

# Estimasi Percepatan Tanah Maksimum dan Percepatan Tanah di Permukaan menggunakan Model Fungsi Atenuasi Boore (1997)

Furqon Dawam Raharjo<sup>1</sup> dan Suaidi Ahadis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Stasiun Geofisika Kelas I Padang Panjang, BMKG

\*Email: furqonpalestine@gmail.com

Submit: 30 Juni 2022; Revised: 09 September 2022; Accepted: 12 April 2023

**Abstrak:** Gempabumi yang terjadi pada tanggal 25 Februari 2022 di Kabupaten Pasaman Barat dengan magnitudo momen (Mw) 6.2, menghasilkan guncangan tanah yang kuat sehingga banyak bangunan yang mengalami kerusakan berat. Tingkat besarnya guncangan tanah dapat ditentukan dengan nilai percepatan tanah maksimum dibatuan dasar (PGA) dan percepatan tanah dipermukaan (PGAm). Informasi parameter tanah maksimum dibatuan dasar (PGA) dan percepatan tanah dipermukaan (PGAm) memegang peranan penting untuk menggambarkan tingkat kerusakan bangunan akibat event gempabumi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dengan nilai percepatan tanah maksimum dibatuan dasar (PGA) dan percepatan tanah dipermukaan (PGAm) akibat gempabumi Mw6.1 di Kabupaten Pasaman Barat. Pada penelitian ini menggunakan data parameter gempabumi utama, selanjutnya percepatan tanah maksimum dibatuan dasar (PGA) dihitung menggunakan model fungsi atenuasi Boore (1997) dan percepatan tanah dipermukaan (PGAm) dianalisis berdasarkan faktor amplifikasi dari SNI 1726-2012 yang dipengaruhi parameter  $V_{s30}$ . Hasil penelitian ini diperoleh nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar (PGA) dan percepatan tanah di permukaan (PGAm) berkisar antara 0.066 g - 0.345 g dan 0.223 g hingga 0.627 g. Wilayah yang terdampak kerusakan berat di Kab. Pasaman Barat, seperti Talamau, Kajai, Rimbo Panti, Tigo Nagari dan Malampah mempunyai nilai percepatan tanah maksimum dibatuan dasar (PGA) dan percepatan tanah dipermukaan (PGAm) sekitar 0,115 g - 0.345 g dan 0.423 g - 0.627 g dan didominasi dengan jenis klasifikasi (*site class*) tanah sedang (*stiff soil*) berdasar dari data  $V_{s30}$  model USGS.

**Kata kunci:** Percepatan Tanah Maksimum Dibatuan Dasar (PGA), Percepatan Tanah Dipermukaan (PGAm), Model Fungsi Atenuasi Boore (1997), Gempabumi Kab.Pasaman Barat

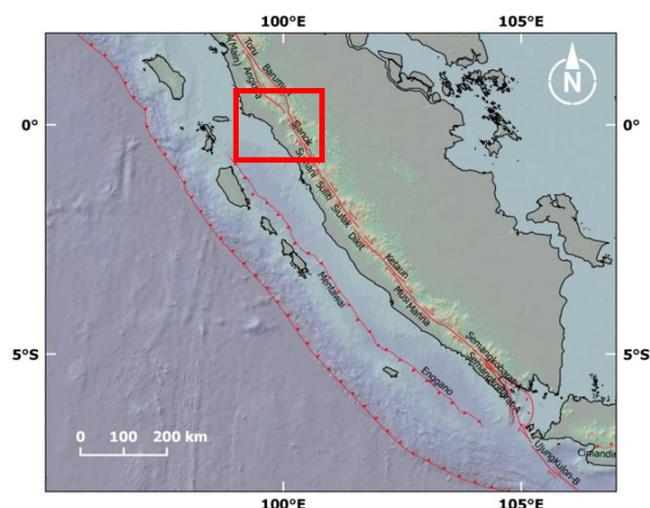
*Abstract:* The earthquake occurred on February 25, 2022 in West Pasaman, Province West Sumatra with moment magnitude Mw6.2, produced strong ground motion so that many several buildings were damaged. The peak ground acceleration (PGA) represents its level ground acceleration in bedrock and peak surface acceleration (PGAm) describes the acceleration value on the surface which depends on the amplification factor and the type of soil classification. Information peak ground acceleration (PGA) and peak surface acceleration (PGAm) values plays an important role

in describing the level of damage due to earthquake events. The purpose this study for determine the peak ground acceleration (PGA) and peak surface acceleration (PGAm) for West Pasaman earthquake Mw6.2 using boore (1997) attenuation model. In this study using parameter data main earthquake and then peak ground acceleration (PGA) value calculated each grid points and then analysis peak surface acceleration (PGAm) value is based on the effect of site class from information  $V_{s30}$  USGS model on peak ground acceleration (PGA) at bedrock from SNI 1726 : 2012. The result in this study showed peak ground acceleration and peak surface acceleration value in due West Pasaman earthquake ranged between 0.066 - 0.345 g and 0.223 - 0.627 g. The areas affected by heavy damage occurred in Kajai, Rimbo Panti, Malampah and Tigo Nagari Subdistrict with peak ground acceleration and peak surface acceleration value around 0.115 - 0,345 g and 0.423 - 0.627 g respectively and was dominated with type site class moderate soil (SD) based on  $V_{s30}$  data form USGS model.

**Keywords:** Peak Ground Acceleration (PGA), Peak Ground Aceleration at surface (PGAm), Boore (1997) Function Atenuation Model, Pasaman Barat Earthquake.

## 1 PENDAHULUAN

Kabupaten Pasaman Barat termasuk wilayah yang sangat rawan bencana gempabumi, karena mempunyai 2 (dua) zona tektonik sangat aktif. Pertama zona subduksi *megathrust* Sumatra yang berada di sepanjang pesisir barat Sumatra. Kedua zona tektonik sistem sesar aktif Sumatra (*Sumatra Fault Zone*). Zona subduksi *megathrust* Sumatra dipengaruhi oleh lempeng tektonik aktif yakni lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia menunjarm dengan kedalaman sangat dangkal dan bergerak secara miring terhadap lempeng Eurasia. Aktifitas tektonik lempeng Indo-Australia dan Eurasia pada zona subduksi tersebut sering menimbulkan gempa, sehingga pulau Sumatra dianggap salah satu wilayah tektonik aktif di dunia (McCaffrey, 2009). Zona sistem sesar aktif Sumatra (*Sumatra Fault Zone*) merupakan sesar aktif didarat yang terbentuk akibat tumbukan lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia (Bellier and Sébrier, 1994). Sesar aktif Sumatra bergerak manganan dan memanjang sepanjang 1900 km mulai dari Aceh sampai teluk Semangko di Bandar Lampung (Sieh and Natawidjaja,

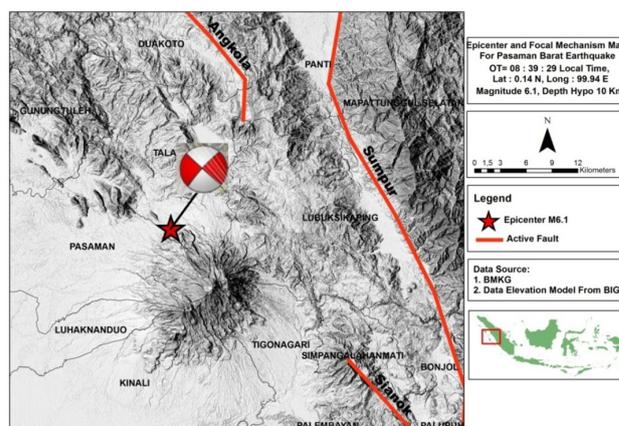


**Gambar 1.** Peta segmen sesar aktif Sumatra bagian selatan. Kotak warna merah merupakan lokasi beberapa segmen sesar aktif yang melewati Kab. Pasaman Barat diantaranya Segmen Angkola, Barumon, Sumpur dan Sianok (sumber : PusGeN (2017)).

2000). Zona sesar aktif Sumatra terbagi menjadi beberapa segmen, khususnya di Kab. Pasaman Barat dilalui oleh segmen Angkola, Barumon, Sianok dan Sumpur. Segmen-segmen tersebut sebagai pemicu terjadinya gempa bumi kuat dan merusak.

Sejarah gempa bumi kuat dan merusak yang pernah terjadi di Kab. Pasaman Barat yaitu gempa bumi Talu, 8 Maret 1977 dengan magnitudo momen Mw5.5 kedalaman hiposenter 22 km. Dirasakan VIII MMI di Sinurut dan Talu yang mengakibatkan kerusakan bangunan dan korban jiwa. Pada tanggal 25 Februari 2022, pukul 08:39:29 WIB telah terjadi gempa bumi kuat dan merusak yang mengguncang wilayah Kab. Pasaman Barat dan sekitarnya. Letak koordinat pusat gempa berada di 0.14 LU dan 99.94 BT, magnitudo momen Mw6.1 dengan kedalaman hiposenter 10 km ([www.bmkg.go.id](http://www.bmkg.go.id)). Mekanisme sumber (*focal mechanism*) gempa Pasaman Barat adalah sesar geser (*strike slip fault*).

Gempa Kab. Pasaman Barat, 25 Februari 2022 telah menyebabkan kerusakan bangunan diantaranya rumah rusak berat 103 unit, rusak sedang 5 unit dan rusak ringan 317 unit dan juga menimbulkan korban jiwa sekitar 5 orang, melukai 60 orang dan mengungsi 1000 orang (<http://bnpb.go.id>). Menurut para ahli *geologist* dan *seismologist*, gempa Kab. Pasaman Barat berada pada zona sesar aktif yang sudah terpetakan akan tetapi belum masuk didalam peta bahaya gempa Indonesia tahun 2017 dan diduga diakibatkan oleh zona sesar aktif Sumatra pada segmen Talamau. Karena banyaknya kerusakan dan korban jiwa yang diakibatkan oleh gempa Kab. Pasaman Barat dengan magnitudo momen Mw6.1, maka perlu mengetahui seberapa besar tingkat guncangan akibat gempa dengan cara yaitu mengestimasi nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar dan nilai percepatan tanah dipermukaan. Percepatan tanah maksimum merupakan suatu parameter yang dapat menggambarkan tingkat kerusakan/ guncangan akibat gempa, kemudian mengelompokkan *damage potential* suatu gempa didasarkan atas karakter-karakter gerakan tanah

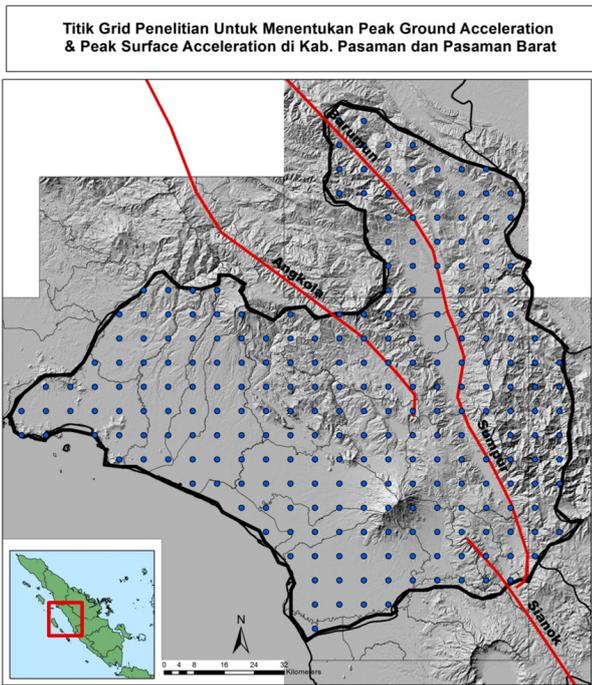


**Gambar 2.** Peta *epicenter* dan *focal mechanism* pada event gempa Kab. Pasaman Barat, tanggal 25 Februari 2022 dengan magnitudo momen Mw6.1.

dan menjadi indikator yang dipakai untuk menjustifikasi kerusakan struktur (Pawirodikromo, 2012). Nilai percepatan tanah maksimum dinyatakan dalam satuan g atau gal. Nilai percepatan tanah dipermukaan merupakan suatu parameter nilai percepatan yang berada dipermukaan tanah yang dipengaruhi oleh jenis klasifikasi tanah berdasarkan dari kecepatan gelombang geser kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) dan parameter faktor amplifikasi dari SNI 1726-2012 dari tiap-tiap jenis klasifikasi tanah (Handayani dkk., 2017; Hakim, 2019; Syofyan and Edial, 2019). Nilai percepatan tanah dipermukaan didapat dari pengali antara faktor amplifikasi (FPGA) dengan percepatan tanah maksimum di batuan dasar (PGA). Nilai percepatan tanah dipermukaan sangat diperlukan untuk peraturan desain bangunan tahan gaya gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi model nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar (PGA) dan nilai percepatan tanah dipermukaan akibat dari gempa Kab. Pasaman Barat. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat digunakan untuk mitigasi dan memetakan wilayah mana saja yang rentan terhadap bencana gempa bumi yang akan datang di wilayah Kab. Pasaman Barat.

## 2 DATA DAN METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini dari parameter gempa bumi utama Pasaman Barat, 25 Februari 2022 dengan magnitudo momen (Mw6.1) letak posisi epicenter 0.14 LU dan 99.94 BT, kedalaman hiposenter 10 km dan data kecepatan gelombang geser di kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ). Parameter data  $V_{s30}$  digunakan untuk inputan ke persamaan model atenuasi percepatan tanah, selain itu juga untuk memperkirakan klasifikasi jenis tanah (*site class*) dan untuk mendapatkan parameter faktor amplifikasi berdasarkan SNI 1726 - 2012. Data kecepatan gelombang geser di kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) di wilayah Kab. Pasaman Barat didapat dari global  $V_{s30}$  model USGS. Pada penelitian ini dibuat titik-titik grid di wilayah Kab. Pasaman Barat dengan jumlah 253 titik grid penelitian dan jarak antar titik grid 2 km dimana satu titik grid di dalamnya mengandung suatu nilai percepatan tanah dan percepatan tanah di permukaan.



Gambar 3. Peta titik-titik grid penelitian di wilayah Kab. Pasaman Barat

Table 1. Parameter faktor amplifikasi untuk periode T = 0 sekon (SNI 1726 - 2012).

Kelas Situs	Parameter percepatan gempa di permukaan (PSA) terpetakan pada periode panjang 0 detik, PGA				
	≤ 0.1	= 0.2	= 0.3	= 0.4	≥ 0.5
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
SE	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

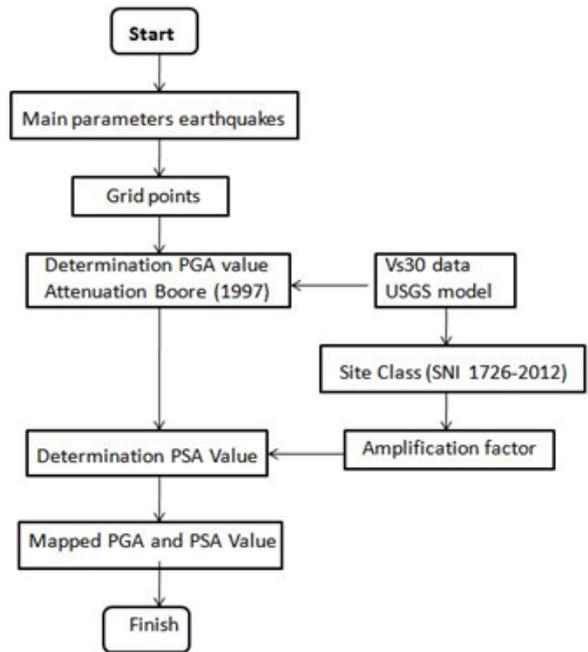
Estimasi model percepatan tanah maksimum (PGA maks) untuk penelitian ini menggunakan persamaan atenuasi Boore dkk. (1997). Pemilihan persamaan atenuasi Boore dkk. (1997), karena persamaan ini digunakan untuk event gempa-gempa shallow crustal atau sesar aktif strike slip fault dan persamaannya sebagai berikut:

$$\log Y = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_4r + \dots \dots b_5 \log r + b_v(\log V_{s30} - \log V_A) \quad (1)$$

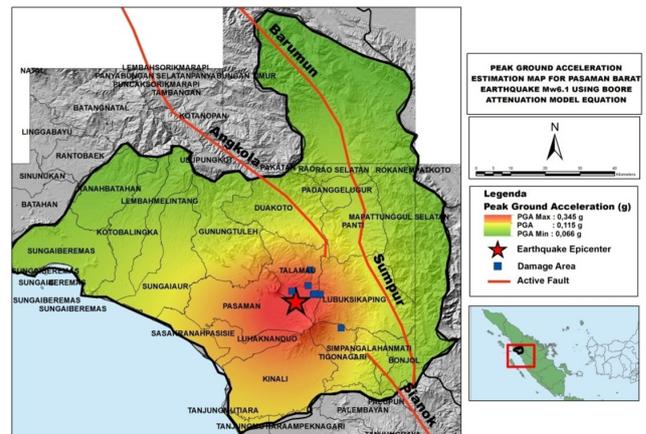
dimana  $Y$  = percepatan tanah maksimum ( $g$ ),  $r$  =  $\sqrt{d^2 + h^2}$ ,  $d$  = jarak epicenter (km),  $M$  = magnitudo,  $V_{s30}$  = kecepatan gelombang geser di kedalaman 30 meter,  $h$  = kedalaman hiposenter dan  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_v$  = konstanta. Sedangkan untuk menentukan percepatan tanah di permukaan menggunakan persamaan:

$$PSA = F_{PGA} \cdot PGA \quad (2)$$

dimana  $PSA$  = percepatan tanah dipermukaan ( $g$ ),  $F_{PGA}$  = parameter faktor amplifikasi yang dipengaruhi oleh jenis klasifikasi tanah dan  $PGA$  = percepatan tanah maksimum ( $g$ ). Nilai  $F_{PGA}$  ditentukan dari tabel SNI 1726 - 2012.



Gambar 4. Diagram alir penelitian.



Gambar 5. Peta estimasi percepatan tanah maksimum (PGA maks) akibat gempa bumi Pasaman Barat, 25 Februari 2022, dengan Mw6.1.

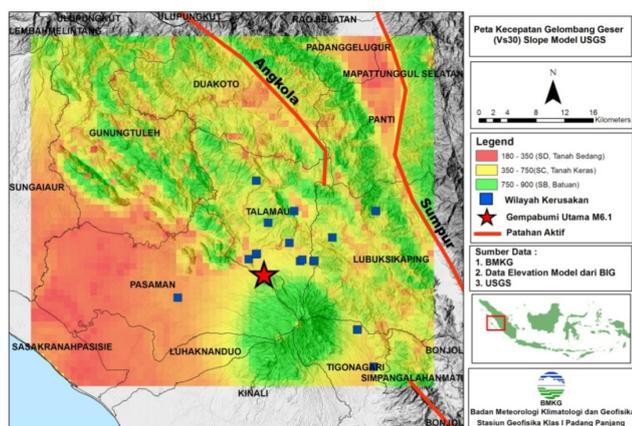
Pemetaan estimasi percepatan tanah maksimum (PGA maks) dan percepatan tanah dipermukaan menggunakan software Arcgis 10 dengan menggunakan metode interpolasi.

### 3 HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Percepatan Tanah Maksimum (PGA maks)

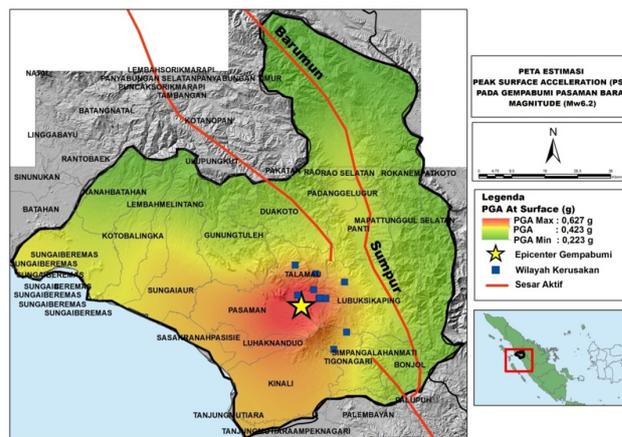
Hasil analisa dan pemetaan estimasi model percepatan tanah maksimum (PGA maks) dengan menggunakan persamaan model atenuasi Boore dkk. (1997) akibat gempa Pasaman Barat, tanggal 25 Februari 2022, dengan Mw6.1 ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 terlihat nilai percepatan tanah akibat



**Gambar 6.** Peta sebaran model kecepatan gelombang geser di kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) di wilayah Kab. Pasaman Barat.

gempa Pasaman Barat dengan Mw6.1 berkisar antara 0.066 g hingga 0.345 g, sedangkan nilai percepatan tanah yang relatif tinggi diperoleh sekitar 0.115 g hingga 0.345 g dan terjadi di wilayah Pasaman, Talamau, Luhak Nan Duo, Kinali, Tigo Nagari dan Lubuk Sikaping. Kemudian nilai percepatan tanah yang relatif rendah berkisar antara 0.066 g hingga 0.084 g terjadi di wilayah Sungai Baramas, Tanah Batahan, Lembah Melintang, dan Koto Balingka. Sedangkan untuk wilayah yang mengalami banyak kerusakan bangunan terjadi di Kajai, Tigo Nagari, Malampah, Rimbo Panti dengan nilai percepatan tanah berkisar antara 0.264 g hingga 0,345 g. Tingkat kerusakan bangunan akibat gempa Pasaman Barat diduga disebabkan oleh guncangan tanah yang kuat dan jaraknya sangat dekat dengan lokasi epicenter pusat gempa. Nilai percepatan tanah yang tinggi berasosiasi dengan gempa jarak dekat yang mana batuan bergetar dengan kandungan frekuensi tinggi dan nilai PGA yang tinggi respon tanah dapat mencapai elastik sehingga redaman material menjadi relatif tinggi (Pawirodikromo, 2012). Menurut Stewart dkk. (2003), mengatakan bahwa nilai PGA akibat gempa jarak dekat dipengaruhi oleh mekanisme sumber gempa, arah rambatan patahan (*rupture direction*) dan kemungkinan terjadinya *permanent displacement*. Semakin jauh dengan *epicenter* pusat gempa maka nilai PGA relatif rendah, hal ini terjadi karena energi gempa telah merambat pada jarak yang jauh, maka terdapat waktu yang cukup bagi media tanah untuk menyerap sebagian energi gempa (Pawirodikromo, 2012). Besarnya getaran tanah akibat gempa antara lain dipengaruhi oleh sumber gempa, penjalaran gelombang gempa dan juga kondisi tanah setempat (*local site effect*) (Sunardi dkk., 2017). *Local site effect* atau kondisi tanah setempat ditentukan dari nilai kecepatan gelombang geser rata-rata dengan kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ). Penggunaan nilai  $V_{s30}$  untuk mengidentifikasi kerusakan bangunan berdasarkan jenis klasifikasi tanah. Pada penelitian ini, nilai  $V_{s30}$  di wilayah Pasaman Barat didapat dari USGS  $V_{s30}$  slope model dan persebarannya ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6, jenis klasifikasi tanah berdasarkan dari parameter nilai  $V_{s30}$  di wilayah Pasaman Barat didominasi oleh tanah sedang (*moderate soil*) hingga batuan (*rock*). Wilayah yang mempunyai jenis situs tanah sedang (*moderate soil*) terletak di pesisir pantai dan beberapa lembah perbu-



**Gambar 7.** Peta percepatan tanah dipermukaan akibat gempa Pasaman Barat, tanggal 25 Februari 2022, dengan magnitudo momen (Mw)6.1.

kitan sedangkan jenis situs batuan (*rock*) berada di wilayah perbukitan dan pegunungan. Wilayah yang mengalami kerusakan parah ditandai dengan kotak berwarna biru seperti, Kajai, Malampah, Tigo Nagari, Talamau dan Rimbo Panti memiliki nilai  $V_{s30}$  sekitar 180 m/s hingga 350 m/s dengan jenis klasifikasi tanah sedang (*moderate soil*), sehingga wilayah tersebut mengalami amplifikasi yang tinggi dan getaran tanah yang kuat. Nilai  $V_{s30}$  yang relatif tinggi di wilayah Pasaman Barat berkisar antara 350 m/s hingga 750 m/s dan 750 m/s hingga 900 m/s yang ditandai warna kuning dan hijau pada peta Gambar 6, terlihat dipengaruhi dengan kondisi topografi berupa perbukitan yang didominasi oleh tanah keras dan batuan sehingga terjadi proses amplifikasi rendah dan getaran tanahnya cukup lemah.

### 3.2 Percepatan Tanah di Permukaan

Pada penelitian ini percepatan tanah dipermukaan akibat gempa Pasaman Barat, 25 Februari 2022 dengan magnitudo momen (Mw)6.1, dianalisis berdasarkan dari faktor amplifikasi (SNI 1726 - 2012) yang dipengaruhi oleh jenis klasifikasi tanah dari parameter  $V_{s30}$  dan nilai percepatan tanah di batuan dasar. Hasil analisis percepatan tanah dipermukaan ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 7, diatas diperoleh hasil distribusi nilai percepatan tanah dipermukaan akibat gempa Pasaman Barat berkisar antara 0.223 g hingga 0.627 g. Nilai percepatan tanah dipermukaan yang relatif tinggi diperoleh sekitar 0.455 g hingga 0.627 g dan terjadi di wilayah yang mengalami kerusakan berat, seperti Pasaman, Talamau, Tigo Nagari, Kajai, Rimbo Panti, dan Malampah. Sedangkan hasil untuk nilai percepatan tanah dipermukaan yang rendah berkisar antara 0.223 g hingga 0.334 g dan terjadi di wilayah Padang Gelugur, Ranah Batahan, Lembah Melintang, Koto Balingka, Gunung Tuleh, Dua Koto, Bonjol, Rao dan Rao Selatan. Wilayah yang memiliki percepatan tanah di permukaan yang relatif tinggi terjadi karena adanya proses amplifikasi gelombang seismik yang dipengaruhi oleh nilai kecepatan gelombang geser kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) yang rendah dan jenis klasifikasi tanah (*site class*) didominasi oleh tanah sedang (*stiff soil*). Pada Gambar 7, terlihat juga nilai

percepatan tanah dipermukaan sangat berkorelasi terhadap nilai kecepatan gelombang geser kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) (Gambar 6). Proses terjadinya penguatan faktor amplifikasi gempabumi terhadap percepatan tanah dipermukaan dipengaruhi kuat oleh ketebalan lapisan sedimen, semakin tebal lapisan sedimen maka nilai percepatan tanah dipermukaan akan semakin tinggi dan sebaliknya. Dan juga dipengaruhi adanya faktor fungsi atenuasi terhadap jarak *epicenter* gempa. Faktor nilai amplifikasi semakin besar pada tanah yang semakin lunak yang kecepatan gelombang gesernya atau  $V_s$  semakin kecil (Pawirodikromo, 2012). Oleh karena itu faktor karakteristik jenis tanah, faktor amplifikasi dan kondisi *site local* memberikan kontribusi besar terhadap kerusakan bangunan.

#### 4 KESIMPULAN

Nilai percepatan tanah (PGA) dan percepatan tanah dipermukaan akibat gempa Pasaman Barat, 25 Februari 2022 dengan Mw6.1 berkisar antara 0.066 g hingga 0.345 dan 0.223 g hingga 0.627 g. Nilai PGA dan PGA di permukaan di wilayah kerusakan berkisar antara 0.264 g hingga 0,345 g dan 0.223 g hingga 0.334 g. Kerusakan bangunan akibat gempa Pasaman Barat diduga disebabkan oleh guncangan tanah yang kuat dan jaraknya sangat dekat dengan lokasi *epicenter* pusat gempa dan dipengaruhi juga oleh sumber gempa, penjalaran gelombang gempa dan juga kondisi tanah setempat (*local site effect*).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada BMKG dan USGS sebagai sumber data katalog gempa bumi dan model  $V_{s30}$  dalam pembuatan karya tulis ini. Ucapan terimakasih juga penulis berikan kepada para *reviewer* yang telah mengoreksi paper ini hingga terbit.

#### Pustaka

- Bellier, O. and Sébrier, M. (1994): Relationship between tectonism and volcanism along the great sumatran fault zone deduced by spot image analyses. *Tectonophysics*, **233**(3), 215–231, ISSN 0040-1951, doi:[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90242-9](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90242-9).
- Boore, D.M., Joyner, W.B. and Fumal, T.E. (1997): Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work. *Seismological Research Letters*, **68**(1), 128–153, ISSN 0895-0695, doi:[10.1785/gssrl.68.1.128](https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.128).
- Hakim, A. (2019): Penentuan ground profile dan peak surface acceleration (psa) dengan metode inversi mikrotremor single station untuk zonasi bahaya gempabumi pulau lombok.
- Handayani, L., Hananto, N., Anggono, T., Syuhada, S., Gaol, K. and Aribowo, S. (2017): Penentuan percepatan tanah puncak di pulau simeulue dengan metode deterministik. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, **8**, 135–142, doi:[10.34126/jlbg.v8i3.193](https://doi.org/10.34126/jlbg.v8i3.193).

- McCaffrey, R. (2009): The tectonic framework of the sumatran subduction zone. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **37**(Volume 37, 2009), 345–366, ISSN 1545-4495, doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.earth.031208.100212>.
- Pawirodikromo, W. (2012): Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan. Pustaka Pelajar, 1st edn., ISBN 978-602-229-110-7.
- PusGeN (2017): Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. ISBN 978-602-5489-01-3.
- Sieh, K. and Natawidjaja, D. (2000): Neotectonics of the sumatran fault, indonesia. *J. geophys. Res.*, **105**(B12), 28 295–28 326.
- Stewart, J.P., Liu, A.H. and Choi, Y. (2003): Amplification Factors for Spectral Acceleration in Tectonically Active Regions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93**(1), 332–352, ISSN 0037-1106, doi:[10.1785/0120020049](https://doi.org/10.1785/0120020049).
- Sunardi, B., Pitriani, W., Rohadi, S., Shahzad, S. and Setiadi, T.A. (2017): Estimasi percepatan tanah maksimum dan spektra percepatan akibat gempa 7 desember 2016 di kabupaten pidie jaya. *Seminar Nasional Kebumihan X*.
- Syofyan, M. and Edial, H. (2019): Estimasi percepatan tanah maksimum dan intensitas gempa di kota padang berdasarkan skenario gempabumi di megathrust mentawai menggunakan metode deterministik. *Jurnal Buana*, **3**, 154, doi:[10.24036/student.v3i1.371](https://doi.org/10.24036/student.v3i1.371).