

**IDENTIFIKASI BAHAYA GEMPABUMI KALIMANTAN TIMUR
MENGUNAKAN METODE PROBABILISTIC SEISMIC
HAZARD ANALYSIS (PSHA) UNTUK PROBABILITAS
TERLAMPAUI 10 % DALAM 50 TAHUN (500 TAHUN)
SEISMIC HAZARDS IDENTIFICATION EAST KALIMANTAN
USING PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS
(PSHA) METHOD FOR PROBABILITY EXCEEDING 10% IN 50
YEARS (500 YEARS)**

Moh Iqbal Tawakal*

Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah II Tangerang Selatan,
Jl. Abdul Ghani no.5 Cempaka Putih, Tangerang Selatan

*Email: moh_iqbaltwk@gmail.com

ABSTRAK

Wilayah Kalimantan Timur merupakan wilayah yang direncanakan menjadi ibukota Negara Indonesia baru. Pembangunan sarana pra-sarana dalam mendukung proses pemindahan Ibukota terus dipersiapkan. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) perlu memperhatikan potensi bencana alam, terutama gempabumi. Metode analisis potensi bencana gempabumi merupakan salah satu metode untuk mengidentifikasi risiko yang ditimbulkan saat terjadi gempabumi. Hasil dari metode ini berupa peta Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) yang memberikan gambaran kekuatan guncangan akibat gempabumi terhadap suatu bangunan. Analisis seismik hazard dilakukan dengan bantuan program USGS-PSHA dengan memperhatikan sumber-sumber gempabumi yang terjadi di wilayah Kalimantan Timur dan sekitarnya. Hasil analisis perhitungan PSHA menunjukkan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar wilayah Kalimantan Timur untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun berkisar 0.01 – 0.58 g. Nilai PGA untuk spektrum respon $T=1s$ pada rentang 0.05 – 0.43 g, dan untuk spektrum respon $T=0,2s$ pada rentang 0.02 – 0.85 g. Kota Penajam Paser Utara dan Kutai Kartanagara memiliki tingkat risiko kegempaan yang cukup tinggi dibandingkan dengan kota-kota lain yang berada di Kalimantan Timur. Nilai Percepatan Maksimum di daerah ini berkisar 0.2 – 0.58 g.

Kata kunci: Gempabumi, Percepatan, PSHA, PGA, Probabilitas.

ABSTRACT

The East Kalimantan region is planned to be the capital of the new State of Indonesia. Construction of infrastructure facilities to support the process of moving the capital city continues to be prepared. The Regional Spatial Plan (RTRW) must consider the potential for natural disasters, especially earthquakes. The method of analyzing the potential for earthquake disasters is one method to identify earthquake risk. The result of this method is a Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) map to see the effects of earthquake vibrations on buildings. Seismic hazard analysis using the USGS-PSHA program which is based on earthquake sources in East Kalimantan and its surroundings. The results of PSHA calculations show that the peak ground acceleration (PGA) value in the bedrock of the East Kalimantan region for a probability of exceeding 10% in 50 years ranges from 0.01 – 0.58 g. The PGA values for the $T=1s$ response spectrum ranged from 0.05 – 0.43 g, and for the $T=0.2s$ response spectrum it ranged from 0.02 – 0.85 g. The cities of North Penajam Paser and Kutai Kartanagara have high level of seismic risk compared to other

cities in East Kalimantan. The Peak Ground Acceleration Value in this area ranges from 0.2 – 0.58g.

Keywords: *Earthquake, Acceleration, PSHA, PGA, Probabilistic.*

1. Pendahuluan

Adanya wacana pemindahan Ibukota Negara Indonesia dari Jakarta ke Kabupaten Panajam Paser Utara dan Kutai Kartanegara yang dinilai sebagai kawasan yang ideal untuk penempatan ibukota baru [1]. Selain memiliki wilayah yang luas untuk membangun infrastruktur sebuah Ibukota, wilayah Kalimantan Timur juga dianggap aman dari potensi gempa bumi, serta secara geografis terletak sentris diantara Kepulauan Indonesia [2].

Wilayah Kalimantan Timur memiliki tingkat risiko bencana yang tergolong rendah, tetapi hal ini tidak menjamin daerah Kalimantan Timur terbebas dari risiko bencana alam. Adanya potensi tsunami yang diakibatkan oleh longsor dasar laut di Selat Makasar yang juga perlu diwaspadai. Selain itu Wilayah Kalimantan merupakan daerah yang rawan bencana banjir, tanah longsor, serta kebakaran hutan dan lahan.

Secara tektonik, terdapat tiga sesar utama di Kalimantan, yaitu Maratus, Mangkalihat, dan Patemoster yang hingga saat ini masih sangat aktif [3]. Berdasarkan data dari BMKG mencatat bahwa daerah Kalimantan Timur pernah terjadi gempa bumi yang merusak sebanyak 7 kali, yaitu pada tahun 1921, 1964, 1982, 1983, 2000, 2006, dan 2007 [4]. Gempa-gempa yang pernah terjadi memiliki kekuatan gempa yang cukup besar, bahkan dapat mengakibatkan tsunami.

Untuk itu, perlu dilakukan pengukuran potensi gempa bumi signifikan yang terjadi di Wilayah Kalimantan Timur. Untuk

mengurangi dampak hazard gempa bumi tersebut, upaya mitigasi perlu dilakukan secara dini dan optimal. Salah satu upaya mitigasi yang perlu dilakukan adalah dengan membuat peta hazard gempa bumi, peta hazard yang menggambarkan efek gempa bumi pada suatu lokasi yang membantu dalam rangka antisipasi dan mengurangi korban jiwa maupun kerugian materi.

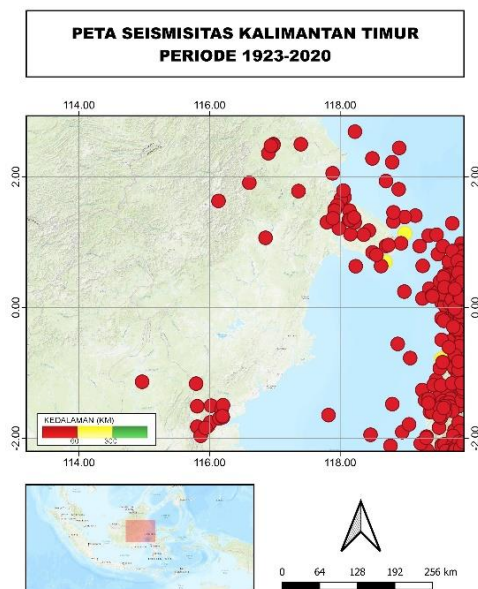
Penelitian ini menggunakan Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*, merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis risiko bahaya kegempaan deterministik dan probabilistik. Penentuan risiko bukan hanya berdasarkan pada parameter gempa yang menghasilkan pergerakan tanah terbesar saja, tetapi juga berdasarkan kemungkinan kondisi terburuk dari suatu kejadian gempa bumi di suatu daerah [5]. Metode PSHA dapat mengkaji probabilistik gempa bumi berdasarkan pada parameter yang tidak pasti seperti frekuensi, magnitudo, jarak episenter, daerah yang di amati, dan lain-lain. Metode PSHA memiliki kerangka kerja yang terstruktur sehingga ketidakpastian dalam penelitian ini dapat diidentifikasi, diperkirakan, dan dapat digabungkan dengan metode yang rasional sehingga mendapat gambaran yang lebih lengkap mengenai kejadian gempa.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis bahaya gempa yang disajikan dalam nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar untuk wilayah Kalimantan Timur (PGA) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam

50 tahun atau setara dengan periode ulang gempa bumi 475 tahun. Penelitian hazard gempa bumi untuk wilayah Indonesia sebelumnya telah dilakukan oleh Pusat Studi Gempa Nasional [6].

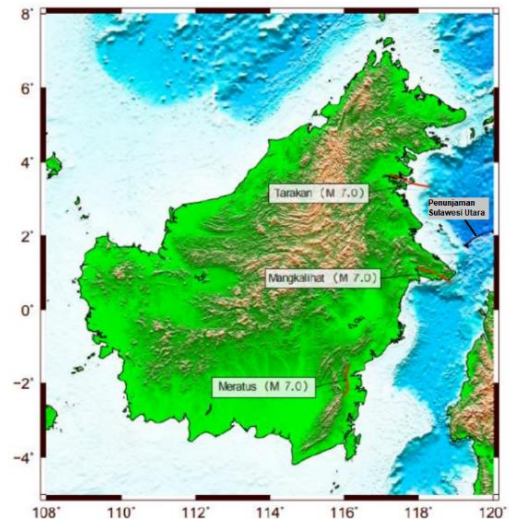
2. Data dan Metode

Data yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan dua katalog gempa bumi dari tahun 1923 – 2020 yaitu katalog Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) [7] dan *United State Geological Survey (USGS)* [8]. Parameter magnitudo yang dipilih adalah lebih dari 5 skala magnitudo (Gambar 1). Kemudian dilakukan konversi menjadi magnitudo skala momen (M_w). Magnitudo momen (M_w) dapat mencerminkan besarnya energi dan dimensi rekahan yang dilepaskan ketika terjadi suatu gempa. Kedalaman gempa bumi dibatasi kurang dari 300 km, karena kedalaman gempa bumi diatas itu tidak berpotensi menimbulkan kerusakan.



Gambar 1. Peta Seismisitas Kalimantan Timur Periode 1923-2020.

Parameter input lainnya adalah parameter subduksi wilayah Sulawesi Utara, parameter patahan di radius 500 km dari Kalimantan Timur yang akan digunakan sebagai parameter input dalam pengolahan nilai PGA untuk sumber gempa bumi subduksi dan patahan (Gambar 2).



Gambar 2. Sumber Penunjaman Sulawesi Utara dan Patahan di Kalimantan Timur.

Parameter patahan yang dibutuhkan antara lain *slip rate*, *Focal Mechanism*, *Dip*, *Top*, *Bottom*, *Length*, dan *Mmax* yang sesuai berdasarkan titik koordinat patahan. Parameter patahan dalam penelitian ini didapatkan dari penelitian sebelumnya yang dilaksanakan oleh Tim Revisi Peta Gempa Indonesia yang dilaksanakan pada tahun 2017. Parameter tersebut disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter input patahan sebagai sumber gempa bumi.

ID	Fault	Slip-Rate m/yr	Focus Mechanism	Dip	Top	Bottom	L (Km)	M mAx
1	Tarakan	0.3	Strike-Slip	90	3	18	100	7.0
2	Mangkalihat	0.5	Strike-Slip	90	3	18	111	7.0
3	Meratus	0.2	Reverse-Slip	45 W	3	18	105	7.0

Data gempa bumi diidentifikasi berdasarkan jenisnya. Gempa sebelum (*foreshock*), gempa susulan (*aftershock*) dan gempa utama (*mainshock*) untuk menentukan tingkat resiko gempa. Penelitian ini menggunakan kriteria empiris Gardner dan Knopoff (1974) [9]. Berdasarkan suatu rentang waktu dan jarak tertentu dari suatu kejadian gempa besar. Pemisahan data gempa ini disebut dengan tahap *De-Clustering* yang dijalankan menggunakan program ZMAP.

Secara garis besar perhitungan PSHA terdiri dari empat tahapan yaitu:

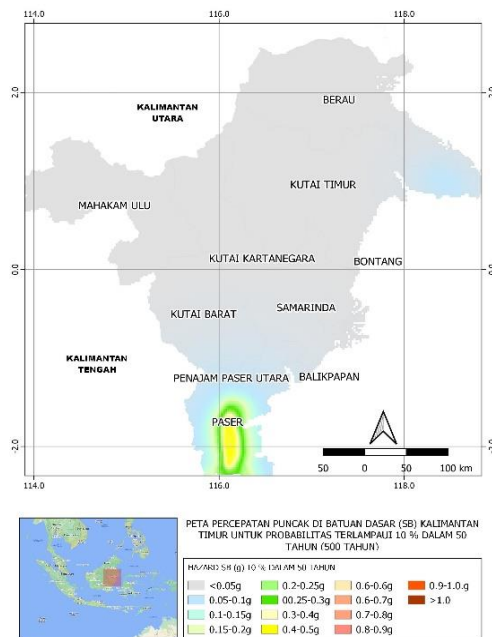
- (1) Identifikasi semua sumber gempa bumi yang kemungkinan menghasilkan percepatan tanah merusak.
- (2) Karakterisasi distribusi magnitudo gempa bumi.
- (3) Karakterisasi distribusi jarak sumber ke site yang berkaitan dengan potensi gempa.
- (4) Prediksi distribusi intensitas gerakan tanah yang dihasilkan sebagai suatu fungsi dari besaran gempa bumi, jarak, dan sebagainya.

Dalam penelitian ini, sumber-sumber gempa bumi yang dipergunakan merujuk pada program *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dari USGS yang dikembangkan oleh Bella (2008) [10]. Fungsi atenuasi mengikuti formulasi dari Boore Atkinson NGA (1995) [11], Campbell

Bozorgnia NGA (2008) [12], Youngs, et. al (1997)[13], Atkinson Boore (2003) [14], dan Chiou Young NGA (2006) [15].

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian terdiri dari tiga peta percepatan tanah di wilayah Kalimantan Timur untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun. Terdapat tiga jenis nilai PGA yang diperoleh yaitu PGA batuan dasar (*bedrock*) dengan periode $T=0s$, $T=0.2s$ untuk periode pendek, dan $T=1s$ untuk periode panjang. Setiap periode percepatan mewakili periode getaran struktur untuk masing-masing tingkatan. Misal, pada $T=0s$, maka akan cukup berpengaruh pada getaran pondasi bangunan. Pada $T=0.2s$ digunakan untuk mewakili periode getar struktur terpendek atau bangunan 2 tingkat, sedangkan $T=1s$ berpengaruh pada guncangan di gedung bertingkat hingga 10 lantai. Apabila bangunan gedung tersebut berdiri pada wilayah dengan nilai percepatan tanah di permukaan yang cukup tinggi serta memiliki periode alami struktur yang sama dengan periode gempa bumi, maka dapat dipastikan terjadi amplifikasi dan resonansi yang menyebabkan gedung tersebut kemungkinan mengalami simpangan dan terancam runtuh [16].



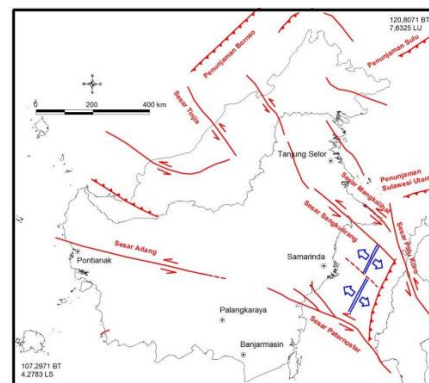
Gambar 3. Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (SB) Kalimantan Timur Untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun (Periode Ulang 500 Tahun).

Nilai percepatan tanah maksimum pada kondisi $T=0s$ di Wilayah Kalimantan Timur untuk periode ulang 500 tahun berkisar 0.01 sampai 0.58g (Gambar 3). Nilai PGA tertinggi berada di sebelah selatan Kalimantan Timur. Selain sesar Meratus, keberadaan Sesar Paternoster memberikan pengaruh yang besar di wilayah ini. Sesar ini melintasi wilayah Kabupaten Paser yang jalurnya berarah barat-timur. Meskipun termasuk kategori sesar berusia tersier, namun sejarah mencatat bahwa sering terjadi gempa kuat dengan potensi magnitudo skala enam (Gambar 4).

Berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 sesar Paternoster belum diperhitungkan sebagai sumber gempabumi. Meskipun demikian, banyak gempa-gempa merusak bersumber dari sesar ini. Seperti kejadian gempa bumi pada tanggal

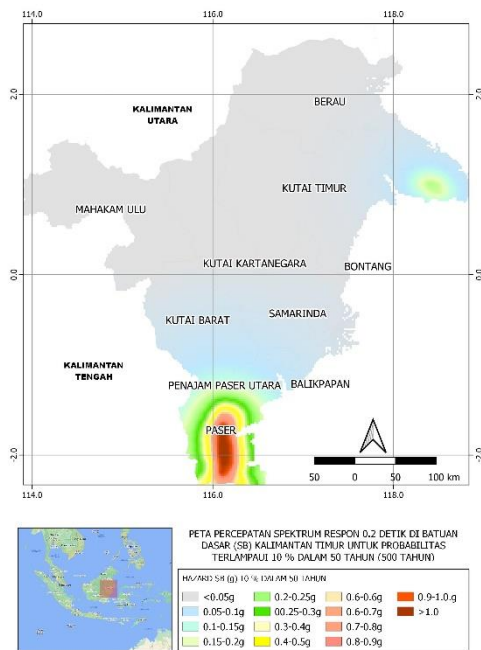
22 November 2009 yang mengakibatkan kerusakan bangunan di Kabupaten Paser diperkirakan berkaitan dengan aktivitas Sesar Paternoster [17].

Serangkaian kejadian gempabumi merusak di Kalimantan Timur memberikan gambaran bahwa wilayah ini tidak terbebas dari ancaman gempabumi. Oleh karena itu perlu adanya upaya mitigasi yang optimal. Upaya mitigasi gempabumi pada prinsipnya adalah mencegah agar bahaya gempabumi tidak mengakibatkan terjadinya bencana. Upaya mitigasi ini dilakukan secara fisik atau struktural dan non fisik atau non struktural.



Gambar 4. Tektonik dan Struktur Geologi Kalimantan [17].

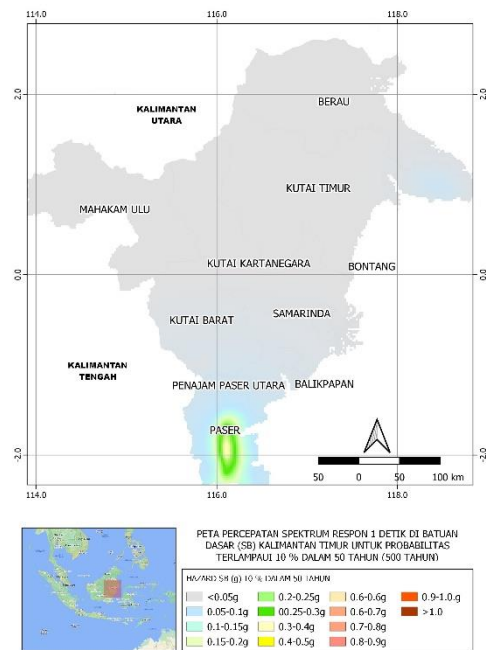
Kota Penajam Paser Utara dan Kutai Kartanegara yang merupakan calon ibukota Negara Indonesia memiliki tingkat risiko kegempaan yang cukup tinggi dibandingkan dengan kota-kota lain yang berada di Kalimantan Timur. Keberadaan sesar Paternoster menjadi sumber kegempaan. Nilai Percepatan Maksimum di daerah ini berkisar 0.2 – 0.58 g. Hal ini mengindikasikan potensi Intensitas atau guncangan gempa yang dihasilkan berskala VI-VII MMI atau secara faktual gempa yang terjadi dapat menimbulkan kerusakan tingkat sedang hingga berat di Sekitar Kota Penajam Paser Utara.



Gambar 2. Peta Percepatan Spektrum Respon 0.2 Detik di Batuan Dasar (SB) Kalimantan Timur Untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun (Periode Ulang 500 Tahun).

Gambar 2 menunjukkan bahwa secara umum nilai percepatan tanah maksimum memiliki rentang nilai PGA dengan periode ulang 500 tahun untuk $T=0.2\text{s}$ adalah $0.02 - 0.85\text{g}$. sedangkan pada kondisi spektrum $T=1.0\text{s}$ menghasilkan nilai PGA berkisar $0.05 - 0.43\text{g}$. Hasil ini memperlihatkan bahwa pada kondisi spektrum $T=0.2\text{s}$ nilai PGA lebih besar daripada spektrum $T=1.0\text{s}$ (Gambar 3).

Bagian Selatan Kalimantan Timur memiliki nilai PGA yang lebih tinggi. Dominasi Sesar Mangkaliah dan Meratus di sebelah Utara lebih kecil daripada keberadaan sesar Paternoster di sebelah Selatan. Daerah – daerah yang berada dekat dengan sesar memiliki potensi risiko bencana lebih tinggi.



Gambar 3. Peta Percepatan Spektrum Respon 1.0 Detik di Batuan Dasar (SB) Kalimantan Timur Untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun (Periode Ulang 500 Tahun).

Sebagian besar gempa yang bersumber di wilayah Kalimantan Timur dipicu oleh aktivitas sesar aktif. Sehingga, meskipun magnitudonya tidak sebesar yang bersumber di zona *megathrust*, tetapi dapat berdampak merusak bangunan. Potensi bahaya gempa bumi harus diantisipasi dengan menerapkan *building code* dengan baik dalam membangun struktur bangunan. Infrastruktur yang direncanakan harus sesuai dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) yang berbasis mitigasi bencana gempabumi. Sehingga diharapkan risiko bencana dapat dikurangi dan keselamatan masyarakat dapat ditingkatkan.

4. Kesimpulan

Nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar Wilayah Kalimantan Timur untuk periode ulang 500 tahun berkisar 0.01 sampai 0.58g. Nilai percepatan spektrum respon $T=0.2$ berkisar 0.02 – 0.85 g, sedangkan pada kondisi spektrum $T=1.0s$ menghasilkan nilai PGA berkisar 0.05 – 0.43g. Hasil ini memperlihatkan bahwa pada kondisi spektrum $T=0.2s$ nilai PGA lebih besar daripada spektrum $T=1.0s$. Nilai PGA tertinggi berada di sebelah selatan Kalimantan Timur, terutama kota Penajam Paser Utara.

Kota Penajam Paser Utara dan Kutai Kartanagara memiliki tingkat risiko kegempaan yang cukup tinggi dibandingkan dengan kota-kota lain yang berada di Kalimantan Timur. Nilai Pecepatan Maksimum di daerah ini berkisar 0.2 – 0.58 g. hal ini mengindikasikan potensi Intensitas atau guncangan gempa yang dihasilkan berskala VI-VII MMI atau secara faktual gempa yang terjadi dapat menimbulkan kerusakan tingkat sedang hingga berat.

Daftar Pustaka

- [1] Nahak, Simon. (2019). Implikasi Hukum Pertanahan Terhadap Pindahan Ibu Kota Negara Republik Indonesia Dari Jakarta ke Kalimantan Timur. *Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*, 2, 31-40.
- [2] Toun, N. R. (2018). Analisis Kesiapan Pemerintah Provinsi Kalimantan Tengah dalam Wacana Pindahan Ibu Kota Negara Republik Indonesia ke Kota Palangkaraya. *Jurnal Ilmu Politik Pemerintah dan Adminitansi Publik*, 1, 124-148.
- [3] Rahmat, H. K., Syarifah, H., Kurniadi, A., Putra, R. M. & Wahyuni, S. W. (2021). Implementasi Kepemimpinan Strategis Guna Menghadapi Ancaman Bencana Banjir Dan Tsunami Di Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Manajemen Bencana*, 7, 1–18.
- [4] Ifad Fadlurrahman, A. R. S. Widana, I.D.K., Wilopo, Kerta, & Julius, A.M. (2018). Peranan BMKG Stasiun Geofisika Balikpapan Dalam Mendukung Informasi Gempabumi Donggala Tahun 2018. *Jurnal Manajemen Bencana*, 7, 387–397.
- [5] Tim Revisi Peta Gempa Indonesia.(2010).Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010. Laporan Penelitian,KementerianPekerjaan Umum, Jakarta.
- [6] Pusgen, (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Jakarta : *Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.
- [7] Katalog Pusat Gempabumi dan Tsunami BMKG (2020). http://repogempa.bmkg.go.id/rep_o_new/, diakses 15 Maret 2021.
- [8] USGS Search Earthquake Catalog(2020).<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>, diakses 7 Maret 2021.
- [9] Gardner, J. K., & Knopoff, L. (1974). Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, With Aftershocks Removed, Poissonian?. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64, 1363-1367.

- [10] Bella, R.A. (2008). Pembuatan Program Interface Untuk Software USGS PSHA 2007 Dengan Studi Kasus Pembuatan Peta Spectra Hazard di Wilayah Nusa Tenggara Timur. Thesis: Magister Teknik Sipil ITB.
- [11] Atkinson, G., Boore, D.(1995). New Ground Motion Relations for Eastern North America, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 85, 17–30.
- [12] Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y.(2008). Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5%-damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10.0 s. *Earthquake Spectra*, 24.
- [13] Youngs, R.R., Chiou, S.J., Silva, W.J., Humphrey, J.R.. (1997). Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes. *Seismol. Res. Lett.*, 68.58–73.
- [14] Atkinson, G.M., Boore, D.M.(2003). Empirical GroundMotion Relations for Subduction Zone Earthquakes and Their Application to Cascadiaand Other Regions, *Bull. Seismol. Soc. Am.*,93. 1703-1729.
- [15] Chiou, B. and Youngs, R.(1998).A NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, *Earthquake Spectra*, 2.
- [16] BSN (2012). SNI 1726: 2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 726:2012. Jakarta: *Badan Standardisasi Nasional*.
- [17] Supartoyo, (2017), *Ancaman dan Potensi Gempabumi di Kalimantan*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Riset Kebencanaan Ke 4,1-13, Depok: Universitas Indonesia.