

PEMETAAN DAERAH RAWAN RESIKO GEMPA BUMI MENGUNAKAN METODE HVSR DI KOTAMADYA DENPASAR DAN SEKITARNYA, BALI

Riski Kurniawan^{1,2}, Marinda Noor Eva², Marjiyono³, Sismanto²

¹Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto Yogyakarta, Indonesia

²Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

³Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung

Abstrak

Telah dilakukan pengukuran mikrotremor di Kotamadya Denpasar dan sekitarnya pada bulan Mei sampai Juni dan Oktober sampai November 2014 oleh Pusat Survey Geologi (PSG) Bandung. Penelitian ini dilakukan pada 249 titik pengukuran mikrotremor single station. Pemetaan ini dilakukan untuk memetakan daerah rawan resiko di daerah penelitian berdasarkan hasil pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) dengan bantuan software *geopshy*.

Hasil pengolahan data mikrotremor Kotamadya Denpasar dan sekitarnya diperoleh nilai frekuensi dominan berkisar antara (0,96 – 14,59) Hz, nilai amplifikasi 1,15 – 12,08, nilai indeks kerentanan seismik 0,27 – 39,81, nilai percepatan getaran tanah permukaan (34,93 – 147,59) gal dan nilai ground shear strain $1,5 \times 10^{-3}$ – $2,1 \times 10^{-3}$.

Berdasarkan pengolahan data mikrotremor daerah Kotamadya Denpasar dan sekitarnya menunjukkan bagian selatan daerah penelitian memiliki potensi kerusakan lebih tinggi dibandingkan dengan bagian utara saat terjadi gempa bumi.

Kata kunci: Kotamadya Denpasar, Mikrotremor, Kerentanan Seismik, Peak Ground Acceleration (PGA), Ground Shear Strain, HVSR, Gempa bumi.

Abstract

Measurement of the mikrotremor have been done in Denpasar Municipality and surrounding areas in May to June and October to November 2014 by Geological Survey Center (PSG) shoes. This research was conducted on a single measurement point on 249 mikrotremor station. This mapping was done to map the risk-prone areas in the area of research based on the results of the data processing method using mikrotremor HVSR (Horizontal to Vertical Ratio Spectrum) with the help of software *geopshy*.

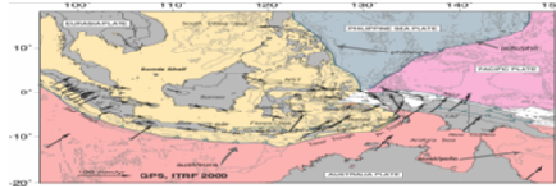
The results of the data processing mikrotremor Denpasar Municipality and surrounding dominant frequency values obtained range between (0.96 – 14.59) Hz, the value of 1.15 amplification – 12.08, seismic vulnerability index value of 0.27 – vibration acceleration value 39.81, ground surface (34.93 – 147.59) gal and the value of the ground shear strain of 1.5×10^{-3} – 2.1×10^{-3} .

Based on the data processing of the municipal area is mikrotremor Denpasar and nearby southern Lanao area of research has the potential to damage is higher compared to the northern part of the time of the earthquake.

Keyword: Denpasar municipality, Mikrotremor, Seismic Vulnerability, Peak Ground Acceleration (PGA), Ground Shear Strain, the HVSR, earthquakes.

1. Pendahuluan

Indonesia terletak diantara 3 lempeng utama (Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia) dan satu lempeng kecil yakni Lempeng Philipina, hal inilah yang menjadikan Indonesia memiliki tingkat seismisitas tinggi yang berarti juga memiliki kerawanan bahaya gempa bumi. Salah satunya adalah Pulau Bali yang merupakan bagian dari Indonesia yang juga memiliki tingkat seismisitas tinggi. Tingginya seismisitas di Pulau Bali dipengaruhi oleh 2 sumber yakni aktifitas subduksi di bagian selatan Pulau Bali dan sesar-sesar lokar disekitar Pulau Bali.



Gambar 1. Peta Pertemuan 3 lempeng di kepulauan Indonesia [9].

Letak Pulau Bali yang unik, menjadikan daerah ini sebagai kawasan seismik yang aktif dan kompleks, sehingga perlu dilakukan studi kegempaan [2]. Bencana alam gempa bumi tidak dapat dicegah dan belum dapat diperkirakan waktu, tempat, serta kekuatannya secara akurat namun dampak gempa bumi dapat dikurangi dengan langkah mitigasi.

Berdasarkan fakta tersebut, penulis melakukan penelitian dengan memetakan kawasan rawan resiko bencana gempa bumi di Kotamadya Denpasar dan sekitarnya yang merupakan daerah terpadat di Pulau Bali dengan analisis data mikrotremor dengan metode HVSR untuk mendapatkan peta mikrozonasi mikrotremor sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi. Analisis data mikrotremor menggunakan metode HVSR ini dikarenakan data mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dinamis kondisi geologi lokal. Kondisi geologi lokal inilah yang merupakan salah satu faktor yang juga memegang peranan penting dalam menyumbang tingkat kerusakan ketika gempa bumi terjadi selain faktor jarak dan intensitas gempa bumi

Mikrotremor dapat diartikan sebagai getaran konstan pada permukaan bumi yang sangat lemah dengan amplitudo antara 10^{-4} - 10^{-2} mm. Sumber mikrotremor merupakan efek gelombang laut, kegiatan atmosfer, interaksi angin dengan tanaman maupun pepohonan dan sumber-sumber kultural [10]. Para ahli sepakat bahwa mikrotremor tersusun atas berbagai jenis gelombang dan gelombang Rayleigh merupakan gelombang yang paling dominan di dalamnya [5]. Getaran yang perlu diketahui adalah getaran alamiah dari tanah untuk mengetahui frekuensi alamiah tanah dan faktor amplifikasi atau nilai kelipatan amplitudo getaran yang didapat dari pengukuran mikrotremor [6]. Sehingga didalam mikrotremor dengan getaran alamiah dapat menggambarkan keadaan alami sesungguhnya geologi lokal daerah penelitian.

1.1 Metode HVSR

Analisis data mikrotremor dapat dilakukan menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*). Metode HVSR meliputi perekaman tanah menggunakan satu stasiun tunggal dengan tiga komponen (dua komponen horizontal, utara-selatan dan barat-timur dan satu komponen vertikal). Metode HVSR merupakan perhitungan data mikrotremor dengan cara menghitung perbandingan komponen horizontal dengan komponen vertikal yang terjadi pada spektrum getaran tanah pada setiap data yang diakusisi dan dianalisis menggunakan persamaan:

$$HVSR = \frac{S_H}{S_V}, \quad (1)$$

dengan S_H adalah spektrum komponen horizontal data pengukuran mikrotremor dan S_V adalah spektrum vertikal data pengukuran mikrotremor.

Dari pengolahan data mikrotremor *single station* menggunakan metode HVSR didapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0) tiap titik pengukuran yang kemudian dipergunakan untuk analisis perhitungan parameter-parameter lainnya, yakni:

1.2 Nilai indeks kerentanan seismik (K_g)

Indeks kerentanan seismik merupakan parameter yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerawanan suatu daerah terhadap ancaman resiko gempa bumi. Indeks kerentanan seismik dengan tingkat resiko gempa bumi terhadap kerusakan akibat gempa bumi menunjukkan hubungan yang linear. Untuk setiap titik ukur, nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai amplifikasi (A_0) kemudian dibagi dengan nilai frekuensi dominan (f_0) yang didapatkan pada spektrum HVSR [7] sebagaimana yang ditunjukkan pada persamaan:

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (2)$$

1.3 Peak Ground Acceleration (PGA)

Percepatan getaran tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration* / PGA) merupakan nilai terbesar dari percepatan getaran tanah yang pernah dialami di suatu tempat karena gempa bumi [1].

Berdasarkan adanya data mengenai PGA ini dapat membantu dalam bidang mitigasi bencana gempa bumi dan mendesain struktur bangunan yang tahan akan gempa.

1.3.1 PGA Kanai

Metode Kanai adalah salah satu metode yang dipergunakan untuk menghitung nilai PGA dilapisan permukaan. Percepatan getaran tanah menggunakan metode Kanai ditunjukkan dengan persamaan :

$$\alpha_z = \frac{5}{\sqrt{T_b}} 10^{0,61M} - 1,66 + \frac{3,6}{R} \log R + 0,167 - \frac{1,82}{R}, \quad (3)$$

dengan α_z adalah percepatan getaran tanah maksimum di lapisan permukaan dalam gal, T_b adalah periode dominan tanah dalam sekon, M adalah magnitudo momen dalam M_W dan R adalah jarak hiposenter dengan pengukuran dalam satuan km.

1.3.2 PGA Fukushima dan Tanaka

Persamaan PGA yang dirumuskan oleh Fukushima dan Tanaka (1990) [3] adalah nilai percepatan gerakan tanah di batuan dasar sebanding dengan jarak hiposenter. Secara sederhana jika jarak titik pengukuran dengan hiposenter jauh maka nilai PGA batuan dasar akan bernilai rendah dan juga sebaliknya. Percepatan gerakan tanah maksimum di batuan dasar menurut persamaan Fukushima dan Tanaka dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\log \alpha_b = 0,41 M_W - \log(R + 0,032 \times 10^{0,41 M_W}) - 0,0034 R + 1,3, \quad (4)$$

dengan α_b adalah percepatan gerakan tanah di batuan dasar (gal), M_W adalah magnitudo momen dan R adalah jarak hiposenter ke stasiun (km).

1.4 Ground Shear Strain

Ground shear strain merupakan suatu parameter yang menunjukkan kemampuan tanah di suatu daerah merenggang atau bergeser saat terjadi gempa bumi. *Ground shear strain* menurut [8] secara matematis dapat ditulis sebagai:

$$\gamma = K_g 10^{-6} \alpha_b, \quad (5)$$

dengan γ adalah *ground shear strain*, K_g adalah indeks kerentanan seismik, 10^{-6} adalah ketetapan untuk memperkirakan nilai *strain* di lapisan tanah permukaan dan α_b nilai percepatan tanah maksimum pada batuan dasar.

Kemudian Isihara mengklasifikasikan hubungan nilai *ground shear strain* dengan sifat dinamik tanah yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan *ground shear strain* terhadap kondisi dan sifat dinamika tanah permukaan [4]

Nilai <i>Ground shear strain</i>	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Kondisi tanah	Hanya rambatan gelombang, getaran		Rekahan, penurunan tanah		Longsor, kompaksi tanah, likuifaksi	
Sifat dinamika tanah	Elastis		Elastis-plastis		Runtuh	
	Terjadi berulang, terjadi secara cepat (efek akumulasi)					

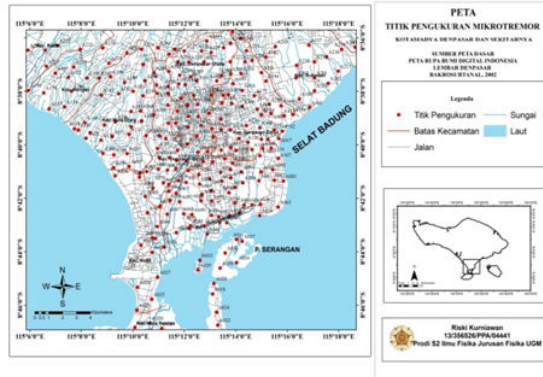
2. Metode Penelitian

2.1. Peralatan dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data sekunder berupa data-data gempa yang dikumpulkan katalog gempa *Advanced National Seismic System (ANSS) Comprehensive Catalog dari tahun 1900 sampai 2014, U.S Geological Survey (USGS)* dari tahun 1900 sampai 2014 dan *International Seismological Center (ISC) EHB Bulletin* dari tahun 1900-2014. Spesifikasi data yang digunakan dalam penelitian, yaitu :
 - a. Data kegempaan yang terjadi antara 01 Januari 1900 sampai dengan 31 Desember 2014.
 - b. Koordinat $1^\circ - 14^\circ$ Lintang Selatan dan $102^\circ - 130^\circ$ Bujur Timur.
 - c. Magnitudo gempa $\geq 5 M_W$

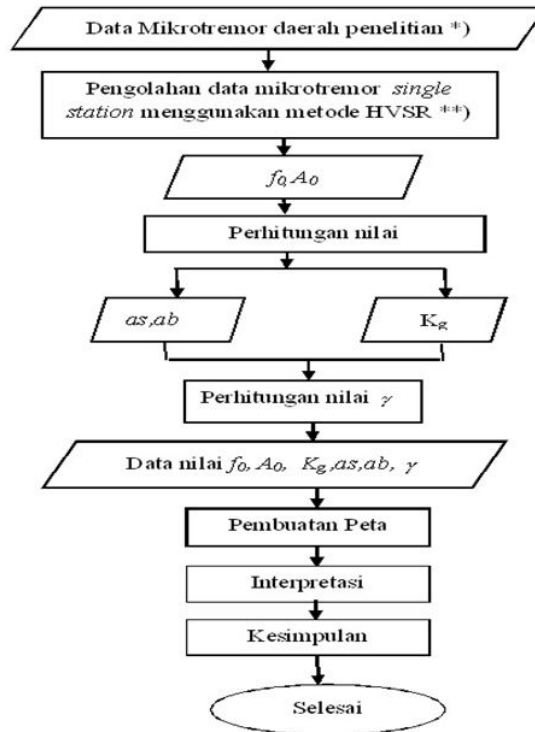
- d. Kedalaman fokus gempa antara 0,7 sampai 300 km
- 2. Data pengukuran mikrotremor *single station* Kotamadya Denpasar dan sekitarnya dengan koordinat daerah penelitian 08° 35' 46,93" - 08° 46' 52,18" Lintang Selatan dan 115° 05' 56.04" - 115° 18' 38,52" Bujur Timur dari tim PSG Bandung sebanyak 249 titik data pengukuran mikrotremor *single station* dengan menggunakan seismometer tipe Mark L4-3D.



Gambar 2. Peta sebaran titik pengukuran mikrotremor di Kotamadya Denpasar dan sekitarnya.

- 3. Peta geologi lembar Denpasar, Bali.
- 4. Laptop untuk pengolahan data
- 5. Perangkat lunak berupa:
 - a. Microsoft office 2010
 - b. Perangkat lunak HVSR (*Geopsy*)
 - c. Perangkat lunak *ArcGis 9.3*
 - d. Perangkat lunak *Notepad++*

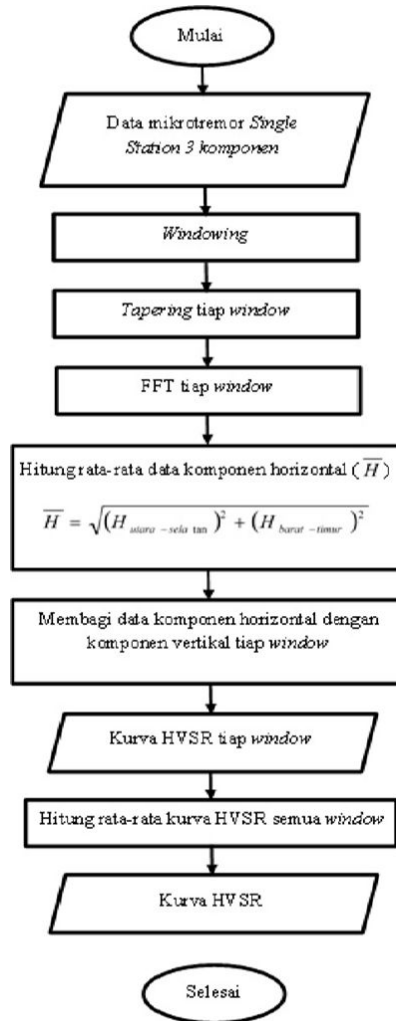
2.2. Diagram Alir Penelitian Mikrotremor



Gambar 3. Flowchart pengolahan data mikrotremor.

*) Daerah penelitian meliputi Kotamadya Denpasar dan sekitarnya.

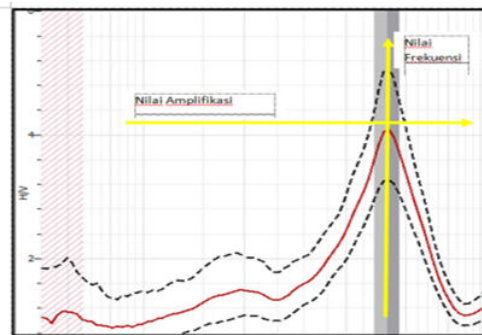
**) pengolahan data mikrotremor *single station* menggunakan metode HVSR



Gambar 4. Flowchart pengolahan data mikrotremor single station menggunakan metode HVSR dengan bantuan software geopsy.

3. Hasil dan Pembahasan

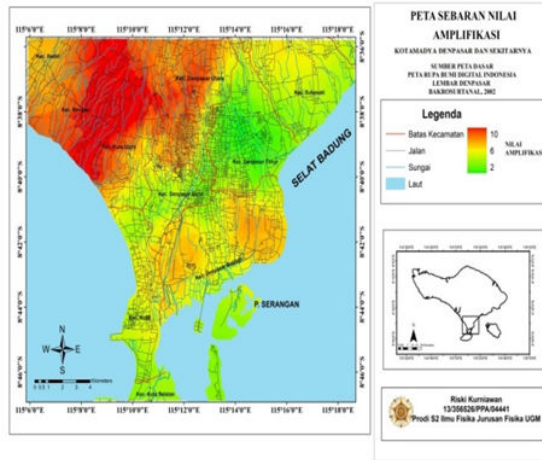
Hasil pengukuran data mikrotremor adalah data 3 komponen (komponen horizontal utara-selatan, komponen horizontal barat-timur dan komponen vertikal) yang tersebar di Kota Denpasar dan sekitarnya. Data-data ini kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Geopsy yang menghasilkan frekuensi dominan pada sumbu-x dan faktor amplifikasi pada sumbu-y. Hasil pengolahan data penelitian ini menghasilkan kurva HVSR.



Gambar 5. Kurva HVSR dalam menentukan nilai f_0 dan A_0

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menggunakan data mikrotremor dari PSG (Pusat Survey Geologi) dengan titik pengamatan 249 titik pengamatan untuk mengetahui keadaan geologi lokal disajikan kedalam beberapa peta, yakni:

3.1. Nilai Amplifikasi (A_0)

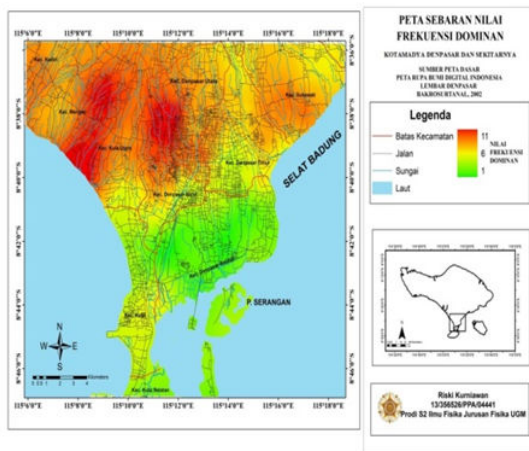


Gambar 6. Peta sebaran nilai amplifikasi daerah penelitian.

Nilai A_0 yang diperoleh dalam daerah penelitian ini rata-rata bernilai 5,07 dengan kisaran nilai yang di dapatkan untuk daerah penelitian ini antara 1,15 sampai dengan 12,08. Nilai rata-rata tertinggi berada di Kecamatan Kuta Utara dan nilai rata-rata terendah berada di Kecamatan Denpasar Timur. Peta kontur nilai amplifikasi penelitian ini yang ditampilkan pada Gambar 6. dapat dijelaskan daerah yang memiliki nilai A_0 yang tinggi terdapat pada daerah barat laut daerah penelitian sedangkan untuk daerah lain mempunyai nilai amplifikasi bernilai rendah.

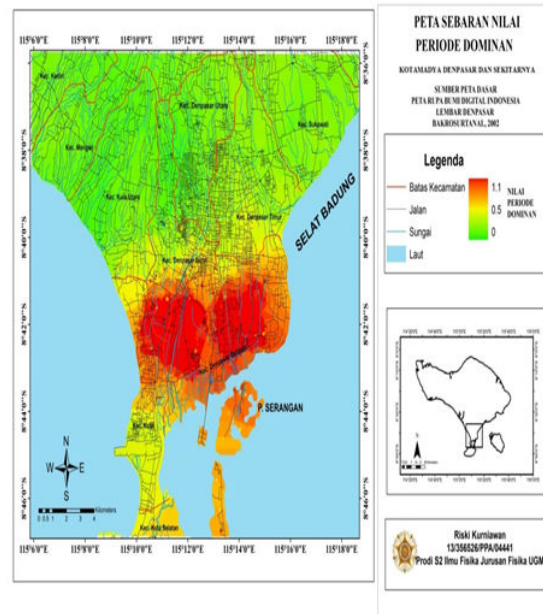
3.2. Nilai Frekuensi Dominan

Nilai frekuensi dominan daerah penelitian rata-rata sebesar 6,02 Hz, kisaran nilai frekuensi dominan yang didapat antara 0,96 Hz sampai 14,59 Hz. Nilai rata-rata frekuensi tertinggi pada daerah penelitian berada di Kecamatan Kuta Utara dan nilai rata-rata frekuensi terendah daerah penelitian berada di Kecamatan Denpasar Selatan. Peta sebaran nilai frekuensi dominan tanah secara mikrozonasi ditampilkan pada Gambar 7. Dari peta distribusi tersebut dapat dijelaskan bahwa nilai frekuensi tinggi terdapat pada bagian utara daerah penelitian dan nilai frekuensi rendah terdapat pada bagian selatan. Menurut Saito,dkk., [11] daerah dengan frekuensi rendah berada di daerah reklamasi pantai dan daerah delta yang bersesuaian dengan daerah penelitian yang berupa daerah reklamasi pantai yang berada dibagian selatan yang mempunyai frekuensi kecil dan untuk frekuensi lebih tinggi berada daerah perbukitan yang berada di daerah utara.



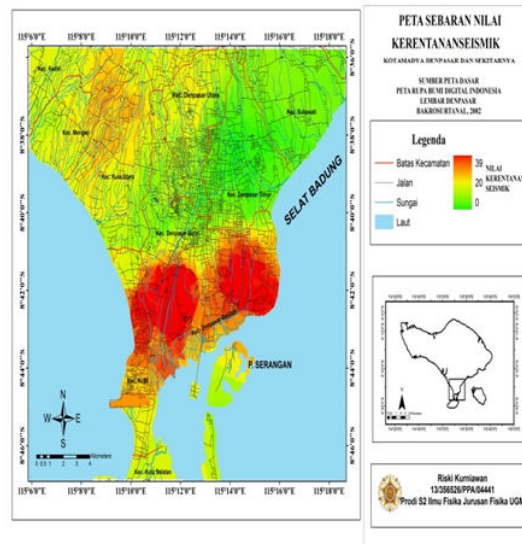
Gambar 7. Peta sebaran nilai frekuensi dominan daerah penelitian.

Berdasarkan hubungan nilai frekuensi dominan yang berbanding terbalik dengan nilai periode dominan, didapatkan juga nilai periode dominan ditampilkan pada Gambar 8. Nilai periode dominan dipergunakan sebagai parameter untuk memperoleh nilai PGA Permukaan menggunakan metode Kanai.



Gambar 8. Peta sebaran nilai periode dominan daerah penelitian.

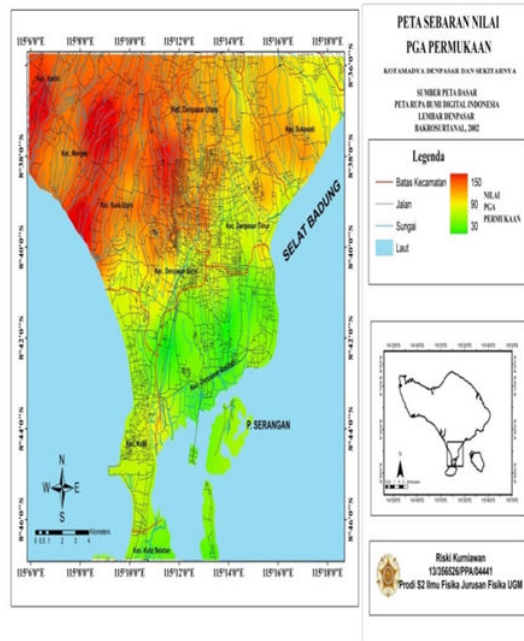
3.3. Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)



Gambar 9. Peta sebaran nilai kerentanan seismik daerah penelitian.

Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di 249 titik pengukuran didapatkan dari persamaan (2). Nilai indeks kerentanan seismik pada daerah penelitian memiliki nilai rata-rata bernilai 6,43 dan kisaran nilai indeks kerentanan seismik antara 0,27 sampai 39,81. Nilai persebaran indeks kerentanan seismik disajikan pada Gambar 9. Pada daerah penelitian dengan nilai rata-rata (K_g) tertinggi berada di Kecamatan Denpasar Selatan dan nilai rata-rata (K_g) terendah berada di Kecamatan Denpasar Timur.

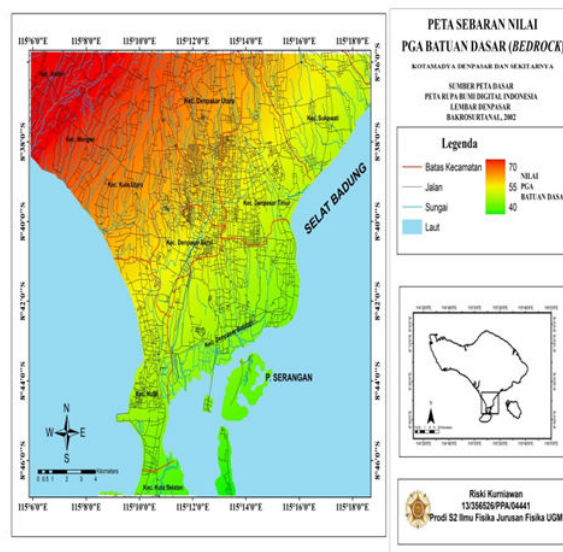
3.4. Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) Permukaan



Gambar 10. Peta sebaran nilai PGA permukaan daerah penelitian.

Perhitungan *Peak Ground Acceleration* (PGA) permukaan menggunakan metode Kanai pada persamaan (3). Pada perhitungan menggunakan metode Kanai sumber gempa yang dipergunakan adalah sumber gempa 6,41 M_w yang terjadi pada tanggal 14 Juli 1974 dan juga faktor *site effect* berupa data periode dominan pada setiap titik daerah pengukuran mikrotremor. Hasil PGA permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh jarak dengan sumber gempa dan besar intensitas gempa tetapi juga dipengaruhi oleh nilai periode pada setiap titik pengukuran. Nilai PGA dari pengukuran ini menghasilkan kisaran nilai antara 34,93 gal sampai 147,59 gal. Dengan nilai rata-rata PGA permukaan didapatkan nilai sebesar 90,08 gal. Sebaran nilai PGA permukaan dapat dilihat pada Gambar 10.

3.5. Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) Batuan Dasar

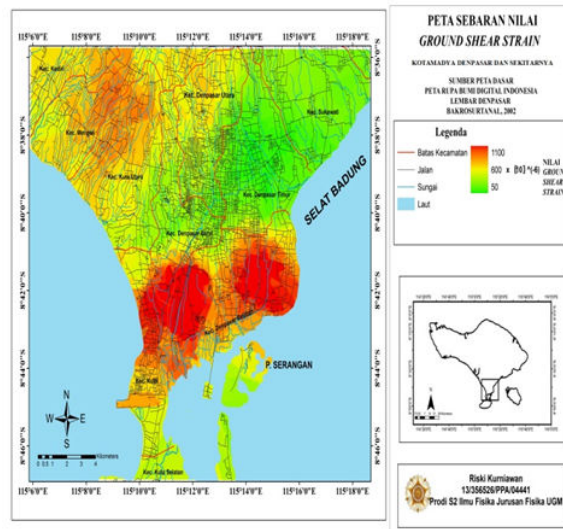


Gambar 11. Peta sebaran nilai PGA batuan dasar daerah penelitian.

Perhitungan PGA *Bedrock* menggunakan metode Fukushima dan Tanaka dengan persamaan (4). Nilai persebaran PGA *bedrock* ditampilkan pada Gambar 11. Sama seperti PGA permukaan sumber gempa yang dipergunakan adalah sumber gempa 6,41 M_{TW} yang terjadi pada tanggal 14 Juli 1974 namun nilai dari periode di setiap titik tidak dipergunakan. Berdasarkan Gambar 11 pola persebaran nilai PGA didapatkan pola persebaran gradasi seragam dengan daerah tertinggi berada di barat laut daerah penelitian dan semakin melemah ke arah tenggara daerah penelitian. Jadi dalam perhitungan PGA *Bedrock* yang mempengaruhi besar kecil nilai PGA adalah nilai magnitudo gempa dan jarak di titik pengamatan dengan hiposenter gempa. Dari hasil perhitungan PGA *bedrock* mendapatkan nilai tertinggi 68,69 gal di titik A230 dan yang terendah dengan nilai 46,56 gal di titik A022. Dengan nilai rata-rata PGA *bedrock* di daerah penelitian ini bernilai 56,33. Nilai PGA *bedrock* ini dipergunakan untuk perhitungan *ground shear strain*.

3.6. Nilai Ground Shear Strain

Nilai *ground shear strain* dipengaruhi oleh nilai kerentanan seismik dan nilai percepatan getaran tanah maksimum di batuan dasar, sehingga dapat dilihat pola persebaran pada *ground shear strain* memiliki pola yang mirip dengan pola persebaran kerentanan seismik. Rata-rata nilai *ground shear strain* dalam penelitian ini di peroleh nilai $3,59 \times 10^{-4}$ dan kisaran nilai *ground shear strain* yang diperoleh di daerah penelitian ini antara $1,50 \times 10^{-5}$ sampai dengan $2,12 \times 10^{-3}$. Nilai rata-rata tertinggi *ground shear strain* berada di Kecamatan Denpasar Selatan dan nilai *ground shear strain* terendah berada di Kecamatan Denpasar Timur seperti yang disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Peta sebaran nilai *ground shear strain* daerah penelitian.

Berdasarkan klasifikasi Ishihara [4], diketahui bahwa nilai *ground shear strain* untuk daerah Kotamadya Denpasar dan sekitarnya tergolong daerah rawan akan terjadi rekahan tanah dengan nilai rata-rata tiap kecamatan di daerah penelitian diatas 10^{-4} .

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dirumuskan dari hasil kajian ini adalah sebagai berikut:

- a. Nilai tingkat kerawanan bahaya gempa bumi di wilayah Kotamadya Denpasar dan sekitarnya berdasarkan analisa data mikrotremor diperoleh nilai parameter karakteristik dinamik tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisa data mikrotremor untuk daerah penelitian.

No	Parameter	Nilai
1	frekuensi dominan (f_0)	(0,96 – 14,59) Hz
2	faktor amplifikasi (A_0)	1,15 – 12,08
3	periode dominan (T_0)	(0,07 – 1,05) s
4	indeks kerentanan seismik (K_g)	0,27 – 39,81
5	PGA di lapisan permukaan (α_s)	(34,93 – 147,59) gal
6	PGA di batuan dasar (α_b)	(46,56 – 68,59) gal
7	ground shear strain (γ)	$1,5 \times 10^{-5}$ – $2,1 \times 10^{-3}$

- b. Berdasarkan pengolahan data mikrotremor daerah Kotamadya Denpasar dan sekitarnya menunjukkan bagian selatan daerah penelitian memiliki potensi kerusakan lebih tinggi dibandingkan dengan bagian utara saat terjadi gempa bumi.

Ucapan Terima Kasih

Pusat Survey Geologi atas kesediaan data untuk penulis pakai pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Brotopuspito, K.S, Tiar P., dan Ferry M.W., 2006, Percepatan Getaran Tanah Maksimum Daerah Istimewa Yogyakarta 1943-2006, *J. Geofisika*, 2006/1.
- [2] Daryono, 2011, Identifikasi Sesar Naik Belakang Busur (Back arc Thrust) Daerah Bali Berdasarkan Seismisitas dan Solusi Bidang Sesar, *Artikel Kebumihan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, www.bmg.go.id*, 5 Januari 2011.
- [3] Fukhusima, Y., dan Tanaka, T., 1990, A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan, *Bull of the seismological society of America. Soc. Am.*, 80, 757-783.
- [4] Isihara, K., 1982, Evaluation of Soil Properties for Use in Earthquake Response Analysis. *Proc. Int. Symp. On Numerical Model in Geomech*, 237-259.
- [5] Marjiyono, 2010, Estimasi Karakteristik Dinamik Tanah dari Data Mikrotremor Studi Kasus Wilayah Kota Bandung, *Tesis*, Program Studi Geofisika Terapan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [6] Meidji, I.U., 2014, Kajian Karakteristik Dinamika Tanah Terhadap Resiko Kerawanan Seismik dan Dampaknya Terkait Rencana Tata Ruang Wilayah di Kota Mataram Bagian Timur, *Tesis*, Program Studi S2 Ilmu Fisika Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- [7] Nakamura, Y. 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's Technique and its Applications. *Proc XII World Conf. Earthquake Engineering*, New Zealand, 2656.
- [8] Nakamura, Y. 2008. On the H/V spectrum. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China. Paper ID: 07-0033.
- [9] Natawidjaja, D.H., 2007, Tectonic Setting Indonesia dan Pemodelan Gempa dan Tsunami, Pelatihan Pemodelan Tsunami Run-up, Geoteknologi LIPI.
- [10] Okada, H., 2003, *The Microtremor Survey Method (Geophysical Monograph Series Number 12)*, Society of Exploration Geophysicists, Amerika.
- [11] Saito, A., S. Hasegawa, H. Ota, dan M. Yamanaka, 2006, *Analysis Of Ground Motion Based On Microtremor Characteristics In Kagawa Prefecture Japan*, IAEG, 590: The Geologi Society of London.