

**ANALISIS GEMPA VULKANIK GUNUNG MERAPI DAN KORELASI  
TERHADAP PENGUKURAN INFRASONIK  
(Studi Kasus: Data Survei Bulan November 2020 – Maret 2021)**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**DESHINTA ENDAH FRIDAYANTI**  
NIM. 17640023



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

**ANALISIS GEMPA VULKANIK GUNUNG MERAPI DAN KORELASI  
TERHADAP PENGUKURAN INFRASONIK  
(Studi Kasus: Data Survei Bulan November 2020 – Maret 2021)**

**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 :**

**Deshinta Endah Fridayanti  
NIM. 17640023**

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

## HALAMAN PERSETUJUAN

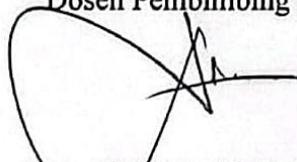
ANALISIS GEMPA VULKANIK GUNUNG MERAPI DAN KORELASI  
TERHADAP PENGUKURAN INFRASONIK  
(Studi Kasus: Data Survei Bulan November 2020 – Maret 2021)

### SKRIPSI

Oleh :  
Deshinta Endah Fridayanti  
NIM. 17640023

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Pada tanggal, 22 Juni 2022

Dosen Pembimbing I



Drs. Abdul Basid, M.Si.  
NIP. 19650604 199003 1 003

Dosen Pembimbing II



Dr Erna Hastuti, M.Si.  
NIP. 19811119 200801 2 009

Mengetahui,  
Ketua Program Studi



Dr. Inang Fazi, M.Si.  
NIP. 19740730 200312 1 002

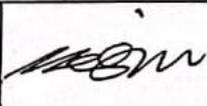
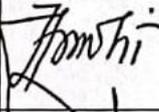
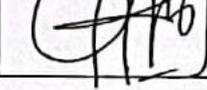
## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISIS GEMPA VULKANIK GUNUNG MERAPI DAN KORELASI TERHADAP PENGUKURAN INFRASONIK (Studi Kasus: Data Survei Bulan November 2020 – Maret 2021)

## SKRIPSI

Oleh:  
Deshinta Endah Fridayanti  
NIM. 17640023

Telah Diperiksa dan Disahkan  
Pada Tanggal 24 Juni 2022

Ketua	: <u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota I	: <u>Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Anggota II	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota III	: <u>Dr. Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi

  
Dr. Imam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Deshinta Endah Fridayanti  
NIM : 17640023  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Sains Dan Teknologi  
Judul Penelitian : Analisis Gempa Vulkanik Gunung Merapi Dan Korelasi Terhadap Pengukuran Infrasonik (Studi Kasus: Data Survei Bulan November 2020-Maret 2021)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 23 Juni 2022  
Yang Membuat Pernyataan



Desinta Endah Fridayanti  
NIM. 17640023

## **MOTTO**

Cinta ibu itu menenangkan.

Cinta ayah itu menguatkan

Doa orang tua itu penuh kehebatan

Tanpa doa orang tua, aku takkan bisa berdiri di tempat dimana aku sekarang  
berpijak

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT  
Sholawat serta salam tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

Diri saya sendiri yang sudah bisa bertahan dan berjuang sampai saat ini.

Kedua orang tua dan keluarga besar saya yang selalu mendoakan,  
menyemangati dan memberikan segalanya untuk saya.

Pembimbing dari pihak BPPTKG yang telah membimbing dan  
mengarahkan tugas akhir ini dari awal sampai akhir.

Dosen-dosen pembimbing dan penguji dari pihak kampus yang juga  
memberikan bimbingan dan arahan untuk penyelesaian skripsi ini.

Partner saya, Alfita Syifaul Qolbi yang sejak pengajuan judul bahkan sejak  
awal kuliah susah senang bersama, sering membantu, dan saling bekerja  
sama

Teman-teman Geofisika dan Fisika '17 yang saling menguatkan,  
menyemangati, dan membantu satu sama lain sehingga saya bisa sampai  
tahap ini

## KATA PENGANTAR

Segala puji atas kebesaran Allah yang telah menciptakan alam semesta dalam suatu keteraturan hingga dari lisan terucap sejuta rasa syukur kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga kami diberikan kesempatan dan kesehatan, dapat mengerjakan skripsi yang berjudul **“Analisis Gempa Vulkanik Gunung Merapi dan Korelasi Terhadap Pengukuran Infrasonik (Studi Kasus: Data Survei Bulan November 2020 – Maret 2021)”** dengan baik shalawat serta salam semoga tercurah kepada baginda Nabi Muhammad SAW, yang diutus ke permukaan bumi ini untuk menyempurnakan akhlaq manusia, menuntun umat dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh cahaya, yaitu Al-Dinnul Islam. Penulis menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Gempa Vulkanik Gunung Merapi dan Korelasi Terhadap Pengukuran Infrasonik (Studi Kasus: Data Survei Bulan November 2020 – Maret 2021)”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata 1 Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dengan selesainya penulisan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih dan menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Prof Dr. H. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr.Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrhaim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, sekaligus Dosen Pembimbing yang selalu

memberikan bimbingan, pengarahan, saran dan motivasi dalam penulisan skripsi.

4. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, pengarahan, saran dan motivasi dalam penulisan skripsi.
5. Dr. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, pengarahan, saran dan motivasi dalam penulisan skripsi.
6. Seluruh dosen Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah berkenan mendidik dan membimbing penulis.
7. Staff administrasi serta laboran yang membantu meperlancar skripsi.
8. Agus Budi Santoso, M.Sc selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG).
9. Segenap peneliti, staff dan teman-teman di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) yang telah banyak membantu dan memberikan pelayanan, pengalaman, serta wawasan selama proses penelitian.
10. Ibu, ayah, adik serta keluarga di rumah yang selalu memeberikan doa yang tak pernah henti demi kesuksesan penulis dalam segala hal, baik moral maupun materilnya.
11. Andrean Zekti Putu Wijanarko yang senantiasa memberi semangat, motivasi dan dukungan kepada penulis.
12. Teman-teman Jurusan Fisika angkatan 2017 atas motivasi, dukungan dan kesediaannya menjadi pendengar segala keresahan penulis serta terima kasih

atas doa yang diberikan selama ini, terkhusus Afida, Nadea, Dina, Fatim, Risma, dan Deni.

13. Sahabat-sahabat saya di lingkungan rumah saya atas bantuan, dukungan, dan motivasi, terkhusus Lusy, Arum, Lita, dan Altika.
14. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan proposal skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 21 Maret 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....</b>	<b>v</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvii</b>
<b>المخلص .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	7
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Manfaat Penelitian .....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>9</b>
2.1 Gunung Api.....	9
2.2 Gunung Merapi .....	12
2.3 Tinjauan Umum Gunung Merapi .....	14
2.4 Geologi Regional Gunung Merapi .....	15
2.5 Jenis Gelombang Seismik .....	18
2.5.1 Gelombang Badan.....	18
2.5.2 Gelombang Permukaan .....	21
2.6 Hiposenter dan Episenter .....	23
2.7 Klasifikasi Gempa Gunung api .....	25
2.8 Analisis <i>Waveform</i> .....	28
2.9 Mekanisme Fokus .....	29
2.10 <i>Real-time Seismic Amplitude Measurement (RSAM)</i> .....	35
2.11 Korelasi .....	36
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>38</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	38
3.2 Jenis Data .....	39
3.3 Alat dan Bahan.....	39
3.4 Pengolahan Data.....	40
3.4.1 Penentuan Hiposenter .....	40
3.4.2 Mekanisme Fokus .....	40
3.4.3 Korelasi Data Gempa dan Data Infrasonik .....	40

3.5 Analisis Data .....	41
3.6 Diagram Alir .....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1 Pengolahan Data.....	44
4.1.1 Pengolahan Data Penentuan Sebaran Hiposenter .....	44
4.1.2 Pengolahan Data Mekanisme Fokus .....	45
4.1.3 Pengolahan Korelasi Data Gempa dan Data Infrasonik.....	46
4.2 Hasil Pengolahan Data .....	47
4.2.1 Hasil Penentuan Sebaran Hiposenter .....	47
4.2.2 Hasil Mekanisme Fokus .....	49
4.2.3 Hasil Korelasi Data Gempa dan Data Infrasonik.....	51
4.3 Gunung Api Dalam Perspektif Al-Quran.....	53
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran.....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>61</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gunung Merapi Tahun 2015 .....	13
Gambar 2.2	Peta Fisiografi Daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur .....	16
Gambar 2.3	Ilustrasi Pergerakan Medium Untuk Gelombang P (Atas) dan S (Bawah) .....	20
Gambar 2.4	Ilustrasi Pergerakan Gelombang Permukaan Gelombang Love dan Gelombang Rayleigh .....	23
Gambar 2.5	Penjalaran Gelombang P (Atas) dan Gelombang S (Bawah) .....	25
Gambar 2.6	Contoh Rekaman Seismik Gempa Tipe A .....	26
Gambar 2.7	Contoh Rekaman Seismik Gempa Tipe B .....	27
Gambar 2.8	Contoh Rekaman Seismik Gempa Letusan .....	27
Gambar 2.9	Contoh Rekaman Seismik Gempa Tremor Harmonik .....	27
Gambar 2.10	Contoh Rekaman Seismik Gempa Tremor Spasmodik .....	28
Gambar 2.11	Penentuan Gelombang P dan S Rekaman Seismik .....	29
Gambar 2.12	Ilustrasi Pola Diagram <i>Beachball</i> .....	33
Gambar 2.13	Sesar Mendatar (a) Dextral dan (b) Sinistral .....	33
Gambar 2.14	Sesar Naik (a), Sesar Normal (b), dan Sesar <i>Oblique</i> (c) .....	34
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian .....	38
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian .....	42
Gambar 4.1	<i>Picking</i> Waktu Tiba Gelombang P .....	44
Gambar 4.2	Hasil Setelah <i>Picking</i> Gelombang .....	45
Gambar 4.3	<i>Beachball</i> dari Hasil <i>Picking</i> .....	46
Gambar 4.4	Letak Hiposenter Berdasarkan Garis Bujur ( <i>Longitude</i> ).....	48
Gambar 4.5	Letak Hiposenter berdasarkan Garis Lintang ( <i>Latitude</i> ) .....	48
Gambar 4.6	Distribusi Mekanisme Fokus Gunung Merapi .....	49
Gambar 4.7	RSAM Seismik .....	52
Gambar 4.8	RSAM Infrasonik .....	52
Gambar 4.9	<i>Cross Correlation</i> RSAM Seismik dan RSAM Infrasonik .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Lokasi Stasiun Seismograf .....	38
Tabel 4.2	Tabel Bola Fokus atau <i>Beachball</i> .....	50

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Data Hiposenter dan Mekanisme Fokus .....	62
Lampiran II	<i>Script</i> Mencari RSAM .....	65
Lampiran III	<i>Script</i> Mencari <i>Cross Correlation</i> .....	69

## ABSTRAK

Fridayanti, Deshinta Endah. 2022. **Analisis Gempa Vulkanik Gunung Merapi dan Korelasi Terhadap Pengukuran Infrasonik (Studi Kasus: Data Survei Bulan November 2020-Maret 2021)**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Agus Budi Santoso, M.Sc (III) Dr. Erna Hastuti, M.Si.

---

Kata Kunci: Gunung Merapi, Seismik, Hiposenter, Mekanisme Fokus, Infrasonik.

Terdapat 500 gunung api di Indonesia, 128 di antaranya tergolong gunung berapi aktif. Setiap gunung api terdapat pos Pengamatan Gunung Api (PGA) pada pos PGA inilah terdapat catatan aktivitas-aktivitas gunung api, salah satunya adalah aktivitas seismik. Gelombang seismik tersebut kemudian dianalisis untuk mendapatkan hasil aktivitas seismik berupa data gempa yang terekam pada Seismogram. Penelitian ini dilakukan di kantor BPPTKG (Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi) dengan objek penelitian yaitu Gunung Merapi dalam periode November 2020 – Maret 2021. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan persebaran hiposenter gempa bumi, mekanisme fokus dan kemudian data gempa vulkanik dikorelasikan terhadap pengukuran infrasonik Gunung Merapi. Hiposenter Gunung Merapi pada Bulan November 2021-Maret 2022 tersebar disekitar puncak Gunung Merapi dengan kedalaman pusat gempa yang terjadi berada pada kedalaman 0-1.5 km di bawah puncak Gunung Merapi atau lebih besar dari 1.5 km di atas permukaan laut. Terdapat 508 gempa yang terdiri dari 398 gempa berjenis sesar turun (normal fault), 17 gempa berjenis sesar naik (reverse fault), 68 gempa berjenis sesar oblique (oblique reverse), dan 34 gempa berjenis sesar geser (strike slip). Penelitian ini menunjukkan tidak adanya korelasi antara data gempa vulkanik gunung merapi dengan data infrasonik gunung merapi. Hal ini diperkirakan karena data infrasonik yang terekam bukan hanya mendeteksi gempa, melainkan frekuensi dari kegiatan lain.

## ABSTRACT

Fridayanti, Deshinta Endah. 2022. **Volcanic Earthquake Analysis of Mount Merapi and Correlation to Infrasond Measurements (Case Study: Earthquake Data for November 2020-March 2021)**. Essay. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Supervisor: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Agus Budi Santoso, M.Sc (III) Dr. Erna Hastuti, M.Si.

---

Keywords: Mount Merapi, Seismic, Hypocenter, Focal Mechanism, Infrasond.

There are 500 volcanoes in Indonesia, 128 of which are classified as active volcanoes. Each volcano has a Volcano Post (PGA). At this PGA post there are records of volcanic activities, one of which is seismic activity. The seismic waves are then analyzed to obtain the results of seismic activity in the form of earthquake data recorded on the seismogram. This research was conducted at the BPPTKG (Balai for Research and Development of Geological Disaster Technology) with the object of research namely Mount Merapi in the period November 2020 - March 2021. The purpose of this study was to determine the distribution of the earthquake hypocenter, the mechanism of focus and then the volcanic earthquake data correlated to measurements Mount Merapi infrasond. The hypocenter of Mount Merapi in November 2021-March 2022 is spread around the peak of Mount Merapi with an earthquake depth that occurs at a depth of 0-1.5 km below the peak of Mount Merapi or greater than 1.5 km above sea level. There were 508 earthquakes consisting of 398 earthquakes with a normal fault type, 17 earthquakes with a reverse fault type, 68 earthquakes with an oblique fault type (oblique reverse), and 34 earthquakes with a strike slip type. This study shows that there is no correlation between the volcanic earthquake data of Mount Merapi and the infrasond data of Mount Merapi. This is thought to be due to the recorded infrasond data not only detecting earthquakes, but also the frequency of other activities.

## المخلص

فرايدانتي، ديشينتا إنداه. 2022. تحليل الزلازل البركانية لجبل ميرابي وارتباطها بالقياسات دون الصوتية (دراسة حالة: بيانات المسح لشهر نوفمبر 2020 - مارس 2021). اطروحة. قسم الفيزياء، كلية العلوم عبد البسيد، (I) والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية، مالانغ. المشرفون إرنا هاستوتي، ماجيستر. (III) أغوس بودي سانتوسو، ماجيستر (II) ماجيستر

الكلمات المفتاحية: جبل ميرابي ، الزلازل ، هيبوسنتر ، الآلية البؤرية ، الأشعة تحت الصوتية

هناك 500 بركان في إندونيسيا ، 128 منها مصنفة على أنها براكين نشطة. يحتوي كل بركان على مركز ، والذي لديه سجل من النشاط البركاني ، أحدها هو النشاط PGA في مركز (PGA) لمراقبة البراكين الزلزالي. ثم يتم تحليل الموجات الزلزالية للحصول على نتائج النشاط الزلزالي في شكل بيانات الزلازل (مركز البحث والتطوير BPPTKG المسجلة على مخطط الزلازل). تم إجراء هذا البحث في مكتب لتكنولوجيا الكوارث الجيولوجية) بهدف البحث ، وهو جبل ميرابي في الفترة من نوفمبر 2020 إلى مارس 2021. كان الغرض من هذه الدراسة هو تحديد توزيع الزلازل تحت المركز ، وآلية التركيز ، ثم بيانات الزلازل البركانية المرتبطة بالقياسات دون الصوتية لجبل ميرابي. ينتشر مركز جبل ميرابي في نوفمبر 2021-مارس 2022 حول قمة جبل ميرابي مع عمق مركز الزلزال الذي حدث على عمق 0-1.5 كم تحت قمة جبل ميرابي أو أكبر من 1.5 كم فوق مستوى سطح البحر. كان هناك 508 زلزال يتكون من 398 زلزالا عاديا ، و 17 زلزالا من نوع الصدع العكسي ، و 68 زلزالا من نوع الصدع المائل (مائل عكسي) ، و 34 زلزالا من نوع صدع القص (زلة الإضراب). تظهر هذه الدراسة أنه لا توجد علاقة بين بيانات الزلازل الصوتية البيانات دون من جبل ميرابي والبيانات دون الصوتية لجبل ميرابي. ويقدر ذلك لأن البركانية الموصى بها لا تكتشف الزلازل فحسب، بل أيضا تواتر الأنشطة الأخرى

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia terletak di persimpangan tiga lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Ketiga lempeng ini bergerak dan berinteraksi satu sama lain. Akibat dari interaksi ini adalah terbentuknya saluran magma di sepanjang area pertemuan lempeng. Hal tersebut menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan jumlah gunung berapi terbanyak di dunia.

Terdapat 500 gunung api di Indonesia, 128 di antaranya tergolong gunung berapi aktif. Apabila aktivitas di gunung tersebut dapat diamati, maka dapat dikatakan gunung berapi tersebut aktif. Kegiatan vulkanik tidak harus selalu kegiatan letusan, tetapi kegiatan sehari-hari pegunungan, seperti gempa vulkanik, gempa tektonik, gempa bumi, dll.

Letusan gunung api merupakan suatu fenomena alam yang tak bisa dikendalikan oleh manusia. Gunung api yang meletus menimbulkan kerusakan, baik secara materil maupun jiwa manusia yang tinggal di daerah sekitar gunung api. Usaha yang dilakukan dalam penanggulangan bencana letusan gunung api adalah dengan memantau aktivitas gunung api secara terus menerus, sehingga jika gunung api mengalami peningkatan aktivitas magma, maka pihak yang berwenang akan mengeluarkan peringatan atau bahkan waspada. Gunung diciptakan untuk meredam gempa agar bumi tidak hancur saat terjadi gempa yang lebih besar. Sebagaimana Allah berfirman dalam surah Al-Anbiya [21]: 31:

وَجَعَلْنَا فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِهِمْ وَجَعَلْنَا فِيهَا فِجَاجًا سُبُلًا لَعَلَّهُمْ يَهْتَدُونَ { ٣١ }

“Dan telah Kami jadikan di Bumi ini gunung-gunung yang kokoh supaya Bumi itu (tidak) guncang bersama mereka dan telah Kami jadikan (pula) di Bumi itu jalan-jalan yang luas agar mereka mendapat petunjuk”. (QS Al-Anbiya (21): 31)

Menurut tafsir Ibnu katsir firman Allah Swt (وَجَعَلْنَا فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ) “Dan telah Kami jadikan di bumi ini gunung-gunung” yaitu gunung-gunung yang ditancapkan di bumi agar bumi stabil dan tetap tidak guncang bersama manusia. Gunung diciptakan agar bumi tidak bergoyang dan terjadi gempa yang akan membuat manusia hidup tidak tenang di permukaannya. Bumi itu tenggelam di dalam air kecuali hanya seperempatnya saja yang menonjol di atas permukaan air untuk mendapat udara dan sinar matahari. Karena itulah disebutkan oleh firman-Nya (أَنْ تَمِيدَ بِهِمْ) ”supaya bumi itu (tidak) guncang bersama mereka” maksudnya, agar bumi tidak mengguncangkan mereka. (وَجَعَلْنَا فِيهَا فِجَاجًا سُبُلًا) “dan telah Kami jadikan (pula) di bumi itu jalan-jalan yang luas” yakni celah-celah di gunung-gunung itu yang dapat mereka jadikan sebagai jalan-jalan dari suatu daerah ke daerah yang lain dan dari suatu kawasan ke kawasan yang lain. Disebutkan oleh firman selanjutnya (لَعَلَّهُمْ يَهْتَدُونَ) “agar mereka mendapat petunjuk” yakni di atas bumi, langit bagaikan kubah (atap)nya (Abdullah, 2007).

Surat Al-Anbiya ayat 31 menjelaskan bahwa gunung diciptakan agar bumi tidak guncang. Kerak bumi kemungkinan besar dapat bergerak dan menimbulkan getaran ataupun guncangan. Oleh karena itu, untuk mengurangi atau menekan gerakan ini, terjadi fenomena lipatan. Fenomena lipatan ini membentuk jalur pegunungan yang berperan untuk menjaga stabilitas kerak bumi dari guncangan.

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung api yang terbentuk dari aktivitas zona subduksi lempeng Indo-Australia yang bergerak ke bawah menuju lempeng

Eurasia sehingga terjadi aktivitas vulkanik di Jawa Tengah. Ketinggian tertinggi Gunung Merapi adalah 2968 mdpl. Lereng bagian selatan berada di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta Kabupaten Sleman, dan lereng yang tersisa berada di Provinsi Jawa Tengah yaitu di sebelah barat ada Kabupaten Magelang, disebelah utara dan timur ada Kabupaten Boyolali, dan disebelah tenggara ada Kabupaten Klaten. Kawasan hutan di sekitar puncak menjadi kawasan Taman Nasional Gunung Merapi.

Secara garis besar sejarah geologi G. Merapi terbagi dalam empat periode yaitu Pra Merapi, Merapi Tua, Merapi Muda dan Merapi Baru. Periode pertama adalah Pra Merapi dimulai sejak sekitar 700.000 tahun lalu dimana saat ini menyisakan jejak G. Bibi (2025 m dpl) di lereng timurlaut G. Merapi. Gunung Bibi memiliki lava yang bersifat basaltic andesit. Periode kedua, periode Merapi Tua menyisakan bukit Turgo dan Plawangan yang telah berumur antara 60.000 sampai 8.000 tahun. Saat ini kedua bukit tersebut mendominasi morfologi lereng selatan G. Merapi. Pada periode ketiga yaitu Merapi Muda beraktivitas antara 8000 sampai 2000 tahun lalu. Di masa itu terjadi beberapa lelehan lava andesitik yang menyusun bukit Batulawang dan Gajahmungkur yang sekarang tampak di lereng utara Gunung Merapi serta menyisakan kawah Pasar Bubar. Periode keempat aktivitas Merapi yang sekarang ini disebut Merapi Baru, dimana terbentuk kerucut puncak Merapi yang sekarang ini disebut sebagai Gunung Anyar di bekas kawah Pasar Bubar dimulai sekitar 2000 tahun yang lalu.

Gunung Merapi mengalami erupsi setiap dua hingga lima tahun dan terdapat pemukiman padat di sekitarnya, sehingga sangat berpotensi terjadi bencana. Kemungkinan bencana seperti itu harus diramalkan dengan baik. Salah satu bentuk

antisipasi adalah dengan memitigasi terjadinya aktivitas vulkanik dan memantau aktivitas seismik di bawah Gunung Merapi. Mengingat banyaknya masyarakat yang tinggal di sekitar Gunung Merapi, hal tersebut perlu dilakukan. Menurut laporan data pemantauan Gunung Merapi di BPPTKG tanggal 30 Oktober-5 November 2020, aktivitas Gunung Merapi mengalami peningkatan. Intensitas kegempaan nya lebih tinggi dibandingkan dengan minggu sebelumnya. Dalam minggu ini kegempaan Gunung Merapi tercatat 193 kali gempa Vulkanik Dangkal (VTB), 1.663 kali gempa Fase Banyak (MP), 9 kali gempa Low Frekuensi (LF), 391 kali gempa Guguran (RF), 330 kali gempa Hembusan (DG) dan 9 kali gempa Tektonik (TT). Oleh karena itu, sejak tanggal 5 November 2020 status aktivitasnya ditetapkan dalam tingkat siaga. Potensi bahaya yang terjadi antara lain guguran lava, material vulkanik yang terlontar saat letusan eksplosif dan awan panas hingga jarak 5 km. Letusan terakhir terjadi pada tanggal 9 Januari 2021 dengan tinggi kolom erupsi 200 m di atas puncak. Warna kolom abu teramati kelabu.

Setiap gunung api terdapat pos Pengamatan Gunung Api (PGA) yang tersebar di area gunung api. Pada pos PGA inilah terdapat catatan aktivitas-aktivitas gunung api, salah satunya adalah aktivitas seismik. Pos PGA Gunung Merapi mempunyai stasiun pengamatan yang berada di beberapa tempat yaitu Deles, Grabakan, Gunung Ijo, Imogiri, Klatakan, Labuhan, Merbabu, Pasar Bubrah, Plawangan, dan Pusunglondon.

Setiap letusan gunung berapi diawali dengan gejala umum seperti aktivitas vulkanik, deformasi, perubahan suhu, dan perubahan percepatan gravitasi di pegunungan api. Aktivitas gunung api mempengaruhi lingkungan sekitar gunung, sehingga aktivitas gunung api perlu di pantau. Ada banyak metode untuk memantau

aktivitas Gunung Merapi, antara lain metode seismik, metode visual, metode deformasi, metode termal, metode gravitasi, metode geomagnetik dan metode penginderaan jauh. Metode seismik adalah metode yang banyak digunakan. Metode seismik menunjukkan aktivitas vulkanik dan informasi tentang gelombang seismik. Pemantauan data seismik selalu dipantau secara kontinu di setiap titik pengamatan. Dari data tersebut dapat diketahui informasi tentang gejala aktivitas Gunung Merapi. Cara ini merupakan cara yang tepat untuk memantau aktivitas seismik Gunung Merapi. Gelombang seismik tersebut kemudian dianalisa untuk mendapatkan hasil aktivitas seismik berupa data gempa yang terekam pada Seismogram. Pada penelitian ini penulis akan menentukan persebaran hiposenter gempa bumi, mekanisme fokus dan kemudian data gempa vulkanik dikorelasikan terhadap pengukuran infrasonik Gunung Merapi. Dimana nantinya penelitian ini dapat bermanfaat untuk memberikan informasi kepada pemerintah dan masyarakat mengenai aktivitas vulkanik yang terjadi pada Gunung Merapi.

Penelitian sebelumnya tentang aktivitas gunung api yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah dengan judul Monitoring Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Citra Sentinel-1A Dengan Menggunakan Metode DInSAR (Studi Kasus: Gunung Merapi, Jawa Tengah) (Nurtyawan dan Lady, 2020). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan bentuk gunung api yang disebabkan oleh aktivitas gunung api. Disimpulkan bahwa diperoleh hasil peta deformasi pra 1 erupsi yang diolah dari pasangan citra 10 Januari 2018 dengan citra 27 Februari 2018 yang menghasilkan deflasi sebesar -0,12 m, dan peta deformasi pra 2 erupsi yang diolah dari pasangan citra 27 Februari 2018 dan 10 Mei 2018 menghasilkan deflasi sebesar -0,27 m serta peta pasca erupsi yang diolah dari

pasangan citra 10 Mei 2018 dan 22 Februari 2019 menghasilkan deflasi sebesar -0,194 m. Penelitian lain yang memperkuat penelitian penulis adalah Analisis Karakteristik dan Klasifikasi Gempa Pada Gunung Lokon Berdasarkan Rekaman Data Seismogram April - Mei 2012 (Prinanda dkk, 2013). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengklasifikasi gempa di gunung api Lokon berdasarkan data seismik dari bulan April - Mei 2012, dan menganalisis karakteristik gempa untuk mengetahui mekanisme letusan Gunung api Lokon. Disimpulkan bahwa diperoleh klasifikasi gempa vulkanik dangkal, gempa vulkanik dalam, gempa vulkanik monokromatik, dan gempa tektonik. Gempa vulkanik dangkal terdapat di kedalaman 0,5 km hingga -1,5 km, berdurasi antara 3 detik sampai 16 detik dengan frekuensinya berkisar 4 Hz sampai 18 Hz. Gempa vulkanik dalam terdapat di kedalaman -1 km hingga -6 km, berdurasi antara 6 detik sampai 20 detik dengan frekuensinya 6 Hz sampai 13 Hz. Dua gempa *makromatik low frequency* pada kedalaman -1,5 km hingga 2 km, dan dominan pada gempa monokromatik berkisar 2,88 Hz sampai 4,88 Hz dan frekuensi sub-dominan berkisar 5,04 Hz sampai 8,7 Hz. Gempa tektonik berdurasi 50 detik hingga 470 detik dengan frekuensi 1 Hz sampai 6 Hz.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian yang melatarbelakangi penelitian ini, maka permasalahan yang muncul adalah:

1. Dimana sebaran hiposenter gempa vulkanik Gunung Merapi pada bulan November 2020 – Maret 2021?

2. Apa jenis mekanisme fokus dari data gempa Gunung Merapi pada bulan November 2020 – Maret 2021?
3. Bagaimana korelasi gempa vulkanik Gunung Merapi terhadap pengukuran infrasonik pada bulan November 2020 – Maret 2021?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Dari rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menentukan sebaran hiposenter gempa Gunung Merapi pada bulan November 2020 – Maret 2021.
2. Untuk menentukan jenis mekanisme fokus dari data gempa Gunung Merapi pada bulan November 2020 – Maret 2021.
3. Untuk menentukan korelasi gempa vulkanik Gunung Merapi terhadap pengukuran infrasonik pada bulan November 2020 - Maret 2021.

### **1.4 Batasan Masalah**

Agar tidak menyimpang dari permasalahan dan dapat mencapai sasaran yang diharapkan, maka penulis membatasi permasalahan yaitu:

1. Wilayah penelitian berada pada koordinat  $7^{\circ}32.43'$  S dan  $110^{\circ}26.81'$  E atau tepatnya di Gunung Merapi, DIY.
2. Gempa yang digunakan adalah Gempa Vulkanik Dangkal (VTB) yang magnitudonya  $\geq 3.0$  SR
3. Gempa yang digunakan memiliki kedalaman antara 0-1.5 km dari puncak.
4. Membahas sembaran hiposenter dari data yang diperoleh.

5. Mencari mekanisme fokus dari gempa yang magnitudonya  $\geq 3.0$  SR.
6. Korelasi gempa vulkanik terhadap pengukuran infrasonik berdasarkan perhitungan RSAM.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Pemerintah dan masyarakat, yaitu memberikan informasi mengenai aktivitas vulkanik yang terjadi pada Gunung Merapi bulan November 2020 - Maret 2021.
2. Bagi peneliti, yaitu memperdalam pengetahuan mengenai aktivitas vulkanik pada Gunung Merapi yang dapat bermanfaat bagi masyarakat dan pemerintah.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gunung Api

Gunung merupakan suatu bentuk permukaan yang jauh lebih tinggi daripada tanah-tanah di sekitarnya. Gunung memiliki lereng curam dan tajam, juga bisa dikelilingi oleh puncak-puncak pegunungan. Gunung terbentuk lewat serangkaian proses geologi, tepatnya ketika lempeng bumi bergerak dan saling menabrak satu sama lain. Terdapat tiga tipe gunung yaitu gunung api, gunung lipatan, dan gunung patahan. Ketiga tipe ini terbentuk dari lempeng tektonik ketika bagian dari kerak bumi bergerak, roboh, dan tenggelam. Sebagaimana Allah SWT berfirman dalam surat an-Nahl (16) ayat 15:

وَأَلْقَى فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَأَنْهَارًا وَسُبُلًا لَعَلَّكُمْ تَهْتَدُونَ { ١٥ }

*"Dan Dia mencampakkan gunung-gunung di bumi supaya bumi itu tidak goncang bersama kamu, (dan Dia menciptakan) sungai-sungai dan jalan-jalan agar kamu mendapat petunjuk,"(Q.S.an-Nahl (16):15).*

Menurut tafsir al-Mishbah, kata (ألقى) *alqa/mencampakkan di bumi* yakni melempar ke arahnya, memberi kesan bahwa kehadiran gunung, sungai, dan jalan-jalan, terjadi sesudah penciptaan bumi, dan karena itu ayat ini tidak menggunakan kata *menciptakan gunung-gunung*. Boleh jadi pencampakan yang dimaksud adalah terjadinya benturan yang besar, atau gempa yang dahsyat, yang mengakibatkan lahirnya gunung-gunung dan sungai-sungai. Kata (رواسي) *rawasi* terambil dari kata (الرسو) *ar-rasw* atau *ar-rusuwwu* yakni kemantapan pada suatu tempat. Dari sini gunung-gunung, karena ia kekar, ditunjuk dengan kata *rawasi* (Shihab, 2002).

Kemudian menurut Ibnu Katsir, Allah Ta'ala menyebutkan bumi dan apa yang ada di dalamnya berupa gunung-gunung yang tinggi dan kokoh agar bumi tenang dan tidak goncang dengan apa yang ada di atasnya berupa binatang-binatang. Karena kalau bumi goncang, binatang-binatang itu tidak nyaman hidupnya (Abdullah, 2007).

Ayat 15 Surah an-Nahl ini juga menyiratkan bagaimana proses geologi berjalan, yang pada dasarnya berupa siklus yang tiada berhenti. Proses geologi selalu menuju keseimbangan yang terukur. Pada pegunungan yang menjulang tinggi, maka beban ini menekan kerak bumi di bawahnya dan menyebabkan kerak bumi menekuk lebih dalam, ibarat sebuah akar yang menjam dalam dan membuat bumi stabil.

Nash al-Qur'an pada surat an-Nahl di atas sangat bersesuaian dengan fakta ilmiah yang dikaji oleh pakar-pakar vulkanologi. Bumi bukanlah materi padatan solid yang bersifat statis seperti seongkah batu yang melayang di luar angkasa. Namun bumi terdiri dari banyak lapisan astenosfer dari inti bumi hingga kerak bumi. Kerak bumi sendiri terdiri dari lempeng-lempeng benua dan lempeng lempeng samudra yang saling bertindihan dan terus bergerak secara dinamis.

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif yaitu lempeng Eurasia, Pasifik dan indo-Australia yang menyebabkan terbentuknya gunung api, morfologi berbukit dan sumber gempa. Kondisi yang demikian menyebabkan Indonesia rawan terhadap bencana geologi seperti letusan gunung api, gerakan tanah, gempa bumi, dan tsunami (Santosa, 2011).

Akibat pertemuan ketiga lempeng tersebut menyebabkan terjadinya penekanan pada lapisan bawah bumi yang mengakibatkan wilayah negara kepulauan Indonesia memiliki morfologi yang bergunung-gunung dan relief yang relatif kasar. Indonesia

juga dilalui dua jalur pegunungan aktif di dunia yaitu Sirkum Pasifik dan Sirkum Mediterania. Sirkum Pasifik meliputi kepulauan di bagian utara Pulau Sulawesi dan sebagian wilayah Maluku Utara. Sirkum Mediterania dibagi menjadi dua bagian yaitu busur yang masih aktif (inner arc) dan busur luar yang sudah tidak aktif lagi (outer arc). Inner arc mencakup gunung api yang terdapat pada bagian daratan Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Lombok, Nusa Tenggara, Flores, dan sebagian Pulau Sulawesi dan berakhir di Laut Banda. Outer arc meliputi kepulauan yang terdapat di bagian barat Pulau Sumatera seperti Pulau Mentawai, Sipora, Siberut, Nias, Enggano terus ke pantai Selatan Jawa, dan Kepulauan Nusa Tenggara meliputi Pulau Sumba, dan Pulau Rote. Dinamika Geologi Indonesia terus terjadi akibat siklus gempa di pantai barat Sumatera dalam 12 tahun terakhir, menyebabkan terjadinya anomali kerentanan dan perubahan batimetri kelautan serta terbentuknya seamount di sekitar Palung Jawa (Hermon, 2015).

Gunung api adalah lubang kepundan atau rekahan dalam kerak bumi tempat keluarnya cairan magma atau gas atau cairan lainnya ke permukaan bumi. Material yang dierpiskan ke permukaan bumi umumnya membentuk kerucut terpancung. Gunung api juga merupakan salah satu objek yang diciptakan melalui proses pergeseran lempeng bumi dengan fungsi yang sangat vital dalam menjaga kesetimbangan alam, bukan entitas objek yang berdiri sendiri (PVMBG, 2015).

Indonesia juga merupakan negara cincin api di dunia karena dikelilingi oleh deretan gunung api aktif dari barat hingga ke timur. Oleh sebab itu, berbagai fenomena seperti gempa bumi dan erupsi gunung api sering terjadi di Indonesia. Kemunculan deretan gunung api tersebut disebabkan oleh faktor geologis, yaitu letak Indonesia yang berada pada zona pertemuan 3 lempeng aktif dunia, yaitu Eurasia,

Indo-Australia dan Pasifik. Oleh sebab itu, berbagai fenomena seperti gempa bumi dan erupsi gunung api sering terjadi di Indonesia. Faktor tersebut juga menyebabkan Indonesia kaya akan sumber daya alam dan kaya juga akan bencana (Hermon, 2015).

Pergerakan antar lempeng pada bumi menimbulkan 4 busur gunung api yang berbeda (Santosa, 2011):

1. Pemekaran kerak benua, lempeng bergerak saling menjauh sehingga memberikan kesempatan magma bergerak ke permukaan, kemudian membentuk busur gunung api tengah samudera.
2. Tumbukan antar kerak, dimana kerak samudra menunjam ke bawah kerak benua. Akibat gesekan antar kerak tersebut, terjadi peleburan batuan dan lelehan batuan ini bergerak ke permukaan melalui rekahan kemudian membentuk busur gunung api di tepi benua.
3. Kerak benua menjauh satu sama lain secara horizontal, sehingga menimbulkan rekahan atau patahan. Rekahan atau patahan tersebut menjadi jalan ke permukaan lelehan batuan atau magma sehingga membentuk busur gunung api tengah benua atau banjir lava sepanjang rekahan.
4. Penipisan kerak samudera akibat pergeseran lempeng memberikan kesempatan bagi magma menerobos ke dasar samudera, terobosan magma ini merupakan banjir lava yang membentuk deretan gunung api perisai.

## **2.2 Gunung Merapi**

Gunung Merapi adalah gunung api di bagian tengah Pulau Jawa yang merupakan salah satu gunung api teraktif di Indonesia (Purnomo, 2014). Gunung

ini berada pada koordinat  $7^{\circ}32.5'$  LS dan  $110^{\circ}26.5'$  BT yang terletak di kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta untuk sisi selatan, sedangkan sisanya berada di provinsi Jawa Tengah yaitu untuk sisi barat gunung Merapi berada di kabupaten Magelang, untuk sisi utara dan timur berada di kabupaten Boyolali dan untuk sisi tenggara berada kabupaten Klaten (Pratomo, 2006). Saat ini ketinggian puncak gunung 2.930 m dpl, per 2010 yang telah mengalami deformasi setelah meletus beberapa kali. Gunung Merapi memiliki rekahan yang semakin besar dan tidak lagi memiliki puncak (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Gunung Merapi Tahun 2015  
(Rahadini, 2017)

Gunung Merapi merupakan gunung api muda yang mengarah ke selatan dari Gunung Ungaran. Berdasarkan tektoniknya, terletak di zona subduksi yang mana Lempeng Indo-Australia menujam di bawah lempeng Eurasia atau bergerak relatif ke arah utara sehingga menyebabkan aktivitas vulkanik disekitar Pulau Jawa (Purnomo, 2014).

Setelah erupsi besar tahun 2010, struktur morfologi puncak Merapi mengalami perubahan besar diantaranya hancurnya dinding Geger Boyo di sebelah tenggara tubuh gunung yang dapat berfungsi sebagai penahan aliran lavadi puncak Gunung

Merapi, selain itu terbentuknya rekahan di kubah Merapi. Kemudian sesaat setelah gempa bumi November 2013 yang bertepatan dengan musim hujan, terjadi erupsi Gunung Merapi sehingga menyebabkan terbentuknya rekahan baru. Menurut data terraSAR-X seperti gambar arah *strike* dari rekahan di puncak Gunung Merapi mengarah ke barat laut-tenggara, sehingga sudut strike nya antara  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$  dan  $270^{\circ}$ - $360^{\circ}$  (Rauzam, 2015).

### 2.3 Tinjauan Umum Gunung Merapi

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung api yang paling aktif di Indonesia atau dapat dikatakan tidak pernah tidur atau beristirahat. Dalam aktivitasnya, gunung merapi sering berpotensi membahayakan lingkungan sekitar termasuk makhluk hidup di sekitar Gunung Merapi (Bemmelen, 1949).

Dalam sejarahnya, Gunung Merapi dapat dibagi menjadi empat tahap pembentukan (Berthommier, 1990):

1. Tahap Pra Merapi (lebih dari 400.000 tahun yang lalu)
2. Tahap Merapi Tua (60.000-8.000 tahun yang lalu)
3. Tahap Merapi Pertengahan (8.000-2.000 tahun yang lalu)
4. Tahap Merapi Baru (2.000 sampai sekarang)

Gunung Merapi di Jawa Tengah merupakan gunung api paling aktif di Indonesia. Letak geografisnya  $7^{\circ}32.5'$  LS dan  $110^{\circ}26.5'$  BT dengan ketinggian 2953,244 m dan merupakan gunung andesitik berbentuk kerucut dengan kubah lava dan solfatara. Aktivitasnya yang telah berlangsung selama 50.000 tahun ini mengeluarkan produk material dengan rata-rata 1.000.000 m<sup>3</sup>/tahun (Bethommier, 1990). Gunung Merapi merupakan bagian dari deretan gunung api yang menurut

perkembangannya dimulai dari utara ke selatan yaitu Gunung Ungaran, Gunung Suropati, Gunung Telomoyo, Gunung Merbabu dan terakhir Gunung Merapi di ujung selatan.

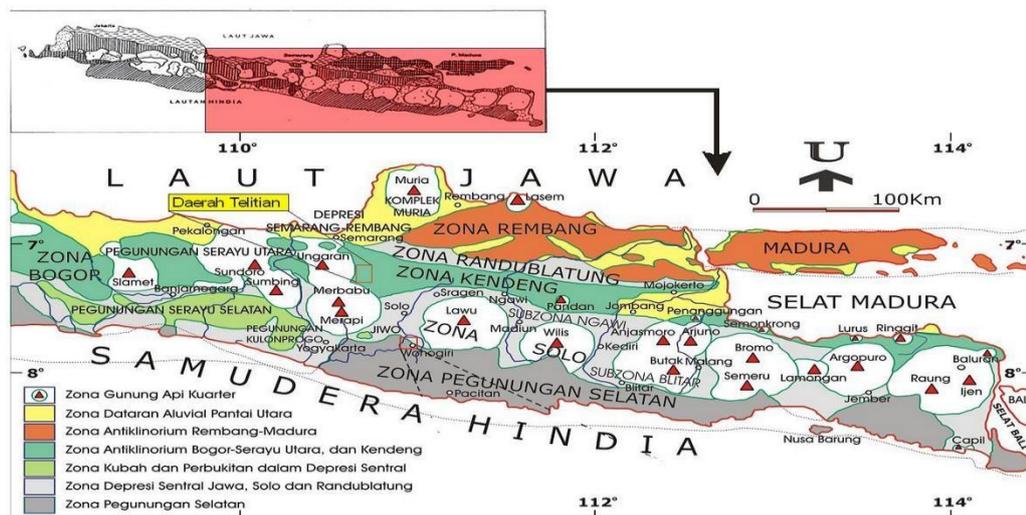
Letusannya dicirikan oleh pertumbuhan kubah lava yang disusul oleh letusan paroximal yang disertai aliran piroklastik berupa lelehan, lava dan awan panas. Awan panas tipe Merapi ada 2 yaitu, awan panas guguran dan awan panas letusan. Awan panas guguran ini terjadi akibat dari guguran lava pijar yang longsor karena pengaruh gaya berat dan kemiringan, sedangkan awan panas berkisar antara 4000°C-6000°C dan kecepatannya mencapai 60-70 km/jam. Aktivitas Gunung Merapi dicirikan oleh range frekuensi letusan dengan durasi waktu 1-5 tahun (Berthommier, 1990).

#### **2.4 Geologi Regional Gunung Merapi**

Gunung Merapi dibagi menjadi dua yaitu Merapi Tua dan Merapi Muda. Kedua gunung Merapi tersebut dapat dibedakan morfologi dan litologinya, karena masa pembentukannya berbeda. Gunung Merapi Tua telah aktif sejak akhir dari Pleistosen akhir, sedangkan Merapi Muda aktif sejak tahun 1006. Untuk litologi Merapi Muda cenderung bersifat intermediet, sedangkan litologi Merapi Tua lebih cenderung bersifat basa. Untuk morfologinya Merapi Muda yang terletak di sebelah barat, memiliki pola kontur radial yang menunjukkan gunung api stadium muda, belum menunjukkan erosi lanjut, sedangkan untuk Merapi Tua tampak memiliki pola kontur yang menunjukkan stadium dewasa, terlihat dari banyaknya proses erosi yang terjadi dan terpotong oleh sesar sehingga Van Bemmelen (1994) dapat menyimpulkan bahwa tubuh Merapi Tua terpotong-potong oleh sesar-sesar turun

yang mengarah ke barat, yang kemudian tertutup oleh Merapi Muda pada Hanging wall-nya. Hal ini terkait dengan pembentukan Perbukitan Gendol. Karena puncak Gunung Merapi pada bagian utara dan timur dikelilingi oleh formasi Merapi Tua maka mulut kubah terbuka ke arah barat daya, hal ini menyebabkan kegiatan erupsi Gunung Merapi menuju ke arah barat daya.

Van Bammelen (1949) dalam bukunya “The Geology of Indonesia” fisiografi Jawa menjadi 7 zona. Seperti pada gambar di bawa ini:



Gambar 2.2 Peta Fisiografi Daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur  
(<http://hmgi.or.id/geologi-regional-zona-kendeng/geologi>)

Daerah Istimewa Yogyakarta terletak pada 250 km dari pertemuan lempeng di selatan Pulau Jawa yang mengalami efek adanya gempa yang diakibatkan dari pergeseran lempeng-lempeng Eurasia dan India-Australia. Pergeseran kedua lempeng tersebut berpengaruh pada daerah Jawa bagian selatan termasuk adanya fenomena timbulnya Gunung Merapi.

Gunung Merapi secara tektonik merupakan bagian dari system subduksi Sumatra, Jawa, Bali, dan Lombok (Hamilton, 1979). System subduksi tersebut

merupakan batas aktif lempeng yang menghasilkan magma andesit dan gempa yang relatif intensif. Magma andesit yang didapatkan akan menghasilkan gas besar, sehingga letusan eksplosif dapat terjadi.

Gunung Merapi termasuk dalam gunung api tipe strato yang mempunyai kekentalan magma yang tinggi (Reksowirogo, 1979). Kekentalan magma yang tinggi ini berpengaruh terhadap bentuk suatu gunung api. Bentuk Gunung Merapi dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu bagian Gunung Merapi yang lebih tua dan kerucut Gunung Merapi (Bammelan, 1949).

Secara fisiografi Gunung Merapi berada di zona tengah (Bammelan, 1949). Menurut para ahli gunung ini muncul pada titik pertemuan antara dua deret gunung api yaitu Unggaran-Telemulyo-Merbabu-Merapi dan Lawu-Merapi-Sumbing-Sundoro-Slamet. Merapi juga terletak pada pertemuan antara Sesar Semarang (membujur Utara-Selatan) dan Sesar Solo (membujur Barat-Timur) (Kusumayudha, 1988).

Secara tektonik Gunung Merapi terbentuk karena leburnya sebagian kerak Samudera Hindia akibat terjadinya tumbukan antara lempeng Eurasia-Asia dan lempeng Hindia-Australia di selatan Pulau Jawa. Kerak Hindia-Australia yang lebur itu selanjutnya terdorong ke atas dan dirupsikan antara lain melalui gunung ini (Hamilton, 1979). Magma yang memasok kegiatan Merapi merupakan hasil proses peleburan yang berlangsung sejak Plio-Pleistosen sekitar dua juta tahun yang lalu.

Sudah sering dijabarkan, bahwa Gunung Merapi mempunyai dapur magma yang sangat dangkal, magmanya sangat kental, dan tekanan gasnya sangat lemah. Hal ini menyebabkan kegiatannya hanya menghasilkan letusan-letusan kecil dan timbunan lava membentuk kubah pada lubang kepondannya (Kusumadinata, 1979).

Gunung Merapi mengalami evolusi vulkanik yang semula magma Merapi bersifat encer (basa) dengan tipe erupsi efusif. Kemudian sifat magma berkembang menjadi lebih kental (asam) dengan tipe erupsi campuran efusif dan eksplosif. Pada perkembangan terakhir Gunung Merapi menghasilkan magma yang sangat kental sehingga fase efusif kegiatan gunung ini hanya menghasilkan kubah dan sumbat lava (Kusumayudha, 1988).

Secara morfologi tubuh Gunung Merapi dapat dibagi menjadi empat bagian yaitu kerucut puncak, lereng tengah, lereng kaki, dan dataran kaki kerucut puncak dibangun oleh endapan yang lebih muda berupa lava dan piroklastik. Satuan lereng tengah dibangun oleh endapan lava piroklastik dan lahar. Lereng Kaki dan Dataran Kaki tersusun oleh endapan piroklastik, lahar, dan alluvial (Sari, 2007).

Bagian lereng barat Gunung Merapi merupakan daerah aliran guguran dan piroklastik. Daerah ini merupakan daerah terbuka karena sering tertanda awan panas. Lereng Kaki Merapi tersusun dari pegunungan-pegunungan radial yang diselingi dengan hulu-hulu sungai. Beberapa sungai penting yang ada di lereng barat dan selatan ke utara yaitu Kali Krasak, Brebeg, Kali Putih, Kali Ikat, dan Kali Senowo. Alur-alur pada sungai tersebut yang sering mendapat tambahan material produk letusan.

## **2.5 Jenis Gelombang Seismik**

### **2.5.1 Gelombang Badan**

Gelombang badan (*body wave*) merupakan gelombang yang menjalar dalam medium yang elastik ke seluruh bagian dalam bumi. Berdasarkan gerak

partikelnya, gelombang badan dapat dibedakan atas gelombang P dan gelombang S (Gambar 2.3) (Susilawati 2008).

a. Gelombang P

Gelombang primer atau gelombang P merupakan gelombang yang memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain. Oleh karena itu, gelombang P akan dicatat pertama kali dibandingkan gelombang yang lain oleh sebuah alat yang bernama seismometer. Bentuk penjaran gelombang P adalah berupa gelombang longitudinal dengan arah gelombang yang sejajar dengan arah penjarannya. Gelombang P dapat merambat di berbagai medium seperti medium padat, cair, dan gas. Persamaan dari kecepatan gelombang P ditunjukkan pada Persamaan 2.1 (Afnimar, 2009):

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

dengan:

$v_p$  : Kecepatan gelombang P

$\lambda$  : Konstanta lame

$\mu$  : Modulus geser

$\rho$  : Densitas batuan

b. Gelombang S

Gelombang sekunder atau gelombang S adalah gelombang seismik yang hanya merambat di permukaan bumi. Bentuk penjaran gelombang ini berupa gelombang transversal yang memiliki arah tegak lurus dengan arah penjarannya. Berbeda dengan gelombang P, gelombang S memiliki waktu perambatan yang lebih lama sehingga akan tercatat setelah gelombang P pada

seismometer. Gelombang S tidak dapat merambat pada medium cair. Persamaan dari kecepatan gelombang S adalah sebagai berikut (Persamaan 2.2) (Afnimar, 2009):

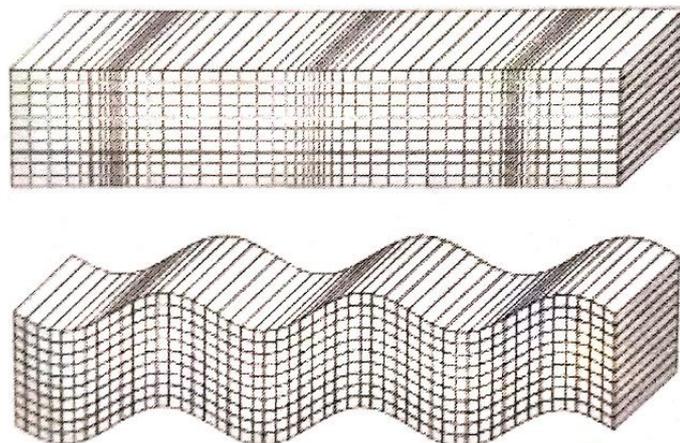
$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

dengan:

$v_s$  : Kecepatan gelombang S

$\mu$  : Modulus geser

$\rho$  : Densitas batuan



Gambar 2.3 Ilustrasi Pergerakan Medium Untuk Gelombang P (Atas) dan S (Bawah) (Shearer, 2009)

Perbandingan antara cepat rambat gelombang P dan cepat rapat gelombang S menghasilkan suatu konstanta yang disebut dengan rasio Poisson dengan hubungannya dapat dituliskan Persamaan 2.3 (Pribadi, 2010):

$$\frac{v_s}{v_p} = \sqrt{\frac{2(1-\varphi)}{1-2\varphi}} \quad (2.3)$$

dengan:

$v_s$  : Kecepatan gelombang P

$v_p$  : Kecepatan gelombang S

$\varphi$  : Rasio poisson

### 2.5.2 Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan jenis gelombang seismik yang medium perambatannya berada di permukaan bumi. Semakin masuk ke dalam bumi, maka amplitude gelombang permukaan ini akan semakin melemah. Kecepatan gelombang permukaan juga selalu tergantung pada frekuensi. Hal ini berarti bahwa semakin besar kecepatannya maka akan semakin kecil frekuensinya dan penetrasi kedalamannya semakin dangkal, begitu juga sebaliknya. Gelombang permukaan ini terbagi menjadi 2 (dua) tipe yaitu gelombang Rayleigh (Gambar 2.4) (Afnimar, 2009).

Interferensi gelombang-gelombang pantul P dan SV (gelombang S dengan arah vertikal) yang sudut datangnya melebihi sudut kritis akan mengakibatkan terbentuknya gelombang Rayleigh dengan gerakan partikel medium ketika dilewatinya berupa bentukan elips (Afnimar, 2009). Persamaan kecepatan gelombang Rayleigh adalah sebagai berikut (Persamaan 2.4) (Telford et al., 1976):

$$v_R = 0,9194(v_s) \quad (2.4)$$

dengan:

$v_R$  : Kecepatan gelombang Rayleigh

0,9194 : Konstanta

$v_s$  : Kecepatan gelombang S

Gelombang Rayleigh atau gelombang groundrol adalah gelombang yang menjalar di permukaan bumi dengan pergerakan partikelnya menyerupai elips

karena menjalar dipermukaan, amplitude gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Gelombang Rayleigh merambat sepanjang permukaan dengan gerakan partikel elliptical *retrograde* dan berubah menjadi *prograde* jika kedalamannya melewati suatu titik dimana sudah tidak ada gerakan. Di dalam rekaman seismik, gelombang Rayleigh dicirikan dengan amplitudonya yang besar (hampir 2x amplitude refleksi) dan dicirikan dengan frekuensi rendah.

Akibat adanya suatu interferensi gelombang-gelombang pantul P dan SH (gelombang S dengan arah horizontal) pada lapisan dekat permukaan bumi maka terbentuklah gelombang Love dengan partikel medium yang menyerupai bentukan gelombang SH, namun nilai amplitudonya berkurang terhadap kedalaman (Afnimar, 2009). Nilai dari kecepatan gelombang Love adalah sebagai berikut (Persamaan 2.5) (Susilawati, 2008):

$$v_R < v_L < v_S \quad (2.5)$$

dengan:

$v_R$  : Kecepatan gelombang rayleigh

$v_R$  : Kecepatan gelombang love

$v_R$  : Kecepatan gelombang S

Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gerakan partikelnya mirip dengan gelombang S. kecepatan penjalarannya bergantung pada panjang gelombangnya dan bervariasi di sepanjang permukaan. Pergerakan partikel gelombang love sejajar dengan permukaan tetapi tegak lurus dengan arah rambatnya. Gelombang love lebih cepat daripada gelombang Rayleigh dan lebih dulu sampai pada Seismogram.



Gambar 2.4 Ilustrsi Pergerakan Gelombang Permukaan (Atas) Gelombang Love Dan (Bawah) Gelombang Rayleigh (Shearer, 2009)

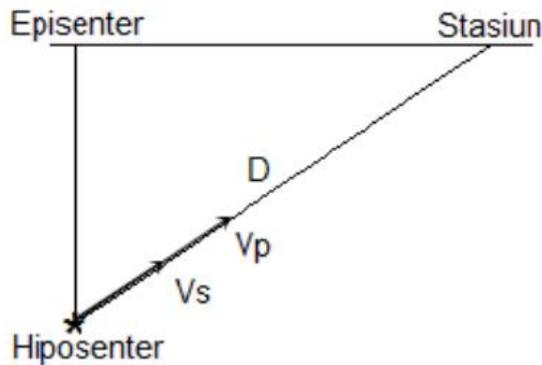
## 2.6 Hiposenter dan Episenter

Titik dalam perut bumi yang merupakan sumber gempa dinamakan hiposenter atau focus. Proyeksi tegak lurus hiposenter ke permukaan bumi ini dinamakan episenter. Gelombang gempa merambat dari hiposenter ke patahan sesar *fault rupture*. Bila kedalaman focus dari permukaan adalah 0-70 km, maka terjadilah gempa dangkal (*shallow earthquake*). Sedangkan bila kedalamannya antara 70-700 km, maka akan terjadi gempa dalam (*deep earthquake*) (Hartuti, 2009).

Hiposenter adalah tempat terjadinya perubahan lapisan batuan atau dislokasi di dalam Bumi sehingga menimbulkan gempa bumi. Apabila hiposenter terletak di dasar laut maka getaran gempa bumi yang terjadi dapat menimbulkan gelombang air pasang yang sangat besar dengan ketinggian mencapai puluhan meter atau biasa disebut *tsunami*. Episenter adalah tempat di permukaan Bumi yang letaknya paling dekat dengan hiposenter. Letak episenter tegak lurus terhadap hiposenter, dan daerah di sekitar episenter adalah wilayah yang paling besar merasakan getaran gempa bumi (Mulyo, 2004).

Lokasi gempa didefinisikan dengan hiposenter gempa ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) dan waktu asal  $t_0$ . Hiposenter adalah lokasi fisik dari sumber gempa, biasanya diberikan dalam longitude ( $x_0$ ), latitude ( $y_0$ ), dan kedalaman di bawah permukaan ( $z_0$ ) km, saat hiposenter dan waktu asal ditentukan oleh waktu kedatangan fase seismik dimulai gempa pertama, lokasi akan dihitung sesuai dengan titik dimana gempa dimulai. Hal tersebut dilakukan secara iterasi hingga diperoleh model hiposenter yang menghasilkan nilai residual disetiap stasiun mencapai nilai minimum yang ditentukan (Sahara, 2009).

Gempa bumi berkaitan erat dengan adanya pelepasan energi akibat terjadinya patahan baru ataupun bergesernya patahan lama, peristiwa benda jatuh, runtuhnya aktivitas vulkanik dan lain-lain. Hiposenter adalah titik awal terjadinya gempa bumi dimana fokus pada bagian dalam bumi. Kedalaman sumber gempa bumi adalah jarak hiposenter dihitung tegak lurus dari permukaan bumi. Kedalaman dinyatakan oleh besaran jarak dalam satuan km. Secara seismologis, hiposenter gempa bumi adalah posisi dimana energi regangan yang tersimpan dalam batuan itu pertama dilepaskan, dan merupakan titik dimana patahan/retakan mulai pecah. Ini terjadi pada kedalaman hiposenter di bawah pusat gempa. Pada penentuan hiposenter dibutuhkan hasil rekaman gempa, yaitu waktu tiba gelombang P dan waktu tiba gelombang S pada tiap stasiun. Selisih waktu tiba kedua gelombang (S-P) akan terus bertambah sebanding dengan bertambahnya jarak tempuh (D) kedua gelombang tersebut. Hubungan yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut (Fiandralekha, 2010).



Gambar 2.5 Penjalaran Gelombang P dan Gelombang S  
(Fiandralekha, 2010)

Episenter adalah titik di permukaan bumi yang merupakan refleksi tegak lurus dari hiposenter atau fokus gempa bumi. Lokasi Episenter dibuat dalam sistem koordinat Kartesian bola bumi atau sistem koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur. Untuk menentukan lokasi sumber gempa bumi diperlukan data waktu tiba gelombang seismik dengan sekurang-kurangnya data waktu tiba gelombang P. Selain itu juga diperlukan data posisi stasiun yang digunakan dan model kecepatan gelombang seismik. Episenter gempa dapat ditentukan secara manual maupun digital (Rauzam, 2015).

## 2.7 Klasifikasi Gempa Gunung api

Berbagai gempa bumi yang diamati oleh pengamatan seismik di gunung api aktif dan berbagai memberikan informasi penting mengenai aktivitas gunung api. Klasifikasi gempa vulkanik dikelompokkan oleh T. Minakami berdasarkan bentuk rekaman gempa, perkiraan hiposenternya dan perkiraan proses yang terjadi di dalam tubuh gunung api (Minakami, 1974).

### 1. Gempa Vulkanik Dalam (tipe A)

Sumber dari tipe gempa ini terletak di bawah gunung api pada kedalaman 1 sampai 20 km, biasanya muncul pada gunung api yang aktif. Gempa tipe A dapat disebabkan oleh adanya magma yang naik ke permukaan yang disertai rekahan-rekahan. Ciri utama dari gempa tipe A ini adalah selisih waktu tiba gelombang Primer (P) dan gelombang Sekunder (S) sampai 5 detik dan berdasarkan sifat fisisnya, gempa ini bentuknya mirip dengan gempa Tektonik.

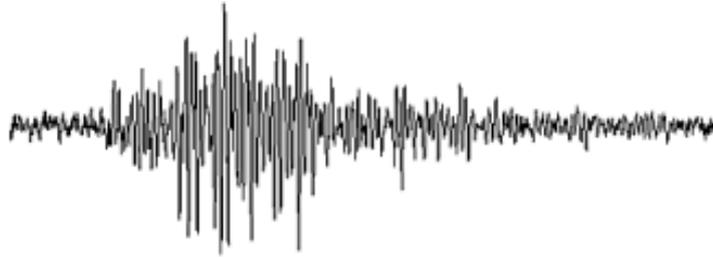


Gambar 2.6 Contoh Rekaman Seismik Gempa Tipe A  
(Wasserman, 2012)

### 2. Gempa Vulkanik Dangkal (tipe B)

Sumber gempa vulkanik tipe B diperkirakan kurang dari 1 km dari kawah gunung api yang aktif. Gerakan awalnya cukup jelas dengan waktu tiba gelombang S yang tidak jelas dan mempunyai nilai magnitudo yang kecil.

Dalam pelaksanaannya, untuk membedakan gempa vulkanik dangkal dan dalam dibedakan dari bisa dibacanya waktu tiba gelombang S. Bila waktu tiba gelombang S tidak dapat dibaca dikategorikan sebagai gempa vulkanik dangkal dan bila dapat dibaca (walau di bawah 1 s) dikategorikan ke dalam gempa vulkanik dalam.



Gambar 2.7 Contoh Rekaman Seismik Gempa Tipe B  
(Wasserman, 2012)

### 3. Gempa Letusan

Gempa letusan disebabkan oleh terjadinya letusan yang bersifat eksplosif. Berdasarkan hasil pengamatan seismik sampai saat ini dapat dikatakan bahwa gerakan pertama dari gempa letusan adalah push-up atau gerakan ke atas. Dengan kata lain, gempa letusan ditimbulkan oleh mekanisme sebuah sumber tunggal yang positif.



Gambar 2.8 Contoh Rekaman Seismik Gempa Letusan  
(Wasserman, 2012)

### 4. Gempa Tremor

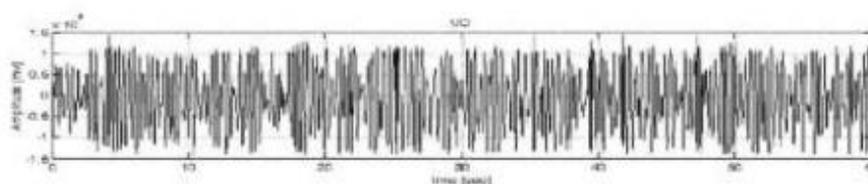
Gempa tremor merupakan gempa yang menerus terjadi di sekitar gunung api, jenis gempa ini dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

- a. Tremor Harmonik, getaran yang menerus secara sinusoidal. Kedalaman sumber gempa diperkirakan antara 5 – 15 km.



Gambar 2.9 Contoh Rekaman Seismik Gempa Tremor Harmonik  
(Wasserman, 2012)

- b. Tremor Spasmodik, getaran terus menerus tetapi tidak beraturan. Sumber gempa bumi diperkirakan mempunyai kedalaman antara 45-60 km.



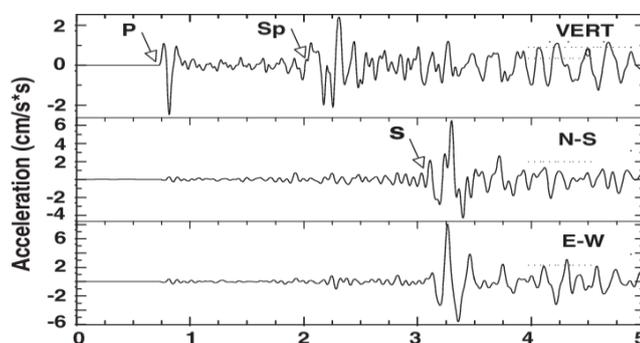
Gambar 2.10 Contoh Rekaman Seismik Gempa Tremor Spasmodik  
(Wasserman, 2012)

Salah satu contoh dari tremor adalah letusan tipe Hawaii yang selalu berulang tiap beberapa detik dan akan berakhir dalam waktu yang cukup lama. Tremor yang ditimbulkan oleh letusan-letusan tersebut selalu berulang-ulang, sehingga dalam seismogram terlihat sebagai getaran yang menerus saling bertumpukan.

## 2.8 Analisis *Waveform*

Analisis bentuk gelombang (*waveform*) yakni dari jelas tidaknya waktu tiba gelombang P ( $t_p$ ) dan Gelombang S ( $t_s$ ) dan analisis spektral. Sinyal dari gempa vulkanik A memiliki  $t_p$  dan  $t_s$  yang jelas dimana  $t_s - t_p$  (selang waktu tiba gelombang P dan S) kurang dari 4-5 sekon. Gelombang P adalah gelombang yang tercepat perambatannya. Partikel bergerak sejajar dengan arah nerambatan gelombang dan terkadang dikenal sebagai gelombang Jongitudinal atau gelombang kompresional.

Gelombang P termasuk gelombang badan. Periode gelombang P bervariasi antara 0,1 s dan 2 s. Periode yang lebih kecil dari 0,3 s menunjukkan jarak pusat gempa kurang dari 1000 km. Kecepatan permukaan semu atau waktu tempuh dari gelombang P bervariasi beragam dari 6 km/s hingga 25,7 km/s. Kecepatan di dalam bumi bervariasi dari 6 km/s dan di kerak maksimum mencapai 13,5 km/s pada bagian dalam mantel. Gelombang S merupakan gelombang seismik tercepat kedua dengan pergerakan partikel ke arah normal dari perambatan. Gelombang S sering dikenal sebagai gelombang geser dan juga merupakan gelombang badan. Periode gelombang S bervariasi dari 0,1 sekon hingga lebih dari 5 sekon. Periode kurang dari 0,5 s menunjukkan posisi pusat gempa kurang dari 1000 km. Kecepatan semu permukaan gelombang S adalah sekitar 0,55 kali dari gelombang P dengan waktu tempuh 1,8 kali gelombang P (Jufriadi, 2013).



Gambar 2.11 Penentuan Gelombang P dan S Rekaman Seismik (Jufriadi, 2013)

## 2.9 Mekanisme Fokus

*Focal mechanism* atau mekanisme fokus merupakan penggambaran deformasi inelastik di sekitar sumber yang menghasilkan gelombang seismik. Umumnya, mekanisme fokus berhubungan dengan peristiwa patahan yang mengacu pada orientasi bidang patahan yang bergeser dan slip vektornya. Mekanisme fokus dapat

diturunkan dengan mengamati gerakan pertama gelombang, yakni kedatangan gelombang P pertama apakah pecah atau menurun. Metode ini digunakan sebelum gelombang dicatat dan dianalisa secara digital serta masih sering digunakan pada analisis gempa bumi kecil dalam solusi momen tensor. Perpindahan gelombang P pada medan yang jauh sebagai berikut ini (Aki et al., 1980):

$$U^p(r, t) = \frac{1}{4\pi\rho r v_p^3} R^P M(t - \frac{r}{v_p}) \quad (2.6)$$

dengan:

$U^p(r, t)$	: Displacement of P-wave at far field
$R^P$	: Pola radiasi untuk gelombang P
$r$	: Jarak dari hiposenter
$M$	: Moment rate function
$v_p$	: Kecepatan gelombang P
$\rho$	: Densitas medium

Persamaan 2.6 kemudian didiferensialkan dengan mengabaikan indeks waktu, sehingga diperoleh persamaan 2.7 (Aki et al., 1980).

$$U^p(r, t) = \frac{1}{4\pi\rho r v_p^3} R^P M \quad (2.7)$$

Dengan mengasumsikan bahwa proses merupakan mekanisme couple ganda, maka pola radiasi gelombang P ( $R^P$ ) dinyatakan sebagai persamaan 2.8 (Aki et al., 1980).

$$\begin{aligned} R^P = & \cos \lambda \sin \delta \sin^2 i_h \sin 2(\varphi - \varphi_S) - \\ & \cos \lambda \cos \delta \sin 2i_h \cos(\varphi - \varphi_S) + \\ & \sin \lambda \sin 2\lambda (\cos^2 i_h \sin^2 i_h \sin^2(\varphi - \varphi_S)) + \\ & \sin \lambda \cos 2\delta \sin 2i_h \sin(\varphi - \varphi_S) \end{aligned} \quad (2.8)$$

dengan:

- $R$  : Sudut penunjaman (rake)
- $\delta$  : Kemiringan (dip)
- $\varphi_s$  : Jurus (strike)
- $i_h$  : Sudut take-off
- $\varphi$  : Azimuth gelombang seismic yang meninggalkan sumber

Amplitudo teramati ( $y_i$ ) dan amplitudo terhitung ( $x_i$ ) memiliki hubungan linier yang dinyatakan sebagai persamaan 2.9 (Aki et al., 1980).

$$y_i = bx_i \quad (2.9)$$

dengan  $i = 1$  sampai  $N$  dan  $N$  adalah jumlah data residual ( $R$ ) antara amplitudo hasil pengamatan dan perhitungan. Nilai  $R$  dinyatakan dalam persamaan 2.10 (Aki et al., 1980).

$$R = \sum_{i=1}^N (hx_i - y_i)^2 = b^2 \sum x_i^2 - 2b \sum x_i y_i + \sum y_i^2 \quad (2.10)$$

Untuk memperoleh nilai minimum dari  $R$  maka  $\frac{\partial R}{\partial b} = 0$ , sehingga parameter  $b$  dinyatakan sebagai persamaan 2.11 (Aki et al., 1980).

$$b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \quad (2.11)$$

Strike, dip dan rake bidang nodal pertama diperoleh melalui metode grid-search yang ditentukan berdasarkan polaritas gerakan awal dari gelombang P. Bidang nodal kedua bersifat tegak lurus terhadap bidang nodal pertama sehingga nilai standar deviasi minimum ( $sd$ ) ditentukan dalam persamaan 2.12 (Aki et al., 1980).

$$sd = \sqrt{\frac{\sum (hx_i - y_i)^2}{N-2}} \quad (2.12)$$

Nilai amplitudo dari gelombang P dipengaruhi oleh kondisi lokasi stasiun atau disebut sebagai local site effect dan medium yang dilalui gelombang ketika

merambat. *Local site effect* diperkirakan dengan menggunakan satu gempa tektonik dan amplitudo relatifnya dengan stasiun referensi. Pengaruh medium yang dilalui gelombang karena faktor *non-elasticitas* medium ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.13 (Lay & Wallace. 1995).

$$A(x) = A_0 e^{-\left(\frac{\pi f}{Qv_p}\right)x} \quad (2.13)$$

dengan:

$A(x)$  : Amplitudo pada jarak hiposenter tertentu ( $x$ )

$f$  : Frekuensi

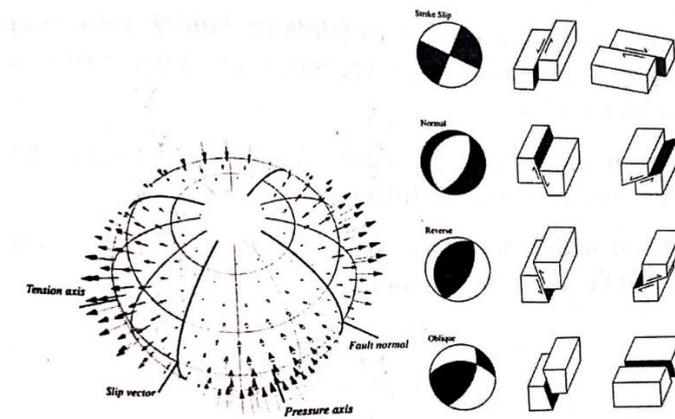
$Q$  : Faktor atenuasi atau pelemahan gelombang

$v_p$  : Kecepatan gelombang P

Solusi momen tensor umumnya ditunjukkan secara grafis dengan menggunakan diagram *beachball*. Dalam diagram ini, pola energi radiasi selama gempa bumi dengan satu arah gerakan pada satu bidang patahan dimodelkan sebagai suatu pasangan ganda (*double couple*), yang kemudian digambarkan secara matematis sebagai kasus khusus dari suatu tensor orde-2, yakni momen tensor. Gempa bumi tanpa adanya pergerakan sesar memiliki pola yang sangat berbeda dengan radiasi energi, sehingga perbedaan sumber seperti pergerakan struktur geologi dan gempa akibat ledakan dapat dibedakan.

Cara sederhana menginterpretasikan diagram *beachball* yaitu dengan membagi lingkaran menjadi empat kuadran. Bagian paling atas merupakan arah Utara. Umumnya tensor selalu berwarna gelap. Untuk model 4 kuadran dengan warna gelap dan terang yang berselang-seling. maka model menunjukkan sesar geser. Untuk model dimana lingkaran dibagi menjadi tiga bagian dan bagian tengah

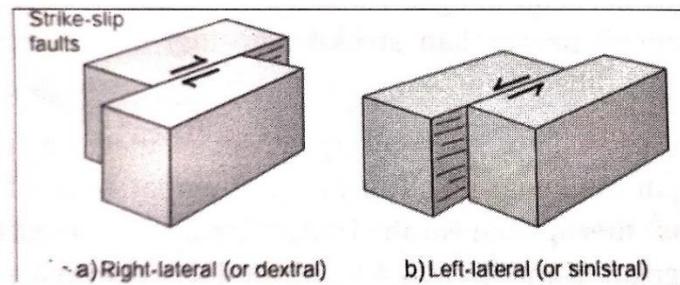
berwarna gelap, maka model menunjukkan sesar naik; dan sebaliknya apabila bagian tengah berwarna terang, maka merupakan sesar turun (Gambar 2.11).



Gambar 2.12 Ilustrasi Pola Diagram Beachball  
(Shearer, 2009)

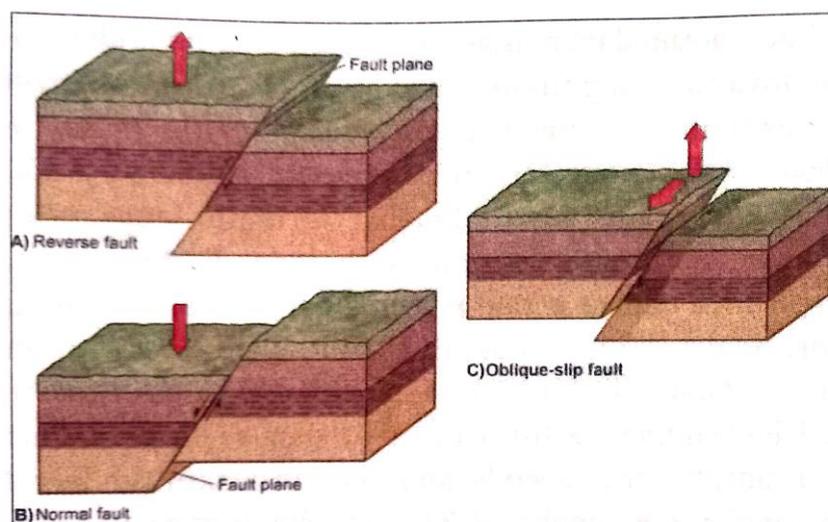
Sesar atau patahan terjadi karena adanya tekanan yang sangat kuat dan mungkin berlangsung dengan sangat cepat, yang mengakibatkan batuan mengalami retakan atau bahkan pergeseran posisi.

1. Strike Slip Fault, sesar yang arah pergerakannya relatif paralel dengan strike bidang sesar. Sesar ini disebut juga sebagai Sesar mendatar. Sesar mendatar terbagi lagi atas:
  - a. Sesar mendatar dextral, yaitu sesar mendatar yang blok batuan kanannya lebih mendekati pengamat.
  - b. Sesar mendatar sinistral, yaitu sesar mendatar yang blok batuan kirinya lebih mendekati pengamat.



Gambar 2.13 Sesar Mendatar (A) Dextral Dan (B) Sinistral  
(Van Der Pluijm & Marshak, 2004)

2. Dip Slip Fault, sesar yang arah pergerakannya relatif tegak lurus strike bidang sesar dan berada pada dip bidang sesar. Dip Slip Fault terbagi atas:
- Strike-Dip Slip Fault Oblique Fault, yaitu sesar yang vektor pergerakannya terpengaruh arah strike dan dip bidang sesar.
  - Sesar normal, yaitu sesar yang pergerakan Hanging wallnya relatif turun terhadap Foot-wall.
  - Sesar naik, yaitu sesar yang pergerakan Hanging-wallnya relatif naik terhadap Foot-wall.



Gambar 2.14 Sesar Naik (A), Sesar Normal (B), Dan Sesar Oblique (C)  
(Carlson, 2008)

### 2.10 *Real-time Seismic Amplitude Measurement (RSAM)*

*Realtime Seismic Amplitude Measurement (RSAM)* merupakan salah satu metoda pemantauan kegempaan gunung api yang mengukur output rata-rata amplitudo yang terekam dalam kurun waktu tertentu. Metoda ini pertama kali diperkenalkan oleh Endo dan Murray (1991). Metoda RSAM cukup baik untuk melakukan monitoring aktivitas suatu gunung api karena dapat mencerminkan energi total per satuan waktu sampling yang dilepaskan oleh gunung api (Endo dan Murray, 1991).

Prinsip RSAM adalah sinyal yang masuk ke digitizer diperbaiki, artinya sinyal negatif adalah dibalik menjadi positif, setelah itu disampel dan kemudian di rata-rata setiap 10 menit. Dengan demikian, RSAM sebenarnya mengukur energi dari semua gempa yang tercatat di stasiun seismik tanpa membedakan jenis gempa. Besarnya getaran gempa ditunjukkan pada persamaan 1 di bawah ini (Salamah dkk, 2019):

$$M = MA = \log A - \log A_0 \quad (2.14)$$

dengan:

$M$  : Magnitudo

$A$  : Amplitudo pada seismogram

$A_0$  : Amplitudo minimum pada seismogram

RSAM adalah pengukuran output rata-rata amplitudo yang terekam dalam kurun waktu tertentu pada satu stasiun seismik. Jendela waktu yang digunakan pada umumnya adalah 1 menit, 5 menit dan 10 menit. Persamaan yang digunakan untuk menghitung rata-rata amplitudo seismik dapat ditulis sebagai berikut (Wassermann, 2011):

$$\text{Rata - rata Amplitude Seismik} = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - \bar{A}|}{n} \quad (2.15)$$

dengan:

- $A_i$  : Amplitudo sinyal  
 $\bar{A}$  : Rata-Rata Amplitudo  
 $n$  : Jumlah Sampel

Pengelompokkan RSAM pada rentang frekuensi tertentu dapat memberikan gambaran perubahan atau dinamika pergerakan magma. Penentuan rentang frekuensi didasarkan pada frekuensi dominan yang dikandung oleh tiap jenis gempa. Klasifikasi gempa gunung api pada umumnya berdasarkan kepada bentuk gelombang/ waveform, kandungan frekuensi dan mekanisme sumbernya (Wassermann, 2011).

## 2.11 Korelasi

Fungsi *correlation* merupakan pengukuran antara 2 data set. 1 set digantikan secara relatif dengan yang lain. Nilai yang sama pada 2 set dikalikan bersama dan sinyalnya dijumlahkan untuk memperoleh nilai *cross-correlation*. Kita mengekspresikan nilai dari *cross-correlation* antara 2 data set  $x_t$  dan  $y_t$  sebagai (Telford et al., 1976):

$$\varphi_{xy}(\tau) = \sum_k x_k y_{k+\tau} \quad (2.16)$$

Dimana  $\tau$  adalah displacement pada  $y_t$  relatif ke  $x_t$ . Kalau diperhatikan pada sub-subbab sebelumnya persamaan ini hampir mirip dengan persamaan konvolusi diskrit. Jika 2 data set ini adalah *cross-correlated* pada domain waktu. Efeknya pada domain frekuensi adalah sama, yaitu sebagai pengalihan spectrum kompleks pada

data set pertama oleh konjugasi dari spektrum kompleks pada data kedua (Telford et al., 1976).

Ada kasus yang khusus dimana data set telah terkorelasi sendiri disebut autocorrelation. Fungsi autocorrelation ini simetris karena pergeseran waktu ke kanan adalah sama dengan pergeseran ke kiri. Persamaan sebelumnya menjadi (Telford et al., 1976):

$$\varphi_{xy}(\tau) = \sum_k x_k x_{k+r} \quad (2.17)$$

Autocorrelation memiliki nilai puncak pada pergeseran waktu nol. Untuk autocorrelation yang nilainya berada pada zero-shift ini disebut normalized correlation atau energi pada trace (Telford et al., 1976):

$$\varphi_{xy}(\tau) = \sum_k x_k^2 \rightarrow \varphi_{xx}(\tau) \leftrightarrow |X(v)|^2 \quad (2.18)$$

Karena nilai zero-shift pada autocorrelation adalah energi dari trace, maka adalah energi per unit waktu atau kekuatan dari trace dan adalah energi setiap penambahan frekuensi, biasanya disebut energi densitas (Telford et al., 1976).

Pada pengolahan data seismik, cross-correlation merupakan alat yang bagus dan paling sering digunakan ketika kita memiliki kualitas data yang tidak bagus. Ini biasanya digunakan di banyak proses untuk menghitung koreksi statik dan menghitung jumlah dari moveout normal untuk memperkenalkan lintasan trace dari offset berbeda sebelum stacking (Telford et al., 1976).

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kantor BPPTKG (Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi), Jl. Cendana No.15, Semaki, Kecamatan Umbulharjo, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta mulai bulan April 2021 sampai Juni 2021.

Gunung Merapi merupakan lokasi yang akan diteliti yang mana secara geografis terletak pada koordinat  $7^{\circ}32'28,11''$  LS dan  $110^{\circ}26'46,04''$  BT. Secara administratif, Gunung Merapi terletak pada perbatasan empat kabupaten yaitu Kabupaten Sleman (Provinsi DI Yogyakarta), Kabupaten Magelang, Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Klaten (Provinsi Jawa Tengah) dengan ketinggian 2900 m dari permukaan laut.

Digunakan tujuh stasiun sebagai sumber data seismik yang ditampilkan pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

Tabel 3.1 Lokasi Stasiun Seismograf

<b>Nama Stasiun</b>	<b>Longitude (°)</b>	<b>Latitude (°)</b>
Deles (DEL)	110°27.68'	7°33.61'
Klatakan (KLS)	110°25.68'	7°32.08'
Pusunglondon (PUS)	110°27.24'	7°32.30'
Pasarbubar (PAS)	110°27.33'	7°31.80'
Labuhan (LAB)	110°24.85'	7°32.65'
Grawah (GRA)	110°27.07'	7°31.39'

### 3.2 Jenis Data

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari data hasil rekaman seismogram dan data infrasonik Gunung Merapi pada bulan November 2020 – Maret 2021 yang diperoleh dari Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta. Dalam penelitian ini digunakan pendekatan deskriptif, dimana data-data yang ada diolah dan kemudian dijelaskan sesuai dengan literature yang ada.

### 3.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan pada penelitian ini yaitu:

1. Rekaman data gempa dan data Infrasonik serta data termal gunung merapi.
2. Laptop/komputer berfungsi untuk menjalankan perangkat lunak yang digunakan.
3. Perangkat lunak sesuai dengan pengolahan data.

### **3.4 Pengolahan Data**

#### **3.4.1 Penentuan Hiposenter**

Pada tahap ini dilakukan untuk mengolah data sekunder dari data hasil rekaman seismogram gunung merapi dengan cara picking serta memperoleh koordinat hiposenternya. Proses *picking* bertujuan untuk menentukan waktu tiba gelombang primer (tp) dan gelombang sekunder (ts) pada suatu stasiun gempa. Data gempa yang *dipicking* harus satu – persatu, untuk memudahkan proses *picking* gelombang. Stasiun gempa yang digunakan pada proses ini ada 6 stasiun yaitu MEPAS, MEPUS, MEGRA, MEKLS, MELAB, dan MEDEL. Dari hasil picking gelombang seismik yang telah dilakukan dengan software *Seiscomp3*, diperoleh letak hiposenter yang berada disekitar Gunung Merapi. Data hiposenter yang diperoleh pada tiap *events* dipindahkan dalam *Microsoft Office Excel* dan dilakukan plotting hiposenter gempa pada kontur merapi sehingga dapat dilihat persebaran hiposenter Gunung Merapi pada bulan November 2020 – Maret 2021.

#### **3.4.2 Mekanisme Fokus**

Data gempa yang telah *dipicking* dengan menggunakan *Seiscomp3* dicari jenis patahan yang terjadi dengan menentukan area yang yang tidak terdapat titik pusat gempa. Area tersebut berupa gambaran *beachball* dengan berbagai batas area tertentu, dari gambar *beachball* yang telah berbatasan tiap areanya kita dapat menentukan jenis patahan yang terjadi.

#### **3.4.3 Korelasi Data Gempa dan Data Infrasonik**

Data gempa yang diperoleh dari rekaman seismogram dan data infrasonik dari pengukuran infrasonik dicari RSAMnya menggunakan pemrograman

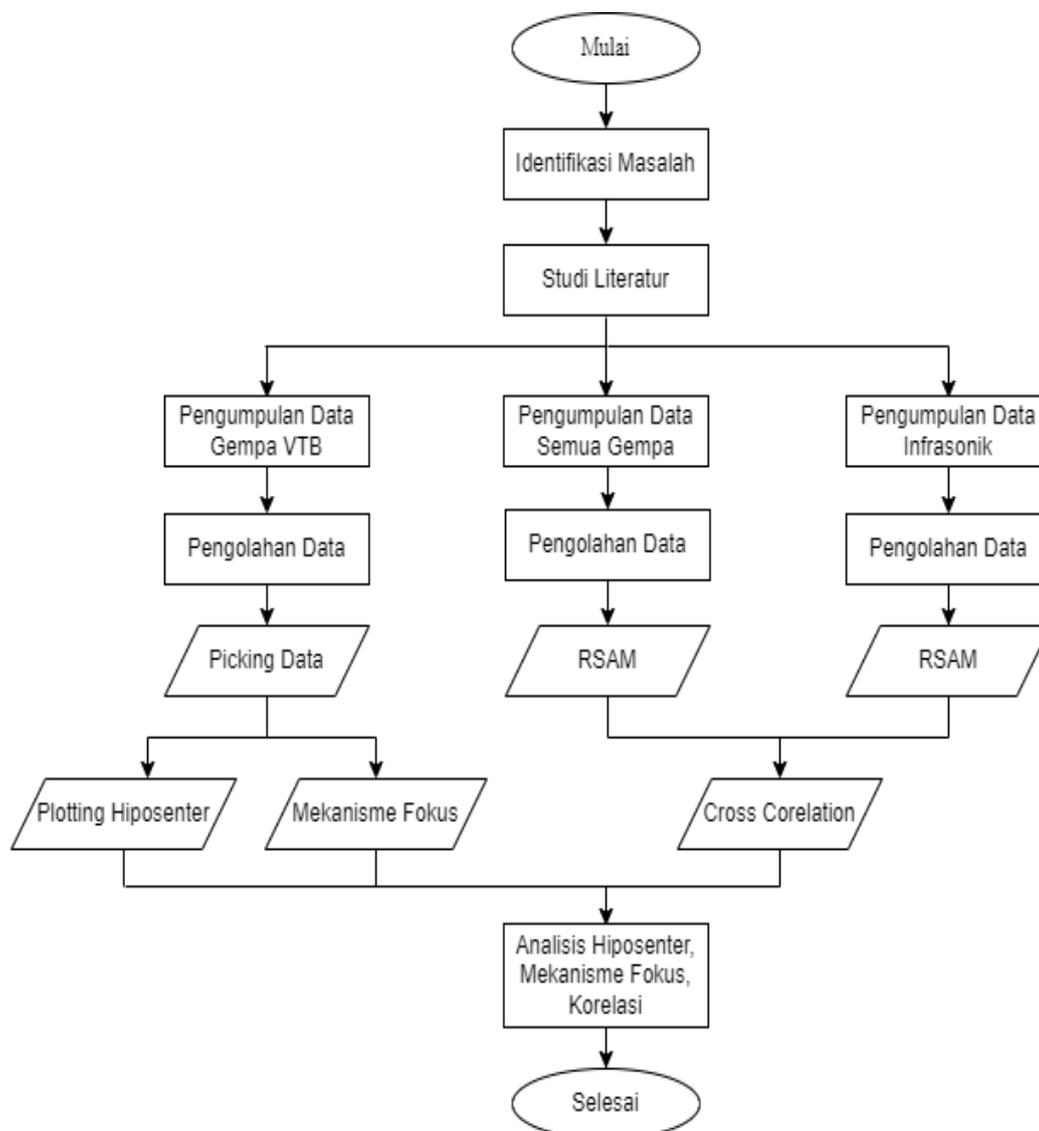
*python*. Data RSAM dari keduanya kemudian *dicross-correlation* hingga menampilkan grafik korelasi antara data gempa dengan data infrasonik.

### **3.5 Analisis Data**

Analisa data dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisa kualitatif diperoleh informasi mengenai aktivitas Gunung Merapi ditinjau dari beachball atau mekanisme fokus yang menunjukkan jenis slip selama gempa terjadi. Analisa kualitatif dilakukan dengan melihat gambar beachball pada tiap event gempa.

Sedangkan analisa kuantitatif diperoleh berdasarkan hasil plotting hiposenter dan hasil korelasi antara data gempa dengan data infrasonik. Analisa kuantitatif dilakukan dengan mencari persebaran hiposenter disekitar Gunung Merapi dari data gempa vulkanik dangkal November 2020-Maret 2021. Analisis kuantitatif juga dilakukan dengan mengkorelasikan data gempa dengan data infrasonik.

### 3.6 Diagram Alir



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Gunung Merapi saat ini masih tergolong gunung api aktif yang sangat aktif. Oleh karena aktivitasnya yang tinggi, periode letusannya pendek yaitu antara 2-5 tahun, para ahli gunung api memanfaatkannya sebagai obyek penelitian dan penyelidikan serta untuk uji coba peralatan pemantauan. Sebagai akibatnya, hampir semua metoda pemantauan, baik yang konvensional hingga yang paling modern pernah diaplikasikan di Gunung Merapi.

Berdasarkan laporan data pemantauan gunung merapi bulan November 2020 – Maret 2021, pengamatan pada Gunung Merapi menunjukkan adanya perubahan yang signifikan dan terjadi peningkatan jumlah gempa vulkanik. pada tanggal 5 November 2020 status aktivitas gunung merapi ditetapkan dalam tingkat siaga. Letusan terakhir terjadi pada tanggal 9 Januari 2021 dengan tinggi kolom erupsi 200 m di atas puncak.

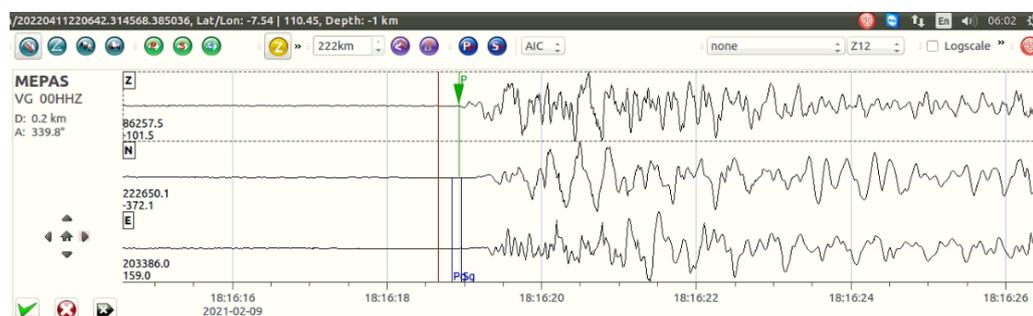
Data gempa vulkanik yang diteliti merupakan data sekunder berupa rekaman gelombang gempa Gunung Merapi periode November 2020 – Maret 2021 yang diperoleh dari Balai Penyelidik dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG). Data seismik sekunder tercatat dari 6 seismograf yang berada di 6 stasiun yaitu Deles, Klatakan, Pusunglondon, Pasarbubar, Labuhan, dan Grawah. Pada data Gempa Vulkanik Dangkal (VTB) menggunakan gempa yang magnitudonya  $\geq 3$  SR. Hal ini dikarenakan gempa dengan kekuatan tersebut seringkali terasa getarannya meskipun jarang menimbulkan kerusakan.

## 4.1 Pengolahan Data

Pembahasan pada penelitian ini secara garis besar terbagi menjadi tiga yaitu sebaran hiposenter, mekanisme fokus, dan korelasi data seismik dengan data infrasonik. Pembahasan sebaran hiposenter diawali dengan sebaran even gempa dari peta seismic yang telah dibuat. Pembahasan mekanisme fokus diawali dengan sebaran beachball dari peta seismic. Sedangkan pembahasan korelasi data seismik dan data infrasonik diawali dengan RSAM terlebih dahulu.

### 4.1.1 Pengolahan Data Penentuan Sebaran Hiposenter

Pengolaan data seismisitas berupa hiposenter gempa dimulai dengan mensortir data gempa dengan hanya menggunakan data Gempa Vulkanik Dangkal (VTB) pada Bulan November 2020 – Maret 2021. Data yang disortir merupakan data event gempa VTB sesuai dengan parameter yang ditentukan dan disimpan dalam bentuk *.xlsx* atau *excel*. Kemudian dari data tersebut diolah dengan menggunakan software *Seiscomp3*. Cocokkan event gempa yang disortir dengan *event* gempa yang ada di *Seiscomp3*. Pada tiap event tentukan waktu tiba gelombang P pada gelombang yang ditampilkan dengan melakukan *picking* di tiap gelombang pertama yang muncul seperti pada gambar 4.1 di bawah.



Gambar 4.1 *Picking* Waktu Tiba Gelombang P

Picking gelombang dilakukan pada 6 stasiun yaitu Deles Klatakan, Pusunglondong, Pasarbubar, Labuhan, dan Grawah. Hasil dari picking waktu tiba gelombang P didapatkan data besarnya magnitude gempa, garis bujur, garis lintang dan kedalaman gempa yang terjadi.



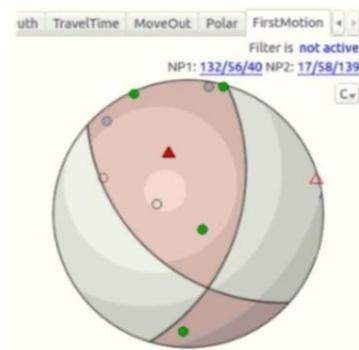
Gambar 4.2 Hasil Setelah Picking Gelombang

Data yang didapatkan dicatat dan disimpan di Microsoft excel. Kemudian data yang didapat diplot menggunakan origin lab dengan memasukkan data ke dalam origin dan memplot datanya menjadi sebaran hiposenter di Gunung Merapi.

#### 4.1.2 Pengolahan Data Mekanisme Fokus

Mekanisme fokus merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui jenis sesar dengan menentukan parameter-parameter sesar. Parameter tersebut berupa waktu kejadian gempa bumi, koordinat episenter, serta kedalaman gempa. Selain itu juga diperlukan data koordinat stasiun yang merekam gelombang. Pengolahan data mekanisme fokus dapat dilakukan menggunakan software *Seiscomp3*. Setelah dilakukannya picking gelombang pada langkah awal untuk

menentukan hiposenter sebelumnya, kini bisa dilanjutkan dengan mekanisme fokus.



Gambar 4.3 *Beachball* dari Hasil *Picking*

Dari hasil *picking* gelombang dapat menentukan bentuk bola fokus atau *beachball* dan didapatkan nilai parameter mekanisme fokus berupa nodal plane yang digunakan untuk menganalisa mekanisme fokus. Pada tahap ini setiap event akan diketahui pola jenis patahan dan pergerakan yang terjadi.

#### 4.1.3 Pengolahan Korelasi Data Gempa dan Data Infrasonik

Penelitian yang bertujuan mencari korelasi antara data gempa vulkanik gunung merapi dengan data infrasonik gunung merapi dilakukan dengan mensortir data dari keduanya. Data yang telah disortir kemudian dicari RSAMnya menggunakan *script Python*. Hasil dari RSAM kedua data tersebut yaitu data gempa vulkanik dan data infrasonik dicross correlation menggunakan *script python* (lampiran) juga. Data yang sudah dicross correlation akan ditampilkan dalam bentuk grafik *cross correlation* antara data seismik dan data infrasonik. Dari grafik yang dihasilkan dapat disimpulkan apakah ada atau tidaknya korelasi antara data gempa vulkanik gunung merapi dengan data infrasonik gunung merapi.

## **4.2 Hasil Pengolahan Data**

Pengolahan data pada penelitian ini akan menghasilkan beberapa gambar atau yang terdiri dari peta sebaran hiposenter gempa, mekanisme fokus gempa, dan grafik korelasi data gempa vulkanik dengan data infrasonik yang terjadi pada Bulan November 2020 – Maret 2021.

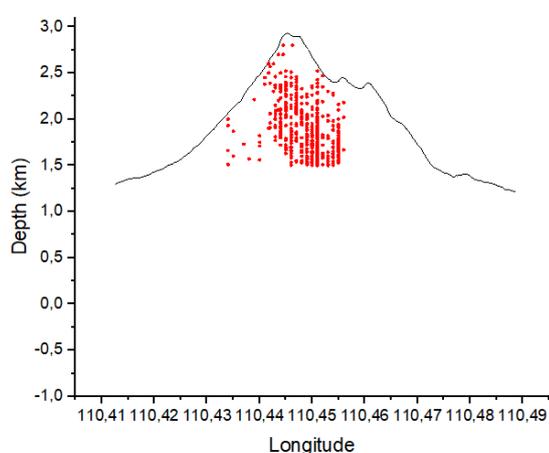
### **4.2.1 Hasil Penentuan Sebaran Hiposenter**

Data seismisitas menjadi indikator untuk melihat peningkatan aktivitas vulkanik menjelang terjadinya suatu letusan. Seismisitas Gunung Merapi pada November 2020 – Maret 2021 ditandai adanya beberapa VTA dan gempa VTB yang terjadi. Sedangkan munculnya gempa guguran periode tersebut berperan penting dalam penentuan status dari gunung tersebut. Gempa VTA yang terekam berhubungan dengan migrasi magma ke atas dari dapur magma menuju ke kantong magma, sedangkan peningkatan tekanan kantong magma dapat memicu munculnya gempa VTB sehingga gempa VTA dan VTB dapat terjadi dalam waktu yang relatif sama.

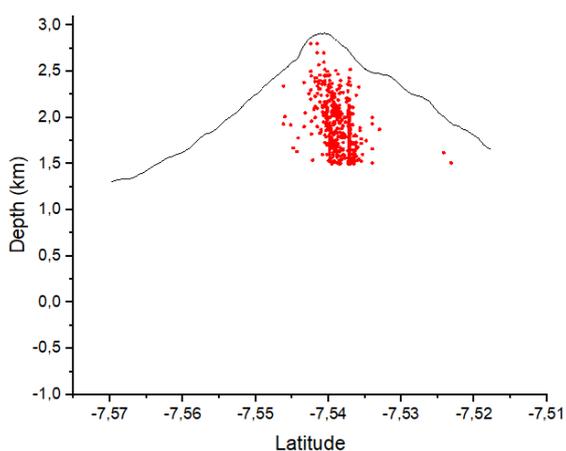
Pada saat erupsi, terjadi banyak gempa diantaranya gempa vulkanik dan gempa guguran. Saat menjelang terjadi erupsi pada bulan November 2020, terjadi 193 kali gempa Vulkanik Dangkal (VTB), 1.663 kali gempa Fase Banyak (MP), 9 kali gempa Low Frekuensi (LF), 391 kali gempa guguran (RF), 330 kali gempa Hembusan (DG) dan 9 kali gempa Tektonik (TT). Hal ini menunjukkan adanya pergerakan magma dari kedalaman yang mencapai permukaan. Desakan magma di bawah permukaan mengakibatkan terjadinya gempa MP maupun guguran. Gempa guguran biasanya diasosiasikan dengan adanya pergerakan magma menuju batuan karena pengaruh gravitasi dan menyebabkan guguran.

Data gempa vulkanik dapat digunakan untuk mengetahui hiposenter atau titik dalam perut bumi yang merupakan sumber gempa. Data yang diolah pada sub pembahasan ini adalah data gempa vulkanik dangkal (VTB) bulan November 2020 – Maret 2021, bulan-bulan dimana terjadi erupsi besar di Gunung Merapi.

Hasil pengolahan data seismisitas dalam mendapatkan kedalaman pusat gempa (hiposenter) ditunjukkan seperti gambar 4.4 dan 4.5 berikut ini :



Gambar 4.4 Letak Hiposenter Berdasarkan Garis Bujur (Longitude)



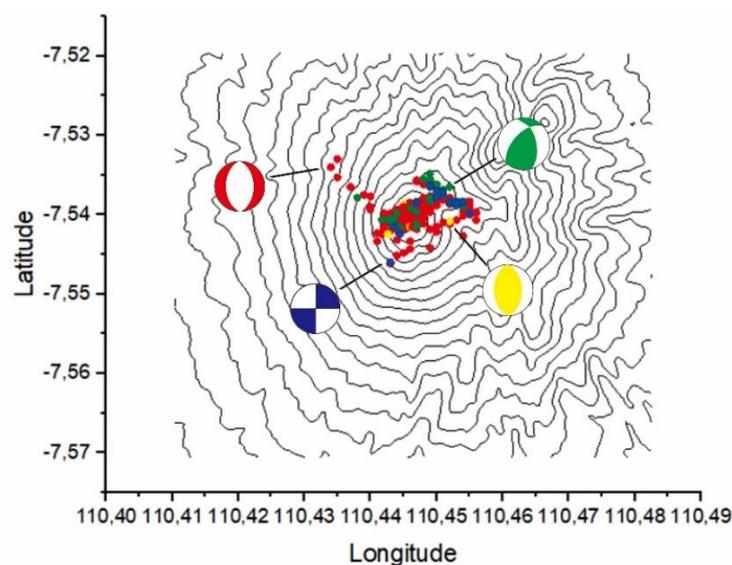
Gambar 4.5 Letak Hiposenter Berdasarkan Garis Lintang (Latitude)

Dari gambar 4.1 dan 4.2 di atas, dapat kita ketahui bahwa kedalaman pusat gempa (hiposenter) yang terjadi pada Bulan November 2020 – Maret 2021 berada pada kedalaman 0 – 1.5 km di bawah puncak Gunung Merapi atau lebih dari 1.5

km di atas permukaan laut. Sesuai dengan teori yang dinyatakan oleh BPPTKG, bahwa Gempa Vulkanik Dangkal (VTB) memiliki kedalaman 0 – 1.5 km di bawah puncak Gunung Merapi.

#### 4.2.2 Hasil Mekanisme Fokus

Berikut ini merupakan hasil pemetaan dan tabel beach ball dari Mekanisme fokus gempa-gempa kuat yang terjadi di Gunung Merapi pada Bulan November 2020 – Maret 2021. Terdapat 517 data mekanisme fokus yang terdapat di wilayah Gunung Merapi.



Gambar 4.6 Distribusi Mekanisme Fokus Gunung Merapi

Peta mekanisme fokus di atas menunjukkan gempa-gempa signifikan di wilayah Gunung Merapi. Peta tersebut juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis sesar penyebab gempa-gempa yang terjadi di wilayah Gunung Merapi. Hal ini dapat dilakukan dengan menentukan pola bidang patahan gempa-gempa tersebut melalui identifikasi beachball dari setiap gempa yang dihasilkan. Kemudian pola bidang patahan yang telah digambarkan pada peta

mekanisme fokus di atas dapat dijelaskan pada tabel bola fokus atau beachball berikut ini.

Tabel 4.1 Tabel Bola Fokus atau Beachball

Beachball	Jenis Sesar	Jumlah
	Sesar turun ( <i>Normal fault</i> )	398
	Sesar naik ( <i>Reverse fault</i> )	17
	Sesar <i>Oblique</i> ( <i>Oblique reverse</i> )	68
	Sesar geser ( <i>Strike slip</i> )	34

Adapun klasifikasi jenis sesar dari gempa-gempa di wilayah Gunung Merapi ini berdasarkan bola fokus atau beachball pada tabel di atas yaitu terdapat 517 gempa yang terdiri dari 398 gempa berjenis sesar turun (*normal fault*), 17 gempa berjenis sesar naik (*reverse fault*), 68 gempa berjenis sesar *oblique* (*oblique reverse*), dan 34 gempa berjenis sesar geser (*strike slip*). Jenis sesar berdasarkan parameter *strike*, *dip*, *rake* yaitu, sesar geser terjadi jika  $\delta=90^\circ$  dan  $\lambda=0^\circ$  yaitu geser ke kiri, dan  $\lambda=180^\circ$  yaitu geser ke kanan, sesar turun  $\delta\neq 0^\circ$  atau  $\delta\neq 90^\circ$  dan  $-180^\circ \leq \lambda \leq 0^\circ$  serta sesar naik jika  $\delta\neq 0^\circ$  atau  $\delta\neq 90^\circ$  (Susanti, 2017). Hasil analisa pemetaan di atas menunjukkan bahwa sebagian besar jenis sesar dari gempa-gempa kuat yang terjadi di Gunung Merapi sejak November 2020 – Maret 2021 disebabkan oleh mekanisme sesar turun, serta ada yang dipengaruhi oleh sesar naik, sesar *oblique*, dan sesar geser.

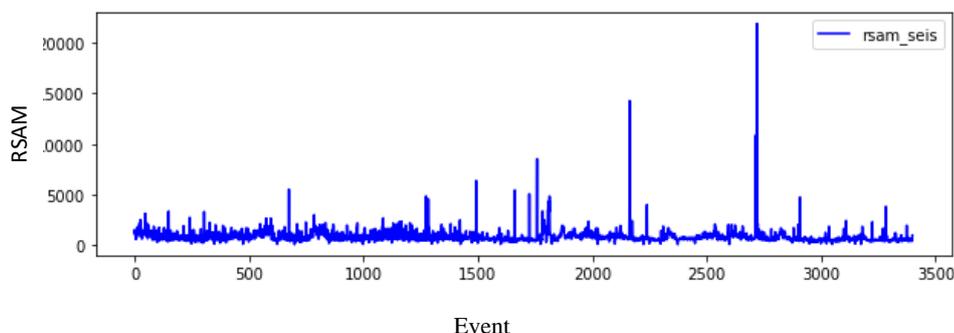
Data pada penelitian ini diambil saat kegiatan vulkanik Gunung Merapi mengalami peningkatan atau sedang mengalami erupsi. Oleh karena itulah data gempa yang didapatkan didominasi oleh sesar turun. Pada saat itu deformasi

mengalami penurunan dan mengecil. Sehingga sesar turunnya lebih dominan dibandingkan sesar lainnya.

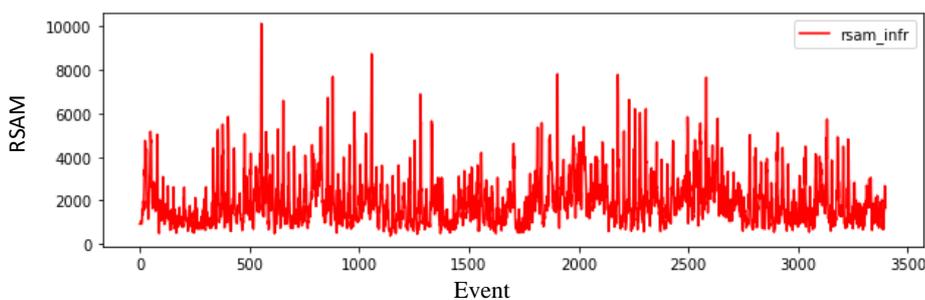
Berdasarkan penelitian sebelumnya pada jurnal yang berjudul “Identifikasi Mekanisme Fokus Gempa Vulkanik Gunung Merapi Tahun 2018”, menyatakan bahwa pada tahun 2018 mekanisme gempa VTB Gunung Merapi paling dipengaruhi oleh sesar turun (*normal fault*), kemudian diikuti oleh pola sesar lain yang diperoleh. Hal ini diperkirakan adanya perkiraan pergerakan magma menuju permukaan (Aisyah dkk, 2020). Berdasarkan penelitian yang berjudul “*Focal Mechanism of Volcano-tectonic Earthquakes at Merapi Volcano Indonesia*” menyatakan bahwa gempa yang didominasi oleh sesar turun (*normal fault*), berarti tekanan yang meningkat pada penyimpanan magma dangkal (Hidayati dkk, 2008).

#### 4.2.3 Hasil Korelasi Data Gempa dan Data Infrasonik

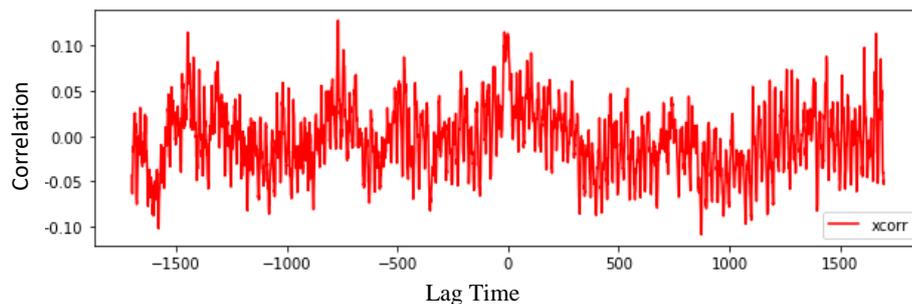
Berikut ini merupakan hasil dari korelasi antara data gempa vulkanik gunung merapi dengan data infrasonik Gunung Merapi.



Gambar 4.7 RSAM Seismik



Gambar 4.8 RSAM Infrasonik



Gambar 4.9 *Cross Correlation* RSAM Seismik dan RSAM Infrasonik

Gambar 4.7 menunjukkan grafik dari RSAM gempa vulkanik gunung merapi, sedangkan gambar 4.8 menunjukkan grafik dari RSAM infrasonik. Dari kedua grafik tersebut dikorelasikan dengan menggunakan python dan didapatkan hasil seperti grafik pada gambar 4.9. Gambar tersebut menunjukkan tidak adanya korelasi antara data gempa vulkanik gunung merapi dengan data infrasonik gunung merapi. Menurut BPPTKG data korelasi dapat dikatakan berkorelasi tinggi atau berkorelasi secara signifikan apabila nilai korelasi besarnya  $0.5 - 1$  atau mendekati 1. Pada data yang digunakan peneliti besarnya korelasi berkisar  $-0.10 - 0.10$  yang artinya tidak menunjukkan korelasi yang signifikan dari data gempa dan data infrasonik. Infrasonik berada dalam rentang  $17 \text{ Hz} - 0,001 \text{ Hz}$ . Rentang frekuensi ini sama dengan yang digunakan oleh seismometer untuk mendeteksi gempa bumi. Namun pada data yang digunakan oleh peneliti tidak menunjukkan adanya korelasi antara data gempa vulkanik dengan data infrasonik. Hal ini diperkirakan karena data infrasonik yang terekam bukan hanya mendeteksi gempa bumi, melainkan merekam suara lain yang bukan berasal dari gempa bumi. Bumi ini kapanpun akan bergetar, dan infrasonik ada terus menerus. Saat amplitudonya tinggi, maka ada getaran lain

### 4.3 Gunung Api Dalam Perspektif Al-Quran

Gunung api adalah tempat keluarnya magma ataupun material lainnya ke permukaan bumi membentuk suatu kerucut raksasa, yang biasanya akan membentuk kubah atau bukit yang biasa disebut dengan kawah, yang kadang-kadang terisi air membentuk suatu danau. Gunung diciptakan dengan tujuan sebagai penyeimbang antara bumi dan langit agar keduanya bisa tetap tegak. Apabila gunung tidak ada, maka bumi tidak akan selamat dan tidak akan terbentang dengan baik. Hal ini dituliskan dalam Surat an-Naba' (78): 7:

وَالْجِبَالِ أَوْتَاداً {٧}

“*Dan gunung-gunung sebagai pasak.*” (Q.S An-Naba (78):7)

Menurut tafsir Ibnu Katsir, Firman Allah Ta’ala (وَالْجِبَالِ أَوْتَاداً) “*Dan gunung-gunung sebagai pasak?*” Yakni Dia telah menjadikannya gunung-gunung itu sebagai pasak yang Dia pancangkan dan tancapkan serta tetapkan sehingga menjadi diam dan tidak mengguncangkan para penghuninya yang ada di atasnya (Abdullah, 2007).

Menurut ilmu geologi gunung memiliki akar seperti jangkar yang menusuk masuk ke dalam bumi. Akar gunung ini memiliki fungsi untuk memberikan stabilitas dan keseimbangan kepada bumi ketika terjadi guncangan akibat pergerakan lempengan tektonik, sehingga bumi tidak sedemikian muda untuk porak-poranda. Tugas utama gunung adalah sebagai pasak agar bumi tidak berguncang akibat tekanan gas-gas yang terbentuk di dalamnya semakin bertambah (Mulyaningsih, 2006). Kata “pasak” dalam Al-Quran sebenarnya memiliki dua bagian, yakni menurut bentuknya dan fungsinya. Jika menurut bentuk, sebuah pasak lebih banyak bagiannya berada dalam tanah daripada bagian di luar tanah.

Jika menurut fungsi, sebuah pasak berfungsi agar barang yang ditancapi tidak bergerak-gerak atau tetap pada tempat semula (Bakry, 2001).

Menurut ilmu geologi modern, bagian sebuah gunung yang terlihat di luar hanya sebagian kecil saja yakni 1/3. Sedangkan bagian yang tertanam di dalam bumi mencapai 2/3 bagian. Jadi sesungguhnya semua gunung yang kita lihat di dunia ini masih sangat kecil jika dibandingkan dengan bagian gunung yang tertanam di dalam bumi (Mulyaningsih, 2006).

Setiap gunung memiliki akar tunjang yang masuk ke dalam kulit bumi. Akar tunjang gunung yang terpendam di dalam lapisan bumi telah menahan lapisan benua atau kulit bumi dari berbagai gerakan atau guncangan dahsyat yang akan terjadi karena pengaruh tekanan dari dalam (endogen) atau tekanan dari luar (eksogen).

Kegiatan magma menyebabkan gunung-gunung tidak diam pada tempatnya dan kerak bumi bergetar atau terjadi gempa bumi. Gempa bumi jenis ini dapat terjadi sebelum selama atau sesudah erupsi gunung api. Getaran ini disebabkan oleh gesekan magma dengan dinding batuan yang diterobos pada saat magma naik ke permukaan. Sebagaimana Allah SWT berfirman dalam surah An-Naml (27) ayat 88:

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي أَنْفَعَنَ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ خَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ { ٨٨ }

*“Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap ditempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan.(Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu; Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan” (An-Naml [27]: 88).*

Menurut tafsir Ibnu Katsir, firman Allah Ta’ala ( وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ ) ”Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap

*ditempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan.*” yaitu engkau lihat dia seakan-akan tetap tidak bergerak seperti apa adanya, padahal dia berjalan sebagai jalannya awan.” yaitu engkau lihat dia seakan-akan tetap tidak bergerak seperti apa adanya, padahal dia berjalan seperti gerakan awan, yaitu dari tempat-tempatnya. (صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي أَنْتَقَنَ كُلَّ شَيْءٍ) “(Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu,” yaitu Dia melakukan itu dengan ketetapan-Nya yang besar dan meletakkan hikmah-hikmah di dalamnya (Abdullah, 2007).

Menurut tafsir al-Maraghy kata (تمر) digunakan dalam artian goncangan dan bergetar, sedang langit tetap pada tempatnya. (المر) pada asalnya berarti bolak-balik, pulang pergi dan kadang diartikan berjalan. Dalam tafsir al-Maraghy dijelaskan bahwa Kamu lihat gunung-gunung seakan-akan ia tetap kokoh pada keadannya, padahal ia lepas dari tempatnya dan berjalan-jalan seperti awan (Mushthafa, 1989).

Ayat di atas menjelaskan bahwa gunung-gunung memang tidak diam di tempatnya, tetapi berjalan dan bergerak seperti awan terus-menerus. Karena kita bersama-sama dengan gunung-gunung berada di atas lempeng bumi dan adanya pengaruh gaya gravitasi menyebabkan kita sulit merasakan dan menggerakkannya. Awan tidak bergerak sendiri, namun digerakkan oleh angin. Seperti halnya lempeng samudera dan benua yang bergerak karena adanya aliran konveksi magma di bawah lapisan litosfer bumi.

Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa gunung api khususnya Gunung Merapi ini selalu aktif bergerak dan berubah posisi. Pergerakan Gunung Merapi dapat diketahui dengan adanya alat deteksi gempa atau bisa disebut seismograf. Adanya seismograf ini dapat memberikan gambaran getaran yang ada di sekitar Gunung Merapi. Data yang diperoleh dapat menghasilkan sebaran pusat gempa

yang terjadi dan jenis patahan apa saja yang terjadi pada pusat gempa tersebut. Data seismik ataupun data gempa ini dapat dijadikan informasi untuk melakukan prediksi adanya erupsi mendatang sebagai pencegahan dan penanggulangan bencana erupsi Gunung Merapi. Hal ini juga dilakukan untuk meminimalisir besarnya kerusakan dan banyaknya korban dalam bencana ini.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hiposenter Gunung Merapi pada Bulan November 2021-Maret 2022 tersebar di sekitar puncak Gunung Merapi dengan kedalaman pusat gempa yang terjadi berada pada kedalaman 0-1.5 km di bawah puncak Gunung Merapi atau lebih besar dari 1.5 km di atas permukaan laut.
2. Klasifikasi jenis sesar dari gempa-gempa di wilayah Gunung Merapi ini berdasarkan bola fokus atau beachball yaitu terdapat 517 gempa yang terdiri dari 398 gempa berjenis sesar turun (*normal fault*), 17 gempa berjenis sesar naik (*reverse fault*), 68 gempa berjenis sesar oblique (*oblique reverse*), dan 34 gempa berjenis sesar geser (*strike slip*). Hasil analisa pemetaan menunjukkan bahwa sebagian besar jenis sesar dari gempa-gempa kuat yang terjadi di Gunung Merapi sejak November 2020 – Maret 2021 disebabkan oleh mekanisme sesar turun, serta ada yang dipengaruhi oleh sesar naik, sesar oblique, dan sesar geser.
3. Berdasarkan grafik yang dihasilkan pada korelasi, menunjukkan tidak adanya korelasi antara data gempa vulkanik Gunung Merapi dengan data infrasonik gunung merapi. Hal ini diperkirakan karena data infrasonik yang terekam bukan hanya mendeteksi gempa, melainkan frekuensi dari kegiatan lain.

## **5.2 Saran**

Setelah dilakukannya penelitian maka diperoleh hal yang dapat disarankan untuk menjadi bahan dalam penelitian yang akan lebih lanjut yaitu agar lebih berhati-hati dan teliti dalam picking gelombang P.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 5*. Edisi Ketiga. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Abdullah. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 6*. Edisi Ketiga. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Abdullah. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 8*. Edisi Ketiga. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Afnimar. 2009. *Seismologi*. Bandung: ITB.
- Ahmad, Yusuf Al-Hajj. 2011. *Sains Modern Menurut Perspektif Al-Quran dan As-Sunnah*. Johor Bahru: Perniagaan Jahabersa.
- Al-Qur'an Al Hadi*. 2013. Pusat Kajian Hadis: Jakarta.
- Aki, K., & Richards, P. 1980. *Quantitative Seismology Theory and Methods*. San Francisco. Freeman.
- Alzwar, A. 1988. *Pengantar Dasar Ilmu Gunung Api*. Bandung: NOVA
- Aysyah, Nur, Bambang Harimei, Muhammad Fawzy Ismullah Massinai. 2020. *Identifikasi Mekanisme Fokus Gempa Vulkanik Gunung Merapi Tahun 2018*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Bakry, H. Oemar. 2001. *Tafsir Rahmat*.
- Bemmelen, V.R.W. 1949. *The Geology of Indonesia, vol 1-A*, Gov. Printed Offices The Hague Martinus Nijhof, h.732.
- Berthommier, P.C. 1990. *Etude Volcanologique du Merapi, Tephrostratigraphie et Chronologie Product Eruptifs*. These University Blaise Pascal. Clermont Ferrad II.
- Fiandralekha, 2010. *Studi Mekanisme Sumber Gempa di Selat Sunda Berdasarkan Gerak Awal Gelombang P dan Bentuk Gelombang*. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Hartuti, Evi Rine. 2009. *Buku Pintar Gempa*. Yogyakarta: DIVA Press.
- Hamilton, W. 1979. *Tectonics of the Indonesian region*. United States Geological Survey Professional Paper, p. 1078
- Hermon, Dedi. 2015. *Geografi Bencana Alam*. Jakarta : PT. RAJA Grafindo Persada.
- Hidayati, Sri, Kazuhiro Ishihara, Masato Ighuci, dan Antonius Ratdomopurbo. 2008. *Focal Mechanism of Volcano-tectonic Earthquakes at Merapi Volcano, Indonesia*. PVMBG, Indonesia. Kyoto University, Japan.
- <https://hmgi.or.id/Geologi-Regional-Zona-Kendeng/Geologi>. Diakses pada tanggal 5 Juni 2022

- Jufriadi, A. 2013. Identifikasi Kantong magma dan Proses Internal Gunung api Ijen, Jawa Timur dengan Analisis Sinyal Seismik tahun 2011-2012. Tesis. Malang: Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
- Kusumadinata, K. 1979. *Data dasar Gunungapi Indonesia*. Direktorat Vulkanologi Bandung.
- Kusumayudha. 1988. Laporan Tahunan P3G 1980/1981. Indonesia.
- Lay, T., & Wallace, T. 1995. *Modern Global Seismology*. USA: Academic Press.
- Minakami, T. 1974. Seismology of Vulcanoos in Japan. *Journal of Physical Vulcanology Development in Solid Earth Geophysics*. 6, 1-27.
- Mulyaningsih, Sri. 2006. *Vulkanologi*. Yogyakarta: Ombak
- Mulyo, Agung. 2004. *Pengantar Ilmu Kebumihan (Pengetahuan Geologi untuk Pemula)*. Bandung: Pustaka Setia.
- Musthafa, Ahmad Al-Maraghi. 1989. *Tafsir Al-Maraghiy*. Semarang: Tohaputra.
- Nurtyawan, Rian dan Lady Suci. 2020. Monitoring Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Citra Sentinel-1A Dengan Menggunakan Metode DInSAR (Studi Kasus: Gunung Merapi, Jawa Tengah). *Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*. Vol. 4, No. 1.
- Pratomo, I., 2006. Klasifikasi Gunung api Aktif Indonesia , Studi Kasus dari beberapa Letusan Gunung api dalam Sejarah. *Jurnal Geologi Indonesia*. Vol 1, No.4.
- Pribadi, E. 2010. *Delinasi Zona Rekahan pada Reservoir Geothermal Melalui Pengamatan Mikroseismik*. Depok: Universitas Indonesia.
- Prinanda, Leovina, Suharno, dan Bagus Sapto Mulyanto. 2013. Analisis Karakteristik dan Klasifikasi Gempa Pada Gunung Lokon Berdasarkan Rekaman Data Seismogram April-Mei 2012. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. Vol. 1, No. 2.
- Purnomo, B.J., 2014. *Analisa Deformasi Kawasan Vulkanik Aktif dengan menggunakan Data GPS September 2012-Maret 2014 (Studi Kasus: Gunung Merapi, DIY)*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- PVMBG. 2015. *Gunung api*. Bandung: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. [http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/kegiatan-pvmbg/download-center/cat\\_view/88-publikasi/1114-leafletbooklet](http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/kegiatan-pvmbg/download-center/cat_view/88-publikasi/1114-leafletbooklet).
- Rahadini, Aditya Yosita. 2017. Penentuan Mekanisme Fokus Gempa Vulkanik Menggunakan Waktu Tiba Gelombang-P Pada Januari-Juni 2014. *Jurnal Sains*. Vol.9, No.1.
- Rauzam, M., 2015. *Estimasi Jenis Sesar Sumber Gempa Jepang 11 Maret 2011 Dengan Menggunakan Solusi Bidang Sesar*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

- Reksowirogo, L.D. 1979. Semeru, in Kusumadinata, K., ed., *Data Dasar Gunung api Indonesia: Vulcanological Survey of Indonesia*. Bandung: Direktorat Vulkanologi.
- Sahara, D. 2009. *Relokasi Hiposenter Menggunakan SED, JHD, dan DD*. Skripsi. Jurusan Teknik Geofisika, FITM-ITB.
- Salamah, Umi, Apik Rusdiarna, Qonitatul Hidayah. 2019. Design of Real\_Time Seismic Amplitude Measurement (RSAM) System Using Geophone as the Detection of Seismic Vibration. *Jurnal Migasian*. Vol.3, No.2.
- Santosa, Imam. 2011. Pemahaman Masyarakat pada Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung api Ijen, Jawa Timur. *Buletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*. Vol. 6.
- Sari, S. 2007. *Sistem Pemantauan Gunung api dan Bencana Geologi: Analisis Deformasi Gunung Kelud Berdasarkan Data Tilt Tahun 2006 sampai Februari 2007 Sebagai Studi Kasus*. Purwokerto: Universitas Jendral Sudirman.
- Shearer, P. 2009. *Introduction to Seismology 2<sup>nd</sup> Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Misbah Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Volume 10*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Misbah Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Volume 15*. Jakarta: Lentera Hati.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa Pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Telford, M.W., L.P. Gerald, R.E. Sheriff, & D.A. Keys. 1976. *Applied Geophysics 2<sup>nd</sup> Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Van Der Pluijm, B. A., & MARshak, S. 2004. *Earth Structure*. New York: W.W. Norton & Company, Inc.
- Wasserman, Noam. 2012. *The Processes Controlling Damage Zone Propagation Induced by Wellbore Fluid Injection*. *Geophys. J. Int.* 193 (1), 209-219.

## LAMPIRAN

### Data Hiposenter dan Mekanisme Fokus

No.	Time	Magnitude	NP1			NP2			Depth	Longitude	Latitude	Type Mechanism
			Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake				
1	09/02/2021 11:16:18	3.3	137	62	59	9	41	134	1.92	110.4510	-7.53683	Oblique
2	09/02/2021 11:05:57	3.0	316	10	89	136	80	90	2.3	110.4530	-7.53883	Reserve
3	09/02/2021 07:37:12	3.1	238	51	-94	64	40	-85	1.79	110.4510	-7.53733	Normal
4	09/02/2021 07:36:51	3.1	111	88	0	21	90	178	1.53	110.4550	-7.53917	Strike Slip
5	09/02/2021 05:37:01	3.2	132	56	40	17	58	139	1.65	110.4510	-7.53717	Oblique
6	09/02/2021 05:21:51	3.1	307	4	106	111	87	89	1.69	110.4510	-7.53717	Reserve
7	27/01/2021 10:40:58	3.0	149	63	-89	327	27	-91	1.9	110.4460	-7.54333	Normal
8	17/01/2021 17:58:00	3.5	353	82	-92	188	8	-76	2	110.4550	-7.53983	Normal
9	16/01/2021 15:08:42	3.2	205	58	-94	31	32	-84	2.25	110.4450	-7.5395	Normal
10	15/01/2021 22:06:24	3.2	149	79	-90	328	11	-91	1.93	110.4470	-7.53933	Normal
11	15/01/2021 05:55:18	3.5	191	66	-88	6	24	-95	2.33	110.4450	-7.53983	Normal
12	12/01/2021 22:57:24	3.2	289	77	0	199	90	167	2	110.4510	-7.53717	Strike Slip
13	11/01/2021 13:19:08	3.7	325	83	0	235	90	173	1.55	110.4510	-7.53717	Strike Slip

14	11/01/2021 13:10:46	3.1	35	59	-92	219	31	-87	2.36	110.4500	-7.53733	Normal
15	11/01/2021 00:17:34	3.8	156	62	-91	338	28	-88	2.14	110.4470	-7.53917	Normal
16	10/01/2021 19:13:44	3.0	30	82	-96	245	10	-55	1.64	110.4510	-7.53733	Normal
17	10/01/2021 12:47:36	3.4	2	63	-92	57	27	-85	1.62	110.4540	-7.53933	Normal
18	10/01/2021 11:12:54	3.0	103	88	0	13	90	178	1.53	110.4510	-7.53717	Strike Slip
19	10/01/2021 05:56:15	3.1	185	79	-85	338	12	-116	1.55	110.4480	-7.53817	Normal
20	10/01/2021 04:30:44	3.1	38	48	-89	216	42	-91	2.31	110.4450	-7.54133	Normal
21	09/01/2021 23:14:18	3.1	176	80	-83	320	12	-125	2	110.4480	-7.53783	Normal
22	09/01/2021 22:40:38	3.2	163	52	-88	340	38	-93	2.22	110.4460	-7.53917	Normal
23	09/01/2021 15:32:57	3.0	349	81	180	79	90	9	2.28	110.4510	-7.53733	Strike Slip
24	09/01/2021 15:32:35	3.0	158	85	-90	335	5	-93	1.56	110.4550	-7.53967	Normal
25	09/01/2021 06:30:49	3.1	54	60	-93	240	30	-85	2	110.4550	-7.53983	Normal
26	09/01/2021 02:22:45	3.0	44	74	-92	232	16	-82	2.04	110.4500	-7.53733	Normal
27	09/01/2021 01:02:20	3.3	159	76	-92	346	14	-83	1.52	110.4510	-7.53733	Normal
28	09/01/2021 00:21:50	3.3	160	60	66	22	37	125	1.65	110.4540	-7.539	Oblique
29	09/01/2021 00:20:02	3.4	191	52	-89	8	38	-92	2.39	110.4420	-7.54183	Normal
30	09/01/2021 00:08:59	3.2	163	72	-91	346	18	-87	1.5	110.4510	-7.53733	Normal
31	08/01/2021 21:45:32	3.4	157	74	-89	335	16	-93	1.7	110.4460	-7.53867	Normal

32	08/01/2021 17:45:05	3.0	123	45	-90	304	45	-90	2.26	110.4470	-7.5385	Normal
33	08/01/2021 17:41:15	3.7	146	48	37	30	63	132	1.71	110.4500	-7.53717	Oblique
34	08/01/2021 16:10:16	3.2	304	82	0	214	90	172	1.75	110.4550	-7.53983	Strike Slip
35	08/01/2021 15:23:18	3.3	155	58	-89	334	32	-91	2.13	110.4450	-7.54067	Normal
36	08/01/2021 13:50:27	3.0	160	71	-90	339	19	-91	1.97	110.4510	-7.53717	Normal
37	08/01/2021 08:31:03	3.3	186	82	-90	3	8	-93	1.87	110.4460	-7.541	Normal
38	08/01/2021 06:25:58	3.0	276	82	0	186	90	172	1.53	110.4550	-7.53967	Strike Slip
39	08/01/2021 01:26:13	3.0	177	82	-86	331	9	-115	1.83	110.4490	-7.538	Normal
40	08/01/2021 01:12:55	3.4	303	8	-16	49	88	-98	1.8	110.4490	-7.5365	Oblique
41	08/01/2021 01:10:32	3.2	225	76	180	315	90	14	2.16	110.4550	-7.53933	Strike Slip
42	07/01/2021 15:59:23	3.5	222	71	-90	41	19	-91	1.66	110.4510	-7.53717	Normal
43	07/01/2021 15:57:33	3.3	62	66	-91	244	24	-88	1.6	110.4550	-7.53983	Normal
44	07/01/2021 15:32:08	3.1	45	73	-90	226	17	-90	2.01	110.4510	-7.53717	Normal
45	07/01/2021 11:34:13	3.1	140	62	39	29	56	145	1.63	110.4540	-7.53883	Oblique
46	07/01/2021 11:00:44	3.2	294	84	0	204	90	174	1.57	110.4530	-7.53883	Strike Slip
47	07/01/2021 08:37:58	3.0	50	56	-91	233	34	-88	1.91	110.4510	-7.53733	Normal
48	07/01/2021 03:56:17	3.1	52	80	-93	248	10	-74	1.87	110.4500	-7.537	Normal
49	07/01/2021 02:15:28	3.2	46	74	-90	226	16	-90	1.84	110.4490	-7.53917	Normal

## Script Mencari RSAM

```

%matplotlib notebook
from obspy import UTCDateTime
from obspy.clients.arclink.client import Client
from datetime import timedelta
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

#2021-04-26 02:15:09
client = Client('user', '192.168.0.25', 18001)
#ts = UTCDateTime("2021-04-26T02:32:32.000") + timedelta(seconds=0)
ts = UTCDateTime("2021-04-25T19:15:15.000") + timedelta(seconds=0)
te = ts + timedelta(seconds=20)
# st1 = client.get_waveforms("AM", "R034A", "00", "EHZ", ts,te)
# #st1.plot()
# st2 = client.get_waveforms("AM", "R034A", "00", "HDF", ts,te)

st1 = client.get_waveforms("AM", "R0EB5", "00", "EHZ", ts,te)
#st1.plot()
st2 = client.get_waveforms("AM", "R0EB5", "00", "HDF", ts,te)

#st2.plot()
#time = np.arange(st1[0].stats.npts) / st1[0].stats.sampling_rate
#time = np.arange(ts,te,1/100)
print(st2)
#plt.clf()

#print(st1)
#print(st2)
# st1.filter("bandpass", freqmin=0.1, freqmax=15, corners=2)
# st2.filter("bandpass", freqmin=0.1, freqmax=15, corners=2)
st1.merge()
st2.merge()

print('Len traces on st1:', len(st1))
print('Len traces on st2:', len(st2))

fig, axs = plt.subplots(2)
plt.rcParams['figure.figsize'] = [10, 5]
fig.suptitle('Waveform')
axs[0].plot(st1[0].times("matplotlib"), st1[0].copy().data, 'k')
axs[1].plot(st2[0].times("matplotlib"), st2[0].copy().data, 'k')
axs[0].xaxis_date()
axs[1].xaxis_date()
fig.autofmt_xdate()

# st.plot(fig=fig,axes=ax1)

```

```

from obspy import UTCDateTime
from obspy.clients.arclink.client import Client
from datetime import timedelta
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
#2021-04-26 02:15:09
client = Client('user', '192.168.0.25', 18001)
ts = UTCDateTime("2021-04-24") + timedelta(hours=0)
te = ts + timedelta(hours=24)
st1 = client.get_waveforms("AM", "R034A", "00", "HDF", ts, te)
#st1.plot()
#st2 = client.get_waveforms("VG", "MEPUS", "00", "EHZ", ts, te)
#st2.plot()
#time = np.arange(st1[0].stats.npts) / st1[0].stats.sampling_rate
#time = np.arange(ts, te, 1/100)
st1.filter("lowpass", freq=0.1, corners=2)
st1.plot(type="dayplot", interval=60, right_vertical_labels=False,
         vertical_scaling_range=5e3, one_tick_per_line=True,
         color=['k', 'r', 'b', 'g'], show_y.UTC_label=False)

```

<IPython.core.display.Javascript object>

```

import pandas as pd
import numpy as np
from obspy.signal.filter import bandpass
from scipy.stats import scoreatpercentile

def s5xm(data, fs, id, starttime, rule='30S', bands=[], corners=4,
        zerophase=False, percentiles=None):

    # Convert input data to a pandas.Series object
    data = data.astype(float)
    npts = len(data)
    delta = 1./fs
    t = pd.date_range(starttime, periods=npts,
                     freq="%ims" % (delta * 1000))
    t = pd.DatetimeIndex(t, name='timestamp')
    s = pd.Series(data=data, index=t, name=id, dtype=data.dtype)
    del npts, delta

    bands.insert(0, [0, 0])

    all = []
    for band in bands:
        if band != [0, 0]:
            tmp = s.copy()
            tmp[:] = bandpass(tmp, band[0], band[1], fs, corners=corners,
                             zerophase=zerophase)
            band_label = "S5xM %.2f-%.2f" % (band[0], band[1])

```

```

else:
    tmp = s.copy()
    band_label = "RSxM"
    rs = tmp.resample(rule)
    df = pd.DataFrame()
    df['mean'] = rs.apply(ssam)
    df['std'] = rs.apply(ssem)
    df['band'] = band_label

    if percentiles:
        for perc in percentiles:
            P = Percentile(percentile=perc)
            df["p%i" % perc] = rs.apply(P.scoreatpercentile)
        all.append(df)

    del tmp
    data = pd.concat(all)
    del s
    # data.set_index(['low', 'high'], inplace=True, append=True)
    return data

def ssam(d):
    """
    Computes the SSAM of an given array.
    """
    return np.mean(np.abs(d))

def ssem(d):
    """
    Computes the SSEM of an given array.
    """
    return np.std(d)

class Percentile():
    def __init__(self, percentile):
        self.percentile = percentile

    def scoreatpercentile(self, a):
        return scoreatpercentile(np.abs(a), self.percentile)

```

```

from obspy import read
#from obspy.signal.cross_correlation import correlate_template
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from obspy import UTCDateTime
%matplotlib notebook
from obspy import UTCDateTime
from obspy.clients.arlink.client import Client
from datetime import timedelta

client = Client('user', '192.168.0.25', 18001)

dt = UTCDateTime('2020-11-27T10:00:00')

dir = 'D:\\Documents\\Python Scripts\\REDPy-master\\MerapiServer_test1\\'
# dirwork = '/content/drive/My Drive/CoLab Notebooks/waveform/oct cc 070/'
dirwork = 'D:\\Documents\\Python Scripts\\REDPy-master\\waveform\\'

st = client.get_waveforms("VG", "MEPAS", "00", "HHZ", dt, dt + 86400)

# CONFIG
rule = "10S"
bands = [[0.5, 2.5], [2.5, 4.5], [4.5, 6.5], [0.5, 2.5], [2.5, 4.5], [4.5, 6.5], [4.5, 6.5], [6.5, 8.5],
          [8.5, 10.5], [10.5, 12.5], [12.5, 14.5], [14.5, 16.5], [16.5, 18.5]] # in Hz
percentiles = [10, 95]

# Read a trace
# st = read("BE.MEM..HHZ.D.2017.010")

# array holding results, much faster than appending on the fly
rsam = []
# select component
Z = st.select(component="Z")
for tr in Z:
    data = tr.data
    fs = tr.stats.sampling_rate
    starttime = tr.stats.starttime.datetime

    tmp = sxxm(data, fs, id, starttime, rule=rule, bands=bands, percentiles=percentiles)
    rsam.append(tmp)

# merging the array holding results now
rsam = pd.concat(rsam)

# grouping by "bands" and names
bands = rsam.groupby('band')
nbands = len(bands)

# plotting all bands
plt.figure(figsize=(10, 8))
i = 1
for id, band in bands:
    ax = plt.subplot(nbands, 1, i)
    band.plot(ax=ax)
    plt.title(id)
    plt.xlabel("")
    plt.legend(ncol=4)
    i += 1
plt.tight_layout()

```

## Script Mencari Cross Correlation

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

#Baca file data
df = pd.read_csv('data_rsam-seismitas.csv')

#Pilih data
time_series = ['rsam_seis', 'rsam_infr']
d1, d2 = df[time_series[0]], df[time_series[1]]

#Menghitung fungsi korelasi
fs = len(d1)
lags = np.arange(-(round(fs/2)), (round(fs/2)), 1)
rs = np.nan_to_num([d1.corr(d2.shift(lag)) for lag in lags])

#Plotting
fig, ax = plt.subplots(3, 1, figsize=(10, 10), sharex=False)
ax[0].plot(df[time_series[0]], color='b', label=time_series[0])
ax[0].legend()
ax[1].plot(df[time_series[1]], color='r', label=time_series[1])
ax[1].legend()
ax[2].plot(lags, rs, color='r', label='xcorr')
ax[2].legend()
ax[0].set_title(["xcorr {}-{}".format(time_series[0], time_series[1]), lags[np.argmax(rs)], np.max(rs)])
```



KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
**PROGRAM STUDI FISIKA**

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp. / Fax. (0341) 558933  
Website : <http://fisika.uin-malang.ac.id>, e-mail : [Fis@uin-malang.ac.id](mailto:Fis@uin-malang.ac.id)

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : Deshinta Endah Fridayanti  
NIM : 17640023  
Fakultas/Program Studi : Sains dan Teknologi/ Fisika  
Judul Skripsi : Analisis Gempa Vulkanik Gunung Merapi dan Korelasi terhadap Pengukuran Infrasonik (Studi Kasus: Data Survei Bulan November 2020 – Maret 2021)  
Pembimbing 1 : Drs. Abdul Basid, M.Si  
Pembimbing 2 : Dr. Erna Hastuti, M.Si

• **Konsultasi Fisika**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	8 April 2021	BAB I,II dan III	
2	24 April 2021	BAB I,II dan III ACC	
3	24 Mei 2022	BAB IV	
4	28 Mei 2022	BAB IV ACC	
5	14 Juni 2022	BAB I-V ACC	
6	23 Juni 2022	Konsultasi Semua BAB, Abstrak dan ACC	

• **Konsultasi Integrasi**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	21 Maret 2022	Konsultasi Kajian Agama BAB I-III	
2	29 Maret 2022	Konsultasi Kajian Agama BAB I-III ACC	
3	25 April 2022	Konsultasi Kajian Agama BAB IV	
4	13 Juni 2022	Konsultasi Kajian Agama BAB IV ACC	
5	24 Juni 2022	Konsultasi Kajian Agama semua BAB ACC	

Malang, 23 Juni 2022  
Mengetahui,  
Ketua Program Studi  
  
Dr. Inam Tazi, M.Si

