

**ANALISIS AREA GEMPA BUMI
DI PROVINSI LAMPUNG DENGAN
METODE SPATIAL AUTOREGRESSIVE (SAR)**

Skripsi

**Nabila Amni
NPM. 1711050190**



Program Studi Pendidikan Matematika

**FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI RADEN INTAN
LAMPUNG
1442 H/2021 M**

**ANALISIS AREA GEMPA BUMI
DI PROVINSI LAMPUNG DENGAN
METODE SPATIAL AUTOREGRESSIVE (SAR)**

Skripsi

**Diajukan Untuk Melengkapi Tugas – Tugas dan Memenuhi
Syarat – Syarat Guna Mendapatkan Gelar
Sarjana S1 dalam Pendidikan**



Pembimbing I: Dr. Achi Rinaldi, S.Si., M.Si.

Pembimbing II: Muhamad Syazali, M.Si.

**FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
RADEN INTAN LAMPUNG
1442 H/2021 M**

ABSTRAK

Provinsi Lampung merupakan salah satu wilayah yang memiliki seismisitas aktif. Keberadaan zona subduksi di perairan barat dan adanya Sesar Sumatera menjadi penyebab frekuensi kejadian gempa bumi yang tinggi. Dampak yang ditimbulkan dari bencana alam tersebut sangat beragam, baik kerusakan ringan hingga berat tergantung dari pusat titik kejadiannya, magnitudo, dan kedalaman gempa bumi. Regresi spasial adalah suatu metode yang dapat menganalisis keterkaitan variabel amatan berdasarkan keterkaitan lokasi. Model SAR merupakan bagian dari metode regresi spasial yang dapat diterapkan untuk mendeteksi pengaruh variabel gempa bumi berdasarkan area kejadiannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variabel gempa bumi di Provinsi Lampung menggunakan SAR. Berdasarkan hasil penelitian, magnitudo dan kedalaman gempa bumi tidak memengaruhi frekuensi kejadian gempa di Provinsi Lampung. Akan tetapi, kedalaman gempa bumi justru memiliki pengaruh terhadap magnitudo gempa bumi di Provinsi Lampung.

Kata Kunci : Gempa Bumi, Frekuensi, Magnitudo, Kedalaman, SAR.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nabila Amni
NPM : 1711050190
Jurusan Prodi : Pendidikan Matematika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Area Gempa Bumi di Provinsi Lampung dengan Metode *Spatial Autoregressive (SAR)*” adalah benar – benar merupakan hasil karya penyusun sendiri, bukan duplikasi ataupun saduran dari karya orang lain kecuali pada bagian yang telah dirujuk dan disebut dalam *footnote* atau daftar Pustaka. Apabila di lain waktu terbukti adanya penyimpangan dalam karya ini, maka tanggung jawab sepenuhnya ada pada penyusun.

Demikian surat pernyataan ini saya buat agar dapat dimaklumi.

Bandar Lampung, 19 November 2021
Penulis,



Nabila Amni
NPM. 1711050190



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI RADEN INTAN LAMPUNG
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA

Alamat: Jl. Letkol H. Endro Suratmin Sukarame-Bandar Lampung (0721) 703260

SURAT PERSETUJUAN

Judul Skripsi : ANALISIS AREA GEMPA BUMI DI PROVINSI
LAMPUNG DENGAN METODE SPATIAL
AUTOREGRESSIVE (SAR)

Nama : Nabila Amni
NPM : 1711050190
Jurusan : Pendidikan Matematika

MENYETUJUI

Untuk dimunaqsyahkan dan dipertahankan dalam Sidang Munaqsyah
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung.

PEMBIMBING I

Dr. Achi Rinaldi, S.Si., M.Si.
NIP.198202042006041001

PEMBIMBING II

Muhammad Syazali, S.Si., M.Si.
NIP.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Pendidikan Matematika

Dr. Nanang Suprardi, M.Sc.
NIP.197911282005011005



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI RADEN INTAN LAMPUNG
FAKULTAS TARBİYAH DAN KEGURUAN

Alamat: Jl. Letkol H. Endro Suratmin Sukarame Bandar Lampung Telp. (0721) 703260

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **ANALISIS AREA GEMPA BUMI DI PROVINSI LAMPUNG DENGAN METODE SPATIAL AUTOREGRESSIVE (SAR)** disusun oleh **Nabila Amni, NPM. 1711050190**, Jurusan Pendidikan Matematika telah diujikan dalam Sidang Munaqosyah Fakultas Tarbiyah dan Keguruan pada hari/tanggal: **Jumat, 19 November 2021.**

TIM MUNAQOSYAH

Ketua : Dr. Safari, S.Ag., M.Sos.I. 

Sekretaris : Hasan Sastra Negara, M.Pd. 

Pembahas Utama : Siska Andriani, S.Si., M.Pd. 

Pembahas I : Dr. Achi Rinaldi, S.Si., M.Si. 

Pembahas II : Muhamad Syazali, S.Si., M.Si. 

Mengetahui,
Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan



Prof. Dr. M. Nirva Diana, M.Pd.
NIP. 196408281988032002

MOTTO

Dari Jabir *radhiyallahu 'anhu*, ia berkata, Suraqah bin Malik bin Ju'syum datang dan berkata,

يَا رَسُولَ اللَّهِ، بَيِّنْ لَنَا دِينَنَا كَأَنَّا خُلِقْنَا الْآنَ، فِيمَا الْعَمَلُ الْيَوْمَ؟
أَفِيَمَا جَفَّتْ بِهِ الْأَقْلَامُ وَجَرَّتْ بِهِ الْمَقَادِيرُ؟ أَمْ فِيمَا نَسْتَقْبِلُ؟ قَالَ:
لَا، بَلْ فِيمَا جَفَّتْ بِهِ الْأَقْلَامُ وَجَرَّتْ بِهِ الْمَقَادِيرُ، قَالَ: فَفِيمَ الْعَمَلُ،
فَقَالَ: اْعْمَلُوا، فَكُلُّ مَيْسَرٍ

Artinya: “Wahai Rasulullah, berikanlah penjelasan kepada kami tentang agama kami, seakan-akan kami baru diciptakan sekarang. Untuk apakah kita beramal hari ini? Apakah itu terjadi pada hal-hal yang pena telah kering dan takdir yang berjalan, ataukah untuk yang akan datang?”

Beliau *Shallallahu 'alaihi wa Sallam* menjawab, “Bahkan pada hal-hal yang dengannya pena telah kering dan takdir yang berjalan.”

Ia bertanya, “Lalu apa gunanya beramal?” Beliau *Shallallahu 'alaihi wa Sallam* bersabda, “Beramallah kalian, karena masing-masing dimudahkan (untuk melakukan sesuatu yang telah ditakdirkan untuknya).” (HR. Muslim, No. 2648)

PERSEMBAHAN

الرَّحِيمِ الرَّحْمَنِ اللَّهُ بِسْمِ

Segala puji syukur hanya bagi Allah *Subhanahu wa Ta'ala*, memohon pertolongan, ampunan kepada-Nya, penulis berlindung kepada Allah dari kejahatan dan kejelekan amal perbuatan diri sendiri. *Alhamdulillah* dengan karunia dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir perkuliahan ini dengan sebaik – baiknya. Karya ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Abah Akhmad Kusasi Naparin dan Ibu Astuti yang selalu mencintai, menemani, mendukung, membimbing, dan mendoakan untuk kebaikan anak – anaknya di dunia dan akhirat.
2. Kedua saudara tersayang, Abang Fauzan Khalifah dan Adik Muhamad Rizki Algazali yang mendukung, membantu, dan mendoakan keberhasilan saya di mana pun saya berada.

Semoga Allah *Subhanahu wa Ta'ala* selalu merahmati, menyelamatkan dari keburukan, mengangkat derajat, dan menyatukan keluarga kita ke dalam surganya di akhirat kelak.



RIWAYAT HIDUP

Nabila Amni dilahirkan di Metro pada 16 Desember 1999, putri dari pasangan Akhmad Kusasi Naparin dan Astuti. Pendidikan dimulai dari Taman Kanak – Kanak (TK) Al – Azhar 4 Bandar Lampung selesai tahun 2005, dilanjutkan ke Sekolah Dasar (SD) Al – Azhar 2 Bandar Lampung selesai tahun 2011, kemudian Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 19 Bandar Lampung selesai tahun 2014, dan melanjutkan ke Madrasah Aliyah Negeri (MAN) 1 Bandar Lampung selesai tahun 2017.

Setelah lulus, dilanjutkan menempuh pendidikan tinggi di Jurusan Pendidikan Matematika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Raden Intan Lampung dimulai pada semester 1 tahun akademik 2017/2018. Pada tahun 2020, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kawasan Kelurahan Perumnas Way Halim, Kecamatan Way Halim, dan Praktek Pengalaman Lapangan (PPL) di SMA Negeri 9 Bandar Lampung.



KATA PENGANTAR

Segala pujian syukur hanya dipanjatkan kepada Allah *Subhanahu wa Ta'ala* atas rahmat serta taufik-Nya dan shalawat serta salam selalu dilimpahkan kepada Rasulullah *Shallallahu 'alaihi wa Sallam*, keluarganya, para sahabatnya, dan orang – orang yang mengikutinya. *Alhamdulillah*, penulis mampu menyelesaikan tugas akhir skripsi sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Pendidikan di Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Jurusan Pendidikan Matematika, UIN Raden Intan Lampung. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sebesar – besarnya kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Hj. Nirva Diana, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Raden Intan Lampung.
2. Bapak Dr. Nanang Supriadi, M.Sc. selaku Ketua Jurusan Pendidikan Matematika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Raden Intan Lampung
3. Dr. Achi Rinaldi, S.Si., M.Si. selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan memberikan ilmunya untuk membimbing dan memotivasi penulis.
4. Bapak Muhamad Syazali, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II yang telah memberikan ilmunya dan memberi pengarahan demi keberhasilan penulis.
5. Bapak dan ibu dosen serta staf yang telah memberikan wawasan dan bantuan selama menimba ilmu di Jurusan Pendidikan Matematika, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi ini.
6. Keluarga Besar Syuradi: Abi, Umi, Tante Nin, Tante Oca, Om Ijal, Tante Diana, Uni Ririn, Uni Pipit, dan Sarah yang selalu mendukung, menemani, dan mendoakan kebaikan penulis.
7. Sahabat – sahabat tersayang Eka Sundari, Amalia Wahyu Nugraheni, Anisa Safitri, Diyah Normalita Sari, Nabila Ariyana, Nining Sundari, dan Wisma Yuindah. Selain itu, teman seperjuangan khususnya Rizka Suci Haryudita, Cindi Nadya Putri, Dewi Anjani, Tista Maya Surati, Aprilia Susanti, Kenny Chandra Pradana, dan Dhea Livita Cahya. Terima

kasih atas kebersamaan yang penuh warna dan bantuan kalian selama ini.

8. Teman - teman di Kelas Abnormal yang telah bersama – sama menuntut ilmu, sehingga penulis memiliki pengalaman yang berharga dan bersyukur atas kehadiran kalian selama menempuh pendidikan tinggi.

Semoga Allah *Subhanahu wa Ta'ala* melimpahkan kebaikan dan keselamatan kepada kita semua di dunia dan akhirat.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidaklah sempurna, karena kurangnya pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, mohon maaf atas segala bentuk kesalahan pada penulisan ataupun isi dan hanya kepada Allah penulis memohon ampunan. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak dan berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan serta kebaikan umat manusia.

Bandar Lampung, 19 November 2021
Mahasiswa

Nabila Amni
NPM. 1711050190

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iv
PENGESAHAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv

BAB I PENDAHULUAN

A. Penegasan Judul	1
B. Latar Belakang	2
C. Identifikasi dan Batasan Masalah.....	7
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian	8
F. Manfaat Penelitian	8
G. Penelitian Terdahulu yang Relevan.....	9
H. Sistematika Penulisan.....	10

BAB II LANDASAN TEORI

A. Gempa Bumi	13
B. Proses Kejadian Gempa Bumi	15
C. Parameter Gempa Bumi	16
D. Tektonika Lampung	18
E. Analisis Regresi	19
F. Regresi Linear Sederhana	20
G. Ordinary Least Squares Estimation.....	22
H. Data Spasial.....	23

I. Autokorelasi Spasial.....	24
J. Matriks Pembobot Spasial.....	27
K. Model Regresi Spasial.....	30
L. Model Spasial Autoregressive (SAR).....	31
M. Pengujian Asumsi Residual Model	32

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	35
B. Jenis dan Data Penelitian	35
C. Teknik Pengumpulan Data.....	35
D. Metode Penelitian	35

BAB IV METODE PENELITIAN

A. Deskripsi Data.....	37
B. Pembahasan dan Hasil Penelitian	41

BAB V PENUTUP

A. Simpulan	53
B. Rekomendasi.....	54

DAFTAR RUJUKAN

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Magnitudo, Skala Intensitas, dan Tingkat Kerusakannya	17
4.1 Data Area Berdasarkan Parameter Gempa Bumi	40
4.2 Hasil Perhitungan Indeks Moran Parameter Gempa Bumi	41
4.3 Hasil Pengujian Dependensi Spasial dengan Variabel Respon Frekuensi	43
4.4 Hasil Pengujian Dependensi Spasial dengan Variabel Respon Magnitudo.....	44
4.5 Estimasi Parameter Model dengan Variabel Respon Frekuensi	45
4.6 Estimasi Parameter Model dengan Variabel Respon Magnitudo.....	45
4.7 Perbandingan Model SAR.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta Seismisitas Indonesia Periode Tahun 2009 – 2018	3
2.1 Klustering Sesar – Sesar Aktif di Provinsi Lampung.....	19
2.2 Garis Lurus yang Menghubungkan antara Variabel x dan y ...	21
2.3 Ilustrasi dari Contiguity.....	28
4.1 Peta Seismisitas Provinsi Lampung Periode Tahun 1963 – 2019	37
4.2 Pembagian Wilayah Lampung	39
4.3 <i>Moran's Scatterplot</i> untuk Setiap Variabel (a) Frekuensi, (b) Magnitudo, dan (c) Kedalaman.....	42
4.4 Plot Kehomogenan Residual Model.....	48
4.5 <i>Normal Probability Plot</i> Residual Model.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
I. Data Gempa Bumi di Provinsi Lampung Periode Tahun 1960 - 2019	59
II. Matriks Pembobot Spasial Queen Contiguity	76
III. Syntax R Pengolahan Data.....	77



BAB I

PENDAHULUAN

A. Penegasan Judul

Pada judul penelitian ini terdapat beberapa istilah yang digunakan. Penggunaan istilah tersebut sebagai bentuk dari gambaran atau pembahasan dari tujuan penelitian yang akan dicapai. Oleh karena itu, untuk menghindari kesalahpahaman diperlukan kejelasan dalam penafsiran judul tersebut. Berikut adalah beberapa istilah penting yang harus diketahui.

1. Area Gempa Bumi merupakan wilayah geografis yang terdapat *epicenter* (pusat titik) getaran atau guncangan bumi, karena pergeseran kulit bumi disebabkan pergerakan lempeng - lempeng tektonik.¹
2. Provinsi Lampung adalah salah satu wilayah yang terletak di Pulau Sumatera bagian selatan, baik bagian daratan dan perairan sekitarnya.
3. Metode *Spatial Autoregressive* (SAR) merupakan cara untuk menganalisis data dari salah satu model regresi spasial yang proses autoregresifnya hanya terjadi pada *lag* variabel dependen.²

Berdasarkan pemaparan istilah di atas dapat disimpulkan bahwa Area Gempa Bumi di Provinsi Lampung dengan Metode *Spatial Autoregressive* (SAR) merupakan wilayah geografis Lampung yang terdapat pusat titik - titik getaran atau ³guncangan bumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng - lempeng tektonik, baik di daratan maupun perairan sekitar yang dianalisis menggunakan salah satu model regresi spasial.

¹ Sunarjo, M Taufik Gunawan, and Sugeng Pribadi, *Gempabumi Edisi Populer* (Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2012), 26.

² Luc Anselin, "Spatial Econometrics," *Blackwell Publishing Ltd*, 2001, 320-21.

B. Latar Belakang

Letak suatu negara sangat berpengaruh terhadap berbagai aspek. Contohnya, letak astronomis Indonesia terletak di $6^{\circ}LU - 11^{\circ}LS$ dan $95^{\circ}BT - 141^{\circ}BT$. Selain itu, letak geografisnya berada di antara dua benua, yaitu Benua Asia dan Benua Australia, serta berada di antara dua samudera, yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik.

Berdasarkan letak astronomis, Indonesia merupakan wilayah yang dilewati garis ekuator, yaitu berada di dalam lintang 0° . Jika diperhatikan dari bola dunia (*globe*) ataupun peta, maka posisi Negara Indonesia berada di wilayah belahan bumi bagian timur. Wilayah tersebut secara langsung mendapatkan sinar matahari, sehingga Indonesia memiliki iklim tropis dan juga curah hujan yang tinggi.

Sementara itu, garis bujur 0° yang berada di Greenwich, sedangkan Indonesia berada di $95^{\circ}BT - 141^{\circ}BT$ menjadikan Indonesia terbagi dalam tiga perbedaan waktu, yaitu Waktu Indonesia bagian Barat (WIB), Waktu Indonesia bagian Tengah (WITA), dan Waktu Indonesia bagian Timur (WIT).

Indonesia yang terapat dua samudera besar berdampak mendapat angin laut yang mendatangkan hujan. Pengaruh angin laut juga mengakibatkan Indonesia beriklim tropis yang hanya memiliki dua musim, yaitu musim kemarau dan hujan. Selain itu, hal tersebut disebabkan oleh angin muson yang berhembus bergantian arah.⁴

Sebagai negara kepulauan terbesar yang memiliki sekitar 16.056 pulau⁵ dengan 1.910.931 km² luas daratan dan 3.544.743 km² luas perairan.⁶ Keberadaan Indonesia dapat dikatakan unik, tetapi menyimpan potensi kerawanan bencana yang tersebar mulai dari Pulau Sumatera hingga Pulau Papua.⁷

Konsekuensi tersebut disebabkan letak geologis Indonesia dilalui dua jalur pegunungan muda dunia, antara lain Pegunungan

⁴ Universitas Pendidikan Indonesia, "Geografi Regional Indonesia," n.d.

⁵ Badan Pusat Statistik, "Luas Daerah Dan Jumlah Pulau Menurut Provinsi," BPS, 2019, https://www.bps.go.id/indikator/indikator/view_data_pub/0000/api_pub/38/da_01/1.

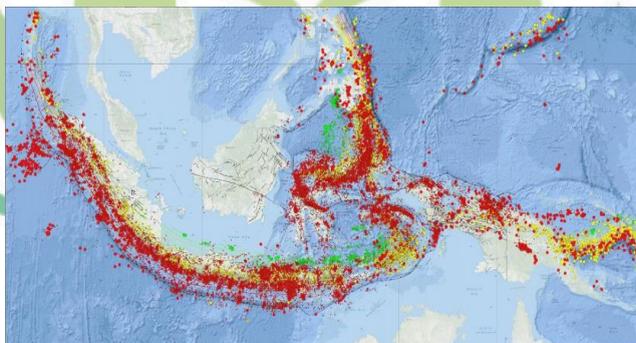
⁶ Muhammad Ramadhan and Taslim Arifin, "Aplikasi Sistem Informasi Geografis Dalam Penilaian Proporsi Luas Laut Indonesia," *KKP*, 2018.

⁷ Ruli As'ari, "Kajian Kesiapsiagaan Masyarakat Pesisir Dalam Menghadapi Bencana Gempabumi Dan Tsunami Di Kecamatan Cipatujah Kabupaten Tasikmalaya," *Universitas Siliwangi Tasikmalaya*, 2017.

Mediterrania yang berada di sebelah barat dan Sirkum Pasifik yang berada di sebelah timur atau disebut juga *Pasific Ring of Fire*.⁸ Oleh sebab itu, tidak dipungkiri deretan gunung api mengelilingi Indonesia.

Selain itu, terdapat pertemuan tiga lempeng besar dunia, yakni Lempeng Pasifik yang bergerak menuju arah barat – barat laut, Lempeng Indo – Australia yang bergerak menuju arah utara – timur laut, dan Lempeng Benua Eurasia yang bergerak menuju arah barat daya.

Lempeng Indo – Australia dan Eurasia terjadi tumbukan di lepas pantai barat Pulau Sumatera, lepas pantai selatan Pulau Jawa, lepas pantai selatan Kepulauan Nusa Tenggara, dan mengarah ke utara menuju perairan Maluku sebelah selatan. Lalu, terjadi tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dan Pasifik di sekitar Pulau Papua. Apalagi terjadi pertemuan ketiga lempeng di sekitar Pulau Sulawesi. Terkait faktor-faktor tersebut menyebabkan Indonesia rawan bencana, seperti letusan gunung api dan gempa bumi.⁹



Gambar 1.1

Peta Seismisitas Indonesia Periode Tahun 2009 – 2018

Pada Gambar 1.1 terlihat aktivitas kegempaan mulai dari Sabang hingga Merauke.¹⁰ Gempa bumi yang terjadi sepanjang pulau

⁸ Rahmanelli, “Rawan Bencana Suatu Tantangan Posisi Geologis Indonesia,” Ikatan Geograf Indonesia, n.d.

⁹ Hendro Murtianto, “Potensi Kerusakan Gempa Bumi Akibat Pergerakan Patahan Sumatera Di Sumatera Barat Dan Sekitarnya,” *Jurnal Geografi Gea* 10, no. 1 (2016), <https://doi.org/10.17509/gea.v10i1.1667>.

¹⁰ Urip Setiyono and dkk, *Katalog Gempabumi Signifikan Dan Merusak 1821 - 2018* (Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2019), 5.

di Indonesia memiliki kekuatan dan kedalaman yang beragam. Aktivitas kegempaan tidaklah sama di setiap pulau, melainkan terdapat tingkat kerawannya. Galih dan Handayani menyatakan bahwa peringkat wilayah dengan kerawanan gempa bumi dari yang tertinggi di Indonesia, yaitu Pulau Maluku – Banda, Sulawesi, Sumatera, Papua, Nusa Tenggara Timur, Jawa, kemudian Kalimantan. Walaupun tidak menjadi wilayah yang paling rawan terjadi gempa bumi, Pulau Sumatera berpotensi gempa bumi dengan risiko magnitudo besar.¹¹

Ancaman gempa bumi di Pulau Sumatera diakibatkan dua sumber utama, yaitu Sesar Besar Sumatera yang membujur dari ujung utara hingga selatan Pulau Sumatera dan adanya subduksi antara dua lempeng besar.¹² Menurut penelitian Edy Santoso, dkk, terdapat kota – kota besar di Pulau Sumatera terindikasi rentan gempa bumi, diantaranya Kota Banda Aceh, Padang, Bengkulu, dan Bandar Lampung.¹³

Berdasarkan kajian geologi dan geofisika, wilayah Lampung memiliki seismisitas yang aktif. Episentrumnya sebagian besar berasal dari zona subduksi Lempeng di perairan barat Lampung, zona patahan Semangko, dan patahan – patahan lainnya. Pergerakan antar lempeng ini dapat mengakibatkan gempa bumi di darat dan di laut, sehingga bencana sekunder lain seperti tsunami dapat terjadi.¹⁴

Sekitar 20 gempa bumi besar dan menimbulkan kerusakan telah terjadi dalam kurun waktu 100 tahun terakhir di sepanjang patahan Sumatera. Dengan demikian, rata – rata dalam lima tahun sekali terjadi gempa bumi besar. Frekuensi gempa bumi di patahan Sumatera cenderung sering terjadi dan sumbernya lebih dekat dengan populasi penduduk. Lain halnya dengan yang diakibatkan oleh zona subduksi,

¹¹ Samsul Anwar, “Mengukur Peluang Kejadian Gempa Bumi Dengan Lompatan Magnitudo Di Wilayah Pulau Sumatera,” *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi* 10, no. 3 (2020), <https://doi.org/10.34126/jlbg.v10i3.263>.

¹² Wisyanto, “The Potential Analysis of Earthquake Threat to Buildings in Krui , Pesisir Barat District” 12, no. 2 (2017).

¹³ Edy Santoso, Sri Widiyantoro, and I Nyoman Sukanta, “Studi Hazard Seismik Dan Hubungannya Dengan Intensitas Seismik Di Pulau Sumatera Dan Sekitarnya,” *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* 12, no. 2 (2011), <https://doi.org/10.31172/jmg.v12i2.93>.

¹⁴ BMKG, “Kajian Kegempaan Akibat Sesar Lokal Di Wilayah Lampung Dengan Memanfaatkan Jaringan InaTEWS,” *BMKG*, n.d.

gempa bumi tersebut hanya sekitar 2 – 3 kali dalam 100 tahun yang kekuatannya lebih besar dari 8 Skala Richter.¹⁵

Menurut *United States Geological Survey* (USGS), belum ada para ahli yang dapat memprediksi kejadian gempa bumi. Tidak ada yang pernah tahu bagaimana dan mengira – ngira kapan terjadinya di masa mendatang.¹⁶ Pernyataan tersebut selaras dengan Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Rahmat Triyono yang menyatakan gempa bumi tidak dapat diprediksi waktu kejadiannya.

Beliau menuturkan bahwa hal yang dapat diprediksi adalah zona gempa bumi, yaitu daerah ataupun lokasi.¹⁷ Selain itu, dalam memprediksi gempa bumi dibutuhkan tiga unsur, yaitu tanggal dan waktu, lokasi, dan magnitudo.¹⁸ Perkiraan terjadi gempa bumi susulan dapat diprediksi setelah gempa bumi yang pertama terjadi. Secara praktis, mustahil untuk memprediksi kejadian gempa bumi yang pertama.¹⁹

Bencana gempa bumi perlu diberi perhatian khusus mengingat Indonesia sering dilanda musibah tersebut. Berdasarkan keterangan para ahli, hal yang perlu dilakukan adalah menganalisis zona gempa bumi di Indonesia. Kesempatan tersebut harus dipergunakan untuk menginformasikan masyarakat akan wilayah rawan kegempaan, sehingga potensi kerusakan ataupun kerugian dapat diminimalisir.

¹⁵ Heru Sri Naryanto, “Analisis Potensi Kegempaan Dan Tsunami Di Kawasan Pantai Barat Lampung Kaitannya Dengan Mitigasi Dan Penataan Kawasan,” *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia* 10, no. 2 (2008).

¹⁶ United States Geological Survey, “Can You Predict Earthquakes?,” USGS, accessed December 13, 2020, https://www.usgs.gov/faqs/can-you-predict-earthquakes?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products.

¹⁷ Eva Safitri, “BMKG: Zona Gempa Bisa Diprediksi Tapi Tidak Dengan Waktunya,” *DetikNews*, August 3, 2019, <https://news.detik.com/berita/d-4651040/bmkg-zona-gempa-bisa-diprediksi-tapi-tidak-dengan-waktunya>.

¹⁸ United States Geological Survey, “What Is The Difference between Earthquake Early Warning, Earthquake Forecasts, Earthquake Probabilities, and Earthquake Prediction?,” USGS, accessed December 13, 2020, https://www.usgs.gov/faqs/what-difference-between-earthquake-early-warning-earthquake-forecasts-earthquake-probabilities?qt-news_science_products=7#qt-news_science_products.

¹⁹ Fino Yuno Kristo, “Kenapa Gempa Bumi Tak Bisa Diprediksi? Ini Kata Ahli,” *DetikInet*, August 3, 2019, <https://inet.detik.com/science/d-4650724/kenapa-gempa-bumi-tak-bisa-diprediksi-ini-kata-ahli>.

Prediksi dapat menggunakan model berdasarkan data kebiasaan seismik dan data gempa bumi susulan selama dekade tertentu.²⁰ Selama kejadian gempa bumi, lokasi dari titik – titik ataupun area gempa bumi tidak boleh diabaikan. Observasi dari suatu lokasi gempa bumi cenderung saling terkait satu dengan observasi lainnya. Tobler mengemukakan dalam hukum pertama geografi bahwa segala sesuatu berkaitan satu dengan yang lain, tetapi sesuatu yang dekat lebih berpengaruh daripada sesuatu yang jauh.²¹

Metode analisis regresi spasial menjadi metode yang dapat diterapkan, karena melibatkan efek – efek spasial. Metode tersebut dapat memodelkan data gempa bumi hingga mendapatkan prediksi kejadiannya. Bahkan ada beberapa studi yang telah dilakukan menggunakan model *Spatial Autoregressive (SAR)*.

Perlu diketahui sebagaimana yang dinyatakan oleh BMKG dalam kajiannya, beberapa tahun terakhir terjadi peningkatan aktivitas seismisitas di beberapa klaster, termasuk Lampung. Peristiwa tersebut harus menjadi sorotan, karena wilayah Lampung yang luas dan memiliki jumlah penduduk yang banyak. Masyarakat Lampung membutuhkan informasi yang komprehensif tentang area rawan gempa bumi.

Selain itu, tidaklah cukup hanya mengetahui area rawan saja. Aktivitas kegempaan perlu dikaji lebih dalam, sehingga mendapat informasi yang lebih spesifik dan mendekati keakuratan dengan yang terjadi di lapangan. Hanya saja kajian mengenai gempa bumi terbilang masih minim ketimbang informasi kejadian pascagempa bumi. Salah satu hal yang dapat dikaji adalah memodelkan data – data gempa bumi yang telah terjadi. Pemodelan tersebut dapat memberi informasi baru untuk aktivitas kegempaan di suatu wilayah.

Berdasarkan paparan uraian di atas, dengan melihat risiko gempa bumi di Provinsi Lampung sebagai bentuk upaya meminimalisir dampak buruk yang ditimbulkan, maka penulis tertarik melakukan kajian terhadap kejadian gempa bumi. Aktivitas kegempaan sangat memungkinkan untuk mengetahui manakah wilayah dengan tingkat kerawanan tinggi maupun rendah. Selain itu,

²⁰ United States Geological Survey, “Can You Predict Earthquakes?”

²¹ Ronald Ahmad Hazief, “Pemodelan Autoregresif Spasial Dengan Menggunakan Variabel Laten,” *Universitas Padjadjaran*, 2008.

belum ada penelitian mengenai pemodelan menggunakan *Spatial Autoregressive* pada bencana gempa bumi. Penulis akan menggunakan SAR, karena melihat adanya kecocokan untuk memodelkan aktivitas kegempaan di wilayah Lampung dan sekitarnya.

Penelitian ini akan menginformasikan wilayah rawan gempa bumi dan pemodelan regresi spasial yang dapat berguna sebagai pengembangan data atau pendukung penelitian yang telah diteliti oleh BMKG. Selain itu, dengan informasi zona rawan gempa bumi, mitigasi bencana dapat dilakukan secara konkret.

C. Identifikasi dan Batasan Masalah

Penulis mengidentifikasi bahwasanya sebagai wilayah yang rentan terjadi bencana gempa bumi, masyarakat Lampung membutuhkan informasi yang komprehensif terkait area rawan gempa bumi. Jika terjadi kekurangan informasi mengenai aktivitas kegempaan yang meningkat, maka dapat mengakibatkan ketidaksiapsiagaan akan bahaya yang ditimbulkan.

Selain itu, kajian penelitian mengenai kegempaan masih minim daripada bencana alam lainnya. Oleh sebab itu, kajian bencana gempa bumi terbilang kurang spesifik. Informasi yang minim menjadi indikator kurangnya kesiapsiagaan bencana gempa bumi.

Oleh karena itu, guna menghindari penyimpangan dari masalah dalam penelitian, maka penulis menerapkan batasan – batasan sebagai berikut :

1. Data yang dianalisis adalah data gempa bumi di Provinsi Lampung yang bersumber dari data kegempaan milik USGS.
2. Pemodelan menggunakan data kegempaan dari rentang waktu tahun 1960 – 2019.
3. Pembuatan model menggunakan *Spatial Autoregressive (SAR)* dengan parameter gempa bumi, yaitu frekuensi, magnitudo, dan kedalaman.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana persebaran kejadian gempa bumi di Provinsi Lampung selama 60 tahun terakhir?
2. Bagaimana pengaruh magnitudo dan kedalaman gempa bumi terhadap frekuensi gempa bumi di Provinsi Lampung?
3. Bagaimana pengaruh frekuensi dan kedalaman gempa bumi terhadap magnitudo gempa bumi di Provinsi Lampung?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan, yaitu :

1. Mengetahui persebaran kejadian gempa bumi di Provinsi Lampung dari tahun 1960 - 2019.
2. Mengetahui pengaruh magnitudo dan kedalaman gempa bumi terhadap frekuensi gempa bumi di Provinsi Lampung.
3. Mengetahui pengaruh frekuensi dan kedalaman gempa bumi terhadap magnitudo gempa bumi di Provinsi Lampung.

F. Manfaat Penelitian

1. Manfaat bagi Peneliti

Bagi peneliti dengan adanya model yang digunakan akan menambah wawasan tentang bagaimana *Spatial Autoregressive* (SAR) diterapkan ke dalam permasalahan kehidupan dan sebagai rujukan oleh peneliti selanjutnya untuk menentukan model yang lebih efektif.

2. Bagi Masyarakat

Kejadian gempa bumi diharapkan dapat menambah informasi dan meningkatkan kewaspadaan untuk mengurangi risiko yang mungkin terjadi.

3. Bagi Pemerintah

Dengan membentuk model SAR pada bencana gempa bumi, pemerintah dapat meningkatkan perencanaan penanganan mitigasi bencana pada zona rawan gempa khususnya di Provinsi Lampung jika sewaktu – waktu gempa bumi terjadi.

G. Kajian Penelitian Terdahulu yang Relevan

Penelitian yang akan dilakukan memiliki relevansi dengan kajian – kajian sebelumnya. Beberapa dari penelitian terdahulu memiliki kesamaan objek yang diteliti, seperti objek gempa dan penggunaan metode untuk menganalisis satu atau lebih kasus. Berikut ini merupakan contoh dari sekian relevansi dengan kajian penelitian terdahulu, antara lain:

1. Achi Rinaldi, dkk. menganalisis tentang kemiskinan di Jawa Timur menggunakan model regresi klasik dan model regresi spasial. Hasil perbandingan dari beberapa model tersebut mengindikasikan bahwa *Geographic Weighted Regression model* (GWR) lebih baik dalam menjelaskan keragaman persentase orang miskin dibandingkan *Classical Regression Model* dan *Spatial Error Model* (SEM). Selain itu, rendahnya statistik AIC dari model GWR mengindikasikan bahwa model tersebut dapat mengurangi efek spasial dari data yang diobservasi secara regional.²²
2. Seunghoo Jeong dan D. K. Yoon telah melakukan analisis mengenai faktor -faktor yang rentan terhadap bencana alam di Korea Selatan. Beberapa faktor yang terkait dengan kerusakan akibat bencana diuji dengan analisis regresi. Mereka membandingkan hasil regresi dari *Ordinary Least Squares* (OLS) dan *Spatial Autoregressive Model* (SAM). Hasil dari penelitian mereka menyebutkan bahwa komunitas yang rentan terhadap bencana sebagai akibat dari karakteristik sosial – ekonomi dan lingkungan mereka lebih mungkin mengalami kerugian ekonomi.²³
3. Mazna Yuniarti melakukan penelitian terkait kejadian puting beliung di Indonesia. Salah satu metode analisisnya menggunakan *Spatial Autoregressive* (SAR). Penelitiannya

²² Achi Rinaldi et al., “Spatial Modeling for Poverty: The Comparison of Spatial Error Model and Geographic Weighted Regression,” *Al-Jabar: Jurnal Pendidikan Matematika* 12, no. 1 (2021): 237–51.

²³ Seunghoo Jeong and D. K. Yoon, “Examining Vulnerability Factors to Natural Disasters with a Spatial Autoregressive Model: The Case of South Korea,” *Sustainability* 10 (2018): 1, <https://doi.org/10.3390/su10051651>.

menghasilkan zona rawan puting beliung di Provinsi Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat pada tahun 2017.²⁴

4. Penelitian tentang gempa bumi juga telah dilakukan oleh Agnes Cahya Windiyanti pada tahun 2018. Cara penganalisisan gempa bumi yang digunakan berdasarkan nilai Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan *Data Accelerograph*. Wilayah Lampung yang menjadi objek penelitian menghasilkan tiga zona rawan gempa bumi dengan nilai PGA dan intensitas yang berbeda – beda. Zona rawan yang dihasilkan adalah zona rawan pertama, yaitu area Kota Bumi dan Bandar Lampung, zona rawan kedua, yaitu area Kota Agung, dan zona rawan ketiga, yaitu area Liwa.²⁵
5. Ilhamna Aulia, dkk. memfokuskan *Spatial Autoregressive Models* untuk melihat faktor – faktor tertentu yang memengaruhi kasus pneumonia pada balita. Mereka menyimpulkan bahwa ada tiga faktor yang memengaruhinya, yaitu kepadatan penduduk, persentase rumah tangga bersih dan sehat, dan mendapat imunisasi lengkap di Surabaya pada tahun 2014.²⁶

H. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini secara keseluruhan terdiri atas tiga bagian, yaitu bagian awal, bagian inti, dan bagian akhir.

1. Bagian Awal

Pada bagian awal skripsi tersusun atas sampul, halaman sampul, abstrak, pernyataan orisinalitas, halaman persetujuan, pengesahan, motto, persembahan, riwayat hidup, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel, dan daftar gambar.

²⁴ Mazna Yuniarti, “Analisis Kejadian Puting Beliung Di Indonesia Menggunakan Metode Spatial Autoregressive (SAR), Clustering Average Linkage, Dan Pemetaan Berbasis WebGIS,” *Universitas Islam Indonesia* 2 (2018): 71.

²⁵ Agnes Cahya Windiyanti et al., “Analisis Zona Rawan Gempabumi Daerah Lampung Berdasarkan Nilai Percepatan Tanah Maksimum (PGA) Dan Data Accelererograph Tahun 2008-2017,” *Jurnal Geofisika Eksplorasi* 03 (2017): 7.

²⁶ Ilhamna Aulia, Mutiah Salamah Chamid, and Shofi Andari, “Pemodelan Pneumonia Pada Balita Di Surabaya Menggunakan Spatial Autoregressive Models,” *Jurnal Sains Dan Seni ITS* 6, no. 1 (2017): 92, <https://doi.org/10.12962/j23373520.v6i1.22437>.

2. Bagian Inti

Pada bagian inti terdiri atas lima bab, yaitu

a. Bab I: Pendahuluan

Pendahuluan berisikan penegasan judul, latar belakang masalah, identifikasi dan batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat, kajian penelitian yang relevan, dan sistematika penulisan.

b. Bab II: Landasan Teori

Bab ini berisi teori – teori yang mendasari kajian yang diteliti, seperti teori gempa bumi, tektonika Lampung, analisis regresi, regresi linear, uji autokorelasi dan dependensi spasial, uji normalitas dan heteroskedastisitas, dan pemodelan *Spatial Autoregressive (SAR)*.

c. Bab III: Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian tertulis pada bab ini. Bab ini terdiri dari waktu dan tempat penelitian, jenis dan data penelitian, Teknik pengumpulan data, serta metode yang digunakan.

d. Bab IV: Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini sebagai bagian deskripsi data diteliti dan analisis hasil penelitian yang telah dilaksanakan.

e. Bab V: Penutup

Bab terakhir pada bagian inti berisi tentang simpulan dan rekomendasi.

3. Bagian Akhir

Pada bagian akhir terdiri atas daftar rujukan dan lampiran



BAB II

LANDASAN TEORI

A. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah fenomena bergetar atau bergoncangnya bumi, karena pergeseran kulit bumi disebabkan pergerakan lempeng - lempeng tektonik. Penyebab terjadinya gempa bumi diakibatkan gerak lempeng bumi yang saling menjauhi, saling mendekati, terjadi pergeseran lempeng, ataupun pergeseran magma.

Gempa bumi dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu gempa bumi vulkanik dan gempa bumi tektonik. Gempa bumi tektonik disebabkan oleh aktivitas pergerakan lempeng tektonik. Sedangkan, gempa bumi vulkanik dapat terjadi akibat aktivitas magma dalam gunung api.

Pergerakan yang spontanitas dari lapisan batuan dalam bumi menghasilkan energi yang terpancar ke segala arah berupa gelombang seismik. Akibat dari gelombang tersebut jika mencapai permukaan bumi dapat menimbulkan kerusakan pada infrastruktur ataupun menelan korban jiwa dan kehilangan harta benda.²⁷

Sementara itu, letusan gunung api dan bencana alam lainnya biasanya didahului dengan gejala sebelum kejadian muncul. Gempa bumi muncul secara mendadak, sehingga menimbulkan kepanikan tanpa sempat mempersiapkan diri. Belum cukup dengan getaran yang dirasakan, terkadang bencana lain datang menghampiri, seperti tsunami dan tanah longsor.²⁸

1. Penyebab Gempa Bumi

Berdasarkan sebab terjadi gempa bumi dapat dikelompokkan menjadi lima jenis, yaitu tektonik, vulkanik, runtuhan, gempa akibat jatuhnya meteor, dan gempa buatan manusia.

²⁷ Sunarjo, Gunawan, and Pribadi, *Gempabumi Edisi Populer*, 26.

²⁸ Ibid.

a. Gempa Bumi Tektonik

Gempa bumi yang diakibatkan pelepasan energi elastis yang tersimpan dalam lempeng tektonik. Lempeng tektonik berasal dari batuan yang bersifat elastis. Jika energi sudah melebihi kapasitas elastisitas lempeng, maka akan dilepas dengan bentuk deformasi plastis dan gelombang seismik. Daerah yang melepaskan energi biasanya daerah yang lemah, sehingga akan mengalami deformasi plastis. Daerah yang jauh dari pelepasan energi akan mengalami gelombang seismik.²⁹

Fenomena yang terjadi yaitu pergerakan lempeng tektonik, antara lain penunjaman lempeng samudera dan benua, tumbukan antara dua lempeng, pergerakan lempeng yang menjauh, dan terjadi pergesekan antar lempeng. Hasil gerakan mampu mengeluarkan getaran kuat yang dapat terasa keseluruhan bagian bumi hingga menimbulkan kerusakan.

b. Gempa Vulkanik

Gempa bumi vulkanik terjadi karena aktivitas magma sebelum meletusnya gunung api. Jika semakin tinggi aktivitas magma, maka akan menimbulkan ledakan dan gempa bumi. Daerah yang terdampak gempa bumi hanya disekitar gunung api tersebut.

c. Gempa Runtuhan

Gempa bumi lokal yang disebabkan runtuhnya batuan karst di suatu gua atau lokasi pertambangan. Getarannya tidak terlalu besar dan areanya terbatas dengan radius 1 – 2 kilometer. Kerusakan yang diakibatkan tidak signifikan ataupun kerugian harta maupun korban jiwa biasanya disebut gempa minor.³⁰

d. Gempa Buatan Manusia

Gempa yang disebabkan oleh aktivitas manusia di permukaan bumi yang mana guncangannya dapat terasa besar. Contohnya seperti peledakan bom, nuklir, dan lain sebagainya.³¹

²⁹ Ibid., 30.

³⁰ Tiara Ramadhanti P., “Kerentanan Wilayah Terhadap Gempa Bumi Di Tasikmalaya,” *Universitas Indonesia*, 2011, 10.

³¹ Sunarjo, Gunawan, and Pribadi, *Gempabumi Edisi Populer*, 31–32.

2. *Epicenter* dan *Hypocenter*

Epicenter atau sumber gempa bumi merupakan titik di permukaan bumi dari refleksi tegak lurus suatu fokus gempa bumi (*hypocenter*). Lokasi *epicenter* dinyatakan dalam lintang dan bujur dari sistem kartesian bola bumi atau sistem koordinat geografis. *Hypocenter* merupakan pusat titik gempa yang berada di dalam bumi. Kedalaman sumber gempa bumi adalah jarak tegak lurus *hypocenter* dari permukaan bumi (*epicenter*) yang dinyatakan dalam satuan kilometer (km).³²

Fowler (1990) mengklasifikasikan gempa bumi menurut kedalaman fokus (*hypocenter*), yaitu gempa bumi dangkal (*shallow*) dengan *hypocenter* kurang dari 70 km, gempa bumi menengah (*intermediate*) dengan *hypocenter* kurang dari 300 km, dan gempa bumi dalam (*deep*) dengan *hypocenter* lebih dari 300 km atau 450 km.³³

Jika *hypocenter* semakin mendekati permukaan bumi, maka akan semakin terasa gelombang seismiknya dan besar kerusakannya. Terlebih lagi, jika *hypocenter* berada di bawah laut, maka semakin besar potensi terjadi gelombang tsunami.

B. Proses Kejadian Gempa Bumi

Kejadian gempa bumi tektonik disebabkan oleh pergerakan lempeng berupa tumbukan, pelipatan, pergeseran, ataupun penyusupan yang memengaruhi media yang dilewatinya. Pada area pertemuan lempeng akan muncul tegangan akibat tumbukan dan geseran antar lempeng maupun sifat – sifat elastisitas batuan.

Tegangan pada batuan terus terkumpul hingga berada di titik patah. Energi yang selama ini terkumpul akan terlepas. Kejadian tersebut terjadilah gempa bumi. Sementara itu, pergerakan antar batas lempeng ada tiga macam, yaitu divergensi, konvergensi, dan transformasi.

³² Deni Bulo et al., “Penentuan Titik Epicenter Dan Hypocenter Serta Parameter Magnitude Gempa Bumi Berdasarkan Data Seismogram,” *Jurnal Geosains Kutai Basin* 3, no. 1 (2020): 3.

³³ Sunarjo, Gunawan, and Pribadi, *Gempabumi Edisi Populer*, 32.

Divergensi merupakan pergerakan saling menjauhi batas lempeng. Hal ini karena adanya gaya tarik yang mengakibatkan magma naik ke permukaan dan terbentuk material baru berupa lava. Dampak aktivitas tersebut menjadikan lempeng saling menjauhi. Contohnya terjadi pada punggung tengah samudera di dasar Samudera Atlantik.

Konvergensi merupakan pergerakan saling bertemu antara lempeng benua dan lempeng samudera. Zona konvergen disebut sebagai area tumbukan antara dua lempeng tersebut. Tatanan konvergensi di Indonesia terdapat di sepanjang Pulau Sumatera, Jawa, Bali, NTB, NTT, sampai di kepulauan Banda.³⁴

Konvergensi terdiri dari tiga macam pergerakan, yaitu subduksi, obduksi, dan kolisi. Penunjaman lempeng samudera ke bawah lempeng benua disebut subduksi. Obduksi merupakan pergerakan kerak benua yang menunjam ke bawah kerak samudera. Sedangkan, kolisi adalah pergerakan diantara lempeng samudera dan lempeng benua.³⁵

Lain halnya dengan pergerakan batas antar lempeng yang saling bergeser maupun berpapasan disebut transformasi. Gerakan ini mengakibatkan sesar mendatar (*Strike Slip Fault*). Sistem Sesar Sumatera adalah contoh transformasi di Indonesia.³⁶

C. Parameter Gempa Bumi

Kejadian gempa bumi sontak menjadi perhatian yang besar. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi menjadi sudut pandang baru dalam mengolah data gempa bumi. Salah satunya seismograf yang merupakan alat pendeteksi gempa bumi lengkap dengan rekaman data (seismogram) dan sistem perhitungan waktu pencatatan getaran tanah.

Para seismolog mengolah seismogram untuk mendapatkan informasi tentang gempa bumi. Waktu asal gempa bumi, posisi lintang

³⁴ Ibid., 55–56.

³⁵ Muhammad Ilham Pahlevi, “Waktu Berakhirnya Gempa Bumi Susulan Untuk Gempa Bumi Sulawesi 28 September 2018,” *UIN Syarif Hidayatullah*, 2020, 11.

³⁶ Sunarjo, Gunawan, and Pribadi, *Gempabumi Edisi Populer*, 58.

dan bujur episenter, kedalaman sumber, waktu kejadian dan ukuran ataupun magnitudo, serta intensitas gempa bumi sering dianalisis sebagai parameter sumber gempa bumi.³⁷

Magnitudo digambarkan sebagai besar energi yang terlepas saat kejadian dari hasil pengamatan seismograf. Konsep magnitudo dengan satuan skala Richter dikemukakan oleh Richter. Konsep ini menjadi acuan dalam mengukur kekuatan gempa bumi di episenternya.³⁸

Intensitas menyatakan tingkat kerusakan akibat gempa bumi. Selain itu, intensitas dapat menggambarkan nilai kekuatan gempa bumi pada pusatnya. Hanya saja, intensitas berbeda dengan magnitudo. Perbedaan magnitudo terletak pada penghitungan dari rekaman alat, sedangkan intensitas berdasarkan dampak langsung dari getaran. Berikut tabel mengenai pembagian magnitudo dan intensitas beserta tingkat kerusakan akibat gempa bumi :

Tabel 2.1
Magnitudo, Skala Intensitas, dan Tingkat Kerusakannya

Magnitudo (Skala Richter)	Skala Intensitas (MMI)	Tingkat Kerusakan
< 3,4	I	Hanya terdeteksi seismograf
3,5 – 4,2	II dan III	Terasa oleh banyak orang di dalam bangunan
4,3 – 4,8	IV	Terasa oleh banyak orang dan jendela bergetar
4,9 – 5,4	V	Terasa oleh semua orang, piring – piring pecah, dan pintu bergoyang
5,5 – 6,4	VI dan VII	Bangunan mengalami kerusakan ringan, lantai rekah, dan bata berjatuh
6,2 – 6,9	VIII dan IX	Terjadi kerusakan lebih parah pada bangunan, cerobong asap runtuh, dan rumah bergerak di

³⁷ Ibid., 109.

³⁸ Ibid., 119.

		atas fondasinya
7 - 7,3	X	Terjadi kerusakan parah, jembatan – jembatan terpelintir, dinding rekah, dan bangunan dari bata runtuh
7,4 – 7,9	X1	Terjadi kehancuran berat dan banyak bangunan runtuh
> 8	X11	Kehancuran total, gelombang terlihat di permukaan tanah, dan benda – benda terlempar ke udara

Sumber Data : Skripsi Kerentanan Wilayah Gempa Bumi di Tasikmalaya³⁹

Indonesia menggunakan skala *Modified Mercally Intensity* (MMI) sebagai skala intensitas. Dalam menentukan intensitas yang tepat, para ahli akan terjun langsung ke daerah yang tertimpa gempa bumi. Observasi dilakukan untuk melihat kondisi geologi dan tipe kontruksi bangunan. Kemudian, dari data tersebut dipergunakan untuk membuat peta isoseismal.⁴⁰

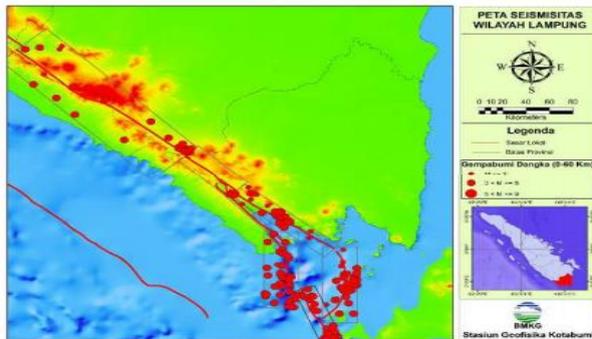
D. Tektonika Lampung

Tatanan tektonik Lampung menunjukkan adanya seismisitas yang aktif. Faktor utama yang menyebabkan adalah aktivitas subduksi antara Lempeng Indo - Australia dan Lempeng Eurasia di perairan barat Lampung. Keberadaan jalur pusat gempa bumi ini berisiko menimbulkan bencana sekunder berupa tsunami.⁴¹

³⁹ P., “Kerentanan Wilayah Terhadap Gempa Bumi Di Tasikmalaya,” 14.

⁴⁰ Sunarjo, Gunawan, and Pribadi, *Gempabumi Edisi Populer*, 123–24.

⁴¹ BMKG, “Kajian Kegempaan Akibat Sesar Lokal Di Wilayah Lampung Dengan Memanfaatkan Jaringan InaTEWS,” 4.



Gambar 2.1
Klustering Sesar – Sesar Aktif di Provinsi Lampung

Selain itu, adanya sesar mendatar yang terbentang dari utara hingga selatan pulau Sumatera disebut Sesar Sumatera. Pada Gambar 2.1 merupakan peta sesar aktif di Provinsi Lampung⁴². Menurut Sich dan Natawidjaja, Sesar Sumatera terbagi menjadi 19 segmen. Beberapa segmen utamanya melewati wilayah Lampung, yaitu Segmen Sunda, Segmen Semangko, dan Segmen Kumering.⁴³ Selain itu, terdapat Sesar Tarahan yang terletak di sepanjang pantai bagian timur Teluk Lampung.⁴⁴

E. Analisis Regresi

Regresi linear merupakan suatu metode yang berfungsi untuk membuat model hubungan antara *variable dependence* dengan satu atau lebih *variable independence*. Jika hanya ada satu variabel independen, maka disebut regresi linear sederhana, sedangkan jika banyaknya variabel independen lebih dari satu, maka disebut regresi linear berganda.

Analisis regresi memiliki beberapa kegunaan, antara lain untuk mendeskripsikan fenomena data atau masalah yang sedang diteliti, tujuan kontrol, dan tujuan prediksi. Selain itu, dengan regresi kejadian

⁴² Ibid., 6.

⁴³ Kerry Sieh and Danny Natawidjaja, "Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia," *Journal of Geophysical Research* 105, no. B12 (2000): 28298–301, <https://doi.org/10.1029/2000jb900120>.

⁴⁴ BMKG, "Gempabumi Wilayah Lampung," *BMKG*, n.d., 3.

di masa mendatang dapat diperkirakan berdasarkan data statistik yang dihimpun pada masa lalu. Perkiraan dalam konsep regresi hanya diperbolehkan pada kurun waktu tertentu dari variabel independen yang dipakai untuk membentuk model regresi.⁴⁵ Hasil analisis berupa prediksi seberapa besar dampak variabel independen pada perubahan variabel dependen.

Analisis regresi sederhana dapat terjadi karena adanya hubungan fungsional atau kausalitas antara variabel independen dan variabel dependen. Hubungan kausal dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik dan garis. Persamaan matematik dan garis yang diperoleh disebut persamaan regresi yang berbentuk garis lurus (linear) atau tidak lurus (non-linear). Hubungan fungsional mencakup dua jenis variabel, yaitu variabel prediktor (*independence*) yang dinotasikan dengan x dan variabel respon (*dependence*) yang dinotasikan dengan y .⁴⁶

F. Regresi Linear Sederhana

Terdapat sebuah prediktor x yang memiliki hubungan dengan respon y berupa garis lurus. Persamaan garis lurus tersebut ditulis sebagai berikut :

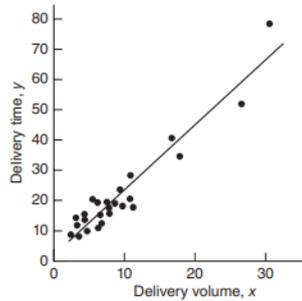
$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2.1)$$

dimana β_0 adalah parameter *intersept* dan β_1 adalah parameter *slope*. Pada Gambar 2.2 titik – titik data terlihat tidak tepat pada garis lurus.⁴⁷

⁴⁵ Deny Kurniawan, “Regresi Linier,” Forum Statistika, 2008.

⁴⁶ Imam Machali, *Statistik Manajemen Pendidikan*, ed. Sri Sumarni (Yogyakarta: Kaukaba Dipantara, 2016), 443–44.

⁴⁷ Douglas C. Montgomery, Elizabeth A. Peck, and G. Geoffrey Vining, *Introduction to Linear Regression Analysis*, 5th ed. (New Jersey: John Wiley Sons, Inc, 2012), 2.



Gambar 2.2

Garis Lurus yang Menghubungkan antara Variabel x dan y

Misalkan perbedaan antara nilai yang diamati y dan garis lurus ($\beta_0 + \beta_1 x$) merupakan sebuah *error* ε . Anggap ε adalah sebuah *error* statistik, variabel *random* yang mengisi kegagalan model untuk mencocokkan data dengan tepat. *Error* tersebut mungkin terjadi disebabkan oleh berbagai faktor. Oleh karena itu, model yang memungkinkan adalah

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2.2)$$

Variabel x sebagai variabel regresor atau yang memengaruhi dan variabel y sebagai variabel yang dipengaruhi. Berdasarkan Persamaan (1.2) yang hanya memiliki satu variabel prediktor, maka disebut dengan model regresi linear sederhana.⁴⁸

Berdasarkan Persamaan (2.2) dimana nilai ekspektasi $E(y|x) = f(x)$ diasumsikan linear ke dalam persamaan umum

$$y = f(x) + \varepsilon = E(y|x) + \varepsilon \quad (2.3)$$

sehingga

$$E(y|x) = f(x) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2.4)$$

untuk lebih spesifik, regresi linear sederhana diasumsikan

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.5)$$

dengan ε_i yang *independent and identically distributed* (IID)⁴⁹, seperti

$$E(\varepsilon_i) = 0 \quad \text{dan} \quad \text{var}(\varepsilon_i) = \sigma^2$$

Nilai harapan yang dimaksud bergantung pada nilai x , sedangkan nilai x tertentu mungkin mengakibatkan nilai ε tidak

⁴⁸ Ibid., 1–2.

⁴⁹ Ludwig Fahrmeir et al., *Regression Models, Methods and Applications* (Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2013), 23.

bernilai nol. Namun demikian, nilai ε diharapkan sama dengan nol untuk keseluruhan nilai x . Selain itu, tidak terdapat autokorelasi antar variabel ε dan setiap variabel ε bersifat homoskedastisitas.⁵⁰

G. Ordinary Least Squares Estimator

Secara umum, persamaan regresi linear adalah

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad (2.6)$$

dimana

y_i = Variabel dependen pada observasi ke- i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

β_0 = Parameter *intersept* (konstanta)

β_j = Parameter *slope* (koefisien regresi) ke- j ($j = 1, 2, 3, \dots, k$)

x_{ij} = Variabel independen ke- j pada observasi ke- i

ε_i = *Error* (residual)

n = Banyaknya observasi

dengan n data observasi, Persamaan (2.6) dapat dibentuk ke dalam matriks sebagai

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{ik} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{ik} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{2n} & \cdots & x_{ik} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

sehingga persamaan dapat disederhanakan⁵¹ menjadi

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (2.7)$$

$$\varepsilon = y - X\beta \quad (2.8)$$

Pengestimasi koefisien regresi dari model linear berhubungan erat pada metode *Least Squares*. Berdasarkan konsep *Least Squares*, koefisien regresi β yang tidak diketahui tersebut diestimasi dengan meminimalkan jumlah variansi.

$$LS(\beta) = \sum_{i=1}^n (y_i - x_i' \beta)^2 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \varepsilon' \varepsilon \quad (2.9)$$

Untuk menentukan minimum *Least Squares* (β)

$$\begin{aligned} LS(\beta) &= \varepsilon' \varepsilon \\ &= (y - X\beta)' (y - X\beta) \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$= (y' - X' \beta') (y - X\beta) \quad (2.11)$$

⁵⁰ Abdul Aziz, *Ekonometrika Teori & Praktik Eksperimen Dengan MATLAB*, Universitas UIN Malang, 2007, 22.

⁵¹ Fahrmeir et al., *Regression Models, Methods and Applications*, 74–75.

$$= y'y - y'X\beta - \beta'X'y + \beta'X'X\beta \quad (2.12)$$

Komponen pada Persamaan (2.12) merupakan skalar. Akibatnya, skalar yang ditranspos tidak mengubah nilai dari skalar itu sendiri. Jadi, persamaan dapat ditulis

$$= y'y - (y'X\beta)' - \beta'X'y + \beta'X'X\beta \quad (2.13)$$

$$= y'y - \beta'X'y - \beta'X'y + \beta'X'X\beta \quad (2.14)$$

$$= y'y - 2X'\beta'y + \beta'X'X\beta \quad (2.15)$$

Untuk meminimalkan $LS(\beta)$ dapat dilakukan dengan menurunkan persamaan pertama LS terhadap β .⁵²

$$\frac{\partial LS(\beta)}{\partial \beta} = 0 - 2X'y + X'X\beta + (\beta'X'X) \quad (2.16)$$

$$= -2X'y + X'X\beta + X'X\beta \quad (2.17)$$

$$= -2X'y + 2X'X\beta \quad (2.18)$$

Kemudian, samakan dengan nol menghasilkan

$$X'X\beta = X'y \quad (2.19)$$

yang disebut sebagai persamaan normal dan

$$\hat{\beta}_{ols} = (X'X)^{-1}X'y \quad (2.20)$$

disebut sebagai estimator parameter β menurut *Ordinary Least Squares* (OLS).⁵³

H. Data Spasial

Data spasial merupakan suatu data dari informasi berkaitan tentang keruangan dan kebumihan.⁵⁴ Fokus data mengacu pada posisi, objek, dan relasi seperti, permukaan bumi, bawah permukaan bumi, perairan, kelautan, dan bawah atmosfer. Posisi dari identifikasi suatu elemen di permukaan bumi dapat ditentukan dengan data spasial maupun turunannya.

Berdasarkan *Mapping Science Committee* (1995) dalam Rajabidfard (2001) menjelaskan urgensi dari peran posisi lokasi, yaitu (1) pengetahuan tentang lokasi dari suatu aktivitas mungkin adanya relasi dengan aktivitas lain atau elemen lain dalam daerah yang sama atau lokasi yang berdekatan dan (2) memungkinkan perhitungan jarak,

⁵² Ibid., 105–6.

⁵³ Aziz, *Ekonometrika Teori & Praktik Eksperimen Dengan MATLAB*, 24.

⁵⁴ Edy Irwansyah, *Sistem Informasi Geografis: Prinsip Dasar Dan Pengembangan Aplikasi* (Yogyakarta: DigiBooks, 2013), 12.

pembuatan peta, memberi arahan saat membuat keputusan spasial yang kompleks.⁵⁵

Secara umum, data spasial bersumber atas data spasial primer dan data spasial sekunder. Data spasial primer merupakan data spasial yang didapatkan dengan meninjau langsung lokasi tersebut. Sedangkan, data spasial sekunder adalah data spasial yang didapatkan secara tidak langsung dengan kata lain melalui perantara.⁵⁶

Selain daripada itu, terdapat entitas yang membangun suatu data spasial. Data spasial terdiri dari tiga bagian, yaitu titik (*point*), garis (*line*), dan area (*polygon*). Titik menjadi simbol paling sederhana yang representasikan suatu objek. Contoh dari titik, yaitu lokasi rumah dan lokasi sekolah. Garis sebagai penghubung antara dua titik atau lebih dalam bentuk linear yang menggambarkan objek dalam satu dimensi. Contoh dari garis, yaitu jalan dan sungai. Sedangkan, area merepresentasi suatu objek dalam dua dimensi. Sebagai contoh adalah danau.⁵⁷

I. Autokorelasi Spasial

Pada konteks regresi, efek spasial berkaitan dengan dua kategori spesifik. Kategori pertama berhubungan dengan *spatial dependence* (dependensi spasial atau autokorelasi spasial) dan yang kedua berhubungan dengan *spatial heterogeneity* (heterogenitas spasial). Kerangka formal yang digunakan untuk analisis statistik dari autokorelasi spasial biasanya disebut dengan proses stokastik spasial.⁵⁸

Autokorelasi dapat didefinisikan sebagai korelasi antar elemen dari rangkaian observasi berdasarkan urutan waktu (*data time series*) atau ruang (*data cross-section*). Hal ini umumnya ditujukan pada data yang memiliki hubungan antar wilayah geografis.

Menurut Tobler dalam *The First Law of Geography* yang menyatakan bahwa “*Everything is related to everything else, but near*

⁵⁵ Ibid., 14–15.

⁵⁶ Ibid., 17–18.

⁵⁷ Ibid., 20–21.

⁵⁸ Anselin, “Spatial Econometrics,” 311.

things are more related than distant things".⁵⁹ Inti dari pernyataan tersebut adalah segala sesuatu terhubung dengan sesuatu yang lain, tetapi yang terdekatlah yang memiliki keterkaitan yang lebih dibandingkan dengan yang jauh. Menurut keterangan Tobler, ketergantungan antar wilayah menggambarkan dependensi spasial. Contohnya, suatu wilayah a memiliki ketergantungan dengan wilayah b dimana $a \neq b$.⁶⁰

Berdasarkan keterangan tersebut, diperlukan suatu tes untuk mengetahui adakah indikasi dependensi spasial pada model yang telah dibuat. Terdapat dua pengujian untuk melihat adanya autokorelasi dalam *error* pada model regresi, antara lain Uji *Morans' I* dan Uji *Lagrange Multiplier*.

1. Uji *Moran's I*

Pengujian autokorelasi spasial dikembangkan oleh Moran (1948) yang disebut dengan *Moran's I*.⁶¹ *Moran's I* merupakan ukuran korelasi antar observasi yang saling berdekatan.⁶² Pada notasi matriks, statistik *Moran's I* adalah

$$I = \frac{[n]}{[S_0]} \frac{[e'W e]}{[e' e]} \quad (2.21)$$

dengan

e = Vektor *error* OLS

W = Matriks bobot spasial,

n = Banyaknya observasi

S_0 = $\sum_i \sum_j w_{ij}$ (Sebuah faktor standardisasi atau jumlah semua elemen pada matriks bobot)

⁵⁹ Harvey J. Miller, "Tobler's First Law and Spatial Analysis," *Annals of the Association of American Geographers* 94(2) (2004): 284–89.

⁶⁰ Yulian Sarwo Edi, "Quasi-Maximum Likelihood Untuk Regresi Panel Spasial," *Institut Teknologi Sepuluh Nopember* 53, no. 9 (2013): 6.

⁶¹ Anselin, "Spatial Econometrics," 323.

⁶² Henny Priandini Amalia, Yundari, and Helmi, "Metode Maximum Likelihood Dalam Penaksiran Model Spatial Autoregressive," *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika Dan Terapannya* 8, no. 3 (2019): 439, <https://doi.org/10.26418/bbimst.v8i3.33585>.

Untuk sebuah matriks bobot yang dinormalisasi⁶³, Persamaan (2.35) disederhanakan menjadi

$$I = \frac{e'We}{e'e} \quad (2.22)$$

dan hipotesis yang diterapkan sebagai berikut

$H_0: I = 0$; tidak ada autokorelasi

$H_1: I \neq 0$; ada autokorelasi

Koefisien korelasi sama dengan nilai I , yaitu -1 sampai 1, maka dikatakan adanya autokorelasi perlu perbandingan. Perbandingan dilakukan pada nilai statistik I dengan nilai ekspektasi.⁶⁴ Statistik uji yang dipakai adalah

$$Z_{hitung} = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \sim N(0,1) \quad (2.23)$$

dimana

$$Var(I) = \frac{n^2 S_1 - n S_2 + 3 S_0^2}{(n^2 - 1) S_0^2} \quad (2.24)$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

$$S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i \neq j}^n (w_{ij} + w_{ji})^2$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n w_{ji})^2$$

Nilai ekspektasi sebagai berikut

$$E(I) = I_0 = -\frac{1}{n-1} \quad (2.25)$$

Dalam mengambil keputusan jika $|Z_{hitung}| > Z_{\alpha/2}$, akibatnya H_0 ditolak.⁶⁵ Selain itu, hasil uji *Morans' I* sebagai nilai autokorelasi berkisar dari rentang 1.0 hingga -1.0. Apabila $I > I_0$, maka autokorelasi bernilai positif yang menunjukkan pola data berbentuk kelompok (*cluster*) dan $I < I_0$ menunjukkan autokorelasi bernilai negatif dimana pola data menyebar. Sedangkan, $I = I_0$ menunjukkan tidak adanya autokorelasi spasial.⁶⁶

⁶³ Luc Anselin, *Spatial Econometrics: Methods and Models*. (Santa Barbara: Springer Science+Business Media Dordrech, 1988), 102, <https://doi.org/10.2307/2290042>.

⁶⁴ Amalia, Yundari, and Helmi, "Metode Maximum Likelihood Dalam Penaksiran Model Spatial Autoregressive," 439.

⁶⁵ *Ibid.*, 440.

⁶⁶ Mustika Rati, "Model Regresi Spasial Untuk Anak Tidak Bersekolah Usia Kurang 15 Tahun Di Kota Medan," *Universitas Sumatera Utara*, 2013, 14.

2. Uji Lagrange Multiplier

Pengidentifikasi tentang ketergantungan spasial secara lebih spesifik dapat menggunakan uji *Lagrange Multiplier* (LM). Pengujian ini akan menunjukkan ketergantungan pada *lag* atau *error* yang mengarah pada pemodelan spasial.⁶⁷ Hipotesis alternatif yang diterapkan untuk pengujian sebagai berikut⁶⁸

$H_0: \lambda = 0$; tidak ada dependensi spasial

$H_1: \lambda \neq 0$; ada dependensi spasial

Uji statistik *Lagrange Multiplier* (LM) oleh Anselin (1988) berdasarkan parameter $\lambda = 0$ sebagai berikut

$$(e'W'e/\sigma^2)[T_{22} - (T_{21})^2\text{var}(\rho)]^{-1} \sim \chi^2 \quad (2.26)$$

$$T_{22} = \text{tr}(W.*W + W'W)$$

$$T_{21} = \text{tr}(W.*CA^{-1} + W'CA^{-1})$$

$$A = I_n - \rho C$$

dimana

W = Matriks bobot spasial

C = Matriks standardisasi dari W

$\text{var}(\rho)$ = Estimasi *maximum likelihood* dari variansi dalam model.

e = Residu hasil OLS

*. = Operasi perkalian titik pada elemen matriks

Pengambilan keputusan adalah tolak H_0 apabila $LM > \chi^2(1)$.⁶⁹

J. Matriks Pembobot Spasial

Pengukuran dependensi spasial dicetuskan pertama kali oleh Moran (1948) dan Geary (1954) dengan gagasan tentang *contiguity* biner antar unit spasial. Definisi *contiguity* ditegaskan pada batas keberadaan wilayah yang terlihat pada peta. Berdasarkan perbatasan tersebut, struktur ketetanggaan diekspresikan dengan nilai 0 – 1.⁷⁰

⁶⁷ Rinaldi et al., "Spatial Modeling for Poverty: The Comparison of Spatial Error Model and Geographic Weighted Regression," 246.

⁶⁸ Anselin, *Spatial Econometrics: Methods and Models.*, 103.

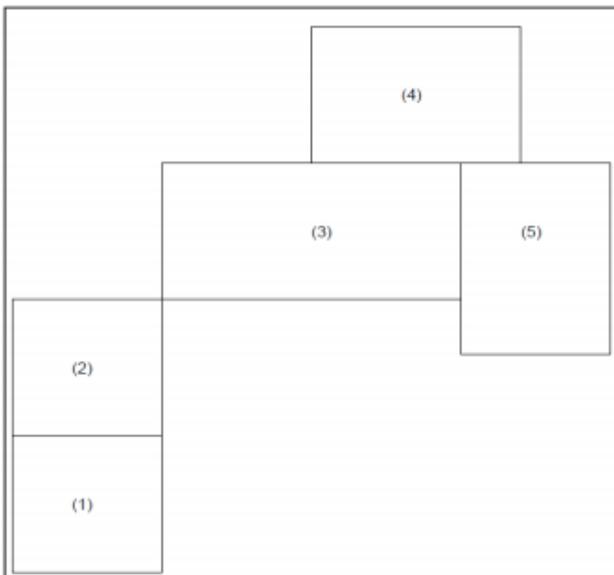
⁶⁹ Rati, "Model Regresi Spasial Untuk Anak Tidak Bersekolah Usia Kurang 15 Tahun Di Kota Medan," 16.

⁷⁰ Anselin, *Spatial Econometrics: Methods and Models.*, 18.

Lokasi pada ruang kartesian direpresentasikan oleh garis lintang dan garis bujur sebagai salah satu sumber informasi. Informasi tersebut memungkinkan untuk menghitung jarak dari titik manapun atau jarak lokasi pengamatan yang terletak di tempat yang berbeda dengan tempat lainnya lewat ruang angkasa.

Dependensi spasial bersandar pada teorema dasar tentang jarak. Pengamatan lokasi yang saling berdekatan haruslah mencerminkan tingkat ketergantungan yang lebih besar daripada lokasi yang saling berjauhan. Mengingat garis lintang dan garis bujur suatu observasi, hal yang dapat dilakukan adalah membangun struktur *contiguity* dengan mendefinisikan observasi ketetangaan sebagai lokasi yang terletak pada jarak tertentu.⁷¹

Pada Gambar 2.3, contoh hipotesis dari lima wilayah yang menerapkan *contiguity* dan akan dibentuk ke dalam matriks biner W berordo 5×5 .⁷²



Gambar 2.3
Ilustrasi dari *Contiguity*

⁷¹ James P. LeSage, "The Theory and Practice of Econometrics," *Department of Economics*, 1999, 11, <https://doi.org/10.2307/2553707>.

⁷² *Ibid.*, 12.

Penentuan elemen didasari oleh perbatasan wilayah (*contiguity*) yang memiliki hubungan spasial antar wilayah bertetangga. Elemen-elemen pada matriks W akan merepresentasi hubungan antar wilayah tersebut yang membentuk matriks simetris dan diagonal utamanya bernilai 0. Jika suatu wilayah mencerminkan keterkaitan dengan wilayah lainnya, maka elemen ditulis 1. Jika suatu wilayah tidak ada keterkaitan dengan wilayah lain, maka elemen ditulis 0.

$$W_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ dan } j \text{ berbatasan} \\ 0, & i \text{ dan } j \text{ tidak berbatasan} \end{cases}$$

Adapun beberapa alternatif yang dapat menentukan *contiguity* antar wilayah sebagai berikut :

1. *Rook contiguity* berdasarkan wilayah yang memiliki kesamaan batas sisi dengan wilayah lain. Sebagai contoh pada Gambar (), wilayah 1 dan wilayah 2 memiliki sisi yang sama, sehingga $W_{12} = 1$. Selain itu, wilayah 3 dengan wilayah 4 dan wilayah 3 dengan wilayah 5 memiliki sisi yang sama, maka $W_{34} = 1$, $W_{35} = 1$, dan elemen lainnya 0.
2. *Bishop contiguity* ditentukan berdasarkan kesamaan titik antar wilayah. Contohnya, pada wilayah 2 dan wilayah 3 adanya kesamaan titik, maka $W_{23} = 1$ dan elemen lainnya 0.
3. *Queen contiguity* berdasarkan kesamaan batas sisi maupun titik suatu wilayah dengan wilayah lainnya. *Contiguity* ini merupakan gabungan *Rook contiguity* dan *Bishop contiguity*. Contohnya pada wilayah 3, $W_{32} = 1$, $W_{34} = 1$, $W_{35} = 1$, dan elemen lainnya 0.⁷³

Selanjutnya, matriks bobot spasial dilakukan standardisasi sehingga mengalami perubahan pada tiap barisnya. Setiap baris dari matriks akan berjumlah satu. Berikut perubahan matriks W yang diterapkan *queen contiguity*.

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/3 & 0 & 1/3 & 1/3 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 1/2 & 1/2 & 0 \end{pmatrix}$$

⁷³ Ibid., 11–12.

K. Model Regresi Spasial

Anselin (1988) menyatakan bahwa bentuk umum dari model regresi spasial adalah

$$y = \rho W_1 y + X\beta + u \quad (2.27)$$

$$u = \lambda W_2 u + \varepsilon \quad (2.28)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

dimana

$y_{n \times 1}$ = Vektor variabel dependen

$X_{n \times (k+1)}$ = Matriks variabel independen

W_1 = Matriks pembobot spasial berukuran $n \times n$

W_2 = Matriks bobot *error* spasial berukuran $n \times n$

$\beta_{(k+1) \times 1}$ = Vektor koefisien parameter regresi

ρ = Koefisien *lag* spasial variabel dependen

λ = Koefisien *error* spasial

$u_{n \times 1}$ = Vektor *error* yang diasumsikan memiliki autokorelasi

$\varepsilon_{n \times 1}$ = Vektor *error* yang diasumsikan tidak autokorelasi

$I_{n \times n}$ = Matriks identitas

n = Banyaknya wilayah yang diamati

k = Banyaknya variabel independen

Vektor *error* u diasumsikan terdapat efek spasial *random* dan autokorelasi secara spasial.⁷⁴ W_1 dan W_2 merupakan matriks pembobot spasial yang mengandung hubungan *contiguity* atau fungsi jarak antar wilayah.

Selanjutnya, Persamaan (2.27) dan (2.28) diberi batasan untuk memperoleh model khusus. Ketika diberi perlakuan $X = 0$ dan $W_2 = 0$, maka akan menghasilkan model spasial autoregresif order pertama, yaitu

$$y = \rho W_1 y + u \quad (2.29)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

Model tersebut menjelaskan variansi y sebagai sebuah kombinasi linear dari lokasi yang berdekatan atau bertetangga tanpa variabel independen.

⁷⁴ Siscaviyana Sheppy, "Estimasi Parameter Regresi Spasial Lag Dengan Estimator S Pada Data Yang Mengandung Outlier," *UIN Maulana Malik Ibrahim*, 2016, 9, <https://doi.org/10.5151/cidi2017-060>.

Jika $W_2 = 0$ dan $\lambda = 0$ pada Persamaan (2.28), maka akan menghasilkan *Mixed Regressive-Spatial Autoregressive Model*. Keberadaan matriks X sebagai variabel independen untuk menunjukkan variansi y pada sampel spasial dari observasi.⁷⁵ Persamaan ditulis sebagai berikut

$$\begin{aligned} y &= \rho W_1 y + X\beta + \varepsilon \\ \varepsilon &\sim N(0, \sigma^2 I_n) \end{aligned} \quad (2.30)$$

L. Model *Spatial Autoregressive* (SAR)

Bentuk umum *lag* spasial atau SAR sebagai berikut

$$\begin{aligned} y &= \rho W y + X\beta + \varepsilon \\ \varepsilon &\sim N(0, \sigma^2 I_n) \end{aligned} \quad (2.31)$$

dengan asumsi proses autoregresif hanya terjadi pada variabel dependen. Tidak hanya *lag* variabel respon, variabel prediktor dalam bentuk matriks juga memengaruhi variabel respon.

Penaksiran parameter SAR membutuhkan metode yang tepat. Penggunaan OLS sebagai estimator tidaklah cocok, karena OLS merupakan estimator yang inkonsisten untuk model ini. Sebaliknya, penaksiran parameter yang konsisten dapat diperoleh dengan memaksimumkan fungsi likelihood. Oleh karena itu, *Maximum Likelihood Estimation* diimplementasikan ke dalam *lag* spasial.⁷⁶

Ada beberapa langkah yang perlu dilakukan untuk memperoleh pendugaan parameter model SAR dengan membentuk fungsi likelihood dari *error* ε Persamaan (3.5).⁷⁷ Adapun fungsi kepadatan peluang yang digunakan adalah

$$f(y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2}\right)^{\frac{n}{2}} \exp\left[-\frac{((I-\rho W)y-X\beta)'((I-\rho W)y-X\beta)}{2\sigma^2}\right] \quad (2.32)$$

dengan fungsi likelihood variabel y

$$L(\beta, \rho, \sigma^2, y) = f(y; \beta, \rho, \sigma^2) \quad (2.33)$$

$$= \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2}\right)^{\frac{n}{2}} \exp\left[-\frac{((I-\rho W)y-X\beta)'((I-\rho W)y-X\beta)}{2\sigma^2}\right] \quad (2.34)$$

sehingga menghasilkan fungsi loglikelihood sebagai berikut

⁷⁵ LeSage, "The Theory and Practice of Econometrics," 43–44.

⁷⁶ Anselin, "Spatial Econometrics," 320–21.

⁷⁷ Amalia, Yundari, and Helmi, "Metode Maximum Likelihood Dalam Penaksiran Model Spatial Autoregressive," 441–42.

$$\ln L = -\left(\frac{n}{2}\right) \ln(2\pi) - \left(\frac{n}{2}\right) \ln \sigma^2 - \left(\frac{1}{2\sigma^2}\right) ((I - \rho W)y - X\beta)'((I - \rho W)y - X\beta) \quad (2.35)$$

Selanjutnya, dengan memaksimumkan fungsi loglikelihood, maka pendugaan parameter β , ρ , dan σ^2 diperoleh sebagai berikut

Pendugaan parameter β

$$\hat{\beta}_{ML} = (X'X)^{-1}X'(I - \rho W)y \quad (2.36)$$

Pendugaan parameter ρ diperoleh dari fungsi logaritma natural

$$f(c) = c - \frac{n}{2} \ln((e_0 - \rho e_d)'(e_0 - \rho e_d)) \quad (2.37)$$

$$c = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(n) - \frac{1}{2} \quad (2.38)$$

dimana

$$\begin{aligned} \delta_0 &= (X'X)^{-1}X'y & e_0 &= y - X\delta_0 \\ \delta_d &= (X'X)^{-1}X'Wy & e_d &= Wy - X\delta_d \end{aligned}$$

dan

$$\sigma^2 = \frac{\{(e_0 - \rho e_d)'(e_0 - \rho e_d)\}}{n} \quad (2.39)$$

Pendugaan parameter σ^2

$$\hat{\sigma}^2 = \left(\frac{1}{n}\right) ((I - \rho W)y - X\beta)'((I - \rho W)y - X\beta) \quad (2.40)$$

M. Pengujian Asumsi Residual Model

1. Uji Asumsi Homoskedastisitas

Pengujian data berfungsi untuk mengetahui adanya ketidaksamaan variansi dari residual untuk semua pengamatan pada suatu model regresi. Jika terdeteksi kesamaan variansi, maka model tersebut bersifat homoskedastik. Dengan kata lain, setiap residual memiliki variansi positif dan konstan bernilai σ^2 .⁷⁸ Uji Breusch-Pagan-Godfrey (BPG) merupakan salah satu cara untuk mendeteksi heteroskedastisitas. Adapun hipotesis statistik yang digunakan, yaitu

H_0 : Tidak ada heteroskedastisitas

H_1 : Ada heteroskedastisitas

Statistik uji yang digunakan dari persamaan regresi sebagai berikut :

⁷⁸ Aziz, *Ekonometrika Teori & Praktik Eksperimen Dengan MATLAB*, 22.

$$\sigma^2 = \frac{\sum e_i^2}{n} \quad (3.3)$$

$$p_i = \frac{e_i^2}{\sigma^2} \quad (3.4)$$

diasumsikan regresi p_i terhadap variabel Z sebagai berikut :

$$p_i = \alpha_0 + \alpha_i Z_i + v_i \quad (3.5)$$

sehingga didapatkan

$$\phi = \frac{1}{2} (ESS) \quad (3.6)$$

Apabila residual pada persamaan terdistribusi normal, maka

$$\phi = \frac{1}{2} (ESS) = \chi_{df}^2 \quad (3.7)$$

$$df = m - 1$$

Pengambilan keputusan tolak H_0 jika $\phi_{hitung} > \chi_{df}^2$.⁷⁹

2. Uji Asumsi Kebebasan

Pengujian asumsi kebebasan residual berfungsi untuk memeriksa adanya autokorelasi residual model pada ruang lingkup spasial. Salah satu cara untuk mengetahuinya adalah dengan *Moran's I*. Adapun hipotesis statistiknya dapat dilihat sebagai berikut :

H_0 : Tidak ada autokorelasi

H_1 : Ada autokorelasi

Pengambilan keputusan tolak H_0 apabila $|Z_{hitung}| > Z_{\alpha/2}$.⁸⁰

3. Uji Asumsi Kenormalan

Pengujian ini digunakan untuk mendeteksi residual pada model berdistribusi normal atau tidak. Pemeriksaan *normal probability plot* dilihat dari nilai ekspektasi yang di bawah asumsi normal dengan plot antara residual. Asumsi kenormalan terpenuhi diindikasikan dengan pancaran titik – titik yang mendekati garis linear. Pendeteksian dapat dilakukan dengan uji Shapiro-Wilk. Statistik uji Shapiro-Wilk didefinisikan sebagai berikut:

⁷⁹ Siska Andriani, "Uji Park Dan Uji Breusch Pagan Godfrey Dalam Pendeteksian Heteroskedastisitas Pada Analisis Regresi," *Al-Jabar* 8, no. 1 (2017): 65–66.

⁸⁰ Amalia, Yundari, and Helmi, "Metode Maximum Likelihood Dalam Penaksiran Model Spatial Autoregressive," 440.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.1)$$

$$a_i = (a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}} \quad (3.2)$$

$m = (m_1, \dots, m_n)^T$ merupakan nilai ekspektasi dari urutan statistik yang independen dan berdistribusi secara identik (IID) dan V merupakan matriks kovarians.⁸¹



⁸¹ Nornadiah Mohd Razali and Yap Bee Wah, "Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests," *Journal of Statistical Modeling and Analytics* 2, no. 1 (2011): 25.

DAFTAR RUJUKAN

- Amalia, Henny Priandini, Yundari, and Helmi. "Metode Maximum Likelihood Dalam Penaksiran Model Spatial Autoregressive." *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika Dan Terapannya* 8, no. 3 (2019). <https://doi.org/10.26418/bbimst.v8i3.33585>.
- Andriani, Siska. "Uji Park Dan Uji Breusch Pagan Godfrey Dalam Pendeteksian Heteroskedastisitas Pada Analisis Regresi." *Al-Jabar* 8, no. 1 (2017): 63–72.
- Anselin, Luc. *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Santa Barbara: Springer Science+Business Media Dordrech, 1988. <https://doi.org/10.2307/2290042>.
- . "Spatial Econometrics." *Blackwell Publishing Ltd*, 2001.
- Anwar, Samsul. "Mengukur Peluang Kejadian Gempa Bumi Dengan Lompatan Magnitudo Di Wilayah Pulau Sumatera." *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi* 10, no. 3 (2020). <https://doi.org/10.34126/jlbg.v10i3.263>.
- As'ari, Ruli. "Kajian Kesiapsiagaan Masyarakat Pesisir Dalam Menghadapi Bencana Gempabumi Dan Tsunami Di Kecamatan Cipatujah Kabupaten Tasikmalaya." *Universitas Siliwangi Tasikmalaya*, 2017.
- Aulia, Ilhamna, Mutiah Salamah Chamid, and Shofi Andari. "Pemodelan Pneumonia Pada Balita Di Surabaya Menggunakan Spatial Autoregressive Models." *Jurnal Sains Dan Seni ITS* 6, no. 1 (2017). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v6i1.22437>.
- Aziz, Abdul. *Ekonometrika Teori & Praktik Eksperimen Dengan MATLAB*. Universitas UIN Malang, 2007.
- Badan Pusat Statistik. "Luas Daerah Dan Jumlah Pulau Menurut Provinsi." BPS, 2019. https://www.bps.go.id/indikator/indikator/view_data_pub/0000/api_pub/38/da_01/1.
- BMKG. "Gempabumi Wilayah Lampung." *BMKG*, n.d.
- . "Kajian Kegempaan Akibat Sesar Lokal Di Wilayah Lampung Dengan Memanfaatkan Jaringan InaTEWS." *BMKG*, n.d.
- Bulo, Deni, Djayus, Supriyanto, and Benny Hendrawanto. "Penentuan

- Titik Epicenter Dan Hypocenter Serta Parameter Magnitude Gempa Bumi Berdasarkan Data Seismogram.” *Jurnal Geosains Kutai Basin* 3, no. 1 (2020).
- Edi, Yulian Sarwo. “Quasi-Maximum Likelihood Untuk Regresi Panel Spasial.” *Institut Teknologi Sepuluh Nopember* 53, no. 9 (2013).
- Fahrmeir, Ludwig, Thomas Kneib, Stefan Lang, and Brian Marx. *Regression Models, Methods and Applications*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2013.
- Hazief, Ronald Ahmad. “Pemodelan Autoregresif Spasial Dengan Menggunakan Variabel Laten.” *Universitas Padjadjaran*, 2008.
- Irwansyah, Edy. *Sistem Informasi Geografis: Prinsip Dasar Dan Pengembangan Aplikasi*. Yogyakarta: DigiBooks, 2013.
- Jeong, Seunghoo, and D. K. Yoon. “Examining Vulnerability Factors to Natural Disasters with a Spatial Autoregressive Model: The Case of South Korea.” *Sustainability* 10 (2018). <https://doi.org/10.3390/su10051651>.
- Kristo, Fino Yuno. “Kenapa Gempa Bumi Tak Bisa Diprediksi? Ini Kata Ahli.” *DetikInet*, August 3, 2019. <https://inet.detik.com/science/d-4650724/kenapa-gempa-bumi-tak-bisa-diprediksi-ini-kata-ahli>.
- Kurniawan, Deny. “Regresi Linier.” *Forum Statistika*, 2008.
- LeSage, James P. “The Theory and Practice of Econometrics.” *Department of Economics*, 1999. <https://doi.org/10.2307/2553707>.
- Machali, Imam. *Statistik Manajemen Pendidikan*. Edited by Sri Sumarni. Yogyakarta: Kaukaba Dipantara, 2016.
- Miller, Harvey J. “Tobler’s First Law and Spatial Analysis.” *Annals of the Association of American Geographers* 94(2) (2004).
- Mohd Razali, Nornadiah, and Yap Bee Wah. “Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests.” *Journal of Statistical Modeling and Analytics* 2, no. 1 (2011).
- Montgomery, Douglas C., Elizabeth A. Peck, and G. Geoffrey Vining. *Introduction to Linear Regression Analysis*. 5th ed. New Jersey: John Wiley Sons, Inc, 2012.

- Murtianto, Hendro. "Potensi Kerusakan Gempa Bumi Akibat Pergerakan Patahan Sumatera Di Sumatera Barat Dan Sekitarnya." *Jurnal Geografi Gea* 10, no. 1 (2016). <https://doi.org/10.17509/gea.v10i1.1667>.
- Naryanto, Heru Sri. "Analisis Potensi Kegempaan Dan Tsunami Di Kawasan Pantai Barat Lampung Kaitannya Dengan Mitigasi Dan Penataan Kawasan." *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia* 10, no. 2 (2008).
- P., Tiara Ramadhanti. "Kerentanan Wilayah Terhadap Gempa Bumi Di Tasikmalaya." *Universitas Indonesia*, 2011.
- Pahlevi, Muhammad Ilham. "Waktu Berakhirnya Gempa Bumi Susulan Untuk Gempa Bumi Sulawesi 28 September 2018." *UIN Syarif Hidayatullah*, 2020.
- Rahmanelli. "Rawan Bencana Suatu Tantangan Posisi Geologis Indonesia." *Ikatan Geograf Indonesia*, n.d.
- Ramadhan, Muhammad, and Taslim Arifin. "Aplikasi Sistem Informasi Geografis Dalam Penilaian Proporsi Luas Laut Indonesia." *KKP*, 2018.
- Rati, Mustika. "Model Regresi Spasial Untuk Anak Tidak Bersekolah Usia Kurang 15 Tahun Di Kota Medan." *Universitas Sumatera Utara*, 2013.
- Rinaldi, Achi, Yuni Susianto, Budi Santoso, and Wahyu Kusumaningtyas. "Spatial Modeling for Poverty: The Comparison of Spatial Error Model and Geographic Weighted Regression." *Al-Jabar : Jurnal Pendidikan Matematika* 12, no. 1 (2021): 237–51.
- Safitri, Eva. "BMKG: Zona Gempa Bisa Diprediksi Tapi Tidak Dengan Waktunya." *DetikNews*, August 3, 2019. <https://news.detik.com/berita/d-4651040/bmkg-zona-gempa-bisa-diprediksi-tapi-tidak-dengan-waktunya>.
- Santoso, Edy, Sri Widiyantoro, and I Nyoman Sukanta. "Studi Hazard Seismik Dan Hubungannya Dengan Intensitas Seismik Di Pulau Sumatera Dan Sekitarnya." *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* 12, no. 2 (2011). <https://doi.org/10.31172/jmg.v12i2.93>.
- Setiyono, Urip, and dkk. *Katalog Gempabumi Signifikan Dan Merusak 1821 - 2018*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2019.

- Sheppy, Siscaviyana. “Estimasi Parameter Regresi Spatial Lag Dengan Estimator S Pada Data Yang Mengandung Outlier.” *UIN Maulana Malik Ibrahim*, 2016. <https://doi.org/10.5151/cidi2017-060>.
- Sieh, Kerry, and Danny Natawidjaja. “Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia.” *Journal of Geophysical Research* 105, no. B12 (2000). <https://doi.org/10.1029/2000jb900120>.
- Sunarjo, M Taufik Gunawan, and Sugeng Pribadi. *Gempabumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2012.
- United States Geological Survey. “Can You Predict Earthquakes?” USGS. Accessed December 13, 2020. https://www.usgs.gov/faqs/can-you-predict-earthquakes?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products.
- . “What Is The Difference between Earthquake Early Warning, Earthquake Forecasts, Earthquake Probabilities, and Earthquake Prediction?” USGS. Accessed December 13, 2020. https://www.usgs.gov/faqs/what-difference-between-earthquake-early-warning-earthquake-forecasts-earthquake-probabilities?qt-news_science_products=7#qt-news_science_products.
- Universitas Pendidikan Indonesia. “Geografi Regional Indonesia,” n.d.
- Windyanti, Agnes Cahaya, Karyanto, Rustadi, and Rudianto. “Analisis Zona Rawan Gempabumi Daerah Lampung Berdasarkan Nilai Percepatan Tanah Maksimum (PGA) Dan Data Accelererograph Tahun 2008-2017.” *Jurnal Geofisika Eksplorasi* 03 (2017).
- Wisyanto. “The Potential Analysis of Earthquake Threat to Buildings in Krui , Pesisir Barat District” 12, no. 2 (2017).
- Yuniarti, Mazna. “Analisis Kejadian Puting Beliung Di Indonesia Menggunakan Metode Spatial Autoregressive (SAR), Clustering Average Linkage, Dan Pemetaan Berbasis WebGIS.” *Universitas Islam Indonesia* 2 (2018).