

KARAKTERISTIK GELOMBANG GEMPA BERSUMBER CRUST DAN INTERFACE

Alif Ahmad Al Shaleh¹, Rusnardi Rahmat Putra²

^{1,2}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: alifahmadalshaleh96@gmail.com

Abstrak: Gempa yang berasal dari zona subduksi dan Patahan Sumatra memiliki karakteristik tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik gelombang gempa yang bersumber dari zona kerak (*crust*) dan zona antarmuka (*interface*) di wilayah Pulau Sumatra. Berdasarkan data akselerasi tanah yang direkam oleh sensor akselerograf pada periode 2008-2018 yang terpasang di lima lokasi. Sebanyak 52 gempa crust dianalisis terdiri dari EQ1-EQ52 dan 24 gempa interface terdiri dari EQ-EQ24. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gempa zona kerak (*crust*) memiliki nilai PGA rata-rata 7 Gal untuk komponen horizontal dan 6 Gal untuk komponen vertikal, kandungan frekuensi rata-rata 3,2 dengan periode rata-rata 0,5 detik untuk komponen horizontal dan 3,6 Hz dengan periode rata-rata 0,6 detik untuk komponen vertikal. Nilai PSA rata-rata 0,0253 g memiliki amplitudo tinggi dengan periode dominan 0,3 detik. Parameter *arias intensity* rata-rata 0,0015 m/s untuk komponen horizontal dan 0,0016 m/s untuk komponen vertikal. Gempa zona antarmuka (*interface*) memiliki nilai PGA rata-rata 11 Gal untuk komponen horizontal dan 12 Gal untuk komponen vertikal, kandungan frekuensi rata-rata 3,5 dengan periode rata-rata 0,5 detik untuk komponen horizontal dan 4 Hz dengan periode rata-rata 0,6 detik untuk komponen vertikal. Nilai PSA rata-rata 0,0415 g memiliki amplitudo tinggi dengan periode dominan 0,4 detik. Parameter *arias intensity* rata-rata 0,0041 m/s untuk komponen horizontal dan 0,0042 untuk komponen vertikal.

Kata Kunci : Gempa *Crust*, Gempa *Interface*, *Peak Ground Acceleration*, Frekuensi, *Arias Intensity*

Abstract : The earthquakes originating from the subduction zone and the Sumatra Fault exhibit specific characteristics. This study aims to analyze the characteristics of seismic waves originating from the crustal zone and the interface zone in the Sumatra region. Based on ground acceleration data recorded by accelerograph sensors from 2008 to 2018 at five locations, a total of 52 crustal earthquakes (EQ1–EQ52) and 24 interface earthquakes (EQ1–EQ24) were analyzed. The results indicate that crustal earthquakes have an average PGA (Peak Ground Acceleration) of 7 Gal for the horizontal component and 6 Gal for the vertical component. The average frequency content is 3.2 Hz with an average period of 0.5 seconds for the horizontal component, and 3.6 Hz with an average period of 0.6 seconds for the vertical component. The average PSA (Pseudo Spectral Acceleration) is 0.0253 g, with high amplitude at a dominant period of 0.3 seconds. The average Arias intensity is 0.0015 m/s for the horizontal component and 0.0016 m/s for the vertical component. Interface earthquakes exhibit an average PGA of 11 Gal for the horizontal component and 12 Gal for the vertical component. The average frequency content is 3.5 Hz with an average period of 0.5 seconds for the horizontal component, and 4 Hz with an average period of 0.6 seconds for the vertical component. The average PSA is 0.0415 g, with high amplitude at a dominant period of 0.4 seconds. The average Arias intensity is 0.0041 m/s for the horizontal component and 0.0042 m/s for the vertical component.

Keyword : Crustal Earthquake , Interface Earthquake, Peak Ground Acceleration, Frequency, Arias Intensity

PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia terletak di antara 6° Lintang Utara - 11° Lintang Selatan serta 95° Bujur Timur - 141° Bujur Timur. Indonesia merupakan salah satu dari beberapa negara yang berada di kawasan zona seismik Asia Tenggara, dan Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki aktivitas seismik teraktif di dunia (Husna *et al.*, 2022). Kondisi tektonik Indonesia yang terletak di persimpangan antara pertemuan lempeng besar dunia serta beberapa lempeng kecil atau *microblocks* (Bird, 2003), menjadikan wilayah ini sangat rentan terhadap berbagai kejadian gempa bumi. Indonesia dikelilingi oleh empat lempeng utama, yaitu Lempeng Benua Eurasia, Lempeng Samudra Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Samudra Pasifik. Pertemuan lempeng-lempeng tersebut menjadikan Indonesia menjadi cincin api (*ring of-fire*).

Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), 6 dari 25 wilayah yang rawan gempa bumi di Indonesia berada di Pulau Sumatera diantaranya yaitu Aceh, Jambi, Bengkulu, Lampung, Sumatera Barat, dan Sumatera Utara. Menurut Pusat Studi Gempa Nasional (2017) Pulau Sumatra adalah bagian dari Lempeng Eurasia yang bergerak dan berinteraksi secara konvergen dengan Lempeng Indo-Australia. Tempat dimana dua lempeng ini bertemu membentuk palung yang disebut zona tumbukan (*subduction zone*). Palung ini mengakomodasikan pergerakan lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara terhadap lempeng Eurasia ke arah selatan.

Aktivitas tektonik di daerah Sumatra dipengaruhi oleh dua sumber tektonik, yaitu *crustal fault* dan *subduction*. Kedua sumber tektonik tersebut dapat mengakibatkan terjadinya gempa yang datang secara tiba-tiba tanpa adanya waktu yang tidak dapat ditentukan. Patahan Sumatra atau zona subduksi menghasilkan tingkat gempa tahunan yang tinggi dan banyak gempa besar yang terjadi di kedalaman dangkal.

Gempa bumi kerak dangkal (*shallow crustal earthquake*) merupakan zona dengan kedalaman kurang dari 30 km yang terkait dengan sumber gempa yang disebabkan oleh aktivitas sesar di dalam kerak bumi (Soehaimi, 2008). *Shallow crustal earthquake* ini juga terjadi sampai di daerah *stable plate continent* yang bukan daerah *fault* (Pawirodikromo, 2012). Gempa bumi yang terjadi pada patahan kerak dangkal (*shallow crustal fault*) menghasilkan gelombang seismik yang dapat mentransfer energi dengan efisiensi tinggi ke permukaan. Hal ini sering menyebabkan gerakan

tanah yang lebih kuat dibandingkan gempa yang lebih dalam. Menurut Kramer (1996) menyebutkan bahwa karakteristik gempa dangkal membuat amplitudo gelombang lebih besar, sehingga menghasilkan dampak yang signifikan di wilayah dekat permukaan. Gempa bumi kerak dangkal (*shallow crustal earthquake*) sering kali memiliki kandungan frekuensi lebih tinggi atau memiliki periode yang lebih pendek dibandingkan dengan gempa zona subduksi (Pawirodikromo, 2012). Hal ini disebabkan oleh energi frekuensi tinggi yang dihasilkan gempa lebih cepat *teratenuasi* (melemah) saat bergerak melalui lapisan kerak bumi sehingga tidak merambat jauh dari sumbernya. Selain itu, Gempa bumi kerak dangkal (*shallow crustal earthquake*) juga cenderung memiliki durasi yang singkat karena energi frekuensi tinggi gempa ini menghilang lebih cepat dibandingkan dengan energi frekuensi rendah yang menjadi karakteristik gempa yang lebih dalam atau gempa zona subduksi (Lay dan Wallace, 1995).

Gempa antarmuka (*Interface*) merupakan gempa yang terjadi pada zona kontak patahan (*fault*) dan batas lempeng *plate (boundaries)*. Gempa *Interface* memiliki Frekuensi kejadian (*occurrence*) lebih sering, patahan gempa umumnya lebih Panjang, episenter umumnya lebih dalam dan magnitudo gempa umumnya lebih besar (Pawirodikromo, 2012). Gempa antarmuka (*interface*) terjadi pada zona subduksi yang disebabkan oleh pertemuan antara dua jenis lempeng, yaitu lempeng samudera dengan lempeng benua, atau lempeng samudera dengan lempeng samudera. Kertapati (2006) menyebutkan gempa antarmuka (*Interface*) atau lebih dikenal dengan *megathrust*, gempa ini memiliki sudut tukik yang landai dan gempa ini terjadi di zona subduksi dengan kedalaman antara 30 – 50 km.

Terdapat lima stasiun akselerograf yang dipasang di wilayah Sumatra Barat sejak tahun 2008 oleh *Engineers Without Borders Japan (EWBJ)*, yang mencakup empat lokasi di Kota Padang dan satu di Bukittinggi. Stasiun-stasiun ini menyediakan data selama kejadian gempa, yang sangat berharga untuk analisis zona kerak (*crust*) dan antarmuka (*interface*). Rekaman akselerograf ini dapat digunakan untuk menghitung parameter seperti amplitudo, frekuensi dominan, periode, intensitas Arias, serta karakteristik rambatan gelombang pada kedua zona tersebut.

METODE PENELITIAN

Rekaman gempa diperoleh dari alat *Intelligent Earthquake Sensor SES60* berupa file *waveform* meliputi nilai percepatan tanah dan waktu. Sensor

akselerograf tidak menginformasikan data lain yang diperlukan, untuk mengetahui informasi data gempa lainnya perlu menggunakan katalog gempa bumi *United States Geological Survey* (USGS) yang dapat diakses oleh publik melalui website <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> di katalog *United States Geological Survey* (USGS) dapat dipilih rentang waktu dan daerah yang diinginkan. Selanjutnya kita perlu menyamakan waktu kejadian gempa, perlu diperhatikan bahwa waktu kejadian gempa pada katalog ini menggunakan satuan UTC, sedangkan waktu pada rekaman akselerograf merupakan waktu lokal atau WIB (UTC+7).

Penelitian ini menggunakan data rekaman akselerograf dari lima stasiun pemantauan di Sumatra Barat. Data yang dianalisis mencakup periode 2008-2018. Parameter yang dianalisis

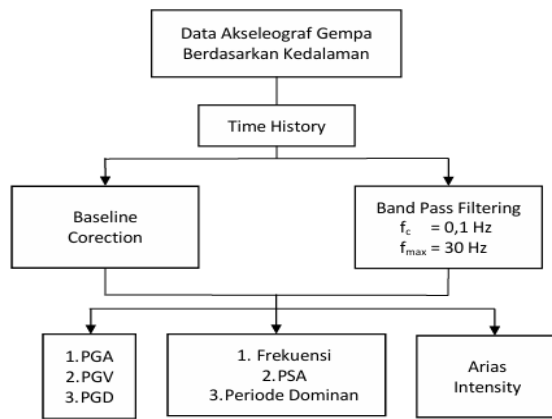
meliputi amplitudo, kandungan frekuensi, dan *arias intensity*. Rekaman gempa diproses menggunakan program Seismosignal dan matlab, di mana *baseline correction* dan *band pass filtering* diterapkan untuk menghilangkan *noise* latar. Nilai amplitudo, kandungan frekuensi, dan *arias intensity* diperoleh dari *output* program. Analisis spektrum dilakukan berdasarkan konsep *Fast Fourier Transform* (FFT) dengan formula yang diusulkan oleh Bracewell (2000).

$$X(k) = \sum_{n=1}^n x(n) e^{\frac{-2\pi i}{N}(n-1)(k-1)} \quad \dots(1)$$

Pada **Table 1.** menyajikan parameter, formulasi dan satuan yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan persamaan oleh Rajaram dan Kumar (2023). **Gambar 1.** merupakan diagram alir penelitian ini.

Table 1. Parameter dan Formulasi Ground Motion

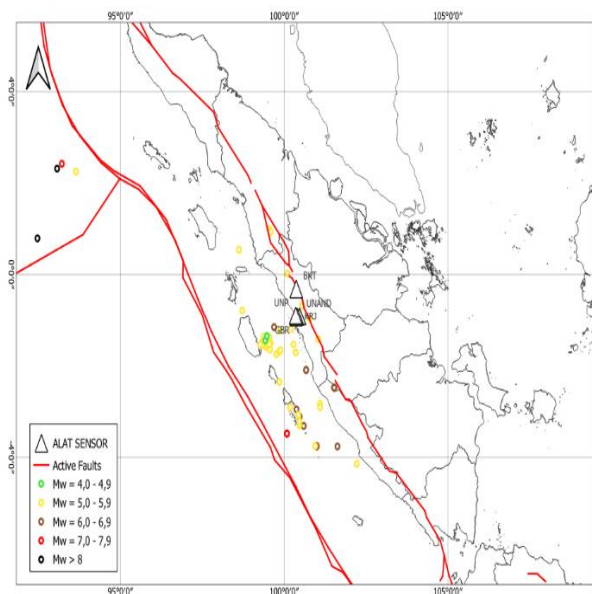
Parameter Ground Motion	Definisi/Formulasi	Karakteristik	Satuan	Pers.
Peak Ground Acceleration (PGA)	$PGA = \max a(t) $	Amplitudo	Gal	(2)
Peak Ground Velocity (PGV)	$PGV = \max v(t) $	Amplitudo	cm/s	(3)
Peak Ground Displacement (PGD)	$PGD = \max d(t) $	Amplitudo	cm	(4)
Peak Frequency (f)	Frekuensi saat spektrum fourier memiliki nilai maksimum.	Kandungan frekuensi	Hz	(5)
Peak Period (T)	$T = \frac{1}{f}$	Kandungan frekuensi	s	(6)
Peak Spectral Acceleration (PSA)	Nilai maksimum spektrum akselerasi dengan faktor damping 5%.	Kandungan frekuensi	g	(7)
Predominant Period (T_p)	Periode saat spektrum akselerasi memiliki nilai maksimum.	Kandungan frekuensi	s	(8)
Arias Intensity (I_A)	$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{120} [a(t)^2] dt$	Amplitudo, kandungan frekuensi durasi	Cm/s	(9)



Gambar 1. Diagram alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

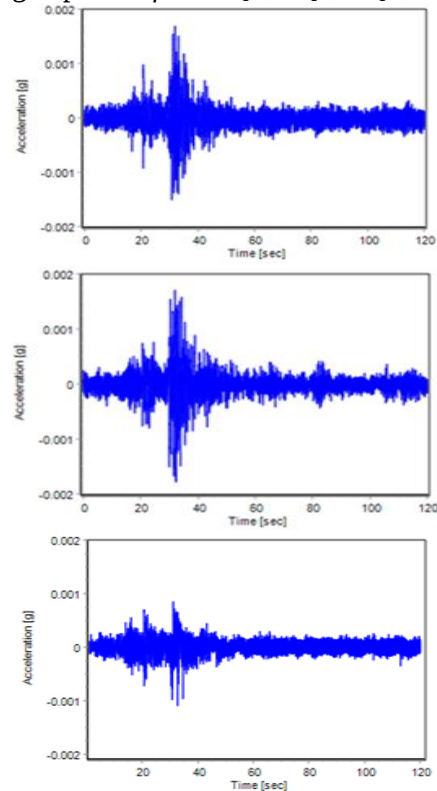
Berdasarkan data akselerasi tanah yang direkam oleh sensor akselerograf terdapat indikasi seismik aktif di *Subduction zone* dan *fault zone* pulau sumatera yang data bacaanya berupa *waveform*. Berdasarkan hasil plot kedalaman gempa dari 100 kejadian gempa selama periode 2008 – 2018. Ditemukan 52 data gempa *crust* dengan kedalaman < 30 km dan 24 data gempa *interface* dengan kedalaman 30 – 50 km. Gempa gempa yang diidentifikasi memiliki mangnitude > 4. peta sebaran episenter gempa dan sensor akselerograf dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta Episenter Crust dan Interface

Sensor akselerograf tanah merekam pergerakan saat terjadi gempa dalam bentuk percepatan atau akselerasi yang di ukur dalam tiga arah utama, yaitu *East-West*, *North South*, dan *Up-Down* (komponen x, y, dan z). Grafik dibawah ini menunjukkan data time history gempa *crust* dan *interface* pada periode 2008-2018 dimana sumbu vertikal sebagai nilai percepatan dalam satuan gravitasi (1 g = 980 Gal) sementara sumbu horizontal menunjukkan durasi rekaman hingga 120

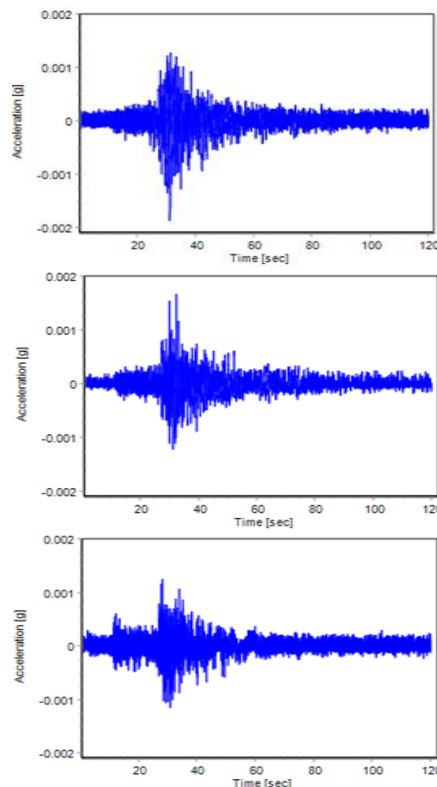
detik. Berikut adalah gambar history rekaman gempa *crust* EQ5, EQ21, EQ27, EQ49, EQ52 dan gempa *interface* EQ1, EQ2, EQ9, EQ14, EQ22.



(a) Komponen X
Komponen Y
(c) Komponen Z

(b)

Gambar 3. Time History crust EQ 5

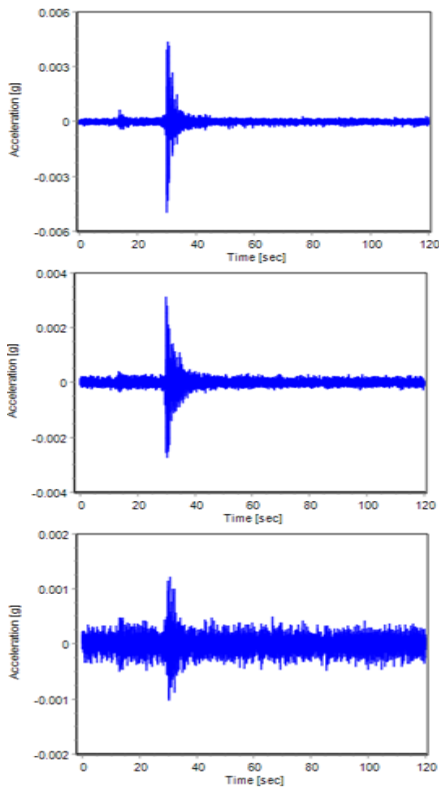


(a) Komponen X

(b)

Komponen Y
(c) Komponen Z

Gambar 4. Time History crust EQ 21

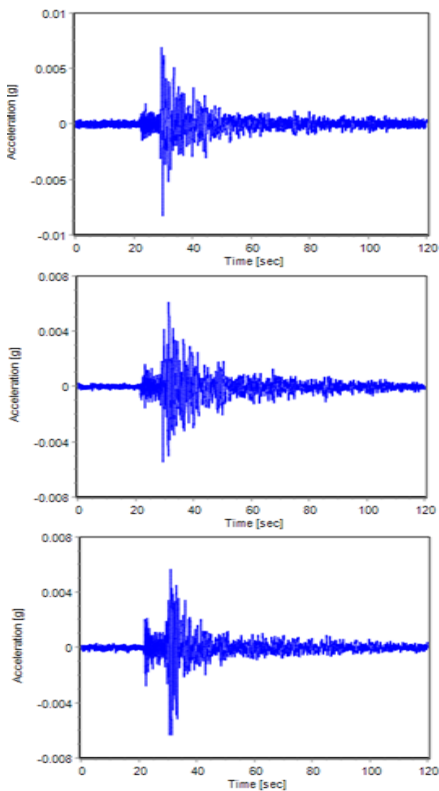


(a) Komponen X

(b)

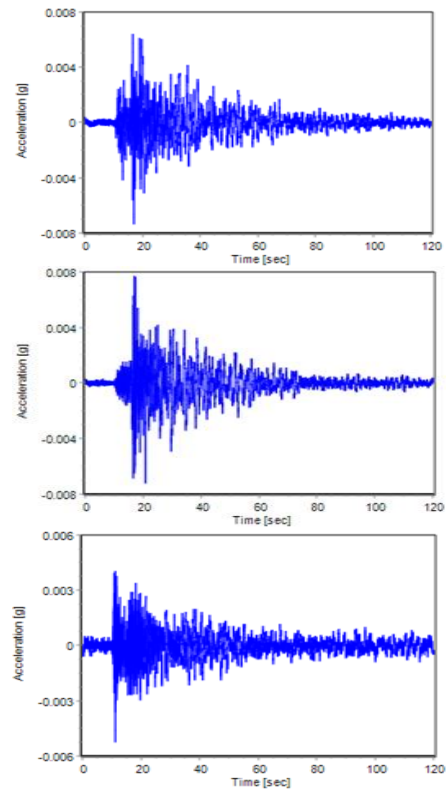
Komponen Y
(c) Komponen Z

Gambar 5. Time History crust EQ 27



(a) Komponen X
Komponen Y
(c) Komponen Z

Gambar 6. Time History crust EQ 49

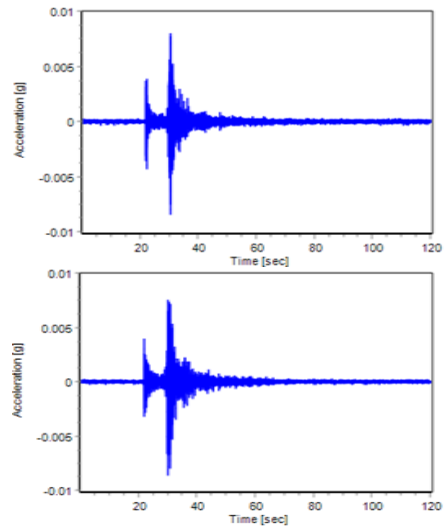


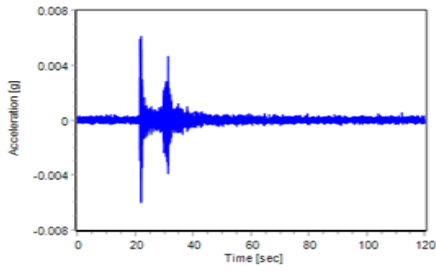
(a) Komponen X

(b)

Komponen Y
(c) Komponen Z

Gambar 7 Time History crust EQ 52



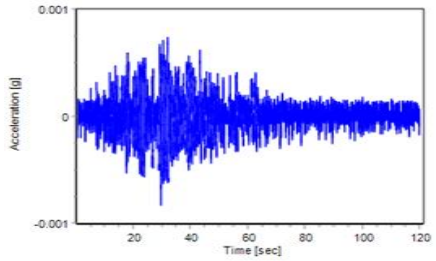


(a) Komponen X

Komponen Y

(c) Komponen Z

Gambar 8. Time History Interface EQ1

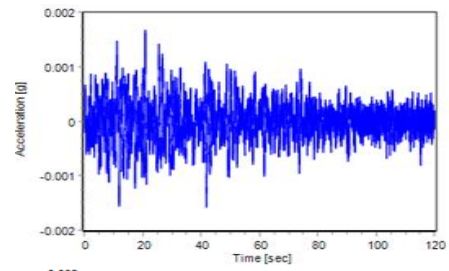
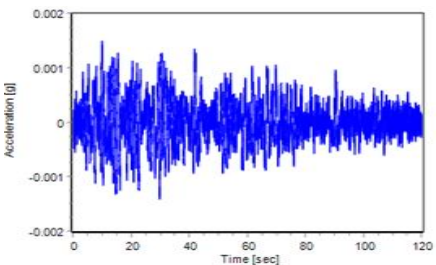


(a) Komponen X

Komponen Y

(c) Komponen Z

Gambar 9. Time History Interface EQ2

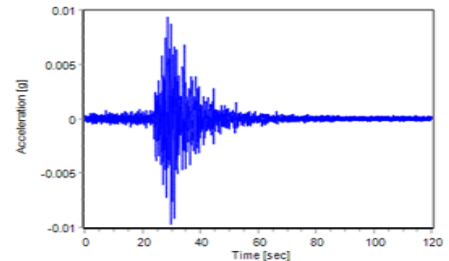


(a) Komponen X

Komponen Y

(c) Komponen Z

Gambar 10. Time History Interface EQ 9

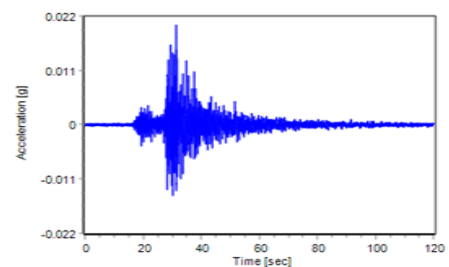


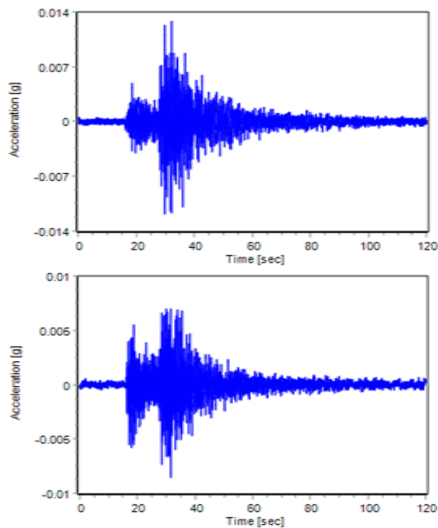
(a) Komponen X

Komponen Y

(c) Komponen Z

Gambar 11. Time History Interface EQ 14





(a) Komponen X

(b)

Komponen Y

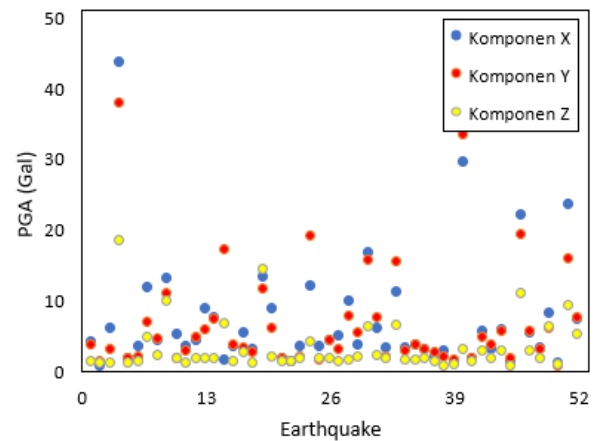
(c) Komponen Z

Gambar 12. Time History Interface EQ 22Amplitudo

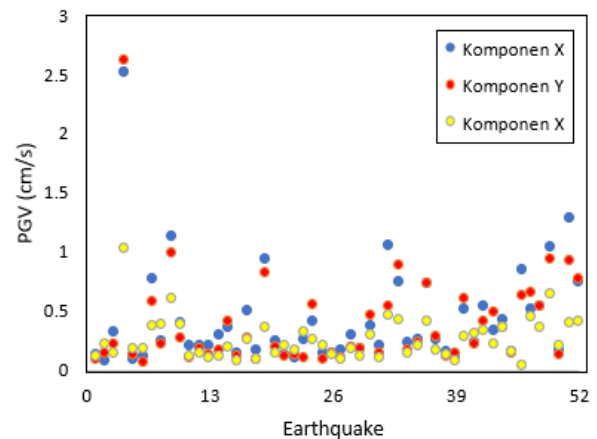
Nilai PGA gempa *crust* berada pada, komponen x $0,686 - 44,59 \text{ cm/s}^2$ dengan rata-rata 7 cm/s^2 , komponen y $0,686 - 37,92 \text{ cm/s}^2$ dengan rata-rata $6,6 \text{ cm/s}^2$, komponen z $0,58 - 18,32 \text{ cm/s}^2$ dengan rata-rata $3,14 \text{ cm/s}^2$, sementara nilai PGA gempa *interface* berada pada komponen x $0,686 - 83,4 \text{ cm/s}^2$ dengan rata-rata $11,66 \text{ cm/s}^2$, komponen y $0,5 - 60 \text{ cm/s}^2$ dengan rata-rata $12,87 \text{ cm/s}^2$, komponen z $0,5 - 35,9 \text{ cm/s}^2$ dengan rata-rata 5 cm/s^2 .

Nilai PGV gempa *crust* berada pada, komponen x $0,072 - 2,51 \text{ cm/s}$ dengan rata-rata $0,45 \text{ cm/s}$, komponen y $0,06 - 2,61 \text{ cm/s}$ dengan rata-rata $0,37 \text{ cm/s}$, komponen z $0,028 - 1,02 \text{ cm/s}$ dengan rata-rata $0,25 \text{ cm/s}$, sementara nilai PGV gempa *interface* berada pada komponen x $0,078 - 4,36 \text{ cm/s}$ dengan rata-rata $0,6 \text{ cm/s}$, komponen y $0,074 - 4,41 \text{ cm/s}$ dengan rata-rata $0,59 \text{ cm/s}$, komponen z $0,08 - 1,48 \text{ cm/s}$ dengan rata-rata $0,34 \text{ cm/s}$.

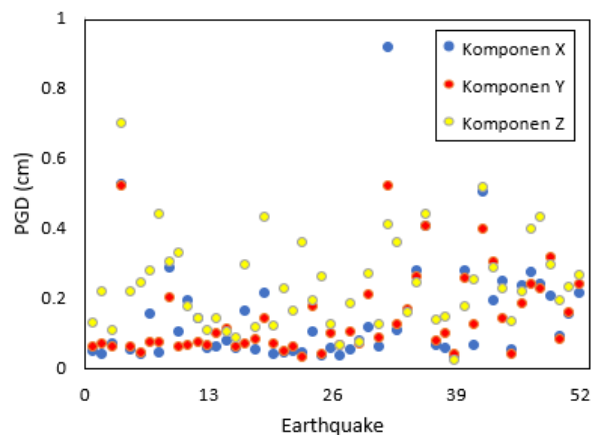
Nilai PGD gempa *crust* berada pada, komponen x $0,03 - 0,9 \text{ cm}$ dengan rata-rata $0,16 \text{ cm}$, komponen y $0,03 - 0,52 \text{ cm}$ dengan rata-rata $0,15 \text{ cm}$, komponen z $0,02 - 0,7 \text{ cm}$ dengan rata-rata $0,23 \text{ cm}$, sementara nilai PGD gempa *interface* berada pada komponen x $0,035 - 0,62 \text{ cm}$ dengan rata-rata $0,17 \text{ cm}$, komponen y $0,024 - 0,83 \text{ cm}$ dengan rata-rata $0,2 \text{ cm}$, komponen z $0,07 - 0,5 \text{ cm}$ dengan rata-rata $0,26 \text{ cm}$. Berikut merupakan grafik distribusi nilai-nilai amplitudo gempa *crust* dan *interface* berdasarkan kejadian gempanya.



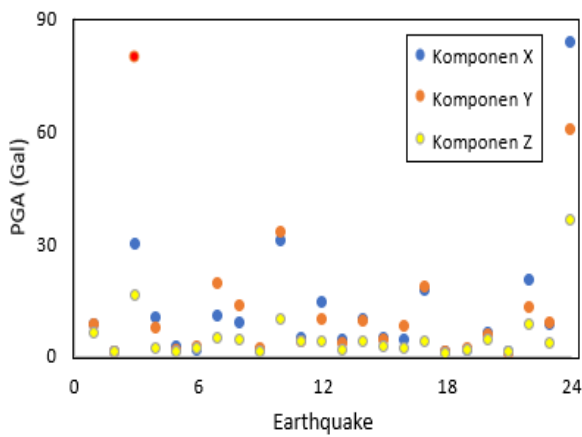
Gambar 13. Distribusi Nilai PGA Crust



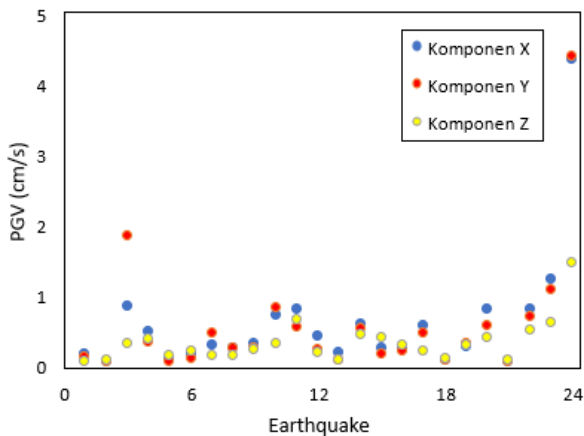
Gambar 14. Distribusi Nilai PGV Crust



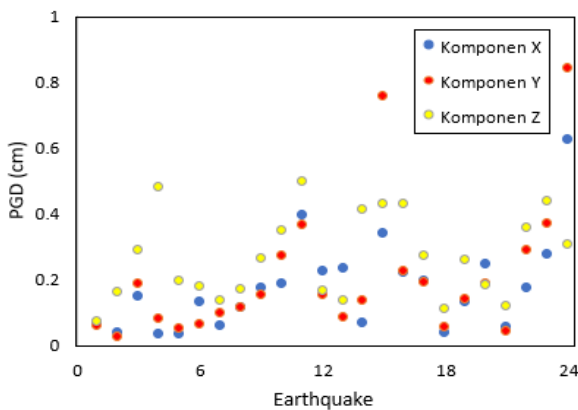
Gambar 15. Distribusi Nilai PGD Crust



Gambar 16. Distribusi Nilai PGA Interface



Gambar 17. Distribusi Nilai PGV Interface



Gambar 18. Distribusi Nilai PGD Interface

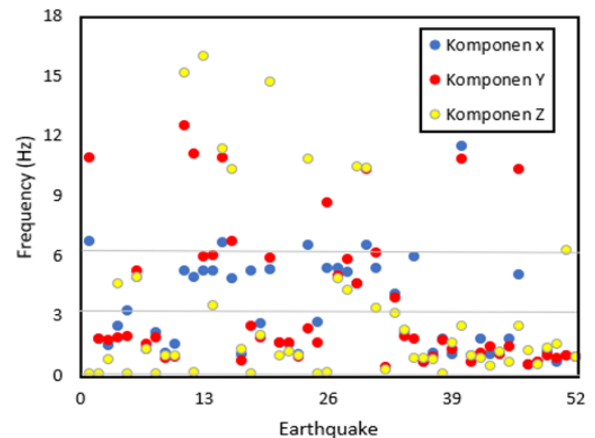
Kandungan Frekuensi

Gempa *crust* komponen x memiliki rata-rata frekuensi 3,2 Hz dengan standar deviasi $\pm 2,3$ pada periode rata-rata 0,56 detik dengan standar deviasi $\pm 0,5$, komponen y memiliki rata-rata frekuensi 3,6 Hz dengan standar deviasi $\pm 3,5$ pada periode rata-rata 0,6 detik dengan standar deviasi $\pm 0,5$, komponen z memiliki rata-rata frekuensi 3,2 Hz dengan standar deviasi $\pm 4,2$ pada periode rata-rata 0,25 detik dengan standar deviasi $\pm 0,24$.

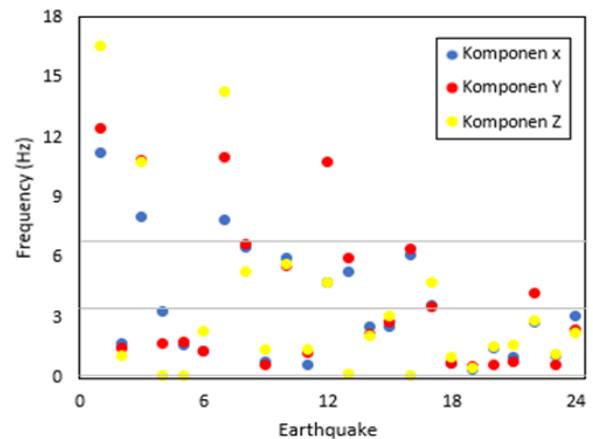
Gempa *interface* komponen x memiliki rata-rata frekuensi 3,5 Hz dengan standar deviasi $\pm 2,8$ pada periode rata-rata 0,57 detik dengan standar

deviasi $\pm 0,53$, komponen y memiliki rata-rata frekuensi 4 Hz dengan standar deviasi $\pm 3,8$ pada periode rata-rata 0,6 detik dengan standar deviasi $\pm 0,53$, komponen z memiliki rata-rata frekuensi 3,5 Hz dengan standar deviasi $\pm 4,3$ pada periode rata-rata 1,6 detik dengan standar deviasi $\pm 2,4$.

Hasil analisis domain frekuensi menunjukkan bahwa gempa *crust* dan *interface* memiliki kandungan frekuensi tinggi (>1 Hz) dengan periode pendek ($<0,5$ s). Berikut merupakan grafik distribusi nilai frekuensi gempa *crust* dan *interface* dan standar deviasinya berdasarkan kejadian gempanya.



Gambar 19. Distribusi Nilai Frequency Crust



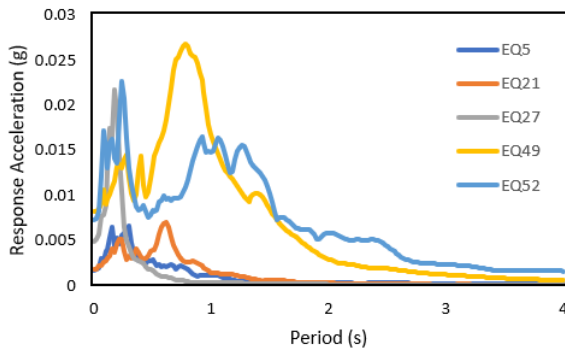
Gambar 20. Distribusi Nilai Frequency

Interface Respon spektrum menggambarkan hubungan antara nilai-nilai maksimum percepatan, kecepatan, atau perpindahan suatu struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF) terhadap periode getarnya akibat gempa. Salah satu parameter utama yang dianalisis adalah Peak Spectral Acceleration (PSA). Diagram di bawah ini menampilkan respon spektrum akselerasi dari gempa *crust* dan *interface* komponen x, y, dan z, dengan asumsi faktor damping struktural sebesar 5%. Pada grafik ini, sumbu vertikal menunjukkan nilai respon akselerasi dalam satuan gravitasi (g) ($1 \text{ Gal} = 0,00102 \text{ g}$), sementara sumbu horizontal menggambarkan periode getar struktur dalam satuan detik.

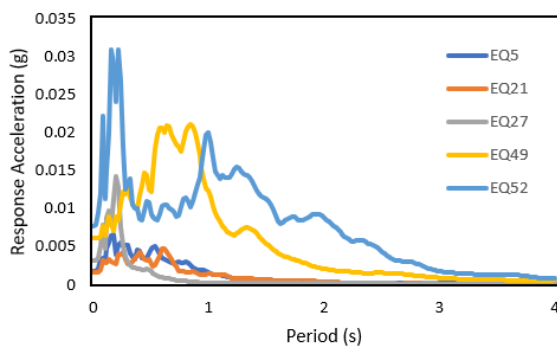
Nilai PSA gempa *crust* berada pada, komponen x 0,0013 – 0,461 g, komponen y 0,0031 – 0,131 g,

komponen z 0,0022 – 0,063 g, sementara nilai PSA gempa *interface* berada pada, komponen x 0,0007 – 0,0852 g, komponen y 0,0005 – 0,0613 g, komponen z 0,0005 – 0,0367 g.

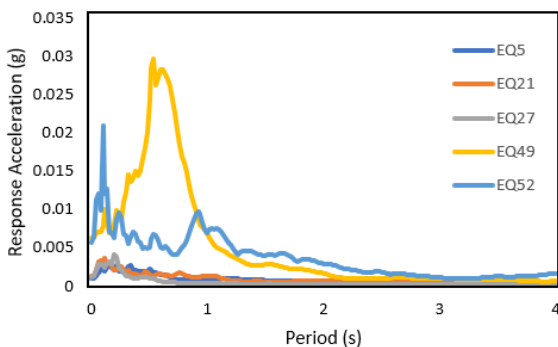
Gempa *crust* dan *interface* yang terjadi memiliki amplitudo tinggi pada periode getar rata-rata 0,3 detik dan nilainya hampir mendekati nol pada periode 1 detik. Berikut adalah gambar respon spektrum rekaman gempa *crust* EQ5, EQ21, EQ27, EQ49, EQ52 dan gempa *interface* EQ1, EQ2, EQ9, EQ14, EQ22.



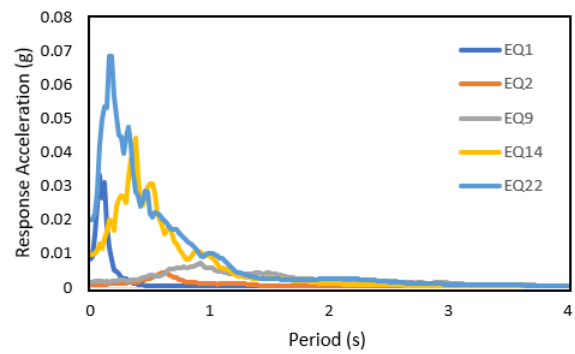
Gambar 21. Respon Spektrum *Crust* Komponen X



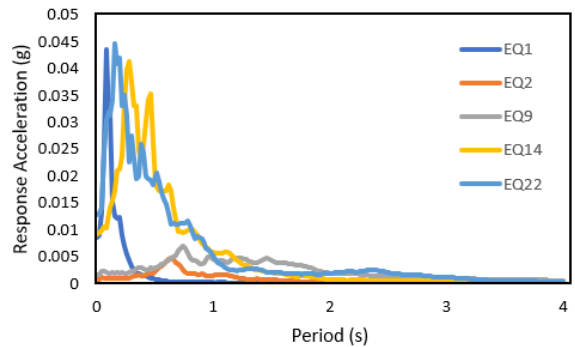
Gambar 22. Respon Spektrum *Crust* Komponen Y



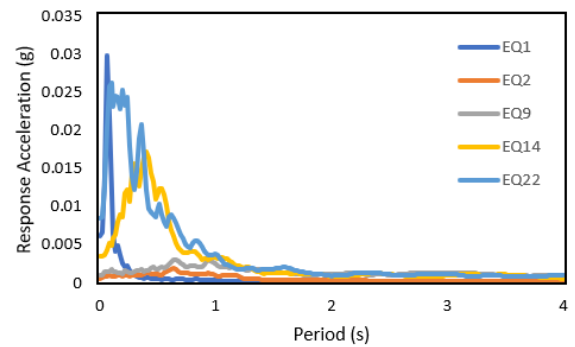
Gambar 23. Respon Spektrum *Crust* Komponen Z



Gambar 24. Respon Spektrum *Interface* Komponen X



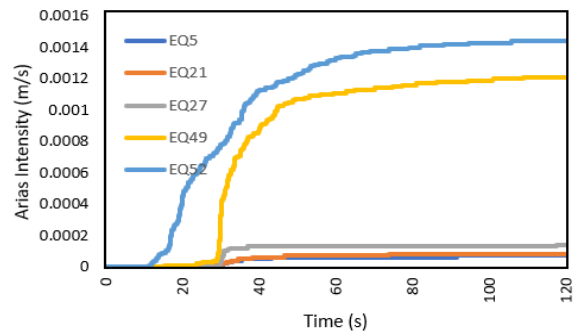
Gambar 25. Respon Spektrum *Interface* Komponen Y



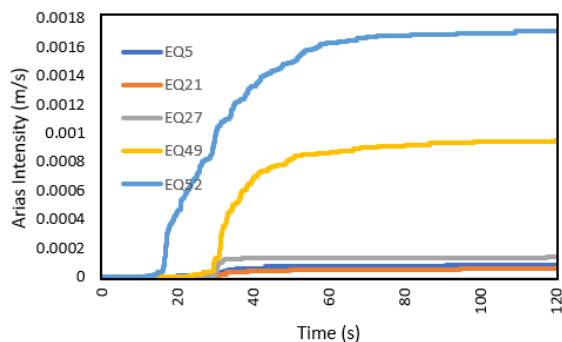
Gambar 26. Respon Spektrum *Interface* Komponen Z

Arias Intensity

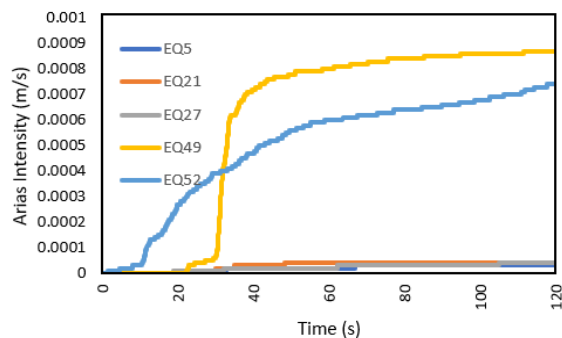
Parameter lainnya yang menyatakan karakteristik gempa dengan mempertimbangkan nilai-nilai amplitudo, kandungan frekuensi, dan durasi adalah *arias intensity* (I_A). Sumbu vertikal merupakan *arias intensity* dalam satuan cm/s dan sumbu horizontal merupakan rentang waktu dalam satuan detik.



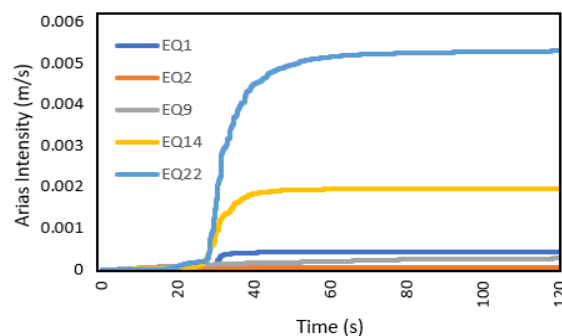
Gambar 27. Arias Intensity *Crust* Komponen X



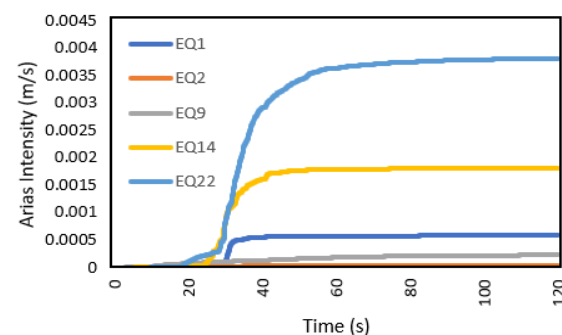
Gambar 28. Arias Intensity Crust Komponen Y



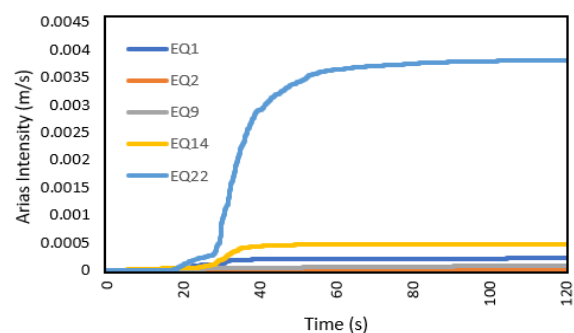
Gambar 29. Arias Intensity Crust Komponen Z



Gambar 30. Arias Intensity Interface Komponen X



Gambar 31. Arias Intensity Interface Komponen Y



Gambar 32. Arias Intensity Interface Komponen Z

Nilai *arias intensity* gempa *crust* berada pada, komponen x 0,002 – 3,3 cm/s dengan rata-rata 0,15 cm/s, komponen y 0,003 – 3,6 cm/s dengan rata-rata 0,16 cm/s, komponen z 0,002 – 0,32 cm/s dengan rata-rata 0,06 cm/s, sementara nilai *arias intensity* gempa *interface* berada pada komponen x 0,004 – 6,9 cm/s dengan rata-rata 0,41 cm/s, komponen y 0,003 – 6,3 cm/s dengan rata-rata 0,42 cm/s, komponen z 0,001 – 2,2 cm/s dengan rata-rata 0,14 cm/s.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis rekaman gempa *crust* dan *interface* yang berasal dari zona subduksi dan Patahan Sumatra dapat diamati bahwa kandungan gempa *crust* komponen x memiliki rata-rata frekuensi 3,2 Hz dengan standar deviasi $\pm 2,3$ pada periode rata-rata 0,56 detik dengan standar deviasi $\pm 0,5$, komponen y memiliki rata-rata frekuensi 3,6 Hz dengan standar deviasi $\pm 3,5$ pada periode rata-rata 0,6 detik dengan standar deviasi $\pm 0,5$, komponen z memiliki rata-rata frekuensi 3,2 Hz dengan standar deviasi $\pm 4,2$ pada periode rata-rata 0,25 detik dengan standar deviasi $\pm 0,24$. Gempa *interface* komponen x memiliki rata-rata frekuensi 3,5 Hz dengan standar deviasi $\pm 2,8$ pada periode rata-rata 0,57 detik dengan standar deviasi $\pm 0,53$, komponen y memiliki rata-rata frekuensi 4 Hz dengan standar deviasi $\pm 3,8$ pada periode rata-rata 0,6 detik dengan standar deviasi $\pm 0,53$, komponen z memiliki rata-rata frekuensi 3,5 Hz dengan standar deviasi $\pm 4,3$ pada periode rata-rata 1,6 detik dengan standar deviasi $\pm 2,4$. Nilai *arias intensity* gempa *crust* berada pada, komponen x rata-rata 0,15 cm/s, komponen y rata-rata 0,16 cm/s, komponen z rata-rata 0,06 cm/s, sementara nilai *arias intensity* gempa *interface* berada pada komponen x rata-rata 0,41 cm/s, komponen y rata-rata 0,42 cm/s, komponen z rata-rata 0,14 cm/s.

DAFTAR PUSTAKA

Bird, P. (2003). *An Updated Digital Model Of Plate Boundaries*. *Agu And The Geochemical Society*, 4(3).

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2021). "Wilayah Rawan Gempa Bumi di Indonesia." Jakarta: ESDM.

Kertapati, E. (2006). Aktivitas Gempa Bumi di Indonesia Perspektif Regional Pada Karakteristik Gempa Bumi Merusak. Pusat Survei Geologi: Bandung.

Kramer, S. L. (1996). "Geotechnical Earthquake Engineering". New Jersey: Prentice Hall, Inc.

Lailatul Husna Lubis, A. A. (2022). Aktivitas Seismisitas Di Wilayah Sumatera Bagian Utara . *Jurnal Kumparan Fisika*, 5(2),91-98.

Lay, T. & T. C. Wallace. (1995). "*Modern Global Seismology*". San Diego: Academic Press.

Pawirodikromo, W. (2012). "Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan". Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). "Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017". Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Soehaimi, A. (2008). Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. *Jurnal Geologi Indonesia*, 3(4)227-240.