

**ANALISIS TINGKAT SEISMISITAS BERDASARKAN DATA
GEMPA BUMI DI PULAU JAWA PERIODE 2000 - 2020
MENGUNAKAN METODE GUTENBERG-RICHTER DAN
ENTROPI TSALLIS**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Fisika



Diajukan oleh:

EVA SEPTIANINGRUM

NIM : 1708026001

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG**

2021

**ANALISIS TINGKAT SEISMISITAS BERDASARKAN DATA
GEMPA BUMI DI PULAU JAWA PERIODE 2000 - 2020
MENGUNAKAN METODE GUTENBERG-RICHTER DAN
ENTROPI TSALLIS**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Fisika



Diajukan oleh:

EVA SEPTIANINGRUM

NIM : 1708026001

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG**

2021

PERTANYAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Eva Septianingrum

NIM : 1708026001

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

Analisis Tingkat Seismisitas Berdasarkan Data Gempa Bumi Di Jawa Periode 2000 – 2020 Menggunakan Metode Gutenberg-Richter Dan Entropi Tsallis

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 22 Desember 2021

Pembuat Pernyataan



Eva Septianingrum

NIM : 1708026001

Halaman Pengesahan



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Prof. Dr. Hamka (Kampus II) Ngaliyan Semarang Telp.024-7601295 Fax.7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini :

Judul : Analisis Tingkat Seismisitas Berdasarkan
Data Gempa Bumi Di Pulau Jawa Periode 2000 - 2020
Menggunakan Metode Gutenberg-Richter dan Entropi Tsallis

Penulis : Eva Septianingrum

Nim : 1708026001

Program Studi : Fisika

Telah diujikan dalam sidang munaqosyah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Fisika

Semarang, 04 Januari 2022

DEWAN PENGUJI

Penguji I,

Andi Fadlan, S.Si., M.Sc

NIP. 19800915 200501 1 006

Penguji III,

Sheilla Rully Anggita, M.Si

NIP. 19900505 201903 2 017

Pembimbing I,

Andi Fadlan, S.Si., M.Sc

NIP. 19800915 200501 1 006

Penguji II,

Agus Sudarmanto, M.Si

NIP. 19770823 200912 1 001

Penguji VI,

Heni Sumarti, M.Si

NIP. 19871011 201903 2 009

Pembimbing II,

Hartono, M.Sc

NIP. 19900924 201903 1 006

NOTA DINAS

Semarang, 22 Desember 2021

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arah dan koreksi naskah skripsi dengan :

Judul : Analisis Tingkat Seismisitas Berdasarkan
Data Gempa Bumi Di Pulau Jawa
Periode 2000 – 2020 Menggunakan Metode
Gutenberg-Richter Dan Entropi Tsallis

Nama : Eva Septianingrum

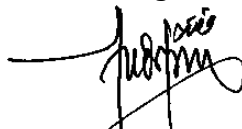
NIM : 1708026001

Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diujikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Pembimbing I,



Andi Fadllan, S.Si., M.Sc

NIP. 19800915 200501 1 006

NOTA DINAS

Semarang, 22 Desember 2021

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arah dan koreksi naskah skripsi dengan :

Judul : Analisis Tingkat Seismisitas Berdasarkan
Data Gempa Bumi Di Pulau Jawa
Periode 2000 – 2020 Menggunakan Metode
Gutenberg-Richter Dan Entropi Tsallis

Nama : Eva Septianingrum

NIM : 1708026001

Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diujikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Pembimbing II,



Hartono, M.Sc

NIP. 19900924 201903 1 006

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat seismisitas di pulau Jawa menggunakan data gempa bumi periode 2000 – 2020. Data gempa bumi didapatkan dari situs *Unite State Geological Survey* (USGS). Adapun untuk mendapatkan nilai tingkat seismisitas dengan ketelitian maksimal, dibagi menjadi tiga wilayah penelitian yaitu wilayah 1 (Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat), wilayah 2 (Jawa Tengah dan DI Yogyakarta), dan wilayah 3 (Jawa Timur). Tingkat seismisitas menggunakan metode Gutenberg-Richter didapatkan wilayah 1 dengan $a\text{-value} = 11,52277214$ dan $b\text{-value} = 1,671481603$, wilayah 2 dengan $a\text{-value} = 11,41505404$ dan $b\text{-value} = 1.707283252$ dan wilayah 3 dengan $a\text{-value} = 10,7589014$ dan $b\text{-value} = 1.670520395$. Entropi Tsallis digunakan untuk melengkapi pengamatan dalam berbagai energi di mana fungsi distribusi lainnya gagal atau terjadi pada saat magnitudo kecil metode Gutenberg-Richter tidak dapat memenuhinya. Tingkat seismisitas dengan entropi Tsallis didapatkan wilayah 1 dengan $q\text{-value} = 1,41$ dan $a\text{-value} = 4 \times 10^{-11}$, wilayah 2 dengan $q\text{-value} = 1,3$ dan $a\text{-value} = 4 \times 10^{-11}$, wilayah 3 dengan $q\text{-value} = 1,25$ dan $a\text{-value} = 4 \times 10^{-11}$. Hasil perbandingan tingkat seismisitas menggunakan kedua metode didapatkan bahwa wilayah 1 memiliki tingkat seismisitas yang paling tinggi diantara wilayah lainnya.

Kata kunci : Gempa bumi, tingkat seismisitas Jawa, b-value, a-value, q-value

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Tingkat Seismisitas Berdasarkan Data Gempa Bumi di Jawa Periode 2000 – 2020 Menggunakan Metode Gutenberg-Richter dan Entropi Tsallis”**. Penulisan skripsi dilakukan guna memenuhi tugas dan persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains dalam Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang memungkinkan terselesaikannya skripsi ini dengan baik, terutama kepada :

1. Prof. Dr. Imam Taufiq, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Dr. H. Ismail, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Agus Sudarmanto, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika UIN Walisongo Semarang.
4. M. Izzatul Faqih, M.Pd selaku Sekretaris Program Studi Fisika UIN Walisongo Semarang.

5. Andi Fadllan, S.Si, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
6. Hartono, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
7. Ramadhan Priadi, S.Tr. Geof selaku Dosen Pembimbing Lapangan Kerja Praktik Tahun 2020 sekaligus karyawan di BMKG Stasiun Geofisika Gowa yang telah memberikan berbagai arahan, solusi, dan pengolahan data skripsi.
8. Kedua orang tua, Ibu dan Bapak yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, pengertian, dan hal lainnya yang tak terhingga.
9. Keluarga tercinta Mba Tia, Dede Ama, Mas Arif, dan Dede Utun yang selalu memberikan doa, kasih sayang, pengertian, dukungan, memahami dan sabar dalam menghadapi sikap penulis.
10. Muhamad Syafrizal Indra Kurniawan terimakasih sudah memberikan doa, dukungan dan kasih sayang, menemani dari proses awal sampai akhir dalam penyelesaian skripsi.
11. Mas Toni, Mba Arsi, Mas Imam terimakasih untuk semua doa, arahan, dan dukungan.

12. Teman, sahabat sekaligus saudara Fathma Annifisya Prihandini, Alfiah Valomanita, Fina Mushoffa yang telah memberikan semangat.
13. Teman-teman seperjuangan Fisika 2017 yang selalu mendukung dan memberikan berbagai bantuan.
14. Kakak tingkat Fisika yang telah memberikan batuan, waktu dan ilmu untuk berdiskusi dalam bidang Geofisika.
15. Keluarga besar HMJ Fisika, IMPP, dan IMF UIN Walisongo Semarang yang telah memberikan ruang dalam penulis belajar berorganisasi dan menjalin relasi.
16. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan skripsi ini jauh dari kata kesempurnaan. Oleh karena, itu kritik dan saran yang mendukung dari berbagai pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak.

Semarang, 22 Desember 2021
Penulis



Eva Septianingrum
NIM. 1708026001

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Pernyataan Keaslian	ii
Halaman Pengesahan	iii
Nota Dinas.....	iv
Abstrak.....	vi
Kata Pengantar.....	vii
Daftar Isi	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Lampiran	xv
I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat Peneitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Kajian Pustaka	9
B. Landasan Teori.....	15
1. Gempa Bumi dan Parameternya	15
2. Jenis dan Skala Kekuatan Gempa Bumi	20
3. Seismisitas Indonesia	24
4. Geologi Jawa	27

5. Metode Seismik Gutenberg-Richter dan Entropi Tsallis.....	32
a. Metode Gutenberg-Richter	32
b. Entropi Tsallis.....	37
BAB III METODE PENELITIAN	39
A. Jenis Penelitian.....	39
B. Objek dan Waktu Penelitian	39
C. Alat dan Bahan	40
D. Variabel Penelitian	41
E. Teknis Pengumpulan Data.....	43
F. Teknis Pengolahan Data	44
G. Kerangka Berfikir	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
A. Hasil Penelitian	47
B. Pembahasan	57
BAB V PENUTUP.....	62
A. Kesimpulan	62
B. Saran.....	63
Daftar Pustaka	65
Lampiran	69
Riwayat Hidup.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel	Keterangan	Halaman
Tabel 2.1	Jenis-jenis Magnitudo Gempa	19
Tabel 2.2	Skala Intensitas MMI	23
Tabel 2.3	Interpretasi <i>b-value</i>	35
Tabel 2.4	Interpretasi <i>a-value</i>	36
Tabel 3.1	Format Data USGS	43
Tabel 4.1	Sample Data Gempa Bumi di Pulau Jawa Periode 2000 – 2020	47
Tabel 4.2	Nilai Magnitudo Minimum Wilayah Penelitian	53
Tabel 4.3	<i>b-value</i> dan <i>a-value</i> Di Setiap Wilayah Penelitian	54
Tabel 4.4	<i>q-value</i> dan <i>a-value</i> Di Setiap Wilayah Penelitian	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Keterangan	Halaman
Gambar 2.1	Skema Urutan Terjadinya Gempa Bumi	16
Gambar 2.2	Peta Seismisitas Indonesia	25
Gambar 2.3	Peta Sesar Aktif di Jawa	28
Gambar 3.1	Peta Wilayah Penelitian	39
Gambar 3.2	Kerangka Berfikir	46
Gambar 4.1	Grafik Gempa Bumi di Pulau Jawa Periode 2000 – 2020	49
Gambar 4.2	Grafik Klasifikasi Gempa Bumi di Pulau Jawa Periode 2000 – 2020 Berdasarkan Kedalaman	50
Gambar 4.3	Grafik Klasifikasi Gempa Bumi di Pulau Jawa Periode 2000 – 2020 Berdasarkan Besar Magnitudo	50
Gambar 4.4	Peta Sebaran Episenter Pulau Jawa Periode 2000 – 2020	51
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Antara Jumlah Kejadian Gempa dengan Magnitudo (a) Wilayah 1, (b) Wilayah 2, (c) Wilayah 3	52
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Antara Metode	55

Gutenberg-Richter dan Entropi Tsallis

(a) Wilayah 1, (b) Wilayah 2,

(c) Wilayah 3

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Keterangan	Halaman
Lampiran 1	Sampel Data Gempa Bumi di Jawa Periode 2000 – 2020	68
Lampiran 2	Pengolahan Metode Gutenberg-Richter	74
Lampiran 3	Pengolahan Entropi Tsallis	76
Lampiran 4	Hasil Cek Turnitin	77

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satunya negara yang sering terjadi gempa bumi adalah Indonesia. Hal ini karena Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng tektonik dunia yaitu Lempeng Eurasia yang bergerak ke arah timur Indonesia, Lempeng Indo-Australia dengan pergerakan ke arah utara Indonesia, dan Lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat Indonesia.

Menurut Hadimoeljono et al (2017), secara geologi pulau Jawa berada dalam zona subduksi dengan pola subduksi *frontal* di bagian selatan Jawa. Adanya perbedaan dalam pola struktur maupun karakteristik yang menjadikan seismisitas di Jawa dan Sumatera berbeda. Selain dikarenakan pulau Jawa berada di zona Subduksi, gempa bumi dangkal yang pusatnya didaratan menjadikan adanya dampak yang merusak dan kejadian tersebut sering terjadi di beberapa tahun terakhir. Faktor lain yang mempengaruhi karena adanya suatu sesar-sesar lokal aktif di pulau Jawa seperti Sesar Cimandiri, Sesar Lembang, dan Sesar Baribis – Citanduy yang mendominasi adanya pergerakan sesar geser dan sesar

geser sedangkan sesar turun yang menjadi strukur minor. Lalu untuk Sesar Kendeng dan Sesar Semarang didominasi adanya sesar naik. Sedangkan untuk Sesar Pasuruan, Sesar Probolinggo, dan Sesar Baluran didominasi oleh sesar turun.

Suatu getaran yang mengakibatkan terjadinya guncangan bumi baik disebabkan karena adanya aktivitas patahan, gunung api, runtuhan, atau bahkan pergerakan lempeng tektonik bumi. Akumulasi energi yang dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng menjadi penyebab utama suatu gempa bumi terjadi. Energi yang didapatkan berupa gelombang seismik yang nantinya akan dipancarkan ke segala arah, sehingga pada akhirnya energi dapat dirasakan di permukaan dalam bentuk getaran tanah (Yassar et al., 2019).

Penelitian seismisitas merupakan suatu upaya untuk mempelajari prediksi adanya gempa bumi dengan cara mengamati peristiwa yang selanjutnya menentukan bagaimana karakteristik dan parameter seismik yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan tingkat seismisitas di wilayah tersebut (Lusiani et al., 2019). Terdapat beberapa penelitian mengenai tingkat seismisitas di Indonesia, penelitian oleh Wahyuni et al (2020), tentang Analisis Seismotektonik dan periode

ulang gempa bumi pada Wilayah Jawa Timur menggunakan Relasi Gutenberg-Richter, yang menyimpulkan bahwa di wilayah Jawa Timur *a-value* bernilai rendah (< 6) dengan nilai berkisar 0,1 – 4,1 sedangkan untuk *b-value* tinggi ($> 0,7$) berkisar 0,6 – 0,9. Kedua penelitian Hilmi et al (2019), tentang analisis seismisitas di daerah selatan Jawa Barat dan Banten. Menggunakan metode *maximum likelihood* didapatkan variasi *b-value* di Selatan Jawa Barat dan Banten sekitar 0,95 – 1,45, dengan nilai tertinggi Kabupaten Pandeglang (1,35 – 1,45) dan terendah di Kabupaten Tasikmalaya (0,95 – 1,05). Variasi *a-value* sekitar 6,5 – 9, nilai tertinggi di selatan Kabupaten Pandeglang (8,5 – 9) dan terendah di Kabupaten Tasikmalaya (6,5 – 7). Ketiga, penelitian Telesca & Chen (2010), yang menjelaskan hubungan Gutenberg-Richter dengan magnitudo secara statistik terhadap kejadian seismisitas, namun tidak terkait dengan prinsip fisika umum. Gempa bumi Taiwan 01 Januari 1990 – 30 November 2007 didapatkan magnitudo minimum yang lengkap 2,0. Rentang nilai q dan a diperoleh nilai q = sekitar 1,68 dan $a = 10^7$ untuk minimum error 0,2868 dan didapatkan kurva $q_0 = 1.4$ dan $a_0 = 10^7$. Nilai awal ini digunakan untuk menemukan parameter pas terbaik $q = 1,679$ dan $a = 1,4 \times 10^7$.

Karena variasi yang didapat sangat kecil parameter q dan a dalam kisaran yang sama dengan kesalahan e , masuk akal untuk memperkirakan ini sebagai rata-rata dari nilai yang diperoleh untuk $a_0 = 10^4$; jadi $q = 1.685$ dan $a = 1,1 \times 10^7$; nilai-nilai tersebut sangat dekat dengan seluruh katalog, menunjukkan bahwa model *nonektensif* kuat dengan kehadiran dari gempa susulan. Masih banyak penelitian sebelumnya yang meneliti tentang seismisitas di Indonesia.

Setelah melakukan kajian pustaka dari penelitian-penelitian terdahulu, karena adanya sesar-sesar lokal aktif dari ujung barat sampai timur pulau Jawa solusi untuk mendapatkan nilai tingkat seismisitas dengan ketelitian yang maksimal dengan cara dilakukannya pembagian wilayah penelitian di pulau Jawa menjadi tiga bagian dengan ketentuan Wilayah I terdiri dari Provinsi Banten, DKI Jakarta dan Jawa Barat, untuk Wilayah II terdiri dari Provinsi Jawa Tengah dan DI Yogyakarta, sedangkan untuk wilayah III terdiri dari Provinsi Jawa Timur. Pembagian wilayah tersebutlah yang menjadikan faktor perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu dari segi pembagian wilayah penelitian.

Penelitian ini dilakukan agar didapatkan hasil analisis tingkat seismisitas di pulau Jawa periode 2000 -

2020 menggunakan *a-value* *b-value* dan *q-value*. Metode Gutenberg-Richter mendapatkan persamaan *a-value* dan *b-value* dari estimasi maksimum *likelihood* yang berkaitan dengan hubungan frekuensi dan magnitudo gempa bumi. Parameter *b-value* merupakan nilai konstanta pada tingkat kerapuhan batuan, dengan ketentuan apabila *b-value* besar maka akan semakin besar nilai kerapuhan batuan di sekitar wilayah tersebut begitupun sebaliknya. Sedangkan *a-value* adalah konstanta yang menunjukkan tingkat keaktifan sesmik (Sabriani, 2017). Adapun metode Gutenberg-Richter menyatakan ketergantungan yang terjadi log-linier antara jumlah gempa bumi dengan magnitudo yang lebih besar dari magnitudo ini, pada kenyataannya untuk hasil plot data tidak sesuai berlaku untuk magnitudo terkecil yang tidak memenuhi ketergantungan metode Gutenberg-Richter, ketidaksejajaran antara grafik dan data dikarenakan adanya ambang sensitifitas instrumen yang menjadikan pada saat katalog gempa bumi selesai sampai magnitudo minimum maka hubungan Gutenberg-Richter terpenuhi. Sedangkan pada saat magnitudo besar metode Gutenberg-Richter juga tidak dapat terpenuhi, seperti yang sudah dilakukan dalam penelitian Sotolongo-Costa & Posadas (2002) bahwasanya metode

Gutenberg-Richter dapat berlaku pada saat adanya katalog gempa bumi dengan besar magnitudo lebih dari 2,5, selanjutnya entropi Tsallis membantu menunjukkan bahwa asumsi tersebut benar dengan kurva yang dihasilkan menyesuaikan untuk seismisitas mulai dengan besar magnitudo 0,0 – 2,5. Karena dibutuhkan suatu metode yang dapat terpenuhi baik pada saat magnitudo kecil maupun besar, maka solusi yang ada menggunakan metode kedua yaitu entropi Tsallis. Entropi Tsallis menjelaskan pengamatan dalam berbagai energi dimana fungsi distribusi lainnya gagal, sehingga dengan adanya entropi Tsallis dapat memperkuat hasil analisis dari metode Gutenberg-Richter.

Pengolahan data untuk pembuatan peta seismisitas pulau Jawa menggunakan software QGIS 3.14 sedangkan pengolahan data untuk mendapatkan *a-value*, *b-value* dan *q-value* berbantuan software Microsoft Excel 2010. Hasil pengolahan data antara *a-value*, *b-value* dan *q-value* akan dianalisis selanjutnya dibandingkan sehingga didapatkan suatu nilai tingkat seismisitas di pulau Jawa yang paling efektif. Penelitian ini semoga dapat bermanfaat dalam memberikan informasi mengenai tingkat aktivitas gempa bumi di pulau Jawa yang bisa digunakan untuk upaya pelayanan berupa perlindungan kepada masyarakat

sekitar dari bencana gempa bumi yang bisa terjadi kapan saja.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana bentuk peta sebaran episenter di pulau Jawa periode 2000 - 2020?
2. Bagaimana tingkat seismisitas di pulau Jawa ditinjau menggunakan metode Gutenberg-Richter (*a-value* dan *b-value*)?
3. Bagaimana tingkat seismisitas di pulau Jawa ditinjau menggunakan entropi Tsallis (*q-value*)?
4. Bagaimana perbandingan tingkat seismisitas di pulau Jawa ditinjau menggunakan metode Gutenberg-Richter (*a-value* dan *b-value*) dan entropi Tsallis (*q-value*)?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui bentuk peta episenter di pulau Jawa periode 2000 - 2020.

2. Untuk mengetahui tingkat seismisitas di pulau Jawa ditinjau menggunakan metode Gutenberg-Richter (*a-value* dan *b-value*).
3. Untuk mengetahui tingkat seismisitas di pulau Jawa ditinjau menggunakan entropi Tsallis (*q-value*).
4. Untuk mengetahui perbandingan tingkat seismisitas di pulau Jawa ditinjau menggunakan metode Gutenberg-Richter (*a-value* dan *b-value*) dan entropi Tsallis (*q-value*).

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi kepada masyarakat bahwasanya seismisitas di pulau Jawa mengalami perubahan dengan dibuktikan melalui hasil dari metode Gutenberg-Richter dan entropi Tsallis, selain itu penelitian dapat digunakan untuk upaya pelayanan berupa perlindungan kepada masyarakat sekitar dari bencana gempa bumi yang bisa terjadi kapan saja.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Pustaka

Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Pertama, penelitian oleh Telesca & Chen (2010), yang menjelaskan hubungan Gutenberg-Richter dengan magnitudo secara statistik terhadap kejadian seismisitas, namun tidak terkait dengan prinsip fisika umum. Distribusi formula Tsallis *nonekstensif* lebih realistis besarnya disimpulkan sehingga memberikan hasil sangat baik dan sesuai dengan kegempaan di beberapa daerah seismik. Model gempa *nonekstensif*, memicu mekanisme interaksi antara ketidakaturan bidang patahan dengan fragmen antara mereka, dan kerusakan lokal lempeng tektonik. Apabila *q-value* meningkat dapat diartikan bahwa bidang patahan tidak dalam keseimbangan dan akan ada kegempaan yang lebih banyak terjadi. Gempa bumi Taiwan 01 Januari 1990 – 30 November 2007 didapatkan magnitudo minimum yang lengkap 2,0. Rentang nilai *q* dan *a* diperoleh nilai *q* = sekitar 1,68 dan $a = 10^7$ untuk minimum error 0,2868 dan didapatkan kurva $q_0 = 1.4$ dan $a_0 = 10^7$. Nilai awal ini digunakan

untuk menemukan parameter pas terbaik $q = 1,679$ dan $a = 1,4 \times 10^7$. Karena variasi yang didapat sangat kecil parameter q dan a dalam kisaran yang sama dengan kesalahan e , masuk akal untuk memperkirakan ini sebagai rata-rata dari nilai yang diperoleh untuk $a_0 = 10^4$; jadi $q = 1.685$ dan $a = 1,1 \times 10^7$; nilai-nilai tersebut sangat dekat dengan seluruh katalog, menunjukkan bahwa model *nonektensif* kuat dengan kehadiran dari gempa susulan.

Kedua, penelitian oleh Sotolongo-Costa & Posadas (2002), menjelaskan bahwa pengamatan entropi Tsallis dalam berbagai energi dimana fungsi distribusi lainnya gagal. Hukum Gutenberg-Richter untuk magnitudo kecil maupun besar tidak memenuhi ketergantungan. Dalam penelitian tersebut akan membandingkan hasil teoritis (Tsallis) dengan gempa bumi kecil. Ketidakteraturan pada suatu batas lempeng tektonik yang dapat menyebabkan terjadinya suatu gempa bumi. Proses fraksinasi bidang patahan menghasilkan fragmen antara bidang yang mengarah adanya interaksi jarak jauh di antara semua fragmen yang kemudian menjadi pecahan yang disebut paradigma non-ekstensivitas. Alih-alih statistik Boltzmann-Gibbs untuk menggambarkan fungsi distribusi ukuran fragmen. Menerapkan prinsip entropi

maksimum dan entropi Tsallis lalu dibandingkan hasil yang diperoleh keduanya. Gempa bumi kecil di Andalusia periode 1982 – 2000 dengan jumlah 20.000 gempa bumi yang berada di wilayah 5° dan 38° LU dan 0° dan 5° BB, hubungan Gutenberg-Richter terpenuhi untuk magnitudo lebih dari 2,5, sedangkan entropi Boltzmann-Gibbs tidak berlaku baik gempa bumi besar atau sedang, didapatkan kurva entropi Tsallis yang baik untuk magnitudo 0,0 – 2,5 dengan $q = 1,65 \pm 0,01$ dan kolerasi 0,99885. Gempa bumi besar di Cina mengarah ke hukum Gutenberg-Richter yang digeneralisasikan yakni kelebihan kumulatif m , asumsi magnitudo 6,0 menghasilkan nilai $q = 1,6877 \pm 0,0001$ dan faktor kolerasi 0,9925. Katalog gempa bumi di California menggunakan periode 1990 – 2000 memiliki jumlah gempa bumi 500.000, formula berdasarkan statistik Tsallis dengan $q = 1,675 \pm 0,0001$ dan kolerasi 0,9985. Terakhir di Spanyol dengan data lebih dari 10.000 gempa bumi dari tahun 1970 – 2000. Formula Tsallis bekerja dengan baik untuk $q = 1,66 \pm 0,01$ faktor kolerasi 0,9931. Sehingga dapat dianalisis bahwa pada saat q -value meningkat, maka keadaan fisik batuan dapat menjauh dari sistem keseimbangan. Apabila q -value = 1,7 berarti bidang sesar di zona yang akan dianalisis tidak berada dalam keseimbangan dan

kedepannya diharapkan akan terjadi lebih banyak gempa bumi.

Ketiga, penelitian oleh Lusiani et al (2019), menggunakan metode Gutenberg-Richter untuk mendapatkan tingkat seismisitas di Aceh, data gempa bumi bulan Januari tahun 1929 – Desember 2017 dengan geologi regional $2,0^{\circ}$ - $6,0^{\circ}$ LU dan $98,0^{\circ}$ - $92,0^{\circ}$ BT $M < 1$ dan kedalaman ≤ 60 Km. Pembagian 24 grid dengan ukuran $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ di wilayah penelitian, selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan *a-value* 2,07 – 7,31 dan *b-value* 0,40 – 1,22. Gempa bumi untuk magnitudo $M \geq 7$; $M \geq 8$ dapat menjadi faktor tingginya gempa bumi di Aceh Singkil, dan $M \geq 9$ dengan lamanya periode ulang gempa bumi masing-masing 23,6; 65,6; dan 182,6 tahun.

Keempat, penelitian oleh Wahyuni et al (2020), Metode Gutenberg-Richter dalam penelitian ini dilakukan untuk menganalisis seismotektonik dan periode ulang gempa bumi pada wilayah Jawa Timur menggunakan data gempa bumi BMKG Stasiun Geofisika Kelas II Tretes Periode 1958 – 2018, geologi wilayah penelitian yaitu 6,00 LS – 110,00 BT dan 10,00 LS – 115,00 BT selanjutnya dilakukan pembagian wilayah penelitian menjadi dua yaitu di daratan (6,00 LS – 110,00 BT dan

8,00 LS – 115,00 BT) kedua berada di lautan (6,01 LS – 110,00 BT dan 10,00 LS – 115,00 BT). Hasil dari perhitungan *b-value* untuk setiap pembagian wilayah penelitian berkisar 0,6 – 0,9 dan *a-value* berkisar 3,0 – 5,2 adanya nilai standar deviasi antara 0,1 – 0,3. Hal tersebut dapat diartikan bahwa wilayah tersebut memiliki nilai keaktifan gempa bumi yang cukup tinggi, sesuai dengan perhitungan Gutenberg-Richter untuk *b-value* gempa dangkal antara 0,45 – 1,4. Indeks seismisitas wilayah pada saat magnitudo minimum antara 0,1 – 4,1. Selain itu probabilitas dan periode ulang yang pendek didapatkan aktivitas gempa yang cukup tinggi.

Kelima, penelitian oleh Yassar et al (2019), menggunakan kejadian gempa bumi pada 26 September 2018 di Ambon, Maluku yang mencapai intensitas V – VI. Penelitian menggunakan data katalog dari *United State Geological Survey* (USGS) dari tahun 1700 – 2019 dan data yang didapatkan berupa 912 gempa *mainshock*. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis *b-value*, setelah dilakukan pengolahan dengan software ZMAP mendapatkan hasil *b-value* sebesar $1,03 \pm 0,03$, sedangkan untuk pengolahan dengan numerik didapatkan hasil *b-value* 1,0069. Hasil dari pengolahan tersebut dapat dianalisis bahwa terdapat *shallow*

intraplate di daerah yang ditandai dengan adanya deformasi yang menjadi karakteristik gempa bumi di Ambon. Nilai dimensi fraktal sebesar $2,03 \pm 0,03$ dapat di analisis bahwa potensi adanya gempa bumi di Ambon dan sekitarnya masih cukup besar.

Berdasarkan kajian pustaka dari penelitian-penelitian yang terdahulu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis tingkat seismisitas di pulau Jawa periode 2000 - 2020, metode yang digunakan adalah metode Gutenberg-Richter (*a-value* dan *b-value*) dan entropi Tsallis (*q-value*). Data diperoleh dari situs *United State Geological Survey* (USGS) mulai tanggal 01 Januari 2000 pukul 00.00 – 31 Desember 2020 pukul 23.59 atau dalam rentang waktu 20 tahun. Perbedaan penelitian ini dengan yang lainnya terletak pada software yang digunakan untuk pembuatan peta seismisitas gempa bumi di pulau Jawa yaitu QGIS 3.14, selanjutnya untuk mencari *a-value* *b-value* dan *q-value* menggunakan software Microsoft Excel 2010.

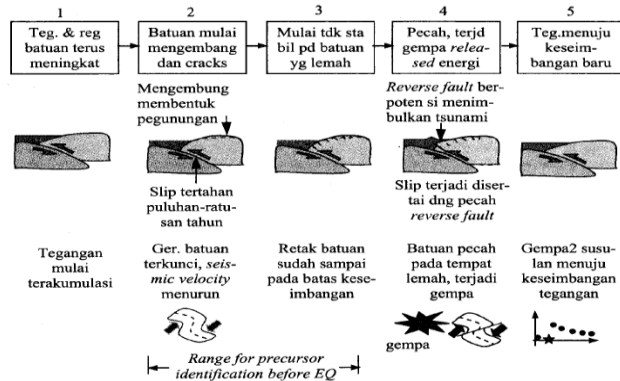
B. Landasan Teori

1. Gempa Bumi dan Parameternya

a. Gempa Bumi

Deformasi pada lapisan bumi sering terjadi karena adanya tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*). Secara umum setiap batuan pada lapisan bumi memiliki batas maksimum tertentu, apabila batuan terus mengalami tekanan maupun tarikan hingga mencapai batas maksimum, batuan mengalami pegeseran hingga mengakibatkan adanya patahan. Energi dari tekanan akan terlepas dalam bentuk getaran yang dikenal sebagai gempa bumi (Lira, 2017).

Menurut Pawirodikromo (2012), menyatakan bahwa ada beberapa tahapan sebelum terjadinya bencana gempa bumi. Perubahan pada batuan tidak akan terjadi, namun mengalami sebuah tegangan karena adanya beban gravitasi, hal tersebut terjadi pada saat kondisi normal. Pergerakan yang terjadi mengakibatkan terbentuknya tegangan baru pada batuan dalam bentuk tegangan geser, desak, maupun tarik.



Gambar 2.1 Skema Urutan Terjadinya Gempa Bumi (Pawirodikromo, 2012)

Berdasarkan penjelasan gambar 2.1, maka dari itu tahap-tahap kejadian gempa bumi dapat dideskripsikan sebagai berikut:

- 1) Tahap 1, apabila terdapat dua lempeng yang saling bertumbukan di jalur subduksi, maka kedua lempeng akan saling mengunci dan tegangan geser terakumulasi.
- 2) Tahap 2, lempeng dibagian atas mulai mengembang karena adanya gerakan desakan yang terus berlangsung sampai puluhan atau bahkan ribuan tahun sehingga mengakibatkan terbentuknya bukit-bukit di lempeng atas, selanjutnya retakan-retakan kecil akan terjadi, gelombang seismik mulai

menurun dan periode ini dapat terjadi dalam kurun waktu bulan, tahun, maupun tahun.

- 3) Tahap 3, retakan-retakan batuan sampai pada batas keseimbangan sehingga batuan mencapai tingkat instabilitas. Gelombang seismik akan mulai naik dikarenakan terisinya rekahan-rekahan oleh air dari sekitar. Kandungan air di dalam batuan yang menyebabkan adanya suatu pelumasan sehingga batuan dapat bergerak.
- 4) Tahap 4, pada saat batuan berada ditempat yang paling lemah, batuan akan pecah, *slip* yang terkunci akan terlepas yang mengakibatkan terjadinya gempa bumi. Sedangkan kejadian *dip-slip* yang terdapat kandungan air didalamnya dapat menimbulkan tsunami.
- 5) Tahap 5, pada saat gempa bumi selesai, maka terjadi keseimbangan baru (Pawirodikromo, 2012).

b. Parameter Gempa Bumi

Beberapa parameter gempa bumi antara lain:

- 1) Waktu terjadinya gempa bumi (*origin time*), merupakan waktu pada saat gempa bumi terjadi. Data yang didapatkan dalam bentuk tahun/bulan/tanggal/jam/menit/detik.
- 2) Kedalaman sumber gempa, merupakan dalamnya gempa bumi yang terjadi dihitung dari permukaan bumi sampai ke bawah permukaan bumi, kedalaman sumber gempa bumi memiliki beberapa kriteria yaitu dangkal ($< 60 \text{ Km}$), menengah ($60 - 300 \text{ Km}$), dan dalam ($> 300 \text{ Km}$) di mana batasan harga tergantung dari kondisi tektonik setempat.
- 3) Hiposenter dan episenter, di mana hiposenter merupakan pusat terjadinya gempa bumi di bawah permukaan bumi sedangkan episenter merupakan titik di permukaan bumi yang menjadi refleksi tegak lurus dari hiposenter.
- 4) Magnitudo gempa, merupakan ukuran kekuatan gempa bumi yang menggambarkan

besarnya energi terlepas pada saat gempa bumi terjadi dan merupakan hasil pengamatan seismograf. Menurut Pawirodikromo (2012), magnitudo memiliki beberapa jenis dan untuk lebih jelasnya lihat table 2.1.

Tabel 2.1 Jenis-jenis Magnitudo Gempa

No	Nama	Definisi	Aplikasi
1	Magnitudo Lokal (M_L)	Magnitudo gempa lokal, $T_s \pm 1$ dt <i>wave length</i> 300 m – 6.000 m. Jarak episenter $R < 1.000$ Km.	Untuk gempa dengan M_L 3 – 7
2	Magnitudo Surface (M_s)	Magnitudo gempa berdasar pada <i>surface wave</i> untuk $R < 1.000$ Km. <i>Wave length</i> 60 Km, $T_{wave} \pm 20$ detik	Untuk gempa dengan M_s 5 – 7,5
3	Magnitudo Body (M_b)	Untuk gempa dalam, sehingga berdasar pada <i>P-wave</i> (<i>small strain</i>), T_{wave} 1 – 3 detik	Untuk gempa dengan M_b 5 – 7
4	Magnitudo Momen (M_w)	Dihitung berdasarkan <i>elastic strain energy relased</i>	Untuk $M_w > 7,5$

Jenis-jenis magnitudo dapat di konversi menjadi Magnitudo Momen (M_w) dengan menggunakan persamaan berikut :

$$M_w = 0,143 (M_s)^2 - 1,051 (M_s) + 7,285 \quad (2.1)$$

$$M_w = 0,114 (M_b)^2 - 0,556 (M_b) + 5,560 \quad (2.2)$$

$$M_w = 0,787 (M_E)^2 - 1,0537 \quad (2.3)$$

$$M_b = 0,125 (M_L)^2 - 0,389 (M_L) + 3,513 \quad (2.4)$$

$$M_L = 0,717 (M_D) + 1,003 \quad (2.5)$$

- 5) Intensitas gempa bumi, merupakan efek dari adanya gempa bumi terhadap manusia atau bangunan sekitar yang dilihat dari besarnya magnitudo gempa tersebut (Lira, 2017).

2. Jenis dan Skala Kekuatan Gempa Bumi

a. Jenis Gempa Bumi

Gempa bumi dapat dikategorikan berdasarkan sebab-sebab jenis gempa bumi. Jenis-jenis tersebut antara lain :

- 1) Gempa Runtuhan (*Collapse Earthquake*) merupakan gempa bumi yang terjadi karena adanya suatu getaran pada tanah melebihi batas tertentu baik disebabkan adanya suatu runtuh gua ataupun runtuh tambang.

- 2) Gempa Vulkanik (*Vulcanic Earthquake*), terjadi karena adanya aktivitas vulkanik dari gunung berapi, yang ditandai dengan keluar paksanya magma sehingga menimbulkan suatu ledakan.
- 3) Gempa Ledakan (*Explosion Earthquake*), terjadi apabila terdapat suatu ledakan yang sangat besar di bawah permukaan tanah, atau dapat di contohkan ada seorang peneliti yang melakukan penelitian nuklir di bawah tanah lalu terjadinya suatu ledakan. Ledakan tersebut dapat dikatakan sebagai gempa bumi ledakan.
- 4) Gempa Tektonik (*Tectonic Earthquake*), merupakan suatu gempa yang terjadi karena adanya pergerakan lempeng tektonik. Pada saat kedua lempeng bertumbukan atau saling menggeser atau saling menarik secara terus menerus mengakibatkan adanya tegangan, deformasi, dan akan mulai terjadinya akumulasi energi regangan (*strain energy*) (Pawirodikromo, 2012).

b. Skala-skala Kekuatan Gempa Bumi

Ukuran kekuatan gempa bumi dapat dibagi menjadi dua macam skala gempa bumi, yaitu :

- 1) Skala kekuatan gempa berdasarkan magnitudo, jenis gempa berdasarkan kekuatan gempa magnitudo terdiri atas :
 - a) Gempa sangat besar (*great earthquake*), apabila nilai magnitudo $> 8 SR$.
 - b) Gempa besar (*major earthquake*), apabila nilai magnitudo $7 - 8 SR$.
 - c) Gempa sedang (*moderate earthquake*), apabila nilai magnitudo $5 - 7 SR$.
 - d) Gempa kecil (*small earthquake*), apabila nilai magnitudo $3 - 5 SR$.
 - e) Gempa mikro (*micro earthquake*), apabila nilai magnitudo $1 - 3 SR$ (Lira, 2017).

2) Skala Intensitas Gempa Bumi

Bentuk kerusakan di suatu lokasi gempa bumi dapat digambarkan dalam skala intensitas yaitu skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) (Santoso, 2002).

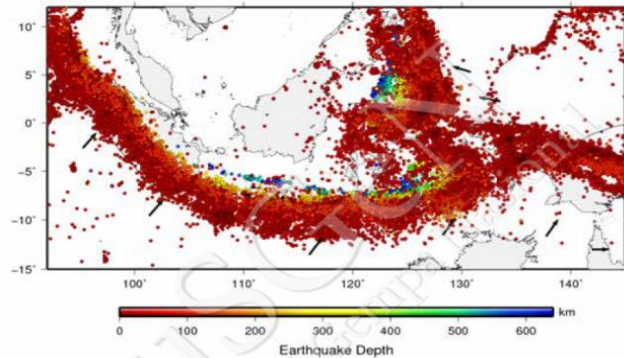
Tabel 2.2 Skala Intensitas MMI (*Modified Mercalli Intensity*)

I	Getaran tidak dirasakan, kecuali dalam keadaan luar biasa oleh orang tertentu saja.
II	Getaran dirasakan orang tertentu, benda ringan yang di gantung bergoyang-goyang.
III	Getaran dirasakan nyata di dalam rumah, terasa seakan-akan ada truk yang lewat.
IV	Pada siang hari dirasakan oleh banyak orang di dalam rumah, di luar hanya orang tertentu-tertentu saja. Barang pecah-pecah, jendela, pintu gemerincing, dinding berbunyi karena pecah-pecah.
V	Getaran hampir dirasakan oleh semua penduduk. Barang pecah-pecah, jendela dan sebagainya pecah, barang-barang terpelanting, pohon, tiang, dan lain-lain tidak bergoyang. Bandul lonceng dapat berhenti.
VI	Getaran dirasakan semua orang, kebanyakan terkejut dan lari keluar. Plester dinding jatuh dan cerobong asap pabrik rusak. Kerusakan ringan.
VII	Semua orang ke luar rumah, kerusakan ringan pada rumah dan bangunan yang kontruksinya tidak mampu yang baik. cerobong asap pecah atau retak-retak. Getaran dapat dirasakan oleh orang yang naik kendaraan.
VIII	Kerusakan ringan pada bangunan yang kontruksinya baik. Retak-retak pada bangunan yang kuat. Dinding dapat lepas dari kerangka rumah, cerobong asap pabrik dan monumen roboh. Air menjadi keruh.
IX	Kerusakan pada bangunan yang rangkanya kuat, rumah menjadi tidak tegak lagi. Banyak retakan pada bangunan-bangunan yang kontruksinya kuat. Bangunan rumah bergeser dari pondasinya. Pipa di dalam tanah pecah.

X	Bangunan dari kayu yang kuat rusak, rangka rumah lepas dari pondasinya, tanah terbelah, rel melengkung, tanah longsor di tebing dan di tanah yang curam. Terjadi gelombang pasang dan tsunami.
XI	Hancur sama sekali. Gelombang gempa tampak pada permukaan tanah. Pemandangan gelap. Benda-benda terlempar ke udara.

3. Seismisitas Indonesia

Seismisitas merupakan suatu katalog yang memuat persebaran gempa. Banyaknya titik pada peta seismisitas disuatu daerah yang menandakan tingginya nilai seismisitas pada daerah tersebut. Membandingkan pengukuran data gempa bumi untuk daerah satu dengan yang lainnya menghasilkan data aktivitas kegempaan di suatu daerah. Selain itu, hubungan frekuensi dan magnitudo gempa bumi diperoleh hasil distribusi aktivitas gempa bumi (Sabriani, 2017).



Gambar 2.2 Peta Seismisitas Indonesia (Hadimoeljono et al., 2017)

Berdasarkan gambar 2.2, Indonesia merupakan salah satu negara dengan seismisitas tertinggi, yang ditunjukkan dengan adanya gempa-gempa yang melanda Indonesia akhir. Kepulauan Indonesia terbentuk karena adanya proses pergerakan lempeng di mana terjadi perubahan bentuk yang terus diakibatkan karena penunjaman. Adanya tumbukan antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo Australia yang membentuk jalur subduksi disepanjang lepas pantai barat Sumatra, lepas pantai selatan Jawa, lepas pantai selatan Kepulauan Nusa Tenggara, dan berbelok ke arah utara perairan selatan Maluku. Sekitar pulau Papua terjadi karena tumbukkan antara Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik. Interaksi ketiga lempeng tersebut menunjukkan bahwa

Indonesia merupakan salah satu wilayah yang memiliki aktivitas kegempaan tertinggi di dunia (Sabriani, 2017).

Adapun zonasi aktivitas gempa bumi di Indonesia berdasarkan sejarah kekuatan sumber gempa, dapat terbagi menjadi:

- a. Daerah sangat aktif ($M > 8$) sering terjadi di Halmahera dan pantai utara Irania.
- b. Daerah aktif ($7 < M < 8$) sering terjadi di lepas pantai barat Sumatera, kepulauan Sunda dan Sulawesi tengah.
- c. Daerah lipatan dengan atau tanpa retakan ($M < 7$) bisa terjadi di Sumatera, Kepulauan Sunda dan Sulawesi Tengah.
- d. Daerah lipatan dengan atau tanpa retakan ($M < 7$) terjadi di pantai barat Sumatera, Jawa bagian utara dan Kalimantan bagian timur.
- e. Daerah gempa kecil ($M < 5$) terjadi di daerah pantai timur Sumatera dan Kalimantan tengah.
- f. Daerah stabil, tidak ada catatan sejarah gempa yaitu di pantai selatan Irian dan Kalimantan bagian barat (Sabriani, 2017).

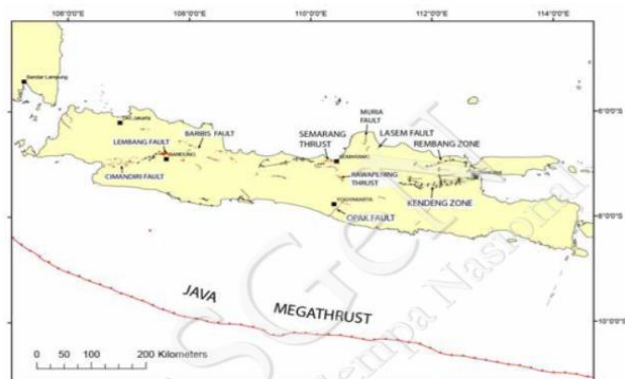
4. Geologi Jawa

Pola Subduksi *frontal* di Jawa bagian selatan yang mengakibatkan pola struktur dan seismisitas Jawa berbeda dengan Sumatra. Zona subduksi Jawa menunjukkan bahwa Jawa memiliki karakteristik lebih tenang dibandingkan dengan Sumatra, hal tersebut dilihat dari hasil rekaman seismisitas di Jawa. Tidak dipungkiri bahwasanya di Jawa juga pernah terjadi gempa bumi besar bahkan tsunami antara lain gempa $M_w = 7,8$ di Jawa Timur pada tahun 1994 dan $M_w = 7,8$ di Pangandaran pada tahun 2006 (Hadimoeljono et al., 2017).

Selain dikarenakan pulau Jawa berada di zona subduksi, sering terjadi gempa bumi dangkal yang bersumber di daratan sehingga menimbulkan dampak yang cukup merusak, kejadian tersebut sering terjadi dalam kurung waktu beberapa tahun terakhir. Hasil dari rekaman tahun tahun sebelumnya disepanjang zona subduksi Jawa tidak ada gempa bumi mencapai $M_w = 8$. Pergerakan relatif lempeng di zona subduksi Jawa terjadi tanpa adanya penumpukan energi melainkan dikarenakan adanya pergerakan aseismik.

Kegempaan zona subduksi pulau Jawa yang ditinjau dari frekuensi dan magnitudo memiliki nilai

kegempaan lebih rendah dari pada zona subduksi Sumatra. Di sepanjang subduksi Jawa tidak terdapat rekaman adanya gempa bumi yang mencapai Mw 8 SR namun tidak dipungkiri juga pernah terjadi adanya tsunami skala kecil pada tahun 1994 dan 2006. Salah satu hipotesis yang menjelaskan adanya *plate* yang menunjam di Jawa lebih tua ($120 - 130 M_a$) sehingga lebih dingin dan berat, terjadi perubahan sudut penunjaman yang lebih besar mengakibatkan Lempeng Samudra yang menunjam tidak bersinggungan secara kuat dengan Lempeng Eurasia di atasnya. Adanya *locked patches* yang terisolasi di daerah batasan lempeng yang dapat mengakibatkan adanya gempa bumi dengan magnitudo besar (Hadimoeljono et al., 2017).



Gambar 2.3 Peta sesar aktif di Jawa (Hadimoeljono et al., 2017)

Menurut Hadimoeljono et al (2017), adanya beberapa sesar aktif di Jawa menjadikan pulau Jawa sering terjadinya gempa bumi. Beberapa sesar tersebut yaitu sesar geser dan sesar naik dengan sesar turun sebagai struktur minor. Berikut beberapa sesar aktif di Jawa antara lain:

- a. Sesar Cimandiri, membentuk gawir sepanjang 100 Km berarah NE-SW dari Padalarang hingga Pelabuhan Ratu di Jawa Barat. Terdapat gempa bumi yang cukup besar di zona sesar ini antara lain pada tahun 1982 M 5,5, pada tahun 2000 M 5,4 dan M 5,1 (Supartoyo dkk., 2000; Hadimoeljono et al., 2017) termasuk gempa bumi dengan intensitas MMI VII yang terjadi pada tahun 1900 (Visser, 1992; Hadimoeljono et al., 2017). *Slip rate geodetic* sesar Cimandiri diperkirakan cukup kecil berkisar antara 0,4 – 1 mm/tahun (Sawitri, 2016; Hadimoeljono et al., 2017). Sesar aktif dari zona sesar Cimandiri terdiri dari 6 segmen yaitu segmen Loji, Cidadap, Nyalindung, Cibeber, Saguling, dan Padalarang. Mekanismenya dominan sesar naik dengan komponen mengiri.
- b. Sesar Lembang, membentuk gawir memanjang barat - timur terletak di utara Kota Bandung di

Jawa Barat. Sesar Lembang merupakan terusan dari ujung utara sesar Cimandiri, gempa bumi yang pernah terjadi pada tahun 1699, 1834, dan 1900. Berdasarkan studi geodesi (Abidin dkk., 2008, 2009; Hadimoeljono et al., 2017) memperkirakan *slip rate* sesar Lembang sebesar $14 - 3 \text{ mm/tahun}$ dengan pergerakan geser sinistral. Sesar Lembang dibagi menjadi enam bagian yaitu Cimeta, Cipogor, Cihideng, Gunung Batu, Cikapundang, dan Batu Lenceng.

- c. Sesar Baribis, berbentuk memanjang dari Majalengka sampai Subang yang merupakan ujung utara dari imbrikasi belakang busur di Jawa Barat. Sesar Baribis diidentifikasi sebagai sesar naik.
- d. Sesar Semarang, dengan adanya batuan berumur Holosen yang terpotong sehingga memberikan kenampakan morfologi gawir sesar naik, selain itu dari data bawah permukaan (seismik refleksi dan profil hasil survey resistivity) menunjukkan adanya struktur anjakan (sesar naik) yang memotong hingga dekat permukaan, hal tersebut menunjukkan bahwa sesar Semarang merupakan sesar aktif. Gempa bumi yang bersumber di daratan terjadi pada 19 Januari 1856 dengan

kekuatan VI – VII MMI menyebabkan kerusakan pada bangunan, dan memungkinkan faktor keaktifan sesar Semarang yang menjadi penyebab terjadinya gempa bumi.

- e. Sesar Kendeng, merupakan sesar yang memanjang mengarah barat timur dari Jawa Tengah hingga bagian barat Jawa Timur. Sesar Kendeng merupakan kumpulan dari sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan, dibagian barat terlihat menyambung dengan sistem sesar Semarang dan Baribis. Gempa bumi dengan $M 4 - 5$ pernah terjadi di sepanjang zona sesar Kendeng dalam beberapa tahun terakhir.
- f. Sesar Opak, membentuk gawir memanjang berarah barat daya – timur laut yang kemudian membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik Batur Agung yang sudah tidak aktif lagi. Sesar Opak menjadi faktor terjadinya gempa bumi di Yogyakarta pada tahun 2006.
- g. Sesar Pasuruan, membentuk adanya gawir sesar yang memanjang berarah barat timur sepanjang 13 Km. Indikasi pergerakan sesar turun ditemukan dan telah dipetakan disepanjang sesar Pasuruan. Pergerakan aktif juga ditemukan

sebanyak minimal enam kali dalam waktu 4.000 tahun terakhir.

- h. Sesar Probolinggo, dengan adanya kenampakan gawir sesar yang memanjang berarah timur laut – barat daya. Morfologi dari gawir sesar ini mengindikasikan pergerakan mendatar.
- i. Sesar Lasem, terdapat lipatan memanjang berarah timur laut – barat daya. Gempa pada tahun 1880 sebesar M 6,8 berasosiasi terjadi di sekitar zona sesar ini. Sesar Lasem terlihat merupakan sesar naik.

5. Metode Seismik Gutenberg-Ritcher dan Entropi Tsallis

a. Metode Gutenberg-Richter

Menurut Vallianatos et al (2013), Hukum Gutenberg-Richter merupakan suatu distribusi besaran gempa yang dapat tergambaran dengan adanya hubungan kekuasaan atas berbagai besaran magnitudo gempa, dirumuskan dengan persamaan:

$$\log N(M) = a - bM \quad (2.6)$$

Dimana, $N(M)$ merupakan jumlah gempa bumi pada suatu wilayah dengan magnitudo M , a

adalah aktivitas seismik, dan b tingkat kerapuhan batuan.

Karakteristik kegempaan di suatu daerah diperlukan adanya relasi Gutenberg-Richter, dimana untuk mencari b -value menggunakan estimasi maksimum *likelihood*. Estimasi maksimum *likelihood* memiliki keunggulan untuk menghitung secara statistik nilai parameter keaktifan gempa bumi agar dapat meminimal kekosongan magnitudo pada interval tertentu, sehingga dapat memberikan hasil akhir yang stabil (Ernandi & Mudlazim, 2020).

Perhitungan b -value menggunakan persamaan:

$$b = \frac{1}{\bar{M} - M_0} \log e \quad (2.7)$$

Menentukan perhitungan nilai a -value dapat menggunakan persamaan:

$$a = \log N(M \geq M_0) + \log (b \ln 10) + M_0 \hat{b} \quad (2.8)$$

Dengan, $\bar{M}$ adalah magnitudo rata-rata, $\hat{b}$ estimasi tingkat kerapuhan, M_0 magnitudo terkecil dari sampel data yang diberikan, N jumlah gempa bumi, dan $\log e$ bilangan euler (0,4343). Menurut Putri (2018), M_0 didefinisikan sebagai magnitudo minimum dari 100% gempa yang terjadi pada suatu daerah dan direkam oleh stasiun gempa

bumi. M_0 memiliki dampak pada kelengkapan, konsistensi, dan keseragaman data gempa disuatu katalog gempa bumi.

Konstanta *a-value* menunjukkan aktivitas seismik, sedangkan *b-value* menunjukkan tingkat kerapuhan batuan. *b-value* disuatu wilayah bergantung pada karakteristik tektonik dan tingkat stress di wilayah tersebut. Apabila pada wilayah dengan *b-value* rendah, maka *a-value* juga rendah dan bisa dikategorikan wilayah tersebut lebih berpotensi terjadinya gempa bumi. Sebaliknya apabila *a-value* dan *b-value* tinggi maka berpotensi terjadinya gempa bumi dengan kekuatan yang rendah. *b-value* dapat menunjukkan jumlah relatif gempa bumi kecil hingga besar, sehingga dapat diartikan apabila *b-value* tinggi maka akan berkorelasi dengan *a-value* tinggi karena stress dilepaskan melalui penjaralan gelombang seismik. Apabila *b-value* rendah maka akan berkorelasi dengan *a-value* rendah karena adanya akumulasi stress yang masi disimpan dan dapat dilepaskan dengan magnitudo yang besar sewaktu-waktu (Wahyuni et al., 2020).

Kemiringan distribusi frekuensi magnitudo yang dapat menggambarkan distribusi kejadian gempa disimbolkan dengan *b-value*. Ketentuan tinggi rendahnya *a-value* dan *b-value* disuatu wilayah dapat dilihat pada table 2.3 dan table 2.4 (Lusiani et al., 2019):

Tabel 2.3 Interpretasi *b-value*

<i>b-value</i>	Keterangan
$0,4 \geq b - value$ $< 0,7$ (<i>rendah</i>)	1. Daerah ini merupakan daerah <i>asperities</i> yaitu daerah yang memiliki konsentrasi stress tinggi. Memiliki frekuensi rata-rata kejadian gempa yang kecil unruk magnitudo kecil. 2. Daya tahan batuan terhadap stress besar, menyimpan lokal stress yang cukup tinggi atau sedangberlangsung akumulasi stress dan berpotensi terjadi gempa bumi besar yang akan dating. 3. Bersifat <i>ductile</i> (apabila sudah mencapai batas elastis maka tidak ada lagi perubahan bentuk) hingga akhirnya patah. 4. Memiliki gempa bumi yang cukup besar dan berpotensi merusak ≥ 6.
$b - value$ $\geq 0,7$ (<i>tinggi</i>)	1. Daerah ini merupakan daerah <i>creeping</i> yaitu daerah yang memiliki

- konsentrasi stress rendah. Memiliki frekuensi rata-rata kejadian gempa yang besar untuk magnitudo kecil.
2. Daya tahan batuan terhadap stress kecil, tidak sedang berlangsung akumulasi stress sehingga apabila terdapat sedikit stress langsung terjadi gempa bumi dengan magnitudo kecil.
 3. Bersifat rapuh (apabila mendapat stress langsung patah tanpa perubahan bentuk).

Tabel 2.4 Interpretasi *a-value*

<i>a-value</i>	Keterangan
<i>a – value</i> < 6 (<i>rendah</i>)	Wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang rendah dan juga berpeluang terjadi gempa bumi besar. Hal ini dikarenakan kondisi stress lokal yang tinggi pada daerah tersebut dan adanya akumulasi energi (<i>asperity</i>).
<i>a – value</i> ≥ 6 (<i>tinggi</i>)	<i>a-value</i> yang besar menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi dan tidak terjadi akumulasi energi, sehingga gempa yang terjadi banyak dan berkekuatan kecil.

b. Entropi Tsallis

Menurut Telesca & Chen (2010), mekanisme pemicu gempa bumi diberikan oleh interaksi ketidakaturan bidang fragmen, yang berasal dari kerusakan lokal lempeng tektonik dimana kesalahan dihasilkan. Model ini menjelaskan posisi relatif dari fragmen yang mengisi ruang antara bidang patahan yang tidak beraturan sehingga berkontribusi penghambatan gerakan relatif. Stress akan meningkat sampai perpindahan salah satu asperitas. Dikarenakan adanya perpindahan fragmen penghalang atau bahkan kerusakannya pada titik dimana fragmen menyebabkan perpindahan relatif dari bidang patahan dengan urutan ukuran dari fragmen penghalang yang menghasilkan pembebasan energi.

Statistik nonekstensif merupakan solusi yang cocok untuk menggambarkan fungsi distribusi volumetrik dari fragmen, dengan menerapkan prinsip entropi maksimum untuk entropi Tsallis.

$$S_q = \frac{\int P^q(\sigma)(P(\sigma)^{1-q}-1)d\sigma}{q-1} \quad (2.9)$$

Dengan, $P(\sigma)$ probabilitas fragmen permukaan, dan q bilangan real.

Distribusi bilangan N gempa bumi yang besarnya magnitudo lebih dari ambang M maka dilakukan normalisasi ke jumlah peristiwa gempa bumi yang ada, menggunakan persamaan :

$$\log(N(> m)) = \log N + \left(\frac{(2-q)}{1-q} \right) \log \left[1 + a(q-1)(2-q)^{(1-q)/(q-2)} 10^{2m} \right] \quad (2.10)$$

Hasil menggabungkan karakteristik nonekstensif ke dalam distribusi gempa bumi dengan besaran magnitudo. q -value merupakan ukuran kuantitatif dari skala panjang interaksi spasial, dimana $q - value \sim 1$ dapat menunjukkan spasial jarak pendek kolerasi. Apabila q -value meningkat, maka keadaan fisik menjadi banyak yang tidak setabil sehingga mengakibatkan adanya kemungkinan gempa bumi yang lebih banyak (Telesca & Chen, 2010).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

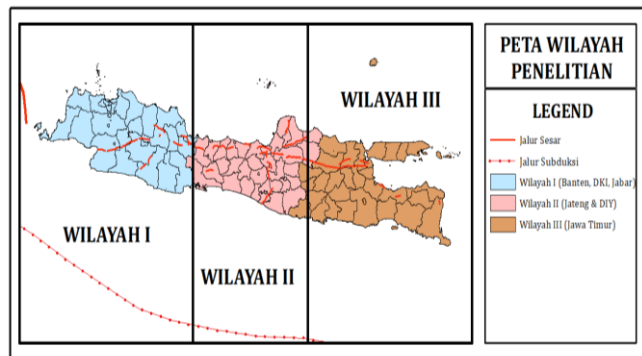
A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif, dengan menggunakan data sekunder gempa bumi di pulau Jawa dari situs *United States Geological Survey* (USGS) <https://earthquake.usgs.gov/>.

B. Objek dan Waktu Penelitian

1. Objek Penelitian (buat grid pembagian penelitian)

Penelitian ini dilakukan di pulau Jawa, untuk lebih jelasnya terdapat pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1 Peta Wilayah Penelitian

2. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang, terhitung mulai tanggal 01 Juli 2021 – tanggal 31 Desember 2021.

C. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa:

- a. Satu unit Laptop Asus X441U edisi Windows 10 Pro dan sistem operasi 62-bit yang dilengkapi dengan :

- 1) *Software Microsoft Excel 2010*, untuk mengkonversi skala magnitudo data gempa bumi menjadi M_W dan pengolahan data untuk mendapatkan *a-value* *b-value* dan *q-value*.
- 2) *Software QGIS 3.14*, untuk pembuatan peta sebaran episenter gempa bumi di Jawa periode 2000 - 2020.

2. Bahan

Bahan yang digunakan adalah data sekunder gempa bumi di pulau Jawa yang didapatkan dari situs *United States Geological Survey* (USGS)

<https://earthquake.usgs.gov/>. Data dalam bentuk excel format .csv yang terdiri dari waktu kejadian gempa bumi, latitude, longitude, kedalaman, magnitudo, dan lokasi gempa bumi.

D. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah data sekunder gempa bumi di pulau Jawa periode 2000 - 2020. Spesifikasi data gempa bumi setiap wilayah penelitian :

a. Wilayah I

- 1) Data yang digunakan tercatat mulai tanggal 01 Januari 2000 pukul 00:00:00 - 31 Desember 2020 pukul 23:59:00.
- 2) Magnitudo minimum 2,5 dan magnitudo maksimum 10.
- 3) Geografi regional dengan latitude (-5,375 ; -9,492) dan longitude (104,985 ; 108,506).
- 4) Kedalaman minimum 0 Km dan kedalaman maksimum 60 Km atau bisa dikategorikan kedalam gempa bumi dangkal.

b. Wilayah II

- 1) Data yang digunakan tercatat mulai tanggal 01 Januari 2000 pukul 00:00:00 - 31 Desember 2020 pukul 23:59:00.
- 2) Magnitudo minimum 2,5 dan magnitudo maksimum 10.
- 3) Geografi regional dengan latitude (-5,375 ; -9,492) dan longitude (108,506 ; 111, 775).
- 4) Kedalaman minimum 0 *Km* dan kedalaman maksimum 60 *Km* atau bisa dikategorikan kedalam gempa bumi dangkal.

c. Wilayah III

- 1) Data yang digunakan tercatat mulai tanggal 01 Januari 2000 pukul 00:00:00 - 31 Desember 2020 pukul 23:59:00.
- 2) Magnitudo minimum 2,5 dan magnitudo maksimum 10.
- 3) Geografi regional dengan latitude (-5.375 ; -5.375) dan longitude (111,775 ; 114,456).
- 4) Kedalaman minimum 0 *Km* dan kedalaman maksimum 60 *Km* atau bisa dikategorikan kedalam gempa bumi dangkal.

Tabel 3.1 Format data *United States Geological Survey* (USGS)

Waktu	Lat	Long	Depth (Km)	Mag (SR)	Lok
-------	-----	------	---------------	-------------	-----

Keterangan :

Lat : Bujur (°)

Long : Lintang (°)

Waktu : Tanggal/Bulan/Tahun/Jam/Menit/Detik

Mag : Magnitudo (SR)

Depth : Kedalaman (Km)

Lok : Lokasi terjadinya gempa bumi

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah *b-value* dan *a-value* yang didapatkan dari metode Gutenberg-Richter, selanjutnya *q-value* yang didapatkan dari entropi Tsallis.

E. Teknis Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data sekunder gempa bumi di pulau Jawa, terdapat beberapa langkah antara lain:

1. Membuka situs *United States Geological Survey* (USGS) <https://earthquake.usgs.gov/>.

2. Masukan ketentuan data gempa bumi yang akan digunakan, seperti waktu, magnitudo, kedalaman.
3. Membuat geografi regional dengan cara mengambil plot peta pulau Jawa.
4. Klik search dan download, selanjutnya pilih format .csv.
5. Data yang didapatkan seperti pada table 3.1.

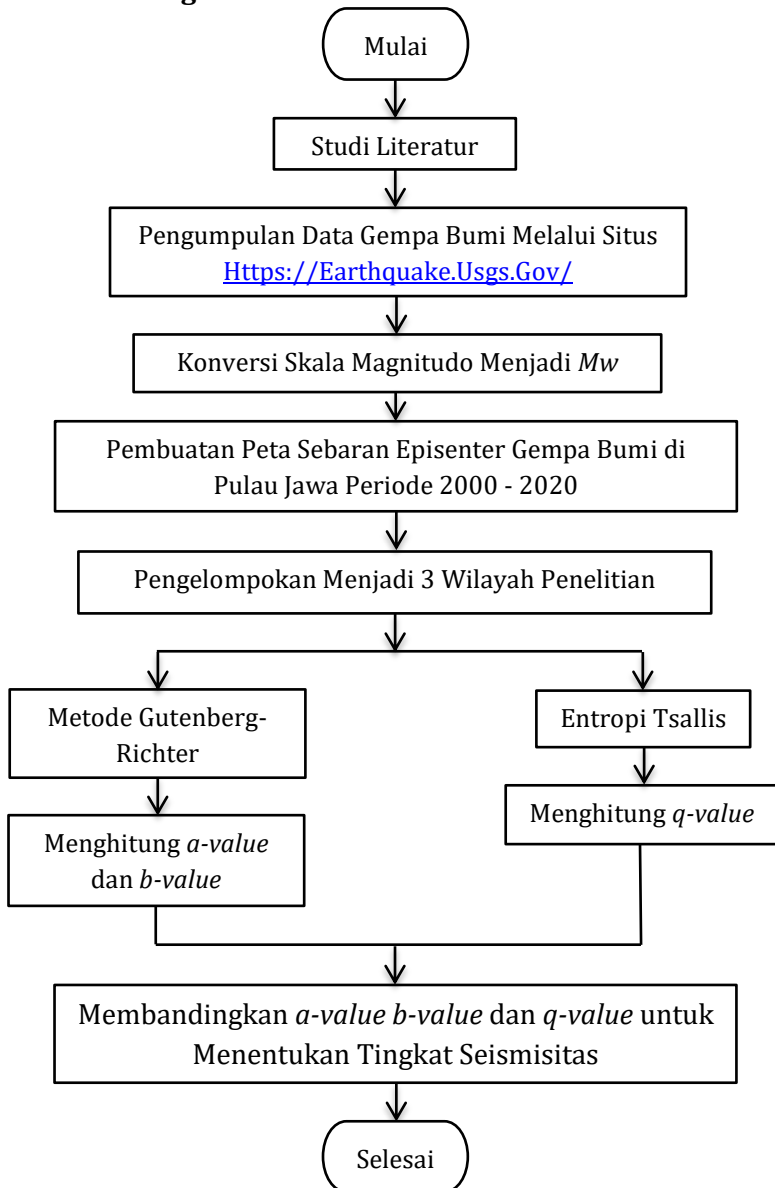
F. Teknis Pengolahan Data

Setelah didapatkan data sekunder gempa bumi dalam format .csv pengolahan data gempa bumi terdiri dari beberapa langkah yaitu:

1. Data sekunder gempa bumi yang didapatkan memiliki tipe magnitudo berbeda-beda sehingga harus disamakan terlebih dahulu dengan cara konversi skala magnitudo menjadi M_W menggunakan Microsoft Excel 2010, persamaan yang digunakan seperti pada 2.1 – 2.5.
2. Menggunakan software QGIS 3.14, data sekunder gempa bumi kemudian di olah agar didapatkan peta sebaran episenter di pulau Jawa tahun 2000 – 2020. Pembagian dilakukan menjadi tiga wilayah untuk mempermudah dalam menentukan tingkat seismisitas.

3. Mencari *a-value* dan *b-value* menggunakan metode Gutenberg-Richter dengan persamaan 2.6 dan 2.7, selanjutnya menentukan tingkat seismisitas yang diklasifikasikan sesuai dengan tabel 2.3 dan 2.4.
4. Mencari *q-value* menggunakan Entropi Tsallis seperti persamaan 2.10, selanjutnya menentukan nilai tingkat seismisitas sesuai dengan tinggi rendahnya *q-value*.
5. Membandingkan hasil tingkat seismisitas dengan menggunakan Metode Gutenberg-Richter dan Entropi Tsallis.

G. Kerangka Berfikir



Gambar 3.2 Kerangka Berfikir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Data sekunder gempa bumi yang didapatkan dari situs *United States Geological Survey* (USGS) sebanyak 1.249 gempa bumi, besar magnitudo 0 – 10 SR di kedalaman 0 – 60 K_m dalam rentang waktu 20 tahun terhitung mulai 01 Januari 2000 pukul 00:00 – 31 Desember pukul 23:59. Sampel data gempa bumi di pulau Jawa periode 2000 – 2020 dapat dilihat dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Sampel Data Gempa Bumi di Pulau Jawa Periode 2000 – 2020

Waktu (UTC+07:00)	Lat	Long	Depth (Km)	Mag (SR)
2000-10-25 09:32:23	-6,549	105,63	38	6,8 (VI MMI)
2001-3-12 23:35:08	-7,206	106,116	33	5,8 (V MMI)
2002-04-29 02:43:47	-6,919	108,78	33	5,2
2003-03-21 11:38:20	-6.983	108,468	33	5,4 (IV MMI)
2004-04-31 04:20:58	-7,967	107,689	55.6	5.3
2005-02-02 05:55:18	-7,037	107,819	15	5.5 (IV MMI)
2006-05-26 22:53:58	-7,961	110,446	12,5	6.3 (VIII - IX MMI)
2007-09-09 18:36:37	-7,783	114,338	35	4,9 (IV MMI)

2008-11-05 17:11:26	-8,382	113,11	35	5,09
2009-09-02 07:55:01	-7,782	107,297	46	7 (VII MMI)
2010-08-21 11:41:38	-8,004	110,449	22,3	5,4 (VI MMI)
2011-03-23 00:07:32	-9,390	114,019	52,6	4,8 (III MMI)
2012-04-10 09:18:51	-8,274	107,85	38,4	5,5 (III MMI)
2013-07-08 02:13:40	-8,803	113,002	60	5,7 (IV MMI)
2014-06-04 10:59:38	-8,610	109,3076	35	5,5 (III MMI)
2015-03-22 18:05:12	-6,9858	109,056	10	5,4 (VI MMI)
2016-01-30 14:43:21	-8,0791	105,868	37,24	5,2 (I MMI)
2017-09-25 07:16:24	-8,4217	107,0077	33,74	5,4 (II MMI)
2018-10-10 18:44:55	-7,4525	114,4553	9	6 (IV – V MMI)
2019-12-09 03:47:26	-8,8985	110,0984	35	5,5 (IV MMI)
2020-03-10 10:18:04	-6,7852	106,6813	10	5.63 (VIII MMI)

Keterangan :

Lat : Bujur (°)

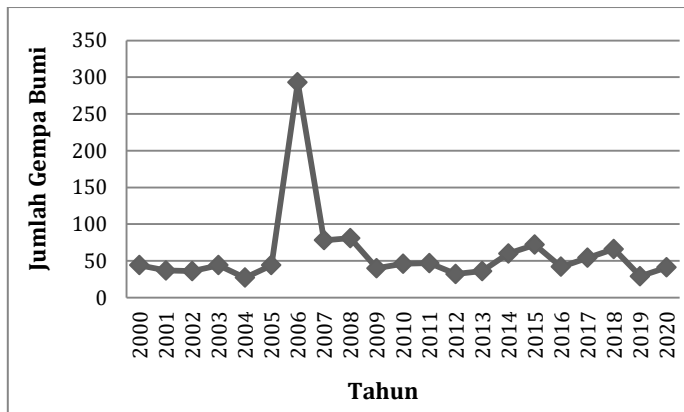
Long : Lintang (°)

Waktu : Tanggal/Bulan/Tahun/Jam/Menit/Detik

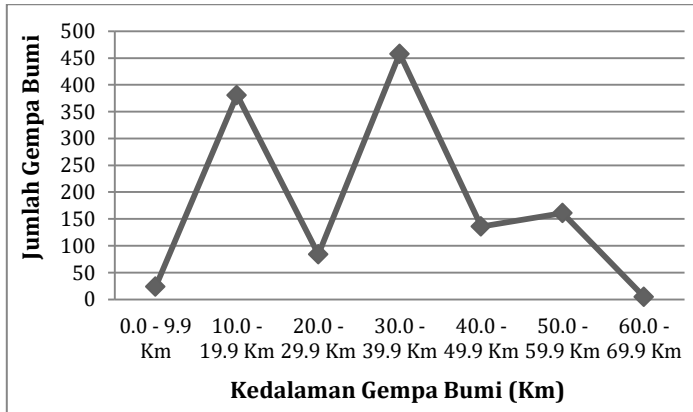
Mag : Magnitudo (SR)

Depth : Kedalaman (Km)

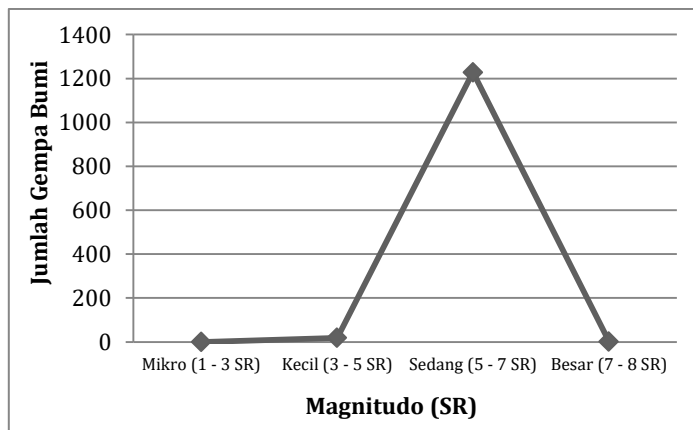
Banyaknya gempa bumi yang terjadi pertahun dapat dilihat pada Gambar 4.1. Gempa bumi di pulau Jawa banyak terjadi pada tahun 2006 dengan 293 gempa bumi, sedangkan terendah terjadi pada tahun 2004 dengan 27 gempa bumi. Adapun banyaknya gempa bumi berdasarkan klasifikasi kedalaman dapat dilihat pada Gambar 4.2, dimana gempa bumi terbanyak pada kedalaman 30,0 – 39,9 Km dengan jumlah 458 kejadian, sedangkan gempa bumi terendah pada kedalaman 60,0 – 69,9 Km dengan 5 kejadian. Gambar 4.3 merupakan grafik klasifikasi banyaknya gempa bumi berdasarkan magnitudo, pada magnitudo 5 - 7 memiliki gempa bumi terbanyak yaitu 1.228 kejadian.



Gambar 4.1 Grafik Gempa Bumi di Pulau Jawa
Periode 2000 – 2020



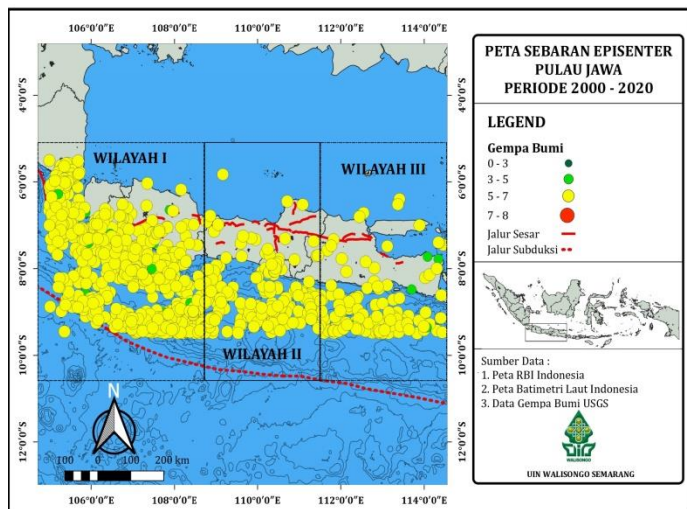
Gambar 4.2 Grafik Klasifikasi Gempa Bumi di Pulau Jawa Periode 2000 – 2020 Berdasarkan Kedalaman Gempa Bumi



Gambar 4.3. Grafik Klasifikasi Gempa Bumi di Pulau Jawa Periode 2000 – 2020 Berdasarkan Besar Magnitudo

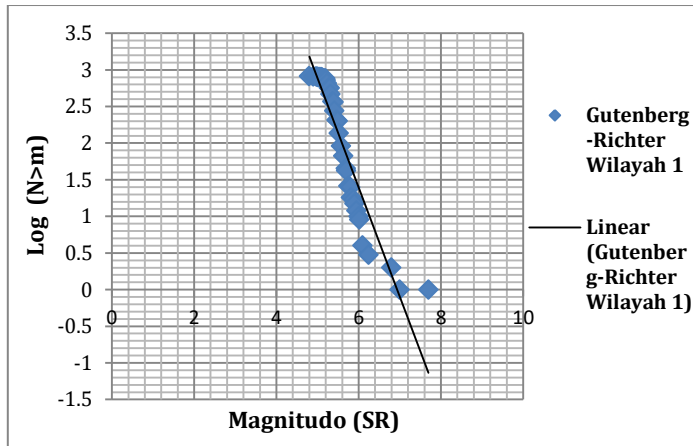
Data gempa bumi selanjutnya diolah menggunakan *software QGIS 3.14* didapatkan peta sebaran episenter pulau Jawa periode 2000 – 2020 berdasarkan magnitudo

gempa bumi seperti pada Gambar 4.4. Pulau Jawa yang dibagi menjadi tiga wilayah penelitian dengan tujuan agar didapatkan hasil yang lebih akurat guna menentukan tingkat seismisitas. Gempa bumi terbanyak terjadi di Wilayah 1 dengan jumlah 821 gempa bumi, disusul wilayah 2 dengan jumlah 285 gempa bumi, dan yang terakhir wilayah 3 dengan 143 gempa bumi. Peta didominasi oleh warna kuning karena data yang diperoleh terdapat magnitudo gempa bumi 5 – 7 SR sebanyak 1.228 kejadian.

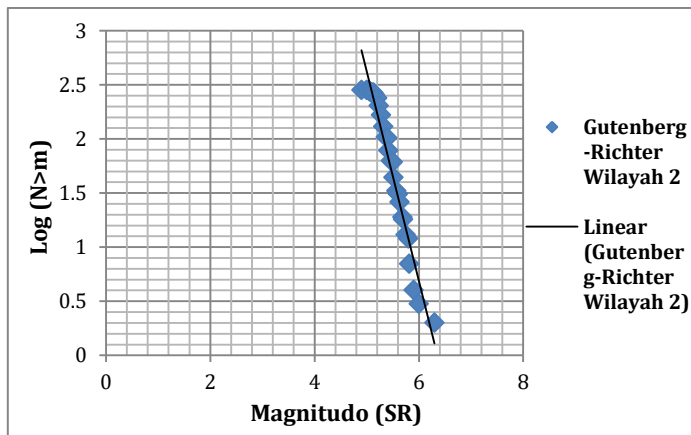


Gambar 4.4 Peta Sebaran Episentris Pulau Jawa
Periode 2000 – 2020

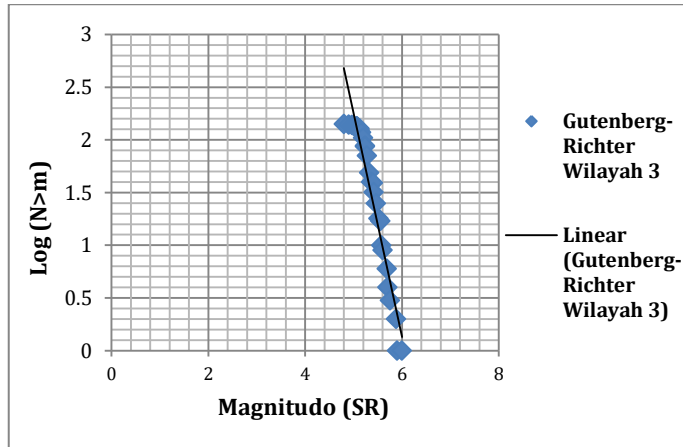
Pengolahan data menggunakan metode Gutenberg-Richter didapatkan bentuk grafik hubungan antara magnitudo dan frekuensi seperti Gambar 4.5.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Jumlah Kejadian Gempa dengan Magnitudo (a) Wilayah 1, (b) Wilayah 2, (c) Wilayah 3

Berdasarkan grafik hubungan antara magnitudo dan frekuensi gempa bumi didapatkan juga nilai magnitudo minimum (M_0), data yang didapatkan 100% gempa yang terjadi di suatu daerah dengan periode tertentu yang telah terdeteksi oleh stasiun gempa. Nilai M_0 di setiap wilayah penelitian dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Magnitudo Minimum Wilayah Penelitian

Wilayah Penelitian	M_0
Wilayah 1	4,8
Wilayah 2	4,9
Wilayah 3	4,8

Metode Gutenberg-Richter dengan estimasi maksimum *likelihood* digunakan agar didapatkan parameter *a-value* (tingkat seismik) dan *b-value* (tingkat kerapuhan batuan). Nilai dari masing-masing parameter didapatkan dari persamaan 2.7 dan 2.8, yang selanjutnya ditetapkan sebagai ketentuan dalam menentukan tingkat seismisitas.

Tabel 4.3 *b-value* dan *a-value* Di Setiap Wilayah Penelitian

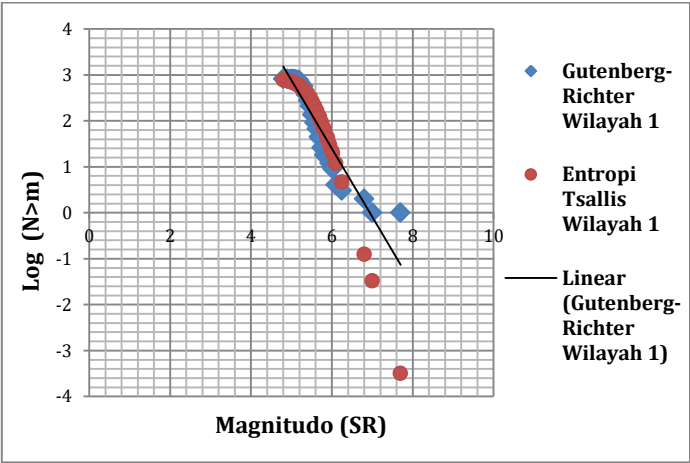
Wilayah Penelitian	<i>b-value</i>	<i>a-value</i>
Wilayah 1	1,671481603	11,52277214
Wilayah 2	1,707283252	11,41505404
Wilayah 3	1,670520395	10,7589014

Metode entropi Tsallis digunakan untuk memenuhi penyelesaian pada magnitudo kecil yang tidak bisa dijelaskan oleh metode Gutenberg-Richter. Tingkat Seismisitas entropi Tsallis terdiri atas parameter *q-value* dan *a-value* yang didapatkan dari persamaan 2.10. Pengolahan *curve fitting* dilakukan agar diperoleh *q-value* dan *a-value* yang berhimpit dengan grafik metode Gutenberg-Richter. Berikut hasil dari *curve fitting* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

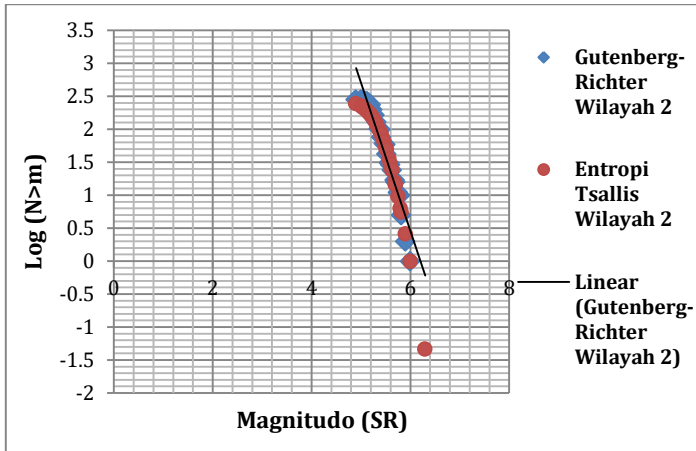
Tabel 4.4 *q-value* dan *a-value* Di Setiap Wilayah Penelitian

Wilayah Penelitian	<i>q-value</i>	<i>a-value</i>
Wilayah 1	1,41	4×10^{-11}
Wilayah 2	1,3	4×10^{-11}
Wilayah 3	1,25	4×10^{-11}

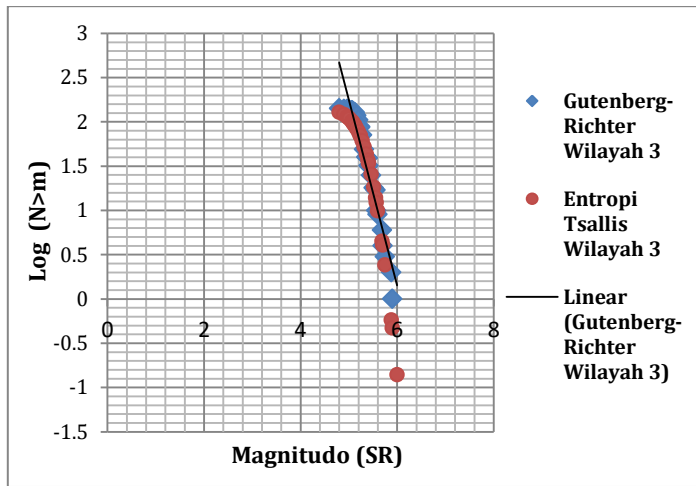
Parameter *q-value* dan *a-value* yang sudah didapatkan selanjutnya di plot sehingga didapatkan hasil grafik hubungan antara metode Gutenberg-Richter dengan Entropi Tsallis yang berhimpit di setiap wilayah penelitian.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Metode Gutenberg-Richter dan Entropi Tsallis (a) Wilayah 1, (b) Wilayah 2, (c) Wilayah 3

B. Pembahasan

1. Sebaran gempa bumi di Pulau Jawa

Berdasarkan data gempa bumi periode 2000 – 2020 dengan peta sebaran gempa bumi (Gambar 4.4) terlihat bahwa gempa bumi yang sering terjadi didominasi oleh gempa bumi dangkal dengan magnitudo 5 – 7 *SR*. Menurut Hadimoeljono et al (2017), banyaknya gempa bumi di pulau Jawa yang terjadi sebagian besar bersumber di jalur subduksi dan sesar aktif di daratan, selain itu pola subduksi di Jawa menunjukkan lebih tenang dibandingkan dengan Sumatra yang ditandai dengan gempa bumi dengan magnitudo yang lebih kecil. Adanya gempa bumi dengan magnitudo 5 – 7 *SR* yang signifikan seperti pada tanggal 27 Mei 2006 magnitudo 6,5 dengan besar skala MMI VIII – IX yang menjadikan faktor banyak terjadinya gempa bumi susulan yang terus menerus terjadi.

2. Tingkat Seismisitas Menggunakan Metode Gutenberg-Richter

Menurut Ngadmanto (2010), distribusi frekuensi - magnitudo menggambarkan distribusi katalog gempa bumi antara hubungan magnitudo dan jumlah gempa bumi yang sudah terjadi. M_0 , a -value

dan *b-value* merupakan parameter penting dari metode Gutenberg-Richter. Tabel 4.2 tercantum nilai M_0 di tiga wilayah penelitian, dan dapat diasumsikan bahwa katalog USGS merekam dengan baik gempa bumi terkecil di setiap wilayah penelitian. M_0 juga ditandai dengan adanya grafik yang menurun (Gambar 4.6), sedangkan kemiringan grafik merupakan distribusi kejadian gempa bumi yang disimbolkan dengan *b-value*.

Tabel 4.3 merupakan hasil pengolahan data *b-value* dan *a-value* yang digunakan untuk mencari tingkat seismisitas di Pulau Jawa. *b-value* pada setiap wilayah penelitian besarnya relatif tinggi karena *b-value* mencapai lebih dari 0,7. Hal tersebut dapat diasumsikan bahwa pulau Jawa memiliki konsentrasi stress yang rendah, namun memiliki frekuensi rata-rata gempa bumi besar dengan besar magnitudo kecil. *a-value* di setiap wilayah penelitian dikategorikan tinggi karna *a-value* mencapai lebih dari 6, dan dapat diasumsikan bahwa di pulau Jawa memiliki aktivitas seismik yang tinggi dan umumnya banyak terjadi gempa bumi berkekuatan kecil.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh Linda et al (2019) akan digunakan untuk

membandingkan dan menjelaskan bahwa nilai parameter seismisitas adalah konstan, nilai sekitar satu. Perbedaan nilai disebabkan oleh perbedaan data dan metode perhitungan yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai parameter seismisitas tertinggi berada di zona 5 yaitu wilayah DKI Jakarta, Banten dan sekitarnya dengan $a\text{-value} = 1,18$. Sedangkan dalam penelitian ini didapatkan bahwasanya wilayah 1 terdiri dari Provinsi Banten, Jawa Barat dan DKI Jakarta memiliki tingkat seismisitas yang sama tingginya seperti penelitian sebelumnya, dilihat dari banyaknya terjadi gempa bumi yang signifikan, memiliki jumlah gempa bumi terbanyak, dan menggunakan metode Gutenberg-Richter didapatkan $b\text{-value} = 1,671481603$ $a\text{-value} = 11,52277214$ paling tinggi diantara wilayah penelitian yang lainnya.

3. Tingkat Seismisitas Menggunakan Entropi Tsallis

Entropi Tsallis digunakan untuk melengkapi pengamatan dalam berbagai energi dimana fungsi distribusi lainnya gagal atau terjadi pada saat magnitudo kecil, sehingga dengan adanya entropi Tsallis dapat memperkuat hasil analisis dari metode Gutenberg-Richter. Parameter pada entropi Tsallis

yaitu *q-value* dan *a-value*, nilai dihasilkan dari pengolahan persamaan 2.10, selanjutnya dilakukan *curve fitting* sampai menghasilkan bentuk grafik yang berhimpit dengan grafik metode Gutenberg-Richter.

Menurut penelitian yang sudah dilakukan oleh Telesca & Chen (2010), *q-value* merupakan ukuran kuantitatif dari skala panjang interaksi spasial $q - value \sim 1$. Apabila *q-value* meningkat, maka keadaan fisik permukaan bumi menjadi banyak yang tidak setabil sehingga mengakibatkan kemungkinan gempa bumi yang lebih banyak. $q - value \sim 1$ didapatkan pada setiap wilayah penelitian, sedangkan *a-value* didapatkan dari rentang angka dibeberapa penelitian yang sudah dilakukan.

Tingkat seismisitas dengan entropi Tsallis dapat ditentukan dengan membandingkan hasil pengolahan data *q-value* dan *a-value* di setiap wilayah penelitian. Berdasarkan Tabel 4.4, nilai yang paling tinggi dimiliki oleh wilayah 1 dimana *q-value* =1,41 dan *a-value* = 4×10^{-11} .

4. Perbandingan Hasil Metode Gutenberg-Richter dan Entropi Tsallis

Perbandingan hasil dari kedua metode dilakukan agar didapatkan ketelitian dimana wilayah

penelitian yang memiliki tingkat seismisitas paling tinggi. Hasil kedua metode menunjukkan bahwa wilayah 1 (provinsi Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat) memiliki tingkat seismisitas paling tinggi. Menggunakan metode Gutenberg-Richter didapatkan yaitu pada wilayah 1 dimana $a\text{-value} = 11,52277214$ dan $b\text{-value} = 1,671481603$ yang dapat diklasifikasikan bahwa di wilayah 1 memiliki konsentrasi stress yang rendah, namun memiliki frekuensi rata-rata gempa bumi besar dengan besar magnitudo kecil, selain itu juga memiliki aktivitas seismik yang tinggi dan umumnya banyak terjadi gempa bumi berkekuatan kecil. Selanjutnya dengan entropi Tsallis didapatkan $q\text{-value} = 1,41$ dan $a\text{-value} = 4 \times 10^{-11}$, sehingga dapat diklasifikasikan bahwa peluang adanya gempa bumi di wilayah 1 semakin banyak karena dilihat dari $q\text{-value}$ yang memenuhi ketentuan yaitu $q\text{-value} \sim 1$. Faktor lainnya dilihat dari banyaknya gempa bumi yang terjadi dalam rentang waktu 20 tahun di wilayah 1.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil peta sebaran episenter gempa bumi di pulau Jawa periode 2000 – 2020 didominasi oleh warna kuning dengan klasifikasi besar magnitudo 5-6 SR dari 1.214 kejadian gempa bumi.
2. Tingkat Seismisitas di pulau Jawa ditinjau menggunakan metode Gutenberg-Richter dapat disajikan sebagai berikut :
 - a. Wilayah 1 (Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat) dengan $a\text{-value} = 11,52277214$ dan $b\text{-value} = 1,671481603$.
 - b. Wilayah 2 (Jawa Tengah dan DI Yogyakarta) dengan $a\text{-value} = 11,41505404$ dan $b\text{-value} = 1.707283252$.
 - c. Wilayah 3 (Jawa Timur) dengan $a\text{-value} = 10,7589014$ dan $b\text{-value} = 1.670520395$
3. Tingkat Seismisitas di pulau Jawa ditinjau menggunakan entropi Tsallis dapat disajikan sebagai berikut:

- a. Wilayah 1 (Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat) dengan $q\text{-value} = 1,41$ dan $a\text{-value} = 4 \times 10^{-11}$
 - b. Wilayah 2 (Jawa Tengah dan DI Yogyakarta) dengan $q\text{-value} = 1,3$ dan $a\text{-value} = 4 \times 10^{-11}$
 - c. Wilayah 3 (Jawa Timur) dengan $a\text{-value} = 1,25$ dan $b\text{-value} = 4 \times 10^{-11}$
4. Hasil perbandingan tingkat seismisitas di pulau Jawa menggunakan metode Gutenberg-Richter dan entropi Tsallis didapatkan bahwa wilayah 1 (Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat) memiliki tingkat seismisitas paling tinggi yang ditandai dimana dengan metode Gutenberg-Richter $a\text{-value} = 11,52277214$ dan $b\text{-value} = 1,671481603$ sedangkan pada entropi Tsallis $q\text{-value} = 1,41$ dan $a\text{-value} = 4 \times 10^{-11}$.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan di atas, maka peneliti dapat memberikan saran sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya gunakan metode lainnya yang lebih baik untuk menentukan tingkat seismisitas.

2. Pengolahan data yang dilakukan dapat menggunakan software lainnya, agar peta maupun grafik yang didapatkan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ernandi, F. N., & Mudlazim. (2020). Analisis Variasi a-value Dan b-value Dengan Menggunakan Software ZMAP V.6 Sebagai Indikator Potensi Gempa Bumi Di Wilayah Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 09, 24–30.
- Hadimoeljono, M. B., Sumadilga, D. H., Sabaruddin, A., & Irsyam, M. (2017). Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. In M. Irsyam, S. Widiyantoro, D. H. Natawidjaja, & I. Meilano (Eds.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (Pertama, Vol. 53, Issue 9). 2017.
- Hilmi, I. L., Sutrisno, S., & Sunarya, D. (2019). Analisis Seismisitas Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 1958-2018 Menggunakan b-Value Pada Daerah Selatan Jawa Barat dan Banten. *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, 2(1), 10–16.
<https://doi.org/10.15408/fiziya.v2i1.10482>
- Linda, Ihsan, N., & Palloan, P. (2019). Analisis Distribusi Spasial Dan Temporal Seismotektonik Berdasarkan Nilai B-Value Dengan Menggunakan Metode Likelihood Di Pulau Jawa. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 15(1),

- 16–31. <https://doi.org/10.35580/jspf.v15i1.9403>
- Lira, N. (2017). Analisis Parameter Seismik Gempabumi Wilayah Lengan Timur Sulawesi Dengan Metode Empiris. In *Skripsi*. UIN Alauddin Makassar.
- Lusiani, E., Anwar, S., & Nugraha, M. F. (2019). Penentuan Tingkat Seismisitas Wilayah Propinsi Aceh Dengan Metode Gutenberg Richter (Nilai A dan Nilai B). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 19(2), 71–79. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v1i1.193>
- Ngadmanto, D. (2010). Penentuan Potensi Gempa Bumi Merusak Berdasarkan Parameter Kegempaan di Wilayah Busur Banda. *Widyaiset*, 13(2), 125–132.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan* (Marjeka & Dimaswids (eds.); 1st ed.). Pustaka Pelajar (Angota IKAPI). https://www.mediafire.com/file/xvynb3j8cbihx5o/1672_Sismologi_Teknik_%2526_Rekayasa_Kegempaan.pdf/file
- Putri, A. C. (2018). Analisis Tingkat Seismisitas di Wilayah Sulawesi Bagian Tengah Periode 1997 - 2017. In *Advanced Optical Materials* (Vol. 10, Issue 1). Universitas Hasanuddin Makassar.
- Sabriani. (2017). Uji analisis perbandingan metode fraktal dan metode empiris untuk penentuan tingkat seismisitas di

wilayah sulawesi. *Skripsi*, 1–61.

Sotolongo-Costa, O., & Posadas, An. (2002). *Tsallis' Entropy: A Non-Extensive Frequency - Magnitude Distribution Of Earthquakes*. 1, 1–17.

https://www.researchgate.net/publication/238680351_TSALLISENTROPY_A_NON-EXTENSIVE_FREQUENCY-MAGNITUDE_DISTRIBUTION_OF_EARTHQUAKES

Telesca, L., & Chen, C. C. (2010). Nonextensive Analysis of Crustal Seismicity in Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(6), 1293–1297.
<https://doi.org/10.5194/nhess-10-1293-2010>

Vallianatos, F., Michas, G., Papadakis, G., & Tzanis, A. (2013). Evidence of non-extensivity in the seismicity observed during the 2011-2012 unrest at the Santorini volcanic complex, Greece. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13(1), 177–185. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-177-2013>

Wahyuni, D., Intan, P. K., & Hendrastuti, N. (2020). Analisis Seismotektonik dan Periode Ulang Gempa Bumi pada Wilayah Jawa Timur Menggunakan Relasi Gutenberg–Richter. *Jurnal Algebra*, 1(1), 22–32.
<http://jurnalsaintek.uinsby.ac.id/mhs/index.php/algebra/article/view/9>

Yassar, M. F., Kandi, A. A., Dinata, O., Yogi, I. B. S., & Darmawan,

I. G. B. (2019). Identifikasi Dimensi Fraktal Event Gempa Bumi Menggunakan Metode b -Value Pada Daerah Ambon dan Sekitarnya. *Ilmu-Ilmu Teknik Kebencanaan*, November, 171–179.

**Lampiran 1 : Sampel Data Gempa Bumi di Jawa Periode
2000 – 2020**

Waktu (UTC+07:00)	Lat	Long	Depth (Km)	Mag (SR)
2000-07-31 18:59:42	-6,757	105,424	33	5,3 (V MMI)
2000-10-25 09:32:23	-6,549	105,63	38	6,8 (VI MMI)
2001-3-12 23:35:08	-7,206	106,116	33	5,8 (V MMI)
2001-06-28 03:46:28	-6,99	108,275	36,9	5,63 (IV MMI)
2002-01-15 07:12:58	-6,314	105,205	10	6,1 (VI MMI)
2002-04-29 02:43:47	-6,919	108,78	33	5,2
2003-03-21 11:38:20	-6,983	108,468	33	5,4 (IV MMI)
2003-07-19 21:20:37	-8,682	111,227	56,2	5,9 (IV MMI)
2004-05-31 04:20:58	-7,967	107,689	55.6	5.3
2004-10-05 21:14:34	-7,438	106,202	50,5	4,9
2005-1-15 13:47:05	-6,462	105,236	58,7	6 (V MMI)
2005-02-02 05:55:18	-7,037	107,819	15	5.5 (IV MMI)
2005-10-10 10:55:48	-6,881	105,459	30	5,5 (V MMI)
2006-05-26 22:53:58	-7,961	110,446	12,5	6.3 (VIII – IX MMI)
2006-07-17 08:19:26	-9,284	107,419	20	7,7 (V – VI MMI)
2006-7-17 09:13:04	-9,087	107,76	10	6 (III MMI)

2006-07-17 10:09:06	-9,032	107,733	10	6,2 (II MMI)
2006-07-17 15:45:59	-9,42	108,319	21	6,1 (IV MMI)
2006-07-17 16:09:55	-9,369	108,774	26,9	5,9 (III MMI)
2006-07-18 04:18:23	-9,355	108,779	13,5	5,6 (III MMI)
2006-07-19 10:57:36	-6,535	105,389	45	6,1 (IV – V MMI)
2006-09-21 18:54:50	-9,05	110,365	25	6 (III MMI)
2006-12-23 22:59:40	-6,785	105,635	30	5,5 (V MMI)
2007-01-31 20:31:34	-7,817	107,193	51,7	5,5 (IV MMI)
2007-08-10 13:17:57	-6,521	105,135	51,8	5 (III MMI)
2007-08-24 04:14:18	-8,102	107,097	8,2	5,5 (III MMI)
2007-09-09 18:36:37	-7,783	114,338	35	4,9 (IV MMI)
2007-12-17 00:09:37	-9,215	112,389	48	5 (IV MMI)
2007-12-31 09:36:05	-9,138	114,339	35,6	5,5 (II MMI)
2008-03-03 23:34:44	-7,081	106,842	46	5,4
2008-11-05 17:11:26	-8,382	113,11	35	5,09
2009-09-02 07:55:01	-7,782	107,297	46	7 (VII MMI)
2009-09-02 08:02:21	-7,817	107,393	41,8	5,9 (IV MMI)
2009-09-02 09:28:46	-7,961	107,275	59	5,5 (V MMI)
2009-09-28 00:26:24	-7,883	107,221	55,6	5,5 (II MMI)
2009-10-16 09:52:50	-6,534	105,223	38	6,1 (V MMI)

2009-10-24 03:09:46	-7,055	106,498	15,4	5,4 (II MMI)
2010-05-18 11:59:84	-7,845	107,22	34,2	5,3 (IV MMI)
2010-05-19 00:13:21	-6,641	105,161	38,9	5,4 (II MMI)
2010-08-11 19:21:21	-7,495	107,058	37,4	5,3 (IV MMI)
2010-08-21 11:41:38	-8,004	110,449	22,3	5,4 (VI MMI)
2011-03-23 00:07:32	-9,390	114,019	52,6	4,8 (III MMI)
2011-05-17 00:14:57	-9,203	112,585	28	5,7 (IV MMI)
2011-05-18 05:01:39	-9,292	112,561	35	5,6 (II MMI)
2011-07-24 08:23:36	-7,197	106,458	59,1	5 (III MMI)
2012-04-10 09:18:51	-8,274	107,85	38,4	5,5 (III MMI)
2012-06-04 11:18:13	-7,682	106,371	50	5,9 (IV – V MMI)
2012-09-08 18:27:17	-6,514	106,751	40,6	5,5 (III – IV MMI)
2012-11-10 06:05:27	-7,373	106,666	49,5	5,6 (IV MMI)
2013-04-08 18:53:44	-7,091	106,072	56,4	5,3 (III – V MMI)
2013-07-08 02:13:40	-8,803	113,002	60	5,7 (IV MMI)
2013-08-08 10:45:58	-8,6243	110,978 6	9,45	5,8 (V MMI)
2014-01-05 11:32:11	-5,9326	105,354 4	56,92	5,6 (V MMI)
2014-04-02 11:21:56	-7,887	110,443 4	10	5,2 (IV MMI)
2014-06-04 10:59:38	-8,610	109,307 6	35	5,5 (III MMI)
2014-07-14 05:05:03	-8,8188	111,252 9	52,51	5,5 (IV MMI)

2014-07-24 08:41:07	-9,1269	111,575 3	35	5,63 (IV MMI)
2014-10-22 04:14:42	-6,9463	105,308 4	42,67	5,4 (III MMI)
2015-03-22 18:05:12	-6,9858	109,056	10	5,4 (VI MMI)
2015-04-06 02:12:53	-9,2983	110,347	47,43	5,3 (III MMI)
2015-06-05 16:38:05	-9,3155	111,501 7	56,1	5,5 (III MMI)
2015-06-22 16:37:50	-7,0118	105,317 1	44,42	5,5 (V MMI)
2015-07-24 21:44:38	-8,2477	108,916 3	48,0	5,5 (IV MMI)
2015-08-05 15:41:52	-5,9945	105,444 5	56,5	5,5 (IV MMI)
2015-09-04 20:08:31	-8,043	107,224 8	37,0	5,4 (IV MMI)
2015-09-25 13:28:53	-7,9909	110,426 3	10,6	4,4 (III MMI)
2015-10-10 09:04:01	-8,0486	107,400 9	35,0	5,7 (III MMI)
2015-11-04 06:14:32	-6,7492	105,048 8	10,0	5,6 (IV MMI)
2015-11-28 14:47:18	-7,0548	105,999 9	51,3	5,4 (IV MMI)
2015-12-19 15:03:36	-8,3684	107,022 5	27,9	5,7 (IV MMI)
2016-01-30 14:43:21	-8,0791	105,868	37,24	5,2 (I MMI)
2016-04-06 14:45:29	-8,2036	107,385 7	29,0	6,1 (IV – V MMI)
2016-06-01 19:50:43	-9,1741	113,106 6	57,6	5,4 (III MMI)
2016-11-04 05:08:05	-7,3687	111,348 6	17,9	5,4 (III MMI)
2016-11-18 02:19:31	-8,7562	110,617 4	58,12	5,4 (IV MMI)
2017-01-02 21:02:25	-8,7459	108,797 4	38,14	5,7 (III MMI)

2017-01-13 14:24:58	-7,9036	110,339 2	10	5,2 (II MMI)
2017-05-24 16:44:53	-8,9692	111,984 7	58,3	5,8 (V MMI)
2017-06-11 23:15:06	-8,3206	106,259	7	5,7 (IV MMI)
2017-09-25 07:16:24	-8,4217	107,007 7	33,74	5,4 (II MMI)
2017-12-16 00:22:30	-7,8842	106,819 5	44	5,2 (III MMI)
2018-01-23 06:34:54	-7,0924	105,963 2	48,19	5,9 (V – VI MMI)
2018-01-26 04:48:23	-7,0604	105,781 9	36,72	5,4 (IV MMI)
2018-01-26 10:12:48	-7,0901	105,800 7	41,3	5,4 (II MMI)
2018-02-16 13:28:09	-7,7572	106,428	35	5,4 (II MMI)
2018-04-18 06:28:34	-7,2479	109,654 1	10	5,3 (V - IV MMI)
2018-06-13 13:06:40	-7,0006	113,888 2	10	5,4 (V MMI)
2018-08-28 18:36:32	-9,0219	110,145 1	40	5,2 (III – IV MMI)
2018-10-10 18:44:55	-7,4525	114,455 3	9	6 (IV – V MMI)
2019-07-28 14:25:02	-6,9777	106,142 3	58,47	5,6 (VI MMI)
2019-12-09 03:47:26	-8,8985	110,098 4	35	5,5 (IV MMI)
2020-03-10 10:18:04	-6,7852	106,681 3	10	5,63 (VIII MMI)
2020-08-15 07:12:11	-9,3551	114,064 3	54,48	5 (III MMI)
2020-10-25 00:56:45	-7,9934	107,982 1	43	5,4 (IV – V MMI)
2020-11-04 22:21:49	-7,3061	106,156 7	39,99	5,7 (II MMI)

Sumber data : Situs USGS

Keterangan :

Lat : Bujur ($^{\circ}$)

Long : Lintang ($^{\circ}$)

Waktu : Tanggal/Bulan/Tahun/Jam/Menit/Detik

Mag : Magnitudo (SR)

Depth : Kedalaman (Km)

Lampiran 2 : Pengolahan Metode Gutenberg-Richter

1. Grafik Hubungan Antara Frekuensi dengan Magnitudo

$$\log N(M) = a - bM$$

Dimana :

$N(M)$ adalah jumlah gempa bumi pada suatu wilayah M

a adalah aktivitas seismik

b adalah tingkat kerapuhan

Program yang dimasukan ke Microsoft Excel sebagai berikut :

Menentukan	Program Microsoft Excel
$N > m$	$= J2 - N2$
$\log N > m$	$= \log O2$

Untuk menghasilkan grafik hubungan antara frekuensi dengan magnitudo, maka plot grafik dengan ketentuan :

X : Magnitudo

Y : Nilai $\log N > m$

2. Metode Gutenberg-Richter dengan estimasi maksimum *likelihood*

a. Menentukan *b-value* menggunakan persamaan :

$$b = \frac{1}{\bar{M} - M_0} \log 10 e$$

Dimana :

$\bar{M}$ adalah magnitudo rata-rata

M_0 adalah magnitudo terkecil

$\log e$ adalah bilangan euler (0,4343)

- b. Menentukan *a-value* menggunakan persamaan :

$$a = \log N(M \geq M_0) + \log (b \ln 10) + M_0 \hat{b}$$

Dimana :

N adalah jumlah gempa bumi

M adalah magnitudo gempa bumi

M_0 adalah magnitudo terkecil

$\hat{b}$ adalah estimasi untuk tingkat kerapuhan, dari sampel data yang diberikan

Program yang dimasukan ke Microsoft Excel sebagai berikut :

Menentukan	Program Microsoft Excel
$\bar{M}$	= AVERAGE(G2: G821)
M_0	= MIN(G2: G821)
$b\text{-value}$	= $\frac{1}{J4 - J6} * \log 10(0.4343)$
$a\text{-value}$	= $\log(J2) + \log(K2 * \ln(10)) + J6 * K2$

Lampiran 3 : Pengolahan Entropi Tsallis

Entropi Tsallis menggunakan persamaan :

$$\log(N(> m)) = \log N + \left(\frac{(2-q)}{1-q}\right) \log[1 + a(q-1)(2-q)^{(1-q)/(q-2)} 10^{2m}]$$

Melakukan *curve fitting* sehingga didapatkan nilai entropi Tsallis, dengan program yang dimasukan ke Microsoft Excel sebagai berikut :

Menentukan	Program Microsoft Excel
N	A1
m	B1
<i>q-value</i>	I2
<i>a-value</i>	I3
Entropi Tsallis	$= \log A1 + \left(\frac{(2-I2)}{1-I2}\right) \log[1 + I3(12 - 1)(2 - I2)^{(1-I2)/(I2-2)} 10^{2B1}]$

Grafik yang berhimpit antara metode Gutenberg-Richter dengan entropi Tsallis dapat dicari dengan cara merubah-ubah *q-value* dan *a-value* dalam perhitungan Entropi Tsallis, dengan ketentuan :

X : Magnitudo

Y : Entropi Tsallis

Lampiran 4. Hasil Cek Turnitin

bab 1-5_Eva

ORIGINALITY REPORT

16%

17%

1%

4%

SIMILARITY INDEX

INTERNET SOURCES

PUBLICATIONS

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

www.bengkulukota.go.id

Internet Source

2%

2

puslitbang.bmkg.go.id

Internet Source

2%

3

repositori.uin-alauddin.ac.id

Internet Source

2%

4

jurnalsaintek.uinsby.ac.id

Internet Source

2%

5

www.scribd.com

Internet Source

2%

6

123dok.com

Internet Source

1%

7

journal.uinjkt.ac.id

Internet Source

1%

8

nanopdf.com

Internet Source

1%

9

fr.scribd.com

Internet Source

<1%

10

idoc.pub

Internet Source

<1%

11	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
12	docplayer.info Internet Source	<1 %
13	bencanapedia.id Internet Source	<1 %
14	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
15	www.bangmaul.com Internet Source	<1 %
16	gempapadang.wordpress.com Internet Source	<1 %
17	repository.lppm.unila.ac.id Internet Source	<1 %
18	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
19	www.chathamhouse.org Internet Source	<1 %
20	ugspace.ug.edu.gh Internet Source	<1 %

Exclude quotes On
Exclude bibliography On

Exclude matches < 15 words

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Eva Septianingrum
2. Tempat & Tgl. Lahir : Pemalang, 26 September 1999
3. Alamat Rumah : Jalan Kerinci RT.02/RW.02
Wanarejan Selatan Kec. Taman
Kab. Pemalang
4. HP : 0877-4225-1455
5. E-mail : evaseptia29@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal :
 - a. TK Pertiwi Wanarejan Selatan (2003 – 2005)
 - b. SD Negeri 16 Mulyoharjo (2005 – 2011)
 - c. SMP Negeri 07 Pemalang (2011 – 2014)
 - d. MA Negeri Pemalang (2014 – 2017)

Semarang, 22 Desember 2021
Penulis



Eva Septianingrum
NIM. 1708026001