

Penggunaan *Software* GMT 6 Dan Python Untuk Menampilkan Peta Seismisitas Dan Menghitung Besar Sudut Subduksi Di Pulau Jawa

Use Of GMT 6 Software and Python to Display Seismicity Map and Calculate the Significance of Subduction Angles on The Island of Java

Maulina Putri Lestari¹, Budiarta², Darsono¹, Yusuf Hadi Perdana²

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36 A, Kentingan, Jebres, Surakarta 57126

²Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Jl. Wates Km. 8, Jitengan, Balekatun, Gamping, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55295

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 9 Desember 2023
Naskah diperbaiki : 4 Januari 2023
Naskah diterima : 7 Januari 2023

Kata kunci:

Gempa bumi
fokal mekanisme
cross section
sesar
GMT 6

Keywords:

Earthquake
focal mechanism
cross sections
fault
GMT 6

* Email Korespondensi:

maulinaputri111@students.uns.ac.id

ABSTRAK

Pemetaan seismisitas suatu wilayah terutama didaerah subduksi yang rawan gempa bumi seperti Jawa sangat diperlukan untuk membuktikan adanya pergeseran lempeng serta mengidentifikasi adanya sesar sehingga masyarakat waspada bencana di wilayah yang sama. Dalam konteks ini, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk membuat peta seismisitas, *cross section*, dan mekanisme fokal di wilayah Jawa dengan menggunakan *software* GMT 6, pemrograman Python, dan pengolah skrip Anaconda. Selanjutnya dibuat irisan wilayah dan dihitung sudut subduksi pada masing-masing segmen irisan. Data sekunder dari BMKG dan USGS Januari-Desember 2021 digunakan dengan batas koordinat 10,99–5,50 LS dan 105,100-115,145 BT. Hasil *cross section* menunjukkan di Jawa merupakan jalur subduksi lempeng ditandai dengan adanya sebaran penurunan hiposenter gempa. Fokal mekanisme gempa bumi didominasi oleh sesar naik. Gempa bumi sering terjadi dengan magnitudo kecil 3-5 dan kedalaman dangkal 0-60 km. Pergeseran lempeng menunjukkan semakin curam lempeng maka semakin tua usia sudut subduksinya. Penunjaman zona Subduksi Pulau Jawa lebih tua daripada Pulau Sumatera dikarenakan sudut subduksinya lebih curam.

ABSTRACT

Mapping the seismicity of an area, especially in subduction areas that are prone to earthquakes such as Java, is very necessary to prove the existence of plate shifts and identify faults so that people are alert to disasters in the same area. In this context, research was carried out which aimed to create seismicity maps, cross sections and focal mechanisms in the Java region using GMT 6 software, Python programming and the Anaconda script processor. Next, a slice of the region is made and the subduction angle for each segment of the slice is calculated. Secondary data from BMKG and USGS January-December 2021 was used with coordinate limits of 10.99–5.50 South Latitude and 105.100-115.145 East Longitude. The cross section results show that Java is a plate subduction route characterized by a dip in the hypocenter of the earthquake. The focal mechanism of earthquakes is dominated by thrust faults. Earthquakes often occur with small magnitudes of 3-5 and shallow depths of 0-60 km. Plate displacement shows that the steeper the plate, the older the subduction angle. The subduction zone of Java Island is older than Sumatra Island because the subduction angle is steeper.

© 2023 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Indonesia sering kali mengalami bencana alam gempa bumi dikarenakan terletak diantara 3 lempeng aktif dunia yaitu Eurasia, Indo- Australia, dan Pasifik. Secara geologi Indonesia juga disebut sebagai jalur cincin gunung api Asia Pasifik yang merupakan jalur rawan terjadi aktivitas seismik, Hal tersebut menyebabkan di Indonesia seringkali terjadi gempa bumi dan letusan gunung berapi [1].

Gempa bumi adalah perambatan energi pada medium rambat batuan atau lapisan batuan. Gempa bumi terjadi ketika lempeng samudra dengan rapat massa lebih besar bertumbukkan dengan lempeng benua di zona tumbukan (subduksi) dan menyusup kebawah. Gerakan tersebut mengalami perlambatan akibat gesekan dari selubung bumi dan menyebabkan penumpukkan energi di zona subduksi dan patahan, sehingga terjadi tekanan, tarikan, dan getaran. Pada saat batas elastisitas lempeng

terlampau terjadi patahan batuan yang diikuti lepasnya energi secara tiba-tiba. Proses ini menimbulkan getaran partikel ke segala arah yang disebut gelombang gempa bumi [2].

Berkaitan dengan kuncian ini, dari *source mechanism* dan *asperity* yang terbentuk selama gempabumi maka dapat diketahui orientasi bidang sesar dan zona pelepasan energi terbesar selama gempabumi. Zona *asperity* merupakan area pada bidang sesar yang saling mengunci akibat kekasaran permukaan pada dua bidang batuan dalam kontak yang rigid. Wilayah kuncian tersebut memiliki *released* momen seismik yang besar dan menghasilkan gempabumi signifikan [3].

Gempa yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng yang disebut dengan gempa tektonik. Gempa ini diakibatkan oleh aktivitas dua lempeng yaitu lempeng benua dan lempeng Samudra yang melepaskan gelombang seismic. Gelombang tersebut dipancarkan oleh sumber energi elastik yang dilepas tiba-tiba. Gempa ini merupakan gelombang kejut yang terjadi saat kedua lempeng saling bertumbukan atau bergesekan.

Salah satu Pulau di Indonesia yang menjadi daerah rawan gempa adalah Pulau Jawa. Hal tersebut dikarenakan posisi pulau Jawa yang merupakan zona subduksi dan sesar aktif, serta merupakan daerah yang dekat dengan gunung api. Pada zona subduksi lempeng Indo Australia terhadap lempeng Eurasia dan sesar aktif Opak, rawan akan terjadinya gempa bumi. Dinamika tektonik pulau Jawa didominasi oleh pergerakan lempeng IndoAustralia yang relative bergerak ke utara bertumbukan dengan lempeng Eurasia yang relatif diam. Penunjaman lempeng IndoAustralia berkisar 100-200 km di bawah dan 600 km di utara pulau Jawa. Tunjaman lempeng tersebut mengakibatkan pergerakan unsur-unsur. Kondisi ini menjadikan wilayah pulau Jawa sebagai daerah tektonik aktif dengan tingkat seismisitas yang tinggi [4].

Mekanisme fokus adalah hasil dari analisa bentuk gelombang yang dihasilkan oleh gempa bumi dan direkam oleh seismograf. Dalam hal ini mekanisme focus akan diperoleh data dari gelombang seismic yang dipancarkan berupa bentuk bola fokal 3 dimensi. Mekanisme focus ini bisa menjadi sumber identifikasi sesar yang terdapat pada suatu wilayah [5]. *Focal mechanism* adalah parameter yang dapat menunjukkan orientasi dari bidang sesar serta arah pergerakannya yang mengacu pada sistem koordinat geografis [6]. Bola fokus merupakan ilustrasi penjalaran gelombang yang berpusat pada sumber gempabumi. Bola fokus meliputi penjalaran gelombang seismic yang menjalar dari sumber gempabumi sampai ke stasiun penerima [7].

Patahan atau sesar adalah adalah retakan yang membatasi dua blok batuan ketika bergeser satu terhadap lainnya. Pergerakan tersebut dapat terjadi karena batuan menerima dan menyimpan tekanan tektonis yang dikirimkan oleh interaksi lempeng- lempeng litosfer, sedikit demi sedikit terakumulasi sedemikian rupa hingga gaya stress tersebut menjadi sedemikian besar dan mampu menggeser batuan

di sepanjang bidang patahan. Pergeseran tersebut terjadi secara mendadak, menghantarkan gelombang kejutnya ke segala arah, yang kemudian dikenal sebagai gempabumi [8].

GMT (*Generic Mapping Tools*) adalah kumpulan sumber terbuka yang terdiri dari 80 baris perintah untuk manipulasi data geografis dan kartesian. Dari plot dua dimensi yang sederhana hingga perspektif tiga dimensi, GMT mendukung 30 jenis proyeksi pemetaan dan transformasi. Karena fleksibilitasnya dan pertimbangan yang tidak berbayar, maka komunitas ilmu kebumiharian di dunia banyak menggunakan GMT dalam pekerjaannya [9].

Salah satu kelebihan GMT adalah dapat membuat *cross section* atau penampang kedalaman dan jarak gempa. *Cross section* gempa merupakan proses pengolahan data gempa yang bertujuan untuk mengetahui trend kemiringan data gempa. Hasil dari *cross section* berupa titik-titik kedalaman hiposenter gempa dari setiap luasan yang dibuat. Hal itu membantu dalam analisis seismisitas dalam hubungannya dengan kondisi tektonik wilayah terjadinya gempa [10].

Python merupakan salah satu bahasa pemrograman yang diciptakan oleh Guido van Rossum di Belanda pada tahun 1990 dan namanya diambil dari acara televisi kesukaan Guido Monty Python's Flying Circus. Bahasa pemrograman ini banyak digunakan oleh perusahaan besar dan para developer untuk mengembangkan berbagai macam aplikasi berbasis desktop, web dan mobile. Van Rossum mengembangkan Python sebagai hobi, kemudian karena sederhana, ringkas, sintak intuitif dan memiliki pustaka yang luas, Python menjadi bahasa pemrograman yang dipakai secara luas dalam industri dan Pendidikan [11].

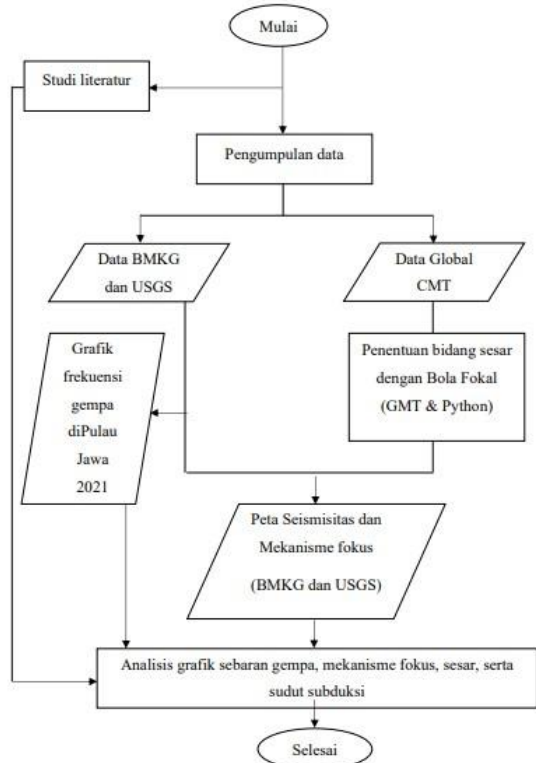
Penelitian ini bertujuan untuk membuat peta seismisitas, *cross section*, dan mekanisme fokal di wilayah Jawa dengan menggunakan Software GMT 6, pemrograman Python, dan pengolah skrip Anaconda.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data gempa bumi dengan titik koordinat 10,99-5,50° LS dan 105,100-115,145 BT yang diambil dari data BMKG [12], data USGS [13], dan data Global CMT berupa data mekanisme fokal gempa [14]. Adapun tahapan dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* GMT 6, Python, dan Anaconda untuk running data. Pemetaan ini dilakukan untuk plot data fokal mekanisme serta data gempa yang terjadi di Jawa pada tahun 2021 agar dapat dianalisis jenis sesar serta aktivitas tektoniknya.

Studi literatur dilaksanakan terlebih dahulu untuk mengetahui dinamika tektonik pulau Jawa serta penggolongan fokal mekanisme dan jenis sesar,

kemudian melaksanakan tahap pembuatan skrip untuk dapat menampilkan peta sebaran seismisitas serta fokal mekanisme dan tahapan terakhir yaitu menganalisis hasil peta yang diperoleh serta menggolongkan jenis gempa berdasarkan magnitudo dan kedalamannya.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Metode yang digunakan untuk menentukan sudut subduksi adalah perhitungan jarak episentrum terhadap jarak tegak lurus *trench*. Hubungan jarak ($D = X$) dan kedalaman (Y) dianalisis menggunakan metode Kuadrat Terkecil untuk persamaan parabola, dimana jumlah kuadrat dalam orde diferensial harus sama dengan nol.

$$Y_i = A + BX_i + CX_i \tag{1}$$

Sudut subduksi diturunkan dari turunan pertama persamaan parabola.

$$\tan a = Y' = B + 2CX \tag{2}$$

dimana b dan c diperoleh dari grafik hubungan antara kedalaman dan jarak, sedangkan X adalah jarak.

3. Hasil Dan Pembahasan

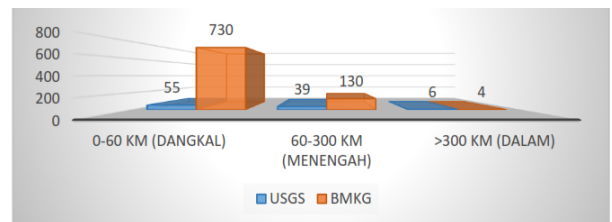
Berdasarkan data yang diperoleh dari BMKG dan USGS, dapat dilakukan klasifikasi penggolongan data gempa berdasarkan kedalaman dan magnitudonya, sedangkan untuk data yang bersumber dari Global CMT dapat digunakan untuk identifikasi jenis sesar di pulau

Jawa tahun 2021. Data klasifikasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.

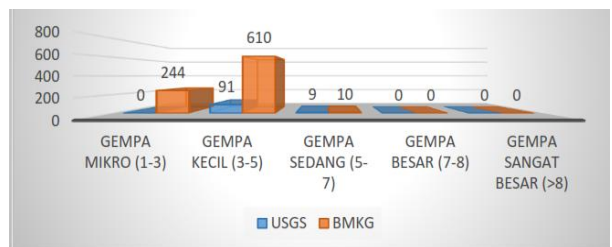
Berdasarkan sumber yang diperoleh dari BMKG dan USGS gempa dipetakan kemudian dibuat grafik jumlah kejadian gempa berdasarkan kedalamannya. Gempa yang terjadi dari kedua sumber paling banyak merupakan golongan gempa dangkal dimana kedalamannya berkisar antara 0-60 km. Gempa golongan tersebut merupakan gempa yang memungkinkan untuk dirasakan dan dapat menimbulkan kerusakan [15]. Sedangkan gempa dengan kedalaman dalam dari kedua sumber diperoleh hanya sedikit kejadian.

Berdasarkan grafik jumlah kejadian gempa menurut magnitudo yang bersumber dari BMKG dan USGS didapatkan hasil bahwa gempa yang paling banyak terjadi adalah gempa kecil dengan skala magnitudo 3-5. Gempa mikro dengan skala magnitudo 1-3 tidak tercatat dalam USGS tetapi dapat tercatat oleh BMKG 244 kejadian dalam rentang waktu Januari hingga Desember 2021 (Gambar 3).

Berdasarkan data fokal mekanisme, diperoleh sesar naik (*reverse fault*) sebanyak 6, sesar turun (*normal fault*) sebanyak 1, dan *oblique fault* sebanyak 5. Berdasarkan data tersebut maka sesar naik (*reverse fault*) lebih dominan di wilayah penelitian.



Gambar 2. Klasifikasi gempa menurut kedalaman.

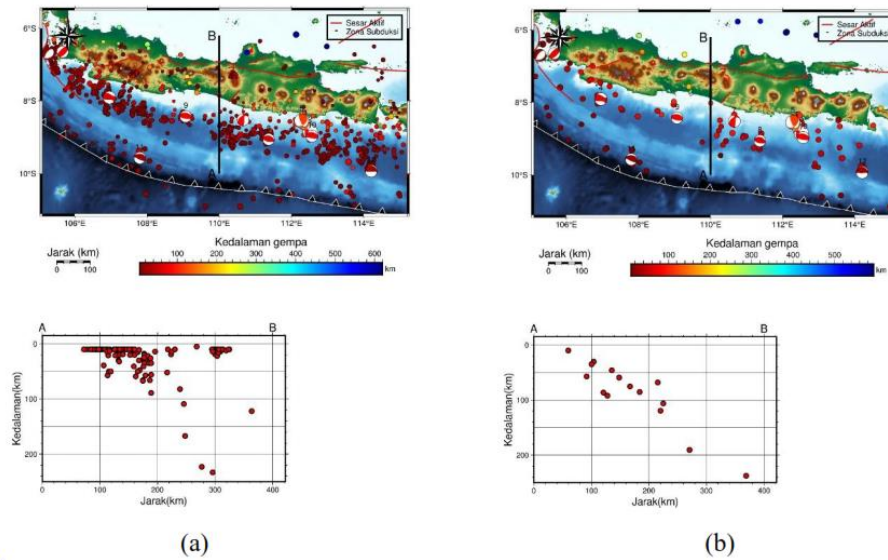


Gambar 3. Klasifikasi gempa menurut magnitudo.

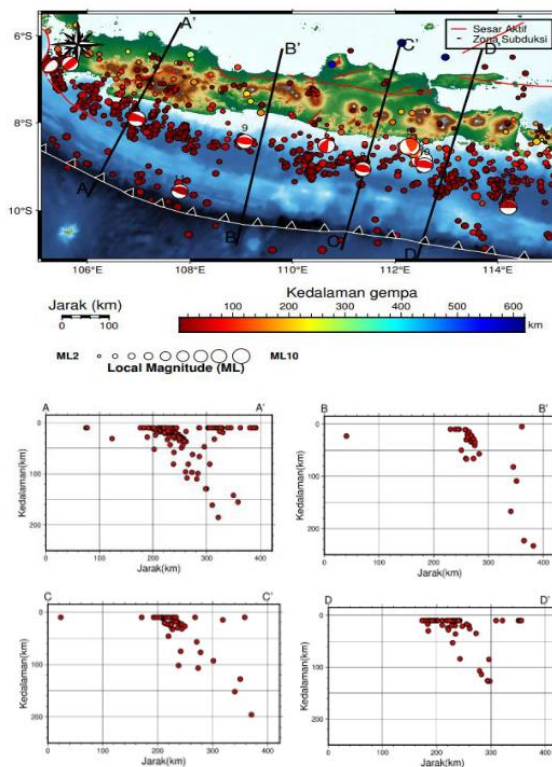
Gambar 4(a) dan 5 menunjukkan sebaran seismisitas yang diperoleh dari data BMKG. Kegempaan wilayah pulau Jawa kebanyakan terjadi dilaut. Kegempaan dipulau Jawa merupakan akibat dari Zona Subduksi, dimana sesuai teori pulau Jawa berada pada jalur pertemuan lempeng yaitu Benua Eurasia dan lempeng Samudra Australia, dikarenakan gerak konvergen dan tunjaman lempeng tersebut maka terbentuklah deretan gunung api dan gempa bumi dipulau Jawa. Hal tersebut dapat dilihat pada *cross section* yang dibuat dimana tunjaman lempeng yang

kerapatannya lebih besar kebawah menyebabkan terjadinya gempa dengan kedalaman lebih dari 100 km dibawah permukaan bumi. Gempa yang berkumpul juga diakibatkan oleh aktivitas sesar, dimana kebanyakan terdapat pola mekanisme fokus yang menunjukkan jika pulau Jawa didominasi oleh sesar naik. Zona rekahan atau sesar tersebut memungkinkan blok batuan saling bergerak dan banyak menimbulkan kejadian gempa.

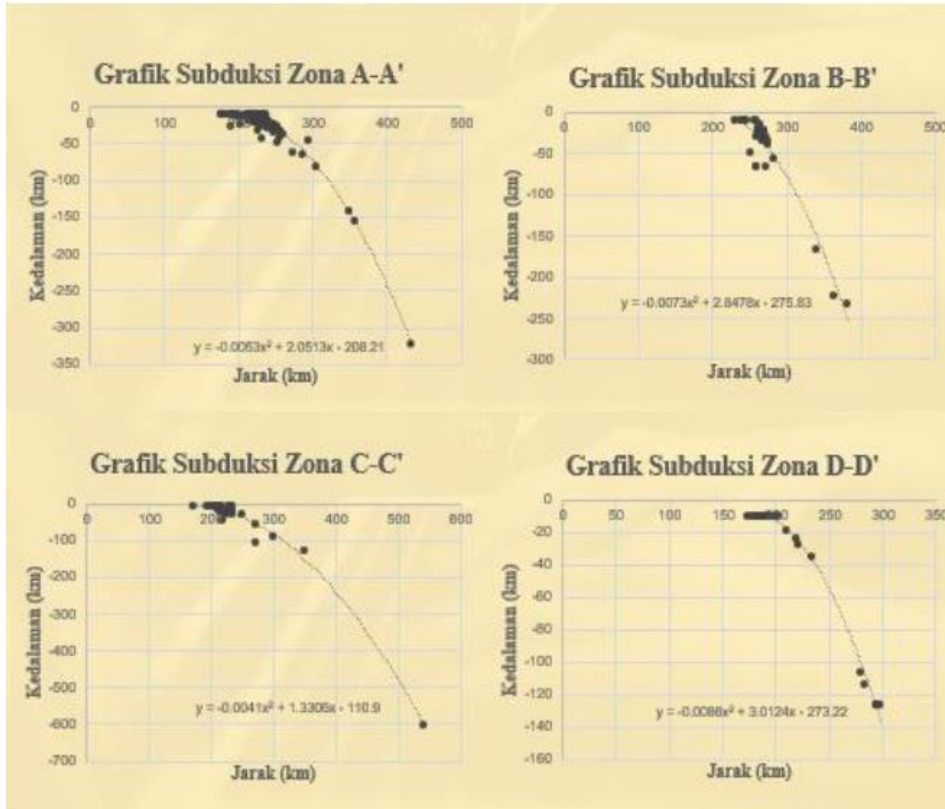
Magnitudo gempa dilihat dari sebarannya didominasi oleh gempa dengan magnitudo kecil yang berkisar antara skala 3-5 dengan kedalaman dangkal. Terdapat total kejadian yang tercatat 864 gempa didominasi oleh gempa dengan kedalaman dangkal sekitar 730 gempa dan gempa magnitudo kecil dengan total kejadian 610 gempa. Gempa dengan kedalaman sedang sangat jarang terjadi dengan presentase kejadian 9% yaitu sekitar 9 kejadian gempa dalam kurun waktu satu tahun.



Gambar 4. (a) Peta seismisitas Jawa 2021 berdasar data BMKG, (b) berdasar data USGS.



Gambar 5. Sebaran gempa dan pembagian segmen berdasarkan data BMKG tahun 2021.



Gambar 6. Grafik hubungan antara kedalaman dan jarak gempa.

Gambar 4(b) menunjukkan sebaran magnitudo gempa berdasarkan data USGS, dimana didominasi oleh gempa dengan magnitudo kecil yang berkisar antara skala 3-5 dengan kedalaman dangkal. Terdapat total kejadian yang tercatat 100 gempa, dimana didominasi oleh gempa dengan kedalaman dangkal sekitar 55 gempa dan gempa magnitudo kecil dengan total kejadian 91 gempa. Gempa dengan kedalaman sedang sangat jarang terjadi dengan presentase kejadian 1,5% yaitu sekitar 10 kejadian gempa dalam kurun waktu satu tahun. Berdasarkan penampang *cross section* yang dibuat didapatkan bukti bahwa di pulau Jawa ini memang terjadi aktivitas pergeseran lempeng yang menyebabkan adanya hiposenter dikedalaman lebih dari 100 km.

Hubungan antara kedalaman dan jarak gempa ke zona subduksi ditunjukkan pada Gambar 6. Dari grafik diketahui sebaran gempa terdeteksi pada kedalaman 10 km hingga 230 km. Kegempaan zona subduksi cenderung aktif, baik pada kedalaman dangkal maupun sedang. Hubungan antara kedalaman, jarak dan sudut subduksi ditunjukkan pada Tabel 1-4.

Pada masing-masing segmen dikedalaman 10 km hingga 50 km terlihat bahwa gempa bumi tersebar merata. Kemudian pada kedalaman lebih dari 50 km hingga 200 km jarang terjadi gempa bumi dan pada kedalaman lebih dari 300 km terdapat persebaran gempa bumi lagi. Hal ini dapat diindikasikan bahwa adanya zona *seismic gap* pada segmen tersebut.

Tabel 1. Sudut penunjaman irisan segmen A-A'.

Depth	Jarak	Y'	Sudut
10	176.999	3.92749	75.7151
50	252.856	4.73158	78.0664
100	305.569	5.29034	79.296
150	349.754	5.75869	80.1488

Tabel 2. Sudut penunjaman irisan segmen B-B'.

Depth	Jarak	Y'	Sudut
10	230.535	6.21361	80.8574
50	250.386	6.50344	81.2584
150	340.731	7.82247	82.715

Tabel 3. Sudut penunjaman irisan segmen C-C'.

Depth	Jarak	Y'	Sudut
10	170.816	2.73129	69.891
50	219.581	3.13116	72.2881
100	301.274	3.80105	75.2603

Tabel 4. Sudut penunjaman irisan segmen D-D'.

Depth	Jarak	Y'	Sudut
10	177.012	6.05701	80.6252
100	282.609	7.87328	82.7615
120	298.185	8.14119	82.9973

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin dalam hiposenter gempa dan semakin jauh jarak gempa ke zona subduksi maka sudut subduksi yang terbentuk juga semakin besar. Hal itu terjadi karena gempa bumi yang terjadi di wilayah intraplate atau di dalam zona subduksi memiliki sudut subduksi yang curam karena wilayah tersebut jauh dari trench. Sedangkan pada daerah interplate atau pertemuan zona subduksi memiliki sudut yang dangkal dan sering terjadi gempa.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan pembuatan peta dengan menggunakan data BMKG dan USGS menggunakan software GMT dan Python, didapatkan sebaran seismisitas dan ditemukan posisi hiposenter gempa serta bukti bahwa terdapat kegiatan tektonik berupa pergeseran lempeng konvergen. Frekuensi gempa yang tercatat BMKG lebih banyak dibandingkan dari USGS. Data fokal mekanisme dari data sekunder Global CMT menunjukkan bahwa pulau Jawa didominasi oleh sebaran sesar naik. Penunjaman zona Subduksi Pulau Jawa lebih tua daripada Pulau Sumatera dikarenakan sudut subduksinya lebih curam. Semakin curam sudut kemiringan maka semakin tua usia lempeng tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Ambarsari, R., Madlazim., dan Deta, U, A., "Pencitraan rupture gempabumi di lombok timur Mw 6,9 pada 19 agustus 2018 dengan metode back projection," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, Vol 10 (3), 24-32, 2021.
- [2] Susanti, M., "Analisa momen tensor dan fokal mekanisme pada gempa 5 tahun terakhir di wilayah boso penisula, jepang," Tugas Akhir. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITS. Surabaya, 2017.
- [3] Priadi, R., Perdana, Y, H., Wijaya, A., dan Suardi, I., "Analisis Gempa Bumi Lombok 2018 Berdasarkan Mekanisme Sumber, Distribusi Slip, Asperity, dan Perubahan Nilai (Coulomb Stress) Pada Bidang Sesar," *Jurnal Geofisika*, Vol 19 (1), 2021.
- [4] Linda., Ihsan, N., dan Palloan, P., "Analisis Distribusi Spasial Dan Temporal Seismotektonik Berdasarkan Nilai B-Value Dengan Menggunakan Metode Likelihood Di Pulau Jawa," *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF)*, 5 (1), 16-31, 2019.
- [5] Agus, R, N., Anugrahningrum, H, R., dan Blegur, G, S., "Penggunaan software gmt 4.3.1 untuk menampilkan peta persebaran focal mechanism gempa bumi tahun 1976-2015 region bmkgs wilayah IV Indonesia. Praktek komputasi geofisika. Internet: <https://www.academia.edu/>, diakses 20 Januari 2023.
- [6] Febyani, S., Pradhana, M, F., Rivaldy, M., Syafri, I., Nur, A, A., Embara, P., dan Nugroho, S, D., "Analisis kerentanan gempa pada jalur sesar baribis menggunakan metode microearthquake (MEQ)," *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, Vol 18 (1), 2020.
- [7] Wibowo, N, B., dan Nurhaci, D, S., "Analisa Shakemap dan Jenis Sesar Studi Kasus: Gempa Bumi Terasa Di Purworejo Jawa Tengah," *Indonesian Journal of Applied Physics*, Vol. 7(1), 10-19, 2017.
- [8] Husein, S., "Bencana Gempa Bumi," Internet: https://www.researchgate.net/publication/290883862_Bencana_Gempabumi, diakses tanggal 25 Januari 2023.
- [9] Hudayat, N., "Rancang bangun aplikasi metrologi dan geofisika dengan menggunakan bahasa pemrograman matlab dan GMT," *Megasains*, Vol 12 (1), 2021.
- [10] Naim, M, I., Supriyadi., dan Linuwih, S., "Analisis Seismisitas Dari Kepulauan Mentawai Pada Periode 2010-2016," *Indonesian Journal of Applied Physics*, Vol 8 (1), 2018.
- [11] Romzi, M., dan Kurniawan, B., "Pembelajaran pemrograman python dengan pendekatan logika algoritma," *Jurnal Teknik Informatika Mahakarya*, Vol 03 (2)., 37-44, 2020.
- [12] InaTEWS Earthquake Repository. Internet: <http://repogempa.bmkg.go.id/>, diakses 20 Januari 2023.
- [13] Search Earthquake Catalog. Internet: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>, diakses 20 Januari 2023.
- [14] Global CMT Catalog Search. Internet : <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>, diakses 20 Januari 2023.
- [15] Akbar, R., Darman, R., Marizka, Namora, J., Ardewati, N., "Implementasi Business Intelligence Menentukan Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia dengan Fitur Geolokasi," *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika*, Vol. 4, No. 1, 2018.