



Analisis Kerentanan Seismik Gempa Bumi Berdasarkan Nilai PGA Menggunakan Metode Esteva Pada Wilayah Kepulauan Nias

Astri Angraeni^{a✉}, Lailatul Husna Lubis^a, Sugeng^b, Mira Hestina Ginting^b

^a Jurusan Fisika, Fakultas Sanis dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia

^b Stasiun Geofisika Kelas I Deli Serdang Sumatera Utara, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima 07–03–2023

Disetujui 11–07–2023

Dipublikasikan 25–08–2023

Keywords:

Earthquake, Magnitude,

Esteva, Nias Islands.

Abstrak

Sumatera Utara merupakan salah satu wilayah yang rawan gempa bumi, salah satunya Nias. Gerakan tektonik dan patahan di wilayah Sumatera dikontrol oleh keberadaan lempeng Indo-Australia dan perbatasan lempeng Eurasia di sebelah tenggara. Jika terjadi gempa bumi, gelombang seismik akan merambat di permukaan bumi dan menghasilkan efek seismik dengan nilai percepatan tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung intensitas gempa bumi di wilayah Kepulauan Nias dan menggunakan software ArcGIS 10.8 untuk membuat partisi berdasarkan nilai tersebut. Data seismik yang diolah adalah data seismik dari tahun 2006 hingga 2022 yang diekstrak dari katalog IRIS, berkekuatan ≥ 3 Mw, kedalaman hiposenter 10-900 Km yang terjadi di Kepulauan Nias. Analisis kerentanan seismik dilakukan dengan metode Esteva mengacu pada peta percepatan puncak di Batuan Dasar (SB) untuk menghitung nilai percepatan tanah maksimum yang akurat. Berdasarkan hasil penelitian, nilai maksimum percepatan tanah di Kepulauan Nias berkisar antara 0,243 hingga 5,482 gal. Lokasi dengan nilai percepatan tanah maksimum tertinggi berada di Kecamatan Mandrehe dan Lahewa. Nilai percepatan tanah maksimum yang diperoleh dengan metode Esteva berbeda dengan nilai percepatan tanah maksimum pada peta referensi PuSGeN 2017.

Abstract

The Nias region is one of the earthquake-prone areas in North Sumatra. Tectonic movements and faults in the Sumatra region are controlled by the presence of the Indo-Australian plate and the Eurasian plate boundary in the southeast which is the main cause of earthquakes. In the event of an earthquake, seismic waves will propagate on the earth's surface and produce seismic effects with certain acceleration values. The purpose of this study is to calculate the intensity of earthquakes in the Nias Islands region and use ArcGIS 10.8 software to create partitions based on these values. The seismic data processed are seismic data from 2006 to 2022 extracted from the IRIS catalog, magnitude ≥ 3 Mw, hypocenter depth 10-900 Km that occurred in the Nias Islands. Seismic vulnerability analysis was carried out using the Esteva method by referring to the peak acceleration map on the Bedrock (SB) which became the reference for the accurate maximum ground acceleration value. Based on the research results, the maximum value of ground acceleration at Nias Islands region ranges from 0.243 to 5.482 gal. The locations with the highest maximum ground acceleration values are in Mandrehe and Lahewa sub-districts. The maximum ground acceleration value obtained by the Esteva method is different from the maximum ground acceleration value from the 2017 PuSGeN reference map.

© 2023 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

JL. Lap. Golf No.120, Kp. Tengah, Kec. Pancur Batu,

Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, 20353

E-mail: lailatulhusnalubis@uinsu.ac.id

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di zona merah dengan aktivitas seismik karena terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik dunia: lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Ketiga lempeng tersebut saling bergerak antara satu terhadap yang lain. Pergerakan relatif ketiga lempeng ini merupakan generator utama aktivitas gempa bumi di Indonesia (Harbiansyah, 2021). Pertemuan lempeng Indo-Australia yang bertabrakan di bawah lempeng Eurasia membentuk tumbukan zona subduksi sepanjang Sumatera bagian barat, selatan Jawa, dan selatan Nusa Tenggara yang dikenal dengan megatruster. Hal ini memberikan efek gempa tektonik pada jalur tersebut dan akan menyebabkan gempa bumi di masa mendatang (PuSGeN, 2017).

Kejadian gempa hampir setiap saat terjadi di Indonesia, baik gempa yang tidak terasa hingga gempa yang merusak. Menurut data yang ada pada PuSGeN 2017 dicatat ada 51.855 gempa yang terjadi sejak 1907 sampai Agustus 2016 dengan magnitudo $\geq 4,5$ Mw.

Gempa yang terjadi di wilayah Sumatera didominasi oleh gempa dengan mekanisme *thrust* akibat adanya proses subduksi dan gempa sesar geser seperti Sumatera dan di barat laut Sumatera (Ardiansyah, 2014). Hal ini dikarenakan pulau Sumatera merupakan wilayah yang terletak pada pertemuan dua lempeng (lempeng Indo-Australia dan Eurasia) bergerak dengan kecepatan sekitar 60 mm/tahun (Nurdianasari, 2017). Pada bagian utara Sumatera, yaitu di sekitar Pulau Simeulue dan Nias terjadi distribusi seismisitas tinggi dengan membentuk beberapa pola yang cukup unik (PuSGeN, 2017).

Kepulauan Nias adalah kepulauan terbesar di Sumatera, terletak di bagian barat Sumatera dan secara administratif termasuk dalam wilayah Sumatera Utara. Kepulauan Nias terletak di sebelah barat Sumatera, membuatnya rentan terhadap gempa bumi dan tsunami karena erat kaitannya dengan pengangkatan dan tingginya sedimentasi yang terjadi (Aribowo, 2014). Wilayah barat Sumatera ini juga terletak pada jalur tumbukan dua lempeng tektonik,

yakni lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia. Tabrakan kedua lempeng ini mengakibatkan potensi tektonik yang terjadi secara periodik.

Kurun waktu 200 tahun terakhir, Nias telah mengalami empat kali bencana gempa bumi dan tsunami dengan skala magnitudo yang besar, yaitu tahun 1861 (M=8,5), 1907 (M=7,4), 2004 (M=9,2), dan 2005 (M=8,7) (Khoiridah, 2017). Gempa bumi yang melanda wilayah Kepulauan Nias yang cukup besar terjadi pada 28 Maret 2005 merupakan musibah lanjutan yang terjadi di Aceh 26 Desember 2004. Pusat gempa terletak pada posisi 2,0657° LU dan 97,010° BT dengan kedalaman 30 Km. Kota Gunung Sitoli menjadi salah satu wilayah yang mengalami kerusakan paling parah baik dari segi bangunan, faktor ekonomi, dan jumlah korban gempa, dengan magnitudo gempa sebesar 8,7 Mw. Hal ini disebabkan letak wilayah tersebut di tepi pantai timur Pulau Nias dan pasirnya terbentuk dari endapan aluvial (sungai dan pantai) yang tidak sejajar. Adanya kondisi tanah yang buruk merupakan salah satu sumber amplifikasi yang menyebabkan terjadinya gempa bumi (Wirastin Harefa, 2019).

Kondisi wilayah Kepulauan Nias yang rentan terjadinya gempa bumi, dilakukan analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA) menjadi salah satu parameter gempabumi yang bertujuan untuk meminimalisir efek kerusakan akibat gempabumi. Analisis PGA merupakan dampak gelombang gempa di lokasi penelitian, sehingga dapat menjadi ukuran resiko gempa bumi (Bessi, 2018). Nilai PGA dapat diperoleh melalui perhitungan metode absolut dan metode empiris. Metode absolut merupakan perhitungan nilai percepatan tanah maksimum dengan menggunakan data rekaman dari *accelerograf* (Sungkowo, 2018). Namun, ketersediaan *accelerograf* tidak merata di seluruh Indonesia digunakan pendekatan empiris untuk mendapatkan nilai PGA di Kepulauan Nias (Kusumawardani, 2020).

Ada berbagai metode untuk mendapatkan nilai PGA seperti McGuire, Donovan, Kanai, Kawasumi, Gutengerg-Richter, Murphy-O'Brein, Esteva dan lain-lain. Pada penelitian ini

digunakan metode Esteva karena penyesuaian kasus gempabumi dengan memperhitungkan karakteristik sumber gempabumi, kondisi geologi dan geotektoniknya. Formulasi ini menggunakan parameter gempa: lintang dan bujur gempa, magnitudo dan kedalaman gempa. Perhitungan nilai percepatan tanah dengan metode Esteva memiliki batasan terhadap data yang akan digunakan. Data seismik yang dapat digunakan adalah data gempa dengan kedalaman ≥ 10 Km dan bermagnitudo ≥ 3 Mw, yang kemudian dikonversi menjadi magnitudo permukaan (Mw).

Sejak 16 tahun terakhir, zona subduksi Sumatera menghasilkan rentetan gempa-gempa besar yang memakan banyak korban dan harta benda. Maka, dihitung percepatan tanah untuk setiap peristiwa seismik dari tahun 2006 hingga 2022. Nilai PGA yang dihasilkan akan memperlihatkan besarnya dampak dari perpindahan susunan partikel tanah yang diakibatkan gempa. Semakin besar nilai PGA akan semakin besar dampak yang akan diberikan (Baucokro, 2016).

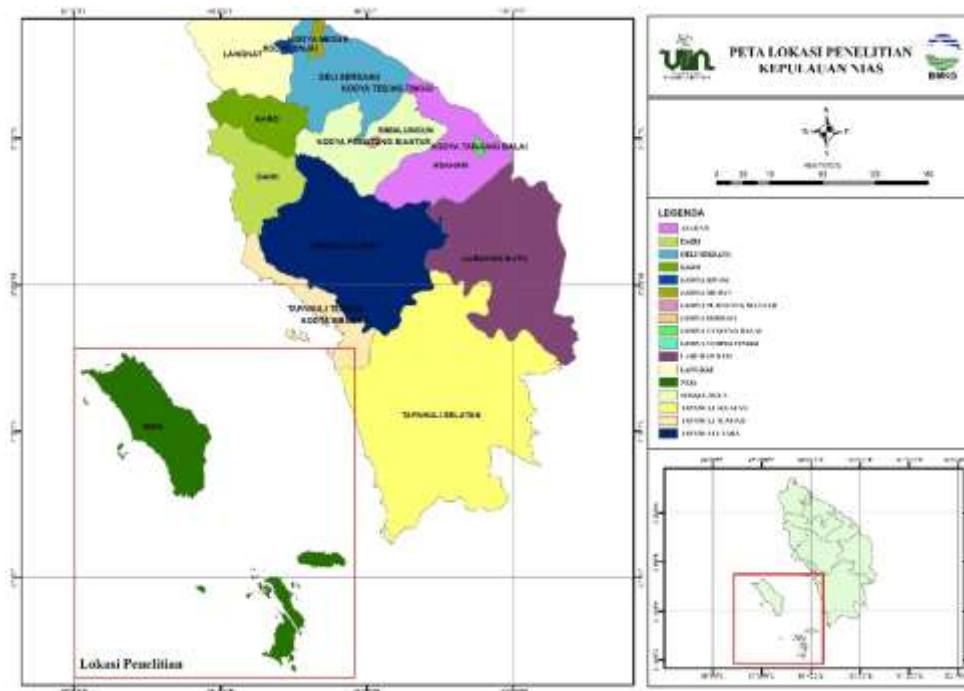
Nilai PGA dinyatakan dalam g (Gravitational Acceleration = g) atau m/s^2 ($1 g =$

$9,81 m/s^2$ atau dalam gal dimana $1 gal$ sama dengan $0,01 m/s^2$, $1 g = 981 gal$) (Kurniawan, 2019). Nilai PGA yang dihasilkan menunjukkan tingkat resiko bencana yang terjadi dan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan mitigasi bencana, desain struktur bangunan dan rencana tata ruang di Kepulauan Nias (Kapojos, 2015). Tujuan analisis ini akan sesuai dengan pengertian dari pemukiman Niswah (2015), pemukiman merupakan wilayah dengan penataan tanah dan ruang, prasarana dan sarana lingkungan terstruktur dengan pelayanan dan pengolahan yang optimal (Niswah, 2015).

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari sampai Februari 2023 di Stasiun Klimatologi Kelas I Deli Serdang Kota Medan. Pada Gambar 1. merupakan wilayah yang diteliti yaitu Kepulauan Nias, Provinsi Sumatera Utara dengan titik koordinat $-0,651^{\circ} - 1,612^{\circ}$ LU dan $96,632^{\circ} - 98,884^{\circ}$ BT.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah komputer (*hardware*), *Microsoft Word* 2019, *Microsoft Excel* 2019, *Visio*, dan *ArcGIS* 10.8. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, data seismic Kepulauan Nias tahun 2006 hingga tahun 2022, peta dasar Indonesia, peta dasar kabupaten Sumatera Utara, peta dasar kecamatan Sumatera Utara, dan data nilai PGA Kepulauan Nias tahun 2006 hingga tahun 2022 yang telah diolah di dalam *Microsoft Excel*, dan peta dasar lautan Indonesia.

Metode Analisis Data

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data gempa bumi dengan cara mengunduh data gempa bumi dari katalog IRIS dari tahun 2006 hingga tahun 2022. Sebanyak 2467 historis gempa bumi yang terjadi pada rentang waktu tersebut, selanjutnya dikonversi nilai magnitudo menjadi *M_w* (*Magnitudo Momen*). Setelah itu, percepatan tanah dihitung dengan metode Esteva. Dengan mengumpulkan data gempa bumi signifikan/ merusak dengan kekuatan magnitudo ≥ 3 *M_w* dan kedalaman ≥ 10 Km.

Perhitungan dilakukan menggunakan *Microsoft Excel*. Sedangkan analisa hasil pemetaan menggunakan *ArcGIS* 10.8. Tools yang digunakan adalah *kringing* untuk menemukan wilayah dengan nilai percepatan tanah maksimum tertinggi dan terendah. Pelaksanaan ini meliputi beberapa tahap, antara lain:

1. Tahap Persiapan
Tahap ini mengidentifikasi pertanyaan-pertanyaan yang dapat digunakan sebagai penelitian, disertai dengan tinjauan literatur untuk dijadikan referensi berupa jurnal dengan sumber terpercaya dalam melakukan penelitian.
2. Tahap Pengumpulan Data
Tahap pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan data sekunder gempabumi di Kepulauan Nias sejak tahun 2006 hingga 2022 dengan magnitudo ≥ 3 *M_w* dan kedalaman hiposenter 10-900 Km. Data gempa tersebut diperoleh dari katalog IRIS.
3. Tahap Pengolahan Data

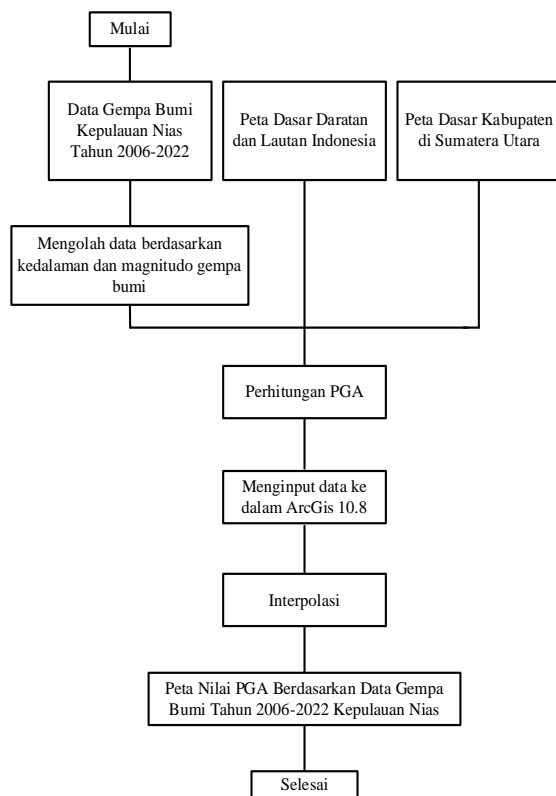
Pengolahan data dilakukan pada *Microsoft Excel* 2019 dengan menggunakan formulasi Esteva untuk mendapatkan nilai PGA pada setiap titik gempa. Formulasi Esteva adalah: (Pujiastuti, 2018):

$$a = \frac{5600 \exp^{0.5M_w}}{(R + 40)^2}$$

Keterangan:

- a : Nilai percepatan tanah maksimum (gal)
- M_w* : Magnitudo momen
- R : Jarak hiposenter/ kedalaman (Km)

Berikut ini merupakan diagram alir untuk tahap pengolahan data pada penelitian.

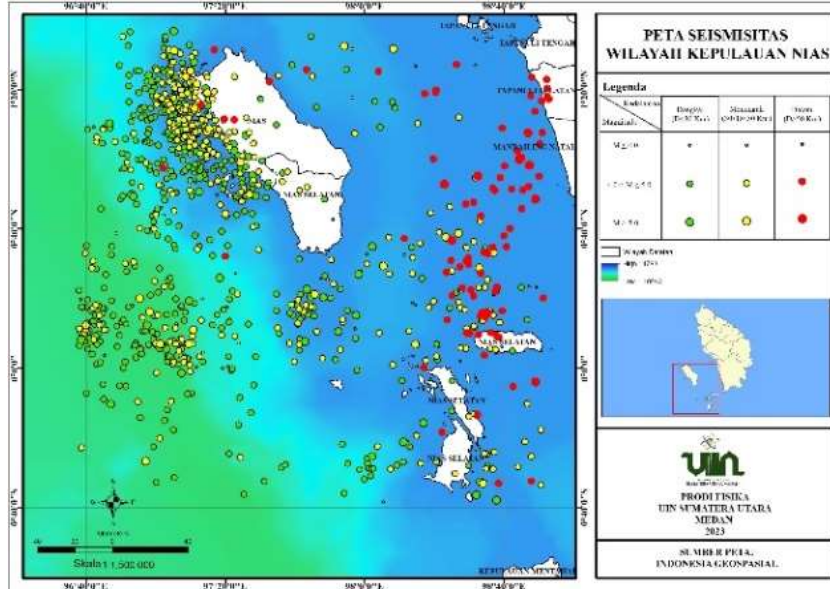


Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data

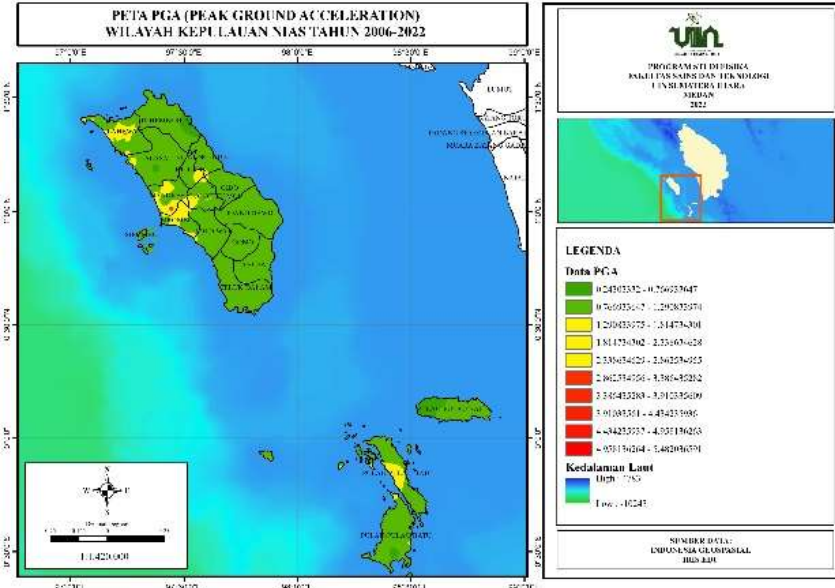
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil sebaran gempa yang terjadi di wilayah Kepulauan Nias sejak tahun 2006 sampai 2022 ditunjukkan oleh peta seismisitas gempa pada Gambar 3. Tercatat ada 2467 gempa yang terjadi dengan magnitudo ≥ 3 *M_w*. Simbol lingkaran pada peta menunjukkan setiap kejadian seismik yang telah terjadi di wilayah tersebut.

Apabila simbol lingkaran pada peta semakin besar, maka semakin besar pula kekuatan gempa yang terjadi. Dapat dilihat dari Gambar 4. bahwa gempa bumi terdistribusi secara rapat di wilayah perairan sebelah barat laut Kepulauan Nias.



Gambar 3. Peta seismisitas wilayah Kepulauan Nias tahun 2006 sampai tahun 2022

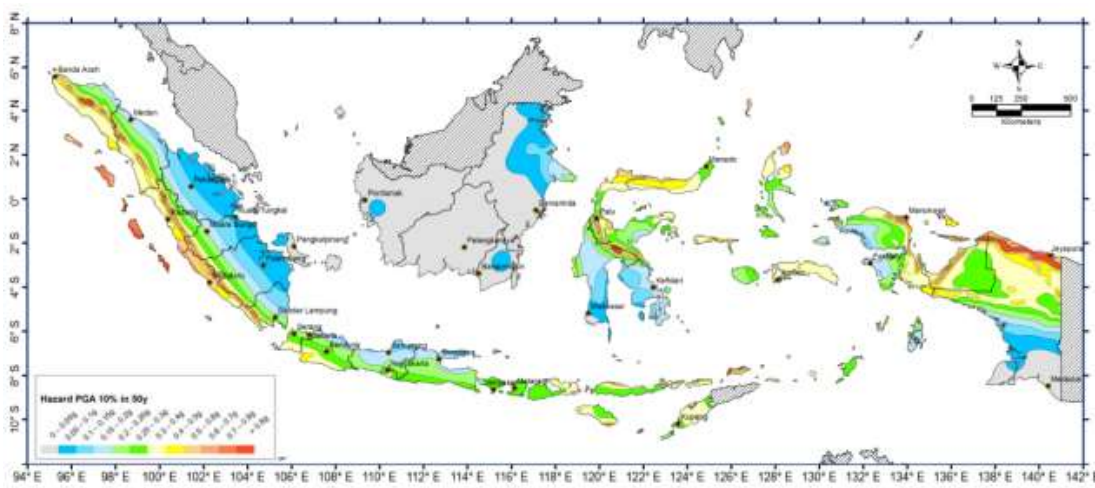


Gambar 4. Hasil pemetaan berdasarkan nilai PGA dengan metode Esteva

Gambar 5. menunjukkan nilai percepatan tanah maksimum ditandai dengan warna merah. Nilai percepatan tanah maksimum tersebut melingkup dua wilayah saja, yaitu Kecamatan Mandrehe dan Kecamatan Lahewa. Untuk nilai PGA yang terbesar berada di Kecamatan Mandrehe sebesar 5.482 gal. Nilai percepatan tanah maksimum banyak ditunjukkan dengan warna hijau hingga kuning yang persebarannya merata di sepanjang wilayah Kepulauan Nias.

Tingkatan warna yang berbeda pada peta dapat diartikan sebagai nilai PGA yang diperoleh dari nilai PGA terendah yang ditunjukkan warna hijau hingga nilai PGA tertinggi ditunjukkan warna merah.

Pada Gambar 4. dapat dilihat bahwa wilayah Kepulauan Nias memiliki intensitas nilai percepatan tanah maksimum yaitu diantara 0.7 - 0.8 g, dan > 0.8 g.



Gambar 5. Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (Sumber: PuSGeN 2017).

Sementara itu, pada Gambar 6. dapat dilihat berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus empiris Esteva didapatkan nilai percepatan tanah maksimum tertinggi yaitu 5.482 gal atau sama dengan 0.00559 g pada koordinat 0.093° LU – 97.05° BT dan nilai percepatan tanah maksimum terendah yaitu 0.243 gal atau sama dengan 0.0002477 g pada koordinat 1.444 LU – 98.243 BT. Nilai PGA yang diperoleh metode Esteva sebesar 0.243 gal sampai 5.482 gal (0.0002477 g sampai 0.00559 g), sedangkan nilai PGA pada peta acuan Pusat Studi Gempa 2017 sebesar 0.7 g – 0.8 g (Januarti, 2022).

Jika dilakukan perbandingan dari nilai PGA dari metode Esteva dengan PuSGeN 2017, akan didapatkan perbedaan nilai yang besar. Hal ini dapat disebabkan adanya perbedaan metode yang dilakukan, konstanta pada persamaan dalam menganalisis nilai percepatan tanah maksimum, serta perbedaan pada persamaan empiris (Bessi, 2018). Metode yang digunakan pada peta acuan PuSGeN 2017 menggunakan metode Mc.Guire, sedangkan pada penelitian menggunakan metode Esteva. Penyebab lainnya

karena rentang waktu data yang digunakan. Peta PuSGeN 2017 memiliki rentang waktu 50 tahun sedangkan pada penelitian memiliki rentang waktu 16 tahun. Perbedaan rentang waktu yang dimiliki diantara keduanya sangat jauh, sehinggaini menjadi alasan yang sangat kuat mengapa terjadi perbedaan antara nilai PGA pada penelitian dengan peta acuan PuSGeN 2017.

PENUTUP

Kesimpulan penelitian ini yaitu wilayah Kepulauan Nias memiliki dua kecamatan, yaitu Kecamatan Mandrehe dan Kecamatan Lahewa yang memiliki nilai percepatan tanah maksimum (PGA) tinggi pusat gempa yang berada dilautan menyebabkan efek yang tidak begitu terasa dengan pemukiman.

Secara umum, hasil dari metode pemetaan yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa wilayah dengan tingkat kerentanan kerusakan tertinggi adalah Kecamatan Mandrehe dan Kecamatan Lahewa.

Wilayah Kepulauan Nias memiliki rentang nilai PGA antara 0.243 g – 5.482 g. Rentang nilai PGA ini berbeda dengan rentang nilai PGA yang tertera di dalam peta acuan PuSGeN 2017. Penyebab perbedaan ini dikarenakan metode, persamaan empiris, konstanta pada persamaan, serta rentang waktu data yang digunakan berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, S. (2014). Energi Potensial Gempabumi Di Kawasan Segmen Mentawai-Sumatera Barat (0.5° LS – 4.0° LS dan 100° BT – 104° BT). *PSJ*, 2(1).
- Aribowo, S. et. all. (2014). Deformasi Kompleks di Pulau Simeulue, Sumatra: Interaksi Antara Struktur dan Diapirisme. *Riset Geologi dan Pertambangan*, 24(2), 2354-6638.
- Baucokro, A. H., & Madlazim. (2016). Zonasi Provinsi Sumatra Barat Berdasarkan Percepatan Tanah Maksimum Menggunakan Metode MC Guire Akibat Gempa Tahun 1966-2016. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 5(3), 15–22.
- Bessi, A. M. et. al. (2018). Pemetaan Nilai Percepatan Tanah Maksimum Dengan Metode Deterministic Seismic Hazard Analysis Di Lokasi Pembangunan Observatorium Nasional Desa Bitobe Kecamatan Amfoang Tengah Kabupaten Kupang. *Jurnal Fisika*, 3(1), 2503-5274.
- Harbiansyah. et. all. 2021. Studi Penentuan Percepatan (*Accleration*) Tanah Daerah Ampana, Balikpapan, Bone, Bulukumba, Bau-Bau Akibat Gempabumi Dongala 28 September 2018. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 4(1).
- Januarti, Y., & D S Ramadoni. (2022). Analisis Pendekatan Empiris Terhadap Percepatan Tanah Maksimum di Provinsi Papua Barat Menggunakan Metode Esteva, Donovan dan M.V. Mickey. *Seminar Nasional Fisika (SNF)*.
- Kapojos, C.G. et. all. (2015). Analisis Percepatan Tanah Maksimum dengan Menggunakan Rumusan Esteva dan Donovan. *Jurnal Ilmiah*, 15(2).
- Kurniawan, S. et. all. (2019). Pemetaan Kerawanan Bencana Gempa Bumi dengan Metode PSHA Periode Ulang 2500 Tahun Studi Kasus Pulau Lombok-Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Geosaintek*, 5(3), 109-112.
- Kusumawardani, B. N. et. al. (2020). Analisis PGA (Peak Ground Acceleration) Pulau Lombok Menggunakan Metode Pendekatan Empiris. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 16(3), 122–127. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i3.6372>
- Khoiridah, S. et. all. (2017). Validasi Potensi Tsunami Berdasarkan Estimasi Durasi Patahan dan Pemodelan Tsunami di Wilayah Barat Sumatra (Studi Kasus: Gempa Bumi Nias 2005 dan Mentawai 2010). *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 2(1), 39-54.
- Niswah, K., & Moch. Arifien. (2015). Pengaruh Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Terhadap Kualitas Fisik Bangunan Permukiman di Kecamatan Gubug Kabupaten Grobogan. *Geo-Image*, 4(2).
- Nurdianasari, I., Awaluddin, M., & Janu Amarrohman, F. (2017). Analisis Deformasi Postseismik Gempa Nias 2005 Menggunakan Data GPS. In *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4).
- Pujiastuti, D. et. all. (2018). Analisis Kecocokan Nilai Percepatan Tanah Kota Padang Berdasarkan Perhitungan Secara Empiris dengan Data Percepatan Tanah dari Akselerograf yang Terpasang di Stasiun Maritim Teluk Bayur Padang. *Jurnal Ilmu Fisika*, 10(2), 103-112.
- Pusat Studi Gempa Nasional (Indonesia), & Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman (Indonesia). (2017). *PuSGeN 2017*.
- Sungkowo, Ari. (2018). Perhitungan Nilai Percepatan Tanah Maksimum Berdasar Rekaman Sinyal Accelerograph di Stasiun Pengukuran UNSO Surakarta. *Applied Physycs*, 8(1).
- Wirastin Harefa, R., & Helfia Edial. (2019). Analisis Bahaya Bencana Gempa Bumi Di Wilayah Kota Gunungsitoli. *Jurnal Buana*, 3(6), 1213–1228.