

**ANALISIS BAHAYA KEGEMPAAN DI WILAYAH YOGYAKARTA
MENGUNAKAN PENDEKATAN PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD
ANALYSIS (PSHA)**

SKRIPSI

Oleh :
ZAKIA APRILIA
NIM. 18640059



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

HALAMAN PENGANTAR

**ANALISIS BAHAYA KEGEMPAAN DI WILAYAH YOGYAKARTA
MENGUNAKAN PENDEKATAN PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD
ANALYSIS (PSHA)**

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:
ZAKIA APRILIA
NIM. 18640059

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS BAHAYA KEGEMPAAN DI WILAYAH YOGYAKARTA
MENGUNAKAN PENDEKATAN PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD
ANALYSIS (PSHA)**

SKRIPSI

Oleh:
ZAKIA APRILIA
NIM. 18640059

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji:
Pada tanggal:

Menyetujui

Pembimbing I

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 196505041990031003

Pembimbing II

Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 197610032003121004

Mengetahui

Ketua Program Studi

Dr. Anam Tazi, M.Si
NIP. 97407302003121002

HALAMAN PENGESAHAN

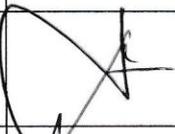
ANALISIS BAHAYA KEGEMPAAN DI WILAYAH YOGYAKARTA MENGUNAKAN PENDEKATAN PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS (PSHA)

SKRIPSI

Oleh:
ZAKIA APRILIA
NIM. 18640059

Telah diperiksa dan disahkan

Pada tanggal:

Penguji I	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 196912312006041003	
Penguji II	<u>Drs. Cecep Rustana, B.Sc (Hons), Ph.D</u> NIP. 195907291986021001	
Pembimbing I	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 196505041990031003	
Pembimbing II	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 197610032003121004	

Mengesahkan
Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 197407302003121002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zakia Aprilia

NIM : 18640059

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Analisis Bahaya Kegempaan di Wilayah Yogyakarta
Menggunakan Pendekatan Seismic Hazard Analysis
(PSHA).

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil skripsi yang saya ini benar-benar hasil karya saya sendiri, tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah orang lain, kecuali yang tertulis dalam naskah ini disebutkan dengan menyertakan sumber atau kutipan penulis dan daftar pustaka. Skripsi ini hasil dari pengambilan data penelitian dan menulis skripsi ini berdasarkan sumber atau referensi yang saya gunakan. Apabila kemudian hari hasil penelitian dan tulisan ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan ini.

Malang, 20 Agustus 2022
Yang Membuat Pernyataan



Zakia Aprilia
NIM. 18640059

MOTTO

حَسْبُنَا اللَّهُ وَنِعْمَ الْوَكِيلُ

"Cukuplah Allah menjadi Penolong kami dan Allah adalah sebaik-baik Pelindung." (Q.S Ali Imran : 173)



"Kerja keras ada di balik mimpi yang besar. Iringi kerja keras itu dengan untaian doa pada Sang Pencipta karena tidak ada satu pun dapat terjadi kecuali atas kehendak dan ridha-Nya."

"Selalu ada harapan bagi mereka yang selalu berdoa. Selalu ada jalan bagi mereka yang selalu berusaha."

"Tidak ada kesuksesan tanpa kerja keras. Tidak ada keberhasilan tanpa kebersamaan. Tidak ada kemudahan tanpa doa."

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur kupersembahkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga senantiasa terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, para sahabat, dan segenap orang yang mengikuti jejaknya.

Dengan rasa hormat dan kasih sayang, skripsi ini ku persembahkan kepada:

1. Kedua orang tuaku yang selalu memberikan motivasi, semangat, dukungan serta do'a yang tiada hentinya di panjatkan hingga bisa membuatku selalu optimis dalam meraih cita-cita.
2. Keluarga serta saudara-saudaraku yang selalu mendukung dan mendo'akan di setiap langkahku.
3. Segenap para dosen dan pembimbing yang selalu memberikan keluasan ilmu dan membimbing saya sehingga bisa sampai di titik ini. Semoga ilmu yang di berikan bisa bermanfaat dan barokah untuk orang lain serta di dunia dan akhirat.
4. Teman-teman seperjuangan fisika angkatan 2018 UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang selalu memberi dukungan, motivasi, dan juga membantu sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini.

Terima kasih kepada semua pihak yang telah mendoakan dan memotivasi kepada saya. Semoga Allah SWT membalas budi baik dan menjadikan kita semua insan yang sukses dan selamat dunia akhirat. Aamiin....

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Analisis Bahaya Kegempaan di Wilayah Yogyakarta Menggunakan Pendekatan PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis)** yang berjalan dengan lancar. Sholawat serta salam semoga senantiasa kan terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, para sahabat, dan segenap orang yang mengikuti jejaknya.

Pada kesempatan ini, penulis tidak lupa menyampaikan terimakasih dan harapan jazakumullah al-khair kepada semua pihak yang telah membantu, member pengarahan, bimbingan supaya kegiatan PKL dapat terlaksana dengan baik, khususnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A, selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Dr Imam Tazi, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Drs. Abdul Basid, M.Si., selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu dan kesibukannya untuk memberikan bimbingan, motivasi, arahan, dan koreksi secara terus-menerus sehingga menjadikan skripsi ini lebih matang dan cepat selesai.
5. Ahmad Abtokhi, M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Integrasi yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi sains.
6. Muhajir Anshori, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Lapangan yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini.

7. Kedua orang tuaku dan adikku yang setiap waktu senantiasa memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
8. Seluruh civitas akademik Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan juga jasanya kepada penulis selama mengikuti proses pembelajaran.
9. Keluarga yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan doa sehingga saya dapat menyelesaikan proses ini.
10. Teman-teman yang selalu mendukung saya dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan motivasi sekaligus bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
11. Kepada Pihak-pihak lain yang telah memberikan bantuan dalam penulisan skripsi ini, dimana penulis tidak dapat menyebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka dengan nikmat yang berlipat ganda baik di dunia dan akhirat. Penulis berharap semoga penulisan proposal skripsi ini memberikan manfaat bagi penulisan dan semua pihak yang membaca skripsi ini, dalam menambah wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 20 Agustus 2022

Penulis

Zakia Aprilia

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
مستخلص البحث.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	7
1.3. Tujuan Penelitian	8
1.4. Manfaat Penelitian	8
1.5. Batasan Masalah.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1. Kajian Teori	10
2.2. Tatanan Wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.....	21
2.3. Kerangka Berpikir.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1. Jenis Penelitian.....	31
3.2. Data Penelitian	31
3.3. Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.4. Variabel Penelitian	31
3.5. Alat dan Bahan Penelitian.....	32
3.6. Prosedur Penelitian.....	32
3.7. Teknik Pengumpulan Data.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1. Data Hasil Penelitian.....	37
4.2. Pembahasan.....	48
4.3. Pengujian Sistem.....	55
BAB V PENUTUP	56
5.1. Kesimpulan	56
5.2. Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Langkah-Langkah PSHA untuk mendapatkan PGA	16
Gambar 2.2	Peta Tektonik Wilayah Indonesia dan sekitarnya.....	21
Gambar 2.3	Daerah Penelitian.....	23
Gambar 2.4	Ilustrasi Mekanisme terjadinya gempa bumi	24
Gambar 2.5	Ilustrasi Gempa Tektonik	25
Gambar 2.6	Ilustrasi Gempa Vulkanik	26
Gambar 2.7	Ilustrasi Gempa Runtuhan	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 4.1	Proses Clustering Data Gempa	39
Gambar 4.2	Pemisahan Gempa Susulan (Aftershock) Menggunakan Software Matlab-Zmap	39
Gambar 4.3	Pemisahan Gempa Pendahuluan (Foreshock) Menggunakan Software Matlab-Zmap	40
Gambar 4.4	Pemisahan Gempa Utama (Mainshock) Menggunakan Software Matlab-Zmap	40
Gambar 4.5	Grafik Distribusi Permodelan Gempa Utama (Mainshock)	41
Gambar 4.6	Histogram Data Magnitude dengan waktu	42
Gambar 4.7	Grafik Jumlah gempa utama (Mainshock) berdasarkan waktu	42
Gambar 4.8	Konversi Latitude dan Longtitude	43
Gambar 4.9	Pencarian Nilai Ro	44
Gambar 4.10	Peta Bahaya Gempa Yogyakarta	47
Gambar 4.11	Grafik Frekuensi Magnitude	49
Gambar 4.12	Data Magnitude dengan Waktu	49
Gambar 4.13	Peta Sebaran Gempa Episenter Wilayah Yogyakarta.....	53
Gambar 4.14	Kumulatif Kejadian Gempa Wilayah Yogyakarta.....	54
Gambar 4.15	Pengujian Confidence Level	55

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil Penyortiran dan Konversi Magnitude Momen.....	37
Tabel 4.2	Perhitungan Peak Ground Acceleration (PGA)	45
Tabel 4.3	Perhitungan Probabilitas untuk Magnitudo 5-6,4 SR.....	46
Tabel 4.4	Perhitungan Probabilitas untuk Magnitudo 3-6,4 SR.....	46

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Penelitian
Lampiran 2 Dokumentasi saat penelitian untuk Pengambilan Data di Stasiun Geofisika (BMKG) Kelas II Tretes Pasuruan

ABSTRAK

Aprilia, Zakia. 2022. **Analisis Bahaya Kegempaan Di Wilayah Yogyakarta Menggunakan Metode PSHA Dengan Tujuan Untuk Meminimalisasi Dampak Dari Bencana Gempa Bumi Di Wilayah Rawan Bencana Gempa.** Skripsi. Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing : (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

Kata kunci : Bahaya Kegempaan, Probabilistic Seismic Hazard Analysis, Wilayah Yogyakarta.

Gempa bumi merupakan bencana yang belum dapat diprediksi kapan terjadinya, sehingga berpotensi menimbulkan korban, kerusakan, dan kerugian dalam jumlah yang besar. Bencana gempa bumi merupakan bencana alam yang tidak dapat dihindari. Hal yang dapat dilakukan dalam menghadapi gempa adalah antisipasi, di sikapi dengan taktis, strategis, dan bijaksana. Lebih dari 40 gempa dengan magnitude ≥ 5 SR dengan radius 500 km dari pusat Kota Yogyakarta dalam kurun waktu tiga tahun yaitu antara tahun 2017 sampai 2020. Melihat dari besarnya intensitas dan dahsyatnya dampak yang ditimbulkan oleh gempa maka mitigasi bencana gempa perlu dilakukan untuk meminimalisir kerugian apabila bencana tersebut kembali terjadi dikemudian hari. Tujuan penelitian ini adalah Melakukan Analisis Potensi gempa untuk mengetahui dampak bahaya kegempaan di Wilayah Yogyakarta. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan Seismic Hazard (PSHA) dengan Persamaan Probabilitas Total. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah Dampak bahaya kegempaan Wilayah Yogyakarta dengan data gempa dari tahun 1990 sampai tahun 2020 tergolong cukup membahayakan dengan resiko terjadinya pengulangan kejadian gempa dalam periode waktu yang cukup singkat dengan kekuatan skala magnitude yang berkisar 3 sampai 6,4 SR. Bahaya kegempaan di Yogyakarta didapatkan nilai probabilitas kejadian gempa dengan nilai probabilitas sebesar 1,07 % dan termasuk kejadian gempa besar dikarenakan memiliki magnitude 5-6,4 SR serta 4% probabilitas kejadian berdasarkan data gempa 3-6,4 SR. Kemudian besaran nilai percepatan pergerakan tanah maksimum sebesar 0,02 gal.

ABSTRACT

Aprilia, Zakia. 2022. *Analysis of Seismic Hazards in the Yogyakarta Region Using the PSHA Method with the aim of Minimizing the Impact of Earthquake Disasters in Earthquake-Prone Areas*. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor : (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

Keywords : Seismic Hazard, Probabilistic Seismic Hazard Analysis, Yogyakarta Region.

Earthquakes are disasters that cannot be predicted when they occur, so that they have the potential to cause large numbers of victims, damage, and losses. Earthquake is a natural disaster that cannot be avoided. What can be done in dealing with earthquakes is to anticipate, be treated tactically, strategically, and wisely. More than 40 earthquakes with a magnitude of 5 SR with a radius of 500 km from the center of Yogyakarta City in a period of three years, namely between 2017 and 2020. Looking at the magnitude of the intensity and magnitude of the impact caused by the earthquake, earthquake disaster mitigation needs to be done to minimize losses if the earthquake occurs. The disaster happened again in the future. The purpose of this study is to analyze the potential for earthquakes to determine the impact of earthquake hazards in the Yogyakarta Region. The method used in this study is the Seismic Hazard (PSHA) approach with the Total Probability Equation. The results obtained in this study are the impact of the earthquake hazard on Yogyakarta Region with earthquake data from 1990 to 2020 which is quite dangerous with the risk of repeating earthquake events in a very short period of time with magnitude scale strengths ranging from 3 to 6.4 SR. Seismic hazard in Yogyakarta found that the return probabilistic events with a probability value of 1.07% and includes a large earthquake because it has a magnitude of 5-6.4 SR and a 4% probability of occurrence based on earthquake data from 3 to 6.4 SR. Then the magnitude of the maximum ground movement acceleration value is 0.02 gal.

مستخلص البحث

ابريليا ، زكية. 2022. تحليل المخاطر الزلزالية في منطقة يوجياكارتا باستخدام طريقة **PSHA** بهدف تقليل تأثير كوارث الزلازل في المناطق المعرضة للزلازل. فرضية. برنامج دراسة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم مالانج الإسلامية الحكومية. المشرف: (الأول) د. عبد الباسيد، الماجستير (الثاني) أحمد أبطوخي، الماجستير

الكلمات المفتاحية: الخطر الزلزالي، التحليل الاحتمالي للمخاطر الزلزالية، منطقة يوجياكارتا. الزلازل هي كوارث لا يمكن التنبؤ بها عند حدوثها، بحيث يكون لها القدرة على التسبب في أعداد كبيرة من الضحايا والأضرار والخسائر. الزلازل كارثة طبيعية لا يمكن تجنبها. ما يمكن فعله في التعامل مع الزلازل هو توقعها ومعالجتها تكتيكياً واستراتيجياً وحكمة. أكثر من 40 زلزالا بقوة 5 ريل ونصف قطرها 500 كيلومتر من وسط مدينة يوجياكارتا في فترة ثلاث سنوات، وبالتحديد بين عامي 2017 و 2020. بالنظر إلى حجم شدة وحجم التأثير الناجم عن الزلازل، الزلازل يجب التخفيف من حدة الكوارث لتقليل الخسائر في حالة حدوث الزلازل. تحدث الكارثة مرة أخرى في المستقبل. الغرض من هذه الدراسة هو تحليل احتمالية حدوث الزلازل لتحديد تأثير مخاطر الزلازل في منطقة يوجياكارتا. الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة هي نهج المخاطر الزلزالية (**PSHA**) مع معادلة الاحتمال الكلي. النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة هي تأثير خطر الزلازل في منطقة يوجياكارتا مع بيانات الزلازل من 1990 إلى 2020 وهو أمر خطير للغاية مع خطر تكرار أحداث الزلازل في فترة زمنية قصيرة جداً مع شدة مقياس الحجم تتراوح من 3 إلى 6,4 ر.س. حصل الخطر الزلزالي في يوجياكارتا على قيمة احتمالية حدوث زلزال بنسبة 1,07 % و زلزال بنسبة 4 % . ثم يكون حجم أقصى قيمة لتسريع حركة الأرض 0,02 جالون.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Hingga saat ini, gempa bumi merupakan bencana yang belum dapat diprediksi kapan terjadinya, sehingga berpotensi menimbulkan korban, kerusakan, dan kerugian dalam jumlah yang besar. Bencana gempa bumi merupakan bencana alam yang tidak dapat dihindari. Hal yang dapat dilakukan dalam menghadapi gempa adalah antisipasi, di sikapi dengan taktis, strategis, dan bijaksana.

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) termasuk daerah dengan aktivitas kegempaan yang cukup tinggi. Berdasarkan data gempa dari BMKG, wilayah DIY termasuk wilayah yang sering dilanda gempa signifikan dan merusak. Hal ini dikarenakan secara geografis DIY terletak di sebelah utara pertemuan antara lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Kecepatan penyusupan atau subduksi lempeng tektonik yang terjadi pada pertemuan lempeng di lautan selatan Pulau Jawa ini sekitar $6,7 \pm 0,7$ cm/ tahun. Aktivitas subduksi tersebut mengaktifkan patahan-patahan yang ada di daratan dan menimbulkan gempa dangkal yang membesar ke arah utara. Selain dari subduksi lempeng tersebut, DIY juga rawan terhadap bencana gempa yang diakibatkan oleh aktivitas sesar (*shallow crustal*) yaitu sesar Opak. Sesar Opak merupakan sesar terdekat dengan Kota Yogyakarta dengan jarak kurang lebih 10 km. Laju pergerakan (*slip rate*) sesar opak ini sekitar 2,4 mm/tahun dengan kekuatan maksimum yang mungkin ditimbulkan sebesar 6,8 SR.

Gempa yang terjadi di wilayah DIY pada 27 Mei 2006 merupakan contoh gempa yang diakibatkan oleh aktivitas sesar opak. Gempa ini bersumber di

koordinat $7,955^{\circ}$ LS dan $110,43^{\circ}$ BT dengan kedalaman 10 km sejauh 25 km dari Kota Yogyakarta. Gempa tersebut menimbulkan korban jiwa sekitar 6.000 orang, lebih dari 50.000 orang luka-luka, 600.000 orang mengungsi, lebih dari 127.000 rumah hancur, dan 451.000 rusak. Total kerugian diperkirakan mencapai 31 triliun (CGI, 2006). Gempa 27 Mei 2006 juga menyebabkan kerusakan fasilitas umum seperti rumah sakit, jalur kereta api dan bandara. Terjadi pengalihan rute penerbangan dari Bandara Yogyakarta ke Bandara Surakarta dan Semarang, selain sistem air bersih, listrik, dan komunikasi juga terputus.

Selain uraian data diatas, USGS (USGS, 2020) mencatat sudah terjadi kurang lebih 40 gempa dengan magnitude ≥ 5 SR dengan radius 500 km dari pusat Kota Yogyakarta dalam kurun waktu tiga tahun yaitu antara tahun 2017 sampai 2020. Gempa yang terjadi di DIY dari tahun ke tahun telah memberikan pelajaran berharga tentang adanya bahaya kegempaan (*seismic hazard*) di wilayah Yogyakarta dan sekitarnya. Bahaya kegempaan sendiri merupakan probabilitas atau peluang terjadinya gempa bumi wilayah geografis tertentu, dalam jangka waktu tertentu, dan dengan intensitas gerakan tanah yang melebihi ambang batas tertentu. Melihat dari besarnya intensitas dan dahsyatnya dampak yang ditimbulkan oleh gempa maka mitigasi bencana gempa perlu dilakukan untuk meminimalisir kerugian apabila bencana tersebut kembali terjadi dikemudian hari (Armansyah et al., 2020). Mitigasi merupakan sejumlah tindakan yang harus dilakukan sebelum bencana terkait dengan tindakan struktural dan bukan stuktural dan dibawah pengurangan risiko bencana terpadu menggunakan sistem pembangunan berkelanjutan. Selain itu, oleh karena sulitnya memprediksi kapan terjadinya gempa, banyaknya sesar aktif baru, dan tingkat seismisitas wilayah

DIY yang tinggi tersebut, mitigasi bencana gempa bumi menjadi semakin mendesak dilakukan. Tujuannya untuk mengurangi dampak yang diakibatkan oleh kejadian gempa bumi.

Bahaya dari gempa bumi juga telah dijelaskan dalam Al-Qur'an surah Al-zalzalah ayat 1-2. Allah berfirman:

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا ۖ وَأَخْرَجَتِ الْأَرْضُ أَثْقَالَهَا

“Apabila bumi diguncangkan dengan guncangan yang dahsyat, dan bumi telah mengeluarkan beban-beban yang berat.” (QS.Al-Zalzalah):1-2

Dari kutipan surah di atas dapat dijelaskan bahwa Fenomena kejadian gempa bumi telah terjadi sekian lama yang pernah dialami oleh umat-umat manusia terdahulu dalam berbagai keadaan yang telah dijelaskan di dalam Al-Qur'an. Gempa bumi sebagai suatu fenomena kebesaran Allah SWT sebagai pencipta alam semesta. Gempa bumi juga dijelaskan di dalam Al-Qur'an dengan berbagai hikmah, salah satunya sebagai peringatan untuk umat manusia agar senantiasa bertaqwa kepada Allah SWT. Dalam arti ayat 1-2 surah Az-Zalzalah secara jelas dikatakan apabila bumi telah digoncangkan dengan guncangan yang amat dahsyatnya dan bumi telah mengeluarkan beban-beban berat yang dikandungnya. Dari penjelasan arti ayat 1-2 surah Az-zalzalah ini kita sebagai umat manusia hendaknya lebih taat dalam beribadah kepada Allah SWT dan berbuat baik di atas permukaan bumi ini. Dalam perspektif ilmu seismologi, getaran global yang merusak tersebut memiliki skala intensitas 12 MMI (Modified Mercalli Intensity), intensitas getaran tertinggi. Jika seluruh permukaan bumi diguncang getaran berintensitas 12 MMI, seluruh kerak bumi adalah sumber gempanya sehingga seluruh kerak bumi terpatahkan.

Berbagai upaya mitigasi guna meminimalisir dampak terjadinya gempa bumi ternyata sudah diupayakan oleh pemerintah. Salah satunya yaitu dengan menerbitkan dan memperbaharui peta gempa secara berkala (Saputra and Widodo, 2021). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat bersama Tim Pusat Studi Gempa Nasional telah merilis peta gempa versi terbaru yaitu peta gempa tahun 2017 (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Peta gempa semacam ini telah digunakan sebagai acuan perencanaan infrastruktur sejak 1986. Namun, berdasarkan gempa jogja 2006 masih banyak ditemukan bangunan *engineered* yang mengalami kehancuran. Sehingga menurut Asrurifak (2016), kerugian materi dan jiwa sejatinya bukan 100% disebabkan oleh gempa, namun ada faktor kegagalan infrastruktur atau data yang kurang diperbaharui.

Beberapa penelitian lain juga menjelaskan pentingnya pembaruan data peta kegempaan maupun data seismic di suatu wilayah. Penelitian oleh Saputro & Aris (2018) menerangkan bahwa percepatan tanah puncak akibat gempa Kota Sorong menunjukkan nilai 0,723 g lebih besar dari pada peta gempa 2010. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Saputra dkk (Saputra et al., 2020) juga menunjukkan bahwa nilai percepatan tanah di kabupaten Riau secara signifikan lebih besar dari peta sumber bahaya gempa tahun 2017. Hal tersebut berarti bahwa resiko bahaya kegempaan di suatu wilayah cenderung mengalami peningkatan. Kemungkinan tersebut tidak hanya bisa terjadi di kedua Kota tersebut akan tetapi juga bisa terjadi di wilayah DIY (Pangaribuan, 2019).

Selain itu dibutuhkan upaya mitigasi tambahan agar hasil kerangka perencanaan menjadi lebih akurat. Upaya yang ditawarkan adalah dengan

membuat perencanaan tata wilayah yang telah sesuai dengan kajian gempa bumi seperti menggunakan hasil analisis bahaya gempa (Ginting et al., 2020).

Untuk terjadinya Gempa dan akibatnya juga telah dijelaskan dalam Al-Qur'an surah An-Naml Ayat 88:

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ ۗ صُنْعَ اللَّهِ الَّذِي أَتَقَنَ كُلَّ شَيْءٍ ۗ إِنَّهُ خَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ

“ Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap di tempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu; sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan ” (Q.S. An-Naml:88)

Dari kutipan surah di atas dapat dijelaskan bahwa kamu akan melihat gunung-gunung yang kamu kira mereka berhenti dan diam tak bergerak, padahal ia berjalan dengan jalan yang cepat sebagaimana perjalanan awan yang ditiup oleh hembusan angin. Ini termasuk perbuatan Allah SWT yang telah membuat segala sesuatu dengan indah dan merapikannya. Sesungguhnya Allah SWT Maha teliti terhadap apa yang diperbuat oleh hamba-hambaNya, perbuatan yang baik maupun yang buruk, dan akan memberikan balasan kepada mereka sesuai dengan amal perbuatan tersebut.

Para ahli gempa terus berupaya melakukan pengembangan suatu metode perhitungan bahaya kegempaan yang berguna untuk meminimalisasi kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa. Secara umum, terdapat dua metode untuk menganalisis bahaya seismic suatu wilayah. Metode tersebut adalah metode deterministik (DSHA) dan metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) (Sari and Fakhurrozi, 2020). Metode DSHA merupakan metode analisis bahaya seismik berdasarkan informasi kejadian gempa yang telah diketahui secara pasti baik itu magnitudo gempa, jarak dari sumber gempa ke site, ataupun kedalaman

sumber gempa. Metode DSHA umumnya digunakan untuk memperkirakan percepatan gempa untuk bangunan-bangunan yang sangat membahayakan jika terjadi kerusakan seperti Gardu Induk milik PT.PLN, bendungan, PLTU, pengeboran minyak milik PT. Pertamina dan bangunan yang dekat sesar aktif. Metode DSHA mampu memberikan resiko gempa terbesar karena didasarkan jarak terdekat dan magnitudo terbesar. Namun, metode DSHA ini memiliki kelemahan yaitu metode DSHA tidak dapat mempertimbangkan probabilitas terjadinya gempa dan pengaruh berbagai ketidakpastian yang terkait dalam analisis. Kelemahan pada metode DSHA tersebut disempurnakan oleh metode PSHA (Habiburrahman, 2019). Metode PSHA pertama kali dikembangkan berdasarkan teori probabilitas total. Pada prinsipnya metode PSHA merupakan metode DSHA dengan berbagai macam scenario yang tidak hanya didasarkan pada parameter gempa yang menghasilkan pergerakan tanah terbesar, tetapi juga memperhitungkan factor-faktor ketidakpastian seperti ukuran, lokasi, dan frekuensi kejadian gempa (Azmiyati 2021). Hingga saat ini, metode ini terus mengalami perkembangan dan merupakan salah satu metode yang cukup populer dan banyak dipergunakan. Kelebihan dari metode ini yaitu memungkinkan untuk memasukkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis sehingga data yang didapat lebih rasional dan mendekati kejadian sebenarnya (Saputra et al., 2020). Faktor-faktor ketidakpastian tersebut dapat diidentifikasi dan diperkirakan untuk selanjutnya digabungkan dengan metode pendekatan yang rasional di dalam PSHA dalam rangka memperoleh gambaran yang lebih lengkap tentang kejadian gempa di suatu wilayah (Nurhidayatullah and Kurniati, 2020). PSHA pada dasarnya berkaitan dengan estimasi tingkat kejadian yang diharapkan.

Selain itu, keunggulan lain dari metode ini adalah mampu mengintegrasikan hazard dari suatu lokasi terhadap berbagai sumber. PSHA pada umumnya berkaitan dengan memperkirakan besarnya kejadian yang diharapkan. Dalam analisis PSHA, perlu diketahui hambatan maksimum pada setiap sumber atau segmen seismik, gempa terakhir, dan periode alami atau frekuensi gempa, dengan mempertimbangkan seberapa besar kemungkinan melampaui seismisitas tertentu (resiko seismik).

Berdasarkan uraian tersebut, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui dampak bahaya kegempaan di Wilayah Yogyakarta berdasarkan data gempa tahun 1990 sampai tahun 2020 menggunakan analisis PSHA. Analisis bahaya kegempaan dilakukan dengan menghitung *peak ground acceleration* (PGA). Percepatan tanah maksimum merupakan salah satu indikator yang digunakan sebagai studi tingkat kerusakan tanah yang disebabkan oleh getaran gempa bumi yang terjadi di permukaan. PGA ini digunakan sebagai parameter penilaian bahaya kegempaan di suatu wilayah.

Penelitian yang dilakukan berjudul “Analisis bahaya kegempaan di wilayah Yogyakarta Menggunakan Metode PSHA dengan tujuan untuk meminimalisasi dampak dari bencana gempa bumi di wilayah rawan bencana gempa.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi bahaya kegempaan di Wilayah Yogyakarta berdasarkan data gempa tahun 1990 sampai tahun 2020 menggunakan analisis PSHA?

2. Bagaimana hasil analisis data gempa tahun 1990 sampai tahun 2020 dengan menggunakan pendekatan analisis PSHA dalam mengkaji bahaya kegempaan di Wilayah Yogyakarta?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan dalam latar belakang masalah, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk:

1. Melakukan analisis potensi gempa untuk mengetahui dampak bahaya kegempaan di Wilayah Yogyakarta berdasarkan data gempa tahun 1990 sampai tahun 2020 menggunakan analisis PSHA.
2. Mengetahui hasil analisis data gempa melalui peta sebaran bahaya kegempaan di Wilayah Yogyakarta dengan menggunakan pendekatan analisis PSHA.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat untuk memfasilitasi pengembangan bidang keilmuan

Penelitian ini dapat bermanfaat bagi peneliti lain, dan dapat menjadi acuan bagi peneliti lain dalam pengembangan bidang keilmuan tersebut.

2. Manfaat bagi Jurusan Fisika

Semoga penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan atau referensi untuk penulisan proposal penelitian atau tugas akhir bagi mahasiswa Fisika UIN Malang.

3. Manfaat bagi Masyarakat

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai standar rujukan atau referensi bagi masyarakat untuk mendeteksi bahaya gempa di Wilayah Yogyakarta.

4. Manfaat untuk Diri Sendiri

Dengan adanya penelitian ini dapat memberikan gambaran dan pengetahuan yang mendalam tentang metode PSHA untuk menganalisis bahaya gempa di Wilayah Yogyakarta.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, dalam penelitian ini perlu adanya pembatasan masalah agar pengkajian masalah lebih terarah. Batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya:

1. Wilayah penelitian adalah wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY).
2. Data gempa yang dipergunakan berasal dari ISC dan BMKG dari tahun 1990 - 2020 dengan batasan koordinat 8.3° - 7.2° LS dan 109.2° - 111.0° BT atau dengan radius 500 km dari pusat wilayah DIY (koordinat pusat: 7.25° LS dan 110.25° BT).
3. Data gempa yang digunakan adalah gempa utama (mainshock).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Teori

2.1.1. Analisis Bahaya Kegempaan

Hazard dapat didefinisikan sebagai bahaya atau ancaman. Dalam bidang seismologi, hazard dapat diartikan sebagai potensi bahaya atau ancaman yang merupakan hasil dari interaksi antara kejadian alam yang ekstrim (yang masih berupa potensi) dengan sistem lingkungan manusia (yang berupa realita). Seismic hazard (bahaya kegempaan) merupakan bahaya yang memiliki hubungan dengan aktivitas gempa dimana risikonya mengandung makna probabilitas terjadi kerugian materi maupun korban jiwa yang diakibatkan oleh suatu bencana alam tertentu. Resiko tersebut menghubungkan secara langsung antara kejadian bencana alam dengan kerugian yang diakibatkannya (Synthia et al., n.d.).

Analisa bahaya gempa memiliki tujuan untuk menentukan suatu batas intensitas gempa tertentu yang berlaku di daerah penelitian berdasarkan suatu nilai kemungkinan yang akan terjadi atau yang terlampaui pada suatu periode tertentu. Untuk melakukan analisis bahaya gempa perlu adanya pemahaman mengenai beberapa pengetahuan dan teori dasar yang berkaitan dengan seismotektonik, kegempaan, geologi, dan geoteknik. Pengetahuan dasar tersebut meliputi pengetahuan mengenai teori tektonik lempeng, teori elastic rebound, kondisi seismotektonik wilayah penelitian, gambaran umum kondisi tektonik Indonesia, pengetahuan mengenai gempa dan gelombang seismik, identifikasi dan pemodelan sumber gempa, fungsi atenuasi, pengelolaan ketidakpastian menggunakan logic tree, analisis resiko gempa, serta analisis hazard gempa,

distribusi magnitudo, jarak, dan parameter seismik terlampaui (Hutapea & Mangape, 2009).

Seismic hazard dan resiko seismik merupakan dua bentuk yang berbeda. Seismic hazard merupakan bentuk fisik dari bahaya itu sendiri, meliputi *ground motion*, pergeseran patahan, likuifaksi, dll, yang dapat menyebabkan suatu bahaya. Sedangkan untuk resiko seismik sendiri adalah kemungkinan dari kehilangan harta benda maupun menimbulkan korban jiwa yang merupakan akibat dari seismic hazard. Untuk meminimalisasi dampak dari bencana gempa yang ditimbulkan, diperlukan upaya mitigasi secara dini dan optimal. Salah satunya yaitu dengan membuat peta hazard gempa yang dapat berguna dalam perencanaan bangunan tahan gempa dan menggambarkan efek gempa pada suatu lokasi yang akan membantu dalam rangka mengantisipasi dan meminimalisasi korban jiwa maupun kerugian harta benda (Susilo and Adnan, 2013). Dilakukannya analisis hazard gempa untuk memberikan estimasi kuantitatif dari guncangan gempa pada suatu lokasi tertentu. Analisa ini dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu secara *deterministik (Deterministic Seismic Hazard Analysis)* dan secara *probabilistik (Probabilistic Seismic Hazard Analysis)*. Dalam metode deterministik, skenario kejadian gempa telah ditentukan. Skenario tersebut meliputi skenario mengenai kejadian gempa dengan magnitudo tertentu yang akan terjadi pada lokasi tertentu. Sedangkan untuk metode probabilistik dengan mempertimbangkan faktor ketidakpastian dalam magnitudo, lokasi, dan waktu kejadian gempa (Sunardi, 2015).

Dalam al-Qur'an Allah SWT berfirman dalam surat Al-A'raf ayat 78:

فَأَخَذْتَهُمُ الرِّجْفَ فَأَصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جُثَمِينَ

“Lalu datanglah gempa menimpa mereka, dan mereka pun mati bergelimpangan di dalam reruntuhan rumah mereka.” (QS.Al-A’raf):78

Dari kutipan surah diatas mengajarkan kita agar tidak bersifat sombong karena pada dasarnya sifat sombong itu membawa malapetaka dan menjerumuskan kita ke hal yang tidak baik. Karena kesombongan dan perbuatan mereka yang melampaui batas itu, lalu datanglah gempa dan petir yang dahsyat menimpa mereka dan menghancurkan bangunan-bangunan yang ada di sekitarnya, dan mereka pun mati binasa, mayat-mayat mereka bergelimpangan di dalam reruntuhan puing-puing rumah mereka.

Pada saatnya gempa bumi yang besar dan gunung-gunung berterbangan akan terjadi dimana telah dijelaskan dalam Al-Qur’an surah Al-Qari’ah ayat 5:

وَتَكُونُ الْجِبَالُ كَالْعِهْنِ الْمَنْفُوشِ

“Dan gunung-gunung adalah seperti bulu yang dihambur-hamburkan” (Q.S Al-Qari’ah:5)

Kutipan surah di atas dapat dijelaskan bahwa ini merupakan cercaan terhadap kejahatan-kejahatan tersebut yang akan mendapat perhitungan pada hari kiamat. Pada hari itu bumi benar-benar akan dihancurkan, gunung-gunung akan saling berhantaman sehingga akan luluh lantak, setiap bagiannya akan berhamburan akibat guncangan yang Allah ciptakan. Kemudian bumi akan menjadi hamparan luas, tidak ada sedikitpun gundukan pada permukaannya. Pada hari itu Allah akan datang untuk memberi keputusan di antara para hamba, dan para malaikat yang bersamanya akan membentuk barisan.

Secara umum, analisis dengan menggunakan pendekatan probabilistik dianggap lebih rasional dibandingkan dengan analisis deterministik. Hasil dari analisis dengan menggunakan pendekatan probabilistik tersebut dapat digunakan

langsung untuk memprediksi hazard gempa dari suatu lokasi yang berkaitan dengan konsekuensi terburuk yang mungkin dapat terjadi. Sampai saat ini, metode PSHA masih digunakan oleh para perancang struktur untuk mendesain berbagai struktur tahan gempa. Pada prinsipnya, *PSHA* adalah metode deterministik yang analisisnya melibatkan banyak skenario, dan tidak hanya bersumber dari parameter seismik yang berasal dari ground motion terbesar. Metode ini digunakan dalam analisis bahaya seismik berdasarkan definisi dari fungsi distribusi probabilitas yang menggunakan ketidakpastian dari skala kejadian gempa bumi, lokasi kejadian gempa, dan frekuensi kejadian gempa untuk mendapatkan level resiko kejadian gempa di lokasi penelitian (Susilo and Adnan, 2013).

Metode DSHA dan PSHA pada kenyataannya saling melengkapi satu sama lain. Hasil DSHA dapat diverifikasi dengan PSHA untuk memastikan bahwa kejadian tersebut masih realistis atau ada kemungkinan akan terjadi. Sebaliknya, hasil analisis PSHA dapat diverifikasi oleh hasil analisis DSHA untuk memastikan bahwa hasil analisis tersebut rasional. Lebih jauh, Mc Guire pada tahun 2004 seperti dikutip oleh Tim Revisi Peta Gempa Indonesia (2010) menyampaikan bahwa DSHA dan PSHA akan saling melengkapi tetapi dengan tetap memberikan penekanan pada salah satu hasil.

2.1.2. Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Metode *PSHA* pertama kali dikembangkan oleh Cornell pada tahun 1968, kemudian dilanjutkan oleh Merz pada tahun 1973 setelah itu lebih lanjut dikembangkan oleh Mc. Guire pada tahun 1976. Analisis ini bertujuan untuk

menentukan probabilitas terlampauinya nilai percepatan gempa pada suatu periode ulang tertentu.

PSHA merupakan metode yang digunakan untuk menentukan seberapa bahaya kegempaan secara *probabilistic* menggunakan pengukuran perkiraan besaran peluang suatu daerah atau lokasi dengan jarak (R) dari pusat sumber gempa yang mengalami pergerakan tanah. Teori ini mengansumsikan bahwa gempa dengan *magnitude*(M) dan *distance*(R) sebagai suatu variabel acak.

Untuk Metode PSHA, adapun persamaan dalam bentuk umum yaitu teorema probabilitas dapat dinyatakan dalam persamaan 2.2

$$P | I \geq i | = \int_r \int_m P | I \geq i | m \text{ dan } r | f_m(m) f_r(r) dm dr \quad (2.2)$$

Dimana

f_m : fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*) dari magnitude

f_r : merupakan fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*) dari jarak hiposenter,

$P | I \geq i |$ dan r : Kondisi probabilitas acak intensitas (I) yang melampaui nilai (i) pada suatu lokasi akibat magnitude gempa (M) dan jarak hiposenter (R)

Untuk mencari Probabilitas dapat menggunakan Persamaan Weibull, yaitu:

$$P = \frac{M}{n + 1}$$

Dimana

P = Probabilitas

M = Jumlah dari Magnitudo

n = Banyaknya data atau jumlah kejadian

Pada metode ini Input data yang digunakan dalam PSHA antara lain:

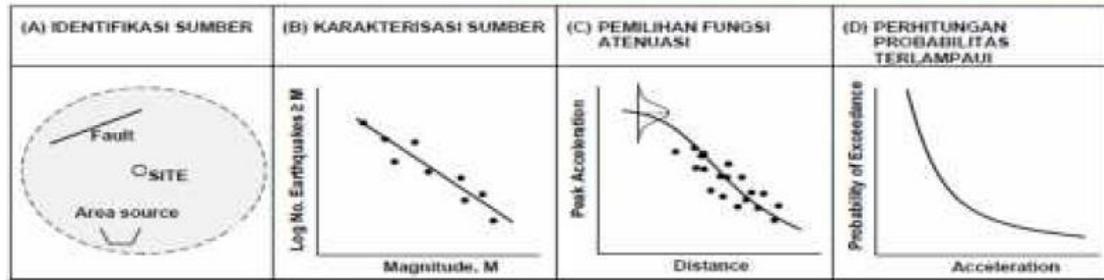
- a. Sumber gempa bumi yang dapat mengakibatkan kerusakan, misalnya sumber gempa dengan jarak 300-500 km dari daerah pengamatan.
- b. Total aktifitas gempa bumi dari setiap sumber-sumber gempa.
- c. Karakteristik lokal suatu daerah (*geological and soil conditions*).
- d. Kondisional probabilitas dari parameter gempa.
- e. Persamaan model *ground motion*.

Selain input data seperti diatas diperlukan juga informasi tambahan lain seperti geometri dan jenis sumber gempa.

Pada dasarnya perhitungan *Probability Seismic Hazard Analysis (PSHA)* terdiri dari lima tahap.

1. Identifikasikan semua sumber gempa bumi yang kemungkinan menghasilkan percepatan tanah merusak.
2. Karakterisasi distribusi magnitudo gempa bumi (laju dimana gempa-gempa dari berbagai magnitudo di duga terjadi).
3. Karakterisasi distribusi jarak sumber ke site yang berkaitan dengan potensi gempa.
4. Prediksi distribusi intensitas gerakan tanah yang dihasilkan sebagai suatu fungsi dari besaran gempa bumi, jarak, dan sebagainya.
5. Dilakukan perhitungan secara empiris dengan menggunakan suatu perhitungan yang dikenal sebagai persamaan Weibull.

Secara umum digambarkan dalam gambar 2.1 berikut:



Gambar 2. 1 Langkah-langkah PSHA untuk mendapatkan pergerakan tanah

Akhir dari metode PSHA ini adalah resiko gempanya yang di tentukan setelah melakukan perhitungan PSHA. Resiko gempa merupakan kemungkinan terlampauinya (probability of exceedance) suatu gempa dengan intensitas tertentu selama suatu masa guna bangunan.

2.1.2.1 Magnitudo Maksimum dan *slip rate*

Magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa bumi, menggambarkan jumlah besarnya energi yang terlepas pada saat gempa bumi terjadi dan merupakan hasil pengamatan dari seismograf. Magnitudo gempa bumi yang digunakan pada umumnya ada 4 (empat) jenis meliputi magnitudo lokal, magnitudo gelombang permukaan, magnitudo gelombang badan dan magnitudo momen. Magnitudo lokal digunakan untuk gempa bumi lokal yang biasanya berjarak <600 km dari stasiun pemantau. Magnitudo gelombang permukaan digunakan pada kejadian gempa bumi dangkal (dengan kedalaman <70 km) yang terekam pada jarak yang cukup jauh (20°-180°) dan determinasinya menggunakan gelombang Rayleigh. Magnitudo gelombang badan ini digunakan pada kejadian gempa bumi yang jarak jauh saat gelombang gempa bumi menjalar melalui inti bumi dan mulai mengalami perubahan karakteristik. Magnitudo momen yaitu tipe magnitudo yang berkaitan dengan momen seismik namun tidak bergantung dari besarnya magnitudo permukaan (Ismail,1988).

Magnitudo maksimum merupakan gambaran magnitudo gempa yang terbesar yang pernah terjadi di suatu wilayah tersebut atau *historic earthquake* berdasarkan penelitian para ahli atau perhitungan geofisika menurut kondisi tektonik dan pergeseran batuan suatu wilayah. Magnitudo maksimum dapat pula ditentukan menggunakan katalog gempa atau hasil yang telah ditentukan oleh peneliti terdahulu. Nilai *slip rate* (laju geser permukaan) merupakan salah satu parameter yang penting dalam proses analisis bahaya kegempaan di suatu wilayah. Besar dan arah slip rate bisa didapatkan dengan menggunakan metode survey GPS (Kumala, Huda, and Irawan, 2018).

2.1.2.2 Konversi Skala Magnitudo

Data katalog gempa bumi yang dikumpulkan dari berbagai sumber umumnya menggunakan skala magnitudo yang berbeda-beda. Skala magnitudo yang digunakan antara lain adalah magnitudo *surface wave (ms)*, magnitudo *Richter local (ML)*, magnitudo *body wave (mb)* dan *magnitudo moment (Mw)*. Nilai-nilai magnitudo tersebut harus dikonversi terlebih dahulu menjadi satu skala nilai magnitudo yang sama sebelum digunakan untuk menganalisis resiko gempa.

Untuk mengkonversi Magnitudo digunakan metode Scordilis yaitu:

$$M_w = 1,017 M_b + 0,0801$$

$$M_w = 0,0616 M_s + 2,476$$

$$M_b = 0,125 (M_l)^2 - 0,389 (M_l) + 3,513$$

2.1.2.3 Logic Tree

Pendekatan dengan model *logic tree* ini sangat memungkinkan untuk penggunaan beberapa alternatif metode atau model dengan menentukan faktor bobot yang dapat menggambarkan persentase kemungkinan keakuratan relatif suatu model terhadap model lainnya. Model ini terdiri dari beberapa jenis

rangkaian nodal (node) yang direpresentasikan sebagai titik dimana model yang dispesifikkan dan cabang yang merepresentasikan model yang berbeda dengan yang dispesifikasikan pada tiap nodal. Total nilai penjumlahan untuk tiap probabilitas dari semua cabang yang dihubungkan dengan satu nodal tertentu nilainya harus sama dengan 1 (satu). Dalam menggunakan logic tree, satu analisis risiko gempa bumi harus diselesaikan untuk kombinasi model dan/atau parameter yang berkaitan dengan tiap ujung cabang masing-masing nodal. Hasil dari setiap analisis diberikan oleh nilai bobot kemungkinan relatif dari kombinasi cabang, dengan hasil akhir diambil sebagai penjumlahan dari nilai bobot masing-masing. Model logic tree yang dipakai disesuaikan dengan model sumber gempa yang digunakan (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010).

2.1.3. Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Percepatan pergerakan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) merupakan nilai dari percepatan gerak tanah maksimum sebagai salah satu indikator yang digunakan sebagai studi tingkat kerusakan tanah yang disebabkan oleh getaran gempa bumi yang terjadi di permukaan. Percepatan pergerakan tanah maksimum dapat diketahui dengan menggunakan dua cara, antara lain pengukuran menggunakan alat *accelerograph* (perekam getaran tanah) dan melalui pendekatan empiris (rumus PGA).

Nilai dari percepatan pergerakan tanah maksimum atau Peak Ground Acceleration (PGA) dapat dihitung dengan rumus empiris yang menggunakan Metode Joyner & Boore (1988) pada persamaan 2.3 berikut:

$$\alpha = 10^{(0,43+0,23 M_w - 6) - \log r - 0,0027 r} \quad (2.3)$$

$$\text{Dimana } r = \sqrt{r_0^2 + 8^2}$$

Dengan α adalah percepatan tanah, r adalah jarak dalam km, dan r_0 adalah jarak terdekat dari *site* terhadap proyeksi vertikal dari gempa akibat patahan pada permukaan tanah.

Percepatan tanah maksimum merupakan suatu besaran yang dihitung di titik pengamatan / titik penelitian pada permukaan bumi dari riwayat gempa bumi dengan nilai perhitungan yang dipilih paling besar. Nilai percepatan tanah yang diperhitungkan sebagai salah satu bagian dalam perencanaan bangunan tahan gempa yaitu nilai percepatan tanah maksimum (Hadi, dkk., 2012). Percepatan tanah maksimum atau peak ground acceleration (PGA) merupakan nilai terbesar percepatan tanah pada suatu wilayah yang diakibatkan dari getaran gempa bumi dalam periode tertentu. Kondisi geologis tanah atau batuan yang sangat menentukan besar kecilnya nilai PGA adalah tingkat kepadatan batuan di daerah tersebut. Semakin solid struktur batuan maka nilai PGA di daerah tersebut semakin kecil begitu pula sebaliknya.

Semakin besar nilai magnitudo maka semakin besar energi yang dikeluarkan sumber gempa bumi. Hal ini yang akan mengakibatkan semakin besar bencana yang ditimbulkannya. Kondisi di sekitarnya juga berpengaruh pada tingkat kerusakan bangunan. Faktor yang menjadi sumber kerusakan dinyatakan dalam parameter percepatan tanah. Sehingga, data percepatan tanah maksimum akibat getaran gempa bumi pada suatu lokasi menjadi penting untuk menggambarkan tingkat risiko gempa bumi pada suatu lokasi tertentu. Semakin besar percepatan tanah maksimum di suatu tempat, maka semakin besar risiko gempa bumi yang terjadi. Perumusan ini tidak selalu benar, bahkan dari suatu metode lainnya tidak

selalu sama. Namun cukup memberikan gambaran tentang resiko tinggi terhadap kerusakan gempa bumi pada suatu daerah (Edwiza, 2008).

2.1.4. Analisis Potensi Bencana Gempa

Akhir dari metode PSHA ini adalah resiko gempa nya yang di tentukan setelah melakukan perhitungan PSHA. Analisis potensi bencana gempa meliputi estimasi nilai percepatan gempa maksimum (PGA) dan Probabilitas serta respon spektra target di batuan dasar untuk periode ulang tertentu berdasarkan teori probabilitas total dengan memperhitungkan kemungkinan terlampauinya suatu gempa tertentu yang didefinisikan sebagai resiko tahunan (RA). Nilai dari resiko tahunan (RA) tersebut berbanding terbalik dengan periode ulang rata-rata. Sehingga, didapatkan hubungan sebagaimana ditunjukkan pada persamaan di bawah ini (Sunardi, 2015)

$$T = \frac{1}{RA} \quad (2.4)$$

Resiko gempa adalah kemungkinan terlampauinya (*probability of exceedance*) suatu gempa dengan intensitas tertentu serta periode ulang rata-rata tertentu selama suatu masa bangunan. Resiko gempa dapat dinyatakan dalam bentuk sebagaimana pada persamaan di bawah ini.

$$R_N = 1 - (1 - R_A)^N \quad (2.5)$$

Dengan:

R_N = Resiko gempa

R_A = Resiko tahunan = $1/T$

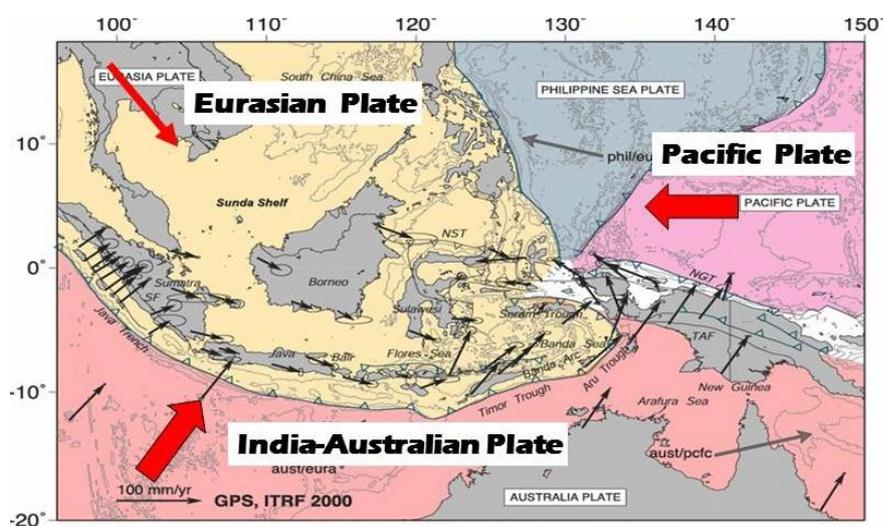
T = Periode ulang rata-rata gempa

N = Masa guna bangunan

Peraturan terbaru mengenai bangunan internasional untuk bangunan tahan gempa sudah menggunakan peta hazard gempa dengan resiko terlampaui sebesar 2% selama masa bangunan 50 tahun atau setara dengan periode ulang gempa 2.475 tahun, seperti yang telah disebutkan pada NEHRP 1997, ASCE 7-98, dan IBC 2000 (Imran and Boediono, 2010).

2.2. Tatanan Wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY)

Kondisi tektonik Indonesia yang terletak di pertemuan tiga lempeng besar dunia, yaitu lempeng Pasific, lempeng Hindia – Himalaya, dan lempeng Eurasia, dan sembilan lempeng kecil atau microblok menyebabkan wilayah indonesia memiliki potensi besar terjadi gempa bumi. Sesuai pernyataan tersebut, akibat proses tektonik ini peristiwa gempa sering terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia yang mana salah satu sumber gempa yang teridentifikasi ada pada zona subduksi aktif di bagian barat sampai bagian timur Indonesia. Selain sisa energi dari proses tumbukan antar lempeng yang akan mengakibatkan adanya sesar di daratan atau lautan Indonesia. Gambar peta tektonik wilayah Indonesia ditunjukkan dalam Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Peta Tektonik wilayah Indonesia dan sekitarnya

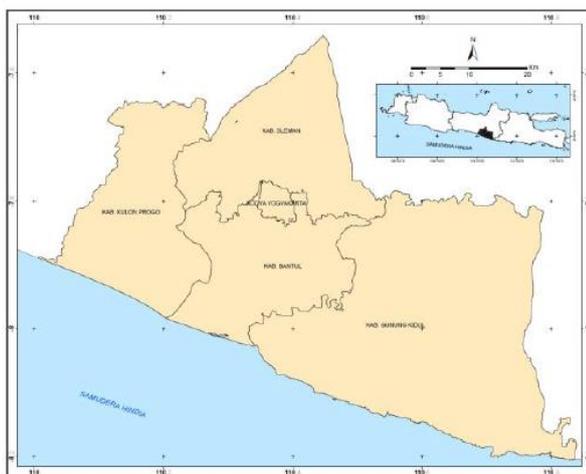
Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan bagian dari wilayah Indonesia. Yogyakarta, secara geografis berada pada posisi 7.5° - 8.2° Lintang Selatan dan 110° - 110.9° . Peta DIY sebagai daerah penelitian ditunjukkan dalam gambar 2.2. Secara fisiologi DIY memiliki dua bagian yaitu daerah dataran dan daerah pegunungan. Daerah pegunungan berada dibagian selatan provinsi DIY. Pegunungan Selatan Yogyakarta, merupakan daerah pegunungan yang terdiri dari batuan gunung api berumur Oligosen - Miosen dan batu gamping berumur Miosen - Pliosen. Sedangkan dataran Yogyakarta merupakan daerah datar yang terdiri dari endapan gunung api. Gunung Api tersebut adalah merapi muda yang sebagian besar tersusun oleh alluvial, tuff, breksi agglomerate, dan aliran lava, yang terdapat di selatan Gunung Merapi hingga pantai selatan Yogyakarta.

Struktur geologi DIY berupa sesar, struktur ini merupakan sesar yang membentuk daerah depresi Yogyakarta yang dibatasi tinggian di bagian barat (Kulon Progo) dan timur (Pegunungan Selatan Wonosari). Kelurusan sesar di wilayah Yogyakarta terdiri dari tiga sistem arah sesar, yaitu: Sistem Sesar Barat - Timur, yaitu sistem patahan yang berkembang di daerah pegunungan yang menjadi tinggian pembatas zona depresi Yogyakarta; Sistem Sesar Barat Laut - Tenggara, yaitu sistem sesar yang membatasi zona depresi Yogyakarta dan tinggian Kulon Progo, dan Sistem Sesar Timur laut – Barat daya, yaitu sistem sesar yang membatasi zona depresi Yogyakarta dan tinggian Wonosari, berarah relatif mengikuti Sungai Opak sehingga seringkali dikenal sebagai Sesar Opak (Teguh et al., 2011).

Daerah Istimewa Yogyakarta berhadapan langsung dengan zona subduksi selatan Jawa. Zona subduksi dibagi menjadi zona megathrust / interplate dan zona

benioff / intraslab. Zona megathrust berada pada kedalaman kurang dari 50 km dan zona benioff pada kedalaman lebih dari 50 km (Sunardi and Sulastri, 2015).

Keberadaan sistem sesar serta letaknya yang berhadapan langsung dengan zona subduksi selatan Jawa, menjadikan wilayah Yogyakarta rawan terhadap ancaman bahaya gempabumi. Gempa bumi Yogyakarta, 27 Mei 2006 merupakan salah satu contoh gempa bumi merusak yang terjadi di wilayah ini.



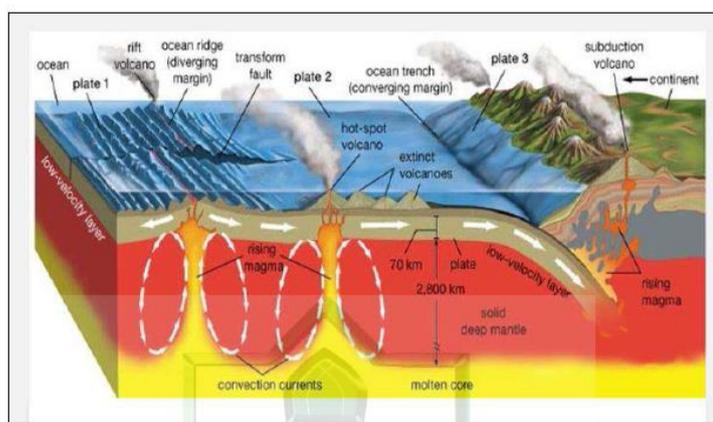
Gambar 2. 3 Daerah Penelitian

2.2.1. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang seismik sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (BMKG). Kejadian gempa sangat erat kaitannya dengan gerakan lempeng tektonik dan teori elastic rebound. Lempeng-lempeng tektonik di dunia bergerak menurut arah dan kecepatannya masing-masing.

Gerakan lempeng-lempeng tektonik tersebut ada yang saling menjauhi, saling mendekati atau saling bergeser. Umumnya gerakan ini berlangsung lambat. Kadang-kadang, gerakan lempeng ini macet dan saling mengunci, sehingga terjadi pengumpulan energi yang berlangsung terus sampai pada suatu saat batuan pada lempeng tektonik tersebut tidak lagi kuat menahan gerakan tersebut sehingga terjadi pelepasan energi secara mendadak yang biasa dikenal sebagai gempa bumi.

Gempa tidak lain merupakan manifestasi dari getaran lapisan batuan yang patah yang energinya menjalar melalui badan dan permukaan bumi berupa gelombang seismik. Energi yang dilepaskan pada saat terjadinya patahan tersebut dapat berupa energi deformasi, energi gelombang dan lain-lain. Energi deformasi ini dapat terlihat pada perubahan bentuk sesudah terjadinya patahan, misalnya pergeseran. Sedang energi gelombang menjalar melalui medium elastis yang dilewatinya yaitu lapisan bumi dan dapat dirasakan di daerah terjadinya gempa tersebut. Mekanisme gempa bumi di ilustrasikan pada gambar 2.4 berikut:

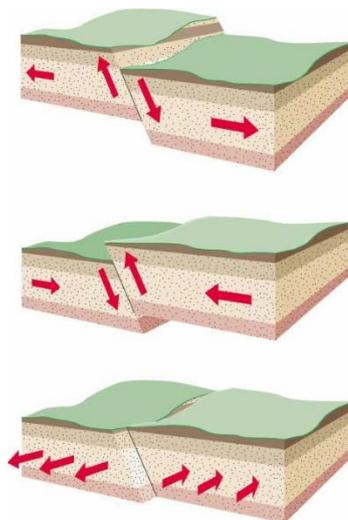


Gambar 2. 4 Ilustrasi Mekanisme terjadinya gempa bumi

Berdasarkan penyebabnya gempa dikategorikan sebagaimana berikut.

1. Gempa Tektonik (*Tectonic Earthquake*).

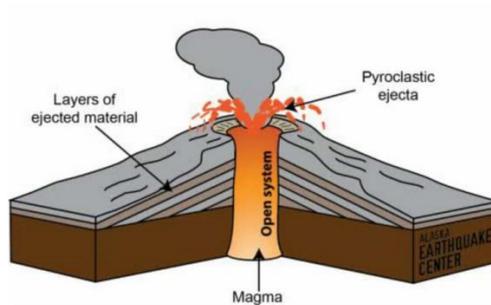
Gempa tektonik erat hubungannya dengan aktivitas lempeng tektonik baik skala regional maupun global. Gerakan lempeng tektonik dapat saling bertemu (*convergent*), saling menggeser (*shear*), saling tarik (*tension*) maupun kombinasi di antaranya. Gempa ini umumnya lebih besar dibandingkan dengan jenis gempa-gempa lainnya. Ilustrasi terjadinya gempa tektonik ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2. 5 Ilustrasi Gempa Tektonik

2. Gempa Vulkanik (*Vulcanic Earthquake*).

Gempa yang terjadi akibat aktivitas vulkanik. Akibat panas dan tekanan dari dalam bumi, magma yang berada pada kantong di bawah gunung api akan keluar dengan tidak lancar sehingga dapat menimbulkan ledakan. Getaran tanah yang ditimbulkan oleh proses keluarnya magma tersebut menyerupai gempa walaupun intensitasnya lebih kecil dari gempa tektonik. Ilustrasi gempa vulkanik ditunjukkan pada gambar 2.6

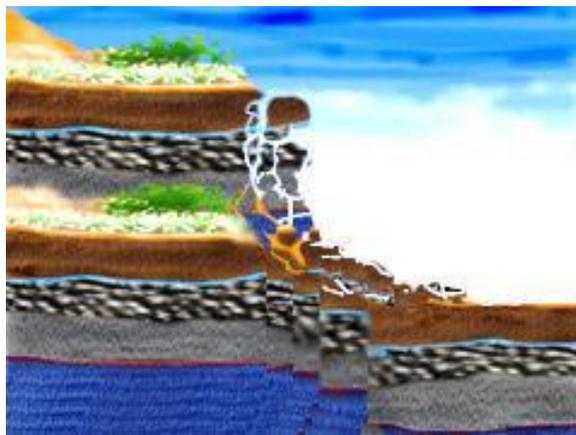


Gambar 2. 6 Ilustrasi terjadinya gempa vulkanik

3. Gempa Runtuhan (*Collapse Earthquake*).

Runtuhan lapisan tanah baik runtuh di dalam gua ataupun tambang dalam batas-batas tertentu dapat mengakibatkan getaran pada tanah. Getaran tanah yang terjadi mirip dengan gempa walaupun intensitasnya relatif kecil.

Ilustrasi gempa runtuh ditampilkan dalam Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Ilustrasi gempa runtuh

4. Gempa Ledakan (*Explosion Earthquake*).

Gempa ledakan terjadi dikarenakan adanya ledakan yang cukup besar di dalam tanah, misalnya akibat percobaan ledakan nuklir di dalam tanah. Ledakan tersebut akan menghasilkan energy dan tekanan yang sangat tinggi. Karena begitu besarnya getaran yang ditimbulkan sehingga getaran tersebut

dapat menjalar dari pusat ledakan ke segala arah termasuk ke permukaan tanah dan dapat dirasakan seperti gempa.

Klasifikasi lainnya, yaitu gempa bumi berdasarkan kedalaman sumber gempa atau epicentrum gempa. Berdasarkan kedalaman gempa diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Gempa dangkal : kurang dari 70 km².
2. Gempa menengah : kurang dari 300 km
3. Gempa dalam : lebih dari 300 km (kadang-kadang > 450 km).

Berikutnya klasifikasi gempa bumi berdasarkan waktunya,

1. Gempa Utama (*mainshock*).

Gempa utama yaitu gempa yang terjadi pada guncangan awal akibat deformasi yang diakibatkan oleh adanya interaksi antar lempeng.

2. Gempa Susulan (*aftershock*). Gempa susulan merupakan gempa yang terjadi setelah datangnya gempa utama. Susulan berarti yang kedua, ketiga dan seterusnya, berlaku di wilayah yang sama dengan gempa utama.
3. Gempa Pendahuluan (*foreshock*) Gempa pendahuluan merupakan gempa dengan magnitudo yang lebih kecil yang mendahului kejadian gempa utama dan terjadi di wilayah yang sama dengan gempa utama.

2.2.2. Parameter Gempa

Karakteristik dan aktivitas kegempaan suatu wilayah tercermin dalam parameter seismik yang dipergunakan dalam analisis bahaya gempa. Parameter yang digunakan dalam analisis bahaya gempa di antaranya adalah *b-value*, *a-value*, *slip rate*, magnitudo maksimum, mekanisme, dimensi patahan dan lain-lain (Sunardi and Sulastri, 2015).

Karakteristik sumber gempa dapat dilihat dari beberapa parameter yang tercantum dalam persamaan (Gutenberg dan Richter, 1954).

$$\log 10(n) = -bM + a \quad (2.1)$$

a, b : nilai konstanta real positif

$N(m)$: nilai frekuensi terjadinya gempa dengan magnitudo sebesar $M \geq m$ persatuan waktu

a : nilai konstanta karakteristik daerah gempa yang tergantung pada jangka waktu pengamatan tertentu dengan tingkat kegempaan daerah sumbernya.

b : nilai konstanta karakteristik daerah gempabumi yang menyatakan penyebaran relatif dari magnitudo gempa bumi pada sembarang sumber titik di daerah sumber gempa bumi. Nilai parameter *a-value* dan *b-value* ini diperoleh dari regresi catatan gempa bumi yang pernah terjadi pada sumber gempa bumi.

Parameter *a-b* merupakan model matematis yang menggambarkan tentang aktifitas suatu gempa yang terjadi pada batuan dasar di suatu daerah. Parameter *a-b* didapatkan dari *Guttenberg-Richter recurrence relationship*. Nilai *a* menunjukkan keaktifan seismik yang sedang diamati dan tergantung pada periode pengamatan, luas daerah pengamatan dan tingkat seismisitas di daerah tersebut. Sedangkan nilai *b* menunjukkan kemiringan atau gradien dari persamaan linier hubungan frekuensi dan magnitudo. Parameter *a-b* juga dapat dikatakan sebagai parameter seismisitas yang menggambarkan karakteristik tektonik kegempaan di suatu daerah.

2.3. Kerangka Berpikir

Berdasarkan hasil observasi data gempa bumi pada daerah Provinsi DIY diketahui bahwa akibat letak geografis DIY cukup menyebabkan DIY memiliki

kerentanan terjadinya gempa. Data gempa bumi yang direkam dan di dokumentasi oleh BMKG dan ISC mengandung berbagai informasi penting, diantaranya yaitu parameter gempa yang meliputi lokasi, tahun kejadian, dimensi, jenis gempa, mekanisme, sumber gempa bumi (Jarak dari titik tertentu dan kedalaman), tingkat aktifitasnya dan magnitudonya. Informasi data gempa bumi tersebut setelah dihimpun dalam waktu lama akan menghasilkan sebuah katalog. Artinya dalam katalog tersebut terekam catatan seluruh kejadian gempa beserta parameternya. Data-data histori gempa yang telah terjadi tersebut kemudian digunakan sebagai informasi utama untuk menilai tingkat bahaya kegempaan suatu wilayah. Tingginya kemungkinan kerugian memerlukan langkah mitigasi yang tepat. Analisis bahaya kegempaan merupakan salah satu langkah mitigasi paling awal. Analisis bahaya kegempaan dilakukan dengan menggunakan data yang bersumber dari rekaman bencana gempa oleh badan nasional maupun internasional. Gempa yang terjadi selanjutnya diidentifikasi dan ditentukan persamaan atenuasi, dan menentukan batasan intensitas berdasarkan periode tertentu. Data parameter gempa yang telah terekam dalam katalog gempa tersebut terkadang memiliki jenis magnitude yang berbeda. Untuk itu perlu penyeragaman agar semua data memiliki parameter yang sama sehingga dapat dilakukan pemisahan. Setelah penyeragaman ini dilakukan, selanjutnya dilakukan pemisahan berdasarkan magnitudo dan waktu terjadinya, sehingga dihasilkan kelompok gempa bumi utama, gempa bumi susulan dan gempa bumi rintisan. Langkah selanjutnya adalah pemodelan gempa bumi sesuai data yang telah berhasil di pisahkan, pemodelan ini berdasarkan sumber gempanya yaitu meliputi megathrust, shallow crustal dan sumber gempa background. Selanjutnya adalah mencari nilai a & b value untuk sumber gempa

background. Hasil identifikasi kemudian dimodelkan untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian menggunakan metode studi kasus eksplorasi dan pendekatan penelitiannya menggunakan metode studi kasus kuantitatif yang digunakan untuk mendapatkan informasi bahaya kegempaan dan analisis nya menggunakan pendekatan PSHA (*Probabilitas Seismic Hazard Analysis*) di Provinsi DIY.

3.2. Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang didapat dari katalog Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan internasional berupa katalog ISC tahun 1990 sampai dengan 2020. Data sekunder ini berupa catatan kejadian gempa bumi yang signifikan pada tahun 1990 sampai tahun 2020 di Provinsi DIY.

3.3. Waktu dan Tempat Penelitian

Lokasi penelitian yaitu BMKG Stasiun Geofisika Kelas II Tretes Pasuruan. Proses penelitian mulai dilaksanakan pada bulan Januari 2022 dan rencananya akan selesai pada bulan Maret 2022.

3.4. Variabel Penelitian

Agar langkah penelitian yang dilakukan lebih jelas dan terarah, ditentukan variable-variabel penelitian sebagai berikut:

- a. Variabel Terikat dari penelitian ini adalah PGA.
- b. Variabel Bebas dari penelitian ini adalah Pendekatan PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*).

- c. Variabel Kontrol dari penelitian ini adalah data sekunder kejadian gempa bumi yang signifikan pada tahun 1990 sampai tahun 2020 di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

3.5. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

Alat:

- Perangkat keras berupa komputer atau laptop.
- Perangkat lunak berupa software Matlab,
- Perangkat lunak berupa software ZMAP

Bahan:

- Data sekunder kejadian gempa di Wilayah Yogyakarta dari tahun 1990 sampai 2020 dari katalog BMKG, ISC serta data langsung dari Stasiun Geofisika BMKG

3.6. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dirancang untuk memperoleh hasil penelitian sehingga dalam prosesnya setiap tahapan yang dilalui lebih terarah. Prosedur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Pengumpulan data dari sumber BMKG dan ISC
- b. Pengolahan Data Gempa, dilakukan melalui langkah-langkah berikut:
 - Konversi Skala Magnitude Gempa

Data gempa yang telah diperoleh dari katalog Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menggunakan skala gempa yang berbeda-beda, seperti skala magnitudo lokal (mL), magnitudo body

(mb), magnitudo surface (ms) dan magnitudo momen (Mw). Untuk itu, semua skala disamakan dulu melalui konversi ke skala magnitudo momen (Mw) menggunakan formula Scordilis.

- Identifikasi dan sortir data gempa dengan kriteria magnitudo lebih dari 5, kedalaman kurang dari 300 km dan jarak tidak lebih dari 500 km.

- Pemisahan data gempa (*Declustering*)

Data yang telah diseragamkan dalam Mw selanjutnya dipisahkan dari gempa pendahuluan (*foreshocks*) dan gempa susulan (*aftershocks*) menggunakan kriteria rentang dan jarak berdasarkan algoritma Gardner and Knopoff dan bantuan software ZMAP.

- Karakterisasi dan pemodelan Sumber Gempa

Karakterisasi dan pemodelan zona sumber gempa dilakukan dengan menginterpretasikan kondisi geologi, geografis, seismotektonik berdasarkan data skunder hasil kejadian gempa bumi di Yogyakarta dari tahun 1990 sampai pada tahun 2020 yang diperoleh dari data pengamatan lembaga pengamatan nasional berupa katalog Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan internasional berupa katalog ISC serta data langsung dari Stasiun Geofisika BMKG. Karakterisasi dan pemodelan zona sumber gempa ini akan memberikan gambaran kejadian gempa atau history gempa, frekuensi gempa, dan pergeseran relatif lempeng (*slip rate*). Zona sumber gempa diklasifikasikan menjadi 3 yaitu sumber gempa *fault*, sumber gempa *subduction* dan sumber gempa *background*. Pemodelan sumber gempa digunakan model pengulangan

recurrence Gutenberg-Richter dengan pemberian bobot pada masing-masing model.

- Penentuan parameter a dan b

Parameter a dan b ini ditentukan dengan penggunaan software Matlab-Zmap menggunakan metode *maximum likelihood*. Parameter a dan b didapatkan dari grafik hubungan magnitude dan frekuensi.

c. Analisis Data

Analisis dilakukan dengan pendekatan Seismic Hazard (PSHA) dengan Persamaan Weibull.

Pada pengolahan data gempa bumi dengan metode analisis PSHA, akan didapatkan indikator nilai parameter percepatan pergerakan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration (PGA)* dan periode pengulangan terjadinya gempa yang menjadi bahan pertimbangan untuk penentuan resiko bahaya kegempaan

- Analisis Bahaya Kegempaan

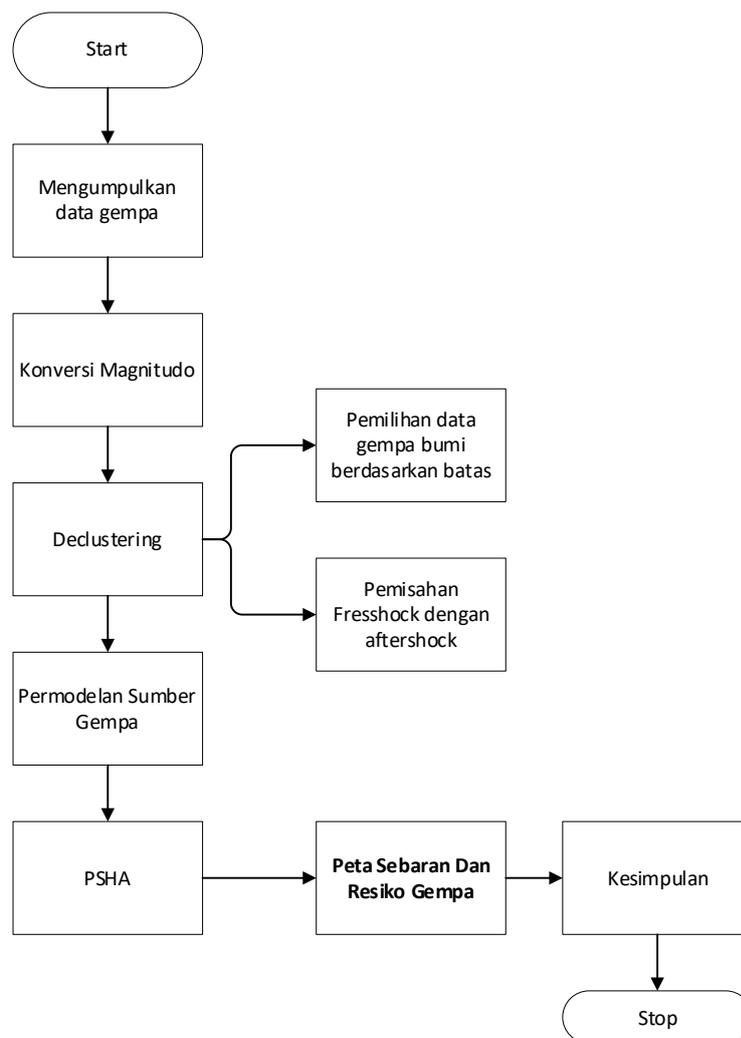
Dalam analisis bahaya kegempaan digunakan teori probabilitas total atau peluang ketidakpastian bahaya kegempaan total dengan mengasumsikan sumber gempa magnitudo (M) dan jarak hiposenter (R). dengan variabel acak kontinu dan independen yang dinyatakan dengan persamaan probabilitas total.

3.6.1 Penarikan kesimpulan

Setelah dilakukan analisis data bahaya kegempaan dan resiko kegempaan, maka akan didapatkan hubungan antara kejadian gempa dengan PGA kemudian dilakukan pembuatan peta sebaran gempa. Dari hasil ini dapat

dilakukan penarikan kesimpulan tingkat bahaya gempa bumi di wilayah Yogyakarta.

Dari uraian tersebut, prosedur penelitian dalam bentuk diagram alir digambarkan seperti gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.7. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan cara berikut:

a. Interview (Wawancara)

Teknik interview (wawancara) ini dilakukan melalui tanya-jawab serta diskusi dengan para narasumber ahli terkait dengan fenomena gempa bumi khusus di daerah Provinsi DIY.

b. Data Dokumentasi

Penelitian ini menggunakan data rekaman gempa antara tahun 1990 sampai dengan 2020 yang diperoleh dari katalog gempa BMKG dan International Seismological Centre (ISC). Dilakukan seleksi data gempa yang berada di radius 500 km untuk gempa jenis subduksi (megathrust dan benioff) serta 200 km untuk gempa tipe sesar (shallow crustal) dari koordinat pusat Kota Yogyakarta yaitu 110.37 BT 7.79 LS dengan magnitudo sama dengan atau lebih besar dari 5 Mw.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Data kejadian gempa bumi di Yogyakarta pada periode 30 Tahun mulai dari tahun 1990 hingga 2020 diperoleh dari BMKG Yogyakarta, diperoleh skala data gempa sejumlah 211 data dari 3 SR hingga 6,4 SR. Pengolahan data dengan penyeragaman magnitudo dan penyortiran data-data gempa menurut batasan wilayah Yogyakarta yang dilakukan dengan menggunakan software microsoft excel yang kemudian data skala magnitudo yang berbeda-beda akan dikonversikan menjadi satu magnitudo momen (M_w) ≤ 5 yang di tunjukkan pada tabel.

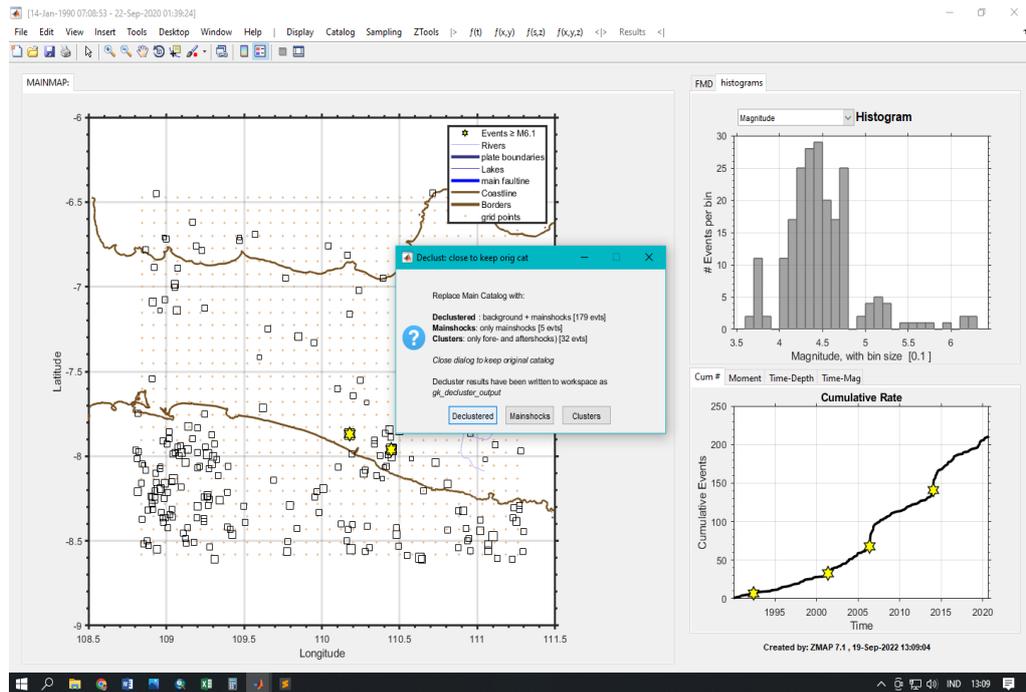
Tabel 4.1 Hasil Penyortiran dan Konversi Magnitudo Momen (M_w) ≤ 5
dari Data Gempa

No	Tahun	Bulan	Tanggal	Longitude	Latitude	Kedalaman (KM)	Mw
1	1990	Januari	14	108,818	-8,208	88,80	5,1
2	1990	Mei	21	109,043	-8,137	27,50	5,6
3	1990	November	8	108,939	-8,549	73,60	5,3
4	1991	Juli	4	111,021	-8,439	114,20	5,4
5	1992	Februari	4	109,067	-7,138	58,30	5,1
6	1992	Juni	9	111,100	-8,474	63,90	6,1
7	1992	Juli	5	111,268	-7,671	33,00	5,2
8	1993	Apri;	10	111,254	-8,387	88,20	5,1
9	1994	Juli	1	109,137	-7,960	101,40	5,1
10	2001	Mei	25	110,179	-7,869	143,10	6,4
11	2001	Oktober	14	110,633	-8,598	67,20	5,9
12	2003	Januari	6	110,645	-8,609	116,40	5,2
13	2003	September	8	110,189	-8,550	50,60	6,0
14	2004	Agustus	19	109,794	-8,291	79,90	5,3
15	2006	Mei	26	110,446	-7,961	12,50	6,4
16	2012	Juli	13	109,099	-7,977	74,30	5,0
17	2014	Januari	25	109,265	-7,986	66,00	6,2

No	Tahun	Bulan	Tanggal	Longitude	Latitude	Kedalaman (KM)	Mw
18	2014	Januari	25	109,300	-8,001	84,51	5,3
19	2014	Januari	27	109,293	-8,045	87,85	5,1
20	2014	Juni	4	109,308	-8,610	35,00	5,0
21	2015	Juli	24	108,916	-8,248	48,00	5,6
22	2017	Agustus	3	108,988	-8,161	63,18	5,1
23	2019	Juni	9	108,947	-8,198	70,44	5,5
24	2019	Juni	29	108,963	-8,193	78,89	5,2
25	2020	Maret	12	111.127	-8.602	94,3	5,3
26	2020	Juni	21	111.298	-8.446	82	5,3
27	2020	Agustus	23	110.956	-8.560	10	5,0
28	2020	September	10	109.469	-6.729	98,3	5,0
29	2020	Oktober	25	108.914	-8.314	43	5,5
30	2020	Desember	13	108.920	-6.884	10	5,2

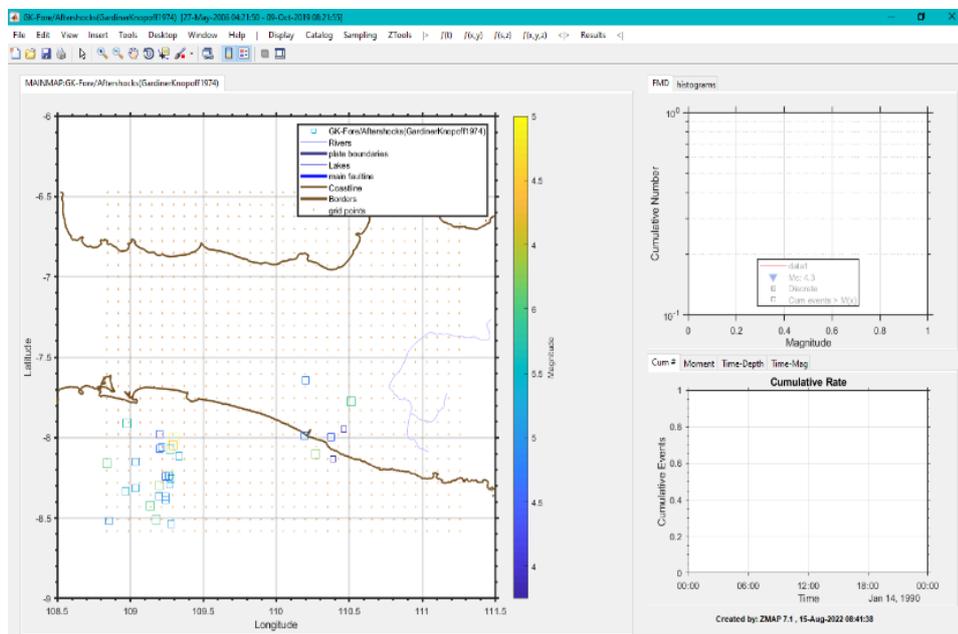
Untuk mencari potensi bahaya gempa, maka proses yang dilakukan adalah pertama melakukan konversi magnitudo, lalu pemisahan kategori gempa mainshock, aftershock, foreshock. Setelah pemisahan kategori gempa, maka akan dilakukan pendistribusian data gempa menggunakan Zmap. Setelah itu dilakukan perhitungan PGA. Sebelum perhitungan PGA, data koordinat gempa dikonversi menjadi data angka yang lebih sederhana untuk mencari tahu jarak antara titik gempa dan site. Site sendiri adalah titik koordinat dari kota Jogjakarta. Setelah perhitungan PGA nantinya akan ditampilkan juga perhitungan PSHA menggunakan rumus probabilitas distribusi. Berikut adalah tahapan-tahapan pencarian potensi bahaya gempa :

Lalu untuk data yang telah dikonversikan, akan dipisahkan dengan software Matlab-Zmap. Mulai dari Mainshock, Aftershock dan Foreshock. Berikut langkah dalam pengelompokkan data gempa :

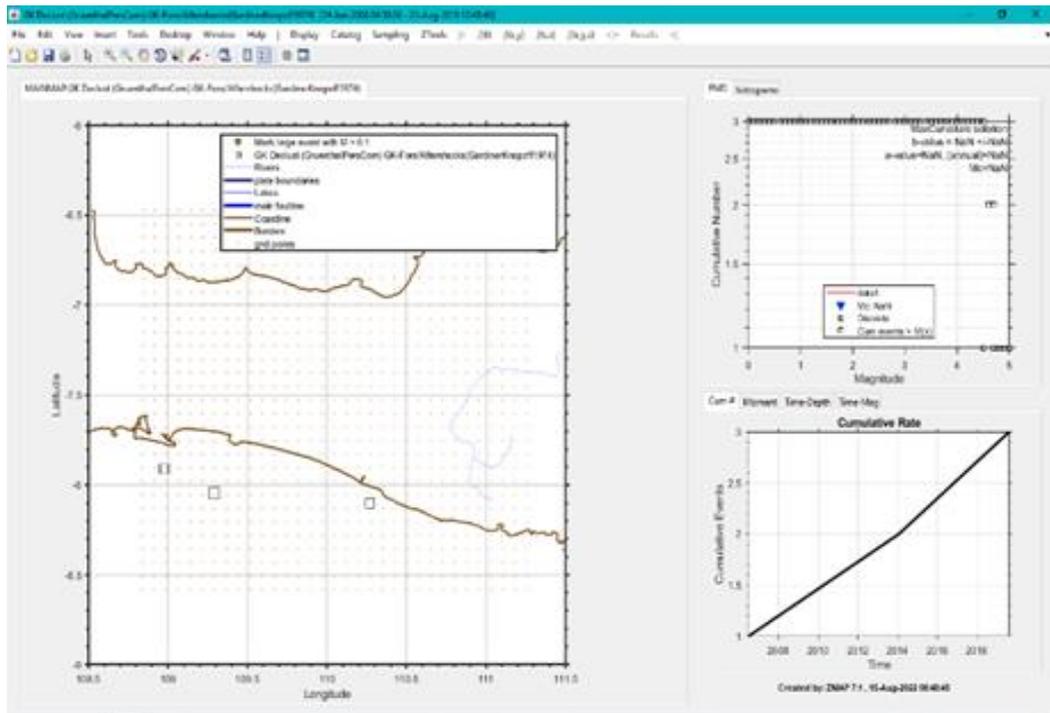


Gambar 4.1 Proses Cluster Data Gempa

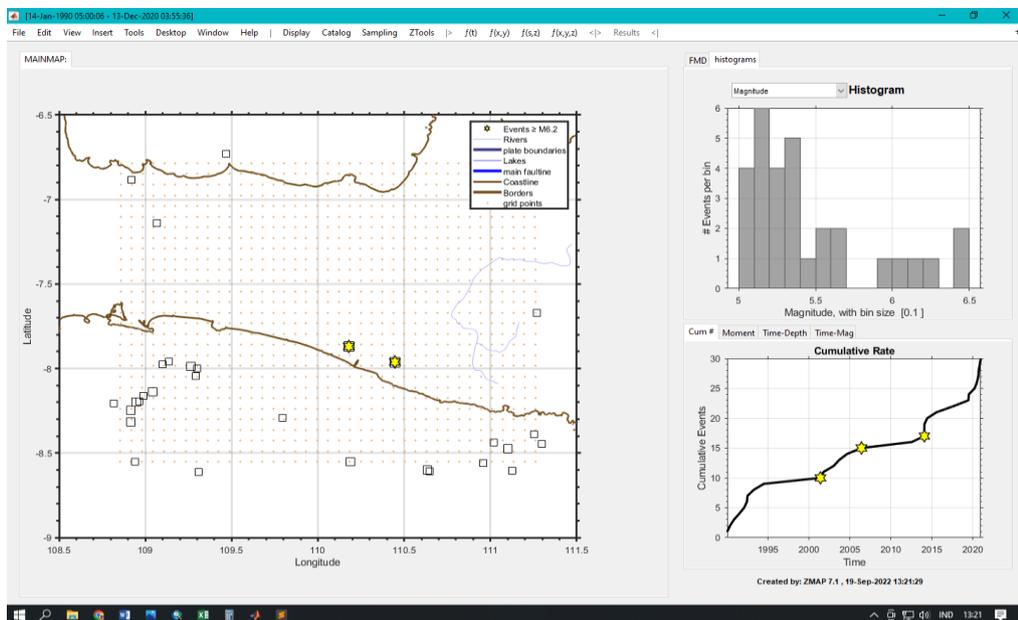
Setelah proses pengelompokan cluster, dapat dilihat dari gambar peta gempa bumi Mainshock, Aftershock dan Foreshock:



Gambar 4.2 Pemisahan Gempa Susulan (Aftershock) Menggunakan Software Matlab-Zmap



Gambar 4.3 Pemisahan Gempa Pendahuluan (Foreshock) Menggunakan Software Matlab-Zmap

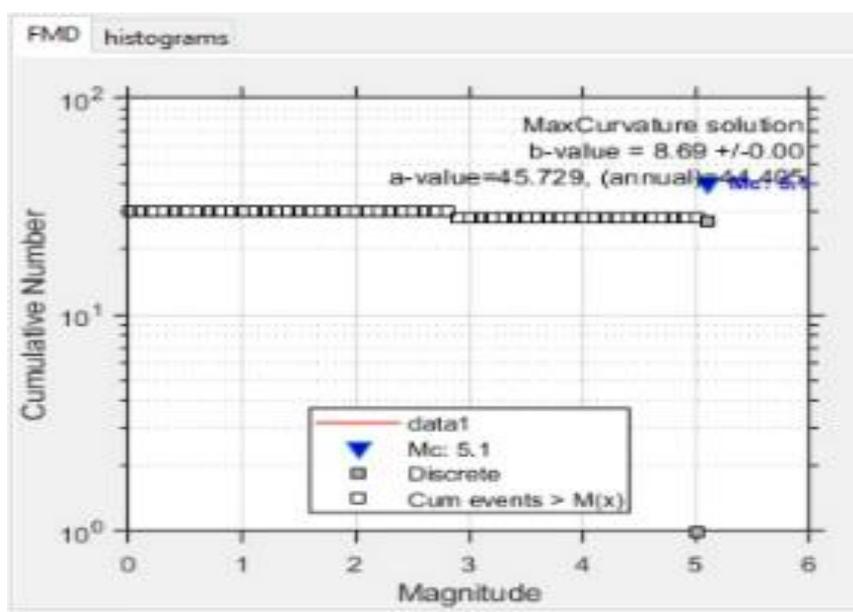


Gambar 4.4 Pemisahan Gempa Utama (Mainshock) Menggunakan Software Matlab-Zmap

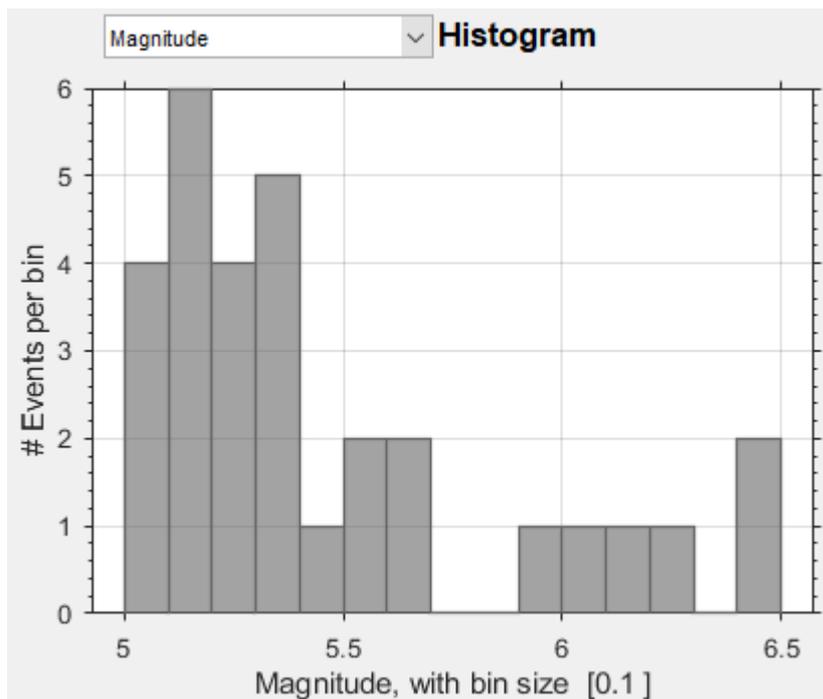
Hasil pemisahan ditandai dengan gambar bintang sebagai lokasi gempa, lalu garis berwarna coklat adalah batasan wilayah dan garis biru merupakan sungai.

Cara mendapatkan gempa yang dipisah adalah menggunakan metode Decluster Gardner & Knopoff. Dalam metode tersebut dibagi menjadi 3, yaitu declustered, mainshocks, dan clusters. Declustered menghasilkan peta gambar gempa background dan gempa utama. Mainshocks menghasilkan peta gambar gempa utama saja. Clusters menghasilkan peta gambar gempa pendahuluan dan gempa susulan.

Permodelan dan karakteristik sumber gempa bumi dilakukan untuk mengetahui seperti apa dampak bahaya gempa yang mana akan menggambarkan historis kejadian gempa dan karakteristik gempa dalam wilayah tertentu dalam hal ini adalah kota Yogyakarta. Didapatkan hubungan distribusi gempa bumi terhadap kedalaman yang didominasi oleh gempa bumi dengan kekuatan gempa dari 0-6 SR (Bambang Sunardi,2015).

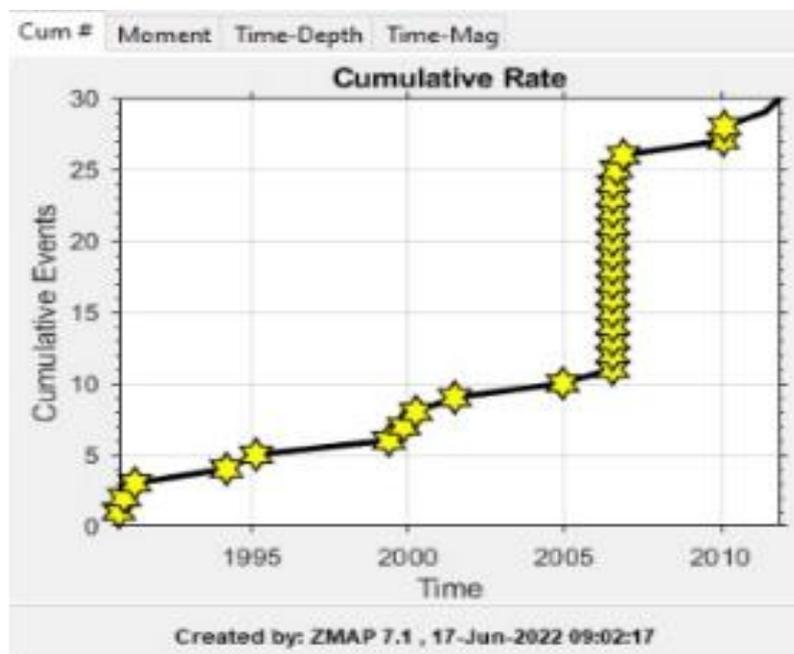


Gambar 4.5 Grafik Distribusi Permodelan Gempa Utama (Mainshock)



Gambar 4.6 Histogram Data Magnitude dengan waktu

Lalu untuk permodelan grafik jumlah gempa berdasarkan waktu ditunjukkan pada gambar 4.7 berikut:



Gambar 4.7 Grafik Jumlah gempa utama (Mainshock) berdasarkan waktu

Dari Gambar 4.7 grafik hubungan magnitudo dengan waktu dapat ditentukan langsung parameter penentuan nilai a dan b, di dapatkan pula banyaknya jumlah gempa berdasarkan distribusi frekuensi magnitudo dari kurun waktu tahun 1990 sampai tahun 2020 di Wilayah Yogyakarta. Terlihat pada gambar tersebut, bahwa selalu ada penambahan intensitas gempa yang terjadi pada kurun waktu tahun tertentu.

Percepatan tanah maksimum (PGA) merupakan nilai terbesar Percepatan tanah pada suatu wilayah yang diakibatkan dari getaran gempa bumi dalam periode tertentu (Ulfiana,2018). Berikut menggambarkan hasil PGA menggunakan rumus atenuasi Joyred & Booner dengan perbandingan kejadian gempa per tahun dan jarak kejadian terhadap gempa di Kota Yogyakarta yang disajikan dalam tabel. Dalam mencari perhitungan PGA, langkah pertama dengan mengetahui letak koordinat dari site atau kota Yogyakarta yaitu latitude $7^{\circ} 47' 49,4448''$ S dan longitude $110^{\circ} 22' 139044''$ E. Setelah itu, melakukan pengkonversian longitude dan latitude pada setiap koordinat gempa yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

Latitude	Longitude	Convert
-8.208000	108.818000	
DMS Latitude	DMS Longitude	
8° 12' 28.8" S	108° 49' 4.8" E	
Convert DMS to Decimal Degrees		
S: South, W: West, E: East, N: North		

Gambar 4.8 Konversi Latitude dan Longitude

Setelah dilakukannya konversi, maka dihitunglah jarak antara site (Kota Yogyakarta) dengan titik gempa menggunakan aplikasi dibawah ini :

Input Location Points

Latitude 1	Longitude 1
<input type="text" value="7:47:49"/> <input type="button" value="S"/>	<input type="text" value="110:22:14"/> <input type="button" value="E"/>
Latitude 2	Longitude 2
<input type="text" value="8:9:7"/> <input type="button" value="S"/>	<input type="text" value="109:2:10"/> <input type="button" value="E"/>

Distance
(rounded to the nearest whole unit)

Gambar 4.9 Pencarian nilai Ro

Ketika r_0 sudah didapatkan, maka akan dihitung nilai r dengan rumus:

$$r = \sqrt{r_0^2 + 8^2}$$

Setelah penentuan r , maka akan dilakukan perhitungan PGA menggunakan rumus empiris Joyner and Boore (1988). Fungsi Atenuasi Joyner & Boore 1988 serta Model Point Source dengan menggunakan fungsi atenuasi tersebut dan model point source didapatkan nilai dari PGA (Peak Ground Acceleration) di Yogyakarta. Penggunaan model point source ini dipilih karena perhitungannya dapat menggunakan bantuan Microsoft Excel. Berikut adalah hasil dari perhitungan PGA yang ditunjukkan pada tabel 4.2:

Tabel 4.2 Perhitungan PGA

Longitude	Latitude	Kedalaman (Km)	Mw	r _o (Km)	r	PGA
108,818	-8,208	88,8	5,1	177	177,1807	0,003135
109,043	-8,137	27,5	5,6	151	151,2118	0,005625
108,939	-8,549	73,6	5,3	178	178,1797	0,003444
111,021	-8,439	114,2	5,4	114	114,2804	0,008423
109,067	-7,138	58,3	5,1	161	161,1986	0,003805
111,1	-8,474	63,9	6,1	109	109,2932	0,013162
111,268	-7,671	33	5,2	80	80,399	0,013295
111,254	-8,387	88,2	5,1	117	117,2732	0,006873
109,137	-7,96	101,4	5,1	137	137,2334	0,005188
110,179	-7,869	143,1	6,4	23	24,35159	0,117415
110,633	-8,598	67,2	5,9	94	94,33981	0,015052
110,645	-8,609	116,4	5,2	95	95,33625	0,010217
110,189	-8,55	50,6	6	86	86,37129	0,018215
109,794	-8,291	79,9	5,3	84	84,38009	0,01303
110,446	-7,961	12,5	6,4	20	21,54066	0,135077
109,099	-7,977	74,3	5	141	141,2268	0,004664
109,265	-7,986	66	6,2	123	123,2599	0,011282
109,3	-8,001	84,51	5,3	122	122,262	0,007106
109,293	-8,045	87,85	5,1	122	122,262	0,006391
109,308	-8,61	35	5	148	148,2161	0,004255
108,916	-8,248	48	5,6	168	168,1904	0,004551
108,988	-8,161	63,18	5,1	157	157,2037	0,004
108,947	-8,198	70,44	5,5	163	163,1962	0,004588
108,963	-8,193	78,89	5,2	161	161,1986	0,004012
111.127	-8.602	94,3	5,3	79	79,40403	0,000964
111.298	-8.446	82	5,3	60	60,53098	0,001422
110.956	-8.560	10	5,0	76	76,41989	0,012896
109.469	-6.729	98,3	5,0	20	21,54066	0,064355
108.914	-8.314	43	5,5	83	83,38465	0,000896
108.920	-6.884	10	5,2	4	8,944272	0,01326
					Mean	0,02

Dari tabel di atas juga menunjukkan bahwa hubungan percepatan pergerakan tanah (PGA) memiliki keterkaitan dengan jarak kejadian gempa terhadap site (Kota Yogyakarta), semakin besar nilai percepatan pergerakan tanah (PGA) dan semakin dekat jarak (r_o), maka semakin berbahaya kejadian gempa

tersebut dengan nilai rata-rata PGA sebesar 0,02. Berikut adalah hasil dari perhitungan Probabilitas yang ditunjukkan pada tabel 4.3:

Tabel 4.3 Perhitungan Probabilitas untuk magnitudo 5-6,4 SR

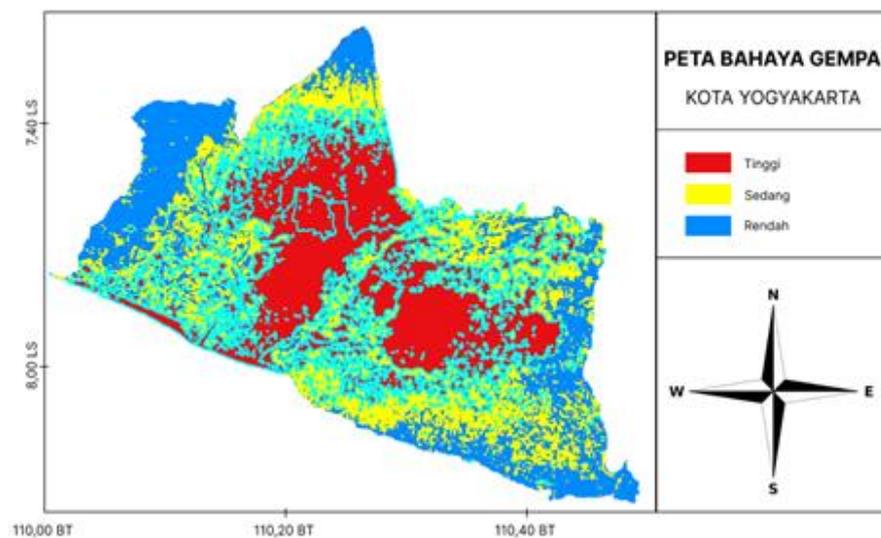
Magnitude	Jumlah	Persen (%)
5,0	4	1,8867925
5,1	5	2,3584906
5,2	2	0,9433962
5,3	4	1,8867925
5,4	1	0,4716981
5,5	2	0,9433962
5,6	1	0,4716981
5,8	1	0,4716981
5,9	1	0,4716981
6,3	2	0,9433962
6,4	2	0,9433962
Mean		1,07

Tabel 4.4 Perhitungan Probabilitas untuk magnitudo 3-6,4 SR

Magnitude	Jumlah	Persen (%)
3,6	2	0,9433962
3,7	8	3,7735849
3,8	3	1,4150943
3,9	2	0,9433962
4,0	10	4,7169811
4,1	15	7,0754717
4,2	25	11,792453
4,3	28	13,207547
4,4	29	13,679245
4,5	20	9,4339623
4,6	17	8,0188679
4,7	13	6,1320755
4,8	12	5,6603774
4,9	2	0,9433962
5,0	4	1,8867925
5,1	5	2,3584906

Magnitude	Jumlah	Persen (%)
5,2	2	0,9433962
5,3	4	1,8867925
5,4	1	0,4716981
5,5	2	0,9433962
5,6	1	0,4716981
5,8	1	0,4716981
5,9	1	0,4716981
6,3	2	0,9433962
6,4	2	0,9433962
	211	100
	Mean	1,07
	Mean Total	4

Dan berikut adalah hasil dari penggambaran peta bahaya kota Yogyakarta:



Gambar 4.10 Peta Bahaya Gempa Yogyakarta

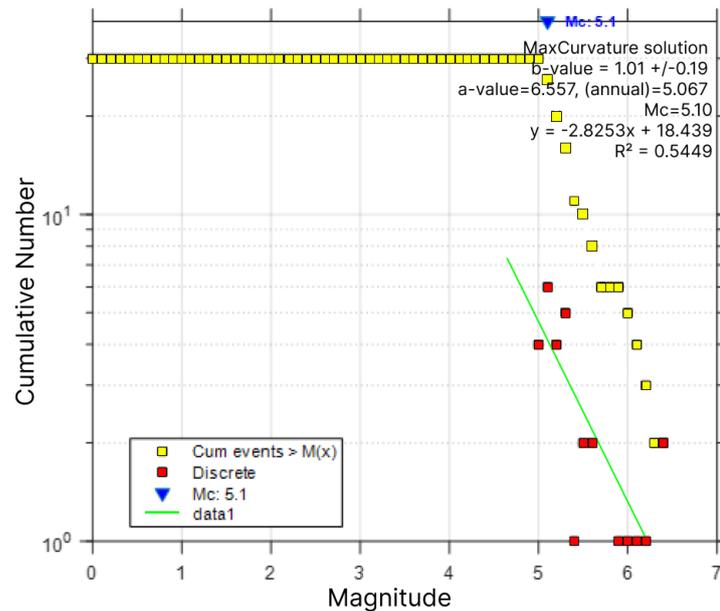
Pada gambar peta diatas, terdapat pengelompokan lokasi bahaya gempa berdasarkan hasil PGA dan PSHA. Pada peta tersebut, daerah lokasi yang berwarna merah merupakan lokasi dengan resiko bahaya gempa yang tinggi.

Untuk berwarna kuning merupakan daerah dengan resiko sedang dan yang berwarna biru merupakan daerah rawan gempa dengan tingkatan rendah.

4.2 Pembahasan

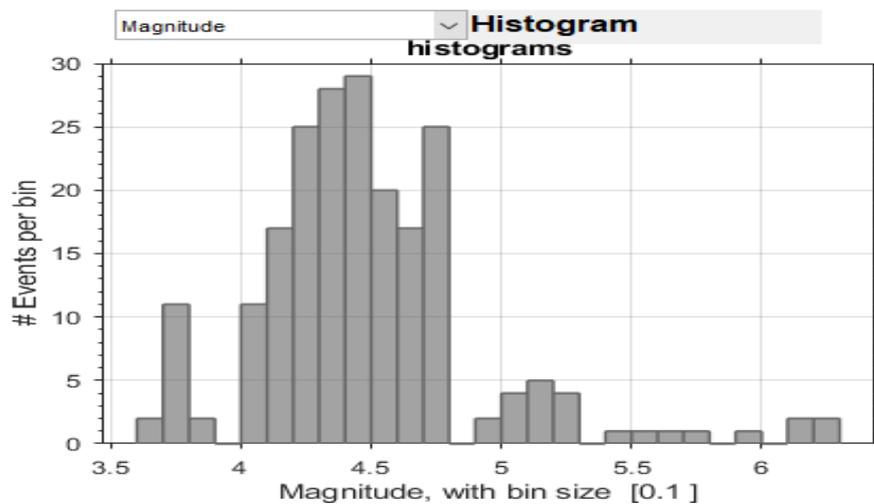
Probabilistik merupakan peluang kemungkinan terjadinya gempa yang merusak pada suatu daerah dalam rentan waktu tertentu yang dapat menjadi acuan dalam antisipasi untuk gempa mendatang (Sutisna,2018). Dalam penggunaan metode PSHA dengan tujuan untuk menentukan bahaya gempa di kota Yogyakarta, memerlukan pertimbangan akan faktor-faktor dalam analisa hasil Peak Ground Acceleration yang terdiri dari lokasi gempa, skala gempa serta frekuensi kejadian gempa bumi sehingga faktor tersebut dapat diperhitungkan dan dianalisa sampai menghasilkan output yang jauh lebih akurat mengenai gempa bumi (Shahzad,2016). Dengan langkah-langkah yang berkaitan dalam pengumpulan data, data yang diperoleh dari kantor BMKG Pasuruan dan ISC yaitu data kejadian gempa bumi di kota Yogyakarta diperoleh sejumlah 211 kejadian gempa bumi dan dari skala 3 SR-6.4 SR.

Parameter yang paling diutamakan atau dicari dalam penentuan parameter penggunaan metode ini untuk menentukan nilai a-value dan b-value yaitu magnitude completeness (Mc) memerlukan keakuratan dari magnitude completeness (Mc) lokal karena pada setiap daerah atau wilayah memiliki nilai yang bervariasi (Jenny Teresia,2016). Magnitude completeness (Mc) dengan bantuan software Matlab-Zmap ini menerapkan metode Likelihood, adalah salah satu metode statistik yang sangat sesuai digunakan untuk menyelesaikan beberapa masalah terkait dengan seismologi (Hilmi,2019). Dalam hal tersebut dapat dilihat dalam gambar 4.11 berikut:



Gambar 4.11 Grafik Frekuensi Magnitude

Berdasarkan perhitungan grafik didapatkan R-Squared (R^2) sebesar 0,5449, b- value sebesar 1,01 dan a-value 6,557. Hal tersebut menunjukkan relasi antara *fractal dimension* (D_c) dan *b-value* yang menyatakan bahwa hal tersebut memiliki koefisien regresi yang positif.



Gambar 4.12 Data magnitude dengan waktu

Pada penelitian ini pemetaan FMD (Frequency Magnitude Distribution) untuk mengetahui regime stress di sepanjang patahan atau zona subduksi untuk mengidentifikasi adanya akumulasi stress (asperity). Oleh karena untuk kegempaan dengan magnitudo rendah terdapat korelasi antara variasi spasial dari nilai b dan static stress drop, apparent stress dan dynamic stress (Urbancic et al., 1992).

Dimana wilayah Yogyakarta dari data gempa tahun 1990 sampai 2020 dengan melakukan perhitungan dan analisis data dengan bantuan microsoft excel dan juga *software Matlab-Zmap* didapatkan nilai probabilitas menggunakan rumus probabilitas weibull untuk pengulangan periode kejadian gempa dengan nilai probabilitas sebesar 1,07 % dan termasuk kejadian gempa besar dikarenakan memiliki magnitudo 5-6,4 SR serta 4% probabilitas kejadian berdasarkan data gempa 3-6,4 SR.

Dari hasil analisis tersebut dapat dikatakan bahwa Wilayah Yogyakarta memiliki tingkat *seismic hazard* yang cukup serius, dari itu perlunya penanggulangan dan mitigasi bencana agar mengurangi dampak bencana gempa bumi. Mitigasi bencana merupakan upaya untuk mengurangi resiko dampak bencana melalui pembangunan fisik ataupun penyadaran serta peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana gempa bumi. Akan tetapi kurangnya kesadaran masyarakat akan hal tersebut (Mizaj Iskandar, 2015).

Dalam al-Qur'an Allah SWT berfirman dalam surat Al-Insyiqaaq ayat 3:

وَإِذَا الْأَرْضُ مُدَّتْ

“Dan apabila bumi diratakan”(Q.S. Al-Insyiqaaq:3)

Selain dalam surat Al-Insyiqaaq ayat 3 Al-Fajr ayat 21, dalam surat Al-Fajr ayat 21 juga menjelaskan tentang fenomena bencana gempa bumi, Allah SWT berfirman:

كَأَلَّا إِذَا دُكَّتِ الْأَرْضُ دَكًّا دَكًّا

“Sekali – kali tidak! Apabila bumi diguncangkan berturut – turut (berbenturan).”
(Q.S Al-Fajr : 21).

Setiap tahun planet bumi selalu digoncang gempa bumi, baik yang terekam oleh alat pendeteksi gempa *seismograph* maupun yang dapat dirasakan langsung oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Bencana alam gempa bumi ini adalah fenomena kejadian alam yang tidak dapat diperkirakan dan diprediksikan kedatangannya (Muhammad Syifa’uddin, 2017).

Dua surat al-Qur’an di atas menjelaskan dan menerangkan segala sesuatu yang menyangkut resiko bahaya bencana alam, salah satunya yaitu resiko gempa bumi. Karena pada saat ini tidak sedikit kejadian gempa bumi yang melanda Wilayah Yogyakarta dengan kekuatan magnitudo yang bervariasi dan besaran nilai percepatan pergerakan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* yang telah dilakukan analisis menggunakan metode PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) dengan data kejadian gempa bumi tahun 1990 sampai tahun 2020 (Miftahul Kurniawan, 2016).

Namun pada saatnya nanti gempa bumi yang sangat besar akan datang menjelang akhir zaman dan seketika itu tidak ada jalan untuk melarikan diri hanyalah amal kita yang akan menolong kita, dimana Allah SWT berfirman dalam al-Qur’an surat al-Hajj ayat 1-2:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ اتَّقُوا رَبَّكُمُ إِنَّ زَلْزَلَةَ السَّاعَةِ شَيْءٌ عَظِيمٌ (1) يَوْمَ تَرَوُنَّهَا تُدْهَلُ كُلُّ مُرْضِعَةٍ عَمَّا أَرْضَعَتْ وَتَضَعُ كُلُّ ذَاتِ حَمَلٍ حَمْلَهَا وَتَرَى النَّاسَ سُكَارَىٰ وَمَا هُمْ بِسُكَارَىٰ وَلَٰكِنَّ عَذَابَ اللَّهِ شَدِيدٌ (2)

“Wahai manusia! Bertakwalah kamu kepada Tuhanmu; sungguh, guncangan (hari) kiamat itu adalah suatu (kejadian) yang sangat besar. (Ingatlah) pada hari ketika kamu melihatnya (guncangan itu), semua perempuan yang menyusui anaknya akan lalai terhadap anak yang disusainya, dan setiap perempuan yang hamil akan keguguran kadungannya, dan kamu akan melihat manusia dalam keadaan mabuk, padahal sebenarnya mereka tidak mabuk, tetapi azab Allah itu sangat keras”. (Q.S. Al-Hajj) :1-2

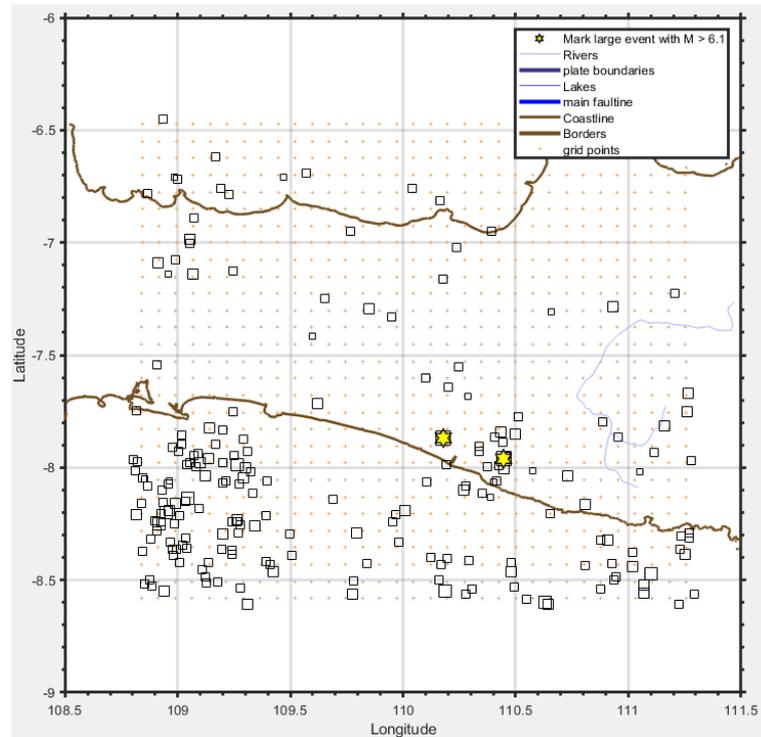
Adapun terkait kewaspadaan terhadap gempa bumi telah dijelaskan dalam Al-Qur’an surah Al-Ma’idah ayat 92:

وَأَطِيعُوا اللَّهَ وَأَطِيعُوا الرَّسُولَ وَأَخْذُوا عِلْمًا فَإِن تَوَلَّيْتُمْ فَأَعْلَمُوا أَنَّمَا عَلَى رَسُولِنَا الْبَلْغُ الْمُبِينُ

“Dan taatlah kamu kepada Allah dan taatlah kamu kepada Rasul-(Nya) dan berhati-hatilah. Jika kamu berpaling, maka ketahuilah bahwa sesungguhnya kewajiban Rasul Kami, hanyalah menyampaikan (amanat Allah) dengan terang” (Q.S. Al-Ma’idah : 92)

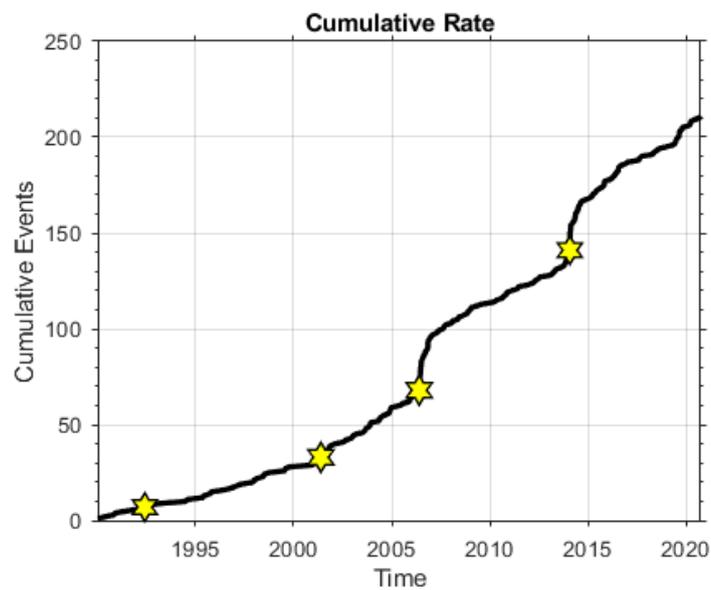
Dari kutipan surah di atas dapat dijelaskan bahwa Patuhlah kalian kepada Allah dan kepada rasul dengan melaksanakan perintah-perintah syariat dan menjauhi larangan-larangan-Nya. Dan jangan sekali-kali kalian melanggarnya, sebab jika kalian berpaling dari syariat itu maka ketahuilah bahwa tugas rasul Kami hanyalah menyampaikan apa yang Allah perintahkan untuk disampaikan. Dan beliau benar-benar telah menyampaikannya. Maka jika kalian mengikuti jalan yang benar niscaya manfaatnya akan kembali kepada diri kalian sendiri. Dan jika kalian berlaku buruk niscaya akibat buruknya akan menimpa diri kalian sendiri.

Setelah perhitungan PGA dan PSHA dilakukan, maka dapat dibentuk peta sebaran gempa episenter seperti berikut:



Gambar 4.13 Peta Sebaran Gempa Episenter Wilayah kota Yogyakarta

Dari gambar diatas, terlihat bahwa gempa besar ditandai dengan gambar bintang yang berwarna kuning, namun untuk tanda spot kotak adalah simbol penanda gempa kecil. Berdasarkan gambar diatas, dapat dilihat ada beberapa gempa besar yang ditandai dengan tanda kuning (3.0-6,4 SR) yang terjadi pada lokasi tersebut. Lalu dapat dihitung dengan bantuan Zmap terdapat perhitungan akumulasi kejadian yang ditunjukkan pada gambar berikut:

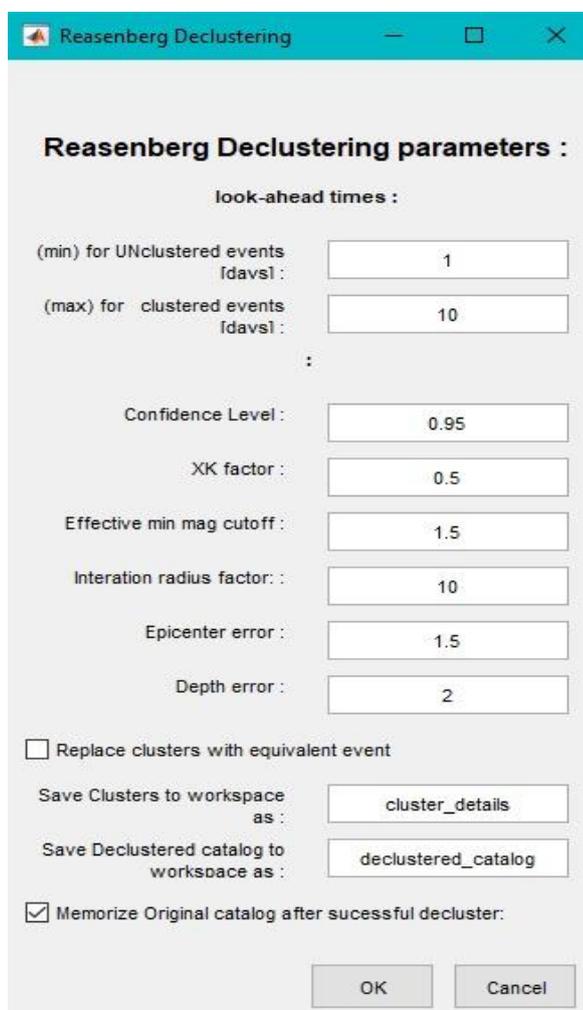


Gambar 4.14 Kumulatif Kejadian Gempa Wilayah Yogyakarta

Dari gambar yang dihasilkan, terdapat beberapa gempa besar pada kurun waktu dan tahun tertentu. Yang ditandai dengan point bintang yang selalu muncul ketika rentang tahun tertentu dan selalu terjadi dan mengalami peningkatan intensitas gempa besar setiap rentang tahunnya. Permodelan gambar mencakup penyebaran gempa serta intensitas juga bahaya dari rentetan gempa. Beberapa hal tersebut saling berkaitan dengan fungsi untuk mengetahui daerah mana saja yang intensitas gempanya tinggi sehingga perlu ditanggulangi. Semakin sering daerah tersebut mempunyai intensitas gempa yang tinggi, maka semakin besar potensi bahaya terjadinya gempa. Dan apabila sebaran bahaya gempa semakin luas maka potensi terjadinya gempa juga besar, dimana gempa yang terjadi bisa berkekuatan dengan magnitudo rendah, sedang dan tinggi.

4.3 Pengujian Sistem

Dalam pengujian sistem, terdapat pengujian confidence level yang dimana tingkat kepercayaan (confidence level) adalah ukuran percayaan dari sebuah pengujian selang kepercayaan. Tingkat kepercayaan paling umum untuk pengukuran statistik adalah 90%, 95% dan 99%. Pada pengujian aplikasi Zmap ini mendapatkan confidence level sebesar 0,95 atau 95% yang dimana menunjukkan bahwa hasil output tersebut cukup akurat. Berikut adalah gambar pengujian confidence level.



Reasenberg Declustering parameters :

look-ahead times :

(min) for UNclustered events [davs] : 1

(max) for clustered events [davs] : 10

Confidence Level : 0.95

XK factor : 0.5

Effective min mag cutoff : 1.5

Iteration radius factor : 10

Epicenter error : 1.5

Depth error : 2

Replace clusters with equivalent event

Save Clusters to workspace as : cluster_details

Save Declustered catalog to workspace as : declustered_catalog

Memorize Original catalog after successful decluster:

OK Cancel

Gambar 4.15 Pengujian Confidence Level

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data gempa bumi Wilayah Yogyakarta tahun 1990 sampai tahun 2020 dengan metode analisis *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dan didapatkan indikator nilai parameter percepatan pergerakan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang menjadi bahan pertimbangan untuk penentuan bahaya kegempaan di Wilayah Yogyakarta yang diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Potensi bahaya kegempaan Wilayah Yogyakarta dengan data gempa dari tahun 1990 sampai tahun 2020 dengan menggunakan pendekatan PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) tergolong cukup membahayakan dengan resiko terjadinya pengulangan kejadian gempa dalam periode waktu yang cukup singkat dengan kekuatan skala magnitudo yang berkisar 3 sampai 6,4 SR.
2. Hasil analisis dengan data gempa dari tahun 1990 sampai tahun 2020 dengan menggunakan pendekatan PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) untuk bahaya kegempaan di Wilayah Yogyakarta didapatkan nilai probabilitas kejadian gempa dengan nilai probabilitas sebesar 1,07 % dan termasuk kejadian gempa besar dikarenakan memiliki magnitudo 5-6,4 SR serta 4% probabilitas kejadian berdasarkan data gempa 3-6,4 SR. Kemudian besaran nilai percepatan pergerakan tanah maksimum atau Peak Ground Acceleration (PGA) untuk Wilayah Yogyakarta didapatkan hasil yang menunjukkan angka sebesar 0,02 gal.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu melakukan penelitian berdasarkan skenario deterministicnya (DSHA), dan perlu dilakukan penelitian yang lebih rinci tentang sesar-sesar aktif yang berada di Wilayah Yogyakarta termasuk parameter-parameter yang digunakan pada PSHA agar dalam pemodelan sumber gempa bumi dapat lebih teliti lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Armansyah, Rian Mahendra Taruna, Nurul Puspitasari, Alfred Antoh, and Basa Rumahorbo. 2020. "Analisis Bahaya Gempa Bumi Menggunakan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis Sebagai Upaya Mitigasi Di Wilayah Kota Jayapura." *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2020* 40–43.
- Azmiyati, Uzlifatul. 2021. "Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Akibat Gempabumi Di Wilayah Nusa Tenggara Dengan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)." *JISIP (Jurnal Ilmu Sosial Dan Pendidikan)* 5(1):331–39. doi: 10.36312/jisip.v5i1.1709.
- Bambang Sunardi, Melinda Utami Istikomah, Sulastri, „Analisis Seismotektonik Dan Periode Ulang Gempabumi Wilayah Nusa Analisis Seismotektonik Dan Periode Ulang Gempabumi Wilayah Nusa Tenggara Barat , Tahun 1973-2015", *Riset Geofisika Indonesia*, 1.April (2017), 23–28
- Consultative Group on Indonesia, 2006. Preliminary damage and loss assessment, Yogyakarta and Central Java natural disaster: A joint report of BAPPENAS, the provincial and local governments of D.I. Yogyakarta, the provincial and local governments of Central Java, and international partners, Meeting of the Consultative Group on Indonesia (CGI).
- Ginting, R. A., A. P. Budi, B. Sunardi, and I. N. Sukanta. 2020. "Analisis Kerawanan Seismik Di Permukaan Tanah Untuk Mitigasi Gempa Bumi Di Kabupaten Majalengka Menggunakan Metode PSHA." *Seminar Nasional Fisika* 1:7–13.
- Hilmi, Ilman Luthfi, Sutrisno, And Dede Sunarya, „Analisis Seismisitas Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 1958- 2018 Menggunakan B-Value Pada Daerah Selatan Jawa Barat Dan Banten Hubungan Frekuensi-Magnitudo", *Al-Fiziya*, li.1 (2019), 10–16
- Iskandar, Mizaj, „Mitigasi Dalam Prespektif Islam", *Prosiding Simposium Nasional Mitigasi Bencana Tsunami 2015*, 2015, 21–22
- Jenny Teresia Simamora, Elistia Liza Namigo, „Pemetaan Magnitude Of Completeness (M C) Untuk Gempa Sumatera", *Fisika Unand*, 5.2 (2016), 179–86
- Kumala, Siti Ayu, Didik Nur Huda, and Muhamad Candra Irawan. 2018. "Analisis PGA (Peak Ground Acceleration) Berdasarkan Data Gempa Untuk Wilayah Jakarta Timur Menggunakan Software PSHA." *Faktor Exacta* 11(4):380. doi: 10.30998/faktorexacta.v11i4.2974.

- Kurniawan, Miftahul, „Pemetaan Tingkat Resiko Kerusakan Akibat Gempa Bumi Di Wilayah Jawa Barat Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum Dengan Metode Mc.Guirre.R.K (Studi Kasus Data Gempa Bumi Antara Tahun 1990-2015)“, In *Skripsi* (Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2016), Pp. 1–71
- Linda, Nasrul Ihsan, And Pariabti Palloan, „Analisis Distribusi Spasial Dan Temporal Seismotektonik Berdasarkan Nilai B-Value Dengan Analysis Of Spatial And Temporal Distribution Of Seismotectonics Based On B-Value Using The Likelihood Method On Java Pendahuluan Gempa Bumi Sering Melanda Indonesia“, *Jurnal Sain Dan Pendidikan Fisika (Jspf)*, 15.April (2019), 16–31
- Meitawati, Pipit Melinda, „Perbandingan Nilai Percepatan Tanah Maksimum Berdasarkan Modifikasi Konstanta Atenuasi Dan Data Accelerograph Tahun 2008-2016 Pada Stasiun Bmkg Lampung“, In *Skripsi* (Lampung: Universitas Lampung, 2017), Pp. 1–66
- Nugraha, Jimmi, Guntur Pasau, Bambang Sunardi, And Sri Widiyantoro, „Analisis Hazard Gempa Dan Isoleismal Untuk Wilayah Jawa-Bali-Ntb“, 15 (2014), 1–11
- Nurhidayatullah, Eka Faisal, and Dwi Kurniati. 2020. “Pemetaan Spectral Acceleration Daerah Yogyakarta Dengan Pendekatan Probabilistic Seismic Hazard Analysis.” *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)* 16(3):217. doi: 10.25077/jrs.16.3.217-229.2020.
- Pangaribuan, Mhd Azri. 2019. “Analisis Pendugaan Bahaya Kegempaan Di Batuan Dasar Untuk Wilayah Lampung Menggunakan Metode Psha (Probabilistic Seismic Hazard Analysis).”
- Pawirodikromo, W. (2018). The estimated PGA map of the Mw6.4 2006 yogyakarta Indonesia earthquake, constructed from the modified mercalli intensity imm. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 51(2), 92–104.
- QS al-Fajr [89] : 21, „Al-Qur“an Terjemah Perkata“, *Asbabun Nuzul dan Tafsir Bil Hadis*, (Bandung: Semesta Al-Qur“an, Desember 2013).
- QS al-Hajj [22] : 1-2, „Al-Qur“an Terjemah Perkata“, *Asbabun Nuzul dan Tafsir Bil Hadis*, (Bandung: Semesta Al-Qur“an, Desember 2013).
- QS al-Insiyiqaaq [84] : 03, „Al-Qur“an Terjemah Perkata“, *Asbabun Nuzul dan Tafsir Bil Hadis*, (Bandung: Semesta Al-Qur“an, Desember 2013).
- QS al-Zalزالah [99]:1-2, „Al-Qur“an Terjemah Perkata“, *Asbabun Nuzul dan Tafsir Bil Hadis*, (Bandung: Semesta Al-Qur“an, Desember 2013).

- Saputra, Elvis, Lalu Makrup, Fitri Nugraheni, and Widodo Pawirodikromo. 2020. "Analisis Percepatan Tanah Permukaan Di Wilayah Riau Dengan Metode Psha." *Teknisia* XXV(1):42–49. doi: 10.20885/teknisia.vol25.iss1.art5.
- Saputra, Elvis, and Widodo. 2021. "IDENTIFIKASI PENGARUH PERUBAHAN PARAMETER SEISMIK DAN PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA." *Prosiding CEEDRiMS 2021* 1:302–9.
- Sari, Anggun Mayang, and Afnindar Fakhurrozi. 2020. "Seismic Hazard Microzonation Based on Probability Seismic Hazard Analysis in Bandung Basin." *RISSET Geologi Dan Pertambangan* 30(2):215. doi: 10.14203/risetgeotam2020.v30.1138.
- Shahzad, Sulastri, Meteorological Climatological, Geophysical Agency, Bambang Sunardi, Meteorological Climatological, And Geophysical Agency Pendekatan Probabilistik Untuk Penilaian Bahaya Gempabumi Kawasan Universitas Padjajaran Jatinangor Pendekatan Probabilistik Untuk Penilaian Bahaya Gempabumi Kawasan", November, 2016
- Sunardi, Bambang. 2015. "Percepatan Tanah Sintetis Kota Yogyakarta Berdasarkan Deagregasi Bahaya Gempa." *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi* 6(3):211–28.
- Sunardi, Bambang, and Shahzad Sulastri. 2015. "Deagregasi Bahaya Gempabumi Untuk Daerah Istimewa Yogyakarta." *Simposium Nasional Sains Geoinformasi IV 2015* (November):187–95.
- Sutisna, Siti Azizah, Mimin Iryanti, And Judhistira Aria Utama, „Penentuan Seismisitas Gempa Bumi Berdasarkan Hubungan Intensitas Gempa Dan Magnitudo Gempa Di Daerah Provinsi Jawa Barat“, *Pendidikan Seminar Nasional Fisika (Sinafi)*, 2018, 253–57
- Syifa'uddin, Muhammad, „Pemetaan Tingkat Resiko Kerusakan Akibat Gempa Bumi Di Sekitar Sesar Palu Koro Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum Dengan Metode Mc.Guirre.R.K“, In *Skripsi* (Malang: Universitas Islam Negeri Alaudin Makasar, 2017), Pp. 1–73
- Synthia, Alvirda, Tedi Yudistira, Maria Rosalita, P. Sudibyo, and Bambang Sunardi. n.d. "Analisis Nilai Peak Ground Acceleration Menggunakan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis Wilayah Solok Selatan , Sumatera Barat."
- Teguh, Mochamad, Program Magister, Rekayasa Kegempaan, and Universitas Islam Indonesia. 2011. "Usulan Getaran Tanah Sintetik Wilayah Yogyakarta." 11(1):9–15.

- Ulfiana, Emi , Rummy, Said A. , Pratama, Rian , Aryanto, Puji, „Analisis Pendekatan Empiris Pga (Peak Ground Acceleration) Pulau Bali Menggunakan Metode“, *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 02.02 (2018), 87–93
- Wiguna, Anggri Sartika, And Hena Dian Ayu, „Pengaruh Aktivitas Kegempaan Terhadap Kondisi Hidrokimia Danau Kawah Ijen“, 1.1 (2015), 24–27
- Windiyantri, 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)
- Zaimi Netrisa, Syafriani, Rahmat Triyono, Hamdi Arifin, „Pemetaan Bahaya Gempa bumi Deterministik Dengan Pendekatan Peak Ground Acceleration (Pga) Di Kota Padang“, *Pillar Of Physics*, 11.2 (2018), 41–48

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1**DATA HASIL PENELITIAN**

Tahun	Longitude	Latitude	Bulan	Tanggal	Waktu	Kedalaman (Km)	Type Magnitude	Mw
1990	110,811	-8,165	12	9	07:03:15	33,00	mb	4,9
1990	108,939	-8,549	11	8	02:10:42	73,60	mw	5,4
1990	109,043	-8,137	5	21	01:24:36	27,50	mw	5,7
1990	108,818	-8,208	1	14	07:08:53	88,80	mb	5,1
1991	111,021	-8,439	7	4	06:54:16	114,20	mb	5,4
1992	111,268	-7,671	7	5	06:00:51	33,00	mb	5,2
1992	111,100	-8,474	6	9	12:31:56	63,90	mb	6,2
1992	109,067	-7,138	2	4	01:58:39	58,30	mw	5,2
1993	111,254	-8,387	4	10	05:58:07	88,20	mb	5,1
1994	110,280	-8,563	8	6	11:46:33	33,00	mb	4,4
1994	109,137	-7,960	7	1	01:57:57	101,40	mw	5,2
1995	109,054	-7,002	10	31	05:53:49	268,30	mb	4,3
1995	110,237	-7,024	10	2	04:02:08	33,00	mb	4,2
1995	109,124	-8,039	6	16	09:35:24	127,80	mb	4,9
1995	111,051	-8,018	5	16	01:09:27	33,00	mb	3,7
1996	109,079	-7,997	11	11	04:47:57	130,00	mb	4,6
1996	111,272	-8,312	6	19	11:44:24	100,00	mb	4,6
1997	109,954	-8,240	12	23	02:16:55	110,20	mb	4,4
1997	109,780	-8,505	12	13	07:52:42	70,10	mb	4,7
1997	109,198	-7,831	4	30	09:44:09	100,00	mb	4,3
1997	110,933	-7,283	1	26	08:57:43	150,00	mb	4,8
1998	108,851	-8,051	9	27	08:50:06	127,00	mb	3,8
1998	108,823	-7,972	6	28	08:18:53	100,00	mb	4,7
1998	108,907	-7,543	6	23	07:44:43	123,70	mb	4,7
1998	110,810	-8,437	2	26	06:35:47	100,00	mb	4,1
1999	111,162	-7,815	10	20	02:43:49	157,30	mb	4,9
1999	109,110	-8,456	7	30	02:39:35	33,00	mb	4,5
1999	109,310	-7,927	7	27	07:17:12	118,90	mb	4,6
2000	110,909	-8,323	12	14	05:01:35	103,50	mb	4,9
2001	109,425	-8,464	11	17	08:49:15	75,20	mb	4,8
2001	108,935	-6,451	10	19	09:49:25	229,30	mb	4
2001	110,633	-8,598	10	14	01:10:45	67,20	ms	5,9
2001	111,069	-8,520	8	19	03:43:05	33,00	mb	4,9

Tahun	Longitude	Latitude	Bulan	Tanggal	Waktu	Kedalaman (Km)	Type Magnitude	Mw
2001	110,103	-8,065	8	13	09:48:05	33,00	mb	4,5
2001	109,071	-6,890	6	13	10:15:19	226,70	mb	4,4
2001	110,179	-7,869	5	25	05:06:10	143,10	ms	6,4
2001	109,140	-7,823	5	6	02:21:10	100,00	mb	4,8
2001	109,052	-7,977	3	14	03:26:30	33,00	mb	4,5
2001	111,019	-8,379	2	22	09:00:40	155,00	mb	4,5
2002	110,654	-8,205	12	14	05:20:54	116,50	mb	4,5
2002	110,945	-8,485	9	2	07:58:46	33,00	mb	4,5
2002	109,412	-8,433	7	18	12:29:30	33,00	mb	4,5
2002	109,089	-7,939	2	11	04:22:15	33,00	mb	4,4
2003	109,250	-7,945	11	28	10:50:32	127,70	mb	4,4
2003	109,620	-7,717	11	28	12:45:13	33,00	mb	4,8
2003	111,114	-7,934	11	7	03:39:55	149,80	mb	4,1
2003	110,189	-8,550	9	8	06:26:32	50,60	mw	6
2003	111,223	-8,609	8	23	08:04:02	33,00	mb	4,7
2003	111,294	-8,562	7	20	05:49:42	33,00	mb	4,4
2003	108,816	-7,747	2	25	07:57:43	92,50	mb	4,7
2003	110,645	-8,609	1	6	09:16:01	116,40	mb	5,2
2004	109,169	-6,618	12	24	11:54:46	248,60	mb	4,7
2004	110,165	-6,813	12	9	08:30:47	248,40	mb	4,2
2004	108,899	-8,236	11	25	05:39:06	150,00	mb	4,3
2004	108,911	-7,089	11	10	10:35:54	76,20	mb	4,8
2004	109,794	-8,291	8	19	06:33:31	79,90	mL	5,3
2004	108,986	-6,709	6	22	06:06:33	207,80	mb	3,7
2004	108,801	-7,964	5	16	06:09:16	100,00	mb	4,6
2004	109,018	-7,895	5	13	01:38:47	63,30	mb	4,5
2005	111,231	-8,365	12	25	04:10:47	104,70	mb	4
2005	108,842	-8,044	11	30	01:42:24	10,00	mb	4,7
2005	109,041	-8,360	11	26	03:09:27	100,00	mb	4,1
2005	111,068	-8,559	7	19	12:21:13	46,00	mb	4,9
2005	108,907	-8,281	6	7	03:50:46	100,00	mb	4,5
2006	110,305	-8,540	12	31	05:46:37	10,00	mb	4,4
2006	110,039	-6,757	12	10	10:28:41	315,30	mb	4,4
2006	111,271	-8,290	11	17	01:40:32	85,30	mb	4,5
2006	110,888	-7,796	11	6	12:58:34	10,00	mb	4,6
2006	110,935	-8,499	11	6	06:11:15	10,00	mb	4,4
2006	111,235	-8,305	11	4	07:10:28	10,00	mb	4,2
2006	110,337	-7,926	11	3	08:11:39	10,00	mb	4,4

Tahun	Longitude	Latitude	Bulan	Tanggal	Waktu	Kedalaman (Km)	Type Magnitude	Mw
2006	109,167	-7,896	10	13	05:31:29	118,50	mb	4,7
2006	110,288	-7,684	9	20	01:28:05	10,00	mb	3,8
2006	109,765	-6,950	9	9	05:48:55	252,00	mb	4,7
2006	109,007	-8,422	8	18	05:40:25	35,00	mb	4,3
2006	110,199	-7,644	8	2	08:35:11	10,00	mb	4,2
2006	108,874	-8,501	7	19	08:18:59	10,00	mb	4,6
2006	110,660	-7,307	7	6	12:58:10	35,00	mb	3,8
2006	110,389	-8,132	7	4	12:03:44	35,00	mb	3,8
2006	108,957	-7,140	6	30	12:22:20	35,00	mb	3,9
2006	110,269	-8,099	6	24	04:38:36	10,00	mb	4,8
2006	110,009	-8,190	6	24	10:06:17	35,00	mb	4,9
2006	110,480	-8,463	6	21	07:10:59	10,00	mb	4,9
2006	110,123	-8,401	6	17	12:57:03	35,00	mb	4,2
2006	110,460	-7,946	6	16	07:11:41	10,00	mb	3,8
2006	110,193	-7,989	6	9	01:06:44	11,50	mb	4,2
2006	110,478	-8,424	6	8	04:44:23	10,00	mb	4,6
2006	109,009	-8,213	6	2	04:45:29	10,00	mb	4,3
2006	110,376	-7,997	6	1	11:45:43	35,00	mb	4,1
2006	110,511	-7,775	5	27	04:21:50	10,00	mb	4,7
2006	110,435	-7,844	5	27	03:10:02	10,00	mb	4,9
2006	110,353	-8,115	5	27	01:07:44	35,00	mb	4,5
2006	110,446	-7,961	5	26	10:53:58	12,50	mw	6,4
2006	108,868	-8,082	4	18	01:12:32	35,00	mb	4,2
2006	110,879	-8,538	4	6	07:36:41	35,00	mb	4,7
2006	110,162	-8,497	1	4	08:25:03	56,10	mb	4,6
2007	111,262	-7,752	9	23	03:29:53	155,20	mb	4,9
2007	108,963	-8,061	8	31	07:15:08	25,60	mb	3,9
2007	109,005	-7,928	8	9	03:02:05	21,90	mb	4,6
2007	109,229	-6,788	5	15	12:39:56	224,50	mb	4,6
2007	111,206	-7,225	4	26	02:52:58	89,10	mb	4,4
2007	110,926	-8,425	2	6	02:02:55	10,00	mb	4,5
2008	109,966	-8,210	12	31	07:07:01	35,00	mb	4,2
2008	108,865	-6,782	11	18	11:06:35	35,00	mb	4,3
2008	108,988	-7,077	11	8	05:55:48	181,30	mb	4,5
2008	110,876	-8,324	8	20	04:19:53	66,80	mb	4,7
2008	109,247	-7,752	5	21	08:45:47	35,00	mb	4,3
2008	109,948	-7,330	5	21	01:45:19	35,00	mb	4,5
2008	110,577	-8,016	1	30	12:51:30	35,00	mb	3,9

Tahun	Longitude	Latitude	Bulan	Tanggal	Waktu	Kedalaman (Km)	Type Magnitude	Mw
2008	109,469	-6,711	1	24	11:10:24	229,30	mb	3,8
2009	110,279	-8,081	8	22	04:35:26	36,40	mb	4,3
2009	109,041	-7,989	5	7	07:03:37	95,80	mb	4,5
2009	109,244	-7,124	1	16	05:04:43	191,90	mb	4,6
2010	109,570	-6,691	11	13	07:52:04	275,90	mb	4,3
2010	108,929	-8,102	11	4	04:55:52	93,30	mb	4,5
2010	110,499	-7,849	9	12	04:38:58	48,40	mb	4,9
2010	110,449	-8,004	8	21	11:41:38	22,30	mb	4,8
2010	109,070	-7,948	5	5	06:44:56	92,50	mb	4,4
2010	108,960	-8,075	3	20	11:42:28	72,80	mb	4,5
2011	109,022	-8,344	12	14	10:41:44	112,80	mb	4,4
2011	110,733	-8,037	6	13	03:46:35	152,50	mb	4,8
2011	109,598	-7,415	6	5	02:02:06	10,00	mb	3,8
2011	109,691	-8,143	2	20	08:15:42	87,80	mb	4,3
2012	109,099	-7,977	7	13	05:57:06	74,30	mb	5
2012	110,493	-8,533	6	14	02:54:14	110,50	mb	4,4
2012	109,981	-8,333	4	14	04:04:10	102,20	mb	4,4
2012	110,404	-8,064	3	19	02:19:36	10,30	mb	3,8
2013	109,191	-6,757	12	17	07:01:59	181,03	mb	4,5
2013	108,968	-8,331	11	17	09:41:24	84,34	mb	4,5
2013	110,415	-8,061	11	14	11:45:43	6,93	mb	4,2
2013	108,986	-8,249	10	26	05:24:08	80,83	mb	4,5
2013	108,995	-8,364	10	10	02:11:55	69,22	mb	4,1
2013	108,981	-8,392	8	16	06:15:55	69,25	mb	4,5
2013	111,282	-7,970	5	7	09:48:36	154,10	mb	4,7
2013	109,850	-7,295	4	19	12:00:44	9,90	mb	4,9
2013	109,095	-8,183	3	12	07:16:49	89,40	mb	4,5
2013	110,101	-7,604	2	6	04:26:46	138,10	mb	4,2
2014	110,548	-8,585	10	6	07:29:05	70,72	mb	4,2
2014	109,323	-8,021	8	11	08:42:58	105,63	mb	4,4
2014	108,844	-8,372	8	10	01:12:30	98,32	mb	4,5
2014	109,279	-8,537	7	12	10:19:24	57,68	mb	4,4
2014	109,197	-8,362	6	28	09:15:50	71,12	mb	4,3
2014	108,852	-8,518	6	25	10:45:18	67,02	mb	4,3
2014	109,308	-8,610	6	4	10:59:38	35,00	mb	5
2014	109,239	-8,241	5	8	10:33:32	82,98	mb	4,1
2014	109,122	-8,487	5	8	05:48:26	74,39	mb	4,5
2014	109,135	-8,422	4	29	01:04:47	46,78	mb	4,7

Tahun	Longitude	Latitude	Bulan	Tanggal	Waktu	Kedalaman (Km)	Type Magnitude	Mw
2014	109,839	-8,425	4	26	06:53:17	77,20	mb	4,3
2014	110,443	-7,887	4	2	11:21:56	10,00	mb	4,3
2014	109,198	-8,296	3	10	01:15:00	88,65	mb	4,8
2014	109,177	-8,507	2	12	01:10:16	72,05	mb	4,7
2014	109,266	-8,239	2	10	08:40:27	84,79	mb	4,4
2014	109,216	-8,059	2	8	05:21:39	89,40	mb	4,3
2014	109,271	-8,073	2	2	11:12:36	87,20	mb	4,7
2014	109,201	-7,979	1	28	04:48:10	95,10	mb	4,1
2014	109,199	-8,069	1	28	04:39:21	85,65	mb	4,1
2014	109,293	-8,045	1	27	04:14:00	87,85	mb	5,1
2014	109,264	-8,234	1	25	04:58:01	85,78	mb	4,8
2014	109,269	-8,289	1	25	04:23:17	85,05	mb	4,3
2014	109,280	-8,256	1	25	08:39:49	85,19	mb	4,4
2014	109,240	-8,370	1	25	08:27:49	72,09	mb	4,2
2014	109,243	-8,385	1	25	07:59:23	77,72	mb	4,4
2014	109,291	-7,874	1	25	07:29:00	89,64	mb	4,4
2014	109,333	-8,115	1	25	05:48:57	77,46	mb	4,4
2014	109,300	-8,001	1	25	05:25:16	84,51	mb	5,3
2014	109,265	-7,986	1	25	05:14:18	66,00	mL	6,2
2014	109,499	-8,294	1	12	10:46:51	90,49	mb	4,3
2015	109,776	-8,564	10	29	10:20:29	74,91	mb	4,8
2015	109,393	-8,417	10	28	05:15:09	75,82	mb	4,1
2015	110,712	-6,446	10	22	06:10:23	53,75	mb	4,5
2015	110,426	-7,991	9	25	01:28:53	10,61	mb	4,5
2015	108,916	-8,248	7	24	09:44:38	48,00	mw	5,6
2015	110,395	-6,948	6	1	11:12:17	235,19	mb	4,2
2015	110,408	-7,865	5	13	08:00:56	136,94	mb	4,4
2015	109,056	-6,986	3	22	06:05:12	10,00	mb	4,8
2015	109,128	-8,513	3	10	12:49:14	118,71	mb	4,3
2015	109,018	-7,855	1	18	02:53:33	107,50	mb	4,2
2016	109,396	-8,058	11	15	12:41:13	102,73	mb	4,3
2016	109,342	-8,257	8	16	04:21:24	82,63	mb	4,8
2016	110,248	-7,550	7	17	10:59:04	12,01	mb	4,5
2016	108,933	-8,157	7	11	02:52:23	71,99	mb	4,6
2016	110,956	-7,866	7	4	06:35:59	162,87	mb	4,2
2016	110,293	-8,413	5	22	01:09:53	10,00	mb	4,3
2016	108,977	-8,363	5	8	05:29:34	76,29	mb	4,4
2016	109,505	-8,391	3	28	08:43:25	82,96	mb	4,5

Tahun	Longitude	Latitude	Bulan	Tanggal	Waktu	Kedalaman (Km)	Type Magnitude	Mw
2016	108,811	-8,016	2	26	09:12:01	53,14	mb	4,3
2017	108,928	-8,242	9	23	05:07:51	65,25	mb	4,5
2017	110,170	-8,432	8	11	11:38:32	103,93	mb	4,4
2017	108,988	-8,161	8	3	04:14:23	63,18	mL	5,1
2017	110,339	-7,904	1	13	02:24:58	10,00	mb	4,3
2018	108,879	-8,319	8	13	10:37:31	71,12	mb	4,6
2018	110,179	-7,162	6	28	06:26:11	242,87	mb	4,3
2018	111,085	-6,521	5	2	10:47:48	10,00	mb	4,1
2018	109,654	-7,248	4	18	06:28:34	10,00	mb	4,6
2019	109,392	-8,215	10	14	11:34:02	89,44	mb	4,6
2019	109,036	-8,152	10	9	08:21:55	80,14	mb	4,3
2019	109,034	-8,313	8	28	03:26:48	95,78	mb	4,4
2019	108,974	-7,908	8	25	12:48:46	103,77	mb	4,6
2019	109,000	-6,718	8	17	05:23:36	230,74	mb	4,4
2019	110,198	-8,402	8	10	01:26:45	95,38	mb	4,6
2019	108,963	-8,193	6	29	06:47:04	78,89	mb	5,2
2019	108,838	-8,159	6	21	10:27:29	94,00	mb	4,7
2019	108,947	-8,198	6	9	09:32:25	70,44	mL	5,5
2019	108,885	-8,525	5	4	12:54:48	44,00	mb	4,4
2019	108,925	-8,203	1	7	04:58:50	71,48	mb	4,6
2020	111,127	-8,602	9	22	01:39:39	92,31	mb	5,4
2020	111,298	-8,446	8	30	06:28:06	107,95	mb	5,4
2020	110,956	-8,56	5	19	10:23:13	80,35	mb	5,1
2020	109,469	-6,729	3	18	11:54:49	241,95	mb	5,1
2020	108,914	-8,314	3	14	02:17:53	76,53	mb	5,6
2020	108,92	-6,884	2	23	06:49:55	216,17	mb	5,3

LAMPIRAN 2

Dokumentasi saat penelitian untuk pengambilan data di stasiun Geofisika (BMKG) Kelas II Tretes Pasuruan.

