

## **Ordinary Kriging Magnitude dan Nilai *B-Value* Gutenberg-Richter pada Katalog Gempa Bumi Jawa Barat**

**Salsabila Nur Fitriana\*, Sutawanir Darwis**

Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

\*salsabilafitriana461@gmail.com, std.darwis@gmail.com

**Abstract.** Earthquake is a natural phenomenon that is not known when it will occur because measurements are not made in all locations. With these limitations, we need a method that can predict the level of earthquake strength at several points where measurements are not carried out, for example by the spatial interpolation method. There are several methods used to perform spatial interpolation, one of which is the ordinary kriging method. Ordinary kriging (OK) utilizes spatial values at sample locations and variograms that show correlations between spatial points to predict values at non-sample locations where the predicted value depends on their proximity to the sample locations. This thesis discusses the development of the ordinary kriging method on regional earthquake magnitudes and the *b-value* Gutenberg Richter variable using the West Java earthquake catalog. Regional magnitude variables and *b-values* were used to model the spatial correlation via a spherical variogram. Variogram parameters were estimated using the least squares method. The results of the Ordinary Kriging assessment of an area show that the level of rock fragility (*b-value*) is quite high, namely 6.523 which illustrates that the area has low stress accumulation or it can be said that a high *b-value* has experienced a large-scale earthquake so that only energy left that is capable of producing small earthquakes.

**Keywords:** *Earthquake, Spatial Interpolation, Ordinary Kriging*

**Abstrak.** Gempa bumi merupakan fenomena alam yang tidak seorang pun mengetahui kapan terjadinya karena pengukuran tidak dilakukan di semua lokasi. Dengan keterbatasan tersebut, diperlukan suatu metode yang dapat memprediksi tingkat kekuatan gempa di beberapa titik yang tidak dilakukan pengukuran, misalnya dengan metode interpolasi spasial. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk melakukan interpolasi spasial, salah satunya metode *ordinary kriging*. *Ordinary kriging (OK)* memanfaatkan nilai spasial pada lokasi tersampel dan *variogram* yang menunjukkan korelasi antar titik spasial untuk memprediksi nilai pada lokasi yang tidak tersampel yang mana nilai prediksi tersebut tergantung pada kedekatannya terhadap lokasi tersampel. Skripsi ini membahas pengembangan metode *ordinary kriging* pada peubah teregioanal magnitude gempa dan *b-value* Gutenberg Richter menggunakan katalog gempa Jawa Barat. Peubah teregional magnitude dan nilai-*b* digunakan untuk memodelkan *korelasi spasial* melalui *variogram spherical*. Parameter *variogram* diestimasi menggunakan metode kuadrat terkecil. Hasil dari penaksiran Ordinary Kriging dari suatu wilayah menunjukkan bahwa nilai tingkat kerapuhan batuan (*b-value*) cukup tinggi yaitu sebesar 6.523, menggambarkan bahwa daerah tersebut memiliki akumulasi *stress* yang rendah atau dapat dikatakan nilai *b-value* yang tinggi pernah terjadi gempa bumi dengan skala besar sehingga hanya tersisa energi yang mampu menghasilkan gempa kecil.

**Kata Kunci:** *Gempa Bumi, Interpolasi Spasial, Ordinary Kriging*

## A. Pendahuluan

Secara geografis, Indonesia merupakan negara kepulauan yang merupakan titik pertemuan empat lempeng utama di dunia yaitu lempeng Benua Eurasia, lempeng Samudera Pasifik, lempeng Samudera Indo – Australia dan lempeng mikro yaitu lempeng mikro Philipina. Interaksi antara lempeng-lempeng tersebut selalu menekan dan menggeserkan patahan-patahan yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia baik di darat maupun di dasar laut, dan letak geografis tersebut membuat Indonesia sangat rentan terhadap bencana alam. Salah satu bencana yang cukup sering terjadi di Indonesia adalah gempa bumi. Gempa bumi merupakan guncangan tanah yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba dari kerak bumi.

Khususnya di Jawa Barat yang merupakan rawan bencana gempa bumi. Jawa Barat terletak di perbatasan lempeng aktif Indonesia – Australia yang bergerak ke utara berbenturan dengan lempeng Eurasia yang relatif diam, selain itu Jawa Barat dilewati jalur cincin api dan terdapat beberapa patahan aktif yang melewati wilayah tersebut. Hal ini menyebabkan Jawa Barat sangat rawan terjadinya gempa bumi.

Suatu gempa bumi dapat diprediksi melalui pendekatan dengan menggunakan berbagai metode dengan sejumlah alat pendeteksi gempa yang canggih, misalnya perhitungan kegempaan dengan mengestimasi nilai tingkat seismik (*a-value*) dan nilai tingkat kerapuhan batuan (*b-value*). *A-value* dan *b-value* merupakan hubungan antara frekuensi dan magnitudo oleh Gutenberg-Richter. Untuk *b-value* dapat di hitung menggunakan metode *Maximum Likelihood* yang dapat menggambarkan tingkat aktivitas seismik dan tingkat kerapuhan batuan dari suatu wilayah.

Gempa bumi tidak selalu dapat diprediksi maka dari itu pengukuran tidak dapat dilakukan di semua lokasi. Dengan keterbatasan tersebut, diperlukan metode yang dapat memprediksi nilai pada lokasi yang datanya tidak tersedia di beberapa titik yang tidak dilakukan pengukuran, misalnya dengan metode interpolasi spasial. Interpolasi spasial yang mengasumsikan bahwa atribut data bersifat kontinu di dalam ruang jarak dan saling berhubungan secara spasial [1].

Terdapat metode yang digunakan untuk melakukan interpolasi spasial, salah satunya metode *kriging*. Metode *kriging* yang digunakan untuk penelitian ini adalah *ordinary kriging*, *Ordinary kriging* menggunakan nilai spasial pada lokasi tersampel dan *variogram* yang menunjukkan korelasi antar titik spasial untuk memprediksi nilai pada lokasi yang belum ter sampel yang mana nilai prediksi tersebut tergantung pada kedekatannya terhadap lokasi tersampel. Dalam analisis *ordinary kriging* dikenal dengan istilah *semivariogram* merupakan pendugaan geostatistika berdasarkan data sampel dan sebuah model. model *semivariogram* untuk mendapatkan hasil prediksi yang optimal, sehingga dibutuhkan model *semivariogram* terbaik. Estimasi parameter *semivariogram* menggunakan pemrograman linear Chen, kuadrat terkecil [2].

Sebagai upaya untuk meminimalisir risiko kerugian akibat bencana alam gempa bumi seperti, banyaknya korban jiwa, kerusakan lingkungan serta kerugian finansial belum lagi efek domino yang bisa saja terjadi akan semakin memperburuk keadaan pasca gempa. Oleh sebab itu, tujuan dari penelitian saya untuk mengetahui peluang terjadinya gempa bumi di Jawa Barat di masa yang akan datang. Maka akan dikembangkan metode prediksi spasial seismisitas gempa bumi tiap kabupaten dan kota di Jawa Barat dengan menggunakan metode *Ordinary Kriging* dan parameter spasial seismisitas meliputi parameter *a* dan *b* dari *Gutenberg-Richter recurrence law*. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan dengan sebaik mungkin untuk mereduksi efek dari gempa bumi tersebut. Walaupun manusia tidak dapat menghindari ataupun memprediksi dengan tepat suatu bencana alam, namun masih dapat meminimalisir resiko akibat bencana alam gempa bumi yang akan terjadi dimasa mendatang.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi *spasial* lokasi pusat gempa di Jawa Barat berdasarkan katalog gempa bumi tahun 2012-2021?
2. Bagaimana memodelkan seismisitas (parameter *a* dan *b*) *spasial* gempa di Jawa Barat menggunakan katalog gempa ISC?

3. Bagaimana metode estimasi parameter model *semivariogram* pada interpolasi spasial metode *ordinary kriging* data gempa Jawa Barat tahun 2012-2021?
4. Bagaimana mengidentifikasi prediksi spasial tingkat terjadinya gempa bumi pada suatu titik lokasi yang tidak tersampel menggunakan *ordinary kriging*?

Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sbb.

1. Untuk mengidentifikasi spasial lokasi pusat gempa bumi di Jawa Barat berdasarkan katalog gempa bumi tahun 2012-2021.
2. Untuk memodelkan seismisitas (parameter a dan b) spasial gempa di Jawa Barat menggunakan katalog gempa ISC pada tahun 2012-2021.
3. Untuk mengetahui estimasi parameter model semivariogram pada interpolasi spasial metode *ordinary kriging* pada data gempa bumi di Jawa Barat pada tahun 2012-2021.
4. Untuk mengetahui identifikasi prediksi spasial tingkat terjadinya gempa bumi pada suatu titik lokasi yang tidak tersampel menggunakan *ordinary kriging*.

## B. Metodologi Penelitian

Penelitian yang digunakan adalah jenis penelitian kuantitatif. [3] Penelitian kuantitatif merupakan metode penelitian yang berlandaskan positive (data konkrit), data penelitian berupa angka – angka yang akan diukur menggunakan statistik sebagai alat uji penghitungan, berkaitan dengan masalah yang diteliti untuk menghasilkan suatu kesimpulan. Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui tingkat terjadinya gempa bumi.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder katalog gempa bumi Jawa Barat, yang bersumber dari ISC (*International Seismological Centre*) pada periode waktu tahun 2012 hingga tahun 2021 dengan jumlah data sebanyak 556 peristiwa gempa bumi. Posisi geografis wilayah penelitian secara astronomis terletak diantara  $5^{\circ}50' - 7^{\circ}50'$  Lintang Selatan dan  $104^{\circ}48' - 108^{\circ}48'$  Bujur Timur, data yang diperoleh terdiri dari waktu, titik koordinat bujur, titik koordinat lintang, kedalaman gempa, magnitude, dan tempat terjadinya gempa bumi.

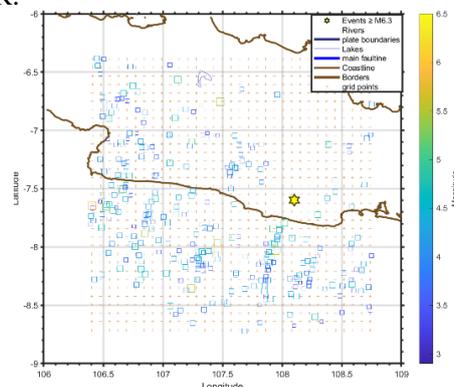
## C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

### Eksplorasi Data

Katalog gempa bumi bersumber dari ISC (*International Seismological Centre*) untuk wilayah Jawa Barat dalam rentang waktu pada Januari 2012 sampai dengan bulan Desember 2021 ,didapat data gempa bumi Jawa Barat Sebanyak 556 kejadian gempa dengan nilai minimum magnitude gempa bumi sebesar 2.9 SR dan nilai maksimum magnitude gempa bumi sebesar 6.5 SR.

### Declustering Data

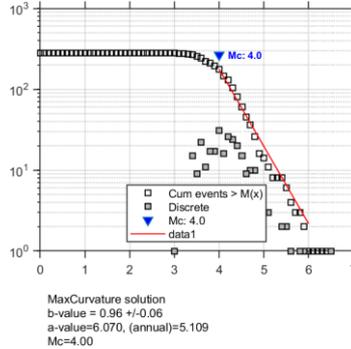
*Declustering* menggunakan metode Gardner & Knopoff terhadap data katalog gempa bumi untuk mengelompokkan gempa bumi utama (mainshock) dan menghilangkan data gempa bumi awalan dan susulan (foreshock & aftershock). Setelah dilakukan declustering didapatkan 313 peristiwa gempa bumi utama, artinya terdapat 241 gempa awal maupun gempa susulan. Dari hasil declustering di dapat magnitude terkecil yaitu sebesar 3.0 SR sementara untuk magnitude terbesar yaitu sebesar 6.5 SR.



**Gambar 1.** Declustering Magnitude

**Distribusi Frekuensi – Magnitude**

Analisis distribusi *frekuensi-magnitude* menunjukkan hubungan jumlah kejadian gempa dengan magnitude saling berbanding terbalik, di mana semakin besar jumlah kejadian gempa maka semakin kecil magnitudo gempa yang terjadi begitupun sebaliknya [4].



**Gambar 2. FMD**

Didapatkan hasil dari penelitian FMD dengan metode estimasi maksimum *likelihood* dengan teknik *maximum curvature* (MAXC), didapat nilai *magnitude of completeness* (*Mc*) untuk wilayah Jawa Barat bernilai *Mw* 4.0.

**Parameter Gempa**

Dalam penelitian ini parameter gempa akan dibagi beberapa wilayah penelitian menjadi grid-grid dengan jumlah grid sebanyak 36. Parameter kegempaan berisikan parameter tektonik (*b-value*) dan parameter seismic (*a-value*) untuk Wilayah Jawa Barat.

**Tabel 1. Perhitungan Latitude Longitude**

Grid	Latitude	Longitude	<i>b-value</i>	<i>a-value</i>
1	-6.0000 sd -6.5000	106.0000 sd 106.5000	1.73720	7.97871
2	-6.0000 sd -6.5000	106.5000 sd 107.0000	8.68500	34.6083
3	-6.0000 sd -6.5000	107.0000 sd 107.5000	0.78693	3.02288
4	-6.0000 sd -6.5000	107.5000 sd 108.0000		
5	-6.0000 sd -6.5000	108.0000 sd 108.5000		
6	-6.0000 sd -6.5000	108.5000 sd 19.0000		
7	-6.5000 sd -7.0000	106.0000 sd 106.5000	0.96511	4.42276
8	-6.5000 sd -7.0000	106.5000 sd 107.0000	0.80426	4.20572
9	-6.5000 sd -7.0000	107.0000 sd 107.5000	0.44773	2.35796
10	-6.5000 sd -7.0000	107.5000 sd 108.0000	1.73720	7.33025
11	-6.5000 sd -7.0000	108.0000 sd 108.5000		
12	-6.5000 sd -7.0000	108.5000 sd 19.0000	8.68600	26.04460
13	-7.0000 sd -7.5000	106.0000 sd 106.5000	4.34300	180.0625
14	-7.0000 sd -7.5000	106.5000 sd 107.0000	0.56402	3.33288
15	-7.0000 sd -7.5000	107.0000 sd 107.5000	0.43869	2.27419
16	-7.0000 sd -7.5000	107.5000 sd 108.0000	0.63868	3.48953
17	-7.0000 sd -7.5000	108.0000 sd 108.5000	4.34300	20.8441
18	-7.0000 sd -7.5000	108.5000 sd 19.0000	0.86860	3.85281
19	-7.5000 sd -8.0000	106.0000 sd 106.5000	0.52963	2.8407
20	-7.5000 sd -8.0000	106.5000 sd 107.0000	0.49352	3.20217

**Tabel 1.** Perhitungan Latitude Longtitude (Lanjutan)

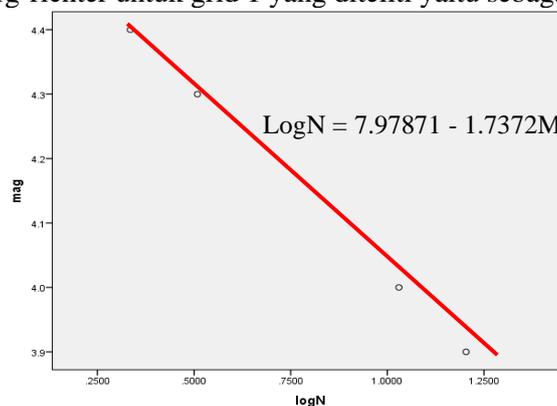
Grid	Latitude	Lonitude	<i>b-value</i>	<i>a-value</i>
21	-7.5000 sd -8.0000	107.0000 sd 107.5000	0.46699	2.78067
22	-7.5000 sd -8.0000	107.5000 sd 108.0000	0.37440	2.29981
23	-7.5000 sd -8.0000	108.0000 sd 108.5000	0.68936	3.94061
24	-7.5000 sd -8.0000	108.5000 sd 19.0000	3.34070	15.05985
25	-8.0000 sd -8.5000	106.0000 sd 106.5000	4.34300	18.67255
26	-8.0000 sd -8.5000	106.5000 sd 107.0000	0.67859	3.67767
27	-8.0000 sd -8.5000	107.0000 sd 107.5000	0.62942	3.82604
28	-8.0000 sd -8.5000	107.5000 sd 108.0000	0.43430	2.90215
29	-8.0000 sd -8.5000	108.0000 sd 108.5000	0.73610	4.16277
30	-8.0000 sd -8.5000	108.5000 sd 19.0000	0.88632	4.40201
31	-8.5000 sd - 9.0000	106.0000 sd 106.5000		
32	-8.5000 sd - 9.0000	106.5000 sd 107.0000		
33	-8.5000 sd - 9.0000	107.0000 sd 107.5000	1.14289	5.23312
34	-8.5000 sd - 9.0000	107.5000 sd 108.0000	8.6860	34.6083
35	-8.5000 sd - 9.0000	108.0000 sd 108.5000	0.57707	2.52162
36	-8.5000 sd - 9.0000	108.5000sd 109.0000	6.20428	23.34650

Hasil perhitungan tersebut terdapat nilai *b-value* tertinggi berada di grid 2, 12, 34 dengan nilai *b-value* sebesar 8.68600, Sementara *b-value* rendah berada di grid 22 dengan nilai *b-value* sebesar 0.37440. Tingginya aktivitas tektonik gempa berbanding lurus dengan tingkat kerapuhan batuan, tingginya tingkat kerapuhan batuan ini menggambarkan daerah tersebut memiliki akumulasi *stress* yang rendah. Begitupun sebaliknya, jika didapatkan *b-value* tinggi dikatakan pernah terjadi gempa bumi dengan skala besar sehingga hanya tersisa energi yang mampu menghasilkan gempa kecil [5].

Nilai *a-value* terbesar berada pada grid 2 dan grid 34 dengan nilai *a-value* sebesar 34.6083, sedangkan nilai *a-value* terkecil berada pada grid 8 dengan nilai *a-value* sebesar 2.27419. Tingginya nilai *a-value* disuatu wilayah maka memiliki aktivitas semismik yang cukup besar, begitupun sebaliknya jika nilai *a-value* rendah di suatu wilayah maka wilayah tersebut memiliki aktivitas semismik yang cukup rendah.

### Hasil Gutenberg-Richter

Hukum empiris *Gutenberg-Richter* menjadi teori dasar dalam penentuan parameter seismik yang menunjukkan keterkaitan antara frekuensi gempa bumi dengan magnitudo. Berikut ini plot dari hubungan Gutenberg-richter untuk grid 1 yang diteliti yaitu sebagai berikut :

**Gambar 3.** Plot Guten-richter

Model persamaan Gutenberg-Richter didapat dari perhitungan parameter *b-value* dan *a-value*, relasi Gutenberg-Richter akan dihitung untuk setiap grid penelitian. Seperti pada grid 1 *a-value* sebesar 7.97871 dan *b-value* sebesar 1.7372, sehingga didapatkan model persamaan Gutenberg-Richter sebagai berikut :

$$\text{Log}N = 7.97871 - 1.7372M$$

Selanjutnya model hukum empiris Gutenberg-Richter di setiap grid penelitian yang berjumlah 36 grid dapat dihitung seperti yang dilakukan di grid 1.

**Pendeteksi Pencilan Data Spasial**

Nilai *b-value* gempa bumi Jawa Barat dari 36 grid tidak ada yang mengandung pencilan artinya nilai *b-value* ini memenuhi asumsi untuk menggunakan metode *ordinary kriging*.

**Eksplorasi Kestasioneran Spasial**

Pada metode *ordinary kriging* diperlukan data yang bersifat *stasioner*. Data dikatakan *stasioner* jika sebaran data pada lokasi tertentu mempunyai sebaran data yang acak atau tidak tergantung pada lokasi atau faktor apapun.

Hasil plot sebaran nilai *b-value* berada pada kisaran rata-rata dan tidak terdapat *trend*, sehingga plot sebaran data tersebut dapat dikatakan bahwa data memenuhi asumsi *stasioner*.

**Hasil Perhitungan Semivariogram Eksperimental**

Sebelum melakukan perhitungan *semivariogram eksperimental* maka terlebih dahulu ditentukan jarak *lag* aktif, jarak *lag* aktif merupakan suatu jarak yang membatasi perhitungan *semivariogram eksperimental*, jarak *lag* aktif yang digunakan sebesar 0.5 m. Perhitungan dilakukan menggunakan *software excel*, berikut adalah hasil perhitungan nilai *b-value* dari setiap grid :

**Tabel 2.** Perhitungan *b-value*

Grid 1	Grid 2	Grid 3	Grid 4	Grid 5	Grid 6
1.737	8.685	0.787			
Grid 7	Grid 8	Grid 9	Grid 10	Grid 11	Grid 12
0.965	0.804	0.448	1.737		8.686
Grid 13	Grid 14	Grid 15	Grid 16	Grid 17	Grid 18
4.343	0.564	0.439	0.639	4.343	8.686
Grid 19	Grid 20	Grid 21	Grid 22	Grid 23	Grid 24
0.53	0.494	0.467	0.374	0.689	3.341
Grid 25	Grid 26	Grid 27	Grid 28	Grid 29	Grid 30
4.343	0.679	0.629	0.434	0.736	0.886
Grid 31	Grid 32	Grid 33	Grid 34	Grid 35	Grid 36
		1.143	8.686	0.579	6.204

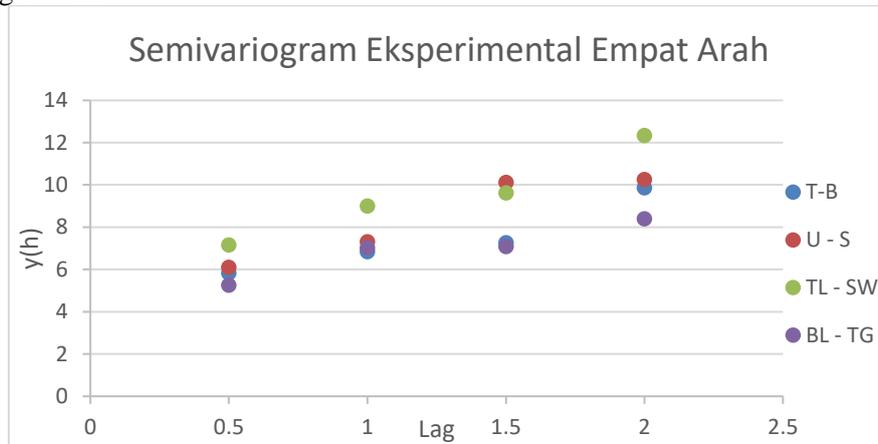
Setelah didapat nilai *b-value* dari setiap grid, maka dapat dihitung *semivariogram eksperimental* pada nilai *b-value* dari 4 arah yang berbeda yaitu sudut 0°, 45°, 90°, dan 135° sebagai berikut:

**Tabel 3.** Perhitungan *semivariogram*

Jarak	Lag							
	y(0.5)	N(0.5)	y(1)	N(1)	y(1.5)	N(1.5)	y(2)	N(2)
U - S	6.1	30	7.31	24	10.12	16	10.25	10
TL - BD	7.15	25	9	18	9.61	12	12.34	6
B - T	5.82	30	6.83	24	7.26	16	9.86	10
BL - TG	5.25	25	7.01	18	7.08	12	8.39	6

Setelah diperoleh parameter *semivariogram* untuk empat arah yang digunakan, maka

dapat ditentukan parameter *semivariogram eksperimental* berupa *sill*, dan *range* dari 4 arah yaitu sebagai berikut :



**Gambar 4.** Semivariogram Eksperimental Empat Arah

penaksiran parameter *semivariogram* berupa *sill*, dan *range* dengan cara mencocokkan hasil plot *semivariogram eksperimental* yang diperoleh dengan model *semivariogram teoritis*. nilai *Sill* diperoleh dari nilai varian data yaitu 7.01, sedangkan nilai *Range* diperoleh dari nilai tengah “jarak” yang nilai *semivariogramnya* yaitu sebesar 1.

Setelah model *semivariogram eksperimental* dihitung, langkah selanjutnya adalah menentukan parameter yang diperlukan untuk membentuk model *semivariogram teoritis*. Parameter-parameter tersebut adalah *Sill*, dan *Range*. Plot *semivariogram eksperimental* tersebut yang digunakan sebagai pembandingan dalam pemilihan *semivariogram teoritis* terbaik.

Penyebaran nilai *b-value* yang digunakan *semivariogram anisotropik*, karena pada arah yang berbeda memberikan nilai *range* yang berbeda namun memberikan nilai *sill* yang sama [6].

**Hasil Perhitungan Semivariogram Teoritis**

*Semivariogram teoritis* terdiri dari tiga model yaitu *Spherical*, *Ekspensial*, dan *Gaussian*, untuk menghitung *semivariogram teoritis* diperlukan ketiga parameter yang telah diperoleh yaitu *sill*, dan *range*.

didapat parameter – parameter dari setiap model *semivariogram*. Berikut adalah parameter-parameter dari tiga model *semivariogram teoritis* :

**Tabel 4.** Parameter *semivariogram*

No	Model	<i>Sill</i>	<i>Range</i>
1	<i>Spherical</i>	10.22	8.39
2	<i>Ekspensial</i>	5.52	8.38
3	<i>Gaussian</i>	4.51	8.39

nilai *sill* paling kecil terdapat pada model *Gaussian* sebesar 4.51, sedangkan untuk nilai *sill* terbesar terdapat di model *Spherical* dengan nilai sebesar 10.22. untuk nilai *range* terkecil terdapat di model *ekspensial* dengan nilai *range* sebesar 8.38, dan untuk nilai *range* terbesar terdapat di model *spherical* dan *gaussian* dengan nilai *range* sebesar 8.39. Sehingga diperoleh model *semivariogram teoritis* sebagai berikut :

1. Model Semivariogram Spherical

$$y(h) = \begin{cases} 10.22 \left[ \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{h}{8.39}\right) - \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{h}{8.39}\right)^3 \right], & \text{untuk } h \leq 2.00 \\ 10.22 & , \text{untuk } h > 2.00 \end{cases}$$

2. Model Semivariogram Eksponensial

$$y(h) = \begin{cases} 0, & \text{untuk } h = 0 \\ 5.52 \left(1 - \exp^{-\frac{h}{8.38}}\right), & \text{untuk } h \neq 0 \end{cases}$$

3. Model Semivariogram Gaussian

$$y(h) = \begin{cases} 0, & \text{untuk } h = 0 \\ 4.51 \left(1 - \exp\left(-\frac{h^2}{8.39^2}\right)\right), & \text{untuk } h \neq 0 \end{cases}$$

Model yang dihasilkan harus memenuhi suatu kriteria sehingga model tersebut valid dan cocok untuk digunakan.

**Validasi Model Semivariogram Teoritis**

Setelah diperoleh nilai dari masing-masing model *semivariogram teoritis* selanjutnya akan dilakukan uji kecocokan model apakah setiap model tersebut valid dan dapat digunakan untuk melakukan pendugaan.

*RMSE (Root Mean Square Error)* dari ketiga model dapat dikatakan bahwa model *spherical* adalah model terbaik untuk estimasi *ordinary kriging* pada nilai *b-value* dari katalog gempa bumi Jawa Barat. Hal ini dikarenakan model *spherical* menghasilkan nilai *RMSE* terkecil. Maka dapat disimpulkan bahwa model terbaik yang dipilih dapat dilakukan estimasi pada kriging adalah model *spherical*.

**Hasil Ordinary Kriging**

Dengan model terpilih *semivariogram spherical*, maka dapat dilakukan estimasi pada setiap titik yang belum terobservasi dengan *ordinary kriging*. Syarat dalam hasil akhir perhitungan *ordinary kriging* yang akan diperoleh tidak boleh memiliki nilai yang minus. Sehingga nilai *b-value* dalam penelitian ini hanya memprediksi 1 grid dari total grid yang tidak memiliki kejadian gempa bumi, dimana yang diprediksi menggunakan ordinary kriging hanya grid 11 karena tidak memiliki nilai minus dalam perhitungannya. Dengan bantuan *software excel* gambaran hasil estimasi, berikut persamaan *ordinary kriging* dapat dituliskan dalam matriks vektor sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} & 1 \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{\gamma}(x_1, V) \\ \bar{\gamma}(x_2, V) \\ \bar{\gamma}(x_3, V) \\ 1 \end{pmatrix}$$

$Ax = B$

Matriks yang digunakan untuk menghitung kriging sejumlah 2x2. Sebelum menghitung matiks A, langkah pertama yaitu menghitung jarak antar titik terlebih dahulu menggunakan matriks jarak.

**Tabel 5.** Perhitungan Kriging

	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$
$\gamma_1$	0	0.7	0.5
$\gamma_2$	0.7	0	0.5
$\gamma_3$	0.5	0.5	0

Dari hasil matriks jarak yang sudah dihitung, maka jarak tersebut akan dimasukkan ke dalam model yang sudah dipilih yaitu model *spherical*. Dengan model *spherical* yang didapat dengan sill sebesar 7.01 dan range sebesar 1, maka model *spherical* sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} 0 & 6.4 & 4.8 & 1 \\ 6.4 & 0 & 4.8 & 1 \\ 4.8 & 4.8 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} -0.12 & 0.04 & 0.08 & 0.37 \\ 0.04 & -0.12 & 0.08 & 0.37 \\ 0.08 & 0.08 & -0.16 & 0.25 \\ 0.37 & 0.37 & 0.25 & -3.68 \end{pmatrix}$$

Setelah matriks A sudah diketahui, maka menghitung matriks jarak untuk matriks B yaitu sebagai berikut :

**Tabel 6.** Perhitungan Matriks Jarak

	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$
$\gamma_0$	0.5	0.5	0.75

Setelah jarak untuk matriks B sudah didapat, langkah selanjut nya sama seperti matriks A yaitu memasukkan nilai jarak kedalam model *spherical*, maka matriks B nya sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} 4.8 \\ 4.8 \\ 6.4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Untuk persamaan *ordinary kriging* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} 0 & 6.4 & 4.8 & 1 \\ 6.4 & 0 & 4.8 & 1 \\ 4.8 & 4.8 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.75 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$AX=B$$

$$A^{-1}B = X$$

Maka, untuk menghitung matriks X sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} -0.12 & 0.04 & 0.08 & 0.37 \\ 0.04 & -0.12 & 0.08 & 0.37 \\ 0.08 & 0.08 & -0.16 & 0.25 \\ 0.37 & 0.37 & 0.25 & -3.61 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4.8 \\ 4.8 \\ 6.4 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.499 \\ 0.499 \\ 0.002 \\ 1.592 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} Z(S_0) &= 0.499 Z(S_1) + 0.499 Z(S_2) + 0.002 (S_3) \\ &= 0.499 (8.686) + 0.499 (4.343) + 0.002 (8.686) \\ &= 6.523 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil penaksiran pada grid 11 dengan prediksi *ordinary kriging*, maka dapat disimpulkan bahwa grid tersebut memiliki nilai *b-value* sebesar 6.523. Tingginya tingkat kerapuhan batuan (*b-value*) menggambarkan daerah tersebut memiliki akumulasi *stress* yang rendah atau dapat dikatakan nilai *b-value* yang tinggi pernah terjadi gempa bumi dengan skala besar sehingga hanya tersisa energi yang mampu menghasilkan gempa kecil.

#### D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Hasil peta sebaran episenter gempa bumi di provinsi Jawa Barat pada tahun 2012 – 2021 didominasi oleh warna biru muda dan hijau muda dengan klasifikasi besar magnitudo 3-5 SR dari 556 kejadian gempa bumi, dari peta episenter gempa bumi Jawa Barat dibagi menjadi 36 grid pengamatan.
2. Berdasarkan analisis data seismik Jawa Barat dari tahun 2012 hingga 2021, diperoleh parameter *a-value* dan *b-value* sebagai peluang potensi gempa bumi dengan distribusi frekuensi dan magnitudo gempa sesuai teori Gutenberg-Rithcer yang menjelaskan mengenai tingkat aktivitas seismik dan tingkat kerapuhan batuan wilayah tersebut. Nilai *a-value* dan *b-value* yang relative rendah pada wilayah Jawa Barat mengindikasikan bahwa wilayah tersebut berpeluang terjadi gempa besar di waktu mendatang yang disebabkan oleh adanya akumulasi energi yang menimbulkan tingkat akumulasi energi yang menimbulkan tingkat *stress* yang tinggi pada wilayah tersebut.

3. Model *semivariogram* eksponensial yang paling baik digunakan untuk interpolasi spasial *ordinary kriging* katalog gempa bumi 2012 sampai 2021 adalah *spherical*.
4. Dari penelitian yang dilakukan hasil penduga *ordinary kriging* pada grid 11 menggunakan model *spherical* yang menduga nilai *b-value* pada katalog gempa bumi Jawa Barat menghasilkan bahwa nilai kerapuhan batuan (*b-value*) mendekati nilai rata-rata *b-value* disekitarnya.

### Acknowledge

Terimakasih penulis ucapkan untuk dosen pembimbing bapak Prof. Dr. Sutawanir Darwis, serta kepada seluruh teman-teman yang sudah memberikan bantuan dan dukungan dan juga untuk teman-teman statistika 2019 yang selalu memberi semangat.

### Daftar Pustaka

- [1] Anderson, S. (2001). *An Evaluation of Spatial Interpolation Methods on air Temperature in Phoenix, AZ*. Department of Geography, Arizona State University Tempe, 85287-0104.
- [2] Cressie, K, T. 2004. *Introduction to Geographic Information Systems Second Editions*. McGraw Hill. Singapore.
- [3] Sugiyono. 2018. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Bandung: Alfabeta.
- [4] Widada, S. 2016. Analisis Dimensi Fraktal Kejadian Gempa di Laut Banda Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(2), 108.
- [5] Scholz, C. H. 1968. *The Frequency-Magnitude Relation of Microfracturing in Rock and Its Relation to Eartquakes*. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 58, 399-415.
- [6] Armstrong, M. 1998. *Basic linear geostatistics*. Springer Science & Business Media.