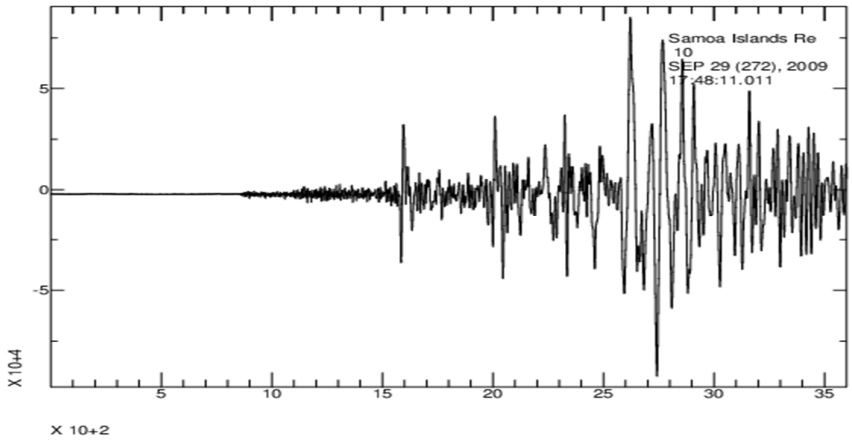
menggunakan MATLAB seperti pada Gambar 7. Data yang telah diplot diamati dan dilihat prekursor SS-nya sebelum gelombang SS tiba serta dilanjutkan dengan menyeleksi data dan mengubah fasa SS agar berada pada waktu 0 detik seperti pada Gambar 8.



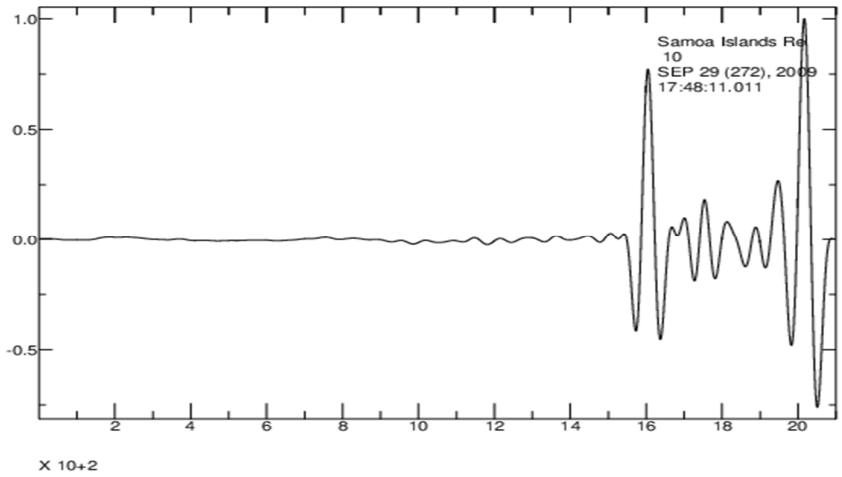
Gambar 3. Seismogram komponen horizontal utara (BHN)



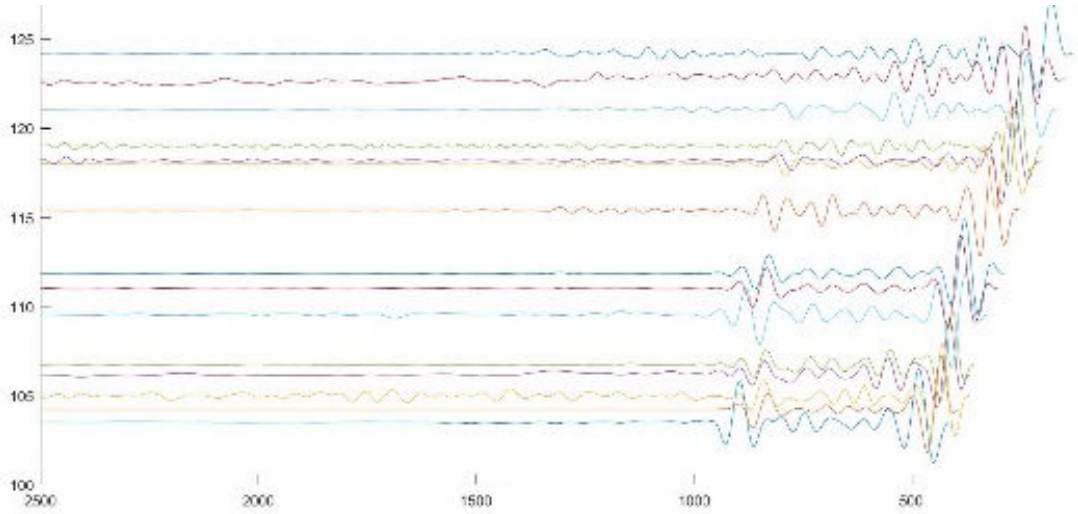
Gambar 4. Seismogram komponen horizontal selatan (BHE)



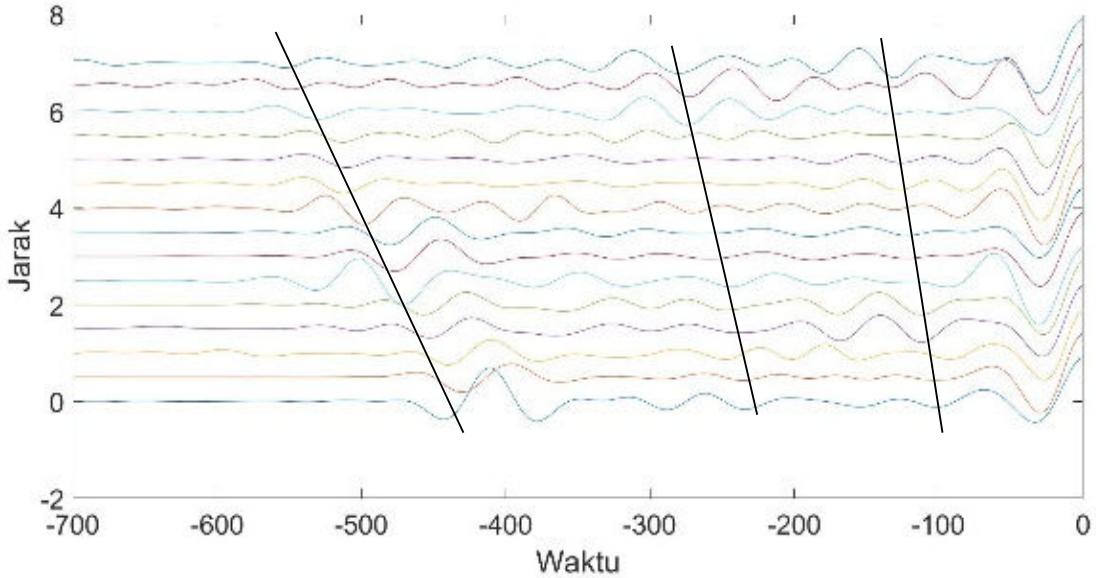
Gambar 5. Rotasi komponen seismogram dalam bentuk transversal



Gambar 6 . Komponen transversal setelah difilter



Gambar 7. Plot seismogram berdasarkan jarak.



Gambar 8. Plot data ASCII dengan SS di titik 0.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan plot seismogram berdasarkan episentrum distance. Dan mengambil titik pantul fase SS dipermukaan sebagai titik referensi (titik 0). Sehingga diperoleh tiga prekursor SS yang dapat menunjukkan sebagai bidang diskontinuitas, masing masing pada waktu tertentu. Prekursor pertama terdapat pada saat 110 detik, prekursor kedua pada waktu 220 detik,dan prekursor ketiga pada saat 450 detik.

DAFTAR PUSTAKA

Begg, G, C., Griffin, W.L., Natapov, L.M., O'Reily, S.Y., Grand, S.P., O'Neil, C.J., & Bowden, P.(2009). The lithospheric architecture of Africa. Seismic Tomograpy, mantel petrology, and tectonic evolution , Geosphere, 5(1),23-50,https://doi.org/10.1130/ges00179.s2

Butler, R. (1979). SHEAR-WAVE TRAVEL TIMES FROM SS. In *Bulletin of the Seismological Society of America* (Vol. 69, Issue 6).

Chambers, K., Woodhouse, J.H., and Deuss, A., (2005) Topography of the 410-km discontinuity from PP and SS precursors. Earth and Planetary Science Letters 235: 610–622.

Deuss, A. (2014). Heterogeneity and anisotropy of Earth's inner core. In *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* (Vol. 42, pp. 103–126). Annual Reviews Inc. https://doi.org/10.1146/annurev-earth-060313-054658

Dongdong T, Migda Lv, Shawn W, Susannah M. Dorfman, PM. Shearer (2020) Global variations of Earth's 520- and 560 km discontinuities. Earth and Planetary Science Letters Volume 552,

Fahruddin, Gst Aldy, Muhammad Rasyid Ridho, Ibrahim, Nurlina, Sudarningsih, Mustaid Yusuf, Syamsurijal Rasimeng, La Ode Safiuddin (2023). Determining Bouncepoints in the South of Kalimantan Island for SS Wave Phase. Jurnal Fisika Flux, 20(3), 252-259.

Fahruddin, Widiyantoro, S., Nugraha, A.D., and Afnimar, (2017). Search For Mantle Seismic Discontinuities Beneath Northern Kalimantan, Central Indonesia: A Preliminary Result of Employing SS Precursor. International Journal of Tomography & Simulation, 30 (1), 96–104

Flanagan, M. P., & Shearer, P. M. (1998). Global mapping of topography on transition zone velocity discontinuities by stacking SS precursors. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *103*(B2), 2673–2692. https://doi.org/10.1029/97jb03212

Gu, Y.J., and Dziewonski, A.M., (2002). Global variability of transition zone thickness. Journal of Geophysical Research 107(7): 2135 (doi:10.1029/2001JB000489).

Jean-Joel Legre and Tolulope Olugboji, (2025).The Origins of Africa's Upper Mantle Discontinuities, Geohemistry, Geophysics, Geosystems. Research article, 10.1029/2025GC012315

Koroni, M., & Trampert, J. (2021). Imaging global mantle discontinuities: A test using full-waveforms and adjoint kernels. *Geophysical Journal International*, *226*(3), 1498–1516. https://doi.org/10.1093/gji/ggab119

Oakley, A. J., Taylor, B., & Moore, G. F. (2008). Pacific Plate subduction beneath the central Mariana and Izu-Bonin fore arcs: New insights from an old margin. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, *9*(6). https://doi.org/10.1029/2007GC001820

Peifeng.W, Yong,Z,Min.Xu, Han.Z, Xiaofei.C, Laiyin. G. (2022). Investigation of Effects of Near-Surface Complexities on Measurement of Mantle Discontinuity Using SS and Its Precursors. JGR Solid Earth.

Rigobert Tibi, Douglas A. Wiens, Hajime Shiobara, Hiroko Sugiaka & Xiaohui Yuan (2007).Double seismic discontinuities at the base of the mantle transition zone near the Mariana slab.http://doi.org/10.1029/2007GL030527

Wang, P., Zhou, Y., Xu, M., Zhang, H., Chen, X., & Guo, L. (2022). Investigation of Effects of Near-Surface Complexities on Measurement of Mantle Discontinuity Using SS and Its Precursors. *Journal of*

Geophysical Research: Solid Earth, *127*(9). https://doi.org/10.1029/2022JB024485

Zhendong Z, Jessica C. E. Irving, Frederik J. Simons & Tariq A. (2023). Seismic evidence for a 1000 km mantle discontinuity under the Pacific. nature communications.