

ANALISIS INDEKS BAHAYA GEMPA BUMI BERDASARKAN PGA PERMUKAAN DI KECAMATAN SANDEN KABUPATEN BANTUL D.I. YOGYAKARTA

Umar^{1*}, Thaqibul Fikri Niyartama¹, Nugroho Budi Wibowo¹

¹ Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Jl. Marsda Adisucipto
519739, Indonesia

*E-mail: 16620034@student.uin-suka.ac.id

INTISARI

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh fenomena gempa bumi yang pernah terjadi di daerah Yogyakarta akibat gempa 2006. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui indeks bahaya gempa bumi berdasarkan metode yang dikembangkan oleh BNPB dan JICA dengan membuat peta persebaran rawan bahaya gempa bumi yang dikorelasikan dengan peta pemukiman. Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Sanden di selatan Kabupaten Bantul. Metode BNPB dan JICA memanfaatkan empat parameter utama yaitu kecepatan gelombang geser di kedalaman 30 meter (V_{s30}), *Ground Amplification Factor* (*GAF*), percepatan getaran tanah batuan dasar (PGA_{SB}) dan percepatan getaran tanah permukaan (*PGA*). V_{s30} diperoleh dari metode inversi menggunakan data pengukuran mikrotremor, nilai V_{s30} tersebut di konversi menjadi nilai *GAF* menggunakan rumusan Midorikawa dkk (1994), untuk PGA_{SB} diperoleh dari situs PUSKIM, berdasarkan panduan pemetaan indeks bahaya gempa bumi nilai V_{s30} dan PGA_{SB} yang di peroleh jika dikalikan maka akan mendapatkan nilai *PGA* permukaan kemudian nilai *PGA* permukaan tersebut di reklasifikasi jenis kelasnya berdasarkan metode BNPB dan JICA. Hasil penelitian menunjukan bahwa nilai V_{s30} berkisar 154,66 m/s s.d 260,80 m/s, nilai *GAF* berkisar 1,64 g s.d 2,09 g, nilai PGA_{SB} berkisar 0,52 g s.d 0,67 g, dan nilai *PGA* permukaan berkisar 0,87 s.d 1,32 g. Indeks bahaya gempa bumi meliputi seluruh Kecamatan Sanden dengan nilai indeks 1 dan persebaran pemukiman rawan terhadap bahaya gempa bumi tertinggi berada di seluruh daerah penelitian.

Kata Kunci: *GAF*, Gempa Bumi, Mikrotremor, Percepatan Getaran Tanah (*PGA*) Permukaan, PGA_{SB} , V_{s30}

ABSTRACT

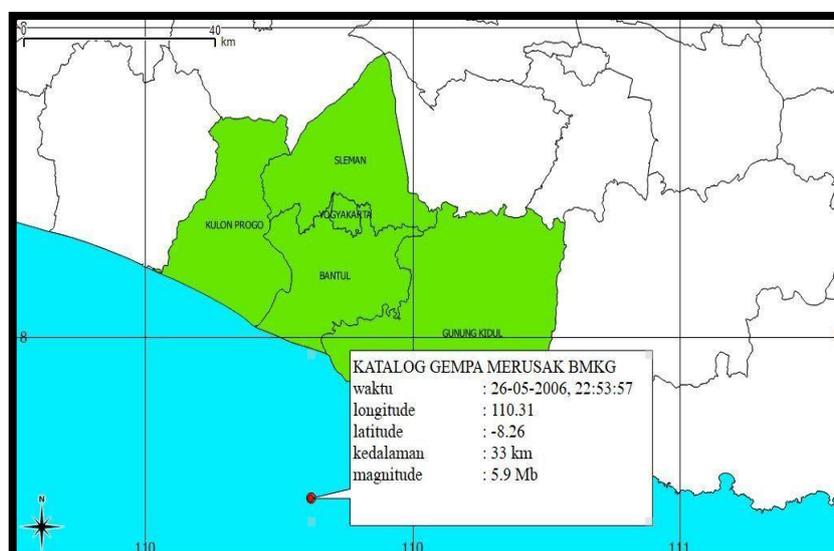
*This research is motivated by the earthquake phenomena that have occurred in the Yogyakarta area due to the 2006 earthquake. This study aims to determine the earthquake hazard index based on the method developed by BNPB and JICA by making earthquake hazard distribution maps correlated with settlement maps. This research was conducted in Sanden District in the south of Bantul Regency. The BNPB and JICA methods utilize four main parameters, namely shear wave velocity at a depth of 30 meters (V_{s30}), Ground Amplification Factor (*GAF*), accelerated ground rock vibration (PGA_{SB}) and acceleration of surface ground vibration (*PGA*). V_{s30} is obtained from the inversion method using microtremor measurement data, the V_{s30} value is converted into a *GAF* value using the formula Midorikawa et al (1994), for PGA_{SB} it is obtained from the PUSKIM website, based on the earthquake hazard index mapping guide the V_{s30} and PGA_{SB} values obtained if multiplied then will get the surface *PGA* value then the surface *PGA* value is reclassified by the type of class based on the BNPB and JICA methods. The results showed that the value of V_{s30} ranged from 154.66 m/s to 260.80 m/s, *GAF* values ranged from 1.64 g to 2.09 g, PGA_{SB} values ranged from 0.52 g to 0.67 g, and *PGA* values surface ranges from 0.87 to 1.32 g. The earthquake hazard index covers the entire Sanden District with an index value of 1 and the highest distribution of settlements prone to earthquake hazards is in the entire study area.*

Keywords: Earthquake, *GAF*, Microtremor, PGA_{SB} , Surface Ground Vibration Acceleration (*PGA*), V_{s30}

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang terletak di zona pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia yaitu lempeng India-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Salah satu daerah yang rawan akan gempa bumi terdapat di daerah pesisir selatan pulau Jawa seperti D.I. Yogyakarta yang merupakan bagian dari jalur gempa bumi yang terbentang dari Pulau Sumatera, Jawa, Bali hingga Nusa Tenggara yang termasuk pada zona subduksi lempeng Indo-Australia-Eurasia. Pertemuan dua lempeng ini menyebabkan wilayah ini sangat rentan terhadap gempa bumi [1]. Menurut data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) bahwa pada 20 tahun terakhir terjadi beberapa peristiwa gempa bumi tektonik yang melanda daerah pesisir selatan Pulau Jawa. Diantaranya gempa bumi D.I. Yogyakarta pada tanggal 26 Mei 2006. Gempa bumi dengan kekuatan 5,9 Mb dengan latitude $-8,26^\circ$ dan longitude $110,31^\circ$ (Gambar 1) [2]. Gempa bumi ini menewaskan 5.700 jiwa, mencederai lebih dari 40.000 sampai

60.000 orang, dan menghancurkan ratusan ribu rumah dan mata pencaharian mereka. Gempa bumi itu berdampak langsung terhadap seluruh Kecamatan di Bantul serta beberapa wilayah di Kabupaten Gunungkidul, Kulon Progo, Sleman, D.I. Yogyakarta dan sebagian Provinsi Jawa Tengah [3].



Gambar 1. Pusat gempa bumi D.I. Yogyakarta 26 Mei 2006 [1]

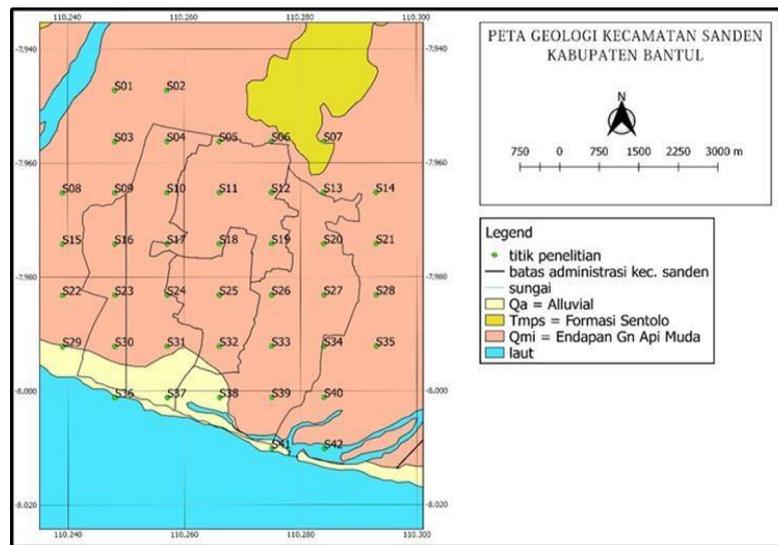
Salah satu wilayah pesisir selatan pulau Jawa yaitu Kecamatan Sanden Kabupaten Bantul D.I. Yogyakarta ikut terkena dampak dari gempa bumi Jogja tahun 2006 (Gambar 1). Gempa bumi tersebut mengakibatkan 97 rumah rusak total, 2.052 rusak berat, 4065 rusak ringan di Kecamatan Sanden [4]. Banyaknya kerusakan yang terjadi oleh gempa bumi salah satunya diakibatkan oleh kurangnya informasi khususnya data spasial mengenai kondisi wilayah yang berpotensi atau terkena dampak gempa bumi. Seperti yang terjadi pada Kecamatan Sanden Kabupaten Bantul. Daerah tersebut belum memiliki informasi khusus data spasial mengenai kondisi wilayah yang berpotensi atau terkena dampak gempa bumi yang dapat memperparah kerugian yang akan ditimbulkan ke depannya. Untuk itu perlu di lakukan penelitian tentang pemetaan daerah rawan bencana gempabumi.

Penelitian ini menggunakan metode yang dikembangkan oleh BNPB dan JICA dalam Resiko Bencana Indonesia (RBI) oleh BNPB. Nilai intensitas dan parameter lainnya seperti PGA batuan dasar, V_{s30} dan Ground Amplification Factor (GAF) diperlukan sebagai data kajian spasial. Nilai intensitas getaran di permukaan sendiri merupakan faktor utama dalam pembuatan peta zona rawan bencana gempa bumi. Pemetaan nilai intensitas getaran di permukaan diperlukan sebagai referensi upaya mitigasi. Hal ini akan mendukung dalam

pengambilan keputusan terkait kondisi masyarakat yang berada di daerah rawan bencana untuk dapat memperkirakan resiko yang muncul akibat bencana, sehingga kerugian dapat diminimalisir serta antisipasi dan kesiapan dalam menghadapi bencana dapat ditingkatkan.

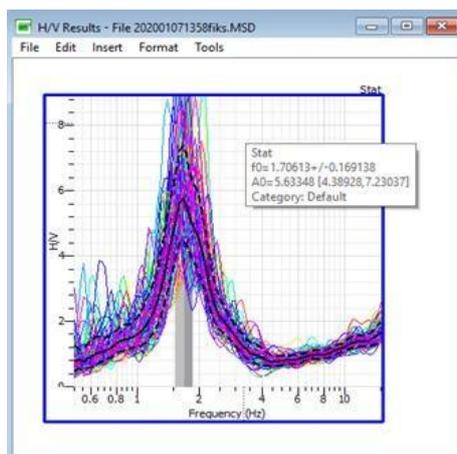
Metode Penelitian

Penelitian ini di bagi menjadi beberapa tahapan yang pertama yaitu tahapan studi awal, studi awal dilakukan untuk memperoleh informasi awal tentang kondisi lokasi penelitian di Kecamatan Sanden Kabupaten Bantul. Studi awal dilakukan dengan mencari informasi geologi, informasi geomorfologi dan informasi sejarah gempa bumi (Gambar 2).



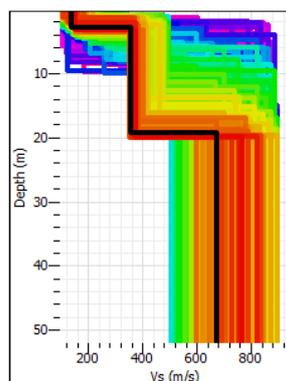
Gambar 2. Peta geologi dan titik penelitian

Tahapan yang kedua yaitu tahapan pembuatan desain survei, informasi yang diperoleh pada studi awal dibuat dalam bentuk peta. Peta tersebut dibuat untuk mempermudah dalam menganalisis dan mengkorelasikan dengan data yang akan diperoleh pada penelitian. Desain survei dibuat sebagai gambaran pengukuran lapangan. Tahapan yang ketiga yaitu Akuisisi data mikrotremor, dimana tahapan tersebut dilakukan untuk memperoleh pengukuran data gelombang mikroseismik bertempat di Kecamatan Sanden Kabupaten Bantul pada 07 s.d 12 Januari 2020. Proses pengambilan data mengacu pada peraturan SESAME European Research Project [5] dimana memiliki satuan dalam domain waktu. Pada pengambilan data mikrotremor dilakukan dengan jumlah total 42 titik pengukuran dengan interval sekitar 1 km. Tahapan yang keempat yaitu pengolahan data menggunakan Software Geopsy, data penelitian lapangan ini dalam domain waktu dipotong pada waktu yang bersamaan atau waktu yang sama kemudian di band pass filter 0,5 - 25 Hz. Selanjutnya dalam pengolahan HVSR lebar window yang dilakukan adalah 25 detik. Proses pemfilteran data dilakukan dengan metode konno & Ohmachi dengan konstanta smoothing 40. Dari pengolahan data tersebut dihasilkan data berupa faktor amplifikasi (A0) dan frekuensi dominan (f0). Data ini berupa grafik spektrum dan nilai yang dihasilkan melalui identifikasi atau pembacaan grafik (Gambar 3).



Gambar 3. Hasil pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR

Hasil pengolahan mikrotremor dengan metode HVSR di simpan dalam bentuk .hv yang selanjutnya dilakukan pengolahan menggunakan program Dinver pada software Sesarray Geopsy dengan metode ellipticity curve. Selain kurva H/V, terdapat parameter model awal yang menjadi masukan dalam pengolahan ini. Parameter tersebut meliputi nilai kecepatan gelombang P (V_p) kecepatan gelombang S (V_s) Poisson ratio, dan massa jenis (densitas) batuan yang ditentukan berdasarkan informasi geologi daerah penelitian. Hasil pengolahan ini berupa ground profiles kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (V_{s30}) dengan variasi model yang mempunyai nilai misfit (ketidakkcocokan) yang berbeda-beda (Gambar 4).



Gambar 4. Pengolahan V_{s30} menggunakan software dinver

Model dengan nilai misfit terendah akan digunakan sebagai model terbaik [6]. Nilai V_{s30} dan kedalamannya pada setiap lapisan menjadi data input untuk Parameter Ground Amplification Factor (GAF), dimana parameter GAF merupakan parameter utama pada penelitian ini. Parameter utama yang kedua yaitu PGASB, dimana parameter ini diperoleh dengan menginput koordinat longitude dan latitude titik penelitian ke dalam server PUSKIM di alamat http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/ [7]. Nilai-nilai PGA yang diperoleh dari PUSKIM berupa nilai PGA di batuan dasar. Parameter utama selanjutnya yaitu Nilai intensitas getaran di permukaan diperoleh dengan mengalikan antara PGASB dengan Ground Amplification Factor. Untuk memperoleh nilai indeks bahaya gempa bumi perlu dilakukan pengkelasan nilai intensitas getaran di permukaan dari 1 s.d 8 (Tabel 1) berdasarkan metode BNPB dan JICA tahun 2015 [8] (BNPB, 2016). Selanjutnya dilakukan juga proses pengkelasan berdasarkan 3 kelas yaitu rendah, sedang, dan tinggi dengan rentang skor 0 s.d 1 berdasarkan perka no 2/2012 (Tabel 2). Nilai indeks bahaya gempa bumi dikorelasikan dengan peta pemukiman daerah penelitian dimana luas pemukiman memiliki luas 232,64 ha, hal ini dimaksudkan untuk memperoleh peta zonasi yang lebih efektif terhadap dampak bahaya yang

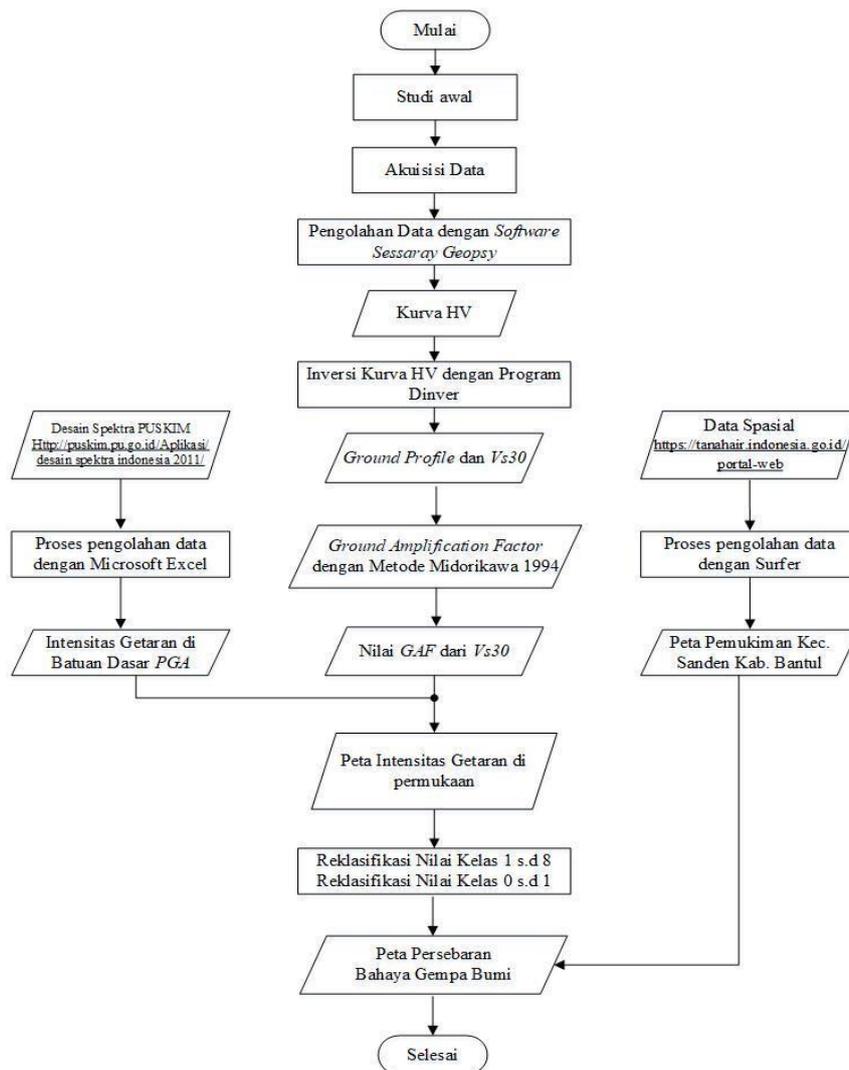
diakibatkan oleh gempa bumi. Adapun prosedur kerja pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 5.

Tabel 1. Hasil pengkelasan nilai intensitas getaran di permukaan (BNPB, 2016)

Kelas	Nilai	Indeks
<0.25	1	
0.25 – 0.30	2	
0.30 – 0.35	3	
0.35 – 0.40	4	
0.40 – 0.45	5	Nilai/Nilai Maks
0.45 – 0.50	6	
0.50 – 0.55	7	
>0.55	8	

Tabel 2. Pengkelasan berdasarkan skor 0 s.d 1 dari nilai PGA permukaan berdasarkan Perka No. 2/2012

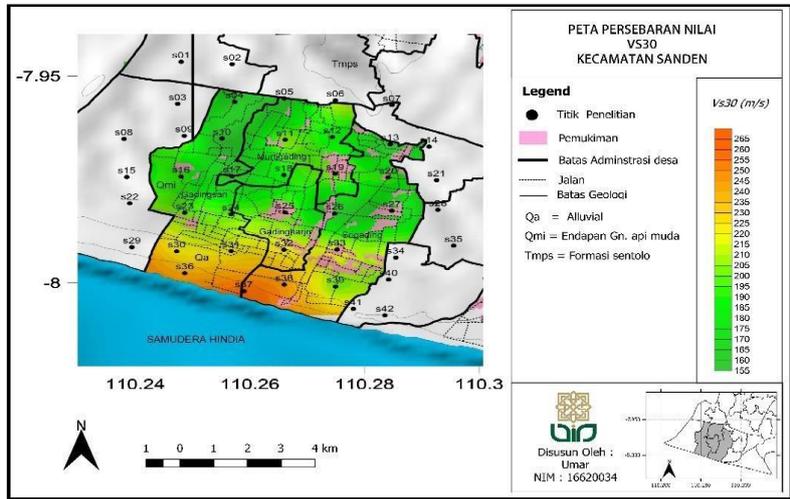
Kelas	Nilai	Bobot	Skor
Rendah	1		0.333333
Sedang	2	100%	0.666667
Tinggi	3		1.000000



Gambar 5. Diagram tahapan Penelitian

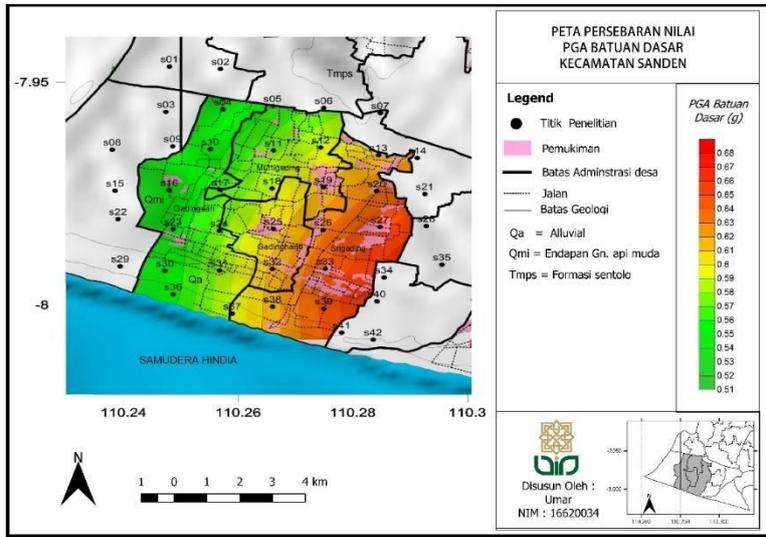
Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis indeks bahaya gempa bumi berdasarkan PGA permukaan di kecamatan sanden terdiri dari 4 bagian yaitu hasil analisis nilai Vs30, GAF, PGASB, dan PGA permukaan yang di buat dalam bentuk peta sehingga lebih mudah untuk dianalisis, dimana peta PGA permukaan digunakan untuk menentukan persebaran daerah rawan bencana gempa bumi di kecamatan sanden.



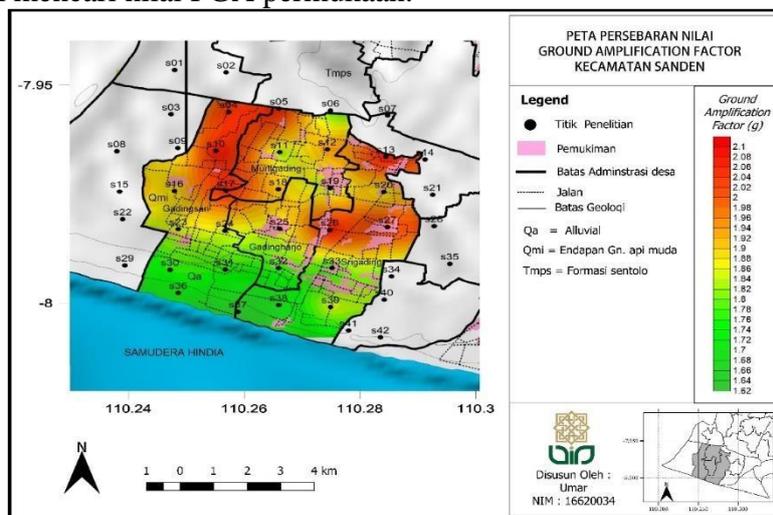
Gambar 6. Peta Persebaran Nilai Kecepatan gelombang geser (Vs30) Kecamatan Sanden

Persebaran nilai Vs30 pada gambar 6 menunjukkan daerah dengan nilai Vs30 rendah yang ditandai dengan warna hijau cenderung mendominasi daerah penelitian dengan nilai Vs30 berkisar antara 154,66 m/s sampai 170,34 m/s yang menempati bagian utara wilayah penelitian yang berada di Desa Murtigading dan sebagian desa lainnya seperti Desa Gadingsari, Gadingharjo dan Srigading. Daerah dengan nilai Vs30 rendah didominasi oleh endapan Gunung Api Merapi Muda, sedangkan daerah dengan nilai Vs30 cenderung tinggi yang ditandai dengan warna kuning sampai jingga dengan rentang nilai 178,08 m/s sampai 260,80 m/s berada di selatan wilayah penelitian yang meliputi sebagian Desa Srigading, Gadingsari dan Desa Gadingharjo yang di dominasi oleh endapan Alluvial dengan lapisan endapan yang lebih tipis, sehingga nilai Vs30 dipengaruhi oleh batuan dasar yang kedalamannya kurang dari 30 meter.



Gambar 7. Peta Persebaran Nilai Peak Ground Amplification PGA Batuan Dasar Kecamatan Sanden

Distribusi nilai PGA di Kecamatan Sanden beragam memiliki rentang nilai 0,52g s.d 0,67g yang bisa dilihat persebarannya pada gambar 3. nilai PGA yang relatif besar berada di bagian tenggara titik pengukuran dengan rentang nilai 0,60 g s.d 0,67 g berada di Desa Srigading yang ditunjukkan oleh warna merah. Daerah Kecamatan Sanden bagian tengah memiliki nilai PGA batuan dasar berkisar di rentang nilai 0,56 g s.d 0,59 g yang ditunjukkan warna kuning dalam peta persebarannya, nilai ini mendominasi di Desa Gadingharjo dan Desa Murtigading. Sementara daerah yang memiliki nilai PGA batuan dasar rendah mendominasi di bagian barat titik pengukuran dengan rentang 0,52g s.d 0,55g berada di Desa Gadingsari. Persebaran nilai PGA menunjukkan bahwa semakin ke timur maka didapatkan nilai PGA yang semakin tinggi, pola tersebut didapat karena nilai PGA akan semakin tinggi apabila mendekati sumber gempa bumi (subduksi dan fault) dan titik lokasi dengan nilai PGA tertinggi berada pada jarak yang relatif dekat dengan sesar opak kurang lebih 6 km, pada penelitian ini nilai PGA batuan dasar digunakan untuk mencari nilai PGA permukaan.

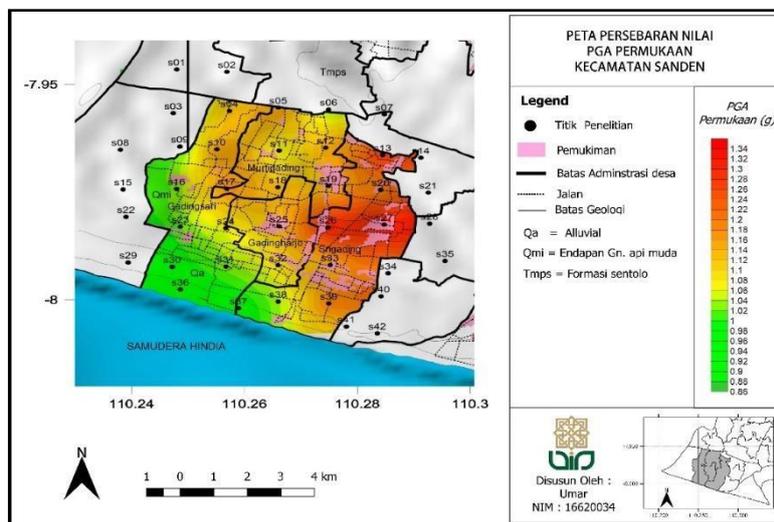


Gambar 8. Peta Persebaran Nilai Ground Amplification Factor (GAF) Kecamatan Sanden

Hasil analisis menunjukkan bahwa persebaran nilai GAF di Kecamatan Sanden berbeda di setiap titiknya, nilai GAF yang relatif kecil mendominasi di bagian selatan titik pengukuran dengan rentang nilai 1,64 g s.d 1,77 g berada di bagian selatan Desa Gadingsari, Desa Gadingharjo dan Desa Srigading yang di tandai dengan warna hijau, Sedangkan untuk wilayah Kecamatan Sanden yang memiliki nilai GAF dengan rentang 1,82 g s.d 1,94 g yang ditunjukkan warna kuning dalam peta persebarannya, nilai ini menyebar ke seluruh desa yang berada di Kecamatan Sanden. Sementara daerah yang memiliki nilai GAF tinggi berada di bagian utara Desa Gadingsari, sebagian Desa Murtigading dan sebagian Desa Srigading ditunjukkan dengan warna merah yang memiliki nilai persebaran di rentang 1,95 g s.d 2,09 g. Nilai GAF yang tinggi menjelaskan bahwa percepatan tanah dari batuan dasar menuju permukaan mengalami perbesaran nilai faktor amplifikasi, sehingga daerah yang memiliki nilai GAF tinggi cenderung lebih rawan jika terjadi gempabumi.

Persebaran nilai percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan (Gambar 9) memiliki nilai antara 0,87 s.d 1,32 g. Bila nilai PGA permukaan dibandingkan dengan PGA di batuan dasar maka terjadi faktor amplifikasi. Daerah yang mengalami faktor amplifikasi adalah Desa Murtigading dan Desa Gadingsari sebelah utara. Perubahan ini adalah pengaruh dari masukan faktor amplifikasi yang dihasilkan dari nilai Vs30. Peta yang ditunjukkan pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai PGA permukaan dibagi menjadi 2 yaitu zona dengan kerawanan tinggi ditandai dengan warna kuning sampai merah dan zona rawan rendah di tandai dengan warna hijau. Zona dengan kerawanan tinggi yang meliputi hampir seluruh Desa Srigading, Gadingharjo dan Murtigading, sedangkan untuk Desa Gadingsari hanya sedikit dibagian utara

desa. Berdasarkan besar kecilnya nilai PGA permukaan yang diperoleh dari hasil analisa bahaya gempabumi dapat memberikan gambaran tentang kemampuan lapisan tanah dalam menahan guncangan maksimum akibat getaran gempa. Semakin besar nilai PGA yang pernah terjadi disuatu tempat, maka semakin besar bahaya dan resiko gempabumi yang mungkin terjadi. Dalam menentukan peta persebaran zona rawan bahaya gempa bumi diperlukan kondisi riil di lapangan sehingga target mitigasi tersampaikan secara riil, penelitian ini dikorelasikan dengan luas pemukiman Kecamatan Sanden. Luas persebaran pemukiman kecamatan sanden adalah 232,64 ha.



Gambar 9. Peta Persebaran Nilai PGA permukaan Kecamatan Sanden

Peta persebaran wilayah pemukiman yang terdapat pada peta persebaran PGA permukaan (Gambar 9) cenderung mendominasi pada daerah rawan bencana gempabumi, untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih mudah maka persebaran pemukiman di bagi menjadi 2 zona yaitu persebaran pemukiman pada zona hijau dengan nilai PGA permukaan 0,87 sampai 1 g dan persebaran pemukiman pada zona kuning sampai merah dengan nilai PGA permukaan 1 sampai 1,32 g. Luas pemukiman pada zona hijau menempati 10% dari keseluruhan peta pemukiman kecamatan sanden dengan luas 24,27 ha, sedangkan untuk luas pemukiman pada zona kuning sampai merah memiliki luas pemukiman 208,37 ha atau sebesar 90% pemukiman wilayah sanden masuk dalam daerah rawan bencana gempabumi. Selain melakukan pembagian luasan pemukiman yang masuk dalam daerah rawan bencana, penelitian ini juga dilakukan pengkelasan berdasarkan acuan metode yang telah di kembangkan oleh BNPB dan JICA, dalam tabel 1 dengan pembagian nilai kelas dari 1 sampai 8 daerah penelitian yang memiliki nilai PGA permukaan 0,87 sampai 1,32 masuk dalam kategori nilai kelas 8, kemudian untuk mencari nilai indeks bahaya gempa bumi diperoleh dengan cara membagi nilai kelas PGA permukaan dibagi dengan nilai maksimum. Pada hasil pengolahan data diperoleh seluruh Kecamatan Sanden masuk pada kategori nilai indeks bahaya 1, sehingga seluruh Kecamatan Sanden merupakan zona daerah rawan bencana gempa bumi. Selain itu pengkelasan juga di lakukan oleh Tim 9 yang di sahkan oleh kementrian pekerjaan umum (2010) dalam PERKA BNPB No. 2 tahun 2012 pada tabel 2 tentang pedoman umum pengkajian resiko bencana, pengkelasan di bagi menjadi 3 tipe yaitu rendah dengan nilai skor 0,33, sedang dengan nilai 0,67 dan tinggi dengan nilai 1. Kecamatan Sanden memiliki nilai skor 1 sehingga Kecamatan Sanden masuk pada daerah rawan bencana gempa bumi dengan tingkat kerawanan tinggi. Hal ini bisa menjadi pertimbangan sebagai perencanaan dan penanggulangan bencana sebagai upaya mitigasi bencana gempabumi.

Daerah dengan potensi bahaya gempabumi tinggi disarankan untuk lebih waspada jika terjadi gempabumi karena kemungkinan mengalami kerusakan lebih besar jika dibandingkan dengan

wilayah lain sehingga mampu meminimalisir kerugian yang ditimbulkan. Langkah yang dapat dilakukan untuk mengurangi korban peristiwa gempa bumi dapat dilakukan dengan membangun bangunan tahan gempa bumi di atas wilayah rawan bencana gempa bumi sesuai dengan modul perencanaan dan pelaksanaan rumah tinggal tahan gempa bumi oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (PUSLITBANGKIM) di bawah Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai Peak Ground Amplification (PGA) batuan dasar di Kecamatan Sanden memiliki nilai rentang 0,52g s.d 0,67g. Nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (V_{s30}) memiliki rentang nilai 154,661 s.d 260,80 m/s. Nilai Ground Amplification Factor (GAF) memiliki nilai dengan rentang 1,64 sampai 2,09.
2. Berdasarkan metodologi yang telah dikembangkan oleh BNPB dan JICA (2015) persebaran nilai percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan memiliki nilai antara 0,87 sampai 1,32 g, dimana nilai PGA permukaan tinggi berada pada hampir seluruh Desa Srigading, Gadingharjo dan Murtigading, sedangkan untuk Desa Gadingsari hanya sedikit dibagian utara desa.
3. Berdasarkan metodologi yang telah dikembangkan oleh BNPB dan JICA (2015) zona persebaran daerah rawan bahaya gempa bumi yang di korelasi dengan pemukiman penduduk di Kecamatan Sanden berada di Desa Srigading, Gadingharjo dan Murtigading untuk zona kuning sampai merah dengan luas pemukiman 208,37 ha atau sebesar 90% pemukiman wilayah sanden masuk dalam daerah rawan bencana gempa bumi. Persebaran indeks bahaya gempa bumi di lakukan dengan cara melakukan pengkelasan dimana memiliki nilai indeks bahaya gempa bumi berdasarkan pengkelasan yang di rekomendasikan oleh BNPB dan JICA (2015) memiliki nilai 1 sehingga seluruh Kecamatan Sanden merupakan zona daerah rawan bencana gempa bumi.

Daftar Rujukan

- [1] Daryono, Sutikno, Prayitni dan Setio, B. 2009. Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempa bumi. Yogyakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [2] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2018. Buku Gempa bumi. Diakses 15 Januari 2019 dari <http://puslitbang.bmkg.go.id/litbang/wp-content/uploads/2018/01/buku-gempabumi.pdf>.
- [3] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. 2006. Penilaian Awal dan Kerusakan Bencana Alam di Yogyakarta dan Jawa Tengah. Public Disclosure Authorized: Jakarta.
- [4] Raharjo, Ferianto, Arfiandi, Lisantono dan Wibowo F.X. N. 2006. pelajaran dari gempa bumi yogyakarta 27 mei 2006. ISBN 979.9243.80.7 E-journal.uayj.ac.id.
- [5] SESAME. 2004. Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations. Europe: SESAME European research project.
- [6] Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung. Jakarta: BSN, SNI 1726:2012.
- [7] Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman. 2011. Desain Spektra Indonesia. Diakses 14 Februari 2020 dari http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/.
- [8] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2016. Metodologi dan Zonasi Resiko Bencana. BNPB. Jakarta