



TUGAS AKHIR – SF184801

**ANALISIS SPEKTRAL DAN KLASIFIKASI
GEMPA GUNUNG API ANAK KRAKATAU
BERDASARKAN REKAMAN DATA
SEISMOGRAM PADA OKTOBER-DESEMBER
2019**

**Nurul Hidayah
NRP 01111640000061**

**Dosen Pembimbing:
Dr. rer. Nat. Eko Minarto, M.Si.
Pembimbing II:
Ir. Kristianto, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



TUGAS AKHIR – SF 184801

**ANALISIS SPEKTRAL DAN KLASIFIKASI
GEMPA GUNUNG API ANAK KRAKATAU
BERDASARKAN REKAMAN DATA
SEISMOGRAM PADA OKTOBER-
DESEMBER 2019**

**Nurul Hidayah
NRP 0111164000061**

**Pembimbing:
Dr. rer. Nat. Eko Minarto, M.Si.
Ir. Kristianto, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – SF 184801

**SPECTRAL ANALYSIS AND EARTHQUAKE
CLASSIFICATION OF ANAK KRAKATAU
VOLCANO BASED ON SEISMOGRAM DATA
RECORDING IN OCTOBER-DECEMBER 2019**

**Nurul Hidayah
NRP 01111640000061**

**Supervisor:
Dr. rer. Nat. Eko Minarto, M.Si.
Ir. Kristianto, M.Si**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**Analisis Spektral dan Klasifikasi Gempa Gunung Api Anak
Krakatau berdasarkan Rekaman Data Seismogram pada
Oktober-Desember 2019**

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas
Akhir Program Strata 1

Departemen Fisika,
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
NURUL HIDAYAH
NRP 01111640000061

Disetujui oleh tim pembimbing Tugas Akhir

Pembimbing I
Dr. rer. Nat. Eko Minarto, M.Si.
NIP. 19750205 199903 1 004

(.....)

Pembimbing II:
Ir. Kristianto, M.Si
NIP. 19661219 199603 1 001

(.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS SPEKTRAL DAN KLASIFIKASI GEMPA GUNUNG API ANAK KRAKATAU BERDASARKAN REKAMAN DATA SEISMOGRAM PADA OKTOBER- DESEMBER 2019

Nama Mahasiswa : Nurul Hidayah
NRP : 01111640000061
Departemen : Fisika FSAD ITS
Pembimbing I : Dr. rer. Nat. Eko Minarto, M.Si.
Pembimbing II : Ir. Kristianto, M.Si

ABSTRAK

Gunung Api Anak Krakatau merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia. Pada tahun 2018 dan 2019, aktivitas Gunung Anak Krakatau sangat tinggi, hingga terjadi letusan yang cukup besar pada akhir 2018 dan akhir 2019. Dalam upaya mitigasi bencana gunung api, diperlukan kecepatan informasi untuk mengeluarkan peringatan dini kepada masyarakat. Salah satu hal yang dapat dilakukan antara lain adalah menganalisis karakteristik gempa yang dapat diestimasi berdasarkan parameter sumber gempa pada daerah bencana. Parameter *1068 event* gempa selama bulan Oktober-Desember 2019 telah dianalisis dengan menggunakan analisis spektral. Hasilnya, terjadi Gempa vulkanik dalam (VA) sebanyak 47 kali dengan frekuensi dominan sebesar 1.52-8.81 Hz. Gempa vulkanik dangkal (VB) terjadi sebanyak 52 kali dengan frekuensi dominan sebesar 0.7-7.16 Hz. Letusan terjadi sebanyak 173 kali dengan frekuensi dominan sebesar 0.92-3.12 Hz. Adapun hembusan terjadi sebanyak 331 kali dengan frekuensi dominan sebesar 0.57-5.86 Hz. Gempa *Low Frequency* terjadi sebanyak 456 kali dengan frekuensi dominan sebesar 0.7-4 Hz. Sementara itu, tremor harmonik terjadi sebanyak 9 kali dan memiliki frekuensi dominan sebesar 1.50-1.97 Hz. Peningkatan aktivitas vulkanik menunjukkan adanya aktivitas magnetik, yakni pergerakan magma ke arah permukaan yang menandakan potensi terjadinya erupsi.

Kata Kunci: Analisis spektral, frekuensi, Gunung Anak Krakatau, karakteristik gempa.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SPECTRAL ANALYSIS AND EARTHQUAKE CLASSIFICATION OF ANAK KRAKATAU VOLCANO BASED ON SEISMOGRAM DATA RECORDING IN OCTOBER-DECEMBER 2019

Name : Nurul Hidayah
NRP : 01111640000061
Department : Physics FSAD ITS
Supervisor I : Dr. rer. Nat. Eko Minarto, M.Si.
Supervisor II : Ir. Kristianto, M.Si

ABSTRACT

Anak Krakatau Volcano is one of the active volcanoes in Indonesia. In 2018 and 2019, Anak Krakatau Volcano was very active, until a heavy eruption occurred at the end of 2018 and the end of 2019. In the effort to mitigate volcanic disasters, the fast information needed to issue early warnings to the public. One of the things that can do is analyze earthquake characteristics that can be estimated based on earthquake parameters in the affected area. The parameters of 1068 earthquake events during October-December 2019 were analyzed using spectral analysis. As a result, deep volcanic earthquakes (VA) occurred 47 times with a dominant frequency of 1.52-8.81 Hz. Shallow volcanic earthquakes (VB) occurred 52 times with a dominant frequency of 0.7-7.16 Hz. The eruption occurred 173 times with a dominant frequency of 0.92-3.12 Hz. The gusts occurred 331 times with a dominant frequency of 0.57-5.86 Hz. Low Frequency Earthquake occurred 456 times with a dominant frequency of 0.7-4 Hz. Meanwhile, harmonic tremors occur 9 times and have a dominant frequency of 1.50-1.97 Hz. The increase of volcanic activity indicates the magnatic activity, that is the movement of magma toward the surface which indicates a potency of eruption.

Keywords : *Anak Krakatau Volcano, earthquake characteristics, frequency, spectral analysis.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis ucapkan kepada Allah atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Penelitian Tugas Akhir ini dengan judul **“Analisis Spektral dan Klasifikasi Gempa Gunung Api Anak Krakatau berdasarkan Rekaman Data Seismogram pada Oktober-Desember 2019”**. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan mata kuliah dan untuk melengkapi masa pendidikan S1 di Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam pelaksanaan dan penulisan Tugas Akhir di tengah Pandemi COVID-19 ini, terdapat berbagai kendala. Namun, atas bantuan, bimbingan serta dukungan dalam bentuk apapun dari berbagai pihak, penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan optimal. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ayah, Ibu, dan Adik yang telah menemani penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir selama #dirumahaja dalam masa pandemi. Juga karena dukungan, doa serta nasihatnya yang tiada henti sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Gatut Yudoyono, MT. selaku Ketua Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data ITS
3. Bapak Dr. rer. nat Eko Minarto selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan selama pelaksanaan penelitian hingga penulisan laporan sehingga berjalan dengan lancar.
4. Bapak Ir. Kristianto, M.Si. selaku pembimbing penelitian Tugas Akhir di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) yang telah sabar untuk memberikan bimbingan, nasihat serta waktunya selama penelitian hingga penulisan laporan.
5. Bapak dan Ibu staf beserta karyawan di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) yang telah membantu penulis dan memberikan ilmu selama penelitian Tugas Akhir ini.

6. Lintang Kinasih, sebagai teman yang kebersamai penulis belajar bersama dalam melaksanakan penelitian Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Fisika ITS 2016 yang memberikan doa serta dukungannya kepada penulis dan telah menemani penulis dalam belajar selama berkuliah di ITS.
8. Teman-teman pengurus Jamaah Masjid Manarul Ilmi kabinet Inspirasi, Proaksi, Gradasi, teman-teman Asrama Mutiara 8, teman-teman Beasiswa Aktivis Salman 2019/2020 serta teman-teman SPECTRA 5.0 yang telah memberikan doa, dukungan, semangat dan hiburan kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian ini hingga akhir.
9. Seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Laporan Penelitian Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu penulis berharap kritik dan saran yang membangun. Semoga dengan adanya Laporan Penelitian Tugas Akhir ini dapat memberikan inspirasi pembaca dan menyumbangkan ilmu khususnya dalam bidang Geofisika.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Geologi Regional	5
2.2 Pemantauan Aktivitas Gunung Anak Krakatau	6
2.3 Mitigasi Bencana Gunung Anak Krakatau	7
2.4 Prinsip Penjalaran Gelombang	8
2.5 Gelombang Seismik	10
2.6 Klasifikasi Gempa Vulkanik	14
2.7 Sistem Penerima Seismograf	17
2.8 Teori Spektral	17
BAB III METODOLOGI	19
3.1 Lokasi Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Tahapan Penelitian	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Analisis Aktivitas Kegempaan	25
4.2 Analisis Karakteristik Setiap Jenis Gempa	34
4.3 Mekanisme Letusan	42
BAB V KESIMPULAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Gunung Anak Krakatau	5
Gambar 2.2 Prinsip Huygen	9
Gambar 2.3 Pemantulan dan Pembiasan Gelombang	10
Gambar 2.4 Gelombang-P	12
Gambar 2.5 Gelombang-S	13
Gambar 2.6 Gelombang Reyleigh	14
Gambar 2.7 Gelombang Love	14
Gambar 2.8 Contoh rekaman seismik gempa tipe A	15
Gambar 2.9 Contoh rekaman seismik gempa tipe B	15
Gambar 2.10 Contoh rekaman seismik gempa letusan	16
Gambar 2.11 Contoh rekaman seismik gempa tremor harmonik ..	16
Gambar 2.12 Contoh rekaman seismik gempa tremor spasmodik	17
Gambar 3. 1 Peta Pos Pengamatan Gunung Anak Krakatau	19
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3.3 Proses Registrasi Event	21
Gambar 3.4 Proses Pemilihan Event	22
Gambar 3.5 Analisis Bentuk Gelombang dan Proses Picking Gelombang	22
Gambar 3.6 Analisis Spektral	23
Gambar 4.1 Grafik Seismisitas Gempa Vulkanik Dalam Gunung Anak Krakatau	26
Gambar 4.2 Grafik Seismisitas Gempa Vulkanik Dangkal Gunung Anak Krakatau	26
Gambar 4.3 Grafik Seismisitas Letusan Gunung Anak Krakatau	27
Gambar 4.4 Grafik Seismisitas Hembusan Gunung Anak Krakatau	27
Gambar 4.5 Grafik Seismisitas Gempa Low Frequency Gunung Anak Krakatau	28
Gambar 4.6 Grafik Seismisitas Tremor Harmonik Gunung Anak Krakatau	28

Gambar 4.7 Rekaman Gempa Vulkanik Dalam 16 Oktober 2019 pukul 11.40 UTC atau 18.40 WIB oleh Stasiun TNJG	34
Gambar 4.8 Grafik Frekuensi Dominan Gempa Vulkanik Dalam Oktober-Desember 2019	35
Gambar 4.9 Rekaman Gempa Vulkanik Dangkal 14 Oktober 2019 pukul 14.22 UTC atau 21.22 WIB oleh Stasiun TNJG	35
Gambar 4.10 Grafik Frekuensi Dominan Gempa Vulkanik Dangkal Oktober-Desember 2019	36
Gambar 4.11 Rekaman Letusan 13 Oktober 2019 19.29 UTC atau 14 Oktober 2019 02.29 WIB oleh Stasiun TNJG	37
Gambar 4.12 Grafik Frekuensi Dominan Oktober-Desember 2019	37
Gambar 4.13 Rekaman Hembusan 13 Oktober 2019 19.20 UTC atau 14 Oktober 2019 02.20 WIB oleh Stasiun TNJG	38
Gambar 4.14 Grafik Frekuensi Dominan Hembusan Oktober-Desember 2019	39
Gambar 4.15 Rekaman Gempa Low Frekuensi 17 Oktober 2019 01.05 UTC atau 08.05 WIB oleh Stasiun TNJG	39
Gambar 4.16 Grafik Frekuensi Dominan Gempa Low Frequency Oktober-Desember 2019	40
Gambar 4.17 Rekaman Tremor Harmonik 12 Oktober 2019 09.09 UTC atau 16.09 WIB oleh Stasiun TNJG	41
Gambar 4.18 Grafik Frekuensi Dominan Tremor Harmonik Oktober-Desember 2019	41

DAFTAR LAMPIRAN

Data Parameter Kegempaan	51
Biodata Penulis	77

“Halaman ini sengaja dikosongka

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah yang memiliki gunung api paling aktif di dunia. Banyaknya gunungapi di Indonesia adalah konsekuensi geologis dari posisi geografis yang terletak antara pertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng benua Eurasia dan lempeng Pasifik. Di bagian timur wilayah Indonesia terjadi pertemuan 3 lempeng (*Triple Junction*) sehingga seismisitasnya menjadi salah satu yang paling aktif di dunia. Indonesia termasuk dalam daerah Sabuk Api Pasifik (*Ring of Fire*), yaitu wilayah melingkar dimana batas-batas lempeng bertemu yang mengakibatkan munculnya banyak gunungapi dan zona seismik aktif (Witton dan Elliot, 2003).

Indonesia mempunyai 127 gunung api aktif yang tersebar mulai dari Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Maluku. Jumlah tersebut sama dengan 13% gunung api aktif di dunia. Gunungapi aktif di Indonesia dibedakan dalam 3 kategori berdasarkan sejarah letusannya, yaitu gunungapi tipe A, tipe B, dan tipe C (Zaennudin, 2010).

Gunung Anak Krakatau, yang terletak di Selat Sunda, termasuk ke dalam wilayah Lampung Selatan dan merupakan salah satu gunung api aktif dari 127 gunung api Indonesia, yang berderet sepanjang 7000 km mulai ujung utara Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Maluku sampai ke Sulawesi Utara. Dari sejumlah gunung api tersebut, sekurang-kurangnya meletus salah satu setiap tahun. Gunung Api Anak Krakatau sendiri sejak lahir tahun 1929 sampai tahun 2006 telah meletus sekurang-kurang 80 kali atau terjadi setiap tahun berupa erupsi eksplosif atau efusif. Waktu istirahat antara 1 – 8 tahun, tetapi letusannya dapat terjadi 1 – 6 kali dalam setahun, bahkan pada tahun 1993 dan 2001 letusan terjadi hampir setiap hari (Sutawidjaja, 2006).

Berdasarkan penelitian sebelum-sebelumnya, metode pemantauan aktivitas gunungapi dapat dilakukan dengan berbagai metode, yakni metode seismik, metode deformasi, metode kimia gas, metode termal, dan metode penginderaan jauh (dengan menggunakan sistem video, foto udara, dan citra satelit). Metode-metode ini akan

melibatkan sistem peralatan/sensor sendiri, dan disamping itu dapat diimplementasikan secara episodik maupun kontinyu. Metode yang paling banyak digunakan adalah metode seismik. Metode seismik yang menggunakan sensor seismometer ini pada dasarnya digunakan untuk mengevaluasi aktivitas yang terjadi di dalam gunungapi (Abidin, 2007).

Monitoring seismik atau pengamatan terhadap aktivitas seismik gunungapi dapat membantu dalam menentukan status gunungapi, memperkirakan besar letusan dan memahami proses fisika. Pemantauannya didasarkan pada rekaman getaran yang gempa vulkanik. Begitu pula dalam penelitian kali ini, penulis melakukan analisis seismik melalui rekaman pada seismograf untuk mengetahui aktivitas gunungapi tersebut, sehingga dapat diketahui karakteristiknya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.2.1 Bagaimana klasifikasi gempa vulkanik di Gunung Anak Krakatau?
- 1.2.2 Bagaimana analisis spektral yang didapat dari rekaman seismograf Gunung Anak Krakatau?
- 1.2.3 Bagaimana mekanisme gempa dan aktivitas Gunung Anak Krakatau?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.3.1 Mengetahui klasifikasi gempa vulkanik di Gunung Anak Krakatau.
- 1.3.2 Mengetahui analisis spektral yang didapat dari rekaman seismograf Gunung Anak Krakatau.
- 1.3.3 Mengetahui mekanisme gempa dan aktivitas Gunung Anak Krakatau.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah perekaman data seismik dilakukan pada dua stasiun pengamatan, yakni Stasiun Sertung (SRTG) dan Stasiun Tanjung (TNJG) pada bulan Oktober sampai Desember 2019. Adapun jenis gempa yang diamati adalah

gempa vulkanik dalam, gempa vulkanik dangkal, letusan, hembusan, gempa *low frequency* dan tremor harmonik.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan bermanfaat untuk pemerintah dan masyarakat sekitar untuk membantu dalam menentukan status gunungapi, memperkirakan aktivitas letusan, dan meningkatkan mitigasi bencana gunungapi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang dilakukan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab, yakni:

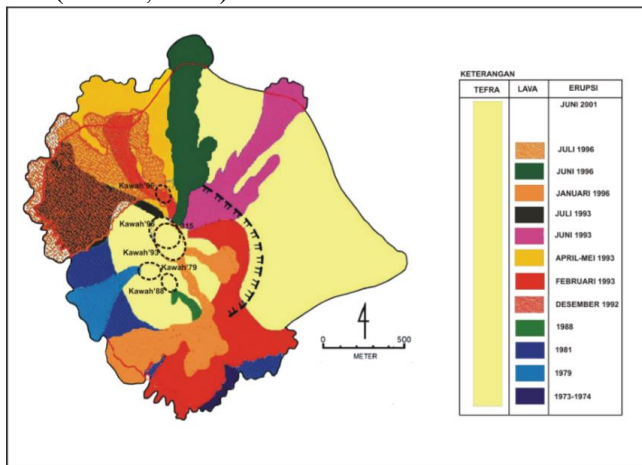
- **BAB I PENDAHULUAN**
Bab ini berisi tentang latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.
- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**
Bab ini berisi tentang teori maupun konsep dasar sebagai penunjang untuk melakukan penelitian.
- **BAB III METODE PENELITIAN**
Bab metode penelitian berisi tentang peralatan yang digunakan, lokasi penelitian dan alur pengerjaan penelitian.
- **BAB IV HASIL PENELITIAN**
Bab hasil penelitian berisi tentang penjelasan data yang diperoleh serta analisis data penelitian.
- **BAB V KESIMPULAN**
Bab kesimpulan berisi tentang rangkuman penelitian yang sesuai tujuan dan saran untuk penelitian selanjutnya.
- **DAFTAR PUSTAKA**
Daftar pustaka berisikan identitas buku, jurnal, situs web, maupun hal lain yang dijadikan referensi dalam penulisan.
- **LAMPIRAN**
Lampiran berisikan data-data penelitian dan biodata penulis.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Secara geografis, Gunung Anak Krakatau berada di $6^{\circ}6'5,8''$ LS dan $105^{\circ}25'22,3''$ BT. Secara administrasi, Gunung Anak Krakatau berada di Selat Sunda, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Gunung Anak Krakatau berdekatan dengan beberapa kota, yaitu Kalianda di Provinsi Lampung, serta Merak, Anyer, dan Labuan di Provinsi Banten. Gunung Anak Krakatau memiliki ketinggian ± 157 mdpl dan lebar ± 2 km. Gunung Anak Krakatau berbentuk pulau gunungapi dengan salah satu kerucut aktifnya di pusat kaldera dengan periode letusan 1-8 tahun sekali dan rata-rata 2-4 tahun sekali. Gunung Anak Krakatau memiliki tipe erupsi Strombolian dan Vulkanian (ESDM, 2014).



Gambar 2.1 Peta Geologi Gunung Anak Krakatau (Sutawidjaja, 2006)

Di sekitar Gunung Anak Krakatau terdapat dua pos pengamatan yang berlokasi di Pasauran, Banten dan Hargopancuran, Lampung. Gunung Anak Krakatau adalah salah satu bagian dari Kompleks Krakatau yang terdiri dari Pulau Rakata, Pulau Sertung, Pulau Panjang, dan Pulau Anak Krakatau. Tiga pulau pertama adalah sisa-sisa pembentukan kaldera Krakatau, sementara Anak Krakatau tumbuh menjadi gunungapi. Kompleks Krakatau terletak 140 km dari

jalur tektonik selatan Jawa di mana jalur penunjaman terdapat 120 km di bawahnya. Kompleks Krakatau berada di antara dua zona graben dan zona rekahan berarah utara-selatan (ESDM, 2014).

2.2 Pemantauan Aktivitas Gunung Anak Krakatau

Pemantauan Gunung Anak Krakatau secara menerus hanya dilakukan pengamatan visual dan kegempaan. Pengamatan kegempaan merupakan tujuan utama dalam menghadapi kegiatan gunungapi, dan disiapkan sebagai dasar pemantauan untuk peringatan dini selama krisis kegiatan Gunung Anak Krakatau, dan dikeluarkan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Pengalaman kegiatan Gunung Anak Krakatau diperlihatkan jelas ketika terjadi erupsi pada 1980, 1988 dan 1992, dimana awal kegiatannya dimulai dengan meningkatnya gempa bumi vulkanik kemudian berkembang menjadi gempa intensif (swarm) atau tremor vulkanik, akhirnya terjadi letusan. Pada Agustus 1992 dilakukan penggantian subsistem seismometer dari model MEQ-800 ke model PS-2 dengan menggunakan seismometer L4 dan dilengkapi VCO TH-13. Sinyal dikirim melalui radio ke subsistem penerima yang ditempatkan di Pos Pengamatan di Pasauran Banten. Sesaat setelah pemasangan seismograf sistem telemetri radio selesai, seismograf merekam gempa vulkanik dalam dan dangkal cukup banyak tetapi masih dalam batas aktivitas normal (ESDM, 2014).

Pada September 1992, Pos Pengamatan melaporkan bahwa jumlah gempa vulkanik, terutama vulkanik dalam meningkat dan peningkatan ini sangat cepat sehingga melebihi batas aktif normal, tetapi apada akhir September jumlah gempa menurun lagi dan malahan keadaan tenang selama tiga hari. Pada awal Oktober tingkat kegempaan berubah dari gempa vulkanik dalam ke dangkal dan jumlahnya meningkat sangat cepat sehingga teramati swarm dan tremor vulkanik menjelang 8 Nopember. Jumlah gempa vulkanik yang terbaca pada 7 Nopember mencapai 400 kejadian dengan magnitudo $MMI < 2$. Jumlah gempa tersebut hanya terekam dalam 10 jam. Pada pukul 12.35 WIB swarm terjadi sangat intensif dan berkembang menjadi tremor vulkanik pada saat menjelang letusan pada pukul 13.10 WIB. Tiang abu pertama kali terlihat oleh pengamat pada pukul 13.31 dari Pos Pengamatan Pasauran setinggi 800 m di atas puncak. Letusan ini membentuk kawah baru yang terletak di

lereng utara kerucut gunungapi. Pengamatan lapangan dilakukan pada 11 Nopember yang menunjukkan bahwa sebaran tefra beradius 800 m dari pusat kegiatan, terdiri atas abu pasir dan lapili sedangkan di sekitar kawahnya tersebar bongkahan yang umumnya batuan vulkanik tua. Lava mengalir dari kawah baru ke arah utara sepanjang 300 m dengan tebal antara 4-6 m. Letusan yang menerus dan leleran lava terekam dalam seismograf sebagai gempa letusan yang sambung menyambung sehingga tampak seperti tremor vulkanik. Pada 12 Nopember 1992, jumlah gempa letusan yang terekam mencapai 15.000 kejadian (ESDM, 2014).

Kegiatan letusan Gunung Anak Krakatau ini menerus sampai tahun 2000. Selama periode letusan ini gempa vulkanik didominasi oleh gempa letusan dengan rerata-rata 700 kejadian per hari walaupun gempa tipe-A dan tipe-B juga terekam, di samping itu 4 unit subsistem seismometer rusak oleh lontaran bom vulkanik dan leleran lava yang mengakibatkan kehilangan data rekaman gempa. Pada 1995 dibangun Pos Pengamatan Gunung Anak Krakatau lainnya yang terletak di Desa Hargopancuran, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan dengan maksud untuk melengkapi pemantauan Gunung Anak Krakatau dari arah Lampung. Pos Pengamatan ini dilengkapi dengan satu unit seismograf sistem telemetri radio model PS-2, sehingga pemantauan dilakukan dari dua arah (ESDM, 2014).

2.3 Mitigasi Bencana Gunung Anak Krakatau

Mitigasi bencana gunungapi dilakukan dengan cara pemantauan gunungapi tersebut secara menerus dengan tujuan mengumpulkan data dari berbagai parameter teknik, seperti geofisika, geokimia dan pengamatan visual. Untuk mempercepat pengumpulan data lapangan maupun pemberitahuan kepada masyarakat, maka pemerintah telah membangun pos-pos pengamatan gunungapi yang langsung dapat memantau secara visual dan merekam pengamatan instrumentalia yang terdeteksi di gunungapi (ESDM, 2014).

Pengamatan visual dilakukan dengan menggunakan teropong binokuler untuk mengamati tinggi asap solfatara dalam keadaan normal, maupun tinggi letusan pada saat sedang aktif. Tinggi asap dapat dihitung dengan membandingkan dengan puncak pulau Rakata. Di samping itu juga dilakukan pengukuran suhu solfatara dan pengamatan visual pada saat pemeriksaan gunungapi tersebut.

Pemeriksaan lapangan secara periodik dilakukan dengan menyewa kapal motor berkekuatan 5 – 20 PK untuk mengetahui perkembangan atau perubahan dari dekat. Pemeriksaan selama ada kegiatan vulkanik bertujuan melakukan pemetaan sebaran leleran lava dan endapan material vulkanik lainnya (ESDM, 2014).

Pengamatan seismik atau kegempaan Gunung Anak Krakatau dilakukan secara menerus sejak 1985 dari Pos PGA di Pasauran, Kec. Cinangka, Kab. Serang, Prov. Banten kemudian pada 1995 dibangun pos pengamatan lainnya yang berlokasi di Desa Hargopancuran, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan. Sistem pemantauan kegempaan Gunung Anak Krakatau menggunakan sistem radio telemetri dan pencatat gempa tipe PS-2. Sensor gempa (seismometer) dan modul pemancar di pasang di sebelah timur Gunung Anak Krakatau pada jarak sekitar 600 m sebelah timur puncak Gunung Anak Krakatau, pada posisi geografis $06^{\circ} 46' 12.0''$ LU dan $105^{\circ} 25' 42.9''$ BT serta pada ketinggian sekitar 103 m dpl (ESDM, 2014).

2.4 Prinsip Penjalaran Gelombang

Dalam memahami penjalaran gelombang, terdapat beberapa hal yang menjadi dasar pada pemantulan dan pembiasan gelombang yaitu Asas Fermat, Prinsip Huygens dan Hukum Snellius.

a. Asas Fermat

Prinsip Fermat yang lebih lengkap dan lebih umum dinyatakan pertama kali oleh matematikawan Prancis Pierre de Fermat pada abad ke-17 yang menyatakan bahwa “lintasan yang dilalui oleh cahaya untuk merambat dari satu titik ke titik lain adalah sedemikian rupa sehingga waktu perjalanan itu tidak berubah sehubungan dengan variasi-variasi dalam lintasan tersebut” (Tipler, 2001).

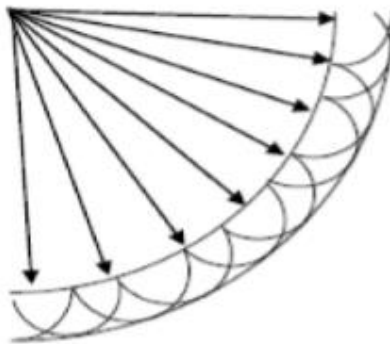
Asas Fermat yang diasumsikan dalam metode seismik refraksi yaitu gelombang menjalar dari satu titik ke titik lain melalui jalan tersingkat waktu penjalarnya (Susilawati, 2004). Dengan demikian jika gelombang melewati sebuah medium yang memiliki variasi kecepatan gelombang seismik, maka gelombang tersebut akan cenderung melalui zona-zona kecepatan tinggi dan menghindari zona-zona kecepatan rendah (Jamady, 2011).

b. Prinsip Huygens

Perambatan gelombang apapun yang melalui ruang dapat digambarkan menggunakan metode geometris yang ditemukan oleh Christian Huygens kira-kira tahun 1678 yang sekarang dikenal sebagai prinsip Huygens atau konstruksi Huygens Prinsip Huygens (Tipler, 2001).

Prinsip Huygens dalam metode seismik refraksi diasumsikan bahwa “Titik-titik yang dilewati gelombang akan menjadi sumber gelombang baru”. *Front* gelombang yang menjalar menjauhi sumber adalah superposisi *front – front* gelombang yang dihasilkan oleh sumber gelombang baru tersebut. Dengan sudut kritis yaitu sudut datang yang menghasilkan gelombang bias sejajar bidang batas ($r = 90^\circ$) (Susilawati, 2004).

Posisi dari muka gelombang dalam dapat seketika ditemukan dengan membentuk garis singgung permukaan untuk semua *wavelet* sekunder. Prinsip Huygens mengungkapkan sebuah mekanisme dimana sebuah pulsa seismik akan kehilangan energi seiring dengan bertambahnya kedalaman (Asparini, 2011).

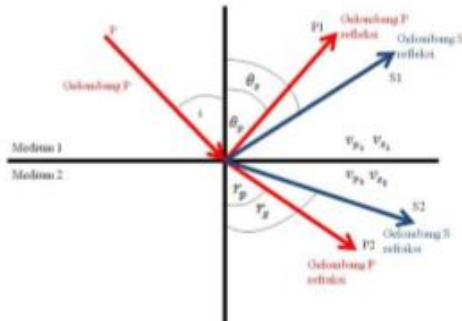


Gambar 2.2 Prinsip Huygen (Asparini, 2011)

c. Hukum Snellius

Ketika gelombang seismik melalui lapisan batuan dengan impedansi akustik yang berbeda dari lapisan batuan yang dilalui sebelumnya, maka gelombang akan terbagi. Gelombang tersebut sebagian terefleksikan kembali ke permukaan dan sebagian diteruskan merambat dibawah permukaan. Penjalaran gelombang seismik mengikuti Hukum Snellius yang dikembangkan dari

Prinsip Huygens, menyatakan bahwa sudut pantul dan sudut bias merupakan fungsi dari sudut datang dan kecepatan gelombang. Gelombang P yang datang akan mengenai permukaan bidang batas antara dua medium berbeda akan menimbulkan gelombang refraksi dan refleksi (Hutabarat, 2009).



Gambar 2.3 Pemantulan dan Pembiasan Gelombang (Hutabarat, 2009)

Bunyi hukum Snellius yaitu “Gelombang akan dipantulkan atau dibiaskan pada bidang batas antara dua medium”. Dengan persamaan hukum Snellius sebagai berikut:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2} \quad 2.1$$

di mana:

i = Sudut datang

r = Sudut bias

V_1 = Kecepatan gelombang pada medium 1

V_2 = Kecepatan gelombang pada medium 2 (Susilawati, 2004).

2.5 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode penimbulkan gelombang seismik secara aktif atau disengaja menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya digunakan untuk eksplorasi. Metode pasif adalah gangguan yang muncul terjadi secara alamiah, contohnya gempa. Gelombang

seismik termasuk dalam gelombang elastik karena medium yang dilalui yaitu bumi bersifat elastik. Oleh karena itu sifat penjalaran gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan yang dilewatinya. Teori lempeng tektonik telah menjelaskan bagaimana pergerakan dari lempeng bumi. Pergerakan lempeng bumi menyebabkan batuan terdeformasi atau berubah bentuk dan ukuran karena adanya pergerakan antar lempeng. Deformasi akibat pergerakan lempeng ini berupa tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) (Susilawati, 2008).

Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai gaya persatuan luas. Gaya merupakan perbandingan dari besar gaya terhadap luas dimana gaya tersebut dikenakan. Gaya yang dikenakan tegak lurus terhadap benda maka tegangan tersebut normal, jika gaya berarah tangensial terhadap luas maka tegangan tersebut tegangan geser, dan jika tidak tegak lurus maupun paralel maka gaya tersebut dapat diuraikan ke komponen yang paralel dan tegak lurus terhadap elemen luas. Persamaan matematis dari tegangan (σ) adalah

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad 2.2$$

(Susilawati, 2008).

Benda elastis yang mengalami *stress* maka akan terdeformasi atau mengalami perubahan bentuk maupun dimensi. Perubahan tersebut disebut dengan regangan atau *strain*. *Strain* adalah jumlah deformasi material persatuan luas. Hukum hooke menyatakan bahwa *stress* akan sebanding dengan *strain* pada batuan (antara gaya yang diterapkan dan besarnya deformasi) (Susilawati, 2008).

Strain (ϵ) dan Stress (σ) merupakan besaran tensor, sedangkan C adalah konstanta yang berupa matriks (tensor) yang menentukan sifat dasar elastisitas dari batuan, parameter C merupakan parameter elastik bebas yang dapat mencirikan sifat elastisitas batuan (Susilawati, 2008).

2.5.1 Jenis Gelombang Seismik

Gelombang seismik ada yang merambat melalui interior bumi disebut sebagai *body wave*, dan ada juga yang merambat melalui permukaan bumi yang disebut *surface wave*. Sumber gelombang seismik ada dua yaitu alami dan buatan. Sumber alami terjadi karena adanya gempa tektonik,

gempa vulkanik dan runtuh/ longoran, sedangkan buatan menggunakan gangguan yang disengaja (Susilawati, 2008).

a. Gelombang Badan/ *Body Wave*

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya keseluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjalarnya gelombang dapat dibedakan menjadi gelombang P dan gelombang S. Gelombang P disebut dengan gelombang kompresi/gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, dapat merambat melalui medium padat, cair dan gas. Persamaan dari kecepatan gelombang P adalah sebagai berikut :

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}} \quad 2.3$$

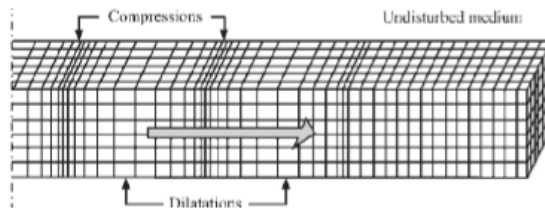
Keterangan :

λ = konstanta *lame*

μ = rigiditas

ρ = densitas

(Susilawati, 2008).



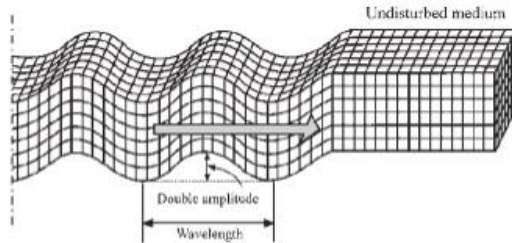
Gambar 2.4 Gelombang-P (Elnashai dan Sarno, 2008)

Gelombang S disebut juga gelombang *shear*/ gelombang transversal. Gelombang ini memiliki cepat rambat yang lebih lambat bila dibandingkan dengan gelombang P dan hanya dapat merambat pada medium padat saja. Gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya. Persamaan dari kecepatan Gelombang S (V_s) adalah sebagai berikut :

$$V_s = \frac{\mu}{\rho}$$

2.4

(Susilawati, 2008).



Gambar 2.5 Gelombang-S (Elnashai and Sarno, 2008)

b. Gelombang Permukaan

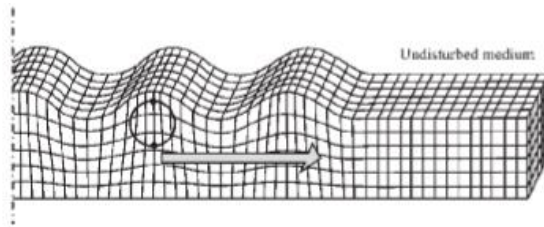
Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Gelombang ini ada pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik (Susilawati, 2008).

Jenis dari gelombang permukaan ada dua yaitu gelombang *Reyleigh* dan gelombang *Love*. Gelombang *Reyleigh* merupakan gelombang permukaan yang orbit gerakannya elips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjarannya. Gelombang jenis ini adalah gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif. Persamaan dari kecepatan gelombang *Reyleigh* (V_R) adalah sebagai berikut :

$$V_R = 0,92\sqrt{V_s}$$

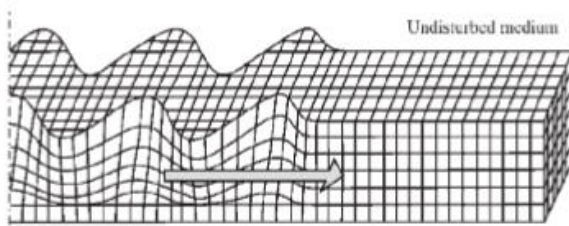
2.5

(Susilawati, 2008).



Gambar 2.6 Gelombang Reyleigh (Elnashai dan Sarno, 2008)

Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal yang merupakan gelombang S horizontal yang penjarangannya paralel dengan permukaannya (Gadallah and Fisher, 2009).



Gambar 2.7 Gelombang *Love* (Elnashai and Sarno, 2008)

2.6 Klasifikasi Gempa Vulkanik

Klasifikasi gempa vulkanik dikelompokkan oleh T. Minakami berdasarkan bentuk rekaman gempa, perkiraan hiposenternya dan perkiraan proses yang terjadi di dalam tubuh gunungapi (Suantika, 2007).

a. Gempa Vulkanik Dalam (tipe A/VA)

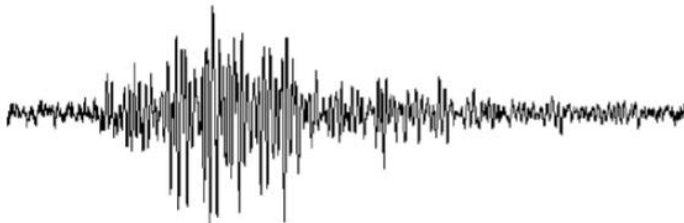
Sumber dari tipe gempa ini terletak di bawah gunungapi pada kedalaman 1 sampai 20 km, biasanya muncul pada gunungapi yang aktif. Ciri utama dari gempa tipe A ini adalah selisih waktu tiba gelombang Primer (P) dan gelombang Sekunder (S) sampai 5 detik dan berdasarkan sifat fisiknya, gempa ini bentuknya mirip dengan gempa tektonik (Hidayati, 2010).



Gambar 2.8 Contoh rekaman seismik gempa tipe A (Hidayati, 2010)

b. Gempa Vulkanik Dangkal (tipe B/VB)

Sumber gempa vulkanik tipe B diperkirakan kurang dari 1 km dari kawah gunungapi yang aktif. Gerakan awalnya cukup jelas dengan waktu tiba gelombang S yang tidak jelas dan mempunyai nilai magnitudo yang kecil. Selisih waktu tiba gelombang p dan gelombang s kurang dari 1 detik. 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 (Hidayati, 2010).



Gambar 2.9 Contoh rekaman seismik gempa tipe B (Hidayati, 2010)

c. 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 (Hidayati, 2010).



Gambar 2.10 Contoh rekaman seismik gempa letusan (Hidayati, 2010)

d. Gempa Tremor

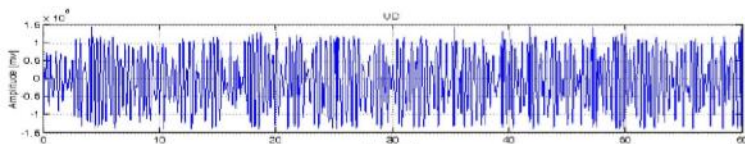
Gempa tremor merupakan gempa yang menerus terjadi di sekitar gunungapi, jenis gempa ini dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu :

1. Tremor Harmonik, getaran yang menerus secara sinusoidal. Kedalaman sumber gempa diperkirakan antara 5 – 15 km.
2. Tremor Spasmodik, getaran terus menerus tetapi tidak beraturan. Sumber gempabumi diperkirakan mempunyai kedalaman antara 45 sampai 60 km.

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 (Hidayati, 2010).



Gambar 2.11 Contoh rekaman seismik gempa tremor harmonik (Hidayati, 2010)



Gambar 2.12 Contoh rekaman seismik gempa tremor spasmodik (Hidayati, 2010)

2.7 Sistem Penerima Seismograf

Seismograf adalah instrumen untuk mendapatkan data rekaman seismik dan untuk saat ini hampir seluruh Pos Gunungapi di Indonesia menggunakan seismograf yang bekerja dengan sistem RTS (Radio Telemetry System) baik digital maupun analog. Data ditransmisikan ke Pos pengamatan dengan teknik propagasi gelombang radio. Di Pos, data diterima *receiver*, didemodulasikan oleh diskriminator menjadi tegangan analog kembali, dan direkam ke seismogram dengan galvanometer. RTS digital memiliki prinsip yang hampir sama, perbedaannya hanya pada transmiter, data yang dimodulasikan sudah berupa data-data digital. Tentunya dengan mengubah data analog seismometer menjadi digital menggunakan ADC (Analog to Digital Converter) (Ernawati, 2011).

Berbeda dengan seismograf analog yang amplitudo rekaman gelombangnya dalam satuan milimeter (mm), amplitudo rekaman gelombang seismik digital tidak memiliki satuan, namun untuk memperoleh satuan dari amplitudo rekaman seismik digital maka perlu dilakukan konversi terlebih dahulu. Konversi yang dilakukan bergantung spesifikasi alat yang digunakan (Ernawati, 2011).

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam konversi amplitudo rekaman seismik digital adalah (Ernawati, 2011):

- a. Sensitivitas alat
- b. Perbesaran alat
- c. Nilai digital dari rekaman

2.8 Teori Spektral

Data hasil rekaman gempabumi pada umumnya masih berbentuk domain waktu, hal ini mempersulit pembacaan informasi tersebut, sehingga data yang berdomain waktu tersebut harus terlebih dulu diproses menjadi domain frekuensi. Tujuan dari transformasi ini berdasarkan pada beberapa aspek dimana frekuensi merupakan variabel yang lebih berarti daripada waktu. Keuntungan analisis dalam kawasan frekuensi, antara lain : perhitungan matematis dalam kawasan frekuensi lebih mudah diterapkan dibandingkan dengan dalam kawasan waktu, fenomena geofisika pada umumnya dalam

bentuk ketergantungan terhadap frekuensi, sehingga dalam beberapa fenomena fisik, frekuensi menjadi parameter yang sangat penting dalam menjelaskan fenomena tersebut (Welayaturromadhona, 2013).

Untuk mengubah rekaman dari kawasan waktu ke dalam kawasan frekuensi digunakan Transformasi Fourier. Dengan transformasi fourier, analisis dalam kawasan frekuensi hanyalah penyusunan kembali sinyal dalam bentuk amplitude pada sumbu y dan frekuensi pada sumbu x dengan tidak mengubah informasi yang terkandung (Rosmiyatin dan Abdul, 2012).

Jika terdapat sebuah sinyal $X(t)$ maka pasangan transformasi fouriernya adalah $X(\omega)$ dengan $\omega = 2\pi f$

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t)e^{-i\omega t} dt \quad 2.6$$

Apabila $X(t)$ adalah gelombang yang terpisah menjadi beberapa gelombang sinus dan $X(\omega)$ adalah transformasi fourier dari $X(t)$ dan $= \sqrt{-1}$, maka persamaan sebelumnya dapat dituliskan kembali sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos(\omega t) dt - i \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sin(\omega t) dt \\ &= \text{Re}[X(\omega)] - i \text{Im}[X(\omega)] \\ &= |X(\omega)|e^{i\varphi(\omega)} \end{aligned} \quad 2.7$$

Sehingga diperoleh persamaan spektrum amplitudo yaitu:

$$|X(\omega)| = \sqrt{(\text{Re}[X(\omega)])^2 + (\text{Im}[X(\omega)])^2} \quad 2.8$$

Dan persamaan spektrum fasa:

$$\varphi[\omega] = \tan^{-1} \left(-\frac{\text{Im}[X(\omega)]}{\text{Re}[X(\omega)]} \right) \quad 2.9$$

Sedangkan invers dari transformasi Fourier didefinisikan sebagai:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad 2.10$$

Sehingga kedua fungsi tersebut dinyatakan sebagai pasangan transformasi Fourier

$$H(\omega) \Leftrightarrow h(t) \quad 2.11$$

Analisis dengan menggunakan prinsip metode transformasi Fourier ini dikenal dengan analisis spektral. Pada analisis spektral ini menggunakan seluruh bentuk sinyal sehingga jika terjadi kesalahan informasi akan mudah dihindari dengan pengukuran titiktitik dalam domain waktu (Rosmiyatin dan Abdul, 2012).

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Data penelitian tugas akhir ini didapatkan dari rekaman seismogram di pos pengamatan Gunung Anak Krakatau, yakni dari Stasiun Sertung (STRG) yang terletak di Pulau Sertung atau sebelah barat laut puncak Gunung Anak Krakatau, pada posisi $06^{\circ}04'35.1''$ Lintang Selatan, $105^{\circ}24'01.3''$ Bujur Timur atau sekitar 3.5 km dari kawah dan Stasiun Tanjung (TNJG) yang terletak pada posisi $06^{\circ}06'14.01''$ Lintang Selatan, $105^{\circ}26'3.05''$ Bujur Timur atau sekitar 1 km dari kawah. Selanjutnya, proses pengolahan data dilakukan di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Bandung dan Laboratorium Geofisika ITS. Adapun peta stasiun seismik pengamatan Gunung Anak Krakatau dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Peta Stasiun Pengamatan Seismik Gunung Anak Krakatau (Badan Geologi, 2019)

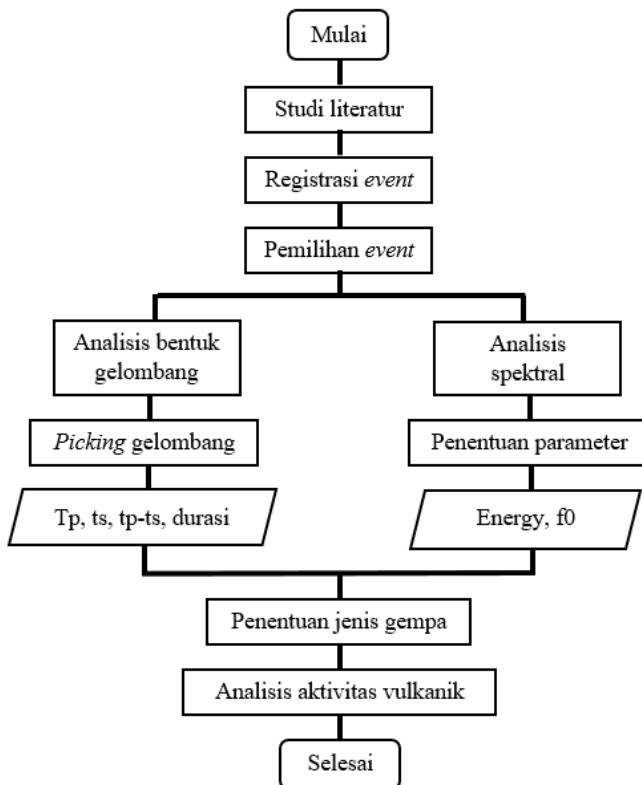
3.2 Alat dan Bahan

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Bandung dan merupakan hasil rekaman seismogram di dua stasiun. Data yang digunakan berupa rekaman sinyal gelombang seismik Gunung Anak Krakatau dari bulan Oktober sampai

Desember 2019. Adapun peralatan yang digunakan antara lain laptop yang berisi *software* SWARM dan Microsoft Excel.

3.3 Tahapan Penelitian

Penjelasan mengenai tahapan kerja penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

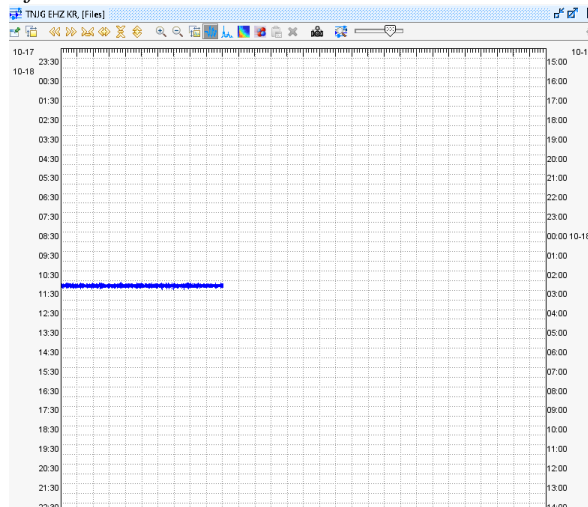
3.3.1 Studi Literatur

Tahapan studi literatur dilakukan sebelum pengolahan data. Hal ini dilakukan untuk memahami teori dan konsep dasar mengenai gelombang seismik, jenis, karakteristik serta masing-masing parameter dari gempa vulkanik, analisis

spektral, serta memahami aktivitas kegempaan Gunung Anak Krakatau sebelumnya.

3.3.2 Registrasi Event

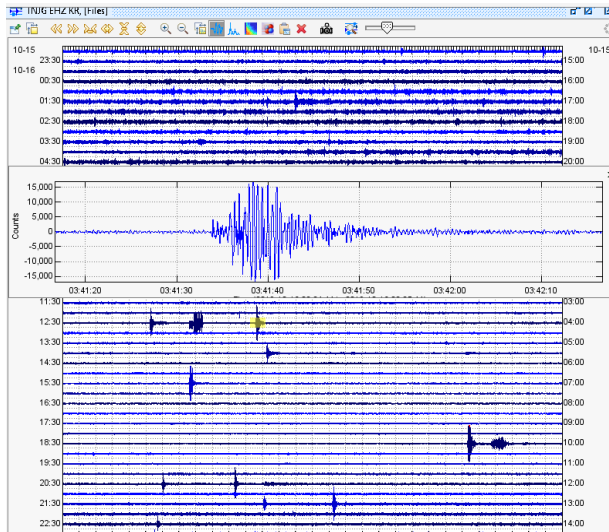
Data yang didapatkan dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi berupa gelombang seismik diinput ke dalam *software* SWARM untuk kemudian dianalisis.



Gambar 3.3 Proses Registrasi Event

3.3.3 Pemilihan Event

Dari semua data gelombang seismik yang ditampilkan di *software* SWARM, dipilih gelombang yang mengalami kenaikan amplitudo secara signifikan yang mengindikasikan adanya kejadian gempa.



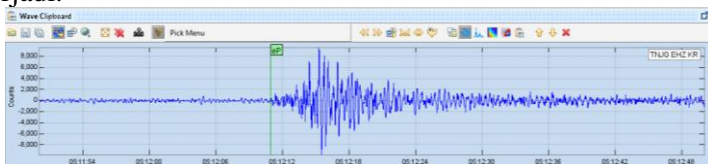
Gambar 3.4 Proses Pemilihan Event

3.3.4 Analisis Bentuk Gelombang

Dari event yang telah dipilih, bentuk gelombangnya dianalisis. Untuk beberapa jenis gempa, dapat mudah dianalisis kejadiannya hanya dari bentuk gelombangnya saja.

3.3.5 Picking Gelombang

Setelah didapatkan beberapa *event* gempa, dilakukan picking gelombang P dan S secara manual agar didapatkan beberapa parameter untuk dianalisis lebih lanjut. Sehingga didapatkan waktu tiba gelombang p, waktu tiba gelombang s, selisih waktu tiba gelombang p dan s serta durasi gempa yang terjadi.



Gambar 3.5 Analisis Bentuk Gelombang dan Proses *Picking* Gelombang

3.3.6 Analisis Spektral

Pada tahap ini, gelombang seismik yang dianalisis telah mengalami proses Transformasi Fourier, untuk mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi.



Gambar 3.6 Analisis Spektral

3.3.7 Penentuan Parameter

Dari analisis spektral, informasi mengenai parameter kegempaan yang didapatkan akan lebih lengkap, yaitu berupa frekuensi dominan.

3.3.8 Penentuan Jenis Gempa

Setelah didapatkan semua parameter kejadian gempa, dilakukan analisis dan penentuan mengenai jenis gempa vulkanik di masing-masing kejadian gempa.

3.3.9 Analisis Aktivitas Vulkanik

Melalui parameter kegempaan yang didapatkan dan penentuan jenis gempa yang telah ditentukan sebelumnya, dapat dilakukan analisis mengenai karakteristik Gunung Anak Krakatau, termasuk karakteristik gempa dan letusannya. Dari situ juga akhirnya dapat dilakukan aktivitas kegempaan di Gunung Anak Krakatau.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

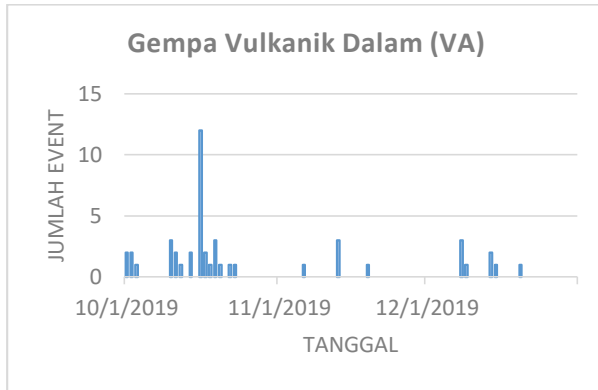
Pengamatan kegempaan Gunung Anak Krakatau dalam penelitian ini menggunakan metode seismik dengan memantau aktivitas magmatik Gunung Anak Krakatau menggunakan stasiun seismik yang terpantau selama 24 jam. Rekaman kegempaan tersebut diterima oleh seismometer yang dipasang di lapangan dan Pos PGA Anak Krakatau di Pasauran Banten dan Kalianda Lampung dan setelahnya diteruskan ke Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

4.1 Analisis Aktivitas Kegempaan

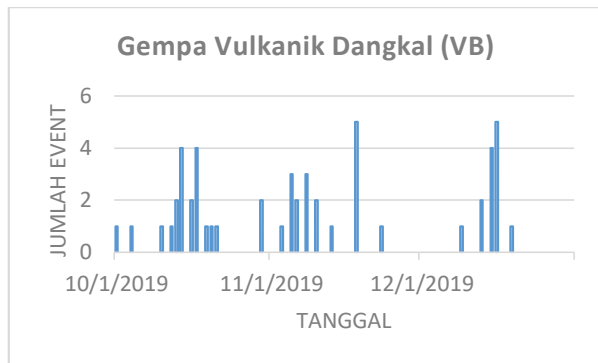
Aktivitas kegempaan Gunung Anak Krakatau yang ditinjau dalam penelitian ini adalah aktivitas dari bulan Oktober-Desember 2019. Adapun jenis gempa yang diamati adalah gempa vulkanik dalam, gempa vulkanik dangkal, letusan, hembusan, gempa *low frequency* dan tremor harmonik sebanyak 1068 *event*.

Jenis gempa tersebut dapat dianalisis dan dibedakan berdasarkan *waveformnya*. Analisis *waveform* dilakukan untuk menganalisis bentuk gelombang, melakukan *picking* gelombang sehingga didapatkan waktu tiba gelombang primer (tp) dan waktu tiba gelombang sekunder (ts) serta selisih waktu tiba gelombangnya (tp-ts). Kemudian untuk menganalisis parameter gempa yang lain, dilakukanlah analisis spektral.

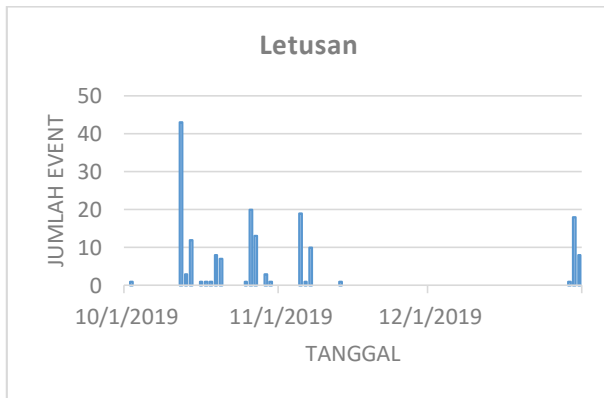
Dari analisis 1068 *event* kegempaan yang terjadi, dapat dilihat aktivitas kegempaan Gunung Anak Krakatau yang telah diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis gempa sebagai berikut.



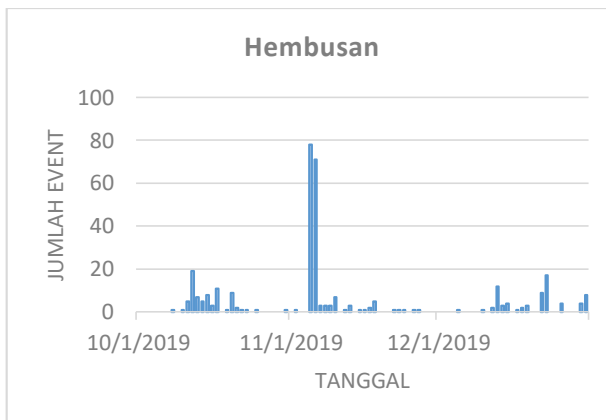
Gambar 4.1 Grafik Seismisitas Gempa Vulkanik Dalam Gunung Anak Krakatau



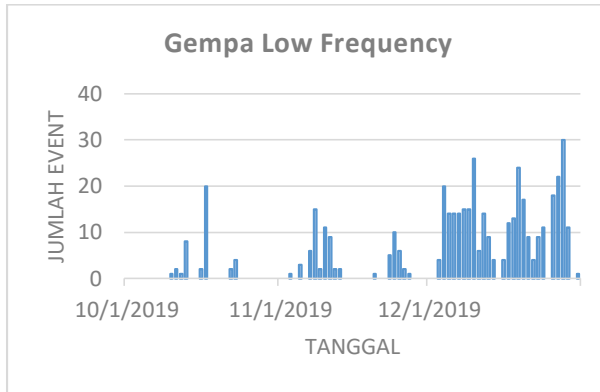
Gambar 4.2 Grafik Seismisitas Gempa Vulkanik Dangkal Gunung Anak Krakatau



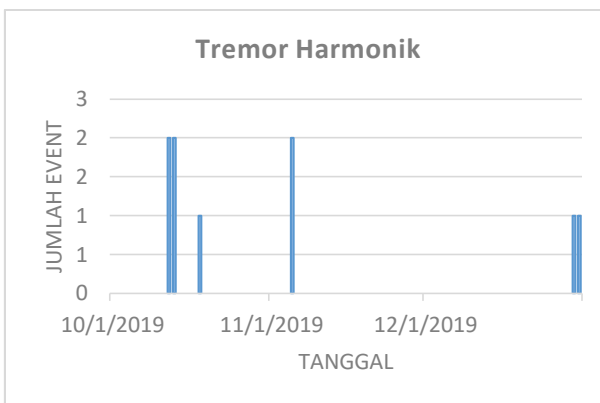
Gambar 4.3 Grafik Seismisitas Letusan Gunung Anak Krakatau



Gambar 4.4 Grafik Seismisitas Hembusan Gunung Anak Krakatau



Gambar 4.5 Grafik Seismisitas Gempa Low Frequency Gunung Anak Krakatau



Gambar 4.6 Grafik Seismisitas Tremor Harmonik Gunung Anak Krakatau

Selama bulan Oktober hingga Desember 2019, Gunung Anak Krakatau cukup banyak melakukan aktivitas kegempaan. Selama masa tersebut, terekam sebanyak 52 gempa vulkanik dalam (VA), 47 gempa vulkanik dangkal (VB), 173 letusan atau erupsi, 331 hembusan, 456 gempa *low frequency* dan 9 tremor harmonik.

Dari grafik 4.1 hingga 4.6, dapat dilihat bahwa aktivitas Gunung anak Krakatau mengalami kenaikan dimulai dari awal bulan Oktober, dimana pada tanggal 1 Oktober mulai terjadi satu gempa vulkanik

dangkal dan dua gempa vulkanik dalam. Disusul kemudian tanggal 2 Oktober terjadi satu kali letusan atau erupsi dan kembali terjadi dua kali gempa vulkanik dalam. Keesokan harinya, kembali terjadi gempa vulkanik dalam pada tanggal 3 Oktober dan juga terjadi satu kali gempa vulkanik dangkal pada 4 Oktober.

Gunung Anak Krakatau beristirahat sejenak dari aktivitasnya pada tanggal 5-9 Oktober dan hanya terjadi satu kali hembusan pada tanggal Oktober. Pada tanggal 10 Oktober, aktivitas Gunung Anak Krakatau kembali mengalami kenaikan, yakni mengalami satu kali hembusan, satu kali gempa *low frequency*, satu kali gempa vulkanik dangkal dan tiga kali gempa vulkanik dalam. Pada tanggal 11 Oktober, aktivitasnya masih relatif sama, yakni terjadi lima kali hembusan, dua kali gempa *low frequency* dan dua kali gempa vulkanik dalam.

Pada tanggal 12 Oktober, aktivitas Gunung Anak Krakatau semakin mengalami kenaikan. Terjadi empat puluh tiga kali letusan atau erupsi, yang dibarengi dengan sembilan belas kali hembusan, kemudian juga diiringi satu kali gempa *low frequency*, satu kali gempa vulkanik dalam, satu kali gempa vulkanik dangkal, dan juga terjadi dua kali tremor harmonik.

Keesokan harinya, aktivitas Gunung Anak Krakatau mengalami penurunan, namun masih terjadi tiga kali letusan dan diiringi tujuh hembusan. Selain itu, juga terjadi delapan kali gempa *low frequency*, dua kali gempa vulkanik dangkal serta dua kali tremor harmonik. Namun pada tanggal 14 Oktober, Gunung Anak Krakatau kembali mengalami sedikit kenaikan, dengan kembali terjadi letusan sebanyak dua belas kali dan juga hembusan sebanyak lima kali. Tidak hanya itu, juga terjadi empat kali gempa vulkanik dangkal dan juga dua kali gempa vulkanik dalam.

Pada tanggal 15 Oktober, aktivitas semakin menurun dan hanya terjadi delapan kali hembusan. Pada tanggal 16 Oktober hingga 20 Oktober, kembali terjadi letusan atau erupsi setiap harinya. Pada tanggal 16 Oktober, terjadi sebanyak satu kali letusan dengan diiringi tiga kali hembusan, dua kali gempa *low frequency*, dua kali gempa vulkanik dangkal serta dua belas kali gempa vulkanik dalam. Pada tanggal 17 Oktober, terjadi satu kali letusan yang diiringi sebelas kali hembusan, dua puluh kali gempa *low frequency*, empat kali gempa vulkanik dangkal dan dua kali gempa vulkanik dalam. Sedangkan

pada tanggal 18 Oktober, terjadi satu kali letusan, satu kali gempa vulkanik dalam dan juga disertai satu kali tremor harmonik.

Letusan cukup banyak terjadi pada tanggal 19 Oktober, yakni terjadi sebanyak delapan kali letusan. Selain itu, juga terjadi satu kali hembusan, satu kali gempa vulkanik dangkal dan tiga kali gempa vulkanik dalam. Pada tanggal 20 Oktober, juga terjadi letusan yang cukup banyak yaitu terdapat tujuh kali letusan, yang diiringi sembilan kali hembusan, satu kali gempa vulkanik dalam dan satu kali gempa vulkanik dangkal.

Pada tanggal 21 Oktober hingga 24 Oktober, aktivitas Gunung Anak Krakatau mengalami penurunan. Pada tanggal 21 Oktober, hanya terjadi dua kali hembusan dan satu kali gempa vulkanik dangkal. Pada tanggal 22 Oktober, terjadi satu kali hembusan, dua kali gempa *low frequency* dan satu kali gempa vulkanik dalam. Adapun pada tanggal 23 Oktober, terjadi satu kali hembusan, empat kali gempa *low frequency* dan satu kali gempa vulkanik dalam. Sedangkan pada tanggal 24 Oktober, tidak terjadi aktivitas apapun.

Pada tanggal 25 Oktober sampai 30 Oktober, kembali terjadi letusan tanpa banyak diiringi aktivitas kegempaan yang lain. Pada tanggal 25 Oktober, terjadi satu kali letusan atau erupsi dan satu kali hembusan saja. Pada tanggal 26 Oktober, terjadi kenaikan aktivitas dengan adanya dua puluh kali letusan. Pada tanggal 27 Oktober, aktivitas sedikit menurun dari hari sebelumnya, yakni terjadi tiga belas kali letusan. Sedangkan pada tanggal 28 Oktober, Gunung Anak Krakatu sedikit beristirahat karena tidak terjadi aktivitas sama sekali. Namun pada keesokan harinya pada tanggal 29 Oktober, aktivitas sedikit mengalami kenaikan dengan terjadi tiga kali letusan. Kemudian letusan juga kembali terjadi di esok harinya yaitu pada tanggal 30 Oktober sebanyak satu kali letusan dan juga terjadi dua kali gempa vulkanik dangkal.

Pada awal bulan November, Gunung Anak Krakatu sedikit mengalami istirahat karena hanya beberapa kali aktivitasnya terekam. Pada tanggal 1 November tidak ada aktivitas apapun yang ditunjukkan oleh Gunung Anak Krakatau. Pada tanggal 2 November, hanya terjadi satu kali hembusan. Adapun pada tanggal 3 November, terjadi satu kali gempa *low frequency* dan satu kali gempa vulkanik dangkal. Sementara itu, pada tanggal 4 November, kembali tidak terjadi aktivitas apapun.

Namun pada tanggal 5 November, aktivitas Gunung Anak Krakatu mengalami kenaikan secara drastis, dengan terjadi sembilan belas kali letusan atau erupsi dan diiringi tujuh puluh delapan kali hembusan, tiga kali gempa *low frequency*, tiga kali gempa vulkanik dangkal serta dua kali tremor harmonik. Aktivitas erupsi terus berlangsung hingga dua hari setelahnya. Pada tanggal 6 November, kembali terjadi satu kali letusan dan tujuh puluh satu kali hembusan, serta dua kali gempa vulkanik dangkal dan satu kali gempa vulkanik dalam. Adapun pada tanggal 7 Oktober, terjadi sepuluh kali letusan, tiga kali hembusan dan juga enam kali gempa *low frequency*.

Aktivitas Gunung Anak Krakatu sedikit mengalami penurunan. Pada tanggal 8 November, terjadi tiga kali hembusan, lima belas kali gempa *low frequency* dan tiga kali gempa vulkanik dangkal. Pada tanggal 9 November terjadi tiga kali hembusan dan dua kali gempa *low frequency* saja. Pada tanggal 10 November aktivitas mengalami sedikit kenaikan dengan terjadi tujuh kali hembusan, sebelas kali gempa *low frequency* dan dua kali gempa vulkanik dangkal. Adapun pada tanggal 11 November, hanya terjadi sembilan kali gempa *low frequency* dan keesokan harinya pada tanggal 12 Oktober, terjadi satu kali hembusan dan dua kali gempa *low frequency*. Pada tanggal 13 November, kembali terjadi satu kali letusan. Selain itu, juga terjadi tiga kali hembusan, dua kali gempa *low frequency*, satu kali gempa vulkanik dangkal dan tiga kali gempa vulkanik dalam.

Aktivitas Gunung Anak Krakatau mengalami penurunan dan tidak terjadi letusan hingga akhir bulan November. Pada tanggal 14 November, tidak terjadi aktivitas apapun di Gunung Anak Krakatau. Sementara itu, pada tanggal 15 November dan 16 November masing-masing hanya terjadi satu kali hembusan. Dan pada tanggal 17 November terjadi dua kali hembusan. Adapun pada tanggal 18 November, terjadi lima kali hembusan serta lima kali gempa vulkanik dangkal. Pada tanggal 19 November, hanya terjadi satu kali gempa vulkanik dalam. Begitu pula yang terjadi di tanggal 20 November yang hanya terjadi satu kali gempa *low frequency*.

Gunung Anak Krakatau tidak menunjukkan adanya aktivitas yang terjadi pada tanggal 21 November. Keesokan harinya, pada 22 November juga hanya terjadi satu kali hembusan. Pada tanggal 23 November, cukup banyak terekam aktivitas yang terjadi. Terdapat satu kali hembusan, lima kali gempa *low frequency* dan satu kali

gempa vulkanik dangkal. Adapun pada tanggal 24 November, terjadi satu kali hembusan dan sepuluh kali gempa *low frequency*. Sedangkan pada tanggal 25 November, hanya terjadi enam kali gempa *low frequency*.

Gunung Anak Krakatau terus mengalami penurunan aktivitas. Pada tanggal 26 November, aktivitas yang terjadi hanya satu kali hembusan dan dua kali gempa *low frequency*. Sedangkan pada tanggal 27 November hanya terjadi satu kali hembusan dan satu kali gempa *low frequency*. Setelah itu, Gunung Anak Krakatau kembali beristirahat dan tidak menunjukkan adanya aktivitas kegempaan dari tanggal 28 November hingga 2 Desember.

Pada tanggal 3 Desember, Gunung Anak Krakatau terlihat mulai beraktivitas kembali dengan terekamnya empat kali gempa *low frequency*. Pada awal bulan Desember ini, aktivitas kegempaan Gunung Anak Krakatau didominasi oleh gempa *low frequency* yang cukup banyak terjadi. Seperti pada tanggal 4 Desember, aktivitas Gunung Anak Krakatau mengalami sedikit kenaikan dengan terjadi dua puluh kali gempa *low frequency*. Pada tanggal 5 Desember, juga kembali terjadi empat belas kali gempa *low frequency* dan disertai satu kali hembusan. Hal serupa juga terjadi dua hari setelahnya, yaitu pada tanggal 6 dan 7 November, dimana masing-masing terjadi empat belas kali gempa *low frequency*.

Gempa *low frequency* kembali terjadi pada tanggal 8 November sebanyak lima belas kali dan disertai dengan tiga kali gempa vulkanik dalam. Pada tanggal 9 November, juga terjadi lima belas kali gempa *low frequency*, disertai satu kali gempa vulkanik dangkal dan juga satu kali gempa vulkanik dalam. Pada tanggal 10 Desember, terjadi dua puluh enam kali gempa *low frequency* dan juga satu kali hembusan. Adapun pada tanggal 11 Oktober, terjadi enam kali gempa *low frequency* saja.

Gempa *low frequency* masih terus terjadi hampir setiap hari hingga akhir bulan. Pada tanggal 12 Desember, kembali terjadi empat belas kali gempa *low frequency* disertai dua kali hembusan. Keesokan harinya, terjadi sembilan kali gempa *low frequency* dan juga dua belas kali hembusan dan dua kali gempa vulkanik dangkal. Pada tanggal 14 Desember, terjadi tiga kali hembusan, empat kali gempa *low frequency* dan dua kali gempa vulkanik dalam. Sementara itu, pada tanggal 15 Desember terjadi empat kali hembusan dan empat

kali gempa vulkanik dangkal serta satu kali gempa vulkanik dalam. Pada tanggal 16 Desember, terjadi empat kali gempa *low frequency* dan juga lima kali gempa vulkanik dangkal.

Pada tanggal 17 Desember, kembali terjadi kenaikan gempa *low frequency* yang terjadi sebanyak dua belas kali dan disertai satu kali hembusan. Pada tanggal 18 Desember, gempa *low frequency* masih terjadi dengan frekuensi yang cukup tinggi yaitu sebanyak tiga belas kali disertai dua kali hembusan. Pada tanggal 19 Desember aktivitas semakin meningkat dengan terjadi dua puluh empat gempa *low frequency*, tiga kali hembusan dan satu kali gempa vulkanik dangkal. Adapun pada tanggal 20 Desember, terjadi tujuh belas gempa *low frequency* dan juga satu kali gempa vulkanik dalam.

Aktivitas Gunung Anak Krakatau sedikit menurun pada tanggal 21 Desember dengan hanya terjadi sembilan kali gempa *low frequency*. Pada tanggal 22 Desember, terjadi empat kali gempa *low frequency* disertai sembilan kali hembusan. Pada tanggal 23 Desember, hembusan terjadi semakin banyak yaitu sebanyak tujuh belas kali dan juga terjadi sembilan kali gempa *low frequency*. Adapun pada tanggal 24 Desember hanya terjadi sebelas kali gempa *low frequency* saja. Sementara itu, pada tanggal 25 Desember, Gunung Anak Krakatau kembali tidak menunjukkan adanya aktivitas apapun.

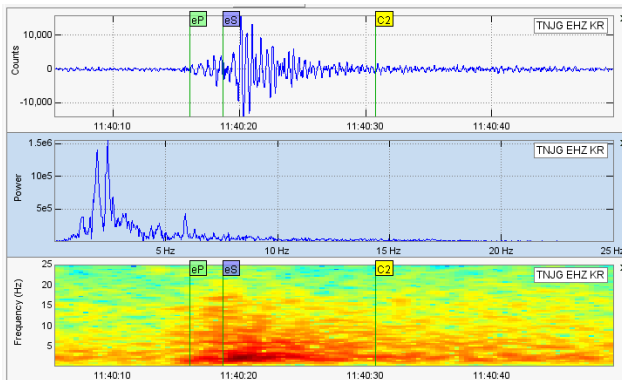
Setelah itu, aktivitas kembali terjadi, terutama gempa *low frequency* yang cukup banyak mendominasi. Pada tanggal 26 Desember, terjadi delapan belas kali gempa *low frequency* dan juga empat kali hembusan. Sedangkan pada tanggal 27 Desember dan 28 Desember, hanya terjadi gempa *low frequency* saja namun dengan jumlah yang cukup tinggi yaitu masing-masing sebanyak dua puluh dua kali dan tiga puluh kali gempa *low frequency*.

Aktivitas erupsi atau letusan kembali terjadi setelah lebih dari satu bulan Gunung Anak Krakatau tidak mengalami letusan sama sekali. Pada tanggal 29 Desember terjadi satu kali letusan yang disertai sebelas kali gempa *low frequency*. Pada tanggal 30 Desember, aktivitas letusan terjadi cukup sering yaitu sebanyak delapan belas kali dalam sehari dan disertai dengan empat kali hembusan dan juga satu kali tremor harmonik. Aktivitas letusan masih terus berlanjut di esok harinya yaitu tanggal 31 Desember,

dengan terjadi delapan kali letusan, delapan kali hembusan, satu kali gempa *low frequency* dan satu kali tremor harmonik.

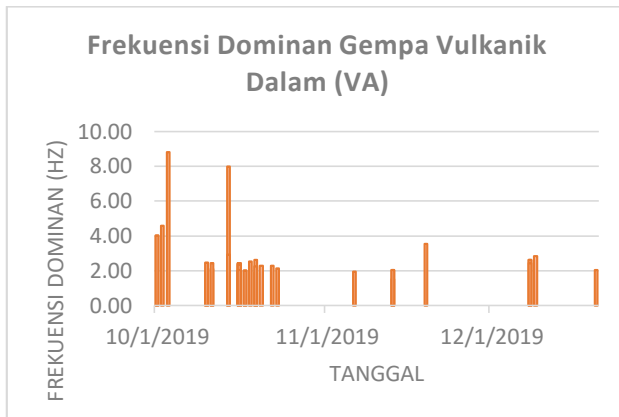
4.2 Analisis Karakteristik Setiap Jenis Gempa

Dalam penelitian ini, jenis gempa yang dianalisis diantaranya adalah gempa vulkanik dalam (VA). Gempa vulkanik dalam dapat dengan mudah diamati dari *waveform* atau bentuk gelombangnya, dengan ciri-ciri kedatangan gelombang primer dan gelombang sekunder terlihat jelas. Salah satu contoh tampilannya adalah sebagai berikut.



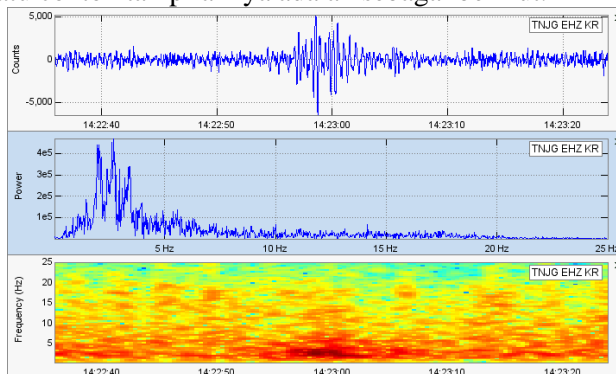
Gambar 4.7 Rekaman Gempa Vulkanik Dalam 16 Oktober 2019 pukul 11.40 UTC atau 18.40 WIB oleh Stasiun TNJG

Gempa vulkanik dalam (VA) yang terjadi di Gunung Anak Krakatau pada bulan Oktober-Desember 2019 memiliki amplitudo gelombang antara 6.86-50.89 mm, dengan selisih waktu tiba gelombang p dan gelombang s (tp-ts) antara 0.5-3 detik dan waktu kejadiannya selama 6 hingga 30 detik. Frekuensi dominan rata-rata antara 2 hingga 3 Hz dan memiliki nilai minimum sebesar 1.52 Hz dan nilai maksimum sebesar 8.81 Hz. Besarnya frekuensi dominan keseluruhan gempa vulkanik dalam disajikan dalam grafik berikut.



Gambar 4.8 Grafik Frekuensi Dominan Gempa Vulkanik Dalam Oktober-Desember 2019

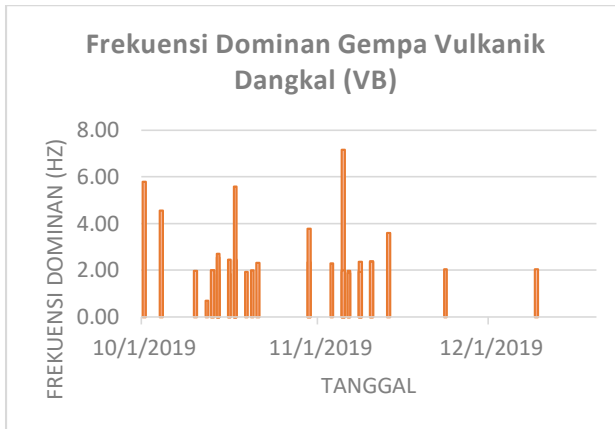
Selain gempa vulkanik dalam, jenis gempa lain yang dianalisis dalam penelitian ini adalah gempa vulkanik dangkal (VB). Gempa vulkanik dangkal dapat dengan mudah diamati dari *waveform* atau bentuk gelombangnya, dengan ciri-ciri kedatangan gelombang primer terlihat jelas dan gelombang sekunder tidak terlihat jelas. Salah satu contoh tampilannya adalah sebagai berikut.



Gambar 4.9 Rekaman Gempa Vulkanik Dangkal 14 Oktober 2019 pukul 14.22 UTC atau 21.22 WIB oleh Stasiun TNJG

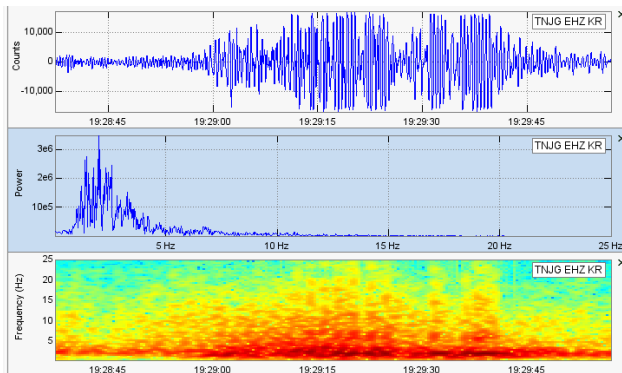
Gempa vulkanik dangkal (VB) yang terjadi di Gunung Anak Krakatau pada bulan Oktober-Desember 2019 memiliki amplitudo

gelombang antara 3.91-39.86 mm, dengan waktu kejadiannya selama 5 hingga 26 detik. Frekuensi dominan rata-rata antara 2 hingga 3 Hz serta memiliki nilai minimum sebesar 0.7 Hz dan nilai maksimum sebesar 7.16 Hz. Besarnya frekuensi dominan keseluruhan gempa vulkanik dangkal disajikan dalam grafik berikut.



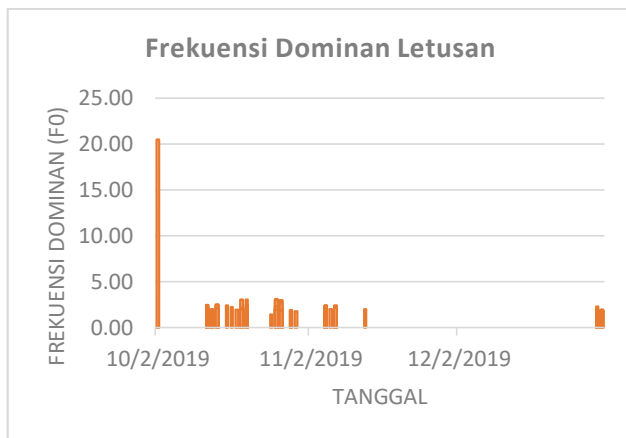
Gambar 4.10 Grafik Frekuensi Dominan Gempa Vulkanik Dangkal Oktober-Desember 2019

Selain gempa vulkanik dalam dan gempa vulkanik dangkal, jenis aktivitas kegempaan lain yang dianalisis dalam penelitian ini adalah letusan atau erupsi. Aktivitas letusan dapat diamati dari *waveform* atau bentuk gelombangnya, dengan ciri-ciri terdapat kenaikan amplitudo dan frekuensi gelombang secara pesat. Salah satu contoh tampilannya adalah sebagai berikut.



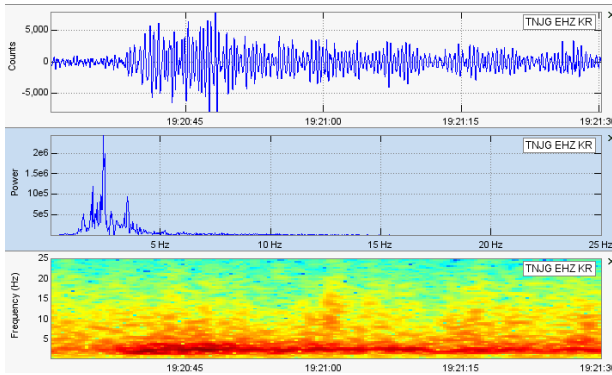
Gambar 4.11 Rekaman Letusan 13 Oktober 2019 19.29 UTC atau 14 Oktober 2019 02.29 WIB oleh Stasiun TNJG

Letusan yang terjadi di Gunung Anak Krakatau pada bulan Oktober-Desember 2019 memiliki amplitudo gelombang antara 10.87-51.91 mm, dengan waktu kejadiannya selama 14 detik hingga 2991 detik atau 49 menit 51 detik . Frekuensi dominan rata-rata sekitar 2 Hz dan memiliki nilai minimum sebesar 0.92 Hz dan nilai maksimum sebesar 3.12 Hz. Besarnya frekuensi dominan keseluruhan letusan disajikan dalam grafik berikut.



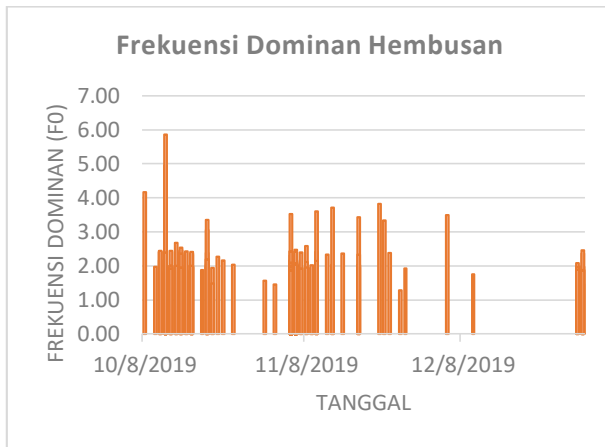
Gambar 4.12 Grafik Frekuensi Dominan Oktober-Desember 2019

Selain jenis gempa yang telah disebutkan sebelumnya, jenis gempa lain yang dianalisis dalam penelitian ini adalah hembusan. Sama seperti letusan, hembusan juga dapat diamati dari *waveform* atau bentuk gelombangnya dan juga dibantu oleh beberapa parameter yang terlihat dalam bentuk spektralnya. Salah satu contoh tampilannya adalah sebagai berikut.



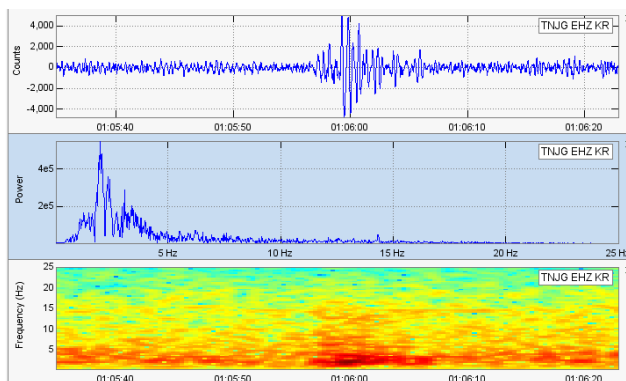
Gambar 4.13 Rekaman Hembusan 13 Oktober 2019 19.20 UTC atau 14 Oktober 2019 02.20 WIB oleh Stasiun TNJG

Hembusan yang terjadi di Gunung Anak Krakatau pada bulan Oktober-Desember 2019 memiliki amplitudo gelombang antara 2.46-51.91 mm, dengan waktu kejadiannya selama 9 detik hingga 273 detik atau 4 menit 33 detik. Frekuensi dominan rata-rata sekitar 2 Hz serta memiliki nilai minimum sebesar 0.57 Hz dan nilai maksimum sebesar 5.86 Hz. Besarnya frekuensi dominan keseluruhan aktivitas hembusan disajikan dalam grafik berikut.



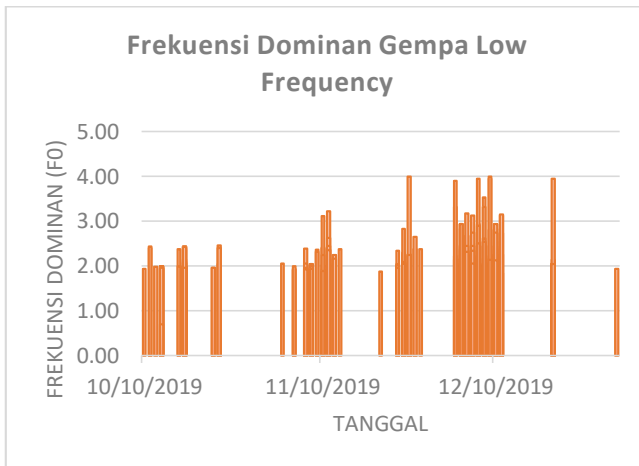
Gambar 4.14 Grafik Frekuensi Dominan Hembusan Oktober-Desember 2019

Selain jenis gempa yang telah disebutkan sebelumnya, jenis gempa lain yang dianalisis dalam penelitian ini adalah gempa *low frequency*. Sama seperti letusan dan hembusan, gempa *low frequency* juga dapat diamati dari *waveform* atau bentuk gelombangnya dan juga dibantu oleh beberapa parameter yang terlihat dalam bentuk spektralnya. Salah satu contoh tampilannya adalah sebagai berikut.



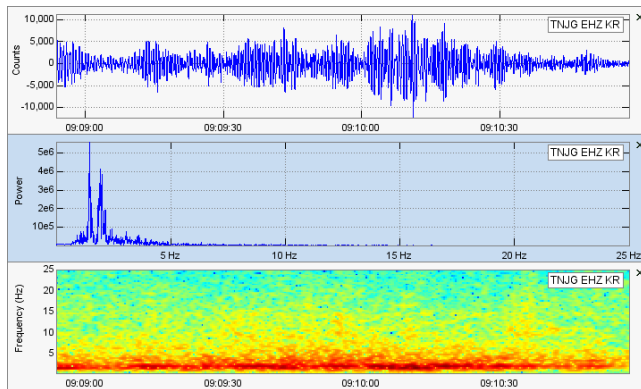
Gambar 4.15 Rekaman Gempa Low Frekuensi 17 Oktober 2019 01.05 UTC atau 08.05 WIB oleh Stasiun TNJG

Gempa *low frequency* yang terjadi di Gunung Anak Krakatau pada bulan Oktober-Desember 2019 memiliki amplitudo gelombang antara 4.47-55.44 mm, dengan waktu kejadiannya selama 3 hingga 45 detik. Frekuensi dominan rata-rata antara 2 hingga 2.5 Hz serta memiliki nilai minimum sebesar 0.7 Hz dan nilai maksimum sebesar 4 Hz. Besarnya frekuensi dominan keseluruhan gempa *low frequency* disajikan dalam grafik berikut.



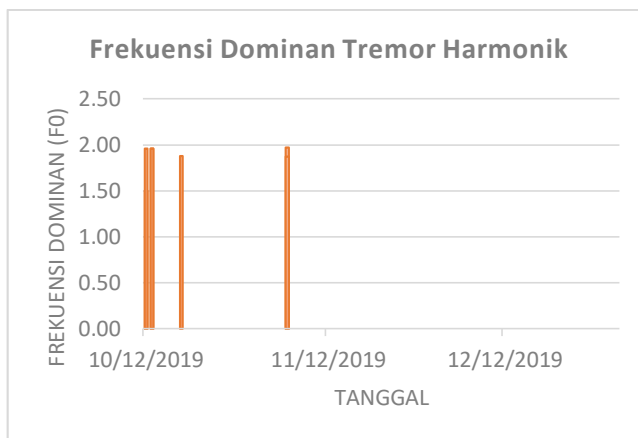
Gambar 4.16 Grafik Frekuensi Dominan Gempa Low Frequency Oktober-Desember 2019

Selain jenis-jenis gempa yang telah disebutkan sebelumnya, jenis gempa terakhir yang dianalisis dalam penelitian ini adalah tremor harmonik. Sesuai dengan namanya, tremor harmonik dapat diamati dari *waveform* atau bentuk gelombangnya dimana amplitudo gelombangnya naik turun secara teratur atau harmonis. Salah satu contoh tampilannya adalah sebagai berikut.



Gambar 4.17 Rekaman Tremor Harmonik 12 Oktober 2019 09.09 UTC atau 16.09 WIB oleh Stasiun TNJG

Tremor harmonik yang terjadi di Gunung Anak Krakatau pada bulan Oktober-Desember 2019 memiliki amplitudo gelombang antara 1.41-34.24 mm, dengan waktu kejadiannya selama 22 detik hingga 309 detik atau 5 menit 6 detik. Frekuensi dominan di bawah 2 Hz serta memiliki nilai minimum sebesar 1.50 Hz dan nilai maksimum sebesar 1.97 Hz. Besarnya frekuensi dominan keseluruhan tremor harmonik disajikan dalam grafik berikut.



Gambar 4.18 Grafik Frekuensi Dominan Tremor Harmonik Oktober-Desember 2019

Dalam penelitian ini, untuk menentukan parameter kegempaan dilakukan metode Fast Fourier Transform (FFT) yang diaplikasikan pada satu *event* gempa untuk melihat frekuensi dominannya. Juga diperlihatkan perubahan frekuensi dominan terhadap waktu menggunakan metode Short Time Fourier Transform (STFT).

Grafik pertama masing-masing jenis gempa menunjukkan bentuk gelombang, dimana sumbu x menunjukkan waktu kejadian gempa dan sumbu y menunjukkan panjangnya amplitudo gelombang. Adanya *event* kegempaan ditandai dengan kenaikan amplitudo secara signifikan.

Sedangkan grafik kedua menunjukkan tampilan spektral setelah dilakukan transformasi fourier. Sumbu x pada grafik tersebut menunjukkan besarnya frekuensi dan sumbu y menunjukkan daya. Dalam grafik tersebut, frekuensi yang paling terlihat (puncaknya tertinggi) merupakan frekuensi dominan.

Nilai frekuensi digunakan untuk mempelajari sifat-sifat serapan frekuensi gelombang seismik yang melalui batuan Gunung Anak Krakatau, serta untuk menunjukkan gejala aktivitas yang terjadi pada Gunung Anak Krakatau. Frekuensi dominan sebuah gelombang merupakan frekuensi dasar ketika resonansi terjadi dan paling sering hadir, sehingga dikatakan sebagai nilai frekuensi yang dapat menunjukkan karakteristik dari gelombang tersebut. Pengolahan dalam perolehan nilai frekuensi dominan juga dipengaruhi oleh pemilihan panjang data, atau bergantung dari durasi gelombang yang terekam. Sehingga perlu dipastikan frekuensi dominan yang didapat adalah benar-benar dari kejadian gempa yang dianalisis sesuai dengan durasinya, bukan dari gempa lain atau *noise*.

Sedangkan grafik ketiga merupakan tampilan spektrogram. Dalam grafik tersebut, sumbu x menunjukkan waktu kejadian gempa dan sumbu y menunjukkan besarnya frekuensi. Dalam grafik ini, juga ditampilkan spektrum energi, dengan urutan warna biru-hijau-kuning-oranye-merah. Semakin menuju ke arah merah, artinya energi yang dilepaskan dalam kejadian gempa di waktu tersebut semakin tinggi.

4.3 Mekanisme Letusan

Karakter letusan Gunung Anak Krakatau ditentukan oleh sifat erupsi dan produk erupsinya. Pada masa Gunung Krakatau Purba purba hingga letusan tahun 1883, karakter letusannya adalah letusan eksplosif yang diikuti letusan magmatis yang menghasilkan letusan abu dan aliran lava. Letusan paroksimal yang terjadi tahun 1883 meruntuhkan tubuh gunungapi dan menghasilkan kaldera. Pada masa pembentukan Gunung Anak Krakatau karakter letusannya adalah letusan eksplosif yang menghasilkan erupsi abu dan letusan freatik yang menghasilkan kolom awan berupa uap air, setelah tubuh gunungapi muncul ke permukaan laut, sifat letusan didominasi oleh letusan magmatis yang menghasilkan aliran lava ke arah laut yang kemudian menambah luas dari Pulau Anak Krakatau hingga saat ini karakteristik letusan Gunung Anak Krakatau didominasi oleh letusan eksplosif dan magmatis.

Kenaikan aktivitas Gunung Anak Krakatau ditandai dengan gejala awal berupa perubahan-perubahan, baik itu perubahan parameter fisika maupun kimia yang terlihat secara visual dan terukur secara instrumental. Peningkatan aktivitas Gunung Anak Krakatau selama bulan Oktober dan November 2019 diawali dengan meningkatnya gempa vulkanik dalam dan gempa vulkanik dangkal, serta gempa *low frequency*. Lalu diikuti letusan yang disertai dengan hembusan dan tremor harmonik. Sementara itu, peningkatan aktivitas di bulan Desember 2019 didominasi oleh meningkatnya gempa *low frequency*, dengan beberapa gempa vulkanik dalam dan gempa vulkanik dangkal. Lalu terjadi letusan yang disertai hembusan dan tremor harmonik.

Proses di dalam Gunung Anak Krakatau merupakan proses migrasi magma yang disebabkan oleh adanya peningkatan aktivitas magma. Pemantauan aktivitas kegempaan menunjukkan jenis gempa yang berhubungan dengan aktivitas vulkanik di permukaan dan magmatik di bawah permukaan.

Magma yang mengandung gas, sedikit demi sedikit naik ke permukaan karena massanya yang lebih ringan dibanding batubatuan padat di sekelilingnya. Sehingga menyebabkan gempa vulkanik yang menyebabkan rekahan-rekahan pada dinding magma. Magma dan gas gunung api terus mendorong ke permukaan melalui rekahan-rekahan dan lorong-lorong. Ketika magma dan gas vulkanik berpindah akan menyebabkan retakan hingga

pecahnya batuan. Retakan atau pecahnya batuan ini akan menjadi sumber getaran. Adanya gempa vulkanik dalam dan gempa vulkanik dangkal yang mengawali kenaikan aktivitas menunjukkan proses intrusi magma ke permukaan dan menunjukkan intensnya suplai magma dari bawah ke permukaan.

Proses kejadian gempa vulkanik dangkal (VA) hampir sama dengan gempa tektonik yaitu hasil dari mekanisme sumber yang tiba-tiba di batuan yang keras. Penyebab dari gempa ini adalah naiknya magma ke permukaan dengan disertai oleh rekahan-rekahan, yang dimaksudkan untuk membuka jalan magma untuk keluar ke permukaan jika terjadi letusan.

Selain gempa vulkanik dalam, aktivitas kegempaan Gunung Anak Krakatau juga diawali oleh gempa vulkanik dangkal. Dalam gempa vulkanik dangkal, mekanisme sumber terjadi di batuan yang setengah padat yang dapat diartikan terjadi di dalam konduit.

Gempa vulkanik biasa terjadi sebelum, sesaat maupun sesudah letusan. Gempa vulkanik yang disebabkan oleh tekanan dari bawah ke atas biasanya terjadi sebelum letusan dan gempa vulkanik yang terjadi karena adanya penurunan tekanan terjadi sesudah letusan. Hal ini dapat dilihat pada seismisitasnya, pada Gambar 4.1 sampai 4.6, bahwa gempa vulkanik dalam maupun dangkal masih terus terjadi meskipun letusan telah berlangsung.

Gempa vulkanik dalam dan vulkanik dangkal memiliki nilai frekuensi yang berbeda. Hal ini terjadi karena perbedaan energi yang dihasilkan oleh masing-masing gempa. Dalam kejadian gempa vulkanik, frekuensi dan energi yang dihasilkan sangat besar dibanding jenis gempa yang lain. Energi yang besar tersebut digunakan untuk membuka rekahan-rekahan sebagai jalan lewatnya magma untuk keluar ke permukaan. Semakin dalam gempa vulkanik yang terjadi, maka semakin besar atau panjang rekahan yang perlu dibuat, sehingga memerlukan energi yang semakin besar pula. Hal inilah yang menyebabkan gempa vulkanik dalam memiliki energi dan frekuensi terbesar.

Selama bulan Desember, aktivitas sebelum letusan diawali oleh gempa *low frequency*. Gempa ini mengindikasikan pergerakan gas atau cair, atau terjadi retakan pada batuan yang kurang padat. Sehingga idealnya memiliki nilai frekuensi dominan yang kecil. Namun hasil pengamatan tidak menunjukkan demikian dikarenakan

banyaknya *noise* yang terjadi, sehingga *noise* yang ada malah terlihat dominan daripada kejadian gempa itu sendiri. Sehingga untuk penelitian selanjutnya perlu untuk dilakukan *filtering*.

Banyaknya gempa vulkanik maupun gempa *low frequency* yang terjadi menyebabkan tekanan magma sudah di titik kritis, sehingga jika terjadi guncangan gempa sedikit saja yang berlangsung di dalam kawah, maka berpotensi terjadi letusan. Letusan gunungapi sendiri sebenarnya disebabkan oleh gaya yang berasal dari dalam bumi akibat terganggunya sistem kesetimbangan magma (kesetimbangan suhu, termodinamika dan hidrosatik) dan sistem kesetimbangan geologi (kesetimbangan gaya tarik bumi, kimia-fisika, dan panas bumi). Pada aktivitas letusan, material magma berupa lahar, material vulkanik bercampur air, debu dan awan vulkanik dikeluarkan menuju ke permukaan lewat rekahan-rekahan yang terbentuk akibat adanya gempa vulkanik yang terjadi sebelumnya.

Selain terjadi letusan, juga disertai dengan hembusan. Dimana hembusan ini menunjukkan aktivitas hembusan asap yang berpusat di lubang letusan. Selain itu, juga disertai dengan tremor harmonik yang berasosiasi dengan pergerakan fluida di dalam kantong magma.

Selama bulan Oktober-Desember 2019, terdapat lebih dari 1000 kejadian gempa. Banyaknya aktivitas yang terjadi selama bulan Oktober-Desember 2019 mengindikasikan dangkalnya aktivitas magmatik di bawah permukaan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang didapat serta analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Selama bulan Oktober-Desember 2019, Gunung Anak Krakatau mengalami 173 kali letusan atau erupsi, 331 kali hembusan, 456 kali gempa low frequency, 52 kali gempa vulkanik dangkal, 47 kali gempa vulkanik dalam dan 9 kali tremor harmonik. Kegempaan Gunung Anak Krakatau tersebut dapat dilihat dari bentuk gelombangnya dan ditunjang oleh parameter penting lain yang didapatkan dari analisis spektral, yaitu berupa frekuensi dominan.
2. Gempa vulkanik dalam (VA) Gunung Anak Krakatau memiliki karakteristik diantaranya memiliki amplitudo gelombang antara 6.86-50.89 mm, dengan durasi selama 6-30 detik serta frekuensi dominan 1.52-8.81 Hz. Sementara itu, gempa vulkanik dangkal (VB) memiliki karakteristik amplitudo gelombang antara 3.91-39.86 mm, dengan durasi selama 5-26 detik serta frekuensi dominan 0.7-7.16 Hz. Letusan Gunung Anak Krakatau memiliki amplitudo 10.87-51.91 mm, dengan durasi selama 14-2991 detik serta frekuensi dominan 0.92-3.12 Hz. Adapun hembusannya memiliki amplitudo gelombang antara 2.46-51.91 mm, dengan durasi selama 9-273 detik serta frekuensi dominan 0.57-5.86 Hz. Gempa *Low Frequency* Gunung Anak Krakatau memiliki amplitudo gelombang antara 4.47-55.44 mm, dengan durasi selama 3-45 detik serta frekuensi dominan 0.7-4 Hz. Sementara itu, tremor harmonik memiliki amplitudo gelombang antara 1.41-34.24 mm, dengan durasi selama 22-309 detik serta frekuensi dominan 1.50-1.97 Hz.
3. Peningkatan aktivitas Gunung Anak Krakatau selama bulan Oktober dan November 2019 diawali dengan meningkatnya gempa vulkanik dalam dan gempa vulkanik dangkal, serta beberapa gempa *low frequency*, sementara di bulan Desember 2019 didominasi oleh meningkatnya gempa low frequency, dengan beberapa gempa vulkanik dalam dan gempa vulkanik dangkal. Hal tersebut menunjukkan adanya aktivitas magmatik, yaitu naiknya material magma dari dalam bumi menuju ke

permukaan dengan disertai rekahan. Lalu diikuti letusan yang disertai dengan hembusan dan tremor harmonik. Letusan dan hembusan yang terjadi, mengeluarkan material magmatik melalui rekahan yang telah terbentuk pada gempa vulkanik yang mendahuluinya.

5.2 Saran

Pelaksanaan penelitian ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, diantaranya:

1. Melakukan *filtering* terlebih dahulu agar data yang dianalisis tidak bercampur dengan *noise*, sehingga bisa lebih akurat.
2. Diperlukan ketelitian yang tinggi dalam melakukan *picking* gelombang pada masing-masing kejadian gempa.
3. Melakukan penelitian menggunakan data minimal 3 stasiun agar lebih akurat.
4. Mempertimbangkan aspek lain mengenai aktivitas Gunung Anak Krakatau seperti pengamatan visual, deformasi atau lainnya sehingga analisis mengenai aktivitas kegempaan lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, dkk. 2007. “Karakteristik Deformasi Gunungapi Ijen dalam Periode 2002-2005 Hasil Estimasi Metode Survei GPS”. Dalam Jurnal Sains Teknik Sipil dan Lingkungan ITB.
- Asparini Dewi. 2011. “Penerapan Metode Stacking dalam Pemrosesan Sinyal Seismik Laut di Perairan Barat Aceh”. Skripsi. Bogor: IPB.
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Wiley.
- Ernawati, E. 2011. “Identifikasi Medium Bawah Permukaan Gunung Sinabung berdasarkan Nilai Q-factor”. Skripsi. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- ESDM. 2014. “Data Dasar Gunungapi Indonesia – Gunung Krakatau”. www.vsi.esdm.go.id diakses pada 13 Februari 2020.
- Gadallah, R.M dan Fisher, R. 2009. *Exploration Geophysics*. Berlin: Springer.
- Hidayati, S. 2010. *Pengenalan Seismologi Gunungapi*. Bandung: Diklat Pelaksana Pemula Pengamat Gunungapi Baru Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Hutabarat, R.G. 2009. “Integrasi Inversi Seismik dengan Atribut Amplitudo Seismik untuk Memetakan Distribusi Reservoir pada Lapangan Blackfoot”. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia
- Jamady Aris. 2011. “Kuantifikasi Frekuensi dan Resolusi Menggunakan Seismik Refleksi di Perairan Maluku Utara”. Skripsi. Bogor: IPB.
- Memed, Moch. Wachyudi, dkk. 2019. *Dinamika Geologi Selat Sunda dalam Pembangunan Berkelanjutan*. Bandung : Badan Geologi
- Rosmiyatin, dan Abdul Basid. 2012. “Penentuan Sebaran Hiposenter Gunungapi Merapi Berdasarkan Data Gempa Vulkanik Tahun 2006”. Dalam Jurnal Neutrino Volume 4, Nomor 2.
- Susilawati. 2004. *Seismik Refraksi (Dasar Teori dan Akuisisi Data)*. Medan : USU Digital Library.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Sutawidjaja, I. S. 2006. “Pertumbuhan Gunungapi Anak Krakatau setelah Letusan Katastropis 1883”. Dalam Jurnal Geologi Indonesia Volume 1 Nomor 3 (hlm. 143-153).
- Tipler, Paul. A; alih bahasa, Bambang Soegijono; editor, Wibi Hardani.

2001. *Fisika Untuk Sains Dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Welayaturromadhona. 2013. “Analisis Fisis Aktivitas Gunung Talang – Sumatra Barat Berdasarkan Karakteristik Spektral dan Estimasi Hiposenter Gempa Vulkanik”. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Witton. dan Pattick, Elliot. 2003. *Volcano Seismology in Indonesia*. Lonely Planet Publications, Ltd.
- Zaennudin, Akhmad. 2010. “The Charateristic of Eruption of Indonesian Active Volcanoes In The Last Four Decades”. Dalam Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi.

LAMPIRAN

Tabel 1 Data Parameter Gempa Vulkanik Dalam

Tanggal	Jam (WIB)	Amplitudo (mm)	S-P (s)	lama (s)	f0 (Hz)
10/1/2019	06.07	7.442	0.60	9	4.00
10/1/2019	07.07	7.066	2.39	11	4.05
10/2/2019	08.40	6.881	3.00	12	4.60
10/2/2019	21.12	8.804	0.62	9	2.50
10/3/2019	00.01	8.344	0.50	8	8.81
10/10/2019	20.15	19.745	2.15	16	1.97
10/10/2019	21.38	30.120	2.30	17	2.44
10/10/2019	22.09	19.539	1.97	20	2.48
10/11/2019	01.23	30.032	1.78	20	2.09
10/11/2019	01.34	11.513	2.80	16	2.44
10/12/2019	14.12	38.694	2.00	14	2.70
10/14/2019	08.12	8.075	1.80	8	8
10/14/2019	23.59	26.042	0.80	16	2.94
10/16/2019	05.15	38.594	2.00	12	1.94
10/16/2019	10.35	33.867	1.75	15	2.44
10/16/2019	10.41	33.867	1.67	19	2.00
10/16/2019	12.12	19.411	2.11	21	2.42
10/16/2019	12.37	38.158	1.60	17	2.43
10/16/2019	16.54	38.158	1.97	30	1.96
10/16/2019	18.35	29.886	2.75	13	2.43
10/16/2019	18.40	29.886	3.00	15	2.35
10/16/2019	19.42	32.700	2.28	20	2.42
10/16/2019	19.46	32.700	2.34	17	2.35
10/16/2019	21.35	45.653	1.56	16	2.00
10/16/2019	22.04	31.285	1.62	12	2.04
10/17/2019	03.53	30.833	2.13	15	2.00
10/17/2019	12.32	26.944	1.86	15	2.00

10/18/2019	20.08	36.897	1.69	24	2.54
10/19/2019	13.03	6.863	1.39	15	2.62
10/19/2019	19.12	9.682	1.62	12	1.88
10/19/2019	20.25	47.874	2.22	17	2.27
10/20/2019	01.08	8.894	2.10	11	2.28
10/22/2019	14.45	19.951	2.76	17	2.30
10/23/2019	10.09	47.841	1.15	6	2.13
11/6/2019	15.47	31.621	2.00	13	1.94
11/13/2019	17.15	10.245	2.00	20	2.04
11/13/2019	19.02	50.894	2.00	21	1.52
11/13/2019	21.40	27.033	2.00	17	2.04
11/19/2019	00.04	32.763	3.00	17	3.55
12/8/2019	07.34	21.626	1.50	13	2.63
12/8/2019	07.42	14.578	2.00	12	2.63
12/8/2019	09.17	9.512	2.00	12	2.45
12/9/2019	05.27	13.037	3.00	13	2.85
12/20/2019	16.44	22.495	1.80	12	2.04

Tabel 2 Data Parameter Gempa Vulkanik Dangkal

Tanggal	Jam (WIB)	Amplitudo (mm)	lama (s)	f0 (Hz)
10/1/2019	06.54	3.914	8	5.78
10/4/2019	11.55	7.300	5	4.56
10/10/2019	20.20	19.745	20	1.97
10/12/2019	10.07	34.241	20	0.70
10/13/2019	04.54	35.445	15	2.00
10/13/2019	05.04	35.445	15	2.00
10/14/2019	04.42	12.074	23	2.00
10/14/2019	11.37	5.438	16	2.54
10/14/2019	20.02	8.286	13	1.82
10/14/2019	21.22	11.657	11	2.70

10/16/2019	19.10	4.042	17	1.84
10/16/2019	22.44	36.743	17	2.46
10/17/2019	04.05	30.833	12	2.46
10/17/2019	04.54	14.710	16	2.42
10/17/2019	05.43	4.378	17	2.00
10/17/2019	11.46	39.860	12	5.58
10/19/2019	12.13	36.133	26	1.92
10/20/2019	10.27	16.493	17	2.00
10/21/2019	07.33	16.574	8	2.32
10/30/2019	18.02	4.687	14	2.35
10/30/2019	18.02	4.687	11	3.78
11/3/2019	07.01	11.101	14	2.29
11/5/2019	08.29	8.375	21	7.16
11/5/2019	11.47	34.765	23	1.94
11/5/2019	13.13	22.418	20	2.00
11/6/2019	04.46	29.954	19	1.98
11/6/2019	22.22	31.648	18	1.88
11/8/2019	04.41	24.454	18	1.98
11/8/2019	17.29	11.130	16	2.36
11/8/2019	19.23	16.852	15	1.94
11/10/2019	03.55	14.304	21	2.38
11/10/2019	17.44	29.953	18	2.37
11/13/2019	22.36	29.393	23	3.59
11/23/2019	11.45	11.021	17	2.04
12/9/2019	09.29	35.187	15	2.04

Tabel 3 Data Parameter Letusan

Tanggal	Jam (WIB)	Aplitudo (mm)	lama (s)	f0 (Hz)
10/2/2019	20.12	10.873	15	2.05
10/12/2019	10.10	34.241	185	0.92

10/12/2019	10.31	35.009	45	2.12
10/12/2019	11.36	31.571	50	2.44
10/12/2019	12.26	33.485	114	2.00
10/12/2019	14.10	38.694	111	1.96
10/12/2019	14.13	38.694	357	1.88
10/12/2019	14.19	38.694	164	2.00
10/12/2019	14.22	38.694	119	1.80
10/12/2019	14.25	38.694	103	1.96
10/12/2019	14.33	38.694	124	2.00
10/12/2019	14.38	38.694	90	2.00
10/12/2019	14.41	38.694	144	2.00
10/12/2019	14.46	38.694	103	1.96
10/12/2019	14.50	37.261	69	2.00
10/12/2019	14.55	37.261	118	1.96
10/12/2019	14.59	37.261	63	1.96
10/12/2019	15.05	37.261	106	1.96
10/12/2019	15.09	37.261	45	1.94
10/12/2019	15.13	34.348	127	2.00
10/12/2019	15.21	33.656	31	1.94
10/12/2019	15.24	33.656	47	2.05
10/12/2019	15.29	33.656	44	1.96
10/12/2019	15.33	33.656	93	1.55
10/12/2019	15.38	33.656	130	1.96
10/12/2019	15.51	33.812	151	1.96
10/12/2019	15.56	33.812	55	1.96
10/12/2019	15.59	33.812	89	1.45
10/12/2019	16.07	33.812	46	1.94
10/12/2019	16.07	33.812	83	1.96
10/12/2019	16.12	33.812	73	1.45
10/12/2019	16.18	49.586	82	1.96
10/12/2019	16.19	49.586	29	2.12

10/12/2019	16.21	49.586	92	1.96
10/12/2019	16.25	49.586	82	1.46
10/12/2019	16.28	49.586	106	1.96
10/12/2019	16.30	49.586	75	1.46
10/12/2019	16.33	49.586	86	1.90
10/12/2019	16.37	49.586	69	2.00
10/12/2019	16.45	49.586	154	1.45
10/12/2019	18.29	34.166	167	1.96
10/12/2019	18.54	35.236	113	2.40
10/12/2019	19.01	35.236	78	2.50
10/12/2019	20.42	36.700	158	1.96
10/13/2019	10.26	33.583	726	1.96
10/13/2019	01.05	32.041	71	2.00
10/13/2019	02.51	35.958	105	1.96
10/14/2019	02.29	34.123	55	2.42
10/14/2019	02.29	34.123	53	2.44
10/14/2019	12.28	33.965	213	1.88
10/14/2019	12.39	33.965	49	2.52
10/14/2019	12.48	33.708	34	2.00
10/14/2019	12.57	33.708	29	2.44
10/14/2019	13.07	32.584	28	1.40
10/14/2019	13.14	32.778	14	2.46
10/14/2019	13.28	31.416	33	1.42
10/14/2019	13.42	32.370	28	1.38
10/14/2019	14.08	33.457	53	1.32
10/14/2019	14.15	33.457	29	2.12
10/16/2019	16.55	38.158	60	2.44
10/17/2019	11.33	39.857	92	2.27
10/18/2019	13.21	32.300	264	1.96
10/19/2019	17.10	33.537	1235	3.00
10/19/2019	18.25	31.884	398	3.04

10/19/2019	18.33	31.884	143	1.96
10/19/2019	19.51	38.488	152	2.15
10/19/2019	19.59	38.488	99	2.16
10/19/2019	20.01	38.488	30	1.96
10/19/2019	20.34	47.874	48	2.01
10/19/2019	21.11	32.738	186	1.98
10/20/2019	05.48	34.878	1436	1.96
10/20/2019	06.07	34.878	300	1.96
10/20/2019	07.05	39.203	195	3.05
10/20/2019	08.44	51.910	66	1.89
10/20/2019	16.17	28.436	2991	2.46
10/20/2019	18.29	36.376	818	2.11
10/20/2019	18.45	37.376	71	2.16
10/25/2019	07.29	15.350	54	1.46
10/26/2019	03.31	40.218	32	2.35
10/26/2019	03.31	40.218	36	2.09
10/26/2019	03.35	40.218	34	1.97
10/26/2019	03.40	40.218	22	2.15
10/26/2019	03.40	40.218	45	2.44
10/26/2019	03.45	40.218	29	3.00
10/26/2019	03.46	40.218	24	3.12
10/26/2019	04.08	38.913	28	2.38
10/26/2019	04.16	38.913	31	3.00
10/26/2019	04.18	40.118	40	3.02
10/26/2019	04.19	40.118	30	3.05
10/26/2019	04.20	40.118	31	1.97
10/26/2019	04.22	40.118	51	1.94
10/26/2019	04.23	40.118	48	2.17
10/26/2019	04.25	40.118	39	2.01
10/26/2019	05.04	39.402	36	2.98
10/26/2019	05.06	39.402	28	1.96

10/26/2019	05.08	39.402	23	2.38
10/26/2019	08.02	49.469	961	1.95
10/26/2019	16.09	35.721	900	1.96
10/27/2019	01.02	40.424	119	1.96
10/27/2019	01.04	40.424	103	1.65
10/27/2019	01.08	40.424	114	1.88
10/27/2019	01.14	40.424	252	3.00
10/27/2019	01.40	40.413	249	1.68
10/27/2019	01.51	40.413	520	2.03
10/27/2019	05.43	40.442	118	1.73
10/27/2019	05.45	40.442	68	2.94
10/27/2019	05.47	40.442	110	2.00
10/27/2019	06.30	48.920	64	2.67
10/27/2019	07.02	39.399	364	1.99
10/27/2019	10.02	42.206	429	1.96
10/27/2019	19.36	39.864	85	1.84
10/29/2019	08.44	30.623	84	1.86
10/29/2019	09.13	32.526	44	1.93
10/29/2019	10.49	32.842	304	1.91
10/30/2019	03.13	34.228	242	1.80
11/5/2019	09.30	37.457	304	1.90
11/5/2019	09.35	37.457	276	1.91
11/5/2019	09.40	37.457	81	1.94
11/5/2019	09.43	32.953	37	1.83
11/5/2019	09.49	35.623	34	1.86
11/5/2019	09.52	35.623	58	1.83
11/5/2019	09.53	35.623	729	1.87
11/5/2019	10.14	33.207	31	2.39
11/5/2019	11.04	34.019	54	2.40
11/5/2019	11.44	34.765	38	2.40
11/5/2019	13.45	33.043	48	2.01

11/5/2019	14.39	38.742	49	2.37
11/5/2019	17.59	32.353	47	2.04
11/5/2019	20.27	33.700	270	2.07
11/5/2019	20.46	33.700	91	1.91
11/5/2019	21.14	32.179	36	2.01
11/5/2019	21.24	35.147	47	1.92
11/5/2019	21.28	35.147	36	1.92
11/5/2019	22.42	33.338	42	2.07
11/6/2019	08.13	32.588	116	2.02
11/7/2019	05.22	34.502	31	1.89
11/7/2019	05.23	34.502	51	2.45
11/7/2019	07.34	35.576	208	2.06
11/7/2019	07.39	35.576	25	2.39
11/7/2019	09.59	33.321	139	1.96
11/7/2019	10.04	33.321	59	1.84
11/7/2019	12.20	32.950	165	1.96
11/7/2019	18.17	35.418	1054	1.93
11/7/2019	18.57	37.247	28	1.92
11/7/2019	20.22	30.692	34	2.13
11/13/2019	20.14	26.816	34	2.00
12/30/2019	10.20	40.350	50	2.29
12/30/2019	13.26	40.798	36	1.93
12/30/2019	13.35	40.798	86	1.96
12/30/2019	13.51	39.873	29	1.88
12/30/2019	14.19	39.325	70	1.38
12/30/2019	14.35	45.087	135	1.96
12/30/2019	15.58	47.801	122	1.88
12/30/2019	17.02	40.996	52	1.11
12/30/2019	17.34	41.432	80	1.85
12/30/2019	19.46	40.410	32	1.89
12/30/2019	19.58	39.866	43	1.35

12/30/2019	20.22	47.862	37	1.58
12/30/2019	22.07	40.495	38	1.88
12/30/2019	22.10	40.495	68	1.46
12/30/2019	23.45	42.196	38	1.15
12/30/2019	23.47	42.196	38	1.17
12/30/2019	23.49	42.196	53	1.89
12/31/2019	01.26	35.933	39	1.88
12/31/2019	01.42	45.084	97	1.90
12/31/2019	03.42	49.359	167	1.96
12/31/2019	03.46	34.646	74	1.95
12/31/2019	05.11	37.847	66	1.88
12/31/2019	06.51	39.924	50	1.89
12/31/2019	08.42	39.133	63	1.84
12/31/2019	20.14	46.538	74	1.93

Tabel 4 Data Parameter Hembusan

Tanggal	Jam (WIB)	Amplitudo (mm)	lama (s)	f0 (Hz)
10/8/2019	15.38	9.187	12	4.17
10/10/2019	23.33	49.354	31	1.98
10/11/2019	02.12	19.743	15	2.16
10/11/2019	04.52	6.235	26	1.83
10/11/2019	08.45	47.830	19	2.42
10/11/2019	11.11	21.521	15	2.42
10/11/2019	17.09	18.950	20	2.44
10/12/2019	03.23	35.846	23	0.57
10/12/2019	04.30	12.334	17	4.96
10/12/2019	04.52	18.156	16	5.86
10/12/2019	05.33	33.351	25	1.23
10/12/2019	07.37	33.351		
10/12/2019	08.58	11.225	21	0.84

10/12/2019	10.38	35.009	54	2.00
10/12/2019	10.43	35.009	44	1.00
10/12/2019	10.47	35.009	31	2.00
10/12/2019	10.48	35.009	25	1.97
10/12/2019	10.52	28.869	39	1.97
10/12/2019	10.54	28.869	34	2.00
10/12/2019	10.58	28.869	57	2.05
10/12/2019	15.02	37.261	57	1.96
10/12/2019	15.09	37.261	26	1.54
10/12/2019	15.17	33.656	65	1.96
10/12/2019	15.20	33.656	61	1.88
10/12/2019	15.23	33.656	57	1.80
10/12/2019	18.58	35.236	47	2.40
10/13/2019	04.07	35.105	38	1.96
10/13/2019	04.24	33.702	17	1.96
10/13/2019	04.34	33.702	17	2.45
10/13/2019	04.47	35.445	25	2.00
10/13/2019	05.11	35.445	28	2.00
10/13/2019	05.11	35.445	30	2.00
10/13/2019	06.51	12.478	20	1.92
10/14/2019	02.19	34.123	25	2.44
10/14/2019	02.20	34.123	35	2.40
10/14/2019	13.36	32.370	31	1.42
10/14/2019	14.15	33.457	21	2.68
10/14/2019	14.26	33.457	20	2.00
10/15/2019	13.56	2.457	22	2.40
10/15/2019	16.58	6.533	12	1.93
10/15/2019	18.55	8.884	9	2.46
10/15/2019	19.05	8.884	12	2.32
10/15/2019	19.53	17.889	11	2.54
10/15/2019	19.53	17.889	12	1.88

10/15/2019	21.28	10.768	11	2.36
10/15/2019	23.43	21.936	15	1.96
10/16/2019	05.18	38.594	46	2.00
10/16/2019	10.35	33.867	42	1.86
10/16/2019	12.24	19.411	24	2.43
10/17/2019	11.20	29.779	14	2.00
10/17/2019	11.35	39.860	26	2.38
10/17/2019	11.53	39.860	21	2.36
10/17/2019	13.33	31.344	15	2.00
10/17/2019	14.15	12.883	28	2.33
10/17/2019	14.55	18.035	30	2.42
10/17/2019	15.07	13.719	19	1.97
10/17/2019	15.14	18.035	14	1.96
10/17/2019	15.19	18.035	15	1.96
10/17/2019	18.07	13.719	20	1.96
10/17/2019	20.39	12.890	12	2.00
10/19/2019	12.15	36.133	138	1.88
10/20/2019	06.27	48.485	89	1.96
10/20/2019	06.29	48.485	51	2.00
10/20/2019	07.27	39.813	32	2.38
10/20/2019	07.30	39.813	46	2.05
10/20/2019	07.31	39.813	22	3.05
10/20/2019	07.32	39.813	41	1.97
10/20/2019	08.49	51.910	28	3.36
10/20/2019	09.57	12.791	88	2.19
10/20/2019	17.43	27.673	18	2.19
10/21/2019	10.58	32.228	67	1.94
10/21/2019	11.00	32.228	74	1.49
10/22/2019	06.11	27.112	21	2.27
10/23/2019	17.37	39.383	9	2.16
10/25/2019	11.14	12.813	28	2.03

10/31/2019	20.33	18.676	28	1.56
11/2/2019	09.07	32.443	24	1.45
11/5/2019	00.06	11.166	30	2.13
11/5/2019	09.30	37.457	16	3.52
11/5/2019	09.41	37.457	23	1.80
11/5/2019	09.42	37.457	28	1.85
11/5/2019	09.44	35.623	26	1.98
11/5/2019	09.44	12.783	23	1.40
11/5/2019	09.45	35.623	25	1.85
11/5/2019	09.46	35.623	41	1.80
11/5/2019	09.47	35.623	52	1.92
11/5/2019	09.48	35.623	46	1.98
11/5/2019	10.20	33.207	20	1.88
11/5/2019	11.08	34.019	47	2.43
11/5/2019	13.16	22.503	161	1.94
11/5/2019	14.40	38.742	30	1.92
11/5/2019	15.14	33.301	25	1.94
11/5/2019	15.35	24.899	51	1.95
11/5/2019	15.40	24.899	24	2.13
11/5/2019	17.49	16.370	64	1.94
11/5/2019	18.04	32.353	98	1.97
11/5/2019	18.06	32.353	50	1.89
11/5/2019	18.08	32.353	55	1.95
11/5/2019	18.09	32.353	38	1.89
11/5/2019	18.09	32.353	42	1.98
11/5/2019	18.10	32.353	22	1.91
11/5/2019	18.11	32.353	20	2.13
11/5/2019	18.26	22.995	14	2.30
11/5/2019	19.12	33.824	23	2.10
11/5/2019	19.13	33.824	26	2.06
11/5/2019	19.18	33.824	34	1.98

11/5/2019	19.21	33.824	53	2.16
11/5/2019	19.32	31.064	29	2.15
11/5/2019	19.37	31.064	41	2.01
11/5/2019	19.42	31.064	43	1.98
11/5/2019	19.45	31.064	50	2.13
11/5/2019	19.48	31.064	48	2.04
11/5/2019	19.51	31.640	73	2.06
11/5/2019	19.55	31.640	42	2.10
11/5/2019	19.57	31.640	48	2.01
11/5/2019	20.03	31.640	70	2.12
11/5/2019	20.09	31.640	42	1.92
11/5/2019	20.11	31.640	37	1.89
11/5/2019	20.12	31.640	40	2.04
11/5/2019	20.14	33.700	51	2.13
11/5/2019	20.16	33.700	37	2.16
11/5/2019	20.19	33.700	50	2.01
11/5/2019	20.36	33.700	51	2.43
11/5/2019	20.56	32.179	185	2.06
11/5/2019	21.02	32.179	30	1.46
11/5/2019	21.02	32.179	60	1.88
11/5/2019	21.07	32.179	69	1.55
11/5/2019	21.08	32.179	33	1.88
11/5/2019	21.18	23.634	41	1.53
11/5/2019	21.22	35.147	74	1.46
11/5/2019	21.25	35.147	39	1.95
11/5/2019	21.36	35.147	34	2.04
11/5/2019	21.51	35.147	39	1.98
11/5/2019	22.00	32.264	60	2.10
11/5/2019	22.02	32.264	35	2.04
11/5/2019	22.03	32.264	40	1.95
11/5/2019	22.07	32.264	43	2.04

11/5/2019	22.13	32.264	42	2.01
11/5/2019	22.15	32.264	76	2.03
11/5/2019	22.21	32.264	70	1.06
11/5/2019	22.34	33.338	55	1.50
11/5/2019	22.36	33.338	92	2.08
11/5/2019	22.37	33.338	46	1.99
11/5/2019	22.38	33.338	36	1.93
11/5/2019	22.42	33.338	41	2.01
11/5/2019	22.44	33.338	105	1.92
11/5/2019	22.46	33.338	35	1.98
11/5/2019	22.49	23.181	67	1.93
11/5/2019	22.53	23.181	38	1.97
11/5/2019	22.54	23.181	73	1.94
11/5/2019	23.07	23.181	36	1.99
11/5/2019	23.08	24.139	36	1.99
11/5/2019	23.33	24.139	27	1.54
11/5/2019	23.35	31.041	39	1.89
11/5/2019	23.59	31.041	30	1.87
11/6/2019	00.10	32.434	27	2.04
11/6/2019	00.58	31.508	49	1.91
11/6/2019	01.02	31.508	47	2.09
11/6/2019	01.07	31.508	90	2.04
11/6/2019	01.21	32.650	51	1.86
11/6/2019	01.26	32.650	41	1.99
11/6/2019	01.28	32.650	68	2.02
11/6/2019	01.36	28.184	27	1.97
11/6/2019	02.30	29.819	40	1.99
11/6/2019	02.32	29.819	78	2.00
11/6/2019	02.38	29.819	50	2.17
11/6/2019	02.47	25.774	37	1.48
11/6/2019	03.02	25.774	24	1.62

11/6/2019	03.04	25.774	37	2.01
11/6/2019	03.14	24.897	43	1.44
11/6/2019	03.27	24.897	61	2.00
11/6/2019	03.33	20.801	56	2.01
11/6/2019	03.52	20.801	43	1.95
11/6/2019	04.26	22.552	42	1.95
11/6/2019	04.29	22.552	46	2.11
11/6/2019	04.35	22.552	14	2.16
11/6/2019	04.42	29.954	25	1.96
11/6/2019	04.54	29.954	24	1.58
11/6/2019	05.05	32.983	40	2.09
11/6/2019	05.10	32.983	31	1.46
11/6/2019	05.13	32.983	65	1.50
11/6/2019	05.18	32.983	41	1.89
11/6/2019	05.24	32.983	50	2.05
11/6/2019	05.30	31.514	38	2.03
11/6/2019	05.38	31.514	89	1.98
11/6/2019	05.43	31.514	48	1.99
11/6/2019	05.48	29.063	18	2.04
11/6/2019	05.49	29.063	19	1.88
11/6/2019	06.05	29.063	32	2.02
11/6/2019	06.15	25.318	29	2.00
11/6/2019	06.53	23.094	50	1.62
11/6/2019	07.06	32.675	68	1.97
11/6/2019	07.08	32.675	55	1.58
11/6/2019	08.16	32.588	91	2.03
11/6/2019	12.58	33.192	41	2.15
11/6/2019	13.02	33.192	175	1.89
11/6/2019	13.04	33.192	39	1.89
11/6/2019	13.08	33.192	46	1.86
11/6/2019	13.10	33.192	45	2.03

11/6/2019	13.11	33.192	65	2.01
11/6/2019	13.13	33.192	38	1.46
11/6/2019	13.15	29.850	45	1.99
11/6/2019	13.17	29.850	42	2.05
11/6/2019	13.18	29.850	54	2.05
11/6/2019	13.21	29.850	75	2.00
11/6/2019	13.22	29.850	52	2.11
11/6/2019	13.27	29.850	61	1.99
11/6/2019	14.39	32.142	20	1.88
11/6/2019	15.31	28.293	35	2.05
11/6/2019	15.37	31.621	28	2.47
11/6/2019	16.10	21.656	34	1.97
11/6/2019	16.23	20.000	29	1.96
11/6/2019	18.30	29.323	49	1.93
11/6/2019	18.37	31.667	26	2.41
11/6/2019	18.46	31.667	68	1.96
11/6/2019	18.51	31.667	59	1.98
11/6/2019	18.52	31.667	28	1.94
11/6/2019	19.29	32.546	35	2.01
11/6/2019	22.09	22.773	24	1.96
11/6/2019	22.23	31.648	32	2.02
11/6/2019	22.30	31.648	76	1.83
11/6/2019	22.47	19.624	56	1.64
11/6/2019	23.03	22.283	53	2.03
11/6/2019	23.13	22.283	28	2.08
11/6/2019	23.34	17.886	28	1.86
11/6/2019	23.56	21.591	45	2.03
11/7/2019	05.29	34.502	39	1.95
11/7/2019	07.47	33.072	30	2.39
11/7/2019	18.51	37.247	108	1.92
11/8/2019	03.07	23.707	54	2.58

11/8/2019	12.38	13.597	16	2.11
11/8/2019	12.39	13.597	61	1.96
11/9/2019	06.25	9.949	85	1.94
11/9/2019	08.56	11.140	21	1.94
11/9/2019	19.43	5.895	24	2.02
11/10/2019	00.25	16.988	19	2.41
11/10/2019	02.04	13.564	27	2.17
11/10/2019	04.05	14.304	15	1.98
11/10/2019	17.53	30.513	17	3.61
11/10/2019	18.58	12.792	25	1.82
11/10/2019	19.35	23.902	15	1.86
11/10/2019	22.25	12.613	69	2.14
11/12/2019	13.33	22.073	16	2.34
11/13/2019	10.35	12.546	54	2.03
11/13/2019	20.12	26.816	20	1.98
11/13/2019	21.43	27.033	21	3.71
11/15/2019	08.31	13.835	175	2.37
11/18/2019	23.34	16.623	24	3.43
11/18/2019	23.36	16.623	18	2.04
11/18/2019	23.37	39.179	30	2.02
11/18/2019	23.38	39.179	40	1.95
11/18/2019	23.43	39.179	147	2.33
11/22/2019	21.26	21.022	33	3.83
11/23/2019	13.50	6.231	18	3.33
11/24/2019	06.19	6.518	19	2.38
11/26/2019	16.13	22.613	31	1.28
11/27/2019	04.55	32.205	23	1.92
12/5/2019	18.56	20.361	69	3.50
12/10/2019	08.03	19.507	32	1.76
12/30/2019	12.10	37.312	59	1.95
12/30/2019	12.47	32.725	29	2.09

12/30/2019	14.03	39.873	29	1.98
12/30/2019	19.00	42.964	41	1.89
12/31/2019	03.02	45.986	63	1.90
12/31/2019	03.04	45.986	273	1.47
12/31/2019	03.40	49.359	125	1.98
12/31/2019	04.32	27.635	58	1.99
12/31/2019	13.31	26.416	36	2.37
12/31/2019	15.34	30.042	35	2.46
12/31/2019	23.20	38.703	106	1.88
12/31/2019	23.26	38.703	93	1.86

Tabel 5 Data Parameter Gempa *Low Frequency*

Tanggal	Jam (WIB)	Amplitudo (mm)	lama (s)	f0 (Hz)
10/10/2019	23.43	49.354	15	1.94
10/11/2019	01.21	30.032	18	2.40
10/11/2019	03.19	9.553	15	2.43
10/12/2019	10.31	35.009	16	1.98
10/13/2019	02.46	35.958	25	1.96
10/13/2019	04.08	35.105	13	2.00
10/13/2019	04.09	35.105	15	2.00
10/13/2019	04.09	35.105	12	1.96
10/13/2019	04.42	33.702	21	1.92
10/13/2019	05.33	9.511	14	2.00
10/13/2019	05.35	9.511	12	1.96
10/13/2019	08.20	32.692	29	0.70
10/16/2019	20.35	13.658	15	2.38
10/16/2019	23.34	19.849	15	2.00
10/17/2019	00.53	25.130	11	2.00
10/17/2019	00.53	25.130	18	2.00
10/17/2019	01.19	26.704	17	2.15

10/17/2019	02.46	33.776	21	1.96
10/17/2019	03.12	32.491	14	1.96
10/17/2019	03.27	32.491	12	2.00
10/17/2019	04.41	14.710	3	2.40
10/17/2019	04.21	12.604	14	2.43
10/17/2019	07.12	4.472	11	2.00
10/17/2019	07.49	11.515	14	2.00
10/17/2019	08.05	9.803	13	2.00
10/17/2019	08.36	9.819	15	2.07
10/17/2019	08.56	12.301	18	2.08
10/17/2019	09.20	41.770	10	1.11
10/17/2019	09.42	5.990	13	2.43
10/17/2019	09.53	5.990	18	2.11
10/17/2019	11.26	29.779	10	1.96
10/17/2019	19.00	14.902	16	2.36
10/17/2019	20.49	12.890	12	2.42
10/17/2019	22.18	9.396	16	1.96
10/22/2019	13.52	16.285	23	1.96
10/22/2019	14.43	19.951	18	1.96
10/23/2019	01.04	5.919	16	1.96
10/23/2019	04.56	8.435	14	2.04
10/23/2019	05.37	9.718	14	2.46
10/23/2019	05.42	9.718	16	2.40
11/3/2019	21.52	19.939	45	2.05
11/5/2019	10.31	33.119	22	1.91
11/5/2019	15.24	33.301	32	1.94
11/5/2019	19.04	30.673	19	2.00
11/7/2019	01.46	32.991	20	2.39
11/7/2019	05.32	32.647	19	2.06
11/7/2019	05.36	32.647	22	1.88
11/7/2019	05.45	32.647	22	1.96

11/7/2019	08.32	33.711	33	1.94
11/7/2019	18.44	37.247	19	1.92
11/8/2019	00.38	32.062	14	2.04
11/8/2019	00.46	32.062	15	1.90
11/8/2019	01.19	19.706	12	2.04
11/8/2019	03.11	23.707	17	2.02
11/8/2019	03.15	23.707	15	2.04
11/8/2019	03.26	23.707	13	2.04
11/8/2019	04.34	13.713	15	1.94
11/8/2019	04.42	24.454	13	1.96
11/8/2019	06.03	25.004	16	1.98
11/8/2019	06.10	25.004	17	1.77
11/8/2019	08.45	24.817	14	1.94
11/8/2019	08.54	24.817	15	2.02
11/8/2019	17.39	16.195	30	1.98
11/8/2019	19.24	16.852	16	2.00
11/8/2019	20.36	10.888	24	1.94
11/9/2019	20.11	42.907	11	2.36
11/9/2019	23.39	17.065	14	2.32
11/10/2019	00.33	16.988	19	1.88
11/10/2019	04.00	14.304	18	2.02
11/10/2019	11.00	7.938	19	1.86
11/10/2019	16.09	24.476	20	2.41
11/10/2019	16.13	24.476	17	2.39
11/10/2019	17.46	29.953	5	
11/10/2019	17.50	30.513	15	1.92
11/10/2019	18.22	34.002	6	3.11
11/10/2019	18.43	33.914	6	
11/10/2019	19.58	41.490	14	2.24
11/10/2019	20.06	41.490	21	1.89
11/11/2019	01.12	30.384	17	2.36

11/11/2019	01.34	27.147	14	3.22
11/11/2019	02.05	29.866	9	2.63
11/11/2019	04.05	32.213	17	2.05
11/11/2019	04.09	32.213	14	2.16
11/11/2019	04.15	32.213	15	2.26
11/11/2019	10.18	25.559	17	2.14
11/11/2019	13.58	33.013	14	2.45
11/11/2019	15.58	33.610	34	2.35
11/12/2019	04.46	14.041	10	2.24
11/12/2019	09.19	13.829	16	2.16
11/13/2019	00.58	8.332	25	2.38
11/13/2019	21.18	34.973	4	
11/20/2019	09.23	14.178	27	1.88
11/23/2019	10.26	8.763	12	2.34
11/23/2019	11.51	11.021	19	2.04
11/23/2019	12.42	20.208	11	2.00
11/23/2019	15.37	40.715	11	2.02
11/23/2019	15.59	9.933	17	1.96
11/24/2019	00.40	8.491	18	2.08
11/24/2019	09.39	6.468	17	2.04
11/24/2019	10.57	10.303	23	2.29
11/24/2019	11.09	16.250	12	2.04
11/24/2019	11.45	6.822	28	2.25
11/24/2019	11.55	10.260	23	2.09
11/24/2019	12.05	10.260	9	2.83
11/24/2019	13.18	7.525	10	1.78
11/24/2019	13.22	7.525	27	2.09
11/24/2019	14.10	15.972	14	2.06
11/25/2019	00.49	6.738	13	2.04
11/25/2019	01.03	6.738	16	2.26
11/25/2019	02.41	7.212	11	4.00

11/25/2019	04.24	22.914	17	2.07
11/25/2019	08.18	4.849	13	2.22
11/25/2019	12.17	5.353	14	2.24
11/26/2019	25.50	7.964	18	2.37
11/26/2019	22.54	15.879	20	2.65
11/27/2019	23.46	7.164	26	2.37
12/3/2019	18.29	15.755	11	2.14
12/3/2019	18.51	13.396	7	3.32
12/3/2019	23.29	12.603	9	2.22
12/3/2019	23.41	12.603	12	3.90
12/4/2019	02.42	8.417	13	2.16
12/4/2019	06.00	7.367	8	
12/4/2019	07.16	9.503	12	2.24
12/4/2019	07.38	11.117	14	2.46
12/4/2019	09.53	7.731	13	2.06
12/4/2019	11.13	9.179	11	2.93
12/4/2019	11.30	9.067	10	2.43
12/4/2019	12.06	9.260	12	2.06
12/4/2019	12.23	10.245	11	2.04
12/4/2019	13.26	9.615	8	2.04
12/4/2019	13.53	7.211	11	2.93
12/4/2019	15.50	6.760	9	2.93
12/4/2019	18.13	10.860	9	2.15
12/4/2019	18.26	10.860	11	2.83
12/4/2019	19.50	7.887	10	2.06
12/4/2019	20.01	7.887	9	2.15
12/4/2019	20.19	7.307	15	2.38
12/4/2019	21.45	6.518	14	2.34
12/4/2019	22.23	18.593	8	2.15
12/4/2019	23.55	12.170	15	2.94
12/5/2019	03.50	35.166	14	2.14

12/5/2019	04.32	15.780	9	2.67
12/5/2019	06.35	10.528	12	2.02
12/5/2019	08.55	14.652	11	2.24
12/5/2019	09.44	10.574	14	1.85
12/5/2019	10.38	9.564	14	2.04
12/5/2019	11.07	13.083	11	2.16
12/5/2019	11.51	14.563	10	2.26
12/5/2019	13.19	13.280	11	2.34
12/5/2019	16.19	21.819	37	3.17
12/5/2019	17.00	11.487	13	2.04
12/5/2019	19.08	19.815	10	2.45
12/5/2019	23.20	21.597	11	2.24
12/5/2019	23.46	21.597	11	2.32
12/6/2019	01.13	13.177	9	2.22
12/6/2019	01.58	11.517	15	2.06
12/6/2019	02.10	17.827	7	3.13
12/6/2019	02.35	11.720	7	2.74
12/6/2019	05.50	10.623	10	2.06
12/6/2019	06.05	19.586	11	2.45
12/6/2019	06.18	19.586	11	2.24
12/6/2019	08.26	20.829	11	2.34
12/6/2019	09.15	9.710	14	2.04
12/6/2019	10.32	24.102	12	2.04
12/6/2019	14.30	19.767	13	2.06
12/7/2019	02.16	33.241	6	2.35
12/7/2019	06.44	37.895	10	2.93
12/7/2019	08.01	12.163	15	2.34
12/7/2019	08.32	13.011	15	2.45
12/7/2019	08.45	13.011	12	1.87
12/7/2019	10.08	10.953	12	3.95
12/7/2019	10.14	10.953	17	2.00

12/7/2019	10.43	8.079	14	1.96
12/7/2019	11.05	9.759	12	2.90
12/7/2019	13.36	8.031	14	2.02
12/7/2019	16.41	7.563	13	1.98
12/7/2019	19.54	7.807	7	2.17
12/7/2019	20.34	10.545	7	2.13
12/7/2019	20.48	10.545	10	2.51
12/8/2019	03.43	6.696	16	2.53
12/8/2019	06.17	8.992	11	3.53
12/8/2019	06.29	8.992	12	2.44
12/8/2019	07.22	21.626	16	2.45
12/8/2019	08.51	11.924	14	2.02
12/8/2019	10.03	6.953	14	3.32
12/8/2019	11.01	9.569	14	2.04
12/8/2019	15.07	53.539	13	2.61
12/8/2019	15.18	53.539	10	2.02
12/8/2019	15.46	8.728	13	2.04
12/8/2019	22.02	8.298	11	2.06
12/8/2019	22.57	8.898	16	1.96
12/8/2019	23.22	7.804	10	2.06
12/8/2019	23.41	7.804	10	2.16
12/8/2019	23.45	10.047	8	2.54
12/9/2019	00.35	11.453	13	2.04
12/9/2019	00.44	11.453	11	2.06
12/9/2019	01.42	17.472	13	2.08
12/9/2019	03.37	10.295	11	1.96
12/9/2019	05.34	9.653	15	2.22
12/9/2019	07.38	53.433	11	2.16
12/9/2019	08.48	9.936	11	2.80
12/9/2019	08.49	9.936	10	2.04
12/9/2019	09.28	35.187	17	2.04

12/9/2019	09.31	35.187	17	2.45
12/9/2019	09.32	35.187	16	2.06
12/9/2019	10.06	10.077	7	3.95
12/9/2019	13.10	18.120	9	4.00
12/9/2019	22.31	31.608	11	
12/9/2019	23.03	19.585	10	2.14
12/10/2019	00.09	30.141	7	2.54
12/10/2019	00.28	14.046	6	2.72
12/10/2019	00.49	10.237	9	2.35
12/10/2019	00.49	10.237	9	2.94
12/10/2019	01.15	11.048	11	2.25
12/10/2019	02.01	10.112	11	1.96
12/10/2019	04.38	23.478	13	2.04
12/10/2019	04.54	19.519	15	1.77
12/10/2019	08.56	9.733	12	2.83
12/10/2019	09.07	8.650	11	2.24
12/10/2019	09.28	9.212	11	1.78
12/10/2019	09.46	13.418	11	2.26
12/10/2019	10.01	13.418	11	2.18
12/10/2019	10.02	13.418	9	2.93
12/10/2019	10.10	8.853	13	2.24
12/10/2019	10.47	9.353	11	2.43
12/10/2019	10.56	10.621	12	2.06
12/10/2019	11.16	10.621	13	2.26
12/10/2019	11.52	17.443	11	2.26
12/10/2019	12.13	25.054	9	2.37
12/10/2019	12.15	25.054	12	2.26
12/10/2019	12.16	25.054	12	1.94
12/10/2019	12.17	25.054	15	2.22
12/10/2019	13.18	9.167	11	2.75
12/10/2019	14.53	9.353	12	1.67

12/10/2019	23.56	39.747	15	2.12
12/11/2019	08.48	23.273	8	
12/11/2019	09.52	18.828	13	2.26
12/11/2019	12.07	19.709	13	2.73
12/11/2019	13.12	32.320	14	1.84
12/11/2019	14.41	22.700	7	3.13
12/11/2019	15.39	30.261	9	3.15
12/20/2019	15.03	55.443	11	2.04
12/20/2019	15.06	55.443	12	2.06
12/20/2019	15.13	10.706	15	2.06
12/20/2019	15.38	6.781	16	2.14
12/20/2019	15.58	51.550	12	2.04
12/20/2019	16.13	51.550	13	2.04
12/20/2019	17.20	6.718	18	2.04
12/20/2019	17.27	6.718	13	3.95
12/20/2019	17.47	15.767	16	2.02
12/20/2019	17.52	15.767	13	2.04
12/20/2019	19.53	7.690	12	2.04
12/31/2019	23.40	30.023	14	1.94

Tabel 6 Data Parameter Tremor Harmonik

Tanggal	Jam (WIB)	Amplitudo (mm)	lama (s)	f0 (Hz)
10/12/2019	10.14	34.241	167	1.50
10/12/2019	16.09	33.812	106	1.96
10/13/2019	4.37	33.702	22	1.96
10/13/2019	4.41	33.702	76	1.96
10/18/2019	20.09	1.411	309	1.88
11/5/2019	14.49	18.275	283	1.97
11/5/2019	15.31	18.935	261	1.87

BIODATA PENULIS



Nurul Hidayah, lahir di Kediri pada 25 November 1998. Merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Kusairi dan Ibu Sumarsih. Penulis memiliki satu adik perempuan bernama Pipit Isna Hidayah. Penulis menempuh pendidikan pertama pada tahun 2003 di TK Dharma Wanita Kepung I Kediri. Lalu pada tahun 2005 melanjutkan pendidikan di SD Negeri Kepung III Kediri. Pada tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan di MTs Sunan Ampel Kediri dan pada tahun 2014 penulis mengenyam pendidikan di MA Negeri III Kediri selama dua tahun. Setelah lulus pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan mengambil peminatan Geofisika. Selama menjalani masa kuliah, penulis aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan, keislaman maupun keprofesian, diantaranya di Himpunan Mahasiswa Fisika (Himasika) ITS periode 2017/2018 sebagai Staf di Departemen *Internal Affair*, Jamaah Masjid Manarul Ilmi (JMMI) ITS periode 2017/2018 sebagai Staf di Biro Syiar Keumatan, Lini Badan Pelayanan Umat, berlanjut di periode 2018 sebagai Wakil Ketua Biro Syiar Keumatan, Lini Badan Pelayanan Umat, lalu berlanjut di periode 2019 sebagai Wakil Direktur II Badan Pelayanan Umat dan di periode 2020 sebagai Dewan Pertimbangan Pengurus, Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ) Fosif ITS periode 2017/2018 sebagai Staf Kaderisasi & Mentoring dan periode 2018/2019 sebagai Sekretaris Departemen Syiar serta di American Association of Petroleum Geologists (AAPG) ITS Student Chapter periode 2017 sebagai Staf Divisi *Big Event* dan periode 2018 sebagai Sekreteraris. Selain tergabung dalam beberapa organisasi mahasiswa, penulis juga pernah mengikuti beberapa kepanitiaan di tingkat kampus, yakni sebagai Organizing Committee Ramadhan di Kampus (RDK) 38, Sekretaris dan Steering Committee Ramadhan di Kampus (RDK) 39 dan Pemandu Integralistik Gerigi ITS 2018. Untuk menambah keilmuan di luar akademik, penulis juga pernah mengikuti pelatihan dari tingkat

kampus hingga pelatihan tingkat nasional, diantaranya Latihan Keterampilan Manajerial Mahasiswa (LKMM) tingkat dasar (Pra TD dan TD), Program Studi Islam (PSI) 1, 2 dan 3, *Training For Trainer* yang diadakan oleh Pusat Komunikasi Nasional FSLDK Indonesia di Madiun, serta pelatihan dari Badan Mahasiswa, Kaderisasi dan Alumni Salman ITB, yakni Salman Spiritual Camp (SSC) 16 di Bandung, Latihan Mujtahid Dakwah (LMD) 196 di Bandung, dan Spiritual Entrepreneurial Civilizer Training (SPECTRA) 5.0 di Bandung, Tasikmalaya dan Banjar, Jawa Barat. Dalam bidang geofisika, penulis pernah melakukan kerja praktek di Stasiun Geofisika Kelas I Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Yogyakarta dengan judul penelitian Kajian Diseminasi Informasi Gempa Bumi di Pusat Gempa Regional VII (Studi Kasus Gempa di Kabupaten Kediri Jawa Timur Tanggal 19 Maret 2019). Penulis dapat dihubungi melalui email nurulhidayah.hidayahh@gmail.com