GRAVITASI
Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains
Vol (8) No (02) Edisi Desember Tahun 2025

https://ejurnalunsam.id/index.php/JPFS

Analisis Jenis Patahan dan Arah Slip Gempa Bumi Aceh-Sumbar M≥6 Menggunakan Data Global CMT

Nadiyah Az Zuhriyyah[1], Maysa Indah Ayu Lestari[1]

[1]Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Sumatera Utara
Jln. Lapangan Golf No. 120, Kp. Tengah, Kecamatan Pancur Batu, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara, 20353
Email Korespondensi: ndyzy14@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis karakteristik jenis patahan dan arah slip mekanisme fokal gempa bumi bermagnitudo M ≥ 6 di wilayah Aceh hingga Sumatera Barat selama periode 1990-2024. Data mekanisme fokal diperoleh dari basis data Global Centroid Moment Tensor (GCMT), kemudian divisualisasikan menggunakan plot bola fokal melalui Jupyter Notebook berbasis Anaconda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sesar geser mendatar (strike-slip) merupakan mekanisme dominan pada sistem Sesar Sumatera, sedangkan sesar naik (reverse fault) lebih umum ditemukan pada zona megathrust di lepas pantai barat Sumatera. Pola persebaran mekanisme ini mengindikasikan peran Sesar Sumatera sebagai sumber utama aktivitas gempa di daratan Sumatera, serta implikasi zona subduksi Indo-Australia sebagai penghasil gempa besar di wilayah laut. Temuan ini memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai dinamika tektonik di wilayah Sumatera dan mendukung upaya mitigasi bahaya gempa bumi di masa mendatang.

Kata kunci: Patahan, Slip, Global CMT, Sesar mendatar, Sesar naik.

ABSTRACT

This study analyzes the characteristics of fault types and slip directions of focal mechanism solutions for earthquakes with magnitudes M ≥ 6 that occurred in the region of Aceh to West Sumatra during the period 1990–2024. Focal mechanism data were obtained from the Global Centroid Moment Tensor (GCMT) catalog and visualized using beachball plots generated in Jupyter Notebook under the Anaconda environment. The results show that strike-slip faulting is the dominant mechanism along the Sumatra Fault System, whereas reverse faulting is more commonly observed in the megathrust zone off the western coast of Sumatra. The spatial distribution of these mechanisms indicates the primary role of the Sumatra Fault in accommodating seismic activity onshore, as well as the influence of the Indo-Australian subduction zone as the source of large offshore earthquakes. These findings provide a clearer understanding of the seismotectonic dynamics across Sumatra and support ongoing efforts to improve earthquake hazard mitigation in the region.

Keywords: Fault, Slip, Global CMT, Strike-slip fault, Reverse fault

A. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah yang terletak pada pertemuan beberapa lempeng tektonik utama dunia yang terus bergerak secara aktif dan dikenal sebagai *Ring of Fire*. Secara tektonik, Indonesia dipengaruhi oleh interaksi lempeng Eurasia yang bergerak ke arah tenggara, lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, serta lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat daya. Interaksi antar lempeng tersebut membentuk berbagai struktur geologi aktif, salah satunya adalah sistem patahan besar yang dikenal sebagai Sesar Sumatera (Hasan, 2014).

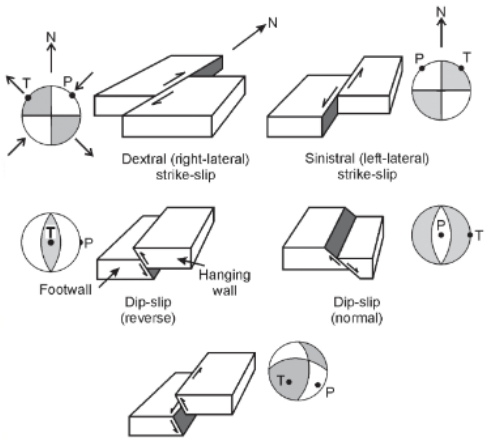
Pulau Sumatera yang terletak di bagian barat Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi. Wilayah Aceh hingga Sumatera Barat (Aceh–Sumbar) berada pada jalur Sesar Sumatera yang membentang sepanjang Pegunungan Bukit Barisan, mulai dari Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, hingga Teluk Semangka di Provinsi Lampung. Kondisi tektonik ini menyebabkan wilayah Aceh–Sumbar memiliki tingkat seismisitas yang tinggi serta berpotensi mengalami bencana alam seperti gempa bumi tektonik dan tsunami, terutama di wilayah pesisir barat Sumatera.

Gempa bumi merupakan fenomena alam berupa getaran pada permukaan bumi yang disebabkan oleh pergerakan atau pergeseran batuan secara tiba-tiba di dalam litosfer akibat aktivitas tektonik. Energi elastik yang terakumulasi di dalam batuan dilepaskan secara tiba-tiba dan merambat ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik yang dapat direkam oleh instrumen seismik seperti seismometer dan seismograf (Lestari, 2023).

Pergerakan batuan di dalam kerak bumi umumnya terjadi sepanjang bidang sesar atau patahan. Sesar merupakan bidang retakan yang memisahkan dua blok batuan yang mengalami pergeseran relatif akibat akumulasi tegangan tektonik. Tegangan ini secara bertahap terakumulasi pada zona-zona lemah kerak bumi hingga mencapai kondisi kritis, yang pada akhirnya menyebabkan pergeseran batuan secara tiba-tiba di sepanjang bidang patahan (Kasmolan, 2010).

Untuk memahami karakteristik sumber gempa bumi, salah satu metode yang umum digunakan adalah analisis mekanisme fokal. Mekanisme fokal menggambarkan hasil analisis pola radiasi gelombang seismik yang dihasilkan oleh gempa bumi dan direkam oleh jaringan seismik. Informasi ini dinyatakan dalam bentuk momen tensor dan divisualisasikan sebagai bola fokal tiga dimensi, yang menggambarkan orientasi bidang sesar serta arah pergerakan patahan.

Analisis mekanisme fokal berkaitan erat dengan sistem koordinat geografis yang memungkinkan penentuan orientasi bidang sesar dan arah slip selama terjadinya gempa bumi. Berdasarkan mekanisme fokal, jenis patahan yang dapat diidentifikasi meliputi patahan normal (*normal fault*), patahan naik (*reverse fault*), patahan geser mendatar (*strike-slip fault*), dan patahan oblique (*oblique fault*). Selain itu, arah slip (*slip direction*) menunjukkan arah pergerakan relatif pada bidang patahan dan merepresentasikan pola pelepasan energi dari sumber gempa (Lemenkova, 2022).



Gambar 1. Arah Pergerakan Sesar (Gudmundsson, 2020)

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji mekanisme fokal gempa bumi di wilayah Sumatera. Sieh dan Natawidjaja (2000) menunjukkan bahwa sistem Sesar Sumatera didominasi oleh mekanisme sesar geser mendatar dengan komponen oblique pada beberapa segmen. Sementara itu, McCaffrey (2009) serta data *Global Centroid Moment Tensor* (GCMT) mengindikasikan bahwa zona subduksi di lepas pantai barat Sumatera cenderung menghasilkan gempa dengan mekanisme sesar naik, yang berasosiasi dengan kejadian gempa besar dan tsunami.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada kejadian gempa tertentu atau segmen sesar tertentu, serta belum banyak yang melakukan analisis komprehensif mengenai variasi jenis patahan dan arah slip gempa bermagnitudo besar ($M \geq 6$) dalam rentang waktu yang panjang di wilayah Aceh hingga Sumatera Barat. Selain itu, pemanfaatan data *Global Centroid Moment Tensor* (GCMT) untuk memetakan sebaran mekanisme fokal secara spasial dan

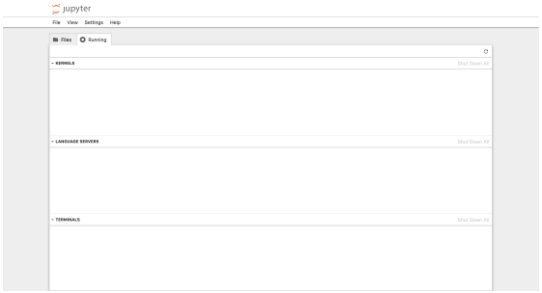
temporal di wilayah ini masih relatif terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memetakan dan menganalisis sebaran mekanisme fokal gempa bumi di wilayah Aceh–Sumatera Barat menggunakan data *Global Centroid Moment Tensor* (GCMT). Analisis dilakukan berdasarkan parameter strike, dip, rake, dan momen tensor, yang divisualisasikan menggunakan perangkat lunak Anaconda dengan modul Jupyter Notebook. Penelitian ini mencakup kejadian gempa bumi pada periode 1990–2024 dengan magnitudo M ≥ 6 dan diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dinamika tektonik regional serta mendukung upaya mitigasi bahaya gempa bumi di wilayah Sumatera.

B. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini diawali dengan pengumpulan data mekanisme fokal gempa bumi yang diperoleh dari basis data *Global Centroid Moment Tensor* (GCMT). Data yang dikumpulkan mencakup parameter lokasi gempa berupa lintang dan bujur, kedalaman hiposenter, serta parameter mekanisme fokal berupa nilai strike, dip, rake, dan momen tensor. Data dipilih berdasarkan kriteria wilayah penelitian yang meliputi Aceh hingga Sumatera Barat dengan rentang koordinat 1°BT–7°BT dan 93°LS–100°LS, periode waktu dari tahun 1990 hingga 2024, serta magnitudo gempabumi M ≥ 6.

Tahap selanjutnya adalah pengolahan data, yang diawali dengan proses penyuntingan dan penyesuaian format data menggunakan Notepad agar sesuai dengan kebutuhan pembacaan program. Data yang telah disesuaikan kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Anaconda dengan modul Jupyter Notebook. Pada tahap ini dilakukan proses *running* program untuk memvisualisasikan mekanisme fokal gempabumi berdasarkan parameter strike, dip, dan rake dalam bentuk bola fokal *(beachball).*



Gambar 2. *Running* Program di Jupyter Notebook

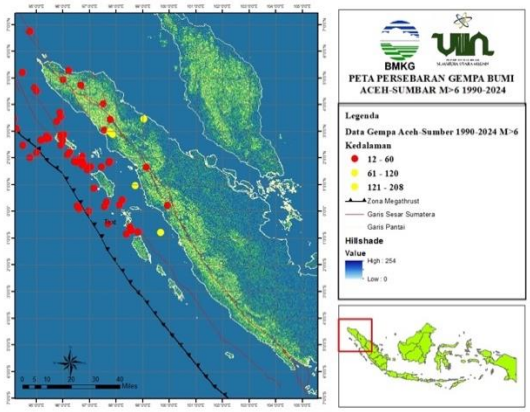
Hasil akhir dari penelitian ini berupa peta sebaran mekanisme fokal gempa bumi di wilayah Aceh–Sumatera Barat yang divisualisasikan berdasarkan lokasi hiposenter gempa. Visualisasi ini digunakan untuk mengidentifikasi pola jenis patahan dan arah slip yang berkembang di wilayah penelitian, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik tektonik serta sumber aktivitas seismik yang dominan di wilayah tersebut.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

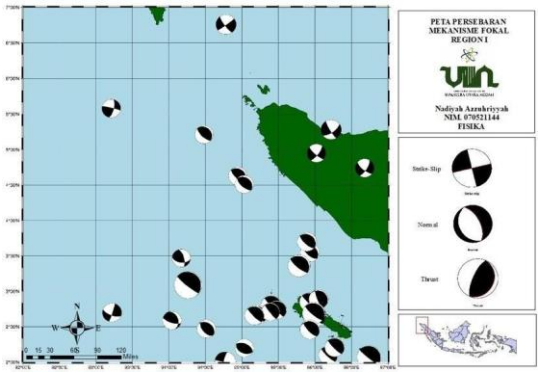
Peta Persebaran Gempa Bumi Aceh-Sumbar M≥6

Peta sebaran gempa bumi di wilayah Aceh-Sumatera Barat untuk periode gempa bumi dari tahun 1990-2024 dengan magnitudo M≥6 pada gambar di bawah ini merupakan hasil olahan data gempa bumi menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8. Data yang ditampilkan mencakup distribusi episenter gempa berdasarkan kedalaman, yang dikelompokkan menjadi tiga kategori: dangkal (12-60 km), menengah (61-120 km), dan dalam (121-208 km).



Gambar 3 Peta Persebaran Gempa Bumi Aceh-Sumbar 1990-2024 M≥6

Region I



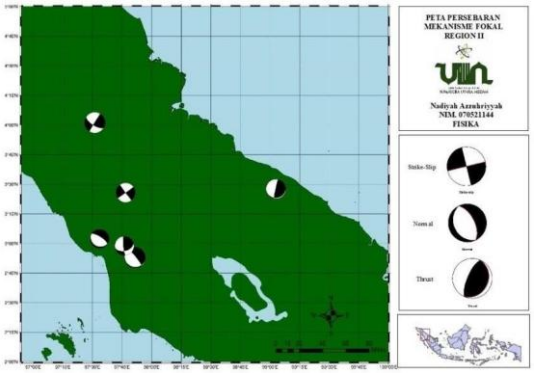
Gambar 4. Sebaran Mekanisme Fokal Region I

Tabel 1. Jumlah Sebaran Mekanisme Fokal Region I

Jenis Patahan	Tipe Patahan	Jumlah
Strike-Slip Fault		7 titik
Normal Fault		-
Thrust Fault		23 titik
Oblique Fault		2 titik

Gempa pada region I terletak pada koordinat geografis 2 LU dan 7 LS, 91-97 BT dimana terdapat 32 gempa signifikan sepanjang tahun 1990 sampai tahun 2024, diantaranya 7 sesar geser mendatar *(strike slip fault),* 23 sesar naik (*reverse fault*) dan 2 sesar *oblique.*

Region II



Gambar 5. Sebaran Mekanisme Fokal Region II

Tabel 2. Jumlah Sebaran Mekanisme Fokal Region II

Jenis Patahan	Tipe Patahan	Jumlah
Strike-Slip Fault		2 titik
Normal Fault		2 titik
Thrust Fault		1 titik
Oblique Fault		1 titik

Gempa pada region II pada posisi geografis 0,6 LU–2 LS dan 96-98 BT terdapat 6 gempa signifikan sepanjang tahun 1990 sampai tahun 2024, diantaranya 2 sesar mendatar *(strike slip fault*), 2 Sesar turun *(normal fault)* dan 1 sesar naik *(reverse fault).*

Region III



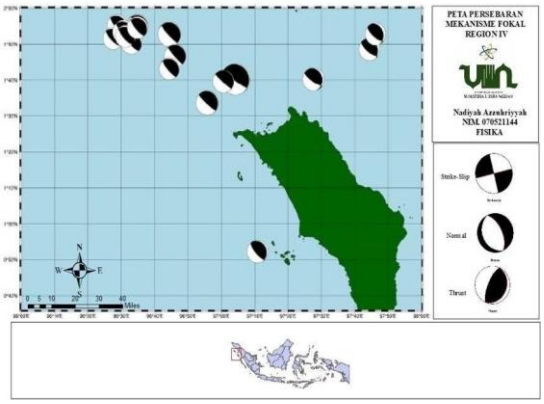
Gambar 6. Sebaran Mekanisme Fokal Region III

Tabel 3. Jumlah Sebaran Mekanisme Fokal Region III

Jenis Patahan	Tipe Patahan	Jumlah
Strike-Slip Fault		-
Normal Fault		-
Thrust Fault		14 titik
Oblique Fault		3 titik

Gempa pada region III pada posisi geografis -1,2 LU-1 LS dan 97.8-100.5 BT terdapat 10 gempa signifikan sepanjang tahun 1990 sampai tahun 2024, diantaranya 2 sesar geser mendatar (*strike slip fault*), 7 sesar naik (*reverse fault*) dan 1 sesar *oblique.*

Region IV



Gambar 7. Sebaran Mekanisme Fokal Region IV

Tabel 4. Jumlah Sebaran Mekanisme Fokal Region III

Jenis Patahan	Tipe Patahan	Jumlah
Strike-Slip Fault		2 titik
Normal Fault		-
Thrust Fault		7 titik
Oblique Fault		1 titik

Gempa pada region IV pada posisi geografis 96.9-100 BT terdapat 17 gempa signifikan sepanjang tahun 1990 sampai tahun 2024, diantaranya 14 sesar naik *(reverse fault)* dan 3 sesar *oblique.*

Pembahasan

Pola sebaran mekanisme fokal gempa bumi bermagnitudo M ≥ 6 di wilayah Aceh hingga Sumatera Barat menunjukkan keterkaitan yang kuat dengan kondisi tektonik regional Sumatera yang dikontrol oleh dua sistem utama, yaitu sistem Sesar Sumatera di daratan dan zona subduksi Indo-Australia di lepas pantai barat Sumatera. Hasil pemetaan episenter gempa bumi (Gambar 3) memperlihatkan bahwa kejadian gempa tersebar mengikuti jalur memanjang baratlaut–tenggara yang sejajar dengan Pegunungan Bukit Barisan, serta terakumulasi di zona megathrust Sumatera di bagian barat wilayah penelitian. Pola ini sejalan dengan penelitian (Azmi, 2024) dengan metode gravitasi dengan *slicing second vertical derivative* di Danau Toba yang menyatakan bahwa hasil *slicing* di daratan berjenis sesar mendatar (*strike-slip fault*) dan ketika mendekati wilayah laut berjenis sesar naik (*reverse fault*).

Distribusi kedalaman hiposenter yang bervariasi dari gempa dangkal hingga menengah menunjukkan perbedaan mekanisme deformasi kerak bumi antara wilayah daratan dan wilayah subduksi. Gempa dangkal umumnya berasosiasi dengan aktivitas Sesar Sumatera dalam rentang 30-40 km, sedangkan gempa

menengah hingga dalam berkaitan dengan aktivitas seismo-tektonik zona subduksi dekat dengan Palung Sumatera. (Lestari, 2022).

Region I (Gambar 4), yang mencakup wilayah lepas pantai barat Aceh dan sebagian Sumatera Utara, dominasi mekanisme sesar naik (*reverse fault*) menunjukkan pengaruh kuat gaya kompresi akibat aktivitas subduksi. Mekanisme ini merupakan karakteristik utama zona megathrust Sumatera, yang dikenal sebagai sumber gempa besar dan tsunami, seperti peristiwa gempa Aceh tahun 2004. Temuan ini konsisten dengan hasil analisis perbandingan mekanisme fokal berbasis data *Global Centroid Moment Tensor* (GCMT) dan JokoTingkir, yang menunjukkan bahwa gempa-gempa besar di zona subduksi Sumatera didominasi oleh mekanisme patahan naik (Tsani, 2024). Keberadaan beberapa mekanisme *strike-slip* dan *oblique fault* pada region ini mengindikasikan kompleksitas deformasi akibat interaksi antara subduksi dan sistem sesar regional.

Region II (Gambar 5) menunjukkan variasi mekanisme fokal yang relatif beragam, meliputi *strike-slip fault, normal fault, reverse fault,* dan *oblique fault*. Variasi ini mencerminkan zona transisi tektonik antara pengaruh Sesar Sumatera di daratan dan pengaruh subduksi di lepas pantai. Keberadaan mekanisme sesar turun (*normal fault*) mengindikasikan adanya regangan lokal yang dipicu oleh reaktivasi struktur lama atau redistribusi tegangan regional. Pola ini sejalan dengan penelitian Lubis (2023) yang menyatakan bahwa Sesar Sumatera di wilayah Tapanuli Utara memiliki penurunan stress batuan sebesar 0 hingga -0,2 bar dengan arah timur laut, timur ke tenggara, selatan, dan barat ke barat laut.

Pada Region III (Gambar 6), dominasi mekanisme sesar naik dengan jumlah kejadian yang signifikan menegaskan peran zona megathrust Sumatera sebagai sumber utama gempa bumi bermagnitudo besar di wilayah ini. Mekanisme *oblique fault* yang teridentifikasi pada beberapa kejadian menunjukkan adanya kombinasi gaya kompresi dan geser, yang mencerminkan deformasi oblique akibat arah penunjaman yang tidak tegak lurus terhadap garis pantai Sumatera. Kondisi ini sesuai dengan model deformasi oblique subduction yang diusulkan oleh Lestari (2022), dimana sebagian gaya geser dialihkan ke sistem sesar daratan seperti Sesar Sumatera.

Region IV (Gambar 7) memperlihatkan dominasi mekanisme sesar naik dengan kehadiran mekanisme *oblique* dalam jumlah lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh gaya kompresi akibat subduksi masih dominan meskipun wilayah ini relatif lebih dekat ke daratan. Transmisi tegangan dari zona penunjaman ke bagian kerak dangkal mengindikasikan keterkaitan erat antara aktivitas subduksi dan deformasi regional di Sumatera bagian Barat, sebagaimana juga ditunjukkan oleh analisis mekanisme fokal regional berbasis data GCMT (Tsani, 2024).

Secara keseluruhan, hasil analisis mekanisme fokal dari keempat region menunjukkan bahwa sesar geser mendatar (*strike-slip fault*) mendominasi wilayah daratan yang berasosiasi dengan sistem Sesar Sumatera, sedangkan sesar naik (*reverse fault*) lebih dominan di wilayah lepas pantai yang berasosiasi dengan zona megathrust Sumatera. Arah slip yang teridentifikasi mencerminkan perbedaan rezim tegasan, yaitu dominasi tegangan geser pada Sesar Sumatera dan dominasi tegangan kompresi pada zona subduksi. Pola ini konsisten dengan hasil penelitian terdahulu di wilayah Aceh–Sumatera Barat dan memperkuat pemahaman mengenai dinamika tektonik regional (Rachmawati, 2014).

Implikasi dari hasil penelitian ini sangat penting dalam konteks mitigasi bencana gempa bumi. Identifikasi jenis patahan dan arah slip pada gempa bermagnitudo besar memberikan dasar yang kuat dalam pemodelan bahaya seismik dan perencanaan mitigasi, khususnya di wilayah pesisir barat Sumatera yang rawan gempa besar dan tsunami.

D. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa analisis mekanisme fokal menggunakan data *Global Centroid Momen Tensor* (GSMT) mampu mengungkap karakteristik mekanisme fokal gempa bumi bermagnitudo $M \geq 6$ di wilayah Aceh hingga Sumatera Barat secara efektif. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa

mekanisme sesar geser mendatar *(strike-slip fault)* mendominasi wilayah daratan yang berasosiasi dengan Sistem Sesar Sumatera, sedangkan mekanisme sesar naik *(reverse fault)* lebih dominan pada wilayah lepas pantai barat Sumatera yang berkaitan dengan zona megathrust Indo-Australia. Variasi mekanisme fokal pada beberapa region menunjukkan adanya deformasi *oblique* akibat interaksi antara sistem subduksi dan sesar daratan. Pola sebaran mekanisme ini konsisten dengan model tektonik regional Sumatera dan menegaskan peran ganda Sesar Sumatera dan zona subduksi sebagai pengontrol utama aktivitas seismik di wilayah penelitian. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam memahami dinamika seismotektonik regional serta dapat dijadikan dasar dalam pengembangan pemodelan bahaya gempa bumi dan upaya mitigasi bencana di wilayah Aceh–Sumatera Barat.

E. DAFTAR PUSTAKA

Azmi, M. L. (2024). Analisis Sesar Sekitar Wilayah Danau Toba Berdasarkan Data Anomali Gravitasi. *Buletin Meteorologim Klimatologi, dan Geofiiska,* 29-38.

Gudmundsson, A. (2020). Volcanotectonics, Univesity of London: *Royal Halloway.*

Hasan, M. M. (2014). Analisa Pola Bidang Sesar Pada Zona Subduksi Di Wilayah Sumatera Barat Dari Event Gempa Pada Tahun 2013. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 11-14.https://doi.org/10.12962/j23373520.v3i1.5717

Kasmolan, M. D. (2010). Earthquake Source Parameters At The Sumatran Fault Zone : Identification Of The Activity Fault Plane. *Journal of Geosciences*, 455-474. https://doi.org/10.2478/v10085-010-0016-5

Lemenkova, P. (2022). Seismic Moment Tensor Solution For Geophysical Mapping Of The Philippine Sea Basin By Gmt. *Romanian Reports in Physics*, 1-20. https://doi.org/10.5281/zenodo/7064200

Lestari, N. I. D., & Madlazim. (2022). Analisis Seismisitas dan Potensi Bahaya Sesimik Pulau Sumatera Berdasarkan Data Gempa 1970-2020. *Jurnal Inovasi Fisika Indoneisa,* 11(2), 1-11.https://doi.org/10.26740/ifi.v11n02.p1-11.

Lestari, M. P. (2023). Penggunaan Software Gmt 6 Dan Python Untuk Menampilkan Peta Seismisitas Dan Menghitung Besar Sudut Subduksi Di Pulau Jawa. *Jurnal Stasiun Geofisika Sleman*, 19-24.

Lubis, L. H., Faradila, F. H., Christopel, H. S., & Mira, H. G. (2023). Analisis Perubahan Coulomb Stress Gempabumi Mw 5.8 di Kabupaten Tapanuli Utara 1 Oktober 2022. *Jurnal Teras Fisika,* 6(2), 1-6. https://doi.org/10.20884/1.jtf.2023.6.2.8370.

Pramesti, N. D. (2024). Analisis Centroid Moment Tensor (Cmt) Menggunakan Time Domain Moment Tensor (Tdmt) Untuk Gempa Bumi Di Wiilayah Banten Dan Sekitarnya. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 50-59. https://doi.org/10/26740/ifi.v13n3.p50-59

Rachmawati, L. E. (2014). Estimasi Moment Tensor Dan Pola Bidang Sesar Pada Zona Subduksi Di Wilayah Sumatera Barat Periode 2012-2014. *Skripsi.* Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.

Putri, Zakiah, S. D. (2024). Analisis Momen Tensor Dan Mekanisme Fokal Gempa Di Sumatera Barat Menggunakan Metode Inversi Waveform. *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 8-18.https://doi.org/10.24252/jft.v11i1.42926

Tsani, E. S., Madlazim, & Fahmi, M. N. (2024). Analisis Perbandingan Solusi Centroid Moment Tensor (CMT) Gempabumi Secara Real-Time dan Otomatis di Wilayah Sumatera Menggunakan Metode Gisola Pada Software JokoTingkir. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia, 13(1), 34-42.* https://doi/org/10.26740/ifi.v13n1.