Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Volume 20, Nomor 3, Oktober 2023
1819-796X (p-ISSN); 2541-1713 (e-ISSN)

Menentukan Titik *Bouncepoint* di Sebelah Selatan Pulau Kalimantan untuk Fasa Gelombang SS

Fahruddin[1, *)], Gst Aldy[1)], Muhammad Rasyid Ridho[1)], Ibrahim[1)], Nurlina[1)] Sudarningsih[1)], Mustaid Yusuf[2)], Syamsurijal Rasimeng[3)], La Ode Safiuddin[4)]

[1)] Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat .
[2)] Laboratorium Komputasi dan Pemodelan, Prodi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman.
[3)] Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
[4)] Jurusan Magister Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Halu Oleo.

*Email korespodensi : rafiedzf@gmail.com

DOI: https://doi.org/10.20527/flux.v20i3.17280
Submitted: 28th August, 2023; Accepted: 23rd October, 2023

ABSTRAK–*Bouncepoint* atau titik pantul suatu gelombang seismik sangat penting untuk menentukan suatu daerah penelitian yang memanfaatkan data prekursor SS. Pada penelitian ini data yang digunakan memiliki kriteria, agar mendapatkan data yang baik, sehingga hasil penelitian juga baik, adapun kriterianya adalah: kedalaman sumber gempa dibatasi kurang dari 75 Km untuk mengurangi interferensi gelombang prekursor yang datang lebih awal (sSdiff) dan lebih mudah dalam menentukan bouncepoint. Sumber gempa lebih dari 5,8 Mw untuk mendapatkan rasio signal-to-noise (SNR) fase SS yang baik. Jarak terbaik antara sumber dan stasiun penerima adalah ≥ 1000 untuk menghindari interferensi dengan gelombang yang dipantulkan di permukaan (Ss670s dan Ss400s) dan ≤ 1650 untuk menghindari interferensi dengan prekursor SSS. Lokasi penelitian ini berada di selatan pulau Kalimantan (15 bouncepoint) dan terdapat 3 titik data yang bouncepoint-nya berada di luar area penelitian. Data gempa diperoleh dari IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology). Data penelitian untuk pusat gempa berada di Australia, Selandia Baru dan lainnya, untuk stasiun pengukur gempa di Eropa dan Asia

KATA KUNCI : Lompio; non-volkanik; panas bumi; temperatur

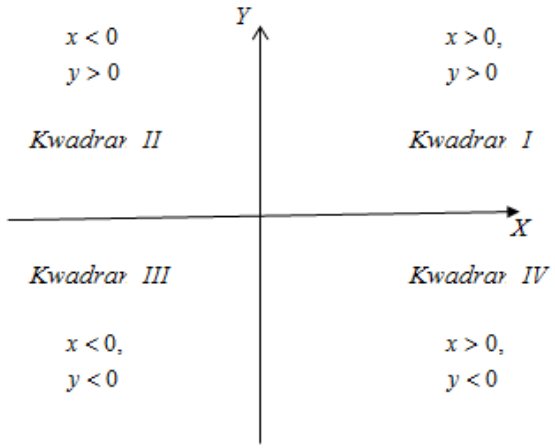
ABSTRACT–*The bouncepoints or reflection point of a seismic wave is very important to determine a research area that utilizes SS precursors data. In this study the data used has criteria, in order to obtain good data, so the research results are also good, while the criteria are: the depth of the earthquake source is limited to less than 75 Km to reduce interference with precursor waves that arrive earlier (sSdiff) and it is easier to determine the bouncepoint. The earthquake source is more than 5.8 Mw to get a good SS phase signal-to-noise ratio (SNR). The best distance between the source and the receiving station is ≥ 100^0 to avoid interference with waves reflected on the surface (Ss670s and Ss400s) and ≤ 165^0 to avoid interference with ScSScS precursors. The location of this study is in the south of the island of Kalimantan (15 bouncepoints) and there are 3 points data whose bouncepoints is outside the study area. Earthquake data obtained from IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology). The research data for earthquake centers are in Australia, New Zealand and others, for earthquake measuring stations in Europe and Asia.*

KEYWORD : bouncepoint; Kalimantan; precursors ss; earthquake; iris

PENDAHULUAN

Pada umumnya dalam penulisan koordinat selalui dijumpai yang namanya sumbu koordinat. Dalam dunia matematika penulisan koordinat diwakilkan dengan huruf x dan y sebagai sumbu utama

koordinat. Salah satu cara untuk menggambarkan bumi dalam bidang datar untuk mempermudah proyeksi peta digunakanlah kordinat kartesius. Berdasarkan Gambar 1, ada empat kwadran yang memiliki pola sumbunya masing-masing akibat pertemuan kedua sumbu x dan y pada titik nol. Pertemuan kedua sumbu pada titik nol mengakibatkan kwadran terbagi menjadi sumbu daerah positif dan negatif. Sumbu x positif terdapat pada kwadran 1 dan 4 sedangkan sumbu x negatif terdapat pada kwadran 2 dan 3. Untuk sumbu y positif terdapat pada kwadran 1 dan 2, sedangkan sumbu y negatif terdapat pada kwadran 3 dan 4.



Gambar 1. Pembagian kwadran pada koordinat kartesius.

Sistem Koordinat

Posisi maupun koordinat dalam satuan tertentu sebenarnya adalah usaha untuk menyatakan bahwa suatu objek berada pada tempat atau daerah yang dinyakatan dalam berbagai cara. Koordinat biasanya bersifat kuantitatif yang dapat dianalisis secara matematis untuk memperhitungkan jarak suatu tempat ataupun gravitasi daerah tersebut. Dalam beberapa sistem, koordinat terbagi berbagai macam sistem seperti *toposentrik*, *geodetic*, system proyeksi, dan lain-lain (Andreas *et al.* 2013).

Datum geodesi nasional 1995 (DGN-95) adalah salah satu system koordinat yang telah diperbarui semenjak terjadinya perubahan poros bumi akibat pergerakan kerak bumi. DGN-95 merupakan acuan yang sangat sering digunakan untuk memproyeksikan suatu bumi dalam gambaran peta. Beberapa system DGN-95 yang sering digunakan terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Datum Geodesi Nasional 1995 (Purba *et al.* 2013)

Datum	Geosentris
Koordinat Geodesi	Datum Geodesi Nasional 1995 (DGN-95)
Koordinat Grid/Peta	Universal Transverse Mercator (UTM)
Kerangka Refrensi	International Terestrial Reference Frame (ITRF)
Elipsoid	World Geodetic System 1984 (WGS-84)
Sumbu Panjang (a)	6.378.137,0 meter

Sejak tahun 1713 pada zaman Clairaut dan lahirnya karya Bessel (1826) ilmu tentang geodetik pada ellipsoid telah menarik banyak perhatian pengamat geodesi. Meskipun pada awalnya pengembangan geodetik ellipsoid kurang menjadi perhatian karena tidak dapat menjelaskan koordinat ruang angkasa. Namun masih banyak misteri-misteri yang terungkap setelah beberapa dekade lahirnya geodetik ellipsoid terpecahkan seperti dalam system informasi geografis dalam penerapan Hukum Laut, rute jalur udara pesawat (Sjöberg and Shirazian 2012).

Formula Matematika

Untuk menentukan jarak antara sumber gempa dengan stasiun penerima digunakan hukum *haversine* seperti pada Persamaan (1):

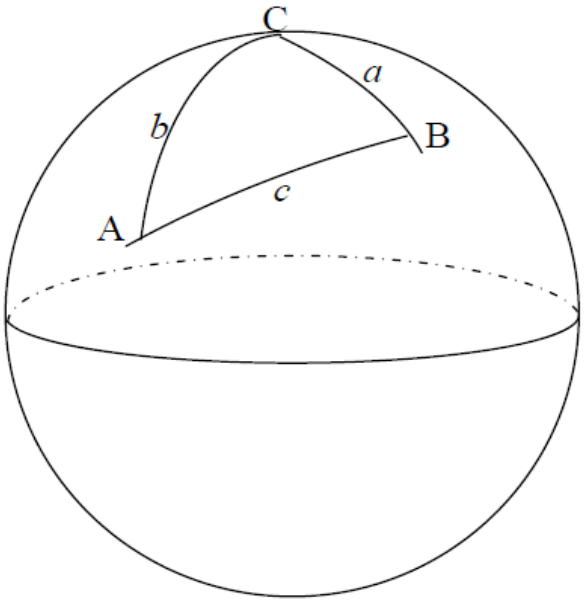
$$hav\,(\theta) = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1-\cos\,(\theta)}{2} \qquad (1)$$

Dengan $hav\,(\theta)$ adalah hukum harvesine. Persamaan (1) masih belum bisa digunakan untuk mencari nilai jarak antara kedua titik. Pada Gambar 2 terdapat tiga buah titik A, B dan C. kemudian dihubungkan dengan garis a, b, dan c pada permukaan sebuah bola.

Sesuai dengan aturan trigonometri yang telah ditetapkan di berbagai literatur tentang konsep trigonometri pada permukaan bola dirumuskan seperti Persamaan 2. Dengan menggunakan Persamaan 1 didapat Persamaan 3

$$\cos(c) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)\cos(C) \quad (2)$$

$$\cos(\theta) = 1 - 2\,hav(\theta) \quad (3)$$



Gambar 2. Trigonometri pada permukaan bola (Mwemezi and Huang 2011).

Setelah melakukan subtitusi pada Persamaan 2 dan 3 maka hukum harvesine menjadi Persamaan 4

$$hav(c) = hav(a-b) + \sin(a)\sin(b)\,hav(C) \quad (4)$$

Nilai c di definisikan sebagai *d*/*r*, a sebagai φ_1, b adalah φ_2 dan C adalah $\Delta\lambda$ (Ganesh L and Kumar 2015). Dengan mensubtitusi Persamaan 1 dan 4 maka didapatkan *d* sebagai nilai untuk mendapatkan jarak antara kedua titik.

$$d = r\,hav^{-1}\left(\frac{d}{r}\right) = 2\,r\sin^{-1}\left(\sqrt{\frac{d}{r}}\right) \quad (5)$$

Dengan menyederhanakan Persamaan 5 ke-bentuk yang lebih sederhana akhirnya didapatkan formula *harvesine* yang sering digunakan dalam literature untuk menentukan jarak antar dua titik, menjadi Persamaan 6 dan 7.

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (6)$$

$$d = 2\,R\;atan2\left(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}\right) \quad (7)$$

Dimana φ_1 adalah koordinat latitude sumber gempa, φ_2 adalah koordinat latitude stasiun penerima, dan $\Delta\lambda$ adalah selisih nilai longitude antara keduanya. Setelah didapatkan nilai a pada Persamaan 6 maka kemudian disubtitusikan ke dalam Persamaan 7. Dengan nilai R adalah radius rata-rata bumi sebesar 6371 Km. Dalam persamaan 7 d mewakilkan jarak antara sumber gempa dengan stasiun pengamat (Ingole and Nichat 2013). Sedangkan untuk menyelesaikan solusi penetapan koordinat titik midpoint dari sumber gempa ke stasiun penerima digunakan Persamaan 8 sebagai koordinat lintang dan Persamaan 9 sebagai koordinat bujur.

$$B_x = \cos\varphi_2\cos\Delta\lambda \quad (8)$$

$$B_y = \cos\varphi_2\sin\Delta\lambda \quad (9)$$

$$B_z = \cos\varphi_1 + B_x \quad (10)$$

Persamaan 8 dan Persamaan 9 disubtitusikan sebagai sumbu x dan sumbu y pada Persamaan 11 dan Persamaan 12.

$$\varphi_m = atan2\left(\sin\varphi_1 + \sin\varphi_2, \sqrt{(\mathrm{B_z})^2 + B_y^2}\right) \quad (11)$$

$$\lambda_m = \lambda_1 + atan2(B_y, \mathrm{B_z}) \quad (12)$$

Apabila terdapat nilai minus pada nilai latitude maka letak posisinya dibagian selatan, sebaliknya jika positif maka nilai latitude terletak di bagian utara. Hal ini juga berlaku pada nilai logintude dengan nilai minus terletak pada bagian barat dan nilai positif terletak di timur. nilai φ_m dan nilai λ_m adalah dalam bentuk derajat (Veness 2002).

Untuk mendapatkan Persamaan 11 dan 12 pertama-tama anggap A dan B adalah dua buah titik dalam suatu system koordinat kartesian tiga dimensi. Dengan sumbu x-y sebagai equator dan titik A mewakilkan sumbu latitude bumi (x-z). Untuk radius bumi pada sistem koordinat kartesian mari gunakan $r = 1$, agar perhiungan lebih mudah untuk dieksekusi. Kemudian persamaan vektor yang dibentuk dari pusat bumi ke titik A dan B adalah:

$$A = (\cos\varphi_1, 0, \sin\varphi_1) \quad (13)$$

$$B = (\cos\varphi_2 \cos\Delta\lambda\,, \cos\varphi_2 \sin\Delta\lambda\,, \sin\varphi_2) \quad (14)$$

Masing-masing vektor A dan B akan membentuk sudut terhadap pusat bumi dan untuk mendapatkan titik midpoint latitude dan longitude dari kedua titik maka kedua vektor dijumlahkan satu sama lain dan akan mendapatkan vektor C. Ini sesuai dengan ketetapan sifat-sifat penjumlahan vektor kedua titik.

$$C = (\cos\varphi_1 + \cos\varphi_2 \cos\Delta\lambda\,, \cos\varphi_2 \sin\Delta\lambda\,, \sin\varphi_1 + \sin\varphi_2) \quad (15)$$

Dengan mendapatkan vektor C, maka dengan menggunakan aturan geometri didapatkan midpoint antara dua titik dengan error yang sangat kecil. Midpoint yang didapatkan adalah titik yang mewakilan nilai titik tengah antara dua titik pada permukaan bumi. Setelah dilakukan beberapa pemisahan analisa untuk sumbu equator longitude dan sumbu latitude maka sudut dengan memanfaatkan vector C didapatkan lah sudut pembentuk baru yang mewakilkan nilai latitude dan longitude suatu titik. Seperti pada Persamaan 16 dan 17.

$$\tan\frac{B_x}{B_y} = \Delta\lambda \quad (16)$$

$$\tan\frac{B_z}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}} = \varphi_2 \quad (17)$$

Untuk nilai B_x, B_y, B_z, adalah vektor satuan dari vektor B. Dengan memanfaatkan Persamaan 16 dan 17, hal yang sama dapat dilakukan untuk menentukan latitude C dan longitude C.

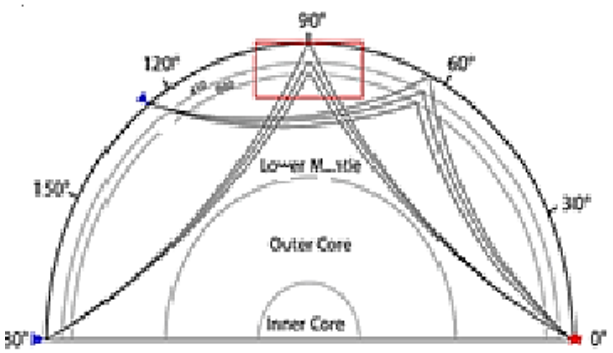
Bouncepoint

Bumi memiliki struktur internal yang membuat gelombang seismic merambat ke segala arah dan diterima oleh stasiun penerima gempa. Rekaman gelombang seismik yang tercatat pada stasiun membawa komponen-komponen seismik yang bisa di jadikan literatur untuk ilmu seismologi. Salah satu komponen yang bisa dianalisis pada rekaman gempa adalah fase seismik.

Fase seismik yang tercatat pada setiap stasiun gempa memiliki waktu tiba yang berbeda-beda tergantung dari jarak antara sumber gempa dengan stasiun penerimanya. Fase seismik yang sering di identifikasi pada umumnya adalah fase s dan fase p yang memiliki kecepatan penjalaran yang berbeda. Beberapa fase pada rekaman seismogram memiliki jalur penjalaran yang berbeda ke stasiun pencatat gempa yang sama.

Beberapa fase seperti PP, SP, SS pada Gambar 3 terlihat menjalar melalui internal bumi dan memantul satu kali baru kemudian di terima oleh stasiun penerima. Pantulan beberapa fase tersebut tepat memantul di tengah antara sumber gempa dengan stasiun penerima pada permukaan bumi, pantulan fase gelombang tersebut disebut *bouncepoint.*

Peneltian sebelumnya Fahruddin *et.al* 2017, melakukan penelitian di sekitar pulau Kalimantan bagian Utara. Penlitian dengan *bouncepoints* di bagian Barat Laut Sumatera untuk fasa SS, juga dilakukan oleh Fahruddin *et.al* 2020.

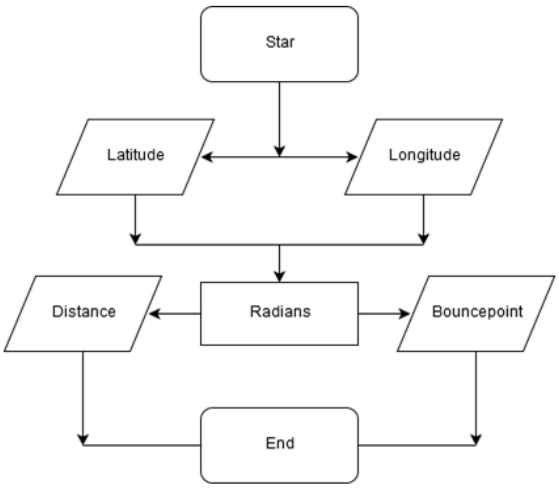


Gambar 3. Jalur sinar prekursor SS pada jarak episentral 125° dan 180°. Bintang merah melambangkan sumber, dan segitiga biru melambangkan stasiun. Bouncepoints pada diskontinuitas 410 dan 660 km ditandai dengan kotak merah (Huang,Q. et.al. 2019).

METODE PENELITIAN

Untuk mendapatkan titik *bouncepoint* tepat di atas pulau Kalimantan bagian selatan maka daerah sumber gempa yang diambil jarak radius nya haruslah lebih dari 50^o agar nantinya didapatkan *bouncepoint* yang diinginkan. Begitu juga jarak radius stasiun penerima juga harus lebih dari 50^0, atau jarak antara pusat gempa dengan daerah penelitian, sama dengan jarak antara daerah penelitian dengan stasiun pencatat data

gempa. Kemudian ditentukan jarak antara kedua titik sumber gempa dengan stasiun penerima, menggunakan Persamaan 7,11 dan Persamaan 12 maka akan didapatkan posisi atau nilai latitude dan longitude untuk *bouncepoint* data.



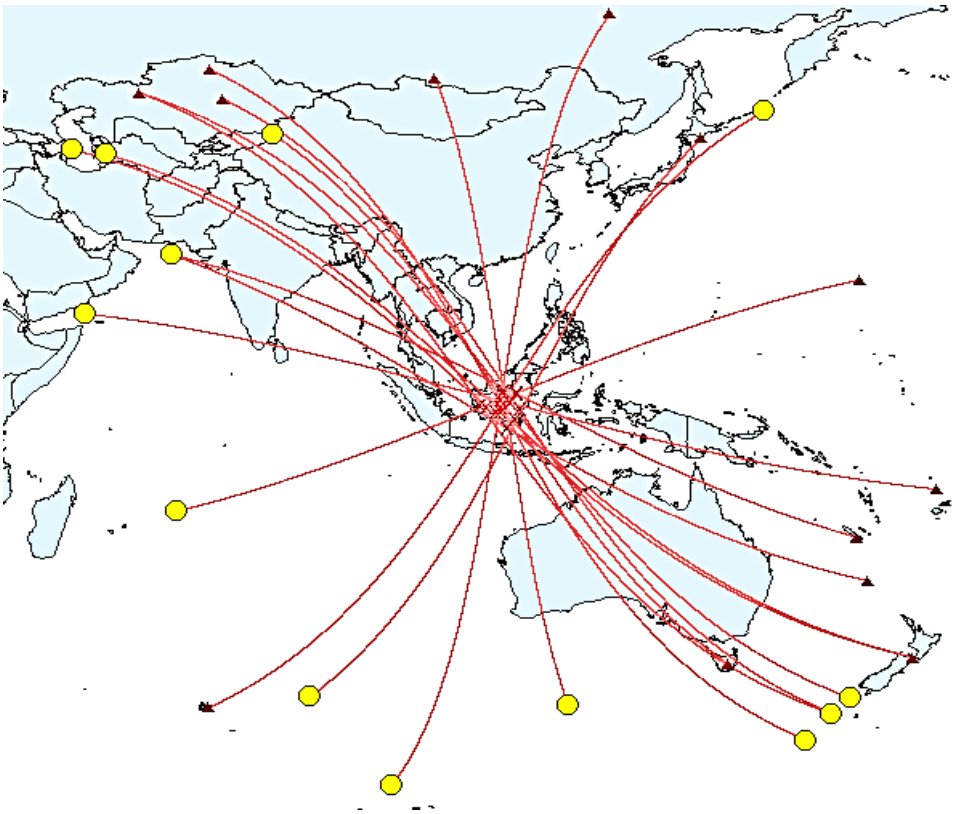
Gambar 4. Algoritma bagan alur untuk menentukan bouncepoint menggunakan bahasa pemrograman matlab.

HASIL DAN PEMBAHASAN

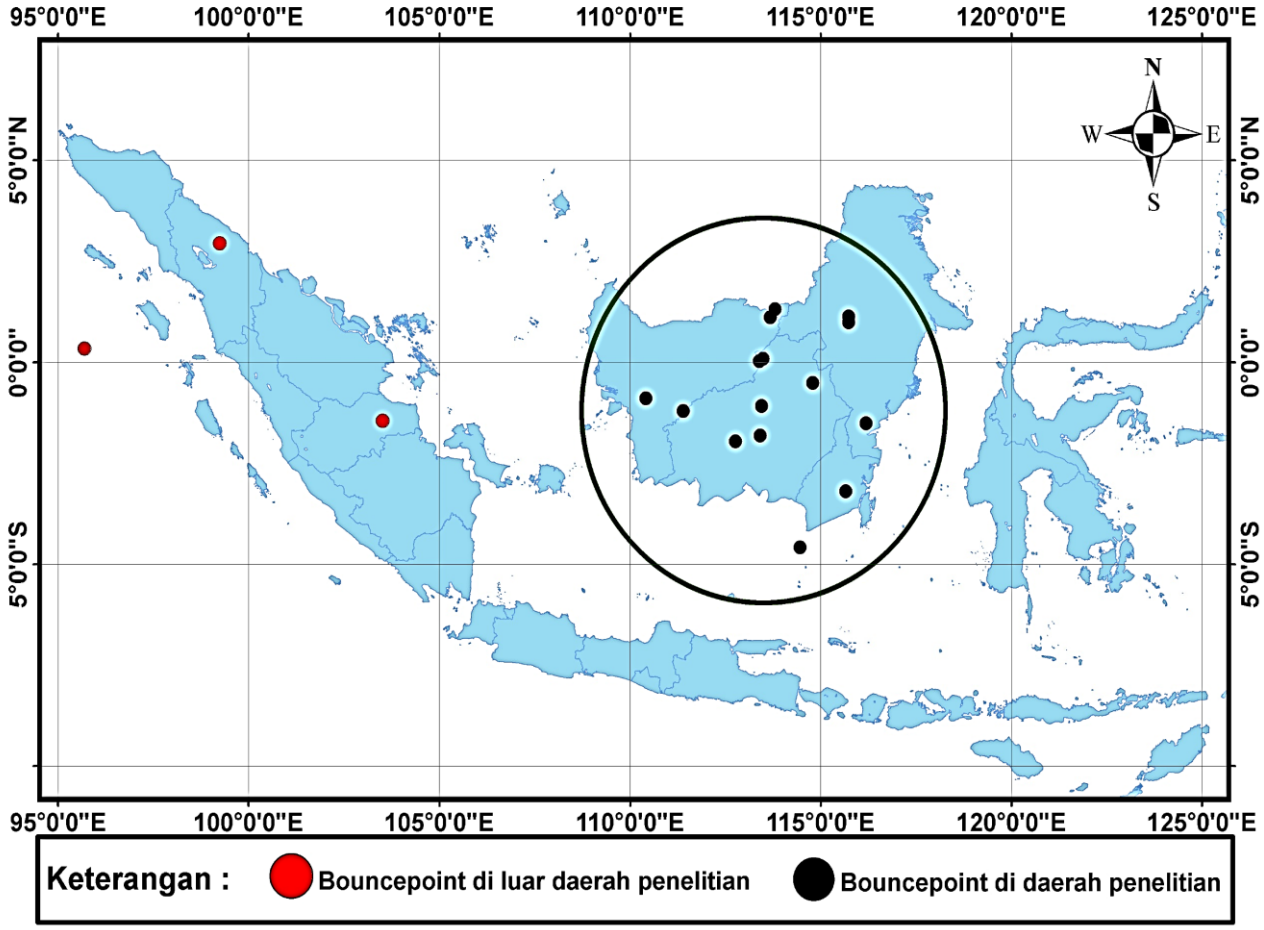
Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data hasil dari sumber gempa yang menjalar di dalam internal bumi menuju stasiun penerima gempa. Setiap sumber gempa dan stasiun pengamat gempa memiliki titik koordinat latitude dan longitude yang nantinya bisa digunakan untuk mendapatkan titik tengah antara keduanya. Syarat yang digunakan agar hasil titik *bouncepoint* bisa digunakan untuk menganalisia prekursor SS maupun PP adalah jarak antara sumber gempa dengan stasiun pengamat yang harus lebih dari 100^{o} agar fase SS dan PP bisa muncul, serta kedalaman sumber gempa yang tidak lebih dari 70 Km agar penjalaran gelombang membentuk dua setengah lingkaran.

Dari hasil pengolahan data terlihat pada Tabel 2 untuk gempa1 sampai dengan gempa15 berada di daerah pulau Kalimantan bagian Selatan, sedangkan untuk data gempa16,17 dan 18 *bouncepoint* berada di luar daerah penelitian.

Latitude dan Longitude sumber gempa dan stasiun pencatat gempa, serta *bouncepoint* daerah penelitian seperti pada Tabel 2.



Gambar 5. Peta sebaran pusat gempa dan staisun pencatat gempa, untuk bouncepoint di pulau Kalimantan bagian Selatan.



Gambar 6. Peta titik-titik bouncepoint untuk gelombang SS.

Tabel 2. Data Latitude dan Longitude Sumber Gempa

GEMPA	EVLA	EVLO	STLA	STLO	LA Bo	LO Bo
Gempa1	-47,90	165,42	49,26	59,90	1,12	113,69
Gempa2	-54,61	158,71	53,06	70,30	-1,08	113,46
Gempa3	-50,37	162,55	49,26	59,90	-0,89	110,42
Gempa4	-50,37	162,55	48,24	72,30	-1,51	116,20
Gempa5	13,85	51,72	-14,31	178,00	-0,51	114,80
Gempa6	-47,62	85,09	42,02	143,00	-3,20	115,66
Gempa7	42,58	79,72	-42,44	147,00	0,09	113,50
Gempa8	46,40	152,48	-49,35	70,20	-1,96	112,77
Gempa9	-17,84	65,42	19,28	167,00	1,13	115,74
Gempa10	-49,09	123,43	51,68	104,00	1,32	113,81
Gempa11	-61,97	97,16	62,03	130,00	0,03	113,40
Gempa12	23,35	64,54	-22,10	166,00	0,99	115,75
Gempa13	23,35	64,54	-29,04	168,00	-4,58	114,47
Gempa14	39,49	54,81	-41,31	175,00	-1,81	113,42
Gempa15	40,19	49,95	-41,31	175,00	-1,21	111,40
Gempa16	-42,72	173,06	44,10	19,99	2,95	99,24
Gempa17	-42,72	173,06	42,87	17,70	0,34	95,69
Gempa18	-49,48	126,27	46,81	81,98	-1,44	103,52

KESIMPULAN

Dari 18 titik *bouncepoint* terdapat 15 data yang *bouncepoint*nya berada di daerah Pulau Kalimantan bagian Selatan yang merupakan data yang dibutuhkan, sedangkan 3 titik berada di luar daerah penilitian.

DAFTAR PUSTAKA

Andreas, H., Sarsito, D.A., and Meilano, I., 2013. Review System Geodetic Reference In Some Countries Tinjauan Sistem Referensi Geodesi Di Beberapa Negara. *Indonesian Journal Of Geospantial*, 1 (2), 30–41.

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.

Fahruddin, Apriadi, Ibrahim S, Saddang, H, 2020, Identifikasi Diskontinuitas Seismik Mantel di Barat Laut Pulau Sumatera, Menggunakan Data Prekursor SS

Ganesh L and Kumar, D.V., 2015. Indoor Wireless Localization using Haversine Formula. *International Advanced Research Journal In Science, Engineering and Technology*, 2 (7), 59–63.

Huang,Q, Chemerr,N, Waszek,L. and Beghein,C., 2019. Coantraints on Seismic Anisotrpy in the Mantle Transition Zone Form Long Period SS Precursors Journal of Geophysical Research Solid Earth 124(7)

Ingole, D.P. V. and Nichat, M.M.K., 2013. Landmark Based Shortest Path Detection by Using Dijkestra Algorithm and Haversine Formula. *International Journal Of Engineering Research and Aplicatios*, 3 (3), 162–165.

Mwemezi, J.J. and Huang, Y., 2011. Optimal Facility Location on Spherical Surfaces: Algorithm and Application. *New York Science Journal*, 4 (7), 21–28.

Purba, E.S., Darmo, B., and Sabri, L.M., 2013. Penentuan Koordinat Definitif Epoch 2013 Stasiun Cors Geodesi Undip dengan menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.04. *Geodesi*, 2 (4), 85–106.

Sjöberg, L.E. and Shirazian, M., 2012. Solving the Direct and Inverse Geodetic Problems on the Ellipsoid by Numerical Integration. *Journal of Surveying Engineering*, 138 (1), 9–16.

Veness, C., 2002. Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points [online]. *United Kingdom*. Available from: https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html.

LAMPIRAN

Program matlab untuk menentukan *bouncepoint.*

```
clear all; clc
% Latitude and longitude of earthquakes
eq_lat = [-47.9039 -54.6136 -50.371 -50.371 13.8484 -47.6165 42.5824
46.3971 -17.8435 -49.0872 -61.97 23.3511 23.3511 39.493 40.187 -21.2543
11.2463];
% in degrees
eq_lon = [165.4217 158.7126 162.5497 162.5497 51.717 85.0913 79.7217
152.4831 65.4242 123.4274 97.16 64.5394 64.5394 54.811 49.952 171.3886
57.5989];
% in degrees
% Latitude and longitude of seismic stations
```

```
station_lat = [49.26 53.06 49.26 48.24 -14.31 42.02 -42.44 -49.35 19.28
51.68 62.03 -22.10 -29.04 -41.31 -41.31 34.54 -29.04];
% in degrees
station_lon = [59.94 70.28 59.94 72.34 178.12 143.15 147.19 70.21 166.65
103.64 129.68 166.31 167.94 174.7 174.7 69.04 167.94];
% in degrees
R = 6371;
% Earth's radius in km
for i = 1:length(eq_lat)
% Convert latitude and longitude of the current earthquake to radians
eq_lat_rad = deg2rad(eq_lat(i));
eq_lon_rad = deg2rad(eq_lon(i));
% Convert latitude and longitude of the current station to radians
station_lat_rad = deg2rad(station_lat(i));
station_lon_rad = deg2rad(station_lon(i));
% Calculate half distance between earthquake and station
dlat = station_lat_rad - eq_lat_rad;
dlon = station_lon_rad - eq_lon_rad;
a = sin(dlat/2)^2 + cos(eq_lat_rad)*cos(station_lat_rad)*sin(dlon/2)^2;
c = 2*atan2(sqrt(a), sqrt(1-a));
d = R*c/2;
% Calculate the midpoint between earthquake and station
Bx = cos(station_lat_rad)*cos(dlon);
By = cos(station_lat_rad)*sin(dlon);
lat_midpoint = atan2(sin(eq_lat_rad)+sin(station_lat_rad),
sqrt((cos(eq_lat_rad)+Bx)^2 + By^2));
lon_midpoint = eq_lon_rad + atan2(By, cos(eq_lat_rad)+Bx);
% Convert midpoint coordinates back to degrees
lat_midpoint_deg = rad2deg(lat_midpoint);
lon_midpoint_deg = rad2deg(lon_midpoint);
% Display the results
fprintf('Half distance between earthquake %d and station %d is %.2f
km.\n', i, i, d);
fprintf('Midpoint between earthquake %d and station %d is (%.4f, %.4f)
in degrees.\n\n', i, i, lat_midpoint_deg, lon_midpoint_deg);
end.
```