
PERHITUNGAN INTENSITAS GEMPA BUMI BERDASARKAN NILAI PGA (PEAK GROUND ACCELERATION) MENGGUNAKAN DATA GEMPA BUMI MULTI-EVENT (STUDI KASUS: KABUPATEN PANDEGLANG, BANTEN)

Teguh Hariyanto¹, Filsa Bioresita², Chomia Nilam Safitri³

^{1,2,3} Departemen Teknik Geomatika, FTSPK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia
e-mail: ¹teguh_hr@geodesy.its.ac.id

Abstrak

Kabupaten Pandeglang terletak di wilayah pesisir pantai selatan Pulau Jawa yang berdekatan dengan zona subduksi *megathrust*. Zona ini berasal dari pertemuan Lempeng Indo-Australia yang menunjam di bawah Lempeng Eurasia. Sehingga dapat menyebabkan sering terjadinya gempa bumi akibat pergerakan lempeng yang menunjam di wilayah tersebut. Selain itu, Kabupaten Pandeglang juga berbatasan dengan Selat Sunda di bagian barat di mana wilayah tersebut terdapat Gunung Krakatau yang berpotensi menimbulkan gempa bumi akibat letusan gunung berapi. Untuk itu, perlu adanya analisis perhitungan intensitas gempa bumi di Kabupaten Pandeglang sebagai langkah awal dalam mitigasi bencana. Proses ini menggunakan data gempa bumi *multi-event* yaitu periode tahun 2010 – 2018 dengan menggunakan metode perhitungan intensitas gempa bumi yang dihitung berdasarkan nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*). Intensitas yang terdapat di Kabupaten Pandeglang adalah V – VII MMI dengan persentase terbesar (91,463%) yaitu VI MMI dengan luas 2513,526 km². Sedangkan persentase terkecil (0,301%) yaitu V MMI dengan luas 8,27 km². Kecamatan di Kabupaten Pandeglang yang memiliki intensitas tertinggi terhadap gempa bumi adalah Kecamatan Angsana, Cibitung, Cimanggu, Pagelaran, Panimbang, Patia, Sindangresmi, Sobang, dan Sukaresmi.

Kata kunci : Gempa Bumi, Intensitas, PGA

Abstract

Pandeglang Regency is located in the southern coast of Java Island which is adjacent to the megathrust subduction zone. This zone originates from the meeting of the Indo-Australian Plate which is subducted under the Eurasian Plate. So that it can cause frequent earthquakes due to the movement of the plunging plates. Other than that, Pandeglang Regency is also bordered by the Sunda Strait in the western part where the region has Mount Krakatau which has the potential to cause earthquakes due to volcanic eruptions. For this reason, an analysis of the calculation of earthquake intensity in Pandeglang Regency is needed as an initial step in disaster mitigation. This process uses multi-event earthquake data in the period of 2010 - 2018 and using the earthquake intensity calculation method which is calculated based on the PGA (Peak Ground Acceleration). The range of earthquake intensity in Pandeglang Regency is V - VII MMI with the largest percentage (91.463%) is VI MMI with area of 2513,526 km². While the smallest percentage (0.301%) is V MMI with area of 8.27 km². Districts in Pandeglang Regency which have the highest intensity of earthquakes are Angsana, Cibitung, Cimanggu, Pagelaran, Panimbang, Patia, Sindangresmi, Sobang, and Sukaresmi Districts.

Keywords : Earthquake, Intensity, PGA

PENDAHULUAN

Pertemuan Lempeng Indo-Australia yang menunjam di bawah Lempeng Eurasia menghasilkan zona subduksi di sepanjang barat Pulau Sumatra, bagian selatan Pulau Jawa, hingga bagian selatan Nusa Tenggara yang disebut dengan *megathrust*. Akibatnya, pada jalur tersebut akan sering terjadi gempa tektonik akibat pergerakan lempeng yang menunjam tersebut (Hamzah dkk, 2000). Melalui informasi yang diperoleh dari data geofisika, geodesi, dan kegempaan, zona subduksi (penunjaman/ sesar/ patahan) dapat disebut sebagai zona sumber gempa atau *algerismic source zone* yang memiliki potensi menimbulkan gempa di waktu mendatang (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).

Kabupaten Pandeglang terletak di wilayah pesisir pantai selatan Pulau Jawa yang berdekatan dengan zona subduksi *megathrust*. Selain itu, gempa bumi di wilayah Kabupaten Pandeglang juga dapat terjadi akibat letusan gunung api di Selat Sunda yaitu Gunung Krakatau yang memiliki potensi terjadinya gempa bumi dan tsunami (Wahyudin, 2011)

Untuk itu, perlu adanya penelitian mengenai identifikasi intensitas gempa bumi di Kabupaten Pandeglang sebagai langkah awal dalam mitigasi bencana. Proses ini menggunakan data gempa bumi *multi-event* yaitu periode tahun 2010 – 2018. Metode yang digunakan adalah perhitungan PGA (*Peak Ground Acceleration*) menggunakan persamaan empiris Youngs, dkk (1997) dan intensitas gempa bumi menggunakan persamaan empiris Wald, dkk (1999).

Penentuan persamaan PGA sebagian besar diturunkan di luar Indonesia karena belum adanya persamaan khusus PGA di Indonesia. Oleh karena itu, studi tentang tingkat risiko gempa bumi di suatu wilayah di Indonesia, masih banyak menggunakan persamaan yang diperoleh di wilayah lain di luar Indonesia dengan asumsi adanya kesamaan kondisi geologi dan tektonik dengan wilayah di Indonesia (Rini, 2015). Selain itu, pemilihan persamaan PGA didasarkan pada perbandingan hasil pengolahan data menggunakan persamaan PGA yang ada dengan data rekaman getaran tanah/akselerograf yang terdapat di Indonesia. Ahazarda (2013) melakukan perbandingan tersebut terhadap 11 persamaan PGA untuk sumber gempa subduksi dengan data

rekaman akselerograf wilayah Jawa dan Sumatra. Hasilnya menunjukkan bahwa untuk sumber gempa subduksi, persamaan Youngs, dkk (1997), Atkinson-Boore (2003), dan Zhao, dkk (2006) cocok dengan data akselerograf di wilayah Jawa dan Sumatra.

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan studi kasus pada penelitian ini berada di Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten yang secara geografis terletak pada $6^{\circ}21' - 7^{\circ}10'$ LS dan $104^{\circ}48' - 106^{\circ}11'$ BT. Secara administrasi, Kabupaten Pandeglang berbatasan dengan Kabupaten Serang di sebelah utara, Kabupaten Lebak di sebelah timur, Samudra Hindia di sebelah selatan, dan Selat Sunda di sebelah barat.



Gambar 1. Peta Administrasi Kabupaten Pandeglang (Pemerintah Daerah Kabupaten Pandeglang, 2016)

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa perangkat lunak, antara lain:

1. Perangkat lunak pengolah data SIG
2. Perangkat lunak pengolah angka

Bahan

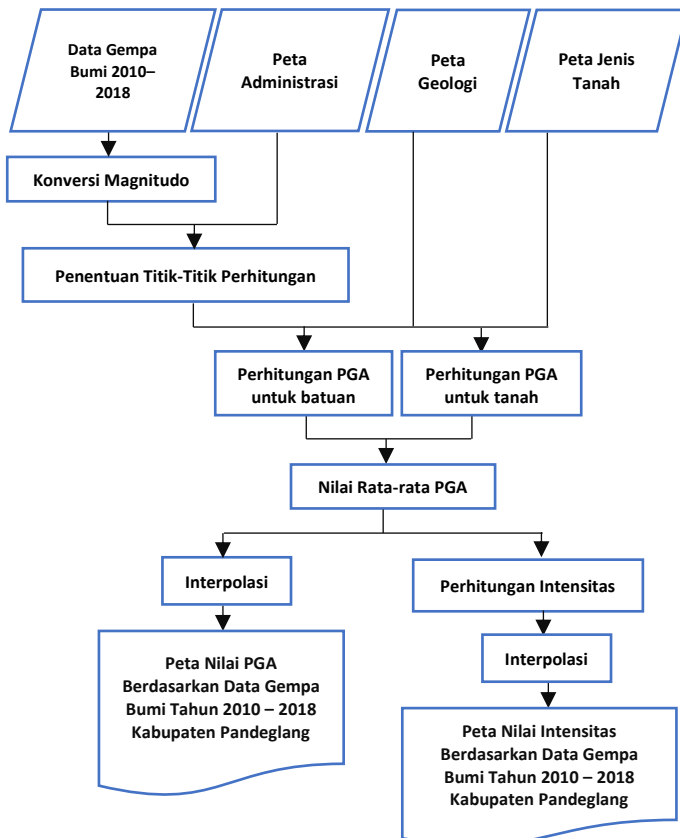
Pada penelitian ini dibutuhkan beberapa data untuk menunjang pelaksanaan penelitian, antara lain:

1. Data Gempa Bumi Kabupaten Pandeglang Tahun 2010 – 2018
2. Peta Administrasi Kabupaten Pandeglang
3. Peta Geologi Kabupaten Pandeglang
4. Peta Jenis Tanah Kabupaten Pandeglang

Metodologi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, antara lain:

1. Tahap Persiapan
Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap permasalahan yang dapat dijadikan suatu penelitian beserta studi literatur yang berfungsi sebagai referensi dalam melakukan penelitian. Literatur dapat berupa buku maupun jurnal penelitian dengan sumber yang dapat dipertanggungjawabkan.
2. Tahap Pengumpulan Data
Tahap ini diperlukan untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam penelitian.
3. Tahap Pengolahan Data
Berikut ini merupakan diagram alir tahap pengolahan data:

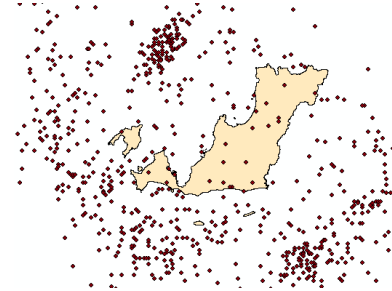


Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data

Berikut ini merupakan penjelasan diagram alir perhitungan PGA dan intensitas gempa bumi:

- a. Data-data yang digunakan adalah Data Gempa Bumi Kabupaten Pandeglang Tahun 2010 – 2018, Peta Administrasi, Peta Geologi, dan Peta Jenis Tanah Kabupaten Pandeglang. Berikut ini merupakan Data Gempa Bumi Kabupaten Pandeglang Tahun 2010 – 2018

yang di dalamnya terdapat 1024 *event* gempa bumi.

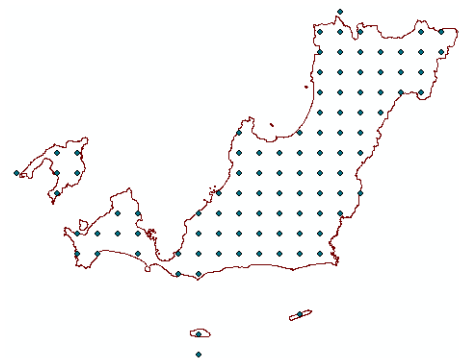


Gambar 3. Data Gempa Bumi Kabupaten Pandeglang Tahun 2010 – 2018

- b. Konversi semua tipe magnitudo ke dalam bentuk Magnitudo Momen (M_w). Berikut ini merupakan persamaan konversi magnitudo menurut Irsyam, dkk (2010):

$$M_w = 0,114 mb^2 - 0,556 mb + 5,560 \quad (1)$$

$$mb = 0,125 ML^2 - 0,389 ML - 3,513 \quad (2)$$
 dengan:
 M_w = Magnitudo Momen
 mb = *body wave magnitude*
 ML = Magnitudo Lokal
- c. Penentuan titik-titik perhitungan berupa *grid* yang berukuran $3' \times 3'$ yang mencakup wilayah Kabupaten Pandeglang secara keseluruhan.



Gambar 4. Titik *Grid* Wilayah Kabupaten Pandeglang

- d. Perhitungan PGA (*Peak Ground Acceleration*) menggunakan persamaan Youngs, dkk (1997) dengan bentuk persamaan sebagai berikut:
 - 1) Untuk batuan:

$$\ln(y) = 0,2418 + 1,414M + C \ln(R + 1,7818e^{0,554M}) + 0,00607H + 0,3846Z_T \quad (3)$$
 - 2) Untuk tanah:

$$\ln(y) = -0,6687 + 1,438M + C \ln(R + 1,097e^{0,617M}) + 0,00648H + 0,3643Z_T \quad (4)$$

dengan :

y = nilai *peak ground acceleration* (g)

C = -2,552 (untuk batuan) dan -2,329

(untuk tanah)

e = 2,718281828

R = jarak hiposenter (km)

M = Magnitudo Momen (Mw)

Z_T = tipe sumber (0 untuk gempa bumi *interface*, 1 untuk gempa bumi *intraslab*)

Perhitungan dilakukan pada 1024 *event* gempa bumi di tiap titik perhitungan. Setelah itu menentukan nilai PGA terbesar di tiap titik perhitungan untuk digunakan pada proses interpolasi dan perhitungan intensitas gempa bumi. Karena keseluruhan wilayah Kabupaten Pandeglang terdapat batuan dan tanah, maka hasil dari perhitungan PGA menggunakan PGA rata-rata batuan dan tanah.

- e. Interpolasi perhitungan PGA menggunakan perangkat lunak pengolah data SIG dengan metode IDW untuk mengubah data titik menjadi poligon sehingga dapat diklasifikasikan sesuai dengan rentang nilai PGA. Hasil berupa “Peta Nilai PGA Berdasarkan Data Gempa Bumi Tahun 2010-2018 Kabupaten Pandeglang”.
- f. Perhitungan Intensitas Gempa Bumi menggunakan persamaan Wald, dkk (1999) dengan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$I = 3,66 \log \text{PGA} - 1,66 \quad (5)$$
 dengan I adalah intensitas gempa menurut skala MMI.
- g. Interpolasi perhitungan Intensitas Gempa Bumi menggunakan perangkat lunak pengolah data SIG dengan metode IDW. Hasil berupa klasifikasi skala I – XII MMI yang disajikan dalam bentuk “Peta Intensitas Berdasarkan Data Gempa Bumi Tahun 2010-2018 Kabupaten Pandeglang”.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan PGA dan Intensitas Gempa Bumi

Berikut ini merupakan hasil dari perhitungan PGA menggunakan persamaan empiris Youngs, dkk (1997) dan intensitas gempa bumi menggunakan persamaan empiris Wald, dkk (1999).

Tabel 1. Hasil Perhitungan PGA dan Intensitas Gempa Bumi

No	Bujur (°)	Lintang (°)	PGA (gal)	I	I (MMI)
1	105,793	-6,811	118,691	5,932	VI
2	105,843	-6,411	154,548	6,352	VI
3	105,343	-6,711	150,611	6,311	VI
4	105,893	-6,211	112,385	5,846	VI
5	106,043	-6,411	85,565	5,412	V
6	105,643	-6,711	130,905	6,088	VI
7	106,193	-6,261	81,740	5,340	V
8	105,593	-6,661	138,025	6,172	VI
9	105,093	-6,611	131,718	6,098	VI
10	105,743	-6,761	140,113	6,196	VI
11	105,843	-6,811	92,991	5,544	V
12	105,693	-6,561	127,103	6,041	VI
13	105,893	-6,411	137,100	6,162	VI
14	105,593	-6,811	147,013	6,273	VI
15	105,693	-6,761	160,879	6,416	VI
16	105,893	-6,461	147,451	6,277	VI
17	105,543	-6,711	108,475	5,789	VI
18	105,743	-6,611	140,165	6,197	VI
19	105,293	-6,811	153,266	6,339	VI
20	105,993	-6,361	111,448	5,832	VI
21	105,843	-6,461	169,275	6,497	VI
22	105,793	-6,661	125,139	6,016	VI
23	105,943	-6,411	110,896	5,824	VI
24	105,793	-6,711	100,074	5,661	VI
25	105,893	-6,311	103,417	5,713	VI
26	105,243	-6,811	167,477	6,480	VI
27	105,343	-6,761	141,488	6,212	VI
28	105,643	-6,511	127,880	6,051	VI
29	105,843	-6,711	97,899	5,626	VI
30	106,093	-6,261	133,469	6,119	VI
31	105,543	-7,061	167,070	6,476	VI
32	105,743	-6,661	115,962	5,895	VI
33	105,893	-6,261	113,340	5,859	VI
34	105,793	-6,561	179,980	6,594	VII
35	105,593	-6,761	137,998	6,172	VI
36	105,843	-6,611	152,443	6,330	VI
37	105,643	-6,761	159,841	6,405	VI
38	105,493	-6,861	172,698	6,528	VII
39	105,893	-6,611	132,938	6,113	VI
40	106,043	-6,311	138,049	6,173	VI
41	106,093	-6,361	98,330	5,633	VI
42	105,943	-6,461	116,746	5,906	VI
43	105,793	-6,511	177,433	6,571	VII
44	105,743	-6,711	118,691	5,932	VI
45	105,243	-6,561	151,353	6,319	VI
46	106,093	-6,311	118,981	5,936	VI
47	105,693	-6,661	103,621	5,717	VI
48	105,843	-6,261	101,488	5,683	VI
49	105,593	-6,711	117,303	5,914	VI
50	105,493	-6,811	149,695	6,301	VI
51	105,943	-6,511	117,170	5,912	VI
52	105,793	-6,961	100,993	5,676	VI
53	105,643	-6,661	122,649	5,985	VI
54	105,743	-6,561	157,525	6,382	VI
55	105,643	-6,811	173,734	6,538	VII
56	105,793	-6,761	113,371	5,859	VI
57	106,093	-6,411	79,036	5,286	V
58	105,643	-6,611	141,103	6,207	VI
59	105,393	-6,761	141,103	6,207	VI
60	105,843	-6,661	123,251	5,992	VI
61	105,193	-6,561	138,187	6,174	VI
62	105,193	-6,661	135,968	6,148	VI
63	105,693	-6,811	175,055	6,550	VII
64	105,543	-6,761	111,324	5,831	VI

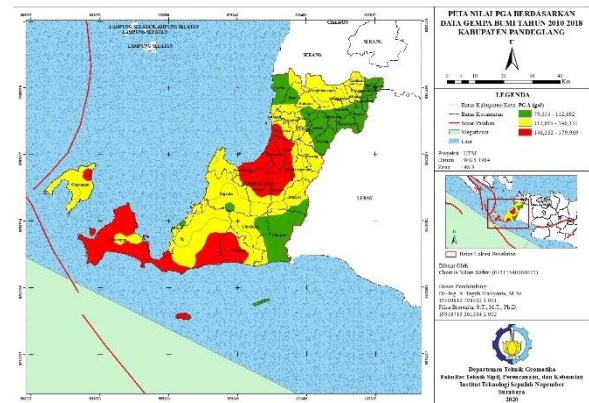
65	105,693	-6,711	131,511	6,095	VI
66	105,943	-6,311	126,010	6,027	VI
67	105,743	-6,811	149,523	6,299	VI
68	105,393	-6,811	168,197	6,486	VI
69	105,993	-6,411	87,282	5,444	V
70	106,143	-6,261	104,591	5,731	VI
71	105,793	-6,611	155,779	6,365	VI
72	105,943	-6,661	95,348	5,584	VI
73	105,543	-6,811	132,248	6,104	VI
74	105,543	-7,011	164,782	6,454	VI
75	105,843	-6,561	174,990	6,549	VII
76	105,193	-6,611	116,126	5,898	VI
77	105,943	-6,261	143,068	6,229	VI
78	105,243	-6,611	131,076	6,090	VI
79	106,143	-6,311	96,327	5,601	VI
80	105,893	-6,561	147,787	6,281	VI
81	105,843	-6,361	124,643	6,010	VI
82	105,943	-6,361	102,652	5,702	VI
83	105,643	-6,561	143,535	6,234	VI
84	105,393	-6,711	156,030	6,367	VI
85	105,893	-6,361	114,218	5,871	VI
86	105,993	-6,461	90,517	5,502	VI
87	105,893	-6,661	111,424	5,832	VI
88	105,693	-6,611	116,764	5,906	VI
89	105,893	-6,511	146,319	6,265	VI
90	105,843	-6,511	172,643	6,528	VII
91	105,843	-6,311	96,918	5,610	VI
92	105,543	-6,861	148,003	6,283	VI
93	105,843	-6,761	89,991	5,492	V
94	105,993	-6,311	141,341	6,210	VI
95	105,893	-6,711	91,200	5,514	VI
96	105,243	-6,761	155,789	6,365	VI
97	105,943	-6,561	117,992	5,923	VI
98	105,293	-6,761	151,563	6,321	VI
99	106,043	-6,361	109,632	5,806	VI

Untuk nilai intensitas gempa bumi dilakukan pembulatan sesuai dengan skala MMI. Hasil dari perhitungan di atas selanjutnya dilakukan interpolasi dengan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*) agar dapat menjadi Peta Nilai PGA dan Peta Intensitas Gempa Bumi Kabupaten Pandeglang.

Pada Tabel 1 di atas dapat diketahui bahwa terdapat hubungan antara nilai PGA dan intensitas gempa bumi yang berbanding lurus. Semakin besar nilai PGA, maka semakin besar pula intensitas gempa bumi, begitupun sebaliknya.

Peta Nilai PGA

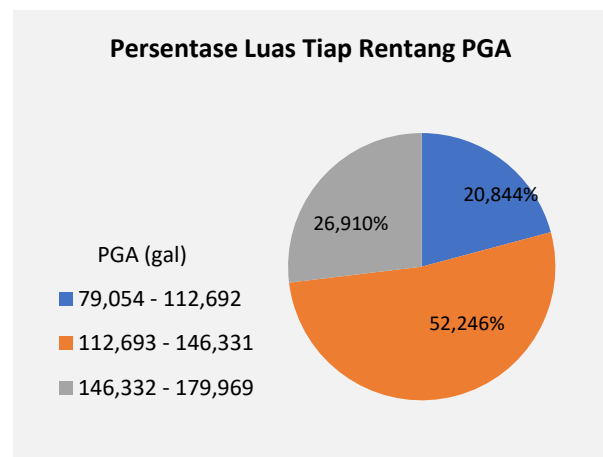
Berikut ini merupakan hasil dari Peta Nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) yang didapat dari interpolasi titik-titik pada Tabel 1 lalu dilakukan pemotongan sesuai dengan wilayah penelitian. Setelah itu diklasifikasikan menjadi 3 rentang nilai PGA (gal).



Gambar 6. Peta Nilai PGA

Berdasarkan peta tersebut, dapat diketahui bahwa rentang nilai PGA tertinggi (146,332 – 179,969 gal) terdapat pada Kecamatan Angsana, Cibitung, Cigeulis, Cimanggu, Pagelaran, Panimbang, Patia, Picung, Sindangresmi, Sobang, Sukaresmi, dan Sumur.

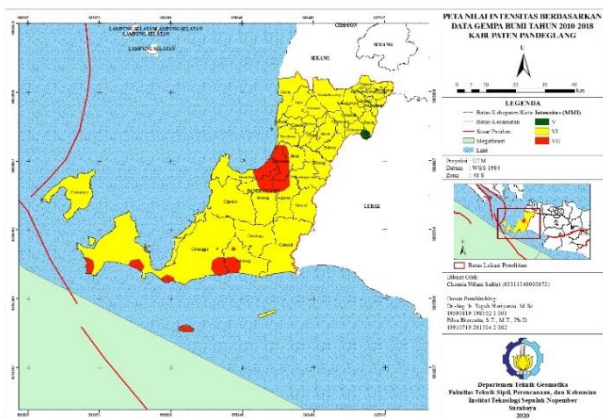
Pada Gambar 5 berikut ini disajikan persentase luas rentang nilai PGA yang ada di Kabupaten Pandeglang. Persentase terbesar (52,246%) adalah rentang PGA 112,693 – 146,331 gal dengan total luas 1436,249 km². Sedangkan persentase terkecil (20,844%) adalah rentang PGA 79,054 – 112,692 gal dengan total luas 572,987 km².



Gambar 6. Persentase Luas Tiap Rentang PGA

Peta Intensitas Gempa Bumi

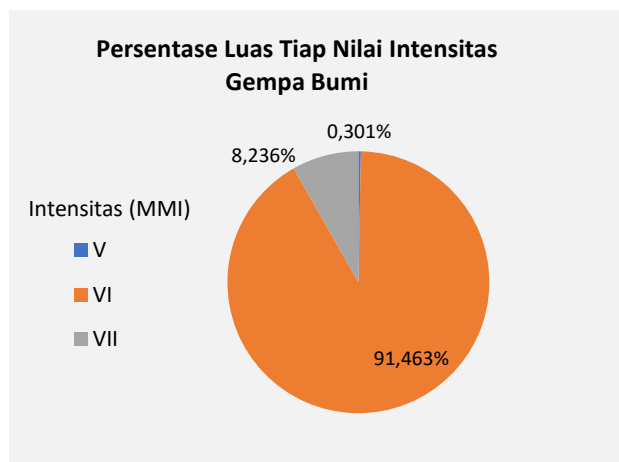
Berikut ini merupakan hasil dari Peta Intensitas Gempa Bumi yang didapat dari interpolasi titik-titik pada Tabel 1 lalu dilakukan pemotongan sesuai dengan wilayah penelitian. Setelah itu diklasifikasikan menjadi 3 nilai intensitas (MMI) yang ada di Kabupaten Pandeglang yaitu V – VII MMI.



Gambar 7. Peta Intensitas Gempa Bumi

Berdasarkan peta tersebut, dapat diketahui bahwa nilai intensitas tertinggi (VII MMI) terdapat pada Kecamatan Angsana, Cibitung, Cimanggu, Pagelaran, Panimbang, Patia, Sindangresmi, Sobang, dan Sukaresmi.

Persentase luas tiap nilai intensitas digambarkan melalui diagram berikut ini dengan persentase terbesar (91,463%) adalah VI MMI dengan luas 2513,526 km² dan persentase terkecil (0,301%) adalah V MMI dengan luas 8,27 km². Sedangkan untuk VII MMI memiliki persentase 8,236% dengan luas 226,325 km².



Gambar 8. Diagram Persentase Luas Tiap Nilai Intensitas

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisis penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Persentase terbesar luas rentang PGA adalah 52,246% (1436,249 km²) dengan rentang PGA 112,693 – 146,331 gal. Sedangkan persentase terkecil adalah

20,844% (572,987 km²) dengan rentang PGA 79,054 – 112,692 gal.

2. Persentase terbesar nilai intensitas adalah 91,463% (2513,526 km²) dengan intensitas VI MMI. Sedangkan persentase terkecil adalah 0,301% (8,27 km²) dengan intensitas V MMI.
3. Terdapat hubungan antara PGA dan intensitas gempa bumi yang berbanding lurus. Semakin besar nilai PGA, maka semakin besar pula nilai intensitas gempa bumi, begitupun sebaliknya. Hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 1 yang merupakan hasil perhitungan PGA dan intensitas gempa bumi. Selain itu, hubungan antara PGA dan intensitas gempa bumi dapat juga ditunjukkan dengan persentase luas. Persentase luas terbesar rentang PGA terdapat pada kategori sedang (112,693 – 146,331 gal), begitu juga dengan persentase luas terbesar nilai intensitas (VI MMI). Persentase luas terkecil rentang PGA terdapat pada kategori rendah (79,054 – 112,692 gal), begitu juga dengan persentase luas terkecil nilai intensitas (V MMI).
4. Kecamatan di Kabupaten Pandeglang yang memiliki intensitas tertinggi terhadap gempa bumi adalah Kecamatan Angsana, Cibitung, Cimanggu, Pagelaran, Panimbang, Patia, Sindangresmi, Sobang, dan Sukaresmi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini, terutama kepada Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika serta Pemerintah Daerah Kabupaten Pandeglang.

DAFTAR PUSTAKA

Ahazarda, R. 2013. *Development of Strong-motion Database for The Sumatra-Java Region*. Canberra: The Australian National University.

Atkinson, G. M dan Boore, D. M. 2003. *Empirical Ground-motion Relations for Subduction Zone Earthquakes and Their Application to Cascadia and Other Regions*. Bulletin of the Seismological Society of America. 93 (4): 1703-1729.

- Hamzah, dkk. 2000. *Tsunami Catalog and Zones in Indonesia*. Journal of Natural Disaster Science. 22 (1): 25-43.
- Irsyam, dkk. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010 (Edisi 2)*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Pemerintah Daerah Kabupaten Pandeglang. 2016. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Tahun 2016 – 2021*. Tersedia pada <http://bappeda.pandeglangkab.go.id/dokumen-perencanaan/>. (diakses pada 30 Agustus 2019).
- Rini, V. S. 2015. *Kajian Awal Persamaan Prediksi Percepatan Tanah di Zona Subduksi Wilayah Bali dan Sekitarnya*. Skripsi. Program Sarjana Terapan Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang Selatan.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Wahyudin, Y. 2011. *Karakteristik Sumber Daya Pesisir dan Laut Kawasan Teluk Pelabuhan Ratu, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat*. Bonorowo Wetlands. 1(1): 19-32.
- Wald, dkk. 1999. *Relationship Between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California*. Earthquake Spectra. 15 (3): 557-564.
- Youngs, dkk. 1997. *Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes*. Seismological Research Letters. 68 (1): 58-73.
- Zhao, dkk. 2006. *An Empirical Site-classification Method for Strong-motion Stations in Japan using H/V Response Spectral Ratio*. Bulletin of the Seismological Society of America. 96 (3): 914-925.