

Analisis Kerentanan Wilayah Terhadap Gempabumi Berdasarkan Parameter Nilai Kerapuhan Batuan (*B-Value*) Dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) Di Provinsi Bali

Analysis Regional Vulnerability of Earthquakes Based on Parameters Fragility Rock Value (*B-Value*) and Peak Ground Acceleration (PGA) In Bali Province

Amalia Dwi Lestari^{1*}, Komang Ngurah Suarbawa¹, I Wayan Supardi¹, I Putu Dedy Pratama²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia (80361)

²Stasiun Geofisika Kelas II, Jl. Pulau Tarakan No. 1, Sanglah, Denpasar, Bali, Indonesia (80361)

Email: *amalia.dwilestari99@gmail.com; suarbawa@unud.ac.id; supardi@unud.ac.id; chekckmate.mail@gmail.com

Abstrak - Bali merupakan daerah yang rawan bahaya bencana gempabumi. Hal ini disebabkan oleh Bali diapit dua zona penyebab gempabumi, yaitu zona subduksi di sebelah selatan dan adanya patahan busur belakang di sebelah utara. Salah satu cara untuk meminimalisir kerusakan atau kerugian yang diakibatkan oleh gempabumi adalah menganalisis kerentanan suatu wilayah terhadap gempabumi. Pada penelitian ini parameter gempabumi yang dijadikan sebagai indikator bahaya yaitu tingkat kerapuhan batuan (*b-value*) dan *peak ground acceleration* (PGA). Berdasarkan hasil perhitungan *b-value* dengan metode Maximum Likelihood diperoleh nilai tingkat kerapuhan batuan untuk wilayah Bali yaitu berkisar pada 0,370-1,419. Perhitungan PGA dengan menggunakan dua metode empiris, yaitu metode M.V. Mickey dan Lin Wu diperoleh bahwa metode M.V. Mickey lebih cocok digunakan di wilayah Bali dengan nilai berkisar pada 517,32-828,58 gal. Dari hasil analisis kedua parameter tersebut diperoleh bahwa bagian barat Kabupaten Buleleng dan sebagian besar Kabupaten Jembrana adalah wilayah Bali yang rentan terhadap gempabumi.

Kata Kunci: *b-value*, PGA, kerentanan wilayah, Maximum Likelihood, metode empiris

Abstract - Bali is a region that is prone to earthquake hazards. This is because Bali is flanked by two earthquake-causing zones, first is the subduction zone in the south and the second one is back arc fault zone in the north. One of the efforts to minimize damage or loss caused by earthquakes is to analyze the vulnerability of a region to earthquakes. In this study, the earthquake parameters used as hazard indicators were the level of rock fragility (*b-value*) and peak ground acceleration (PGA). Based on the results of the *b-value* calculation by using the Maximum Likelihood method, the rock fragility level for Bali region is obtained from 0.370 to 1.419. While the results of PGA calculation by using two empirical methods, there are the M.V. Mickey method and the Lin Wu method show that the M.V. Mickey method is more suitable for use in the Bali area. Based on the results of PGA calculation by using the M.V. Mickey method obtained the PGA value for the Bali region is obtained from 517.32-828.58 gal. So based on the results of the analysis of the *b-value* and PGA parameters, it was found that the area of Bali that is prone to earthquakes is the western part of Buleleng Regency and most of Jembrana Regency.

Keywords: *b-value*, PGA, regional vulnerability, Maximum Likelihood, empirical methods

1. Pendahuluan

Secara astronomis Indonesia terletak pada 94°-141° BT dan 11° LS-6° LU. Berdasarkan letak tersebut Indonesia berada pada posisi tiga lempeng utama dunia yaitu lempeng Eurasia dari arah utara, lempeng Indo-Australia dari arah selatan, serta lempeng Pasifik dari arah timur [1]. Salah satu wilayah Indonesia yang memiliki aktivitas kegempaan yaitu Provinsi Bali. Bali merupakan daerah yang rawan akan bahaya bencana gempabumi. Hal ini disebabkan karena Bali diapit oleh dua penyebab gempabumi, yaitu zona subduksi di sebelah selatan dan zona patahan busur belakang di sebelah utara. Lempeng Indo-Australia bergerak dari selatan ke utara dan lempeng Eurasia bergerak dari utara ke selatan. Sedangkan zona patahan busur belakang membentang dari utara Bali sampai ke Flores [2]. Hal tersebut juga sejalan dengan sejarah kegempaan yang pernah terjadi di Bali. Menurut Ali (2019) kegempaan yang pernah terjadi di Bali tercatat sejak tahun 1815.

Salah satu upaya untuk meminimalisir kerusakan atau kerugian yang diakibatkan oleh gempabumi yaitu dengan menganalisis kerentanan suatu wilayah terhadap gempabumi. Parameter gempabumi yang dapat

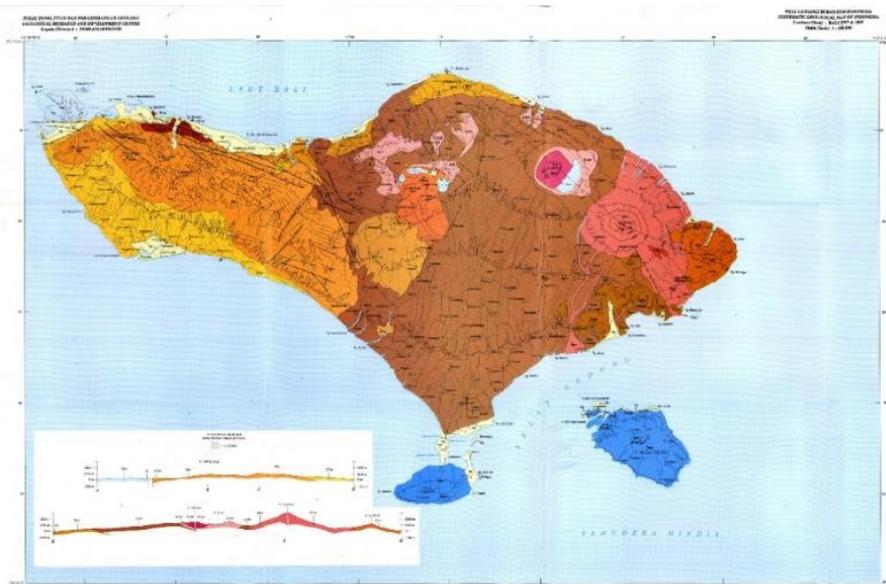
dijadikan sebagai indikator bahaya yaitu tingkat kerapuhan batuan dan percepatan tanah maksimum. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mencari nilai tingkat kerapuhan batuan yaitu metode *Maximum Likelihood*. Sedangkan untuk mencari nilai percepatan tanah maksimum terdapat beberapa metode empiris yang dapat digunakan yaitu metode empiris M.V. Mickey, Lin Wu, Fukushima dan Tanaka, Donovan, dan lain-lain.

Berdasarkan uraian tersebut, penulis ingin melakukan penelitian untuk mengetahui kerentanan suatu wilayah terhadap gempa bumi di wilayah Bali dengan menggunakan dua parameter yaitu tingkat kerapuhan batuan (*b-value*) dan *peak ground acceleration* (PGA). Penulis membatasi daerah penelitian yaitu $114,4^{\circ}$ - $115,8^{\circ}$ BT dan $9,1^{\circ}$ - $7,7^{\circ}$ LS, dengan data gempa bumi bersumber dari katalog gempa bumi BMKG dan data percepatan tanah maksimum bersumber dari katalog percepatan BMKG Sanglah.

2. Landasan Teori

2.1 Geologi Pulau Bali

Pulau Bali terletak di antara Pulau Jawa dan Pulau Lombok dengan luas total wilayah $5.780,06 \text{ km}^2$ dengan keliling garis pantai mencapai 529 km. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Bali, Nusa Tenggara (Purwo-Hadiwidjojo dkk, 1998), wilayah permukaan Pulau Bali tersusun atas berbagai batuan produk gunung api. Sementara batuan endapan permukaan hanya terdapat di daerah pesisir. Adapun komposisi dari litologi/batuan wilayah Bali, yaitu: aluvium (Qa), Formasi Prapat Agung (terdiri dari batugamping ter-kars-kan, batupasir gampingan dan napal), Formasi Palasari (terdiri dari konglomerat, batupasir dan batugamping terumbu), dan Formasi Selatan (terdiri dari batugamping terumbu, setempat napal; sebagian berlapis, terhablur-ulang dan berfosil) [3]. Adapun keadaan geologi dari Pulau Bali ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta geologi Pulau Bali [4].

2.2 Gempabumi

Gempabumi adalah getaran dalam bumi yang terjadi sebagai akibat dari terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi. Energi yang dihasilkan ini dapat terbentuk dari berbagai penyebab yang berbeda-beda. Berdasarkan penyebabnya gempa bumi diklasifikasikan menjadi empat jenis yaitu: gempa bumi tektonik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi elastis yang tersimpan dalam lempeng tektonik, gempa bumi vulkanik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh kegiatan gunung berapi serta dapat dipicu oleh aktivitas gempa bumi tektonik, gempa bumi runtuh adalah gempa bumi yang terjadi ketika suatu gua atau lokasi pertambangan mengalami keruntuhan, dan gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia berupa peledakan dinamis, bom, ataupun nuklir [5].

Berdasarkan kedalaman fokus (*hypocentre*) gempa bumi diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu: gempa bumi dangkal (*shallow*) $\leq 70 \text{ km}$, gempa bumi menengah (*intermediate*) $\leq 300 \text{ km}$, dan gempa bumi dalam (*deep*) $> 300 \text{ km}$ [6]. Sedangkan menurut Hagiwara (1964) berdasarkan klasifikasi besarnya kekuatan gempa secara kuantitatif gempa bumi terdiri dari: gempa sangat besar (*great earthquake*): $M > 8$, gempa besar (*major earthquake*): $7 < M \leq 8$, gempa sedang (*moderate earthquake*): $5 < M \leq 7$, gempa kecil (*small*

earthquake): $3 < M \leq 5$, gempa mikro (*micro earthquake*): $1 < M \leq 3$, dan gempa ultramikro (*ultramicro earthquake*): $M \leq 1$ [7].

2.3 Magnitudo

Magnitudo adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempabumi. Besaran ini akan bernilai sama, meskipun dihitung dari tempat yang berbeda [8]. Apabila sebuah gempabumi kekuatannya besar, maka energi yang dilepaskan juga besar sehingga daya perusakannya juga besar. Bentuk energi yang dilepaskan oleh gempabumi meliputi energi deformasi dan energi gelombang. Energi deformasi dapat dilihat pada perubahan bentuk volume sesudah terjadi gempabumi, seperti tanah naik, tanah turun, pergeseran batuan, dan lain-lain. Sedangkan energi gelombang akan menggetarkan medium elastis di sekitarnya dan akan menjalar ke segala arah [9].

Saat ini terdapat beberapa skala magnitudo yang umum digunakan yaitu magnitudo lokal (MI), magnitudo durasi (Md), magnitudo momen (Mw), magnitudo permukaan (Ms), dan magnitudo badan (Mb). Hubungan antara Ms dan Mb telah dibuat sebelumnya oleh Gutenberg, sehingga perhitungan tetap dapat dilakukan. Hubungan tersebut ditunjukkan pada Persamaan 1 dan 2 [9].

$$Mb = 2,5 + 0,63Ms \quad (1)$$

$$Ms = 1,59Mb - 3,97 \quad (2)$$

Menurut hasil penelitian yang dilakukan Pusat Studi Gempa Nasional hasil antara Mw observasi dan MI mendekati sama, sehingga diasumsikan bahwa Mw dapat mewakili MI. Untuk konversi MI ke Mb dengan rentang gempa $3,0 \leq MI \leq 6,2$ ditunjukkan pada Persamaan 3 [10].

$$Mb = 0,125MI^2 - 0,389MI + 3,513 \quad (3)$$

2.4 Tingkat kerapuhan batuan (b-Value)

Tingkat kerapuhan batuan merupakan parameter tektonik yang menunjukkan jumlah relatif dari getaran yang kecil hingga besar dan secara teoritis tidak bergantung pada periode pengamatan, tetapi hanya bergantung pada sifat tektonik dari gempabumi sehingga dapat dianggap sebagai suatu parameter karakteristik suatu gempabumi untuk daerah tektonik aktif. Menurut para ahli parameter fundamental yang mempengaruhi besar kecilnya nilai-b adalah akumulasi *stress* (tegangan) yang bekerja pada batuan. Nilai-b rendah berasosiasi dengan *stress* tinggi. Begitu pula sebaliknya, nilai-b tinggi berasosiasi dengan *stress* yang rendah. Beberapa ahli juga mengatakan bahwa nilai-b ini konstan dan bernilai sekitar -1 sampai dengan 1. Meskipun demikian sebagian besar ahli berpendapat bahwa nilai-b ini bervariasi terhadap daerah dan kedalaman fokus gempa, serta bergantung pada keheterogenan dan distribusi ruang *stress* dari volume batuan yang menjadi sumber gempa [11].

Tingkat kerapuhan batuan dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood*. Untuk perhitungan estimasi tingkat kerapuhan batuan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood* dapat dihitung melalui Persamaan 4 [12].

$$\hat{b} = \frac{\log e}{(\bar{M} - M_0)} \quad (4)$$

Dimana \bar{M} adalah magnitudo rata-rata dari data gempa, \hat{b} adalah estimasi tingkat kerapuhan batuan, M_0 adalah magnitudo minimum dari data gempabumi, dan $\log e$ adalah nilai 0,4343.

2.5 Percepatan tanah maksimum (*peak ground acceleration (PGA)*)

Percepatan tanah maksimum adalah nilai percepatan tanah terbesar pada suatu tempat akibat getaran gempa bumi dalam periode waktu tertentu. Percepatan tanah di suatu daerah dapat diukur langsung dengan *accelerograf* yang dipasang pada tempat tertentu atau dapat juga melalui pendekatan formula empiris [13].

Terbatasnya peralatan jaringan *accelerograf* yang tidak lengkap dari segi periode waktu maupun tempat menyebabkan penentuan nilai percepatan tanah maksimum lebih banyak menggunakan pendekatan formula empiris. Ada beberapa rumusan empiris yang sering digunakan dalam penentuan percepatan tanah maksimum, namun dalam penelitian ini untuk perhitungan PGA akan menggunakan metode M.V. Mickey dan metode Lin Wu. Secara matematik rumus empiris perhitungan percepatan tanah maksimum berdasarkan pendekatan rumus empiris dari M.V. Mickey dan Lin Wu ditunjukkan seperti pada Persamaan 5 dan 6.

$$\alpha = \frac{(3,04)10^{-1} \cdot 10^{0,74Ms}}{R^{0,25}} \quad (5)$$

$$\log_{10}(\alpha) = -0,395 \log_{10}(R) + 0,125Mw + 1,979 \quad (6)$$

Dimana α adalah percepatan tanah (gal), M_s adalah magnitudo permukaan, M_w adalah magnitudo momen, dan R adalah jarak hiposenter (km).

2.6 Kepadatan penduduk

Provinsi Bali terdiri dari delapan kabupaten dan satu kota madya, dimana Kota Denpasar merupakan ibukota dari Provinsi Bali. Perpindahan penduduk dari desa ke kota sebagai salah satu bagian dari urbanisasi mempengaruhi persebaran kepadatan penduduk pada masing-masing kabupaten/kota di Provinsi Bali. Kota Denpasar yang merupakan ibukota dan pusat dari berbagai aktivitas perekonomian di Provinsi Bali menjadi faktor penarik bagi penduduk di luar wilayah Kota Denpasar maupun di luar Provinsi Bali untuk bermigrasi ke Kota Denpasar. Kepadatan penduduk dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7.

$$\text{Kepadatan penduduk} = \frac{\text{Jumlah Penduduk (Jiwa)}}{\text{Luas Wilayah (ha)}} \quad (7)$$

Kepadatan penduduk di suatu wilayah dapat dikelompokkan seperti ditunjukkan pada Tabel 1 [14].

Tabel 1. Klasifikasi kepadatan penduduk.

Kategori	Interval Kepadatan Penduduk (Jiwa/ha)
Sangat jarang	Kepadatan Penduduk < 5
Jarang	5 < Kepadatan Penduduk ≤ 10
Sedang	10 < Kepadatan Penduduk ≤ 50
Padat	50 < Kepadatan Penduduk ≤ 100
Sangat padat	Kepadatan Penduduk > 100

2.7 Statistika

Pada penelitian ini, statistika digunakan untuk membandingkan percepatan tanah maksimum metode empiris M.V. Mickey dan metode empiris Lin Wu terhadap katalog percepatan tanah maksimum BMKG Sanglah. Korelasi dalam penelitian ini menggunakan metode *Pearson*. Metode ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel. Hubungan antara satu variabel dengan variabel yang lain biasa disebut dengan koefisien korelasi. Nilai korelasi dapat dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$R = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (8)$$

Dimana R adalah nilai koefisien korelasi, x adalah nilai variabel pertama, y adalah nilai variabel kedua, dan n adalah jumlah data.

Untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel dapat dilihat kriteria seperti ditunjukkan Tabel 2 [15].

Tabel 2. Interpretasi koefisien korelasi.

Kategori	Interval Nilai R
Tidak ada korelasi	0
Korelasi sangat lemah	0 < R ≤ 0,25
Korelasi cukup	0,25 < R ≤ 0,50
Korelasi kuat	0,50 < R ≤ 0,75
Korelasi sangat kuat	0,75 < R ≤ 0,99
Korelasi sempurna	1

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Stasiun Geofisika Kelas II, Sanglah, Denpasar. Proses pengolahan data yaitu dengan menggunakan *Software Arc GIS 10.8* dan *Microsoft Excel 2016*.

3.1 Data penelitian

Data gempabumi yang digunakan yaitu bersumber dari katalog gempabumi BMKG tahun 1963-2020 dengan batas wilayah 114,4°-115,8° BT dan 9,1°-7,7° LS, magnitudo ≥ 3 M dan kedalaman 0-300 km. Data percepatan tanah yang digunakan sebagai pembanding dari metode empiris yaitu bersumber dari katalog percepatan tanah maksimum BMKG Sanglah dengan magnitudo ≥ 3 M dengan kedalaman 0-300 km dari 2011-2020. Data kependudukan yang digunakan bersumber dari laman resmi Badan Pusat Statistik untuk Provinsi Bali.

3.2 Alur penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini dibagi menjadi empat yaitu:

a) Membuat peta kepadatan penduduk

Langkah pertama yang dilakukan yaitu men-*download* data jumlah penduduk dan luas wilayah untuk setiap kota/kabupaten di Provinsi Bali melalui *website* Badan Pusat Statistik. Setelah itu menghitung kepadatan penduduk menggunakan Persamaan 7. Kemudian menginput data kepadatan penduduk pada tabel peta *shape file* (.shp). Terakhir yaitu memetakan kepadatan penduduk menggunakan *Arc GIS* 10.8.

b) Membuat peta sebaran gempabumi di wilayah Bali

Langkah pertama yang dilakukan yaitu men-*download* data dari katalog gempabumi BMKG. Kemudian menginput data koordinat bujur, koordinat lintang, dan magnitudo gempabumi di *Microsoft Excel* 2016. Berikutnya yaitu membagi data gempabumi yang telah diinput sebelumnya berdasarkan kategori besar magnitudo menggunakan *icon filter*. Terakhir yaitu memetakan sebaran gempabumi berdasarkan data yang telah diinput sebelumnya dengan menggunakan *Arc GIS* 10.8.

c) Membuat peta tingkat kerapuhan batuan (b-Value)

Langkah pertama yang dilakukan yaitu membagi daerah penelitian menjadi 25 *cluster*, dengan 1 *cluster* seluas $0,28^\circ \times 0,28^\circ$. Selanjutnya yaitu menghitung tingkat kerapuhan batuan untuk setiap *cluster* melalui Persamaan 2.8 dengan menggunakan *Microsoft Excel* 2016. Kemudian hasil perhitungan dipetakan dengan menggunakan *Arc GIS* 10.8. Terakhir yaitu meng-*overlay* peta tingkat kerapuhan batuan dengan peta kepadatan penduduk di Provinsi Bali dengan *Arc GIS* 10.8.

d) Membuat peta percepatan tanah maksimum

Langkah pertama yang dilakukan yaitu mengonversi skala magnitudo dalam skala magnitudo permukaan (Ms). Selanjutnya yaitu membagi daerah penelitian menjadi grid seluas $0,14^\circ \times 0,14^\circ$ sehingga akan didapat titik pengamatan sebanyak 121 titik. Kemudian menghitung percepatan tanah maksimum dengan menggunakan metode empiris M.V. Mickey dan metode empiris Lin Wu melalui Persamaan 5 dan 6 dengan menggunakan *Microsoft Excel* 2016. Berikutnya memetakan hasil perhitungan dari percepatan tanah maksimum dengan menggunakan *Arc GIS* 10.8. Setelah itu, adalah meng-*overlay* peta percepatan tanah maksimum dengan peta kepadatan penduduk di Provinsi Bali dengan *Arc GIS* 10.8. Terakhir yaitu membandingkan perhitungan percepatan tanah maksimum metode empiris M.V. Mickey dan metode empiris Lin Wu dengan katalog percepatan tanah maksimum BMKG Sanglah melalui pendekatan Log PGA metode empiris dengan Log PGA BMKG, yang kemudian dihitung nilai korelasinya dengan menggunakan Persamaan 8.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Hasil analisis kepadatan penduduk di Provinsi Bali

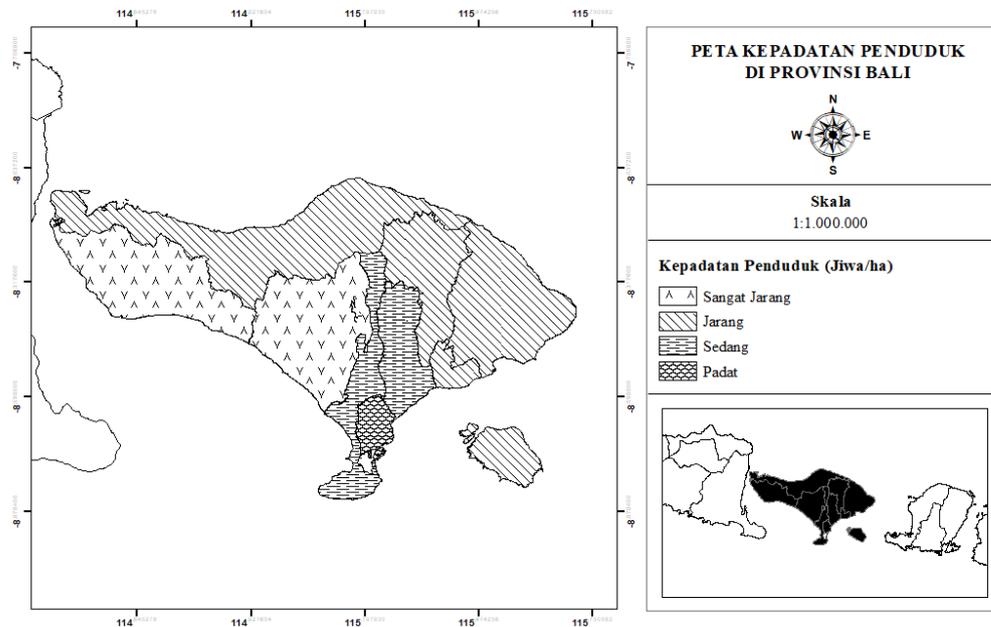
Berdasarkan data sensus penduduk Provinsi Bali tahun 2020 yang diakses melalui *website* Badan Pusat Statistik, jumlah penduduk di Provinsi Bali yaitu mencapai 4.317.404. Penduduk di Provinsi Bali tersebar di 9 kota/kabupaten dengan Kabupaten Buleleng merupakan daerah yang memiliki jumlah penduduk terbanyak di Provinsi Bali. Hasil dari perhitungan kepadatan penduduk dengan menggunakan Persamaan 7 untuk Provinsi Bali ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data kepadatan penduduk Provinsi Bali.

No.	Kota/Kabupaten	Kepadatan Penduduk (Jiwa/ha)
1.	Denpasar	56,763
2.	Gianyar	14,004
3.	Badung	13,095
4.	Klungkung	6,569
5.	Karangasem	5,865
6.	Buleleng	5,802
7.	Bangli	5,272
8.	Tabanan	4,553
9.	Jembrana	3,767

Hasil perhitungan kepadatan penduduk menunjukkan bahwa Kota Denpasar merupakan daerah dengan kepadatan penduduk tertinggi yaitu dengan nilai kepadatan sebesar 56,763 jiwa/ha. Sedangkan Kabupaten Jembrana merupakan daerah dengan nilai kepadatan terendah yaitu sebesar 3,767 jiwa/ha. Hal tersebut dapat

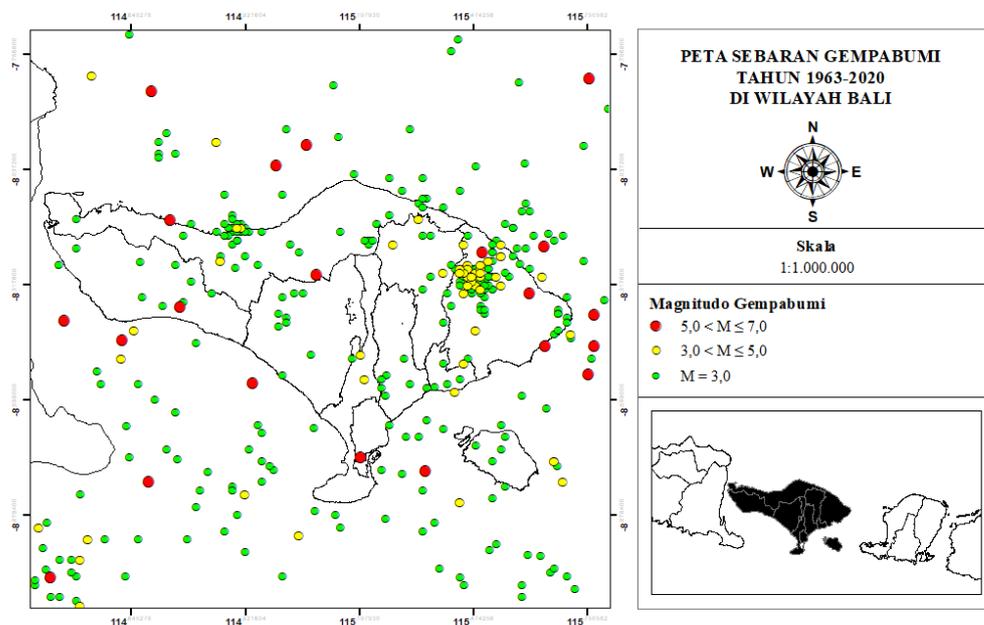
terjadi lantaran Kota Denpasar merupakan ibukota dari Provinsi Bali. Adanya proses urbanisasi atau perpindahan penduduk dari desa ke kota secara massif akibat adanya perbedaan tingkat ekonomi tentu mempengaruhi kepadatan penduduk di Kota Denpasar. Adapun hasil interpretasi dari data kepadatan penduduk untuk Provinsi Bali ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta kepadatan penduduk Provinsi Bali.

4.2 Hasil analisis kegempaan di wilayah Bali

Berdasarkan katalog data gempa bumi BMKG tahun 1963-2020 dengan batasan wilayah 114,4°-115,8° BT dan 9,1°-7,7° LS, magnitudo ≥ 3 M, dan kedalaman 0-300 km, didapat sebanyak 365 kejadian gempa bumi. Adapun hasil dari interpretasi kejadian gempa bumi berdasarkan besar magnitudonya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta kepadatan penduduk Provinsi Bali.

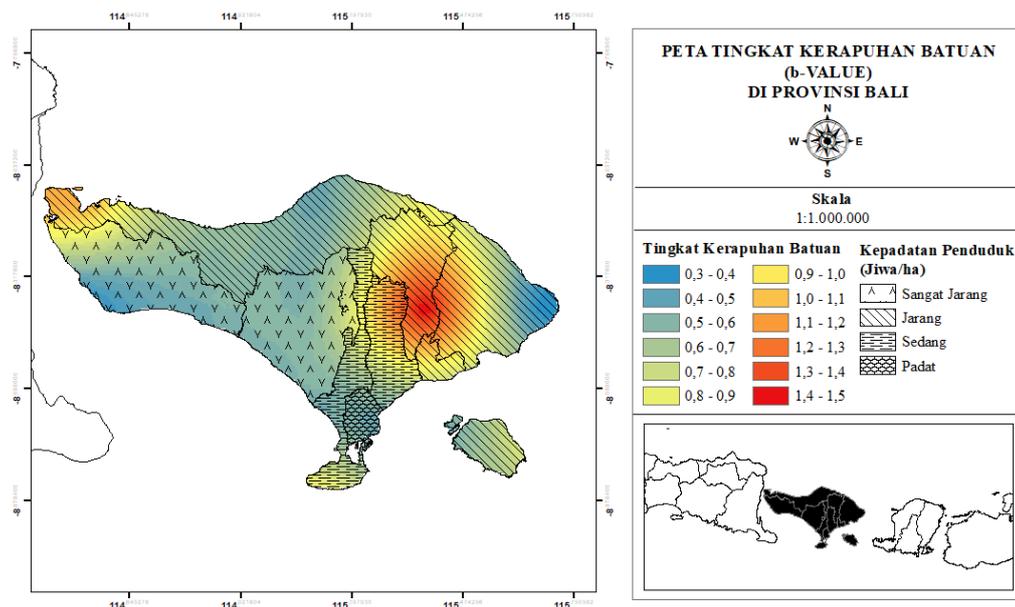
4.3 Hasil analisis tingkat kerapuhan batuan (b-Value) di wilayah Bali

Tingkat kerapuhan batuan (b-value) dalam penelitian ini dihitung berdasarkan luas cluster. Berdasarkan hasil perhitungan, maka didapat nilai tingkat kerapuhan batuan (b-value) ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tingkat kerapuhan batuan di Wilayah Bali.

Cluster	Letak Bujur	Letak Lintang	b-Value
1	114,40° – 114,68° BT	7,98° – 7,70° LS	0,620
2	114,68° – 114,96° BT	7,98° – 7,70° LS	0,511
3	114,96° – 115,24° BT	7,98° – 7,70° LS	0,376
4	115,24° – 115,52° BT	7,98° – 7,70° LS	0,686
5	115,52° – 115,80° BT	7,98° – 7,70° LS	0,449
6	114,40° – 114,68° BT	8,26° – 7,98° LS	1,086
7	114,68° – 114,96° BT	8,26° – 7,98° LS	0,676
8	114,96° – 115,24° BT	8,26° – 7,98° LS	0,543
9	115,24° – 115,52° BT	8,26° – 7,98° LS	0,869
10	115,52° – 115,80° BT	8,26° – 7,98° LS	0,555
11	114,40° – 114,68° BT	8,54° – 8,26° LS	0,370
12	114,68° – 114,96° BT	8,54° – 8,26° LS	0,555
13	114,96° – 115,24° BT	8,54° – 8,26° LS	0,612
14	115,24° – 115,52° BT	8,54° – 8,26° LS	1,419
15	115,52° – 115,80° BT	8,54° – 8,26° LS	0,414
16	114,40° – 114,68° BT	8,82° – 8,54° LS	0,724
17	114,68° – 114,96° BT	8,82° – 8,54° LS	0,398
18	114,96° – 115,24° BT	8,82° – 8,54° LS	0,566
19	115,24° – 115,52° BT	8,82° – 8,54° LS	0,483
20	115,52° – 115,80° BT	8,82° – 8,54° LS	0,901
21	114,40° – 114,68° BT	9,10° – 8,82° LS	0,535
22	114,68° – 114,96° BT	9,10° – 8,82° LS	0,713
23	114,96° – 115,24° BT	9,10° – 8,82° LS	1,206
24	115,24° – 115,52° BT	9,10° – 8,82° LS	0,439
25	115,52° – 115,80° BT	9,10° – 8,82° LS	0,648

Adapun hasil *overlay* dari peta tingkat kerapuhan batuan dengan peta kepadatan penduduk di Provinsi Bali ditunjukkan seperti Gambar 4.

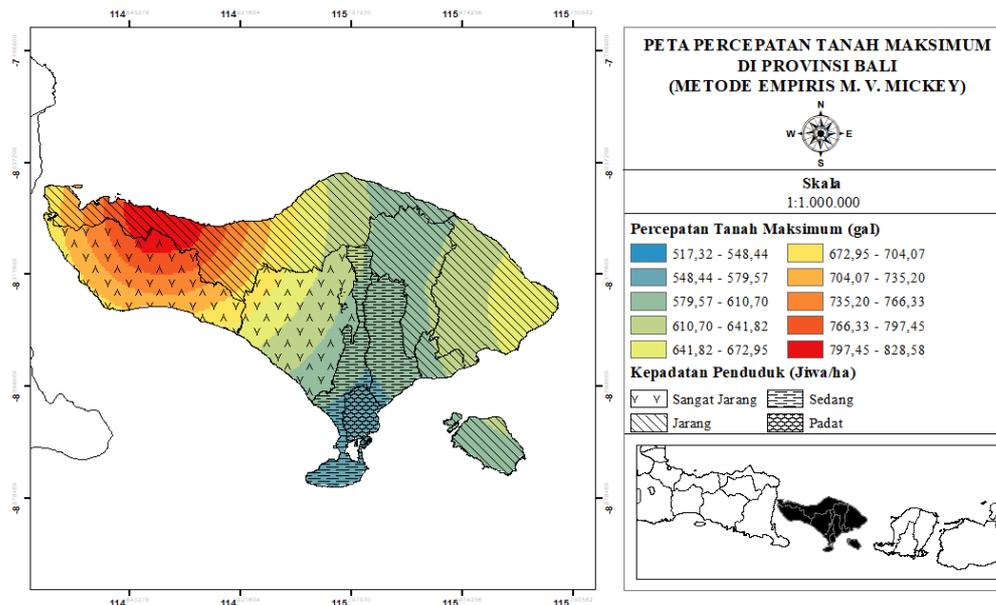
**Gambar 4.** Peta *overlay* b-Value dengan kepadatan penduduk di Provinsi Bali.

Warna merah pada peta yaitu berada di *cluster* 14 mengindikasikan daerah tersebut memiliki tingkat kerapuhan batuan yang tinggi dibandingkan dengan *cluster* lain. Nilai-b yang tinggi menandakan bahwa daerah tersebut memiliki daya tahan batuan terhadap *stress* rendah. Sedangkan Nilai-b yang rendah seperti pada *cluster* 11 menunjukkan bahwa daerah tersebut mempunyai karakter batuan yang mempunyai elastisitas batuan yang cukup tinggi. Sehingga ketika ada *stress* bekerja pada batuan tersebut, tidak langsung dilepaskan tetapi disimpan terlebih dahulu sampai batas batuan tersebut tidak dapat menyimpan lagi *stress*. Karakter batuan jenis ini menghasilkan gempa-gempa yang cukup besar tetapi frekuensi gempabuminya relatif sedikit. Akan tetapi daerah seperti inilah yang perlu diwaspadai. Dengan demikian, *cluster* 11 (sebagian Kabupaten

Jembrana) yang memiliki nilai-b terendah dapat dikatakan bahwa wilayah tersebut memiliki potensi gempa dengan kekuatan lebih besar dibandingkan wilayah lainnya.

4.4 Hasil analisis percepatan tanah maksimum di wilayah Bali

Peak ground acceleration (PGA) dalam penelitian ini dihitung dengan menggunakan dua metode. Untuk metode empiris M.V. Mickey didapat nilai PGA untuk wilayah Bali sebesar 517,321-828,577 gal. Sedangkan untuk metode empiris Lin Wu didapat nilai PGA untuk wilayah Bali berkisar 82,814-174,313 gal. Perbedaan nilai PGA pada kedua metode empiris tersebut disebabkan karena dalam penentuan persamaan metode empiris percepatan tanah sebagian besar berasal dari luar Indonesia. Hal ini terjadi mengingat belum adanya persamaan metode empiris khusus atenuasi percepatan tanah di Indonesia. Oleh sebab itu dalam penelitian ini dilakukan pendekatan PGA yang bersumber dari BMKG Sanglah dengan PGA metode empiris melalui pendekatan Log PGA. Karena keterbatasan data, maka pendekatan Log PGA yang dilakukan yaitu dari tahun 2011-2020. Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa metode empiris M.V. Mickey memiliki nilai koefisien R lebih besar dibandingkan metode empiris Lin Wu, yaitu sebesar 0,684 yang terkategori sebagai korelasi kuat. Sedangkan metode empiris Lin Wu memiliki nilai koefisien R sebesar 0,294 yang terkategori sebagai korelasi cukup. Adapun hasil *overlay* dari peta percepatan tanah maksimum metode empiris M.V. Mickey dengan peta kepadatan penduduk di Provinsi Bali ditunjukkan seperti Gambar 5.



Gambar 5. Peta *overlay* PGA Metode M.V. Mickey dengan kepadatan penduduk di Provinsi Bali.

Berdasarkan peta *overlay* di atas diketahui bahwa warna merah pada sebagian daerah Kabupaten Buleleng bagian barat dan sebagian Kabupaten Jembrana memiliki nilai percepatan tanah maksimum yang tinggi di Provinsi Bali. Besarnya nilai percepatan tanah maksimum mengindikasikan bahwa wilayah tersebut merupakan daerah dengan probabilitas kejadian gempabumi bermagnitudo yang besar.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan *b-value* dengan metode *Maximum Likelihood* diperoleh nilai tingkat kerapuhan batuan untuk wilayah Bali yaitu berkisar 0,370 sampai 1,419. Sedangkan hasil perhitungan PGA menunjukkan bahwa metode M.V. Mickey lebih cocok digunakan di wilayah Bali, yaitu dengan nilai PGA berkisar 517,32-828,58 gal. Sehingga berdasarkan hasil analisis dan pemetaan dari parameter tingkat kerapuhan batuan dan percepatan tanah maksimum, diketahui bahwa wilayah Bali yang rentan terhadap gempabumi yaitu sebagian barat Kabupaten Buleleng dan sebagian besar Kabupaten Jembrana.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih kepada seluruh dosen beserta staff Program Studi Fisika FMIPA Universitas Udayana yang telah membimbing dan memberi saran dalam penelitian ini, serta kepala dan staff pegawai Stasiun Geofisika Kelas II Sanglah Denpasar yang telah membantu dalam memfasilitasi penelitian ini.

Pustaka

- [1] Utomo, D.P. dan Purba, B., *Penerapan Datamining pada Data Gempa Bumi Terhadap Potensi Tsunami di Indonesia*, Prosiding Seminar Nasional Riset Information Science (SENARIS), ISSN: 2686-0260, 2019, Hal: 846-853.
- [2] Baskara, B., Sukarasa, I.K., dan Septiadhi, A., *Pemetaan Bahaya Gempabumi dan Potensi Tsunami di Bali Berdasarkan Nilai Seismisitas*, Buletin Fisika, Vol. 18, No. 1, 2017, Hal: 20-26.
- [3] Tata Ruang Provinsi Bali, *Peta Geologi*, 2021, [Peta Geologi – Tata Ruang Provinsi Bali \(baliprov.go.id\)](http://baliprov.go.id), Diakses pada 12 Agustus 2021.
- [4] Hadiwidjojo, M.M., Purbo, Samodra, H., dan Amin, T.C., *Peta Geologi Lembar Bali, Nusa Tenggara*, 1998.
- [5] Trisnisa, F., Metrikasari, R., Rabbanie, R., Sakdiyah, K., dan Choiruddin, A., *Model Inhomogeneous Spatial Cox Processes Untuk Pemetaan Risiko Gempabumi di Pulau Jawa*, Jurnal INFERENSI, Vol. 2, No. 2, ISSN: 0216-308X, 2019, Hal: 108
- [6] Sunarjo, Gunawan, M.T., dan Pribadi, S., *Gempa Bumi Indonesia Edisi Populer*, Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika, ISBN: 978-979-1241-24-3, 2012, Hal: 32-33.
- [7] Habibah, U., *Karakteristik Mikrotremor Berdasarkan Analisis Spektrum, TFA (Time Frequency Analysis) Dan Analisis Seismisitas Pada Kawasan Jalur Sesar Opak*, Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta, 2016.
- [8] Ginting, N.Y.I., Novianty, A., dan Prasasti, A.L., *Estimasi Magnitudo Gempa Bumi Dari Sinyal Seismik Gelombang P Menggunakan Metode Regresi Polinomial*, e-Proceeding of Engineering, Vol.7, No.2, 2020, Hal: 4634.
- [9] Simanjuntak A.V.H. dan Olymphina, *Perbandingan Energi Gempabumi Utama dan Susulan (Studi Kasus: Gempa Subduksi Pulau Sumatera dan Jawa)*, Jurnal Fisika Flux, Vol. 14, No. 1, 2017, Hal: 21-22.
- [10] Pandadaran, S.H., Widiarso, A., Fauzi, A.A., Kurniawan, S.E., dan Wibawa, A.S.W., *Penentuan Model Atenuasi Percepatan Tanah untuk Wilayah Sumatera Barat Berdasarkan Sumber Gempabumi Subduksi Interface*, Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-12, E014UNO, Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, 2019.
- [11] Kurniawan, T., Rasmid, Yogi, R., dan Setyonegoro, W., *Tingkat Aktivitas Seismik dan Kerapuhan Batuan 19 Segmentasi di Bawah Daratan Sumatera*, Buletin BMKG, Vol. 6, No.3, 2016, Hal: 6-7.
- [12] Wahyuni, D., Intan, P.K. dan Hendrastuti, N., *Analisis Seismotektonik dan Periode Ulang Gempa Bumi pada Wilayah Jawa Timur Menggunakan Relasi Gutenberg – Richter*, Jurnal Matematika ALGEBRA, Vol. 1, No. 1, 2020, Hal: 22-32.
- [13] Pasau, G., Bobanto, M.D., dan Pandara, D.P., *Model Percepatan Tanah Maksimum Di Kota Manado Menggunakan Metode Donovan dan McGuire*, JURNAL MIPA UNSRAT, Vol.7 No.1, 2018, Hal: 53.
- [14] Rahman, D. A., *Komparasi Kepadatan dan Pertumbuhan Penduduk antara Urban (Perkotaan) dan Rural (Pedesaan) di Kota Payakumbuh*, Jurnal Buana, Vol. 2, No. 1, 2018, Hal: 334.
- [15] Sarwono, J., *Metode penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*, Graha Ilmu Yogyakarta, 2006, Hal: 149-150.