

**EVALUASI DETEKSI GEMPA OTOMATIS MENGGUNAKAN METODE
SHORT-TERM AVERAGE/LONG-TERM AVERAGE (STA/LTA)
(STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI, DAERAH ISTIMEWA
YOGYAKARTA, INDONESIA)**

SKRIPSI

Oleh:
FARAH HANDAYANI IBRAHIM
NIM. 210604110082



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**EVALUASI DETEKSI GEMPA OTOMATIS MENGGUNAKAN METODE
SHORT-TERM AVERAGE/LONG-TERM AVERAGE (STA/LTA)
(STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI, DAERAH ISTIMEWA
YOGYAKARTA, INDONESIA)**

SKRIPSI

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

**Oleh:
FARAH HANDAYANI IBRAHIM
NIM. 210604110082**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

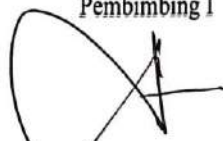
EVALUASI DETEKSI GEMPA OTOMATIS MENGGUNAKAN METODE
SHORT-TERM AVERAGE/LONG-TERM AVERAGE (STA/LTA)
(STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI, DAERAH ISTIMEWA
YOGYAKARTA, INDONESIA)

SKRIPSI

Oleh;
FARAH HANDAYANI IBRAHIM
NIM. 210604110082

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
24 Desember 2024

Pembimbing I



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Pembimbing II



Muthmainnah, M.Si
NIP. 19860325 201903 2 009

Mengetahui
Ketua Program Studi



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

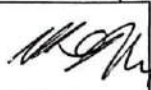
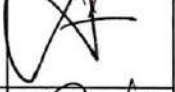
HALAMAN PENGESAHAN

EVALUASI DETEKSI GEMPA OTOMATIS MENGGUNAKAN METODE
SHORT-TERM AVERAGE/LONG-TERM AVERAGE (STA/LTA)
(STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI, DAERAH ISTIMEWA
YOGYAKARTA, INDONESIA)

SKRIPSI

Oleh:
FARAH HANDAYANI IBRAHIM
NIM. 210604110082

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal, 25 Desember 2024

Penguji Utama	<u>Irian, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIP. 19870215 202321 2 031	
Sekretaris Penguji	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji	<u>Muthmainnah, M.Si</u> NIP. 19860325 201903 2 009	

Mengetahui
Ketua Program Studi


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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : FARAH HANDAYANI IBRAHIM
NIM : 210604110082
Program Studi : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Evaluasi Deteksi Gempa Otomatis Menggunakan Metode
Short-Term Average/Long-Term Average (Sta/Lta) (Studi
Kasus: Gunung Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta,
Indonesia)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 30 Desember 2024
Yang Membuat Pernyataan,



METERAI
TEMPEL
48AC0AKX049875103

Farah Handayani Ibrahim
NIM. 210604110082

MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٥﴾ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٦﴾

“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.” (QS. Al-Insyirah: 5-6)

لِيُنْفِقْ ذُو سَعَةٍ مِّنْ سَعَتِهِ وَمَنْ قُدِرَ عَلَيْهِ رِزْقُهُ فَلْيُنْفِقْ مِمَّا آتَاهُ اللَّهُ لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا مَا آتَاهَا سَيَجْعَلُ اللَّهُ
بَعْدَ عُسْرٍ يُسْرًا ﴿٧﴾

“..... Allah tidak membebani kepada seseorang melainkan (sesuai) dengan apa yang dianugerahkan Allah kepadanya. Allah kelak akan menganugerahkan kelapangan setelah kesempitan.” (QS. At-Talaq: 7).

قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ : وَعَلِمَ أَنَّ فِي الصَّبْرِ عَلَى مَا تَكَرَّرَ خَيْرًا كَثِيرًا وَأَنَّ النَّصْرَ مَعَ الصَّبْرِ
وَأَنَّ الْفَرَجَ مَعَ الْكُرْبِ وَأَنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا . (أخرجه أحمد)

“Ketahuilah bahwa bersama kesabaran ada kemenangan, bersama kesulitan ada jalan keluar, dan setelah kesulitan ada kemudahan.”
(HR. Ahmad)

"Bergantunglah hanya kepada Allah, karena segala kebaikan dan ujian ada dalam ketetapan-Nya."

"Belajar dari kemarin, berencana untuk esok, dan teruslah mencari makna dalam setiap langkah."

..

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Swt. penulis panjatkan atas segala limpahan rahmat dan kenikmatan-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dan penulis persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta, Abah Ibrahim Jou dan Ibunda Hartini Misdi, gelar sarjana ini saya persembahkan dengan tulus. Terima kasih atas segala pengorbanan, kerja keras, serta kasih sayang yang tiada henti kalian berikan. Doa-doa kalian yang tak pernah putus, perhatian dan dukungan yang tulus, telah menjadi pelita yang mengiringi setiap langkah saya hingga mencapai titik ini. Setiap tetes keringat, langkah pengorbanan, dan perjuangan yang kalian lakukan demi memberikan yang terbaik bagi kami sungguh tidak tergantikan. Kalian selalu memastikan kebutuhan saya terpenuhi, mendidik, membimbing, serta memberikan motivasi yang menguatkan. Berkat cinta dan doa kalian, saya mampu bertahan dan melangkah setapak demi setapak dalam meraih impian. Terima kasih atas kehadiran kalian yang selalu menjadi alasan dan semangat saya dalam menyelesaikan perjalanan ini. Maaf jika rasa syukur dan penghargaan ini belum cukup untuk membalas semua kebaikan kalian. Saya hanya bisa berdoa, semoga Allah senantiasa memberikan segala yang terbaik dalam kehidupan kalian, baik di dunia maupun di akhirat. Ayah, Ibu, putri kecilmu kini telah dewasa dan siap melanjutkan mimpi-mimpi yang lebih tinggi lagi. Teruslah sehat, panjang umur, dan dampingilah saya dengan doa kalian yang tulus. Semoga cinta dan kasih sayang kalian selalu menjadi berkah dan pelindung dalam setiap langkah perjalanan hidup kami, terkhususnya pribadi saya (Putri ke-6).

2. Saudara-saudaraku tersayang: Kakak Ika Ayu Wukandari Ibrahim, Kakak Dewi Sartika Ibrahim, Kakak Noor Wahyuni Ibrahim, Kakak Siti Noor Khatija Ibrahim, Kakak Bayduri Ayu Ibrahim, serta adik-adikku Maulana Malik Ibrahim dan Arofah Al-Amin, gelar ini saya persembahkan sebagai tanda cinta dan rasa terima kasih yang mendalam. Kehadiran kalian telah menjadi sumber semangat yang tak ternilai bagi saya. Terima kasih atas setiap dukungan, doa, dan kebahagiaan yang kalian hadirkan dalam hidup saya. Kehangatan dan cinta dari kalian mampu menghapus segala lelah dan memberikan kekuatan untuk terus melangkah. Doa-doa sederhana yang tulus dari kalian menjadi penyemangat luar biasa yang membantu saya meraih impian ini. Saya juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan, perhatian, serta doa terbaik. Kehadiran kalian menjadi penyemangat di setiap langkah perjalanan saya. Semoga kita semua senantiasa menjadi pribadi yang membanggakan bagi kedua orang tua dan keluarga, serta dapat membawa kebahagiaan dan keberkahan dalam setiap fase kehidupan.
3. Sahabatku tercinta, Fatih Rahmasari, S.Si., terima kasih telah menjadi bagian tak terpisahkan dari perjalanan hidup ini. Kehadiranmu selalu membawa semangat baru, mendukung, dan membersamai setiap langkahku, baik dalam suka maupun duka. Terima kasih atas kebersamaan yang penuh makna, canda tawa yang selalu menghibur, serta dukungan tulus yang tak pernah surut. Kekuatan dan kebahagiaan yang kau hadirkan membuat setiap tantangan terasa lebih ringan. Kau adalah sahabat sejati yang senantiasa hadir di saat yang paling dibutuhkan. Semoga persahabatan ini selalu

menjadi anugerah yang abadi, dan semoga kita terus saling mendukung untuk meraih mimpi dan harapan di masa depan.

4. Kepada Orang yang tak kalah penting kehadirannya, Alif Aswan Prathama Putra, terima kasih atas kehadiranmu yang selalu menjadi tempat terbaik bagi saya untuk berbagi cerita, berkeluh kesah, dan mencari hiburan. Terima kasih telah menjadi rumah yang hangat dan nyaman, selalu memberikan semangat, dukungan, serta motivasi yang begitu berarti dalam setiap langkah perjalanan ini. Kesabaranmu dalam kebersamaan saya yang seringkali berisik dan penuh cerita adalah hal yang luar biasa dan tidak ternilai. Kehadiranmu menjadi penguat yang tak tergantikan, selalu ada di saat saya membutuhkan sandaran. Doa terbaik saya panjatkan untukmu, semoga selalu diberikan kesehatan, kemudahan dalam setiap urusan, dan senantiasa berada dalam lindungan Allah SWT. Terima kasih telah menjadi sistem pendukung yang tak pernah lelah untuk saya. Semoga kebaikanmu dibalas dengan kebahagiaan dan keberkahan dalam hidupmu.
5. Teman teman Program Studi Fisika 2020 terkhusus Royani, Nur Maulidah Sari, Umimatus Sakdiyah, Reza Aulia yang selalu memberikan semangat, selalu mendukung dan kebersamaan penulis.
6. Kepada seseorang yang pernah hadir dalam hidup saya, meski tak bisa saya sebutkan namanya, terima kasih atas segala kenangan yang pernah kita lalui bersama. Rasa patah hati yang hadir di tengah proses penyusunan skripsi ini, ternyata memberikan pelajaran berharga dan menjadi motivasi yang menguatkan saya untuk terus maju. Kepergianmu mengajarkan banyak hal tentang pengalaman, pendewasaan, kesabaran, serta menerima kehilangan

sebagai bagian dari proses hidup yang penuh dinamika. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini, menghadirkan momen-momen yang menyenangkan sekaligus menyakitkan, yang pada akhirnya menjadi bagian penting dari pendewasaan diri saya. Setiap orang ada masanya, dan setiap masa ada orangnya. Meski perjalanan kita telah berakhir, kehadiranmu tetap menjadi pelajaran berharga yang membentuk saya menjadi pribadi yang lebih kuat dan bijaksana.

7. Dan yang terakhir tidak kalah pentingnya, kepada diri saya sendiri, Farah Handayani Ibrahim. Terima kasih telah bertahan, berjuang, dan bekerja keras sejauh ini. Semua darah, keringat, dan air mata yang tercurah selama proses penyusunan skripsi ini adalah bukti dari dedikasi dan kekuatan yang luar biasa. Semoga semua perjuangan ini menjadi awal yang indah untuk langkah-langkah berikutnya di masa depan. Farah, teruslah mencintai dan memeluk dirimu sendiri dengan sepenuh hati, lebih dari cinta yang kau berikan kepada orang lain. Rayakan setiap pencapaianmu, sekecil apa pun, karena kamu telah melangkah sejauh ini dengan luar biasa hebatnya. Skripsi ini saya persembahkan tidak hanya untuk diri sendiri, tetapi juga untuk semua orang yang telah kebersamai saya, baik yang telah disebutkan sebelumnya maupun yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu. Terima kasih atas setiap doa, dukungan, dan kehadiran yang menjadi cahaya dalam perjalanan studi ini. Semoga karya ini menjadi pengingat atas jasa-jasa dan kebaikan yang telah kalian berikan kepada saya selama ini.

KATA PENGANTAR

Penulis menyampaikan rasa syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini, walaupun masih jauh dari kata sempurna. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Rahmatan Lil Alamin Muhammad SAW yang telah menuntun kita dari zaman kegelapan menuju zaman terang benderang yaitu *Dinul Islam*.

Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih atas selesainya proposal skripsi dengan judul **“Evaluasi Deteksi Gempa Vulkanik Otomatis Menggunakan Metode *Short-Term Average/Long-Term Average* (Sta/Lta) Periode 24 Desember 2020 (Studi Kasus: Gunung Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia)”**, dimana dalam proses penyusunan proposal skripsi ini, penulis mengharapkan banyak bimbingan, saran dan bantuan dari berbagai pihak .

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA. sebagai Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Prof. Dr. Sri Harini, M.Si. sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Dr. Imam Tazi, M.Si. sebagai Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Drs. Abdul Basid, M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Skripsi yang dengan penuh kesabaran telah memberikan bimbingan hingga penyusunan skripsi ini selesai.

5. Ibu Muthmainnah, M.Si, selaku Dosen Pembimbing Integrasi Sains dan Islami yang telah membantu, memberikan masukan, dan arahan terhadap permasalahan integrasi Al-Qur'an dalam skripsi ini.
6. Bapak Andika Bayu Aji, S.T, M.Eng, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Lapangan yang senantiasa sabar meluangkan waktu dalam membimbing tugas akhir ini serta banyak memberikan saran, semangat, nasihat, dan ilmu yang banyak bagi penulis.
7. Seluruh Dosen Fisika, Admin Program Studi Fisika yang telah membantu, meluangkan waktunya, serta banyak memberikan saran, semangat, nasihat, dan ilmu yang banyak bagi penulis sehingga penyusunan skripsi ini hingga selesai.
8. Abah Ibrahim Jou dan Mama Hartini Misdi, selaku orang tua penulis yang sangat dicintai dan terimakasih atas doa, kasih sayang serta dukungan yang tidak henti-hentinya diberikan kepada penulis hingga skripsi ini selesai.
9. Keluarga Besar Lohayong Solor (KBLS Malang), IMANILLAH Malang, dan HIMMAFLO selaku keluarag kedua sekaligus tempat kedua di tanah perantauan yang selalu memberikan semangat dan juga dukungan yang tidak henti-hentinya diberikan kepada penulis hingga skripsi ini selesai.
10. Fatih Rahmasari S.Si dan Royani, selaku sahabat penulis yang selalu memberikan semangat dan tempat berkeluh kesah kepada penulis tanpa henti-hentinya.
11. Shinta Dewi Permatasari S.Si dan Imroatus Tsaany Maghfira S.Kom, selaku *support system* yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis tanpa henti-hentinya serta tempat berkeluh kesah selama ini.

12. Teman-teman seperjuangan di Bidang Geofisika angkatan 2021 yang telah berjuang bersama dari awal kuliah hingga saat ini.
13. Teman-teman jurusan Fisika angkatan 2021 yang telah membantu dan menyemangati saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Teriring do'a dan harapan semoga apa yang telah mereka berikan kepada penulis mendapatkan balasan yang baik dari Allah Swt. Jazakumullah khoiron katsir. Penulis menyadari bahwasannya Skripsi ini tentu jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Meskipun terdapat berbagai kekurangan, penulis berharap Skripsi ini dapat memberikan informasi dan kontribusi positif yang bermanfaat, terutama bagi penulis sendiri. Aamiin

Malang, 23 Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
ABSTRAK	xxii
ABSTRACT	xxiii
الملخص	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Batasan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Deskripsi Umum Gunung Merapi	10
2.1.1 Aspek Geologi Regional Gunung Merapi	12
2.1.2 Karakteristik Vulkanik Gunung Merapi	15
2.2 Gelombang Seismik Bumi	17
2.2.1 Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>)	18
2.2.2 Gelombang permukaan (<i>surface wave</i>)	21
2.3 Gempa Bumi dan Parameter Sumber Gempa Bumi	22
2.3.1 Hiposenter dan Episenter Gempa Bumi	23
2.3.2 Origin Time	24
2.3.3 Magnitudo	25
2.4 Penentuan Waktu Tiba Gelombang	26
2.4.1 Jendela STA	27
2.4.2 Jendela LTA	29
2.4.3 STA/LTA <i>Triger (Threshold_On)</i>	31
2.4.4 STA/LTA <i>Detrigger (Threshold_Off)</i>	31
2.4.5 Batasan nilai parameter STA/LTA	32
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2 Alat dan Bahan	33
3.4 Persiapan Data	34
3.5 Diagram Alir Penelitian	36

BAB IV PEMBAHASAN.....	39
4.1 Pengolahan Data Menggunakan Program Obspy (.Python Package)	39
4.2 Daftar Jumlah Deteksi Berdasarkan Lebar Jendela NSTA, NLTA, <i>Threshold_On</i> pada Data Stasiun Pasar Bubar serta Data Jumlah Gempa dari Katalog BPPTKG	48
4.2.1 Penentuan Jumlah deteksi gempa total pada parameter Nsta	54
4.2.2 Penentuan Jumlah Gempa Yang Terlewat (<i>Missed detection</i>), dan Jumlah Deteksi Salah (<i>False Detection</i>) Pada Parameter Nsta.....	55
4.2.3 Penentuan Jumlah deteksi gempa total pada parameter Nlta.....	61
4.2.4 Penentuan Jumlah Gempa Yang Terlewat (<i>Missed detection</i>), Dan Jumlah Deteksi Salah (<i>False Detection</i>) pada parameter Nlta.....	61
4.2.5 Penentuan Jumlah deteksi gempa total pada parameter <i>Threshold_On</i>	67
4.2.6 Penentuan Jumlah Gempa Yang Terlewat (<i>Missed detection</i>), Dan Jumlah Deteksi Salah (<i>False Detection</i>) pada parameter <i>Threshold_On</i> ..	67
4.3 Pembuatan Algoritma untuk Penggabungan Deteksi pada Tiga Variasi Parameter (NSTA, NLTA, <i>Threshold_On</i>) dan Menentukan Durasi Gempa	68
4.3.1 Penentuan Durasi Waktu Tiba Gelombang P dan Pola Panjang Durasi Pada Parameter Nlta	71
4.3.2 Penentuan Durasi Waktu Tiba Gelombang P dan Pola Panjang Durasi Pada Parameter Nsta.....	72
4.3.3 Penentuan Durasi Waktu Tiba Gelombang P dan Pola Panjang Durasi Pada Parameter <i>Threshold_On</i>	74
4.4 Gunung Api Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains.....	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83
LAMPIRAN.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel Data Jumlah Deteksi Gempa pada Parameter Nsta	54
Tabel 4.2	Tabel Data Jumlah Gempa <i>Missed</i> dan <i>False Detection</i> Parameter Nsta	55
Tabel 4.3	Tabel Data Jumlah Deteksi Gempa pada Parameter Nlta.....	61
Tabel 4.4	Tabel Data Jumlah Gempa <i>Missed</i> dan <i>False Detection</i> Parameter Nlta	61
Tabel 4.5	Tabel Data Jumlah Deteksi Gempa pada Parameter <i>Threshold_On</i>	67
Tabel 4.6	Tabel Data Jumlah Gempa <i>Missed</i> dan <i>False Detection</i> Parameter <i>Threshold_On</i>	67
Tabel 4.7	Tabel Data Penggabungan Jumlah Deteksi pada Variasi 1, 2, dan 3 untuk Masing-Masing Parameter, yaitu: <i>Threshold_On</i> , NLTA, dan NSTA..	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Sebaran Gunung Api di Indonesia (https://dreamindonesia.me/tag/peta-sebaran-gunung-berapi-di-indonesia/).....	2
Gambar 1.2 Hasil deteksi STA/LTA pada data sintetik (kiri) dan hasil deteksi STA/LTA pada data rekaman seismik Gunung Turtle (kanan) (Ningsih, 2023)	6
Gambar 1.3 Grafik STA/LTA (Trismahargyono et al, 2021)	6
Gambar 2.1 Peta Lokasi Gunung Merapi	12
Gambar 2.2 Peta Fisiografi Daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur (http://hmgi.or.id/geologi-regional-zona-kendeng/geologi)	13
Gambar 2.3 Model Sederhana Bawah Permukaan Gunung Merapi https://geografi-geografi.blogspot.com/2011/05/letusan-gunung-api.html	17
Gambar 2.4 Gelombang P	19
Gambar 2.5 Gelombang S	20
Gambar 2.6 Gelombang <i>Love</i>	21
Gambar 2.7 Gelombang <i>Reyleigh</i>	22
Gambar 2.8 Ilustrasi parameter sumber gempabumi (Sucuoglu dkk., 2014)	23
Gambar 2.9 Ilustrasi pengaruh lebar jendela STA pada deteksi gempa lokal yang singkat dan derau spike (Trnkoczy, 2012)	29
Gambar 2.10 Menunjukkan ilustrasi mengenai dampak lebar jendela LTA dalam mendeteksi gempa regional, khususnya pada gelombang P yang memiliki amplitudo kecil (Trakoczy, 2012).....	30
Gambar 3.1 Lokasi stasiun pengamatan Gunung Merapi	33
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.	36
Gambar 4.1 Tampilan Data <i>.Mseed</i>	40
Gambar 4.2 Tampilan Data <i>.Mseed</i> pada <i>software Python Package</i>	40
Gambar 4.3 Tampilan Data <i>.Mseed</i> pada <i>software Python Package</i> dengan Tiga parameter (Nsta, Nlta dan <i>Threshold_On</i>).....	41
Gambar 4.4 Variasi 1 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 1 s; lebar jendela LTA = 20 s; <i>Threshold_On</i> = 3.0; <i>Threshold_Off</i> = 0.5.	43
Gambar 4.5 Variasi 2 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 20 s; <i>Threshold_On</i> = 3.0; <i>Threshold_Off</i> = 0.5.	43
Gambar 4.6 Variasi 3 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 4 s; lebar jendela LTA = 20 s; <i>Threshold_On</i> = 3.0; <i>Threshold_Off</i> = 0.5.	43
Gambar 4.7 Variasi 1 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 10 s; <i>Threshold_On</i> = 3.0; <i>Threshold_Off</i> = 0.5.	44
Gambar 4.8 Variasi 1 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 15 s; <i>Threshold_On</i> = 3.0; <i>Threshold_Off</i> = 0.5.	45

Gambar 4.9 Variasi 1 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 20 s; <i>Threshold_On</i> = 3.0: <i>Threshold_Off</i> = 0.5	45
Gambar 4.10 Variasi 1 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 20 s; <i>Threshold_On</i> = 3.0: <i>Threshold_Off</i> = 0.5.	46
Gambar 4.11 Variasi 2 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 20 s; <i>Threshold_On</i> = 3.5: <i>Threshold_Off</i> = 0.5.	46
Gambar 4.12 Variasi 3 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 20 s; <i>Threshold_On</i> = 4.0: <i>Threshold_Off</i> = 0.5.	47
Gambar 4.13 Contoh Tampilan Untuk Menjalankan Pemeroframan Algoritma “RUN”	47
Gambar 4.14 Contoh Output setelah di Run.....	48
Gambar 4.15 Contoh Tampilan Jumlah Deteksi Total pada Lebar jendela NSTA Variasi 1 = 1 s.....	49
Gambar 4.16 Tampilan Sebagian Data yang terdeteksi (<i>Missed</i>) dan (<i>False</i>) pada lebar jendela NSTA 1 s, 2 s dan 4 s.....	49
Gambar 4.17 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (<i>Missed</i>) pada lebar jendela NSTA 1 s yaitu 3830 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (<i>Counts</i>), ...	50
Gambar 4.18 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (<i>Missed</i>) pada lebar jendela NSTA 2 s yaitu 10988 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (<i>Counts</i>), ...	51
Gambar 4.19 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (<i>Missed</i>) pada lebar jendela NSTA 4 s yaitu 2171 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (<i>Counts</i>), ...	51
Gambar 4.20 Contoh deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (<i>False</i>) pada lebar jendela NSTA 1 s yaitu 461 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (<i>Counts</i>),.....	52
Gambar 4.21 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (<i>False</i>) pada lebar jendela NSTA 2 s yaitu 418 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (<i>Counts</i>), ...	53
Gambar 4.22 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (<i>False</i>) pada lebar jendela NSTA 4 s yaitu 5556 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (<i>Counts</i>), ...	53
Gambar 4.23 Data Gempa dari katalog Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG).....	54
Gambar 4.24 Contoh Tampilan Jumlah Deteksi Total pada Lebar jendela NLTA Variasi 1 = 10 s.....	56
Gambar 4.25 Tampilan Sebagian Data yang terdeteksi (<i>Missed</i>) dan (<i>False</i>) pada lebar jendela NLTA 10 s, 15 s dan 20 s.....	57

- Gambar 4.26** Contoh Tampilan gelombang P yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela NLT 10 s yaitu 2250 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), ... 57
- Gambar 4.27** Contoh Tampilan gelombang P yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela NLT 15 s yaitu 4589 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), ... 58
- Gambar 4.28** Contoh Tampilan gelombang P yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela NLT 20 s yaitu 2171 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), ... 58
- Gambar 4.29** Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela NLTA 10 s yaitu 7010 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), ... 59
- Gambar 4.30** Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela NLTA 15 s yaitu 418 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), ... 60
- Gambar 4.31** Contoh Tampilan terdeteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela NLTA 20 s yaitu 461 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), ... 60
- Gambar 4.32** Contoh Tampilan Jumlah Deteksi Total pada Lebar jendela *Threshold_On* Variasi 1= 3.0 s..... 62
- Gambar 4.33** Tampilan Sebagian Data gelombang P yang terdeteksi (*Missed*) dan (*False*) pada lebar jendela *Threshold_On* 3.0 s, 3.5 s dan 4.0 s 63
- Gambar 4.34** Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela *Threshold_On* 3.0 s yaitu 39286 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), ... 63
- Gambar 4.35** Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela *Threshold_On* 3.5 s yaitu 2170 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), ... 64
- Gambar 4.36** Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela *Threshold_On* 4.0 s yaitu 15825 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), ... 64
- Gambar 4.37** Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela *Threshold_On* 3.0 s yaitu 461 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), ... 65
- Gambar 4.38** Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela *Threshold_On* 3.5 s yaitu 420 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y =

	Amplitude (<i>Counts</i>), Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.....	66
Gambar 4.39	Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (<i>False</i>) pada lebar jendela <i>Threshold_On</i> 4.0 s yaitu 1429 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (<i>Counts</i>), ...	66
Gambar 4.40	Penggabungan Parameter NLTA Tiga Variasi.....	69
Gambar 4.41	Penggabungan Parameter NSTA Tiga Variasi.....	69
Gambar 4.42	Penggabungan Parameter <i>Threshold_On</i> Tiga Variasi	69
Gambar 4.43	Contoh Salah Satu Hasil Output setelah di Run dengan keterangan: Variasi 1 (warna Merah); Variasi 2 (Warna Biru); Variasi 3 (Warna Hijau) Keterangan: Sumbu X = Detik Sumbu; Sumbu Y = Amplitude (<i>counts</i>).	70
Gambar 4.44	Contoh Hasil Durasi waktu Tiba gelombang P pada Parameter Nlta. Variasi 1 (warna Merah = 10 s); Variasi 2 (Warna Biru =15 s); Variasi 3 (Warna Hijau = 20 s). Keterangan: Sumbu X = Detik Sumbu; Sumbu Y = Amplitude (<i>counts</i>).	71
Gambar 4.45	Contoh Hasil Durasi waktu Tiba gelombang P pada Parameter Nsta. Keterangan: Variasi 1 (warna Merah = 1 s); Variasi 2 (Warna Biru =2 s); Variasi 3 (Warna Hijau = 4 s). Keterangan: Sumbu X = Detik Sumbu; Sumbu Y = Amplitude (<i>counts</i>).	73
Gambar 4.46	Contoh Hasil Durasi waktu Tiba gelombang P pada Parameter <i>Threshold_On</i> . Keterangan: Variasi 1 (Warna Merah = 3 s); Variasi 2 (Warna Biru = 3.5 s); Variasi 3 (Warna Hijau = 4 s). Keterangan: Sumbu X = Detik Sumbu; Sumbu Y = Amplitude (<i>counts</i>).	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh Naska Pemrograman Algoritma Parameter STA/LTA yaitu meliputi lebar jendela <i>Threshold_On</i> Pada ObsPy (<i>.Python Package</i>)	89
Lampiran 2. Tampilan output pada <i>python</i> dari format mseed dengan Titik Data 8.640.000	90
Lampiran 3. Data Output Hasil Jumlah Deteksi <i>Missed</i> dan <i>False</i> pada Parameter <i>Threshold_On</i> Variasi 1, 2 Dan Variasi 3	90
Lampiran 4. Data Output Hasil Jumlah Deteksi <i>Missed</i> dan <i>False</i> pada Parameter NSTA Variasi 1, 2 Dan Variasi 3	92
Lampiran 5. Data Output Hasil Jumlah Deteksi <i>Missed</i> dan <i>False</i> pada Parameter NSTA Variasi 1, 2 Dan Variasi 3	92
Lampiran 6. Data Jumlah Deteksi Gempa Pada Katalog BPPTKG sebanyak 474	93
Lampiran 7. Naska Pemerograman Algoritma Gabungan Pada Parameter STA/LTA yaitu meliputi lebar jendela <i>Threshold_On</i> Pada ObsPy (<i>.Python Package</i>).....	93
Lampiran 8. Contoh tampilan output pada <i>python</i> dari format mseed dengan Titik Data 8.640.000 pada Parameter Gabungan Tiga Variasi dengan masing-masing Parameter (<i>Threshold</i> , NSTA dan NLTA)	95
Lampiran 9. Data Output Hasil Durasi waktu tiba gelombang P dan Pola Gempa Pada gabungan tiga Variasi dengan masing-masing parameter (NSTA, NLTA dan <i>Threshold On</i>).....	95
Lampiran 10. Data Output Hasil Jumlah Deteksi Total pada Parameter Gabungan Tiga Variasi dengan masing-masing Parameter (<i>Threshold</i> , NSTA dan NLTA)	96

ABSTRAK

Ibrahim, Farah Handayani. 2024. **Evaluasi Deteksi Gempa Otomatis Menggunakan Metode Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA) (Studi Kasus: Gunung Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia)**. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Muthmainnah, M.Si

Kata Kunci: Gunung Merapi, Deteksi Gempa, Metode STA/SLTA, Akurasi.

Gunung Merapi, salah satu gunung api paling aktif di Indonesia, memerlukan pemantauan aktivitas seismic yang tepat untuk mengurangi risiko bencana. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi metode deteksi gempa otomatis menggunakan algoritma *Short-Term Average/Long-Term Average* (STA/LTA) dan mengoptimalkan parameter-parameter untuk meningkatkan sensitivitas dan akurasi deteksi. Data seismic yang dianalisis diambil dari rekaman vertical stasiun pengamatan Gunung Merapi selama periode 23–24 Desember 2020. Metode penelitian melibatkan pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Python*, dengan berbagai variasi parameter STA/LTA: NSTA (1 detik, 2 detik, 4 detik), NLTA (10 detik, 15 detik, 20 detik), dan Threshold_On (3 detik, 3,5 detik, 4 detik). Analisis dilakukan untuk mendeteksi gelombang P secara manual serta mengevaluasi total jumlah deteksi gempa, deteksi terlewat (*missed detection*), deteksi salah (*false detection*), dan durasi waktu kedatangan gelombang P. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi parameter secara signifikan memengaruhi jumlah deteksi dan akurasi identifikasi aktivitas gempa. Selain itu, durasi gelombang P yang terdeteksi memberikan informasi penting mengenai dinamika internal Gunung Merapi.

ABSTRACT

Ibrahim, Farah Handayani. 2024. **Evaluation of Automatic Earthquake Detection Using the Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA) Method (Case Study: Mount Merapi, Special Region of Yogyakarta, Indonesia)**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisor: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Muthmainnah, M.Si

Keywords: Mount Merapi, Earthquake Detection, STA/LTA Method, Accuracy

Mount Merapi, one of the most active volcanoes in Indonesia, requires precise seismic activity monitoring to mitigate disaster risks. This study aims to evaluate an automatic earthquake detection method using the Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA) algorithm and optimize its parameters to enhance detection sensitivity and accuracy. The seismic data analyzed were obtained from vertical recordings of the Mount Merapi observation station during the period of December 23–24, 2020. The research methodology involved data processing using *Python software* with various STA/LTA parameter configurations: NSTA (1 second, 2 seconds, 4 seconds), NLTA (10 seconds, 15 seconds, 20 seconds), and Threshold_On (3 seconds, 3.5 seconds, 4 seconds). The analysis focused on manually detecting P-waves and evaluating the total number of detected earthquakes, missed detections, false detections, and P-wave arrival durations. The results indicate that parameter variations significantly impact the detection count and accuracy of seismic activity identification. Additionally, the detected P-wave durations provide crucial insights into the internal dynamics of Mount Merapi.

الملخص

ابراهيم، فرح هندية. 2024. تقييم الكشف التلقائي عن الزلازل باستخدام طريقة المتوسط قصير المدى/ المتوسط دراسة حالة: جبل ميرابي، منطقة يوجياكارتا الخاصة، إندونيسيا. الأطروحة (STA/LTA) طويل المدى: برنامج دراسة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، مولانا الجامعة الإسلامية الحكومية مالكو إبراهيم، مالانج المشرف: مثمانة، ماجستير (II) الدكتور عبد الباسط، ماجستير (I)

كلمات مفتاحية: جبل ميرابي، كشف الزلازل، طريقة متوسط المدى القصير/متوسط المدى الطويل، الدقة

جبل ميرابي، أحد أنشط البراكين في إندونيسيا، يتطلب مراقبة دقيقة للنشاط الزلزالي لتقليل مخاطر الكوارث. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم طريقة الكشف عن الزلازل التلقائية باستخدام خوارزمية المتوسط القصير الأجل/المتوسط الطويل الأجل وتحسين المعلومات لزيادة حساسية ودقة الكشف. البيانات الزلزالية التي تم تحليلها مأخوذة من تسجيلات (STA/LTA) عمودية لمحطة مراقبة جبل ميرابي خلال الفترة من 23 إلى 24 ديسمبر 2020. تتضمن منهجية البحث معالجة البيانات، (ثانية، 2 ثانية، 4 ثواني 1) STA/LTA: NSTA مع مجموعة متنوعة من معايير Python، باستخدام برنامج تم إجراء التحليل. (ثواني، 3.5 ثواني، 4 ثواني 3) Threshold_On و، (ثواني، 15 ثانية، 20 ثانية 10) NLTA يدويًا وكذلك تقييم العدد الإجمالي للكشف عن الزلازل، والكشف الفائت، والكشف الخاطئ، ومدة P للكشف عن موجة أظهرت نتائج البحث أن تباين المعلومات يؤثر بشكل كبير على عدد الاكتشافات ودقة تحديد نشاط P. وصول موجة التي تم اكتشافها توفر معلومات مهمة حول الديناميات الداخلية لجبل ميرابي P الزلازل. بالإضافة إلى ذلك، فإن مدة موجة

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah yang dilewati cincin api dunia. Cincin Api Dunia merupakan kawasan berbentuk zona aktif yang mengelilingi Samudera Pasifik sepanjang 40.000 km. Sekitar 90% gempa terjadi di kawasan ini dan 81% gempa terbesar terjadi di sepanjang Cincin Api. Selain gempa bumi, letusan gunung berapi juga sering terjadi di kawasan ini. Karena Indonesia berada di kawasan Cincin Api, maka Indonesia mempunyai banyak gunung berapi yang tersebar dari wilayah barat (Sumatera) hingga wilayah timur (Maluku dan Nusa Tenggara) (Sambodo, 2012).

Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki banyak gunungapi adalah Pulau Jawa. Di Pulau Jawa, terdapat salah satu gunung api teraktif di dunia, yaitu Gunung Merapi (2986 mdpl). Gunung ini terletak di perbatasan empat kabupaten: Sleman, Magelang, Boyolali, dan Klaten. Posisi geografinya terletak pada koordinat $7^{\circ} 32'30''$ LS dan $110^{\circ}26'30''$ BT. Berdasarkan tatanan tektoniknya, gunung ini terletak di zona subduksi, di mana Lempeng Indo-Australia menunjam di bawah Lempeng Eurasia yang mengontrol vulkanisme di Sumatra, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara. Gunung Merapi muncul di bagian selatan dari kelurusan jajaran gunung api di Jawa Tengah mulai dari utara ke selatan yaitu Ungaran-Telomoyo-Merbabu-Merapi dengan arah N165 E (ESDM, 2014).



Gambar 1.1 Peta Sebaran Gunung Api di Indonesia

(<https://dreamindonesia.me/tag/peta-sebaran-gunung-berapi-di-indonesia/>)

Salah satu cara memantau aktivitas gunung api adalah dengan memonitor aktivitas gempa/seismik. Dalam beberapa kasus, erupsi gunung api didahului oleh peningkatan jumlah gempa vulkanik. Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) yang bertugas memantau aktivitas Gunung Merapi menggunakan parameter jumlah gempa harian sebagai salah satu indikator dalam menentukan tingkat aktivitas Gunung Merapi.

Untuk mendapatkan jumlah gempa harian, maka gempa – gempa tersebut harus dideteksi. Inti dari deteksi gempa ini adalah memisahkan kejadian gempa dengan *noise* (sinyal yang tidak diinginkan). Deteksi gempa dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Beragam algoritma telah dikembangkan untuk mendeteksi kejadian seismik (Sharma et al, 2010).

Awalnya, proses deteksi gempa dilakukan secara manual oleh para ahli dengan mengamati rekaman seismogram. Meskipun metode ini dapat menghasilkan data

yang akurat, namun memiliki beberapa kelemahan. Selain memakan waktu yang cukup lama, hasilnya juga cenderung subjektif karena sangat bergantung pada keahlian dan pengalaman individu yang melakukan analisis. Untuk mengatasi kendala tersebut, para ilmuwan dan insinyur seismologi mengembangkan sistem deteksi gempa otomatis. Inovasi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan objektivitas dalam proses identifikasi gempa. Dalam hal ini telah tercantum dalam Al-Qur'an, surah Ar-Rahman ayat 33:

يٰۤمَعْشَرَ الْجِنِّ وَالْإِنسِ إِنِ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمٰوٰتِ وَالْأَرْضِ فَانْفُذُوْا لَا تَنْفُذُوْنَ اِلَّا بِسُلْطٰنٍ ۭ

Artinya:

"Wahai golongan jin dan manusia, jika kamu mampu menembus penjuru langit dan bumi, maka tembuslah; kamu tidak akan mampu menembusnya kecuali dengan kekuatan (dari Allah)." (Ar-Rahman: 33)

Ayat ini menunjukkan tantangan Allah kepada jin dan manusia terkait kemampuan mereka untuk melintasi batas-batas langit dan bumi. Pernyataan ini sekaligus membuktikan bahwa manusia memiliki potensi untuk melampaui batas dunia hingga menjelajahi alam semesta (Wijaya & Sholihatun Malikah, 2021).

Buya Hamka, dalam tafsirnya *Al-Azhar*, mengupas ayat ini dengan tema “Jika Sanggup Melintasi Penjuru Langit”. Menurutnya, ayat ini menunjukkan salah satu bentuk rahmat Allah kepada jin dan manusia, yaitu kebebasan untuk menjelajahi alam raya menggunakan kemampuan yang dianugerahkan, terutama dalam mengelola ilmu pengetahuan. Namun, peringatan juga diberikan di akhir ayat ini bahwa kekuatan manusia dan jin tetap memiliki batas, kecuali atas izin dan kuasa Allah SWT (Wijaya & Sholihatun Malikah, 2021).

Sementara itu, Ibnu Qayyim memahami ayat ini dari dua sudut pandang. Pertama, jika manusia mampu menjadikan seluruh isi langit dan bumi sebagai objek ilmu, mereka tetap tidak akan mampu memahami sepenuhnya kecuali dengan

"بِسْمِ اللَّهِ", yang berarti bukti atau petunjuk dari Allah SWT. Kedua, apabila manusia dan jin mencoba keluar dari wilayah kekuasaan Allah, baik di langit maupun bumi, hal itu mustahil dilakukan karena mereka tetap berada dalam pengaturan dan kekuasaan-Nya di mana pun mereka berada (Wijaya & Sholihatun Malikah, 2021).

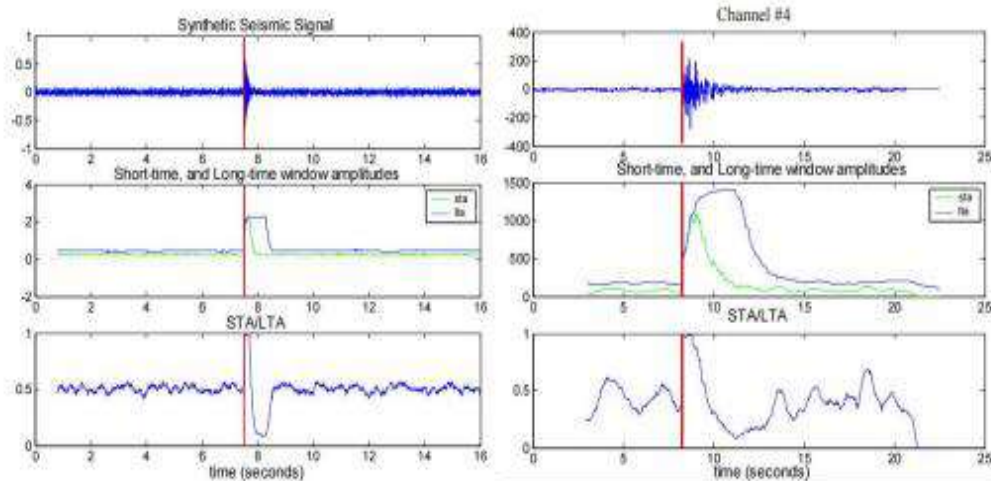
Salah satu algoritma yang populer digunakan untuk mendeteksi gempa secara otomatis adalah metode *Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA)*. Dengan membandingkan rata-rata amplitudo sinyal dalam jendela waktu pendek (*short-term*) dengan rata-rata amplitudo dalam jendela waktu panjang (*long-term*), metode ini mampu mengidentifikasi perubahan signifikan dalam aktivitas seismik yang dapat mengindikasikan adanya gempa vulkanik (Khalqillah et al., 2018).

Pendekatan *Short-Term Average/Long-Term Average (STA/LTA)* telah terbukti sebagai metode yang efektif dalam mendeteksi perubahan aktivitas seismik. Namun, efektivitas metode ini sangat bergantung pada optimalisasi parameter-parameternya untuk kondisi spesifik setiap gunung berapi. Dengan mengoptimalkan variasi parameter STA/LTA, diharapkan dapat meningkatkan sensitivitas dan akurasi deteksi gempa vulkanik, sehingga memberikan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika internal Gunung Merapi.

Variasi parameter STA/LTA, seperti interval waktu dan ambang deteksi, dapat mempengaruhi sensitivitas dan akurasi deteksi gempa. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis dan penentuan variasi parameter yang optimal untuk meningkatkan efektivitas deteksi dan karakterisasi gempa vulkanik di daerah Merapi. Dengan pemahaman yang lebih baik mengenai aktivitas seismik, upaya mitigasi risiko dapat dilakukan secara lebih efektif (Ewert et al., 2011).

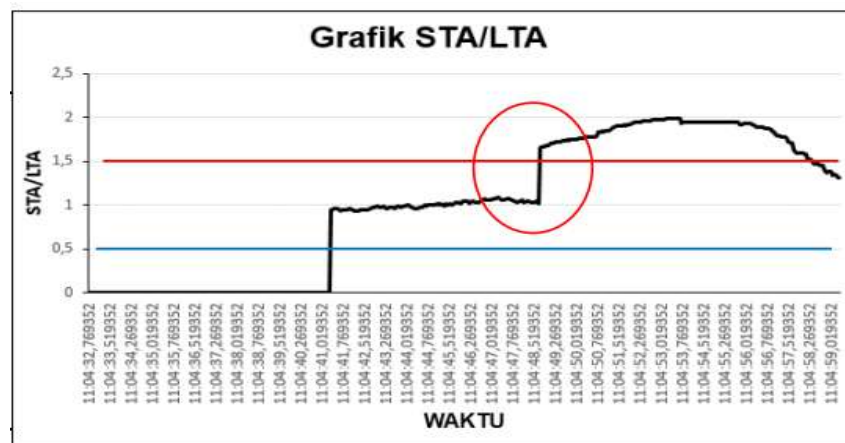
Metode otomatisasi *first break picking* data gempa menggunakan metode STA/LTA dan *machine learning* ANN sebelumnya telah dilakukan oleh (Mezyk dan Malinowski, 2019). Pada penelitian tersebut, mereka menggunakan 11 parameter yang nantinya akan dipelajari oleh komputer agar mampu melakukan pemilihan *first break* secara otomatis (Mezyk dan Malinowski, 2019).

(Ningsih, 2023) juga melakukan penelitian menggunakan metode STA/LTA untuk mendeteksi kedatangan gelombang P. Dalam penelitian ini, digunakan data sintetik serta rekaman seismik yang diperoleh dari enam seismometer yang berada di Gunung Turtle, Alberta. Sebelum menerapkan deteksi otomatis, waktu kedatangan gelombang P pada rekaman seismik Gunung Turtle ditentukan secara manual untuk dijadikan perbandingan. Hasil deteksi pada data sintetik dan rekaman seismik Gunung Turtle dapat dilihat pada Gambar 1.2. Deteksi pada data sintetik menunjukkan hasil yang sangat memuaskan, dengan metode STA/LTA mampu mengidentifikasi waktu kedatangan gelombang P dengan akurasi tinggi. Namun, untuk data rekaman seismik dari Gunung Turtle, metode ini hanya dapat mendeteksi waktu kedatangan gelombang P dengan selisih 5 ms di tiga seismometer dan kurang dari 20 ms di seismometer lainnya.



Gambar 1.2 Hasil deteksi STA/LTA pada data sintetik (kiri) dan hasil deteksi STA/LTA pada data rekaman seismik Gunung Turtle (kanan) (Ningsih, 2023)

Selain itu pada penelitian Perancangan Sistem Estimasi Intensitas Gempabumi Untuk Peringatan Dini yang dilakukan oleh Trismahargyono et al. (2021) menjelaskan bahwa pada penelitiannya hasil analisis sistem dengan STA/LTA On: 2020-11-06 11:04:48 yang mengindikasikan terjadinya *trigger* dilihat pada hasil grafik STA/LTA dan posisi dimana *trigger* mulai naik melebihi ambang batas 1,5 (Trismahargyono et al, 2021).



Gambar 1.3 Grafik STA/LTA (Trismahargyono et al, 2021)

Dalam penelitian ini, penulis membuat variasi parameter STA/LTA untuk menghasilkan deteksi gempa yang optimal di Gunung Merapi. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan program pemilihan waktu tiba gelombang P menggunakan

bahasa pemrograman Java, sehingga dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai potensi bahaya yang ditimbulkan oleh gempa vulkanik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah disebutkan di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini, yaitu:

1. Berapa jumlah total gempa yang terdeteksi di Gunung Merapi pada periode 24 Desember 2020 berdasarkan parameter STA/LTA?
2. Berapa jumlah gempa yang terlewat (*Missed Detection*) dan jumlah deteksi salah (*False Detection*) yang terjadi di Gunung Merapi pada periode 24 Desember 2020 berdasarkan parameter STA/LTA?
3. Bagaimana durasi waktu tiba gelombang P dan pola panjang durasi pada Parameter STA/LTA yang terdeteksi periode 24 Desember 2020 di Gunung Merapi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan di atas, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui jumlah total gempa yang terdeteksi di Gunung Merapi pada periode 24 Desember 2020 berdasarkan parameter STA/LTA.
2. Untuk mengetahui Jumlah gempa yang terlewat (*Missed Detection*), dan jumlah deteksi salah (*False Detection*) di Gunung Merapi pada periode 24 Desember 2020 berdasarkan parameter STA/LTA.

3. Untuk mengetahui durasi waktu tiba gelombang P dan pola panjang durasi pada Parameter STA/LTA yang terdeteksi periode 24 Desember 2020 di Gunung Merapi?

1.4 Batasan Penelitian

Adanya Batasan pada penelitian ini dimaksudkan agar penulis dapat menjadi lebih terfokus dan tidak ada hal yang keluar dari topik penelitian, serta bias mendapatkan hasil yang optimal. Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang ditransmisikan ke BPPTKG dari rekaman seismik komponen vertikal yang diperoleh dari jaringan pemantauan gempa di BPPTKG.
2. Data yang digunakan yaitu data rekaman seismik pada periode 23 Desember 2020 pukul 17:00:00 UTC hingga 24 Desember 2020 pukul 16:59:59 UTC.
3. Pemilihan algoritma deteksi gelombang P otomatis dalam penelitian ini didasarkan pada algoritma yang digunakan pada perangkat lunak *Phyton*
4. Pembuatan Algoritma diterapkan dengan variasi nilai lebar jendela NSTA, NLTA, dan *Threshold_On* yang berbeda-beda, sementara parameter *Threshold_Off* tetap konstan pada nilai 0,5 detik.
5. Penelitian ini menggunakan ambang batas 1.000 dan tidak berhubungan dengan Rasio STA dan LTA.
6. Penelitian ini menggunakan kriteria 1.000 sebagai acuan untuk menentukan apakah gempa perlu dilakukan picking atau tidak.
7. Penelitian ini tidak membandingkan jumlah gempa yang terdeteksi dengan Katalog BPPTKG.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat sebagai berikut.

1. Bagi masyarakat, penelitian hasil dapat digunakan untuk merancang strategi mitigasi bencana yang lebih efisien. Pemantauan aktivitas gempa yang lebih tepat waktu dan akurat akan memungkinkan pihak yang berwenang untuk merespons lebih cepat terhadap potensi ancaman Gunung Merapi, seperti letusan atau bahaya sekunder lainnya, yang pada gilirannya dapat mengurangi risiko terhadap keselamatan masyarakat.
2. Bagi mahasiswa, penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai metode deteksi gempa, khususnya dalam penggunaan parameter STA/LTA. Mahasiswa dapat mempelajari penerapan teori seismologi dan algoritma STA/LTA dalam konteks dunia nyata. Ini memberikan wawasan yang lebih baik tentang aplikasi praktis seismologi dalam teknik pemantauan aktivitas geologi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Deskripsi Umum Gunung Merapi

Gunung Merapi adalah salah satu gunung berapi paling aktif di Indonesia, sering kali dianggap tidak pernah tidur atau beristirahat. Aktivitas erupsi Gunung Merapi terjadi dalam periode berkisar antara 2 hingga 7 tahun. Ciri khas dari erupsi ini adalah keluarnya lava pijar dan awan panas, tanpa pembentukan kaldera (kawah) (Susilo dan Rudiarto, 2014). Menurut (Muvid, 2018) sejarah pembentukan Gunung Merapi dapat dibagi menjadi empat tahap yang berbeda:

1. Tahap Pra Merapi (lebih dari 400.000 tahun yang lalu): Pada tahap ini, gunung ini dikenal sebagai Gunung Bibi, dengan magma andesit-basaltik berumur sekitar 700.000 tahun yang terletak di lereng timur Merapi, di wilayah Kabupaten Boyolali.
2. Tahap Merapi Tua (60.000-8.000 tahun yang lalu): Selama periode ini, Gunung Merapi mulai terbentuk menjadi gunung kerucut, meskipun belum sepenuhnya terbentuk.
3. Tahap Merapi Pertengahan (8.000-2.000 tahun yang lalu): Terjadi beberapa letusan lava andesitik yang membentuk Bukit Batu Lawang dan Gajah Mungkur, yang kini terlihat di lereng utara Merapi.
4. Tahap Merapi Baru (2.000 tahun hingga sekarang): Di kawah Pasarbubar, terbentuk kerucut puncak Merapi yang dikenal sebagai Gunung Anyar, yang menjadi pusat aktivitas gunung ini.

Letusan Gunung Merapi biasanya ditandai dengan pembentukan kubah lava, yang kemudian diikuti oleh letusan paroksimal yang melibatkan aliran piroklastik, termasuk lelehan lava dan awan panas. Ada dua jenis awan panas yang terkait dengan aktivitas Gunung Merapi: awan panas guguran dan awan panas letusan. Awan panas guguran terjadi akibat longsornya lava pijar yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan kemiringan lereng, sedangkan awan panas letusan berasal dari material yang meletus secara vertikal. Suhu awan panas berkisar antara 400°C hingga 600°C, dengan kecepatan mencapai 60-70 km/jam. Aktivitas Gunung Merapi biasanya ditandai dengan frekuensi letusan yang berlangsung antara 1 hingga 5 tahun (Fridayanti D, 2022). Allah SWT berfirman:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيَضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا
وَعَرَابِيٌّ سُودٌ ﴿٢٧﴾

Artinya:

“Tidakkah kamu melihat bahwasanya Allah menurunkan hujan dan langit lalu kami hasilkan dengan hujan itu buah-buahan yang beraneka macam jenis. Dan di antara gunung-gunung itu ada jalur-jalur putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat.” (Q.S. Fathir: 27)

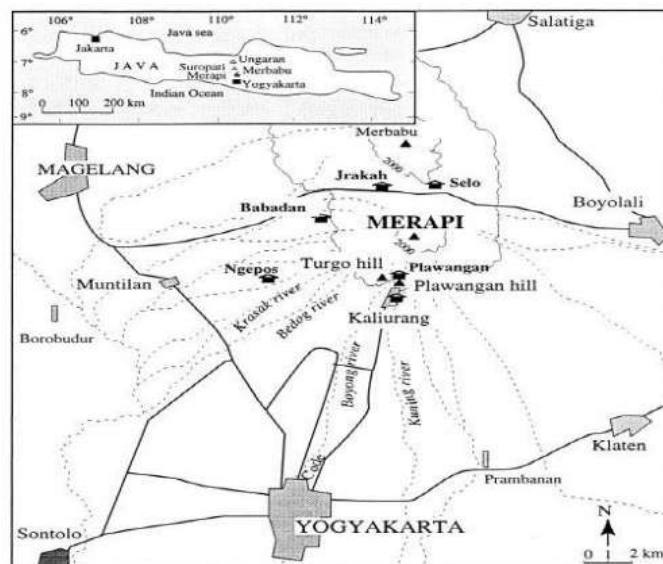
Dari penjelasan di atas, dapat dipahami secara ilmiah bahwa perbedaan warna gunung disebabkan oleh jenis material yang terdapat dalam batuan gunung tersebut. Jika batuan mengandung besi, maka warna gunung akan cenderung merah. Batuan yang mengandung batu bara akan berwarna hitam, sedangkan batuan yang mengandung perunggu akan berwarna hijau. Materi-materi ini dikenal sebagai magma dalam ilmu geologi. Karena magma berasal dari kedalaman yang berbeda, komposisinya juga bervariasi. Magma yang mengalami proses kristalisasi pada kedalaman yang berbeda akan membentuk gunung-gunung dengan warna dan materi yang beragam. Hal ini menggambarkan kesatuan hukum Allah SWT, di

mana meskipun terdapat berbagai bentuk dan warna, semuanya berasal dari sumber yang sama.

Gunung merupakan kumpulan besar massa batuan yang berada di atas area tanah yang luas dan terdiri dari materi yang sejenis. Dengan kata lain, gunung adalah formasi batuan besar yang terakumulasi di permukaan bumi, menciptakan struktur yang signifikan. Itulah pengertian gunung yang telah dikenal oleh manusia selama ini (Ahmad, 2011).

2.1.1 Aspek Geologi Regional Gunung Merapi

Gunung Merapi memiliki ketinggian 2.930 mdpl pada tahun 2010 dan dikenal sebagai gunung paling aktif di Indonesia. Di sisi selatan, gunung ini terletak di Kabupaten Sleman, Yogyakarta; di sisi barat berada di Kabupaten Magelang; di sisi timur terletak di Kabupaten Boyolali; dan di sisi tenggara berada di Kabupaten Klaten.

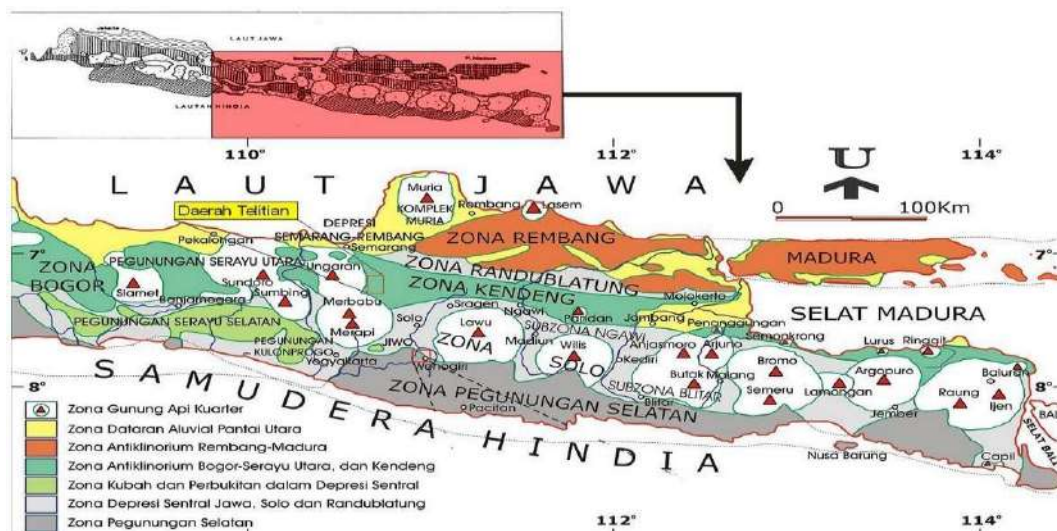


Gambar 2.1 Peta Lokasi Gunung Merapi

Setelah erupsi besar pada tahun 2010, struktur morfologi Gunung Merapi mengalami perubahan yang signifikan. Salah satu perubahan utama adalah rusaknya dinding Geger Boyo di sisi tenggara gunung, yang sebelumnya berfungsi

sebagai penahan aliran lava dari puncak Merapi. Erupsi tersebut juga menyebabkan munculnya rekahan baru di kubah Merapi. Selanjutnya, setelah gempa bumi pada November 2013, yang terjadi bersamaan dengan musim hujan, Gunung Merapi kembali mengalami erupsi, yang menghasilkan rekahan tambahan. Berdasarkan data dari terraSAR-X, gambar menunjukkan arah strike dari rekahan di puncak Gunung Merapi mengarah ke barat laut-tenggara, dengan sudut strike antara 90° - 180° dan 270° - 360° (Rauzam, 2015).

Hal ini berkaitan dengan pembentukan Perbukitan Gendol, di mana puncak Gunung Merapi di sisi utara dan timur dikelilingi oleh formasi Merapi Tua. Akibatnya, mulut kubah terbuka ke arah barat daya, yang menyebabkan aktivitas erupsi Gunung Merapi mengarah ke barat daya. Fisiologi Jawa terbagi menjadi tujuh zona, seperti yang ditampilkan pada gambar 2.2 di bawah ini.



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

Daerah Istimewa Yogyakarta terletak sekitar 250 km dari pertemuan lempeng di selatan Jawa, yang mengalami dampak gempa akibat pergeseran lempeng Eurasia dan Indo-Australia. Pergeseran kedua lempeng ini memengaruhi wilayah selatan Jawa, termasuk fenomena munculnya Gunung Merapi (Anshariyah, 2019).

Dari sudut pandang tektonik, Gunung Merapi merupakan bagian dari sistem subduksi yang mencakup wilayah Sumatera, Jawa, Bali, dan Lombok (Harijoko dkk., 2024). Sistem subduksi ini merupakan batas aktif antara lempeng yang menghasilkan magma basaltik-andesit dan menyebabkan gempa dengan intensitas cukup tinggi. Proses pembentukan magma andesit ini dapat menghasilkan gas dalam jumlah besar, yang berpotensi memicu letusan eksplosif.

Gunung berapi yang masih aktif di dunia, termasuk di Indonesia, umumnya memiliki bentuk kerucut. Ciri khas gunung berapi berbentuk kerucut adalah puncaknya yang runcing atau lancip. Gunung berapi dengan bentuk ini sering disebut gunung berapi strato. Gunung Merapi termasuk dalam kategori gunung berapi tipe strato, yang memiliki magma dengan tingkat kekentalan tinggi. Kekentalan magma ini memengaruhi bentuk gunung berapi itu sendiri. Bentuk Gunung Merapi dapat dibedakan menjadi dua bagian: bagian yang lebih tua dan kerucut aktif dari Gunung Merapi (Hadisurya, D. 2018).

Menurut para ahli, Gunung Merapi terbentuk di titik pertemuan antara dua deret gunung api, yaitu Ungaran-Telemoyo-Merbabu-Merapi dan Lawu-Merapi-Sumbing-Sundoro-Slamet. Selain itu, Merapi juga terletak di persimpangan antara Sesar Semarang (yang membentang dari utara ke selatan) dan Sesar Solo (yang membentang dari barat ke timur) (Fridayanti, 2022).

Gunung Merapi mengalami evolusi vulkanik, dimulai dengan magma yang awalnya bersifat encer (basa) dan menghasilkan tipe erupsi efusif. Seiring waktu, sifat magma berubah menjadi lebih kental (asam) dengan tipe erupsi yang campuran antara efusif dan eksplosif. Magma yang menjadi sumber aktivitas Merapi

merupakan hasil proses peleburan yang berlangsung sejak Plio-Pleistosen sekitar dua juta tahun lalu.

Gunung Merapi memiliki dapur magma yang sangat dangkal, dengan magma yang kental dan tekanan gas yang rendah. Secara morfologis, tubuh Gunung Merapi terbagi menjadi empat bagian: Kerucut Puncak, Lereng Tengah, Lereng Kaki, dan Dataran Kaki. Kerucut Puncak terdiri dari endapan yang lebih muda, seperti lava dan material piroklastik. Satuan Lereng Tengah dibentuk oleh endapan lava piroklastik dan lahar, sementara Lereng Kaki dan Dataran Kaki tersusun dari endapan piroklastik, lahar, dan aluvial (Qolbi, 2021).

Di bagian lereng barat Merapi terdapat daerah aliran guguran dan piroklastik, yang merupakan area terbuka dan sering terpapar awan panas. Lereng Kaki Merapi terdiri dari pegunungan radial yang diinterupsi oleh hulu-hulu sungai. Beberapa sungai penting di lereng barat, dari selatan ke utara, termasuk Kali Krasak, Brebeg, Kali Putih, Kali Lamat, dan Kali Senowo. Alur sungai tersebut sering menerima tambahan material dari produk letusan (Anshariyah, 2019).

2.1.2 Karakteristik Vulkanik Gunung Merapi

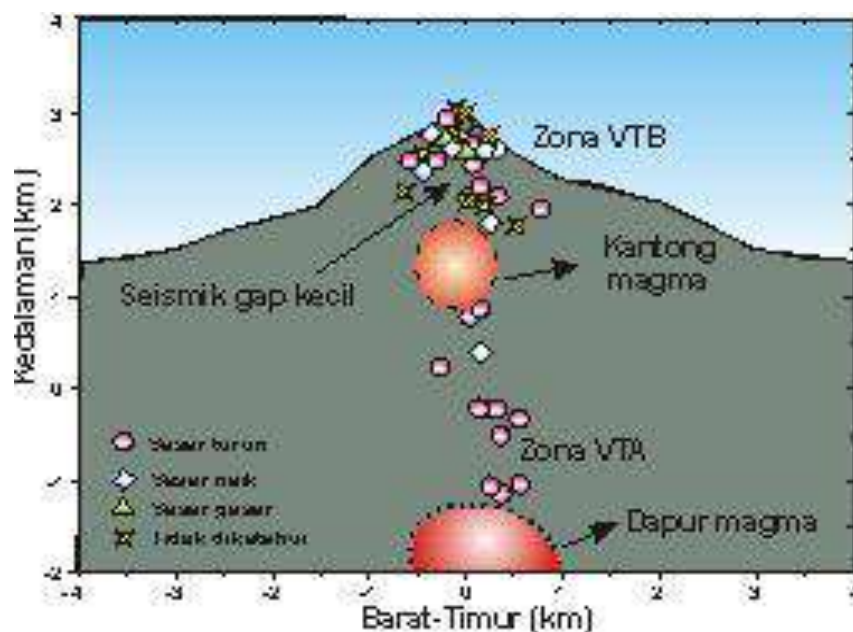
Perilaku dan karakteristik Gunung Merapi dipengaruhi oleh tiga faktor utama: sifat magma, struktur internal gunung berapi, dan besar suplai magma dari kedalaman (Kaler & Yudha, 2011). Sifat magma yang berpengaruh terhadap sistem vulkanis Gunung Merapi mencakup komposisi, tingkat kekentalan, kandungan air, dan kandungan gas. Selain itu, struktur internal gunung berapi sangat menentukan bagaimana gunung tersebut berperilaku, termasuk dalam hal pipa magma dan posisi dapur magma (Anshariyah, 2019).

Van Bemmelen mengembangkan model bawah permukaan pertama dari Gunung Merapi yang menunjukkan adanya tumbukan subduksi antara lempeng Samudra Indo-Australia yang menyusup di bawah lempeng Eurasia, dengan kedalaman antara 60 hingga 150 km. Proses ini menghasilkan magma asal (magma primitif) akibat pengaruh temperatur dan tekanan. Magma yang muncul kemudian akan membentuk aliran lava yang berposisi antara lava cair dan sumbat lava, tergantung pada lokasi keluarnya lava. Lava yang keluar dengan kemiringan akan membentuk lidah lava, sedangkan lava yang keluar di area datar akan membentuk kubah lava (lava dome).

Berdasarkan data kegempaan Gunung Merapi, terlihat bahwa gempa vulkanik terjadi secara vertikal di dekat puncak dan tidak menyebar luas. Menurut data dari BPPTKG, pada kedalaman 1,5-2 km di bawah puncak, tidak ditemukan hiposenter gempa, demikian pula pada kedalaman lebih dari 5 km. Gempa vulkanik tektonik membutuhkan medium yang padat, dan zona-zona tanpa hiposenter diperkirakan merupakan zona lunak (ductile) karena keberadaan magma. Zona lembek pada kedalaman 1,5-2,5 km dianggap sebagai kantong magma. Luehr et al. (2013) melakukan seismik topografi dan menemukan anomali kecepatan rendah pada kedalaman 5 km. Model sederhana mengenai struktur bawah permukaan Gunung Merapi dapat dilihat pada gambar 2.3.

Di antara dua zona gempa VTA (vulkanik tektonik tipe A) dan VTB (vulkanik tektonik tipe B), diperkirakan terdapat Zona seismik. Tidak adanya gempa di area ini mengarah pada asumsi adanya material yang lebih lunak di antara zona material yang lebih keras. Material lunak ini kemungkinan berhubungan dengan suhu yang lebih tinggi.

Hipotesis ini diperkuat oleh fakta bahwa suhu di sekitar puncak, khususnya di plataran Woro dan Gendol, dapat mencapai 830 °C, menunjukkan adanya sumber panas yang relatif dangkal. Secara geologis, Van Bemmelen mengidentifikasi adanya sesar tektonik di bawah Gunung Merapi, yaitu sesar Kukusan. Diperkirakan bahwa kantong magma ini terbentuk akibat sesar ini, di mana magma dapat terakumulasi di atasnya. Kantong magma ini diperkirakan berfungsi sebagai katup yang memperlambat laju migrasi magma dari dapur magma ke atas, sehingga mengurangi kekuatan letusan.



Gambar 2.3 Model Sederhana Bawah Permukaan Gunung Merapi
<https://geografi-geografi.blogspot.com/2011/05/letusan-gunung-api.html>

2.2 Gelombang Seismik Bumi

Gelombang seismik merupakan gelombang yang bergerak di dalam bumi akibat deformasi tektonik, tekanan, atau tarikan gravitasi yang disebabkan oleh sifat elastis kerak bumi. Gelombang ini membawa energi dan menyebar ke segala arah di dalam bumi, serta dapat dicatat oleh seismometer (Putra, 2016).

Pergerakan mendadak batuan di sepanjang celah sesar bumi dapat menghasilkan getaran yang mentransmisikan energi dalam bentuk gelombang. Gelombang yang bergerak di dalam batuan di bawah permukaan disebut gelombang badan (*body waves*), sementara gelombang yang merambat dari episenter menuju permukaan bumi dikenal sebagai gelombang permukaan (*surface wave*). Kecepatan perambatan gelombang seismik dipengaruhi oleh sifat elastis lapisan batuan yang dilalui oleh gelombang tersebut (Linda et al., 2019).

2.2.1 Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan atau disebut juga dengan gelombang bebas (*free wave*) merupakan gelombang yang dapat menjalar ke segala arah melalui bagian dalam bumi. Gelombang badan terbagi menjadi dua berdasarkan dari cara gelombangnya merambat yaitu gelombang primer dan gelombang sekunder (Roemaf, 2013).

Terdapat dua jenis gelombang badan, yaitu gelombang primer (gelombang P) dan gelombang sekunder (gelombang S). Gelombang P, yang juga dikenal sebagai gelombang mampatan (*compression wave*), merupakan gelombang longitudinal di mana arah gerakannya sejajar dengan arah perambatan gelombang tersebut.

a. Gelombang Pressure / Gelombang Primer (P)

Gelombang primer adalah gelombang longitudinal yang merambat lebih cepat dan mencapai lokasi pertama dengan frekuensi yang lebih tinggi (Haerudin et al., 2019). Gambar 2.4 menunjukkan pergerakan partikel dalam gelombang primer. Kecepatan gelombang primer, atau gelombang tekanan, adalah sekitar 5 hingga 7 km/s di kerak bumi, lebih dari 8 km/s di dalam mantel dan inti bumi, sekitar 1,5 km/s di dalam air, dan sekitar 0,3 km/s di udara (Wahyuni et al., 2017). Hubungan kecepatan gelombang P (V_p) dengan

sifat elastis dan densitas mesium dapat dinyatakan dalam persamaan 2.1 berikut:

$$V_p = \sqrt{K + \frac{4}{3} \mu} / \rho \quad (2.1)$$

Dengan :

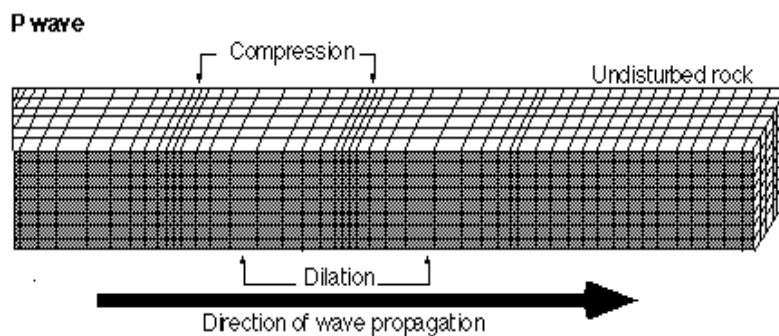
V_p : Kecepatan gelombang P (Km/s)

K : Modulus Bulk (N/m²)

μ : Modulus Geser (N/m²)

ρ : Densitas Medium (Kg/m³) (Asparini, 2011)

Gelombang ini dikenal sebagai gelombang kompresi atau gelombang longitudinal. Gelombang ini menyebabkan partikel media bergerak sejajar dengan arah rambat gelombang. Dalam rekaman seismograf, gelombang ini disebut gelombang primer (P) karena selalu tiba terlebih dahulu. Gelombang ini dapat merambat melalui media padat maupun cair (Maryanto, 2016).



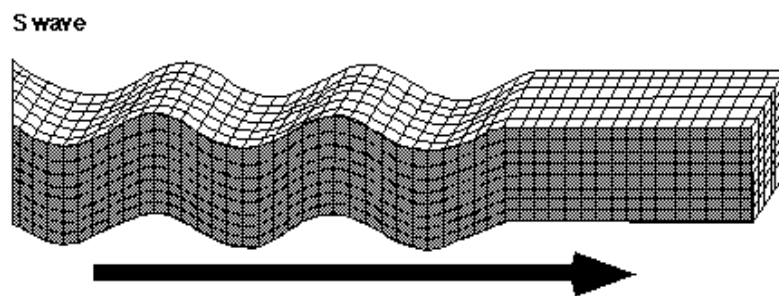
Gambar 2.4 Gelombang P

b. Gelombang Shear / Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder, yang juga dikenal sebagai gelombang geser, memiliki kecepatan yang lebih lambat dibandingkan dengan gelombang P, sehingga gelombang ini tiba setelah gelombang P. Gelombang ini, yang disebut gelombang S, merupakan jenis gelombang transversal di mana arah

gerak partikel tegak lurus terhadap arah rambat gelombang (Insanul, 2020). Kecepatan gelombang S (V_S) berkisar antara 3 hingga 4 km/s di kerak bumi, lebih dari 4,5 km/s di dalam mantel bumi, dan antara 2,5 hingga 3,0 km/s di dalam inti bumi (Hidayati, 2010).

Gelombang ini adalah jenis gelombang seismik tercepat yang bergerak melalui bebatuan, dengan kecepatan antara 6-7 km/detik. Sementara itu, gelombang S, yang dikenal sebagai gelombang rincih (shear wave), merupakan gelombang transversal di mana arah gerakannya tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang.



Gambar 2.5 Gelombang S

Gelombang seismik ini bergerak melalui bebatuan dengan kecepatan 3,5 km/detik. Baik gelombang P maupun S berperan penting bagi ahli seismologi dalam menentukan lokasi hiposenter dan episenter suatu gempa. Ketika kedua gelombang ini bergerak di dalam dan di permukaan bumi, keduanya mengalami pemantulan (*reflection*) dan pembiasan (*refraction*). Fenomena ini mirip dengan cahaya yang tampak membelok saat melewati kaca bening. Para ahli seismologi menganalisis perubahan arah ini untuk mengidentifikasi sumber gempa.

Hubungan kecepatan gelombang S (V_S) dengan sifat elastis dan densitas medium dapat dinyatakan dalam persamaan 2.2 berikut:

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

Dengan :

V_s : Kecepatan gelombang S (Km/s)

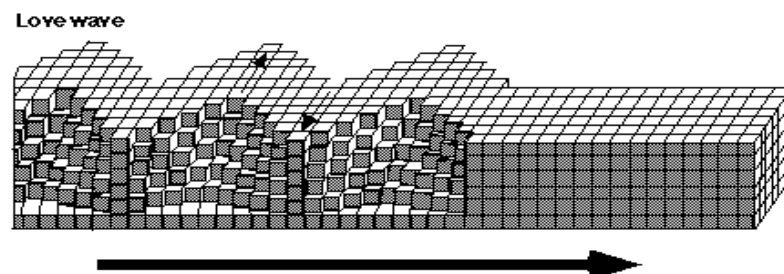
μ : Modulus Geser (N/m²)

ρ : Densitas Medium (Kg/m³)

2.2.2 Gelombang permukaan (surface wave)

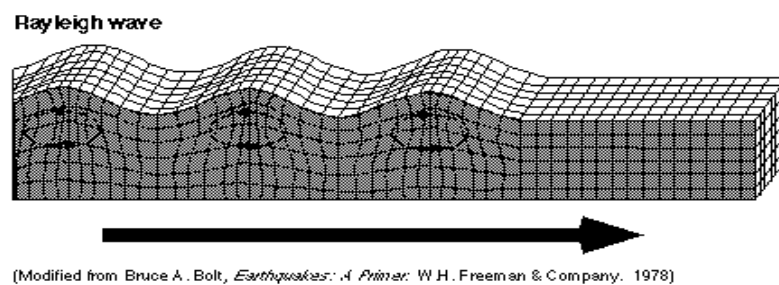
Gelombang permukaan adalah gelombang elastis dimana penjalaran gelombangnya disepanjang permukaan bumi. Gelombang permukaan atau *surface wave* terdiri dari gelombang *love* (L) dan gelombang *rayleigh* (R). Ada dua macam gelombang permukaan, yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*. Gelombang *love* adalah gelombang permukaan yang menjalar dengan pergerakan transversal. Sedangkan Gelombang permukaan *rayleigh* adalah gelombang dengan pergerakan partikelnya kombinasi dengan gerakan partikel gelombang P dan gelombang S.

- a. Gelombang *Love* adalah jenis gelombang permukaan yang bergerak dengan pola pergerakan *transversal*. Kecepatan rambat gelombang *Love* lebih tinggi dibandingkan dengan gelombang *Rayleigh*. Gelombang *Love* dapat menimbulkan efek gerakan tanah yang horizontal dan tidak menghasilkan perpindahan vertikal.



Gambar 2.6 Gelombang *Love*

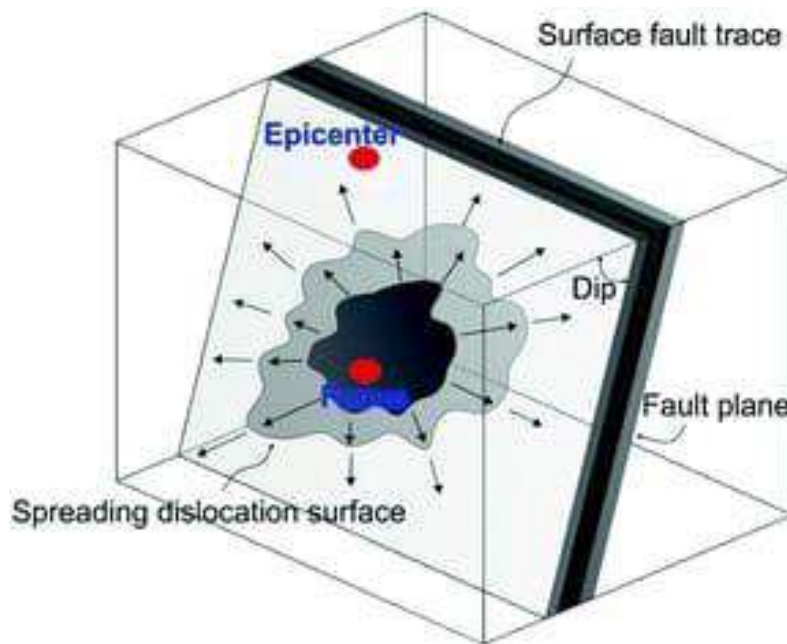
- b. Gelombang permukaan *rayleigh* adalah gelombang dengan pergerakan partikelnya kombinasi dengan gerakan partikel gelombang P dan gelombang S. Gelombang *Rayleigh* menghasilkan gerakan tanah yang bersifat sirkular, menyebabkan tanah bergerak naik dan turun seperti gelombang di lautan.



Gambar 2.7 Gelombang *Reyleigh*

2.3 Gempa Bumi dan Parameter Sumber Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan fenomena getaran pada permukaan bumi yang dapat terjadi akibat pelepasan energi secara mendadak (Echeverria, 2019). Penyebab terjadinya gempa bumi meliputi pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung berapi, serta kegiatan manusia. Gempa bumi memiliki beberapa parameter sumber, antara lain episenter, hiposenter, waktu awal gempa (origin time), dan magnitudo. Parameter-parameter tersebut dapat divisualisasikan sebagaimana terlihat pada Gambar 2.12



Gambar 2.8 Ilustrasi parameter sumber gempabumi (Sucuoglu dkk., 2014)

2.3.1 Hiposenter dan Episenter Gempa Bumi

Gempa bumi memiliki dua titik penting yang perlu dipahami dalam kajian seismologi. Pertama adalah hiposenter, yaitu titik di dalam bumi yang menjadi sumber gempa. Kedua adalah episenter, yang merupakan titik di permukaan bumi yang terletak langsung di atas lokasi pusat gempa yang mempengaruhi permukaan bumi. Hiposenter, yang juga dikenal sebagai fokus gempa, dapat diidentifikasi melalui analisis gelombang seismik yang dihasilkan oleh aktivitas seismik termasuk gempa vulkanik (Bulo et al., 2020).

Meski sering dianggap sebagai titik tunggal, hiposenter sebenarnya merupakan area yang luas, dengan ukuran yang bergantung pada besarnya energi yang dilepaskan. Posisinya dapat ditentukan menggunakan koordinat lintang, bujur, dan elevasi (Setiawan, 2017). Dalam konteks gempa vulkanik, hiposenter memiliki kaitan erat dengan aktivitas magmatik yang memicu terjadinya gempa.

Penentuan lokasi gempa menggunakan sistem koordinat tiga dimensi, di mana hiposenter dinyatakan dalam koordinat longitude (X_o), latitude (Y_o), dan

kedalaman di bawah permukaan (Z_o) dalam satuan kilometer. Berdasarkan kedalamannya, gempa dapat dikategorikan menjadi dua jenis. Gempa dangkal (*shallow earthquake*) terjadi ketika fokus gempa berada pada kedalaman 0-70 km dari permukaan, sementara gempa dalam (*deep earthquake*) terjadi pada kedalaman antara 70-700 km.

Episenter memiliki peran penting sebagai titik referensi di permukaan bumi yang berada tepat di atas pusat gempa. Lokasinya yang sejajar dengan hiposenter membantu para peneliti dalam menganalisis dampak gempa di permukaan (Arimuko et al., 2019). Proses penentuan lokasi gempa dilakukan melalui serangkaian tahapan, dimulai dari identifikasi fase seismik pertama dan pencatatan waktu kedatangannya. Perhitungan lokasi hiposenter kemudian dilakukan secara iteratif sampai diperoleh model yang menghasilkan nilai residual minimum di setiap stasiun pengamatan.

Keakuratan dalam menentukan lokasi gempa dipengaruhi oleh beberapa faktor krusial. Menurut Havskov & Ottemoller (2010), faktor-faktor tersebut mencakup distribusi stasiun seismik yang tersedia, kualitas data yang berhasil direkam, serta keakuratan model kecepatan yang digunakan dalam analisis. Semua faktor ini berkontribusi pada ketepatan penentuan lokasi hiposenter dan episenter, yang sangat penting untuk pemahaman dan mitigasi risiko gempa bumi.

2.3.2 Origin Time

Waktu awal gempa, atau yang dikenal sebagai origin time, merujuk pada saat terjadinya pelepasan energi dari sumber gempa bumi (Shearer, P. M., 2009). Perlu dibedakan antara waktu awal gempa ini dengan waktu ketika getaran gempa mulai terasa di permukaan bumi. Origin time selalu mendahului waktu

terdeteksinya gempa di permukaan, mengingat gelombang seismik memerlukan waktu untuk merambat dari lokasi sumber gempa hingga mencapai permukaan bumi (Havskov et al. 2020)

Penentuan origin time yang akurat memiliki peran penting dalam analisis seismologi, terutama untuk pemahaman mekanisme gempa dan pemetaan zona seismik (Kennett, 2009). Metode-metode modern dalam penentuan origin time melibatkan analisis kompleks dari data seismik yang dikumpulkan dari berbagai stasiun pengamat, sering kali menggunakan algoritma inversi dan teknik pemodelan gelombang (Zhu & Zhou, 2016).

2.3.3 Magnitudo

Magnitudo adalah ukuran yang digunakan untuk menentukan kekuatan dan energi yang dihasilkan oleh gempa bumi. Terdapat berbagai jenis magnitudo yang telah dikembangkan oleh para peneliti, termasuk magnitudo lokal (M_i), magnitudo gelombang badan (M_b), magnitudo gelombang permukaan (M_s), dan magnitudo momen (M_w). Metode perhitungan magnitudo bervariasi tergantung pada jenis yang diukur. Secara umum, magnitudo dapat dihitung menggunakan rumus yang diusulkan oleh Stein dan Wysession (2009):

$$M = \log \left(\frac{A}{T} \right) + F(h, \Delta) + C \quad (2.5)$$

Dengan :

- A : Amplitudo Gelombang
- T : Periode
- F : Fungsi Koreksivariasi Amplitudo Terhadap Kedalaman Gempa
- h : Jarak Dari Seismometer Δ
- C : Faktor Skala Regional

2.4 Penentuan Waktu Tiba Gelombang

Penentuan waktu kedatangan gelombang P secara akurat sangat penting untuk menentukan lokasi gempa bumi. Waktu kedatangan gelombang P dapat ditentukan secara manual dengan mengamati perubahan amplitudo yang signifikan pada seismogram. Namun, pendekatan ini cenderung subjektif dan memakan waktu, terutama saat menangani data dalam jumlah besar (Kiswiranti, 2019). Oleh karena itu, diperlukan sistem otomatis untuk mendeteksi kedatangan gelombang P guna mengelola data dalam jumlah besar. Berbagai metode dapat digunakan untuk mendeteksi kedatangan gelombang P, termasuk metode korelasi silang, autokorelasi, dan STA/LTA. Dalam penelitian ini, metode STA/LTA diterapkan untuk mendeteksi kedatangan gelombang P.

Algoritma *Short Time Average/Long Time Average* (STA/LTA) mendeteksi gempa secara otomatis dengan cara menghitung nilai rata-rata amplitudo absolut dari sinyal seismik dalam dua jendela waktu yang bergerak secara berurutan (Trnkoczy, 2012). Jendela waktu pendek (NSTA) memiliki sensitivitas tinggi terhadap kejadian seismik, sedangkan jendela waktu panjang (NLTA) memberikan informasi tentang amplitudo derau seismik di lokasi tersebut. Deteksi gempa bumi dilakukan ketika rasio antara keduanya melebihi ambang batas yang telah ditetapkan (Chen et al, 2020) mengemukakan beberapa persamaan yang berkaitan dengan algoritma STA/LTA, termasuk persamaan untuk STA (dilihat dalam Persamaan 2.6), LTA (dilihat dalam Persamaan 2.7), serta persamaan untuk rasio STA/LTA ditunjukkan pada persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$STA_{(i)} = \frac{I}{N_{STA}} \left(\sum_{j=i-N_{STA}}^i A_j \right) \quad (2.6)$$

$$LTA_{(i)} = \frac{I}{N_{LTA}} \left(\sum_{j=i-N_{LTA}}^i A_j \right) \quad (2.7)$$

$$RSL_{(i)} = \frac{STA_{(i)}}{LTA_{(i)}} \quad (2.8)$$

Dengan:

- STA : *Short time average*
- N_{STA} : Lebar jendela STA
- A : Amplitudo sinyal seismik
- LTA : *Long time average*
- N_{LTA} : lebar jendela LTA
- RSL : rasio STA dan LTA

Salah satu keterbatasan dari algoritma STA/LTA adalah ketidakakuratan dalam mendeteksi gelombang P saat diterapkan di stasiun yang mengalami derau seismik tinggi. Namun, hal ini dapat diatasi dengan menyesuaikan parameter STA/LTA sesuai dengan kondisi stasiun. Penyesuaian ini dapat mengurangi kesalahan deteksi dan meningkatkan akurasi dalam mendeteksi gelombang P. Algoritma STA/LTA memiliki empat parameter utama, yaitu jendela STA, jendela LTA, ambang batas pemicu STA/LTA, dan ambang batas penghilang pemicu STA/LTA. Berikut adalah penjelasan mengenai parameter-parameter tersebut berdasarkan Trnkoczy (2012).

2.4.1 Jendela STA

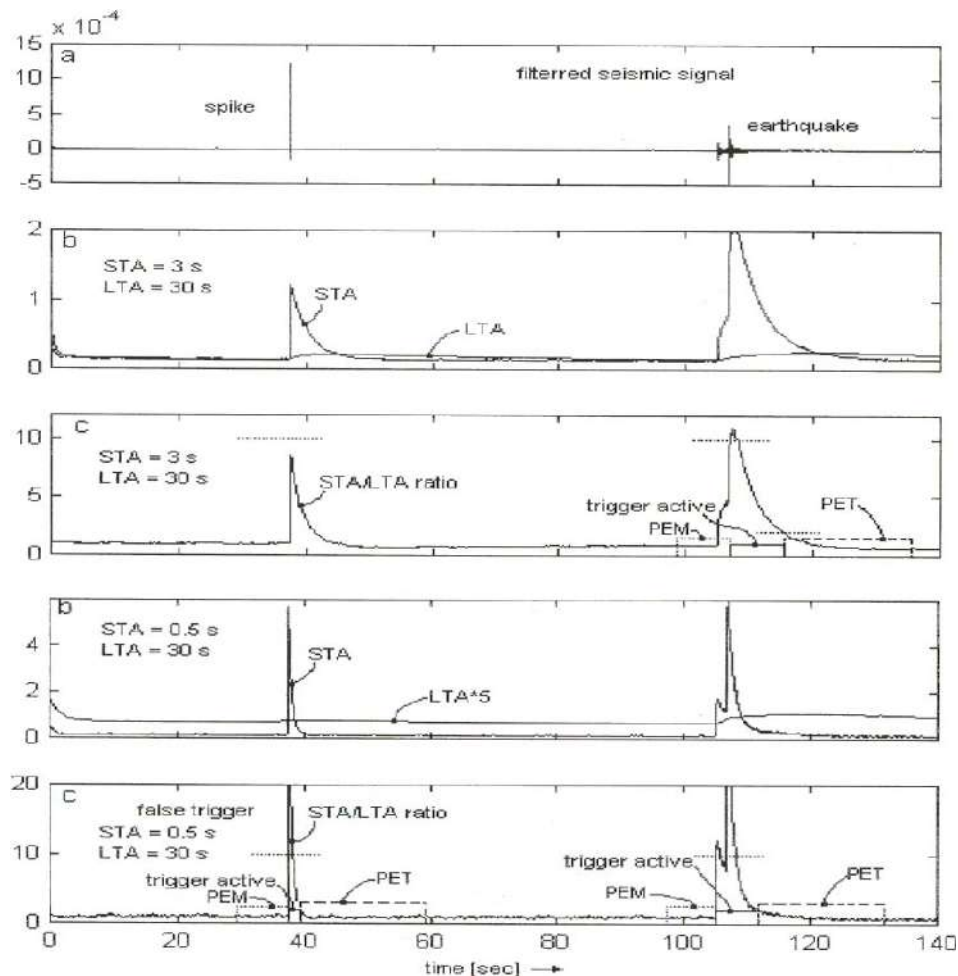
Jendela STA (*Short-Term Average*) digunakan untuk mengukur nilai dan envelope sinyal seismik. Secara umum, lebar jendela STA sebaiknya lebih besar dari periode sinyal seismik yang diantisipasi. Lebar jendela STA memengaruhi sensitivitas detektor terhadap gempa lokal yang memiliki durasi singkat dan frekuensi tinggi. Jendela STA yang lebih pendek meningkatkan sensitivitas detektor terhadap gempa lokal, sedangkan jendela yang lebih panjang mengurangi sensitivitas tersebut.

Pemilihan lebar jendela STA yang tidak tepat dapat menyebabkan kesalahan dalam deteksi gempa bumi. Sebuah ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.5. Grafik

(a) menunjukkan seismogram yang mengandung derau buatan berupa spike dan sinyal gempa yang mengikuti. Grafik (b) dan (c) menggambarkan hasil olahan seismogram dengan lebar jendela STA 3 detik, sedangkan grafik (d) dan (e) menunjukkan hasil olahan dengan lebar jendela STA 0,5 detik.

Dalam grafik (b) dan (c), penggunaan jendela STA yang lebih panjang (3 detik) menyebabkan grafik STA mengalami kenaikan yang lambat ketika terpapar derau spike. Akibatnya, rasio STA/LTA tidak mencapai ambang batas pemicu, sehingga deteksi tetap tidak aktif. Sebaliknya, grafik (d) dan (e) dengan lebar jendela STA 0,5 detik menunjukkan bahwa jendela yang lebih pendek memungkinkan grafik STA meningkat lebih cepat ketika terdapat perubahan amplitudo singkat, seperti derau spike. Ini menyebabkan rasio STA/LTA naik hingga mencapai ambang batas pemicu dan deteksi menjadi aktif.

Ilustrasi ini menunjukkan bahwa jendela STA yang lebih pendek meningkatkan sensitivitas detektor terhadap perubahan amplitudo yang cepat. Untuk mendeteksi gempa regional, direkomendasikan lebar jendela STA antara 1-2 detik, sedangkan untuk gempa lokal, lebar jendela sekitar 0,3-0,5 detik biasanya digunakan. Untuk meminimalkan kesalahan deteksi akibat derau seismik yang tinggi di suatu stasiun, penggunaan jendela STA yang lebih panjang dapat dipertimbangkan.



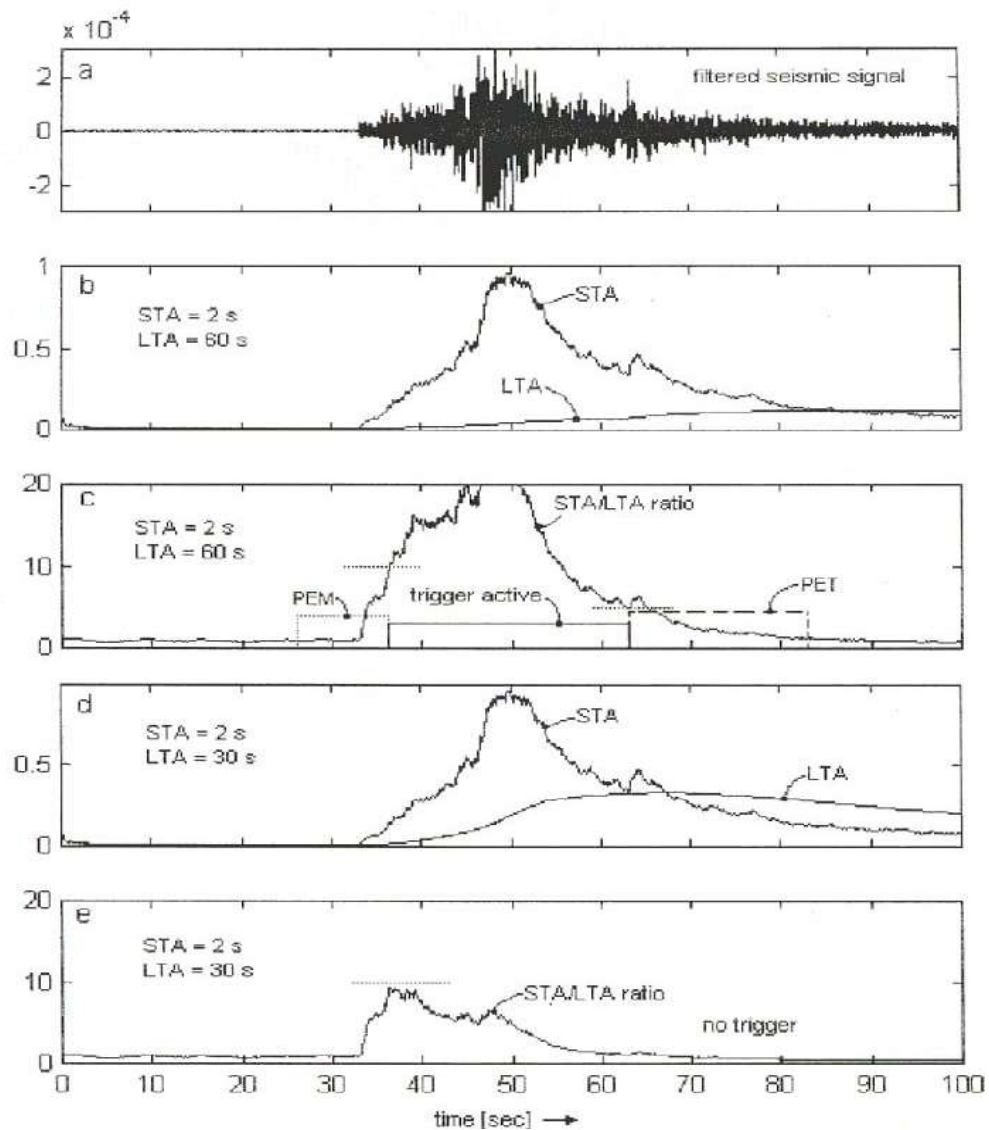
Gambar 2.9 Ilustrasi pengaruh lebar jendela STA pada deteksi gempa lokal yang singkat dan derau spike (Trnkoczy, 2012)

2.4.2 Jendela LTA

Jendela LTA (*Long-Term Average*) berfungsi untuk mengukur rata-rata amplitudo dari derau seismik. Lebar jendela LTA sebaiknya lebih besar daripada periode fluktuasi derau seismik. Hal ini memengaruhi sensitivitas detektor dalam mendeteksi gempa regional yang memiliki frekuensi rendah. Jendela LTA yang lebih pendek akan mengurangi sensitivitas detektor, sedangkan jendela yang lebih panjang akan meningkatkan sensitivitasnya.

Dampak lebar jendela LTA dalam deteksi gempa regional dapat dilihat pada Gambar 2.14 Gelombang P pada gempa regional biasanya memiliki amplitudo kecil, seperti yang diperlihatkan dalam grafik (a). Grafik (b) dan (c) menunjukkan

penggunaan jendela LTA selama 60 detik, yang menyebabkan grafik LTA tidak mengalami kenaikan secara cepat. Akibatnya, rasio STA/LTA dapat mencapai ambang batas pemicu, sehingga deteksi menjadi aktif. Sebaliknya, grafik (d) dan (e) menunjukkan penggunaan jendela LTA yang lebih pendek, yaitu 30 detik.



Gambar 2.10 Menunjukkan ilustrasi mengenai dampak lebar jendela LTA dalam mendeteksi gempa regional, khususnya pada gelombang P yang memiliki amplitudo kecil (Trakoczy, 2012).

Jendela LTA yang pendek mengakibatkan grafik LTA mengalami kenaikan dengan cepat. Nilai LTA yang naik mengakibatkan rasio STA/LTA menjadi turun. Hal tersebut mengakibatkan nilai rasio STA/LTA tidak mampu mencapai nilai

trigger threshold dan gempa tersebut menjadi tidak terdeteksi. Umumnya lebar jendela LTA yang digunakan yaitu sebesar 60 s. Lebar jendela LTA yang lebih pendek dapat digunakan untuk deteksi gempabumi yang lebih lokal atau jika derau pada area stasiun seismik sering berubah dengan cepat. Untuk menghindari kesalahan deteksi akibat derau seismik yang tinggi di suatu stasiun, dapat digunakan jendela LTA yang pendek.

2.4.3 STA/LTA *Triger (Threshold_On)*

Ambang batas *trigger* STA/LTA adalah nilai rasio yang digunakan untuk mendeteksi gempabumi. Ketika rasio STA/LTA mencapai ambang ini, algoritma akan mulai aktif dalam mendeteksi kejadian gempa. Nilai ambang yang lebih tinggi dapat mengakibatkan banyak gempabumi tidak terdeteksi, namun mengurangi kemungkinan kesalahan deteksi. Di sisi lain, ambang yang lebih rendah akan meningkatkan sensitivitas detektor terhadap gempabumi, tetapi dapat menghasilkan volume data yang lebih besar dan membuat analisis menjadi lebih kompleks.

Penentuan nilai ambang yang optimal bergantung pada kondisi derau seismik di sekitar stasiun seismograf serta toleransi terhadap kesalahan deteksi. Untuk lokasi dengan derau seismik yang sedang atau rata-rata, disarankan menggunakan ambang pada level 4. Ambang ini dapat disesuaikan, ditingkatkan untuk lokasi dengan derau tinggi, dan diturunkan untuk lokasi dengan derau yang lebih rendah (Trakoczy, 2012).

2.4.4 STA/LTA *Detrigger (Threshold_Off)*

Ambang batas *detrigger* STA/LTA adalah nilai rasio yang digunakan untuk menentukan sejauh mana gelombang koda terekam dari data gempabumi. Nilai *detrigger threshold* biasanya lebih rendah daripada *trigger threshold*. Ketika rasio

STA/LTA turun hingga mencapai nilai ini, detektor akan berhenti mendeteksi gempa bumi. Detektor akan kembali aktif saat rasio STA/LTA naik lagi ke *trigger threshold*. Menggunakan nilai *detrigger threshold* yang rendah memungkinkan lebih banyak koda gelombang terekam, tetapi bisa mengakibatkan durasi rekaman yang lebih lama. Misalnya, jika derau seismik meningkat, rasio STA/LTA mungkin tidak dapat turun hingga nilai *detrigger threshold* yang telah ditetapkan.

Sebaliknya, nilai *detrigger threshold* yang lebih tinggi bisa dipilih jika koda gelombang tidak menjadi fokus utama pengamatan. Dengan ambang yang lebih tinggi, efisiensi penyimpanan dan waktu transmisi data akan meningkat. Untuk lokasi dengan seismisitas yang relatif tenang, disarankan menggunakan nilai *detrigger threshold* 2 atau 3. Untuk lokasi dengan derau yang lebih tinggi, nilai *detrigger threshold* yang lebih tinggi dapat diterapkan (Trnkoczy, 2012).

2.4.5 Batasan nilai parameter STA/LTA

Batasan nilai untuk parameter STA/LTA dalam penelitian ini didasarkan pada rekomendasi Trnkoczy (2012) terkait kejadian gempa regional.

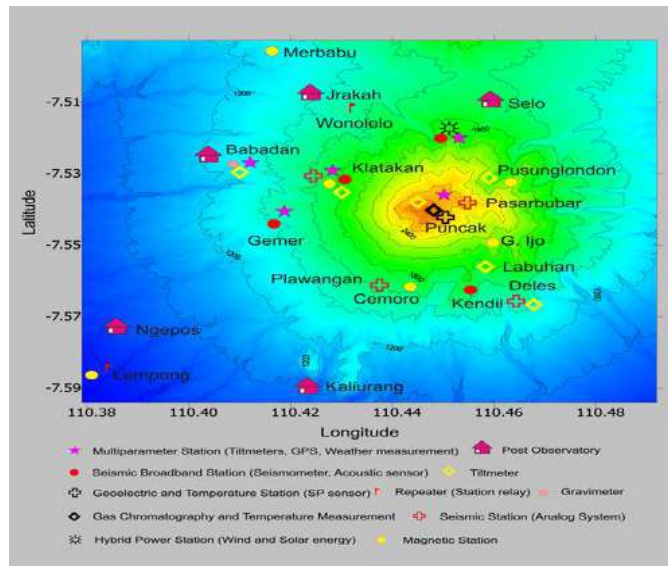
1. Lebar jendela STA: Batasan nilai antara 2 detik hingga 62 detik, dengan peningkatan sebesar 0,2 detik (0,2; 0,4; 0,6; hingga 18,2).
2. Lebar jendela LTA: Batasan nilai dari 10 detik hingga 100 detik, dengan peningkatan sebesar 10 detik (10; 20; 30; 90; 100).
3. Nilai *trigger (threshold_On)*: Batasan berkisar dari 1 hingga 10, dengan peningkatan sebesar 1 (1; 2; 3; ...; 9; 10).
4. Nilai *detrigger (threshold_Off)*: Batasan antara 0,5 hingga 5, dengan peningkatan sebesar 0,5 (0,5; 1,0; 1,5; ...; 4,5; 5,0).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kantor BPPTKG (Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi), yang beralamat di Jl. Cendana No.15, Semaki, Kecamatan Umbulharjo, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Durasi penelitian berlangsung selama satu bulan, dari 10 Oktober hingga 10 November 2024.



Gambar 3.1 Lokasi stasiun pengamatan Gunung Merapi

3.2 Alat dan Bahan

Adapun peralatan yang digunakan untuk penelitian ini yang terdiri dari perangkat lunak dan keras.

1. Perangkat keras (*Hardware*)

Laptop berfungsi untuk mengolah data, memodelkan hasil, dan menyusun skripsi.

2. Perangkat Lunak (*Software*)

- a. *Software python* untuk menentukan deteksi Gempa parameter STA/LTA yang optimal.
- b. *Microsoft Office* digunakan untuk pembuatan laporan
- c. *Microsoft Excel* digunakan untuk mengidentifikasi *Missed* dan *False Detections*

3.4 Persiapan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dalam format (.*Mseed*) yang diperoleh dari lokasi Pasar Bubar, melalui stasiun seismik MEPAS. Stasiun tersebut terletak pada koordinat longitude $-7,535567^{\circ}$ LS, latitude $110,449185^{\circ}$ BT, dengan kedalaman 2.693 meter di bawah permukaan. Data dihasilkan dari rekaman jaringan seismik yang menggunakan sensor jenis *Broadband* dan ditransmisikan ke Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG). Data tersebut dianalisis menggunakan *ObsPy* (*Python Package*) dengan rentang waktu penelitian dari 23 Desember 2020 pukul 17:00:00 UTC hingga 24 Desember 2020 pukul 16:59:59 UTC.

Kemudian untuk mekanisme pengambilan data dalam format .*Mseed* dimulai dengan langkah-langkah berikut:

1) Pemasangan Stasiun Seismik

Stasiun seismik MEPAS dipasang di lokasi Pasar Bubar dengan ketinggian ± 2600 meter dengan peralatan yang mencakup: Sensor *Broadband* yang ditanam dibawah permukaan tanah berfungsi untuk mengukur sinyal seismik dalam rentang frekuensi yang luas kemudian

perekam Digital (*Data Logger*) Untuk merekam data seismik dalam format digital.

2) Perekaman oleh Data *Logger*

Sensor menangkap getaran tanah dan mengubahnya menjadi sinyal listrik, di mana seismometer berperan dalam mengubah gerakan tanah menjadi sinyal listrik yang lebih terperinci. Sinyal tersebut kemudian diteruskan ke data logger, yang bertugas mengonversi sinyal analog menjadi data digital melalui proses *Analog-to-Digital Converter* (ADC). Data digital ini kemudian disimpan dalam format standar seismik, yaitu MiniSEED (*.Mseed*).

3) Transmisi Data

Data yang direkam oleh stasiun dikirimkan secara real-time atau dalam bentuk batch. Metode batch adalah pengiriman data secara berkala dalam bentuk kumpulan yang telah direkam sebelumnya. Data ini dikirim melalui jaringan telekomunikasi seperti (*internet atau satelit*) ke pusat pengolahan di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG).

4) Validasi dan Penyimpanan

Setelah data diterima di pusat pengolahan, dilakukan validasi untuk memastikan kualitas dan integritas data. Data kemudian disimpan untuk dianalisis lebih lanjut.

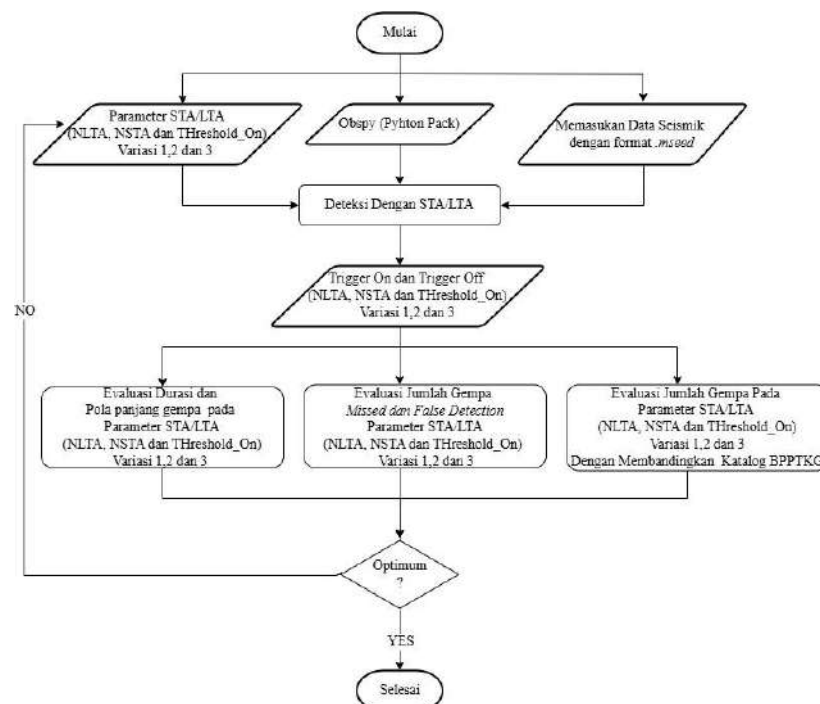
5) Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, data seismik diambil untuk rentang waktu yang spesifik (23 Desember 2020 pukul 17:00:00 UTC hingga 24 Desember 2020

pukul 16:59:59 UTC). Data ini kemudian diolah menggunakan *ObsPy*, sebuah paket *Python* yang dirancang untuk analisis data seismik.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada dibawah ini



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.

Berikut adalah penjelasan mengenai tahap pengolahan data yang terdapat dalam diagram tersebut:

Proses dimulai dengan tiga tahap persiapan yang dilakukan secara simultan. Pertama, penentuan parameter STA/LTA yang akan digunakan sebagai dasar dalam proses deteksi gempa. Parameter ini sangat krusial karena akan mempengaruhi sensitivitas dan akurasi deteksi. Kedua, penyiapan *ObsPy*, sebuah paket *Python* khusus untuk pemrosesan data seismologi, yang akan digunakan sebagai alat utama dalam analisis data. Ketiga, data seismik dalam format *.Mseed*, yang merupakan

format standar dalam komunitas seismologi, memastikan kompatibilitas dan konsistensi dalam pengolahan data.

Setelah ketiga tahap persiapan selesai, penelitian berlanjut ke fase deteksi menggunakan metode STA/LTA. Metode ini membandingkan rata-rata amplitudo sinyal seismik jangka pendek dengan jangka panjang untuk mengidentifikasi kejadian seismik. Hasil dari proses deteksi ini kemudian digunakan untuk menentukan *Trigger ON* dan *Trigger OFF*, yang menandai awal dan akhir dari suatu kejadian gempa yang terdeteksi.

Selanjutnya, proses evaluasi dilakukan melalui tiga jalur paralel yang saling melengkapi. Jalur pertama berfokus pada evaluasi durasi gempa, menentukan durasi waktu tiba gelombang P dan pola durasi yang terdeteksi oleh sistem pada parameter STA/LTA yaitu NSTA NLTA dan *Threshold_On* variasi 1, 2 dan 3. Sementara itu, jalur kedua menentukan jumlah gempa yang seharusnya terdeteksi tetapi tidak terdeteksi (*Missed detection*), Jumlah sinyal yang terdeteksi sebagai gempa padahal bukan (*False Detection*) pada parameter STA/LTA yaitu NSTA NLTA dan *Threshold_On* variasi 1, 2 dan 3. Kemudian untuk Jalur ketiga menentukan jumlah gempa yang terdeteksi pada variasi parameter STA/LTA yaitu NSTA NLTA dan *Threshold_On* variasi 1, 2 dan 3. Ketiga evaluasi ini bertujuan untuk menilai akurasi dan efektivitas metode deteksi yang digunakan.

Hasil dari ketiga evaluasi tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan apakah deteksi yang dilakukan sudah mencapai tingkat optimal. Jika hasil belum optimal, proses akan kembali ke tahap penentuan parameter STA/LTA untuk dilakukan penyesuaian. Siklus ini akan terus berulang, menciptakan proses iteratif yang bertujuan untuk terus meningkatkan akurasi deteksi. Setiap iterasi

memberikan kesempatan untuk menyempurnakan parameter, sehingga sistem deteksi dapat lebih sensitif terhadap karakteristik unik dari aktivitas seismik Gunung Merapi.

Ketika hasil yang optimal akhirnya tercapai, ditandai dengan kesesuaian yang tinggi antara deteksi otomatis dan data katalog BPPTKG, baik dalam hal durasi maupun jumlah gempa, maka penelitian dianggap selesai. Pencapaian ini menandakan bahwa sistem deteksi gempa vulkanik otomatis menggunakan metode STA/LTA telah berhasil dikalibrasi dan dioptimalkan untuk kondisi spesifik Gunung Merapi pada periode yang diteliti.

Metodologi yang komprehensif ini memungkinkan evaluasi yang mendalam terhadap efektivitas deteksi gempa vulkanik otomatis, dengan fokus khusus pada optimalisasi parameter STA/LTA. Melalui pendekatan yang sistematis dan iteratif, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan akurasi deteksi gempa vulkanik di Gunung Merapi, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan metode pemantauan aktivitas vulkanik yang lebih efektif dan responsif. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga bagi upaya mitigasi bencana dan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika seismik Gunung Merapi, salah satu gunung berapi paling aktif di Indonesia.

BAB IV

PEMBAHASAN

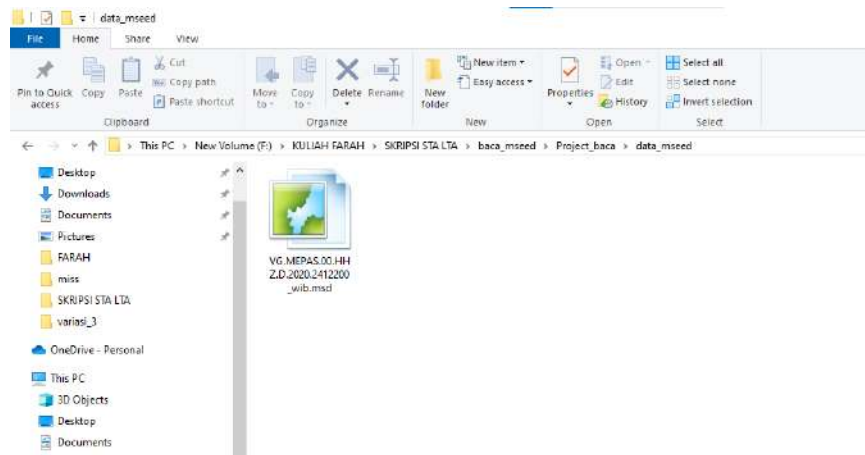
4.1 Pengolahan Data Menggunakan Program Obspy (.Python Package)

Dalam penelitian ini, parameter STA/LTA ditentukan menggunakan data primer dalam format (.Mseed). Parameter STA/LTA yaitu meliputi lebar jendela STA (NSTA), lebar LTA (NLTA), *Threshold_On* (*trigger*), dan *Threshold_Off* (*detrigger*). Dalam penelitian ini, peneliti hanya menggunakan tiga parameter STA/LTA yaitu NSTA dengan variasi 1 = 1 s; variasi 2 = 2 s; variasi = 4 s, NLTA dengan variasi 1 = 10 s; variasi 2 = 15 s; variasi = 20 s dan untuk Lebar Jendela *Threshold_On* dengan variasi 1 = 3 s; variasi 2 = 3.5 s; variasi = 4 s. Parameter tersebut akan digunakan untuk pendeteksi gelombang P secara manual.

Data yang digunakan terdiri dari rekaman seismik komponen vertikal dari Stasiun Pasar Bubar, dengan rentang waktu penelitian dari 23 Desember 2020 pukul 17:00:00 UTC hingga 24 Desember 2020 pukul 16:59:59 UTC dengan 8.640.000 titik data. Data gempa yang terdiri dari 8.640.000 titik data akan diproses menggunakan teknik deteksi berbasis algoritma STA/LTA. Algoritma ini mengukur perbandingan antara rata-rata jangka pendek (STA) dan rata-rata jangka panjang (LTA) dari sinyal seismik untuk menentukan keberadaan gempa. Hasil deteksi ini akan diuji dengan berbagai nilai lebar jendela STA (NSTA), lebar LTA (NLTA) dan lebar jendela *Threshold_On* sesuai dengan variasi yang ditentukan.

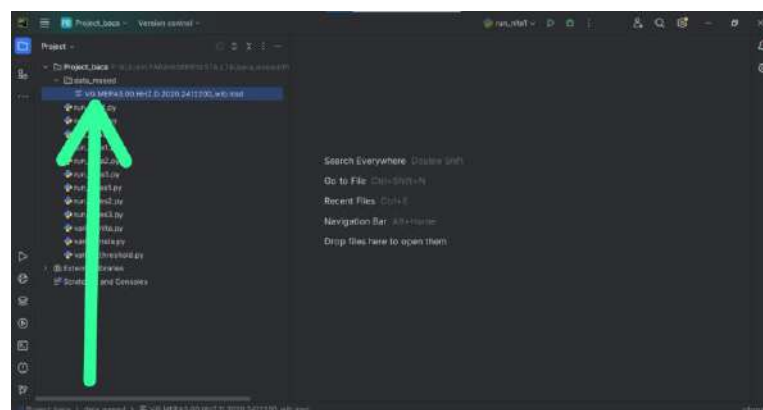
Setelah proses deteksi berdasarkan nilai NSTA dan NLTA, nilai lebar jendela *Threshold_On* akan diterapkan untuk menentukan apakah suatu sinyal termasuk dalam kategori gempa yang valid atau tidak. *Threshold_On* ini berfungsi untuk memfilter sinyal berdasarkan ambang batas tertentu, yang menentukan

apakah sinyal tersebut cukup kuat untuk dianggap sebagai gempa atau hanya noise. Tampilan data *.Mseed* di lihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Tampilan Data *.Mseed*

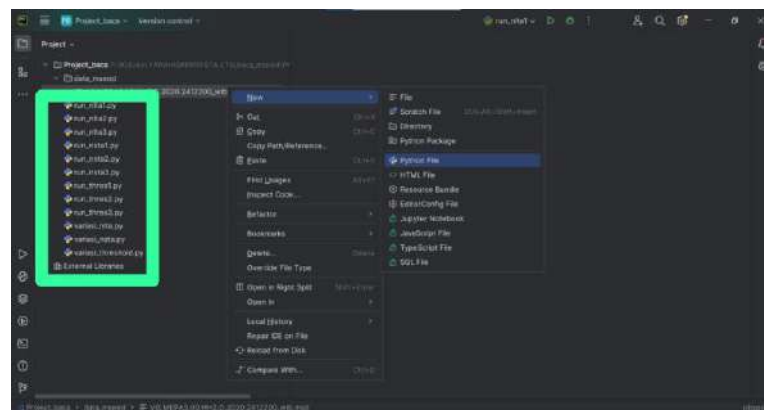
Pada satu data tersebut akan ditentukan parameter STA/LTA optimal dengan menggunakan program ObsPy (*.Python Package*) dapat dilihat pada Gambar 4.2. Parameter STA/LTA optimal akhir akan dipilih kombinasi parameter yang mampu mendeteksi gempa bumi dari data yang ada di stasiun seismik yang di gunakan di Stasiun Pasar Bubar.



Gambar 4.2 Tampilan Data *.Mseed* pada software *.Python Package*

Pada tampilan perangkat lunak *.Python Package* penelitian ini dapat mengakses data *.Mseed* yang tersedia. Selanjutnya, dengan mengklik data *.Mseed* tersebut dan memilih opsi "New", agar dapat membuat file *Python* baru. Pembuatan file *Python* baru ini bertujuan agar pengguna dapat mengembangkan kode

pemrograman yang mampu membaca dan memproses data proyek dalam lingkungan *Python*. Melalui file *Python* baru ini, pengguna dapat mengintegrasikan dan menganalisis data *.Mseed*, termasuk menghitung parameter-parameter seperti lebar jendela NSTA (*Short-Term Average*), lebar jendela NLTA (*Long-Term Average*), dan lebar jendela *Threshold_On*, dengan tiga variasi lebar jendela yang berbeda-beda dapat di lihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Tampilan Data *.Mseed* pada software *.Python Package* dengan Tiga parameter (Nsta, Nlta dan *Threshold_On*)

Melalui file *Python* baru tersebut, peneliti dapat mengintegrasikan dan menganalisis data *.Mseed* secara komprehensif. Analisis ini mencakup penghitungan tiga parameter penting, yaitu NSTA (*Short-Term Average*), NLTA (*Long-Term Average*) dan *Threshold_On*. Untuk masing-masing parameter, peneliti melakukan variasi dengan nilai lebar jendela NSTA, NLTA dan *Threshold_On* yang berbeda-beda, tetapi untuk parameter yang lainnya tetap sama.

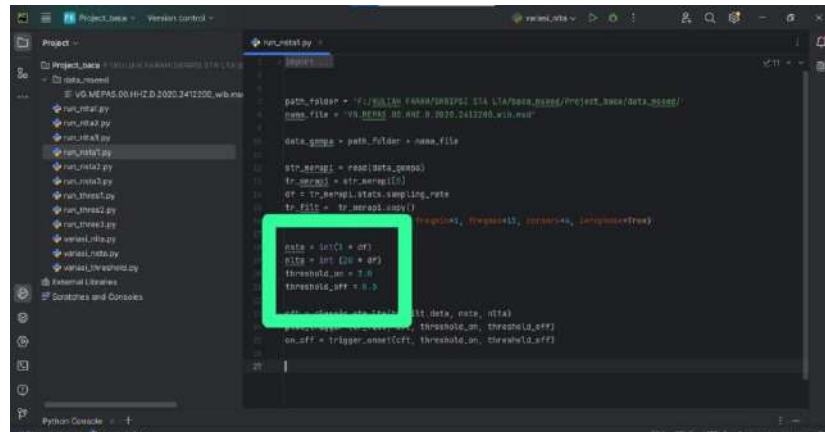
1. Parameter NSTA (*Number of Short-Term Average*)

Pada parameter NSTA, terdapat tiga variasi lebar jendela yang berbeda, yaitu 1 detik, 2 detik, dan 4 detik. Untuk masing-masing variasi, lebar jendela NLTA tetap sama, yaitu 20 detik. Sementara itu, nilai

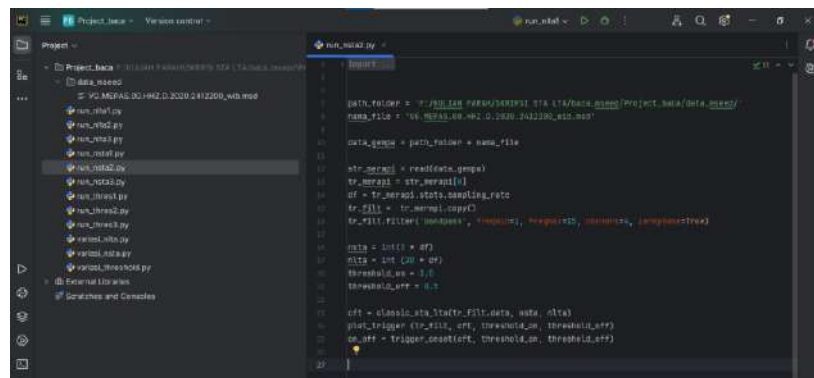
Threshold_On untuk ketiga variasi adalah 3.0, dan nilai *Threshold_Off* adalah 0.5, yang juga konsisten pada ketiga variasi.

Pada gambar yang menunjukkan hasil analisis dengan kotak berwarna hijau, dapat dijelaskan bahwa untuk parameter NSTA dan NLTA, nilai *df* pada rumus $nsta = \text{int}(1 * df)$ dan $nlta = \text{int}(20 * df)$ mengacu pada frekuensi sampel atau *delta frequency* yang menentukan interval pengambilan sampel data dalam satuan waktu tertentu. Misalnya, jika *df* = 100 (artinya ada 100 sampel per detik) maka untuk hasil dari $nsta = \text{int}(1 * df) = \text{int}(1 * 100) = 100$ dan $nlta = \text{int}(20 * df) = \text{int}(20 * 100) = 2000$. Jadi *Nsta* dan *Nlta* akan menjadi 100 dan 2000 sampel. Dengan kata lain, *df* berfungsi sebagai ukuran seberapa sering data diambil untuk menghitung rata-rata jangka pendek (NSTA) dan jangka panjang (NLTA).

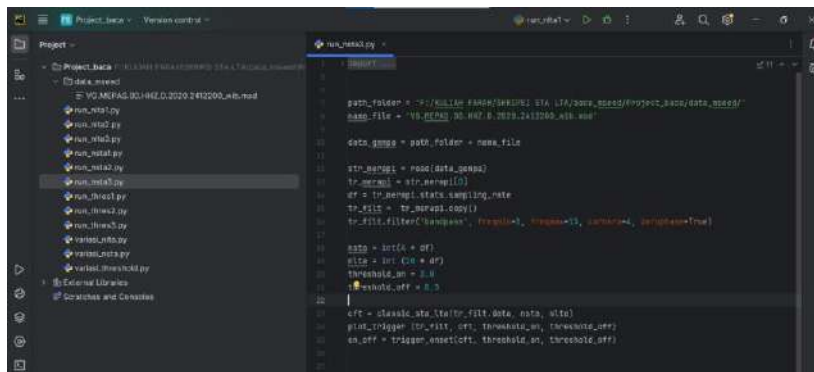
Hasil dari analisis ketiga parameter ini, yang mencakup variasi lebar jendela NSTA dapat dilihat pada Gambar 4.4. Gambar tersebut menunjukkan perbedaan karakteristik sinyal seismik berdasarkan pengaturan lebar jendela yang berbeda, yang membantu dalam mengidentifikasi perbedaan dinamika dan pola sinyal yang dapat memberikan wawasan lebih dalam mengenai kejadian seismik.



Gambar 4.4 Variasi 1 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 1 s; lebar jendela LTA = 20 s; *Threshold_On* = 3.0; *Threshold_Off* = 0.5.



Gambar 4.5 Variasi 2 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 20 s; *Threshold_On* = 3.0; *Threshold_Off* = 0.5.



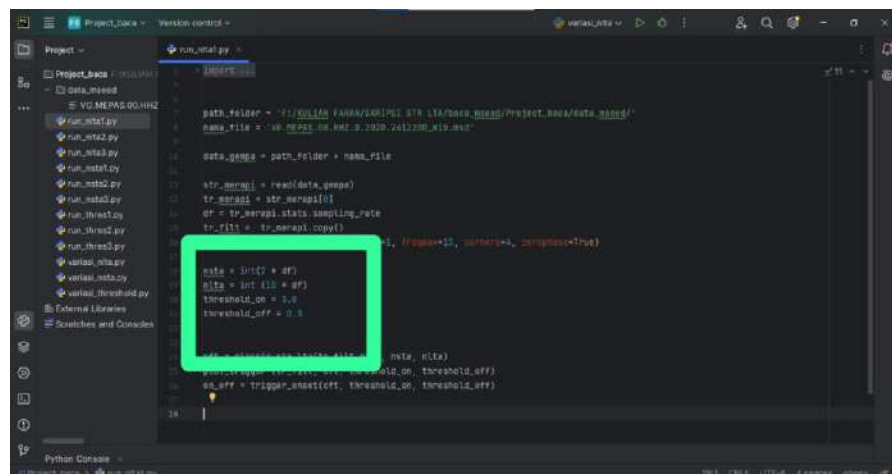
Gambar 4.6 Variasi 3 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 4 s; lebar jendela LTA = 20 s; *Threshold_On* = 3.0; *Threshold_Off* = 0.5.

2. Parameter NLTA (Number of Long-Term Average)

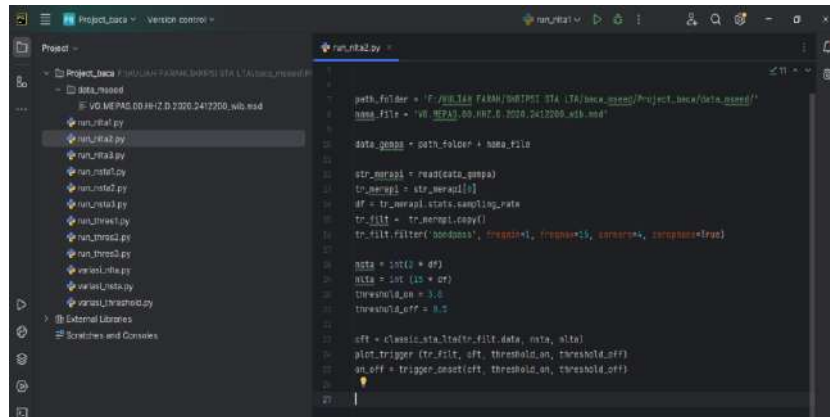
Pada parameter NLTA, terdapat tiga variasi lebar jendela yang berbeda, yaitu 10 detik, 15 detik, dan 20 detik. Untuk masing-masing variasi, lebar jendela NSTA tetap sama, yaitu 2 detik. Sementara itu, nilai

Threshold_On untuk ketiga variasi adalah 3.0, dan nilai *Threshold_Off* adalah 0.5, yang juga konsisten pada ketiga variasi.

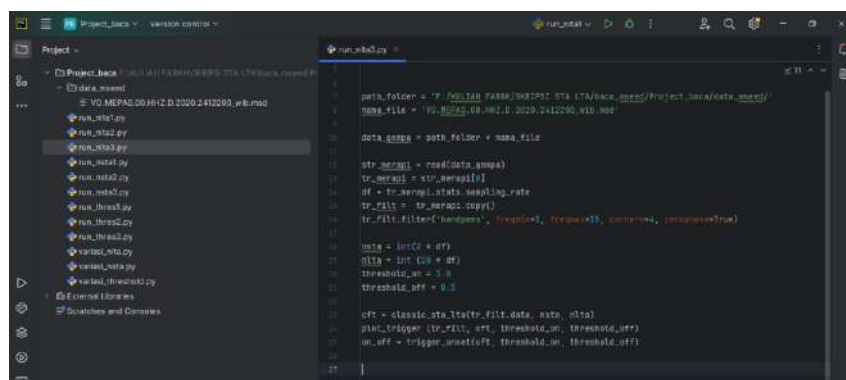
Pada gambar yang menunjukkan hasil analisis dengan kotak berwarna hijau, dapat dijelaskan bahwa untuk parameter NSTA dan NLTA, nilai df pada rumus $nsta = \text{int}(2 * df)$ dan $nlta = \text{int}(10 * df)$ mengacu pada frekuensi sampel atau *delta frequency* yang menentukan interval pengambilan sampel data dalam satuan waktu tertentu. Misalnya, jika $df = 100$ (artinya ada 100 sampel per detik) maka untuk hasil dari $nsta = \text{int}(2 * df) = \text{int}(2 * 100) = 200$ dan $nlta = \text{int}(10 * df) = \text{int}(10 * 100) = 1.000$. Jadi Nsta dan Nlta akan menjadi 200 dan 1.000 sampel. Hasil dari analisis ketiga parameter ini, yang mencakup variasi lebar jendela NLTA dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Variasi 1 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 10 s; *Threshold On* = 3.0; *Threshold Off* = 0.5.



Gambar 4.8 Variasi 1 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 15 s; *Threshold_On* = 3.0; *Threshold_Off* = 0.5.



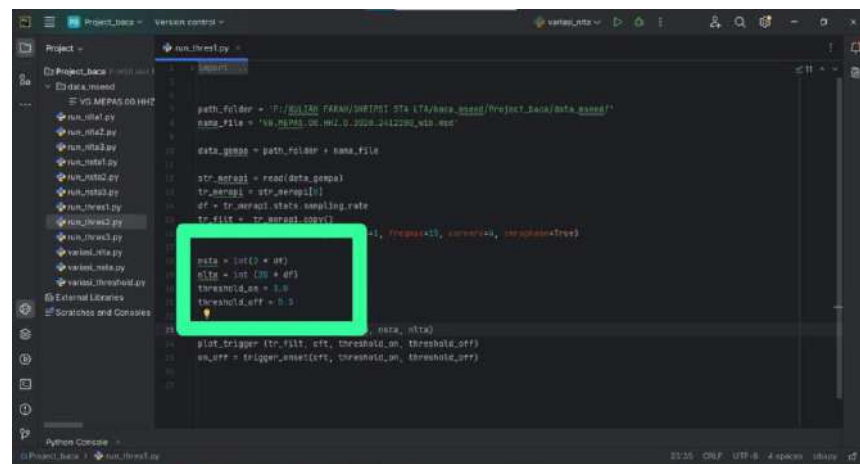
Gambar 4.9 Variasi 1 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 20 s; *Threshold_On* = 3.0; *Threshold_Off* = 0.5

3. Parameter *Threshold_On*

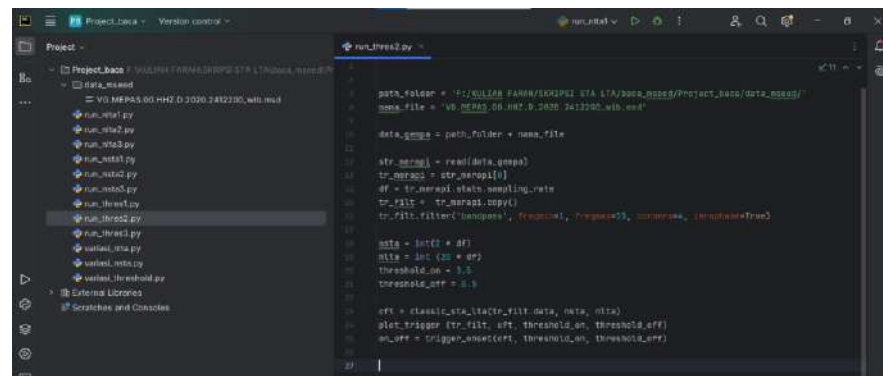
Pada parameter *Threshold_On*, terdapat tiga variasi lebar jendela yang berbeda, yaitu 3 detik, 3.5 detik, dan 4.0 detik. Untuk masing-masing variasi, lebar jendela NSTA tetap sama, yaitu 2 detik. Sementara itu, nilai NLTA untuk ketiga variasi adalah 20, dan nilai *Threshold_Off* adalah 0.5, yang juga konsisten pada ketiga variasi.

Pada gambar yang menunjukkan hasil analisis dengan kotak berwarna hijau, dapat dijelaskan bahwa untuk parameter NSTA dan NLTA, nilai df pada rumus $nsta = \text{int}(2 * df)$ dan $nlta = \text{int}(20 * df)$ mengacu pada frekuensi sampel atau *delta frequency* yang menentukan interval

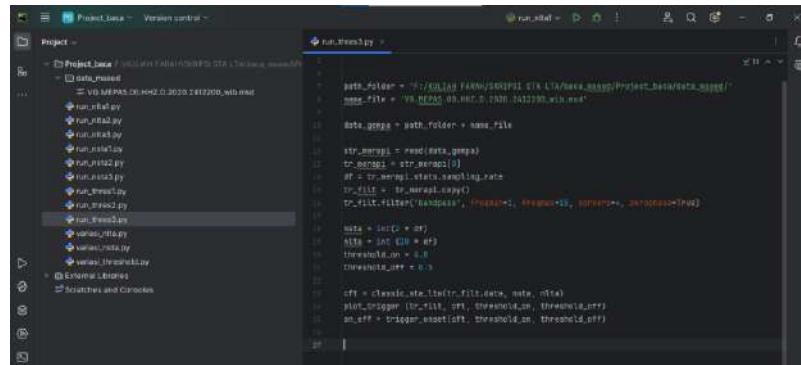
pengambilan sampel data dalam satuan waktu tertentu. Misalnya, jika $df = 100$ (artinya ada 100 sampel per detik) maka untuk hasil dari $nsta = \text{int}(1 * df) = \text{int}(2 * 100) = 200$ dan $nsta = \text{int}(20 * df) = \text{int}(20 * 100) = 2000$. Jadi $Nsta$ dan $Nlta$ akan menjadi 200 dan 2000 sampel. Hasil dari analisis ketiga parameter ini, yang mencakup variasi lebar jendela *Threshold_On* dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Variasi 1 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 20 s; *Threshold_On* = 3.0; *Threshold_Off* = 0.5.

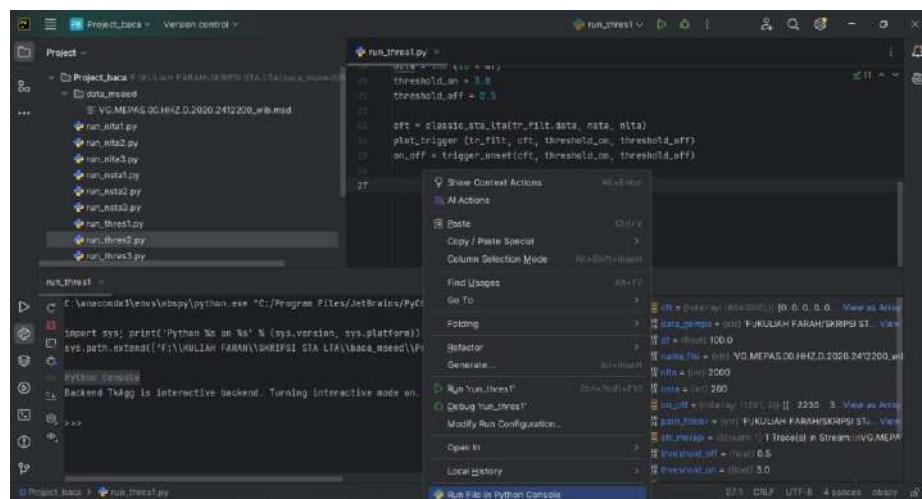


Gambar 4.11 Variasi 2 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 20 s; *Threshold_On* = 3.5; *Threshold_Off* = 0.5.

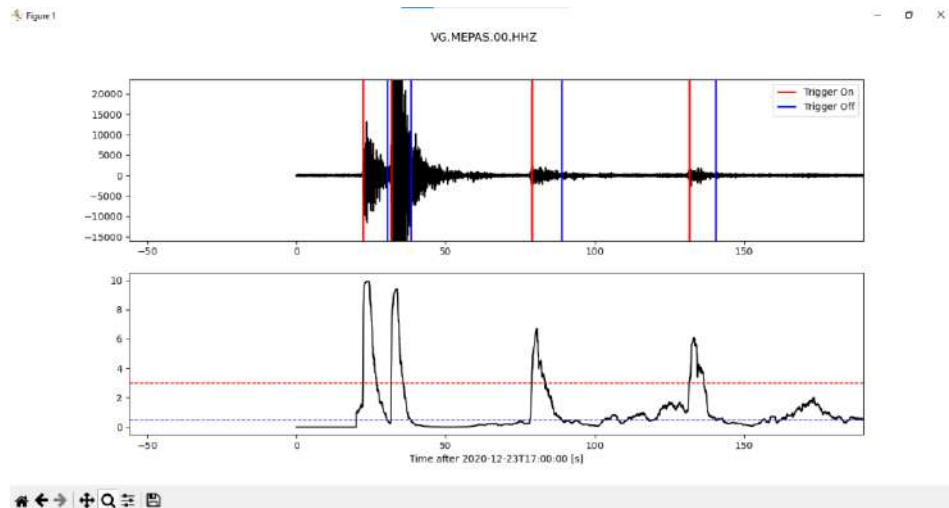


Gambar 4.12 Variasi 3 dengan parameter yang digunakan yaitu lebar jendela STA = 2 s; lebar jendela LTA = 20 s; *Threshold_On* = 4.0; *Threshold_Off* = 0.5.

Jadi, dari ketiga parameter tersebut, perbedaannya terletak pada variasi lebar jendela untuk NSTA, NLTA, dan *Threshold_On* di setiap variasi. Selanjutnya, algoritma tersebut dijalankan (seperti yang terlihat pada Gambar 4.13) untuk memperoleh informasi mengenai jumlah deteksi gempa. Hasil dari raning perogram itu di bandingkan satu sama lain. Evaluasi meliputi jumlah deteksi gempa dan jumlah yang gagal terdeteksi setra jumla even yang terdeteksi tetapi bukan merupakan gempa.



Gambar 4.13 Contoh Tampilan Untuk Menjalankan Pemeroframan Algoritma “RUN”



Gambar 4.14 Contoh Output setelah di Run

4.2 Daftar Jumlah Deteksi Berdasarkan Lebar Jendela NSTA, NLTA, *Threshold_On* pada Data Stasiun Pasar Bubar serta Data Jumlah Gempa dari Katalog BPPTKG

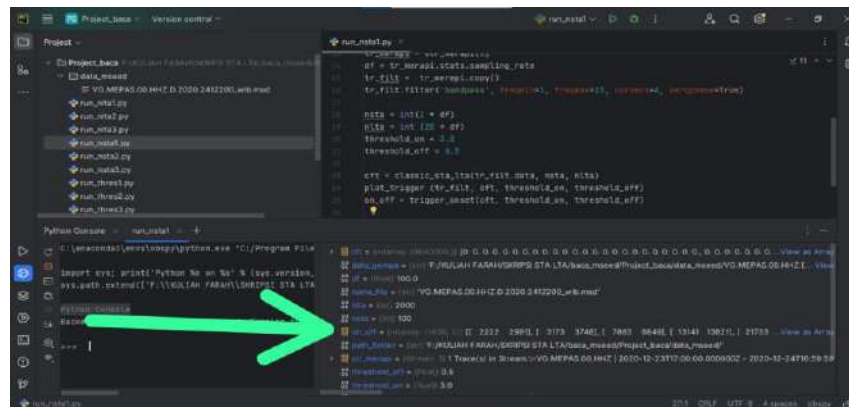
Pada Penelitian ini, algoritma akan menghasilkan deteksi dari ketiga parameter (NSTA, NLTA, dan *Threshold_On*). Untuk setiap variasi parameter, algoritma menghitung jumlah deteksi gempa total, jumlah *Missed detection*, dan *False Detection*. Hasil ini akan digunakan untuk mengevaluasi kinerja deteksi gempa pada setiap variasi parameter.

- **Jumlah Deteksi Gempa Total:** Total jumlah gempa yang terdeteksi oleh algoritma, dengan kriteria Amplitudonya >1.000
- ***Missed detection*:** Jumlah sinyal yang seharusnya terdeteksi tetapi tidak terdeteksi, dengan kriteria Amplitudonya >1.000
- ***False Detection*:** Jumlah sinyal yang terdeteksi sebagai gempa padahal bukan, dengan kriteria Amplitudonya <1.000

Pada penelitian ini, pemilihan lebar jendela NSTA, NLTA, dan *Threshold_On* yang tidak tepat dapat menyebabkan kesalahan dalam deteksi gempa bumi. Jumlah

deteksi gempa NSTA dapat dilihat dari *software python* setelah algoritma pemrograman dijalankan (dapat di lihat pada gambar 4.15). Kemudian untuk penentuan sinyal yang terdeteksi tetapi tidak terdeteksi (*Missed*) serta Jumlah sinyal yang terdeteksi sebagai gempa padahal bukan (*False*) dapat dilihat pada ilustrasi di bawah yang menunjukkan pengaruh lebar jendela NSTA, NLTA, dan *Threshold_On*.

- Perbedaan pada parameter NSTA menunjukkan variasi lebar jendela yang digunakan, yaitu 1 detik untuk variasi pertama, 2 detik untuk variasi kedua, dan 4 detik untuk variasi ketiga (di lihat pada gambar 4.16).



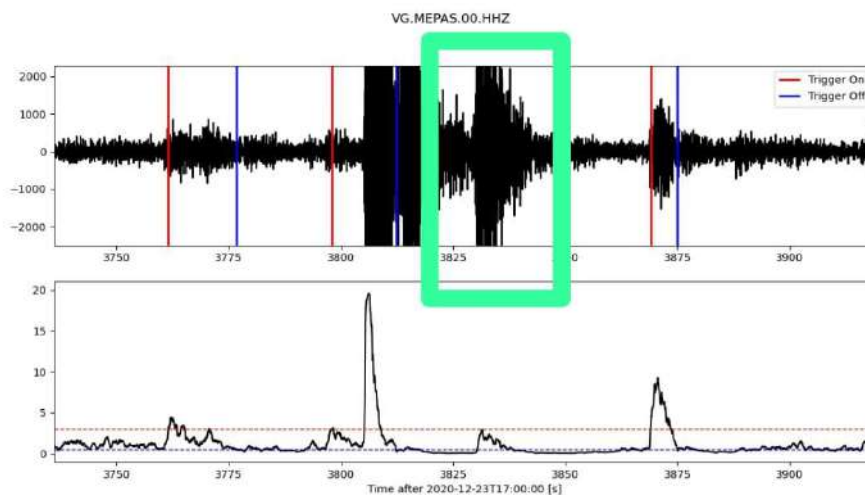
Gambar 4.15 Contoh Tampilan Jumlah Deteksi Total pada Lebar jendela NSTA Variasi 1 = 1 s.

Missed_EQ		Variasi	False_EQ			Missed_EQ		Variasi	False_EQ			Missed_EQ		Variasi	False_EQ	
no	posisit		no	posisit		no	posisit		no	posisit		no	posisit		no	posisit
1	1009	1	1	360		1	1588	2	1	418		1	590	3	1	418
2	2171		2	418		2	1802		2	461		2	691		2	5556
3	2295		3	461		3	2171		3	1390		3	765		3	6716
4	3285		4	1118		4	2295		4	1429		4	1009		4	7319
5	3829		5	1225		5	2452		5	1732		5	1802		5	7668
6	4109		6	1300		6	2870		6	3762		6	2171		6	7901
7	4120		7	1322		7	3285		7	4238		7	2295		7	8741
8	4589		8	1390		8	3651		8	4964		8	3285		8	8940
9	5487		9	1429		9	3829		9	5038		9	3540		9	10256
10	5909		10	1548		10	4109		10	5276		10	3829		10	10533
11	6670		11	1700		11	4589		11	5556		11	4073		11	11916
12	6834		12	1732		12	4601		12	5638		12	4109		12	11945
13	7995		13	1833		13	4785		13	6183		13	4120		13	12509
14	8574		14	2584		14	5086		14	6477		14	4344		14	20164
15	8973		15	3000		15	5487		15	6516		15	4360		15	22061

Gambar 4. 16 Tampilan Sebagian Data yang terdeteksi (*Missed*) dan (*False*) pada lebar jendela NSTA 1 s, 2 s dan 4 s

Berdasarkan data tampilan di atas, hasil pencarian gempa *Missed* dan *False* dilakukan secara manual dengan 8.640.000 titik data untuk variasi parameter NSTA, NLTA dan *Threshold_On*. Dalam penentuan jumlah gempa *Missed* dan *False*, peneliti menggunakan kriteria dalam penentuan agar gempa yang di deteksi akan konsisten.

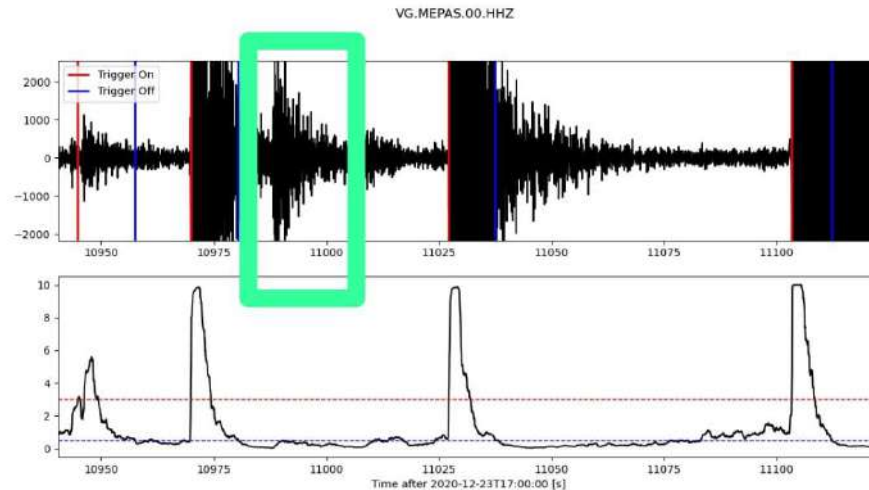
Pada gambar 4.17, kotak berwarna hijau menandakan bahwa gempa tersebut terdeteksi sebagai *Missed detection*. Hal ini disebabkan bentuk gelombang gempanya memenuhi kriteria, yaitu amplitudonya >1.000 , namun gempa tersebut tidak terdeteksi oleh sistem.



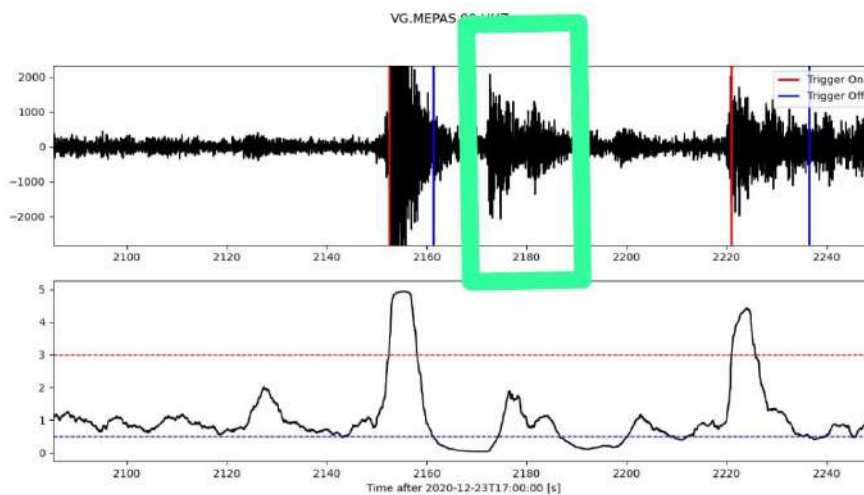
Gambar 4.17 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela NSTA 1 s yaitu 3830 s. Keterangan:

Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*),

Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.



Gambar 4.18 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela NSTA 2 s yaitu 10988 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.

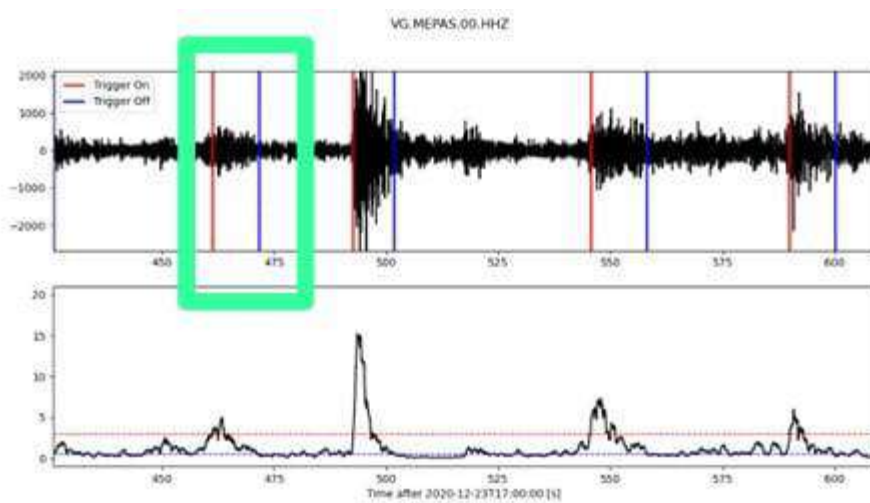


Gambar 4.19 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela NSTA 4 s yaitu 2171 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.

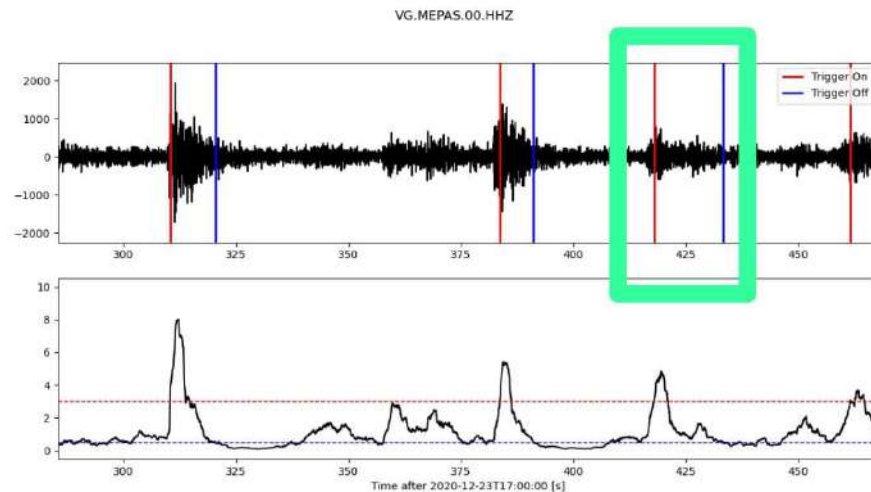
Pada ketiga variasi yang dijelaskan di atas, Gambar 4.17 menunjukkan bahwa dengan lebar jendela NSTA 1 detik pada variasi 1, gempa yang terjadi pada detik ke-3830 terdeteksi sebagai “*Missed*”. Pada Gambar 4.18 dengan lebar jendela NSTA 2 detik pada variasi 2, gempa terdeteksi “*Missed*” pada detik ke-10988. Kemudian pada gambar 4.19 dengan lebar jendela NSTA 4 detik pada variasi 3,

gempa terdeteksi “*Missed*” pada detik ke-2171, karena seharusnya gempa yang terdeteksi tetapi tidak terekam oleh sistem. Adapun untuk kasus *False*, dapat dilihat pada contoh pada Gambar 4.20.

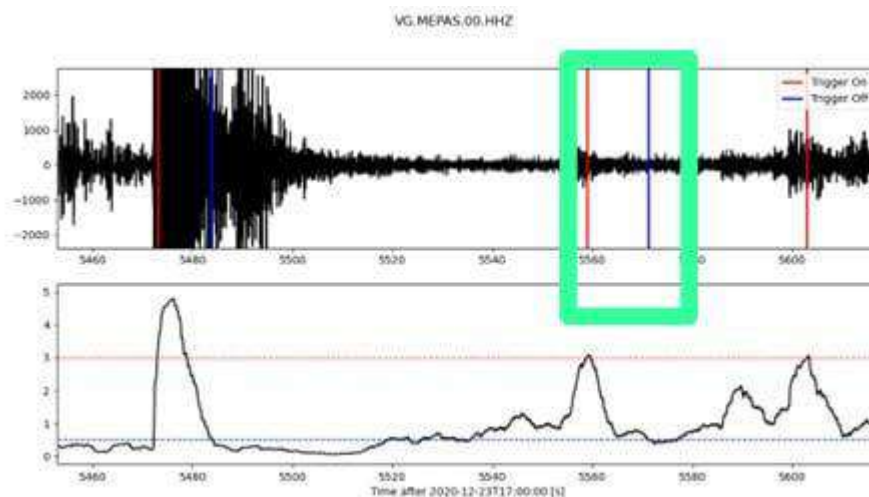
Pada gambar 4.20, kotak berwarna hijau menandakan bahwa gempa tersebut terdeteksi sebagai *False Detection*. Hal ini disebabkan bentuk gelombang gempanya memenuhi kriteria, yaitu amplitudonya < 1.000 , namun gempa tersebut terdeteksi oleh sistem.



Gambar 4.20 Contoh deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela NSTA 1 s yaitu 461 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.



Gambar 4.21 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela NSTA 2 s yaitu 418 s. Keterangan:
Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*),
Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.



Gambar 4.22 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela NSTA 4 s yaitu 5556 s. Keterangan:
Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*),
Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.

Pada ketiga variasi yang dijelaskan di atas, Gambar 4.20 menunjukkan bahwa dengan lebar jendela NSTA 1 detik pada variasi 1, gempa yang terjadi pada detik ke-461 terdeteksi sebagai "*False*". Pada Gambar 4.21 dengan lebar jendela NSTA 2 detik pada variasi 2, gempa terdeteksi "*False*" pada detik ke-418. Kemudian pada gambar 4.22 dengan lebar jendela NSTA 4 detik pada variasi 3,

gempa terdeteksi "*False*" pada detik ke-5556, karena seharusnya gempa yang tidak terdeteksi tetapi terekam oleh sistem. Dengan demikian, jumlah total deteksi gempa, serta penentuan jumlah gempa yang terdeteksi sebagai "*Missed*" dan "*False*", berdasarkan 8.640.000 titik data.

Kemudian data gempa yang terdiri dari rekaman seismik komponen vertikal dari Stasiun Pasar Bubar, dengan rentang waktu penelitian dari 23 Desember 2020 pukul 17:00:00 UTC hingga 24 Desember 2020 pukul 16:59:59 UTC yang ada di katalog Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) sebanyak 474 sampels.

The image shows a screenshot of an Excel spreadsheet titled 'bulletin_24122020.xlsx'. The spreadsheet contains a table of seismic data. The columns are labeled A through S. The data includes timestamps, amplitudes, and various parameters. A green arrow points to a specific row of data.

Gambar 4.23 Data Gempa dari katalog Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG)

4.2.1 Penentuan Jumlah deteksi gempa total pada parameter Nsta

Tabel 4. 1 Tabel Data Jumlah Deteksi Gempa pada Parameter Nsta

Variasi	Jumlah Deteksi Total	Nsta	Nlta	Threshold on	Threshold off
Variasi_1	1639	1	20	3	0.5
Variasi_2	1291	2	20	3	0.5
Variasi_3	952	4	20	3	0.5

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam tabel 4.1, Variasi 1 (Merah) dengan NSTA=1 mendeteksi 1639 gempa. Sementara itu, Variasi 2 (Biru) dengan

NSTA=2 mendeteksi 1291 gempa. Variasi 3 (Hijau) dengan NSTA=4 mendeteksi 952 gempa.

4.2.2 Penentuan Jumlah Gempa Yang Terlewat (*Missed detection*), dan Jumlah Deteksi Salah (*False Detection*) Pada Parameter Nsta

Tabel 4. 2 Tabel Data Jumlah Gempa *Missed* dan *False Detection* Parameter Nsta

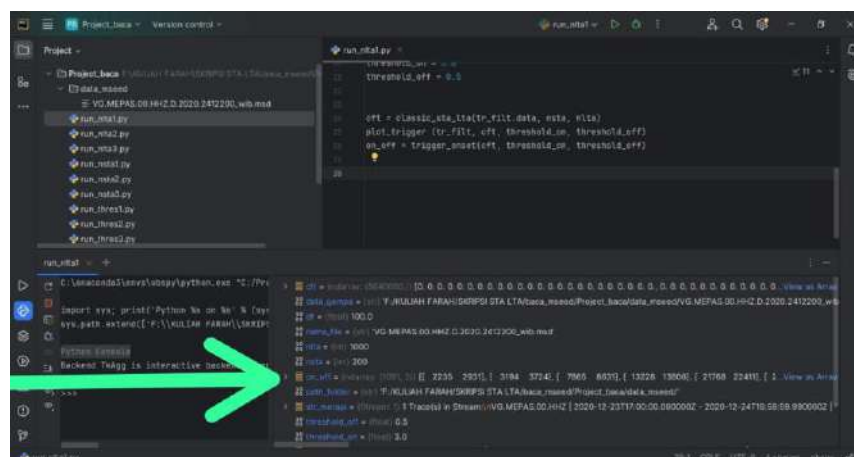
Variasi	Nsta	Nlta	<i>Threshold on</i>	<i>Threshold off</i>	<i>Miss detection</i>	<i>False detection</i>
Varias_1	1	20	3	0.5	128	389
Variasi_2	2	20	3	0.5	140	224
Variasi_3	4	20	3	0.5	218	44

Data hasil analisis pada Parameter NSTA (dapat dilihat pada tabel 4.2), bahwa setiap variasi nilai NSTA memberikan dampak yang berbeda terhadap jumlah deteksi gempa, (*Miss detection*), dan (*False Detection*). Pada Variasi 1 (Merah) dengan NSTA = 1, jumlah deteksi gempa total mencapai 1.639, dengan 128 deteksi yang terlewat (*Miss detection*) dan 389 deteksi yang salah (*False Detection*). Pada Variasi 2 (Biru) dengan NSTA = 2, jumlah deteksi gempa total mengalami penurunan menjadi 1.291, dengan 140 deteksi yang terlewat dan 224 deteksi yang salah. Sementara itu, pada Variasi 3 (Hijau) dengan NSTA = 4, jumlah deteksi gempa total lebih rendah lagi, yaitu 952, dengan 218 deteksi yang terlewat dan hanya 44 deteksi yang salah.

Hasil ini menunjukkan bahwa seiring dengan peningkatan nilai NSTA, jumlah deteksi gempa total cenderung menurun. Hal ini juga berdampak pada peningkatan jumlah (*Miss detection*), sementara (*False Detection*) justru mengalami penurunan signifikan pada variasi dengan NSTA yang lebih besar. Oleh karena itu, pemilihan nilai NSTA yang tepat sangat penting untuk mencapai keseimbangan antara sensitivitas deteksi dan akurasi hasil deteksi gempa.

Secara umum, lebar jendela NSTA sebaiknya lebih besar dari periode sinyal seismik yang diantisipasi. Lebar jendela NSTA memengaruhi sensitivitas detektor terhadap gempa lokal yang memiliki durasi singkat dan frekuensi tinggi. Jendela NSTA yang lebih pendek meningkatkan sensitivitas detektor terhadap gempa lokal, sedangkan jendela yang lebih panjang mengurangi sensitivitas tersebut. Hal tersebut sesuai dengan penjelasan mengenai pengaruh panjang jendela NSTA oleh Trnkoczy (2012) dimana semakin pendek jendela NSTA maka detektor akan semakin sensitif.

- b. Perbedaan pada parameter NLTA menunjukkan variasi lebar jendela yang digunakan, yaitu 10 detik untuk variasi pertama, 15 detik untuk variasi kedua, dan 20 detik untuk variasi ketiga (di lihat pada gambar 4.25).

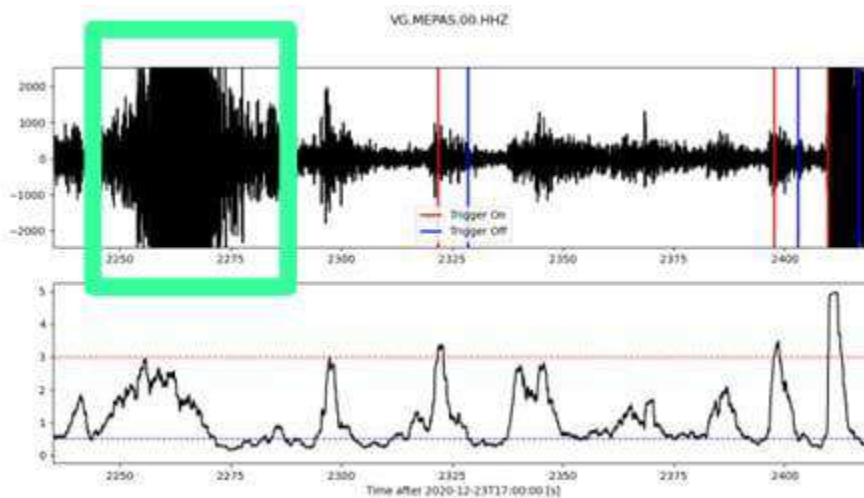


Gambar 4.24 Contoh Tampilan Jumlah Deteksi Total pada Lebar jendela NLTA Variasi 1= 10 s.

missed EQ			variasi	false EQ				missed EQ			variasi	false EQ				missed EQ			variasi	false EQ			
no	posisi	t	1	no	posisi	t		no	posisi	t	2	no	posisi	t		no	posisi	t	3	no	posisi	t	
1	590		1	2718				1	1009			1	418			1	1588			1	418		
2	705		2	2746				2	1156			2	461			2	1802			2	461		
3	1009		3	5038				3	1588			3	1390			3	2171			3	1390		
4	1588		4	5556				4	1908			4	1429			4	2295			4	1429		
5	1802		5	6183				5	2181			5	2746			5	2452			5	1732		
6	1908		6	6716				6	2295			6	3320			6	2870			6	3762		
7	2171		7	7007				7	2452			7	3762			7	3285			7	4238		
8	2250		8	7209				8	2870			8	4628			8	3651			8	4964		
9	2295		9	7310				9	3285			9	4964			9	3829			9	5038		
10	2343		10	7668				10	3330			10	5038			10	4199			10	5276		
11	2452		11	7769				11	3651			11	5276			11	4589			11	5556		
12	2870		12	7901				12	3685			12	5556			12	4601			12	5638		
13	3096		13	8335				13	3813			13	6040			13	4785			13	6183		
14	3651		14	8361				14	4075			14	6183			14	5086			14	6477		
15	3685		15	8741				15	4109			15	6477			15	5487			15	6516		

Gambar 4.25 Tampilan Sebagian Data yang terdeteksi (*Missed*) dan (*False*) pada lebar jendela NLTA 10 s, 15 s dan 20 s

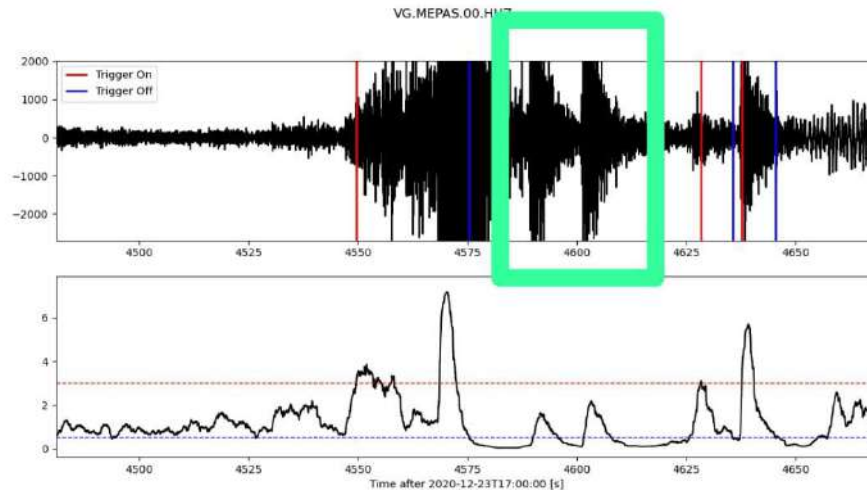
Pada gambar 4.26, kotak berwarna hijau menandakan bahwa gempa tersebut terdeteksi sebagai *Missed detection*. Hal ini disebabkan bentuk gelombang gempanya memenuhi kriteria, yaitu amplitudonya >1.000 , namun gempa tersebut tidak terdeteksi oleh sistem.



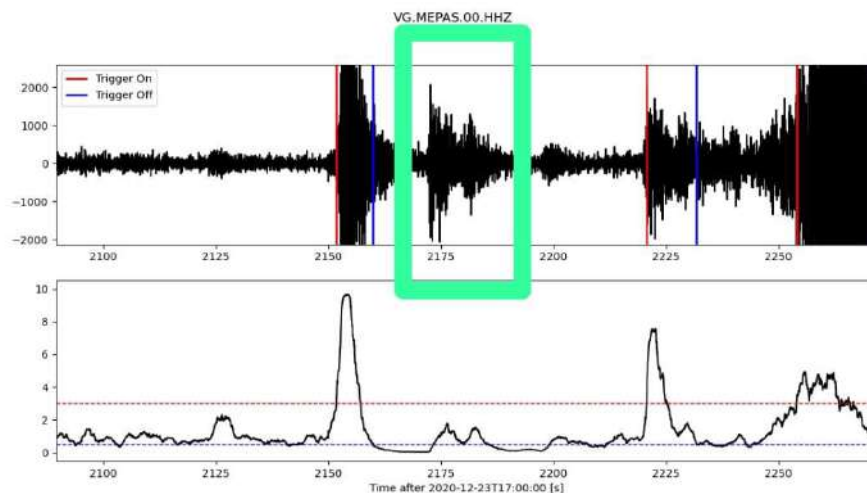
Gambar 4.26 Contoh Tampilan gelombang P yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela NLT 10 s yaitu 2250 s. Keterangan:

Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitud (*Counts*),

Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.



Gambar 4.27 Contoh Tampilan gelombang P yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela NLT 15 s yaitu 4589 s. Keterangan:
Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*),
Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.

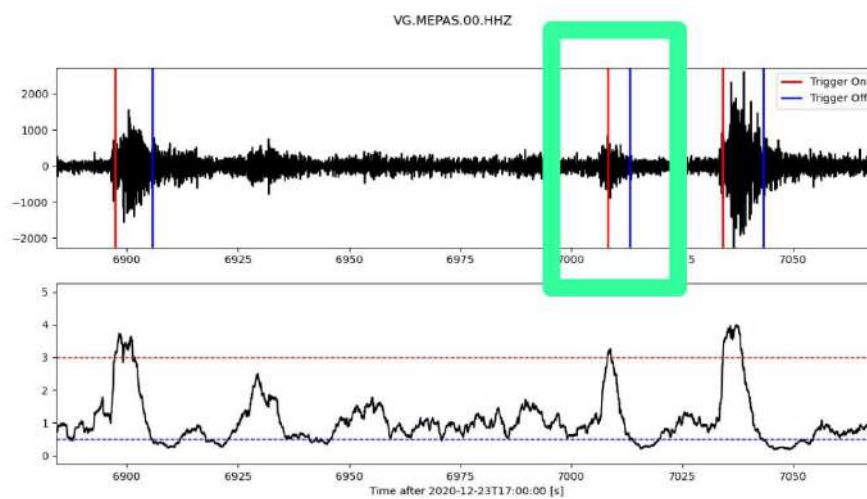


Gambar 4.28 Contoh Tampilan gelombang P yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela NLT 20 s yaitu 2171 s. Keterangan:
Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*),
Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.

Pada ketiga variasi yang dijelaskan di atas, Gambar 4.26 menunjukkan bahwa dengan lebar jendela NLTA 10 detik pada variasi 1, gempa yang terjadi pada detik ke-2250 terdeteksi sebagai "*Missed*". Pada Gambar 4.27 dengan lebar jendela NLTA 15 detik pada variasi 2, gempa terdeteksi "*Missed*" pada detik ke-4589. Kemudian pada gambar 4.28 dengan lebar jendela NLTA 20 detik pada variasi 3,

gempa terdeteksi “*Missed*” pada detik ke-2171, karena seharusnya gempa yang terdeteksi tetapi tidak terekam oleh sistem. Adapun untuk kasus *False*, dapat dilihat pada contoh pada Gambar 4.29.

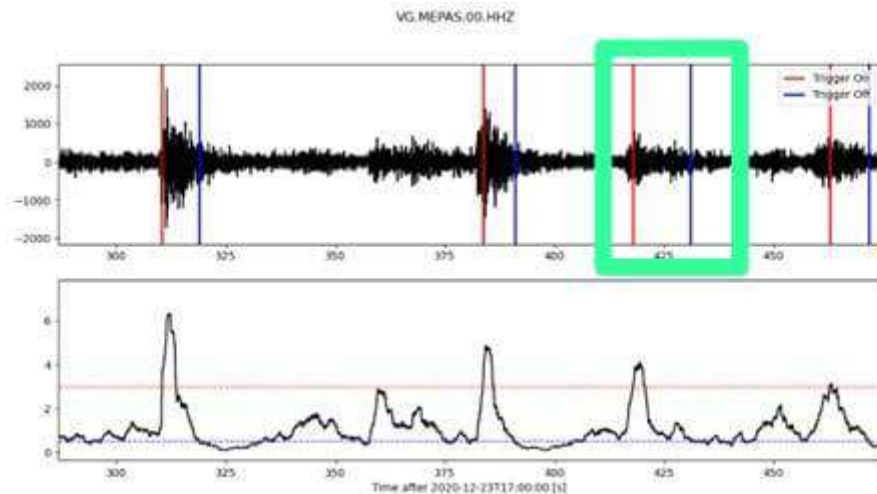
Pada gambar 4.29, kotak berwarna hijau menandakan bahwa gempa tersebut terdeteksi sebagai *False Detection*. Hal ini disebabkan bentuk gelombang gempanya memenuhi kriteria, yaitu amplitudonya < 1.000 meter, namun gempa tersebut terdeteksi oleh sistem.



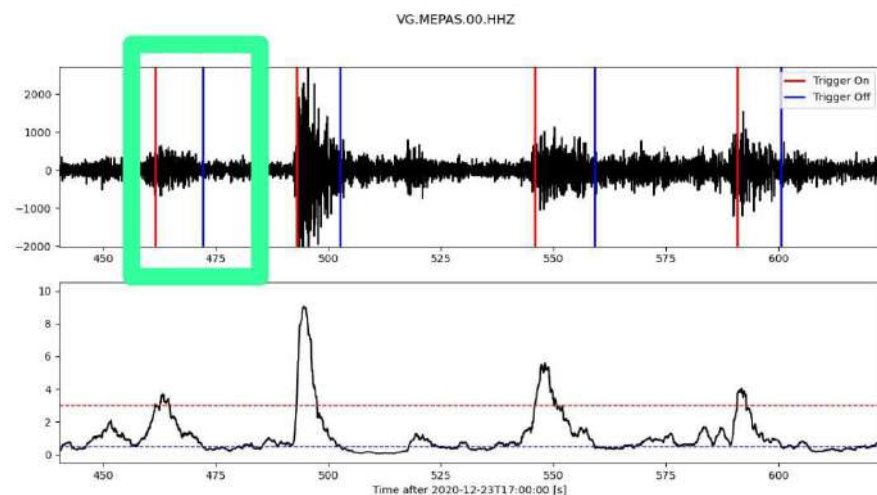
Gambar 4.29 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela NLTA 10 s yaitu 7010 s. Keterangan:

Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*),

Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.



Gambar 4.30 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela NLTA 15 s yaitu 418 s. Keterangan:
 Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*),
 Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.



Gambar 4.31 Contoh Tampilan terdeteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela NLTA 20 s yaitu 461 s. Keterangan:
 Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*),
 Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.

Pada ketiga variasi yang dijelaskan di atas, Gambar 4.29 menunjukkan bahwa dengan lebar jendela NLTA 10 detik pada variasi 1, gempa yang terjadi pada detik ke-7010 terdeteksi sebagai "*False*". Pada Gambar 4.30 dengan lebar jendela NLTA 15 detik pada variasi 2, gempa terdeteksi "*False*" pada detik ke-418. Kemudian pada gambar 4.31 dengan lebar jendela NLTA 20 detik pada variasi 3,

gempa terdeteksi "*False*" pada detik ke-461, karena seharusnya gempa yang tidak terdeteksi tetapi terekam oleh sistem. Dengan demikian, jumlah total deteksi gempa, serta penentuan jumlah gempa yang terdeteksi sebagai "*Missed*" dan "*False*", berdasarkan 8.640.000 titik data.

4.2.3 Penentuan Jumlah deteksi gempa total pada parameter Nlta

Tabel 4. 3 Tabel Data Jumlah Deteksi Gempa pada Parameter Nlta

Variasi	Jumlah Deteksi Total	Nsta	Nlta	Threshold on	Threshold off
Varias_1	1091	2	10	3	0.5
Variasi_2	1285	2	15	3	0.5
Variasi_3	1291	2	20	3	0.5

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam tabel, Variasi 1 (Merah) dengan NLTA=10 mendeteksi 1091 gempa. Variasi 2 (Biru) dengan NLTA=15 mendeteksi 1285 gempa. Sementara itu, Variasi 3 (Hijau) dengan NLTA=20 mendeteksi 1291 gempa.

4.2.4 Penentuan Jumlah Gempa Yang Terlewat (*Missed detection*), Dan Jumlah Deteksi Salah (*False Detection*) pada parameter Nlta

Tabel 4. 4 Tabel Data Jumlah Gempa *Missed* dan *False Detection* Parameter Nlta

Variasi	Nsta	Nlta	Threshold on	Threshold off	Miss detection	False detection
Varias_1	2	10	3	0.5	258	76
Variasi_2	2	15	3	0.5	230	194
Variasi_3	2	20	3	0.5	140	224

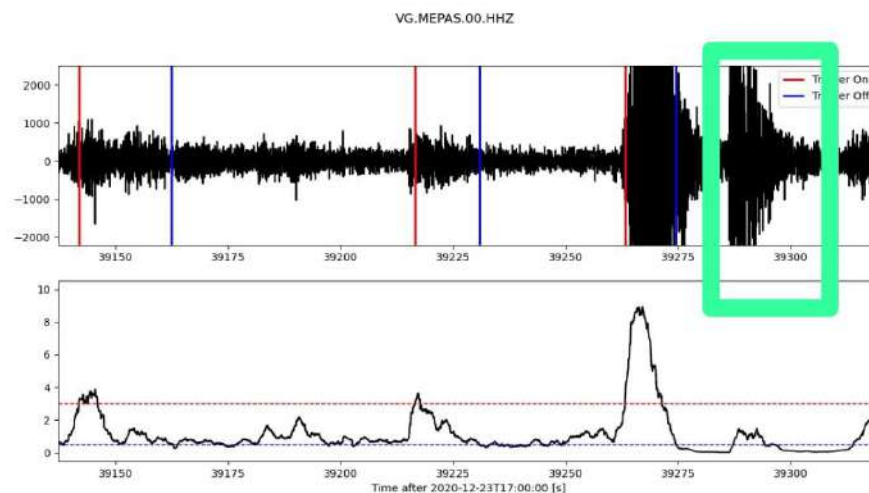
Data hasil analisis pada Parameter NLTA (dapat dilihat pada tabel 4.4) untuk Variasi_1 (Merah): Menggunakan nilai NLTA = 10, menghasilkan Jumlah Deteksi Gempa Total = 1091, *Miss detection* = 258, dan *False Detection* = 76. Untuk Variasi_2 (Biru): Menggunakan nilai NLTA = 15, menghasilkan Jumlah Deteksi Gempa Total = 1285, *Miss detection* = 230, dan *False Detection* = 194. Sedangkan

missed EQ			variati		false EQ				missed EQ			variati		false EQ				missed EQ			variati		false EQ		
no	posisi	t	1	no	posisi	t		no	posisi	t	2	no	posisi	t		no	posisi	t	3	no	posisi	t			
1	1588		1	418				1	1588		1	418				1	765		1	418					
2	1802		2	461				2	1802		2	461				2	1009		2	1429					
3	2171		3	5086				3	2171		3	1429				3	1156		3	1698					
4	2295		4	1429				4	2295		4	2746				4	1588		4	2746					
5	2452		5	1732				5	2870		5	3762				5	1802		5	4964					
6	2870		6	3762				6	3285		6	4462				6	2171		6	5556					
7	3285		7	4238				7	3540		7	4964				7	2295		7	6716					
8	3651		8	4964				8	3651		8	5038				8	2870		8	7007					
9	3829		9	5038				9	3829		9	5556				9	3285		9	7310					
10	4109		10	5276				10	4109		10	6183				10	3540		10	7668					
11	4589		11	5556				11	4120		11	6477				11	3651		11	7769					
12	4601		12	5638				12	4344		12	6716				12	3829		12	7901					
13	4785		13	6183				13	4589		13	7007				13	4072		13	8512					
14	5086		14	6477				14	4601		14	7209				14	4120		14	8741					
15	5488		15	6516				15	4785		15	7310				15	4344		15	9632					

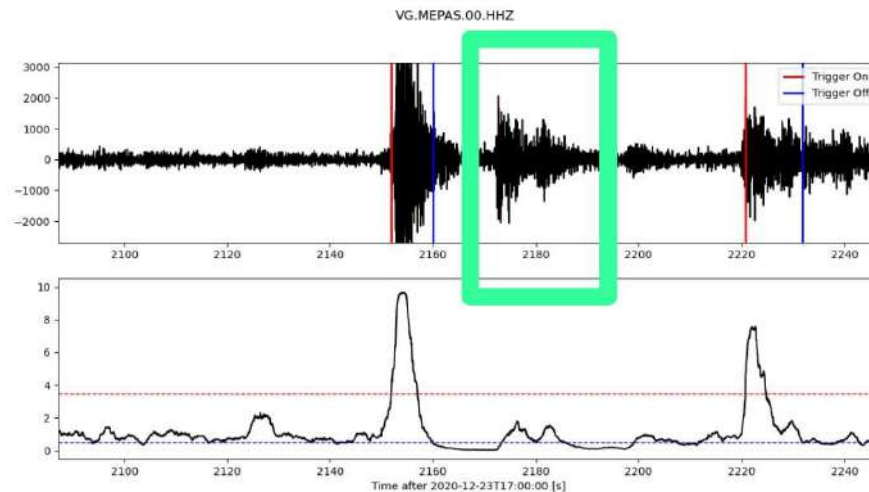
Gambar 4.33 Tampilan Sebagian Data gelombang P yang terdeteksi (*Missed*) dan (*False*) pada lebar jendela *Threshold_On* 3.0 s, 3.5 s dan 4.0 s

Pada gambar 4.34, bahwa gempa tersebut terdeteksi sebagai *Missed detection*.

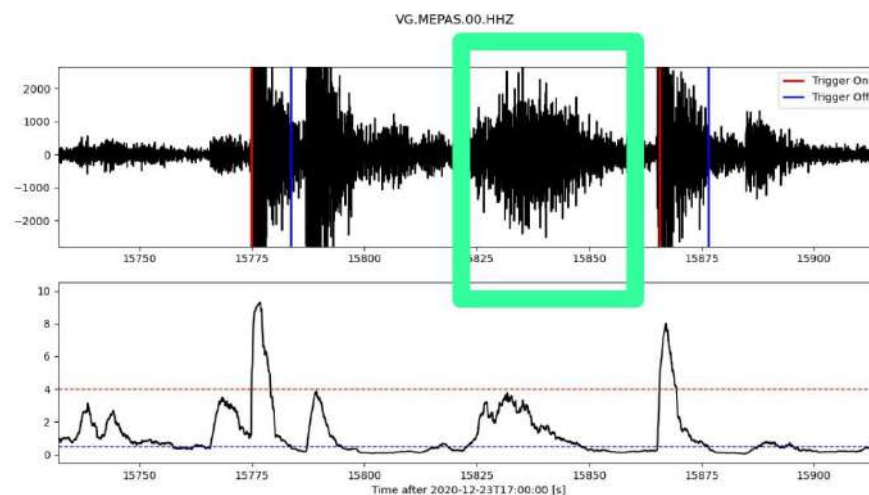
Hal ini disebabkan bentuk gelombang gempanya memenuhi kriteria, yaitu amplitudonya >1.000 meter, namun gempa tersebut tidak terdeteksi oleh sistem.



Gambar 4.34 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela *Threshold_On* 3.0 s yaitu 39286 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.



Gambar 4.35 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela *Threshold_On* 3.5 s yaitu 2170 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitud (*Counts*), Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.

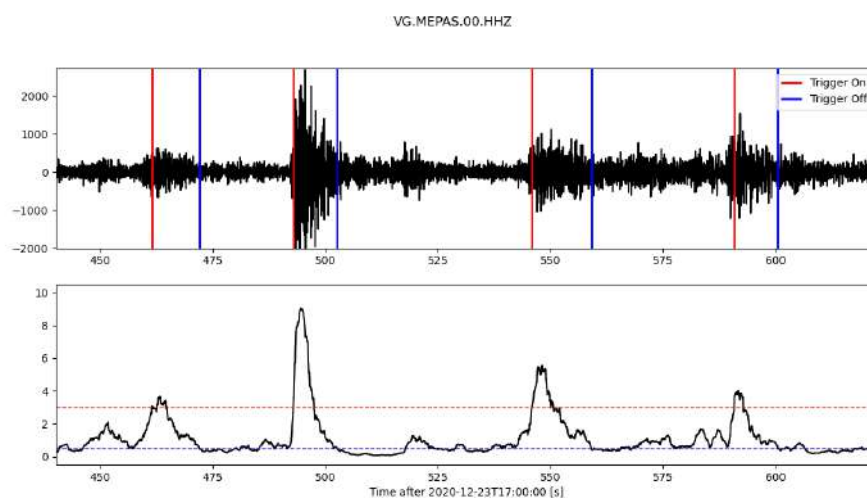


Gambar 4.36 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya gempa tetapi tidak terdeteksi gempa (*Missed*) pada lebar jendela *Threshold_On* 4.0 s yaitu 15825 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitud (*Counts*), Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.

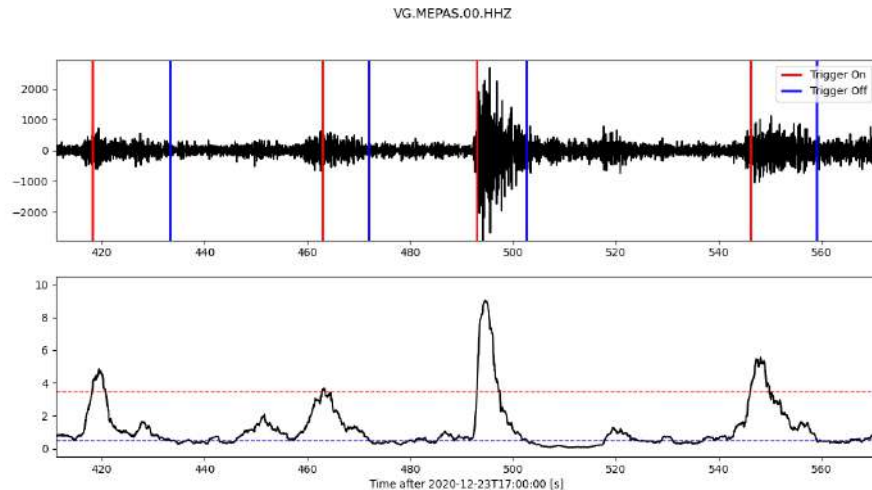
Pada ketiga variasi yang dijelaskan di atas, Gambar 4.34 menunjukkan bahwa dengan lebar jendela *Threshold_On* 3 detik pada variasi 1, gempa yang terjadi pada detik ke-39286 terdeteksi sebagai “*Missed*”. Pada Gambar 4.35 dengan lebar jendela *Threshold_On* 3.5 detik pada variasi 2, gempa terdeteksi “*Missed*” pada detik ke-2170. Kemudian pada gambar 4.36 dengan lebar jendela

Threshold_On 4.0 detik pada variasi 3, gempa terdeteksi “*Missed*” pada detik ke-15825, karena seharusnya gempa yang terdeteksi tetapi tidak terekam oleh sistem. Adapun untuk kasus *False*, dapat dilihat pada contoh pada Gambar 4.37.

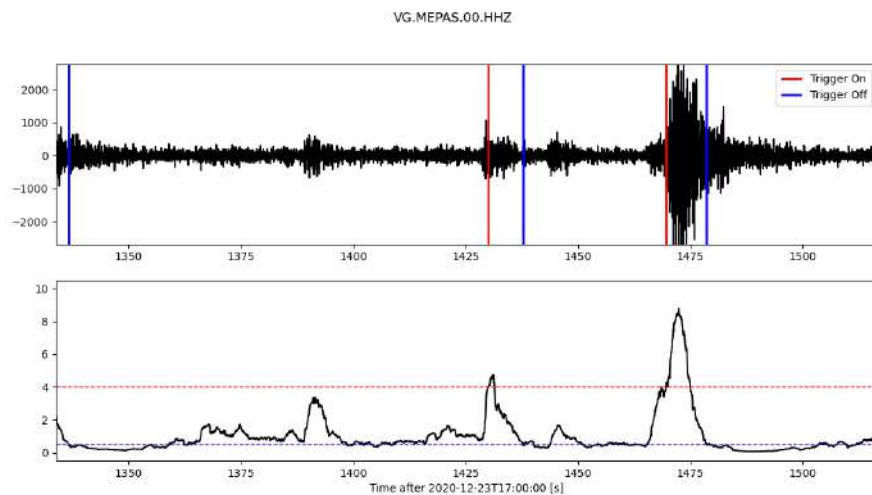
Pada gambar 4.37, bahwa gempa tersebut terdeteksi sebagai *False Detection*. Hal ini disebabkan bentuk gelombang gempanya memenuhi kriteria, yaitu amplitudonya < 1.000 meter, namun gempa tersebut terdeteksi oleh sistem.



Gambar 4.37 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela *Threshold_On* 3.0 s yaitu 461 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.



Gambar 4.38 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela *Threshold_On* 3.5 s yaitu 420 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.



Gambar 4.39 Contoh Tampilan deteksi yang seharusnya tidak gempa tetapi terdeteksi gempa (*False*) pada lebar jendela *Threshold_On* 4.0 s yaitu 1429 s. Keterangan: Gambar atas: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Amplitude (*Counts*), Gambar bawah: Sumbu X = Detik; Sumbu Y = Rasio STA/LTA.

Pada ketiga variasi yang dijelaskan di atas, Gambar 4.37 menunjukkan bahwa dengan lebar jendela *Threshold_On* 3.0 detik pada variasi 1, gempa yang terjadi pada detik ke-461 terdeteksi sebagai "*False*". Pada Gambar 4.38 dengan lebar jendela *Threshold_On* 3.5 detik pada variasi 2, gempa terdeteksi "*False*" pada detik ke-420. Kemudian pada gambar 4.39 dengan lebar jendela *Threshold_On* 4.0

detik pada variasi 3, gempa terdeteksi "*False*" pada detik ke-1429, karena seharusnya gempa yang tidak terdeteksi tetapi terekam oleh sistem. Dengan demikian, jumlah total deteksi gempa, serta penentuan jumlah gempa yang terdeteksi sebagai "*Missed*" dan "*False*", berdasarkan 8.640.000 titik data.

4.2.5 Penentuan Jumlah deteksi gempa total pada parameter *Threshold_On*

Tabel 4. 5 Tabel Data Jumlah Deteksi Gempa pada Parameter *Threshold On*

Variasi	Jumlah Deteksi Total	Nsta	Nlta	<i>Threshold on</i>	<i>Threshold off</i>
Varias_1	1291	2	20	3	0.5
Variasi_2	1145	2	20	3.5	0.5
Variasi_3	1011	2	20	4	0.5

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam tabel, variasi 1 (Merah) dengan *Threshold_On* =3 mendeteksi 1291 gempa. Variasi 2 (Biru) dengan *Threshold_On* =3.5 mendeteksi 1145 gempa. Sementara itu, Variasi 3 (Hijau) dengan *Threshold_On* =4 mendeteksi 1011 gempa..

4.2.6 Penentuan Jumlah Gempa Yang Terlewat (*Missed detection*), Dan

Jumlah Deteksi Salah (*False Detection*) pada parameter *Threshold_On*

Tabel 4. 6 Tabel Data Jumlah Gempa *Missed* dan *False Detection* Parameter *Threshold On*

Variasi	Nsta	Nlta	<i>Threshold on</i>	<i>Threshold off</i>	<i>Miss detection</i>	<i>False detection</i>
Varias_1	2	20	3	0.5	140	224
Variasi_2	2	20	3.5	0.5	212	110
Variasi_3	2	20	4	0.5	272	71

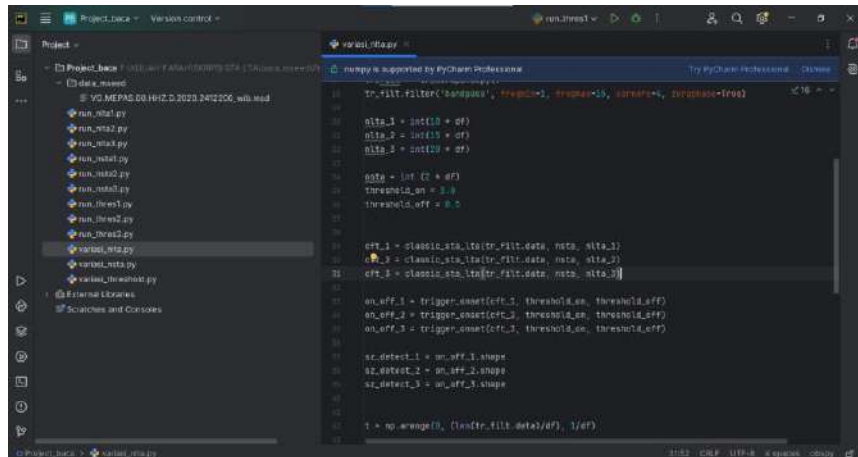
Berdasarkan tabel 4.6 yang disajikan diatas, dapat dianalisis bahwa penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perbedaan kinerja algoritma STA/LTA (*Short-Term Average/Long-Term Average*) dalam mendeteksi gempa bumi pada data seismik. Adapun parameter-parameter yang dianalisis meliputi: Variasi_1 (Merah):

Menggunakan nilai *Threshold_On* = 3, menghasilkan Jumlah Deteksi Gempa Total = 1291, *Miss detection* = 140, dan *False Detection* = 224. Variasi_2 (Biru): Menggunakan nilai *Threshold_On* = 3.5, menghasilkan Jumlah Deteksi Gempa Total = 1145, *Miss detection* = 212, dan *False Detection* = 110. Variasi_3 (Hijau): Menggunakan nilai *Threshold_On* = 4, menghasilkan Jumlah Deteksi Gempa Total = 1011, *Miss detection* = 272, dan *False Detection* = 71.

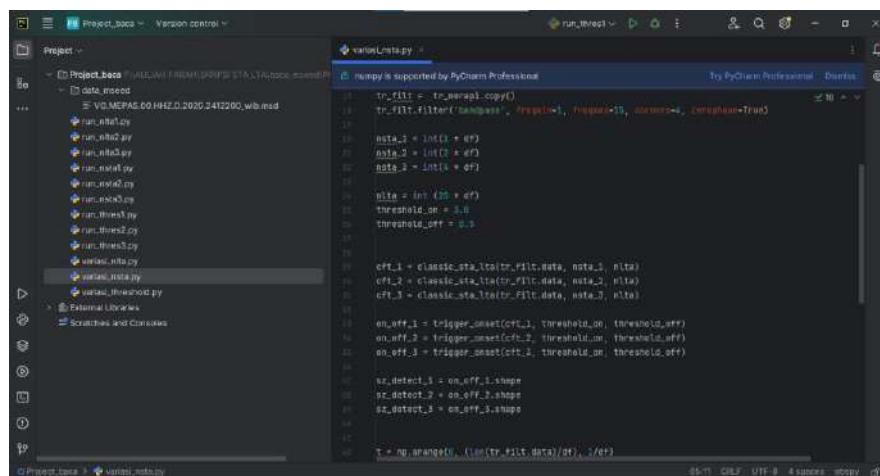
Dari hasil analisis tersebut, dapat dilihat bahwa setiap variasi nilai *Threshold_On* memberikan karakteristik yang berbeda dalam mendeteksi sinyal seismik. Semakin besar nilai *Threshold_On*, jumlah deteksi gempa total cenderung menurun, namun tingkat akurasi deteksi (*Miss detection* dan *False Detection*) mengalami peningkatan. Hal ini dijelaskan oleh Trnkoczy (2012) bahwa nilai pada parameter *Threshold_On* (*trigger threshold*) yang lebih besar akan menyebabkan lebih banyak gempa yang tidak terdeteksi, namun lebih sedikit kesalahan dalam mendeteksi gempa bumi. Jendela *Thershold_On* yang lebih pendek meningkatkan sensitivitas detektor terhadap gempa lokal, sedangkan jendela yang lebih panjang mengurangi sensitivitas tersebut.

4.3 Pembuatan Algoritma untuk Penggabungan Deteksi pada Tiga Variasi Parameter (NSTA, NLTA, *Threshold_On*) dan Menentukan Durasi Gempa

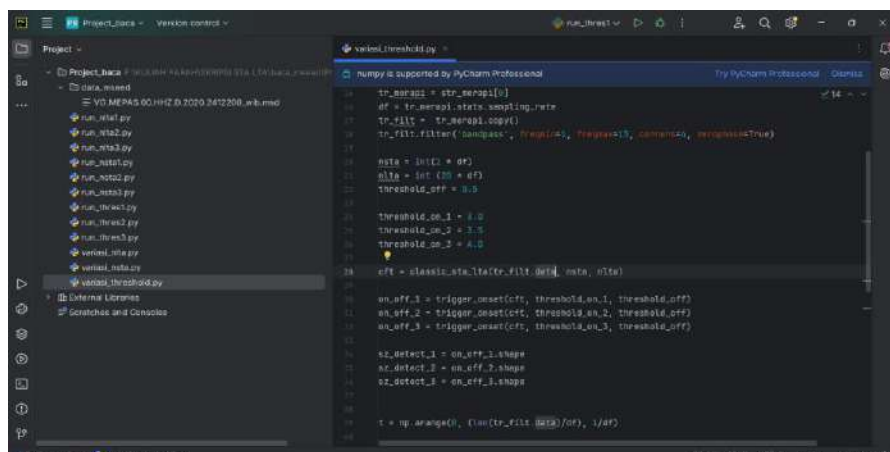
Dalam penelitian ini, pembuatan algoritma untuk penggabungan jumlah deteksi pada tiga variasi untuk setiap parameter, yaitu NSTA (*Short-Term Average*), NLTA (*Long-Term Average*), dan *Threshold_On*, bertujuan untuk memperoleh hasil durasi rata-rata gempa, yang lebih akurat dan efisien. Algoritma ini dirancang untuk memproses data gempa yang telah disaring berdasarkan tiga parameter tersebut.



Gambar 4.40 Penggabungan Parameter NLTA Tiga Variasi

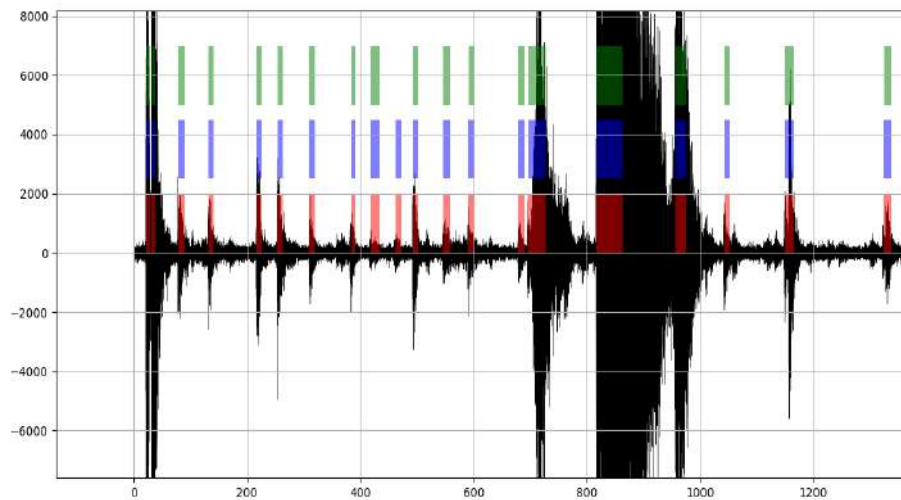


Gambar 4.41 Penggabungan Parameter NSTA Tiga Variasi



Gambar 4.42 Penggabungan Parameter *Threshold_On* Tiga Variasi

Selanjutnya, algoritma tersebut dijalankan (RUN) untuk memperoleh informasi mengenai jumlah deteksi gempa, dengan perbedaan tampilan output seperti yang terlihat pada Gambar 4.43.



Gambar 4.43 Contoh Salah Satu Hasil Output setelah di Run dengan keterangan: Variasi 1 (warna Merah); Variasi 2 (Warna Biru); Variasi 3 (Warna Hijau)
Keterangan: Sumbu X = Detik Sumbu; Sumbu Y = Amplitude (*counts*).

Dari hasil output tersebut, penelitian ini dapat menentukan jumlah deteksi gempa berdasarkan gabungan ketiga variasi pada masing-masing parameter, yaitu NLTA, NSTA, dan *Threshold_On*, dengan empat variasi yang telah diuji. Untuk algoritma penggabungan ini dapat di petakan menjadi 4 Variasi yaitu Merah, Hijau dan Biru; Merah dan Biru; Merah dan Hijau; Hijau dan Biru. Tampilan data hasil deteksi untuk Variasi gabungan dapat di lihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 7 Tabel Data Penggabungan Jumlah Deteksi pada Variasi 1, 2, dan 3 untuk Masing-Masing Parameter, yaitu: *Threshold_On*, NLTA, dan NSTA

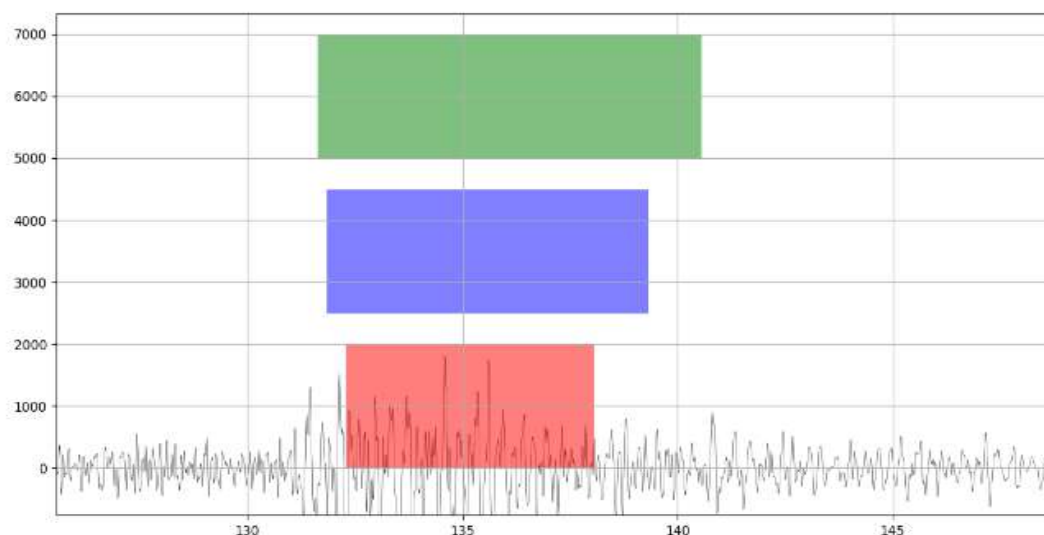
VARIASI	Parameter_ <i>Threshold_on</i>	Parameter_Nlta	Parameter_Nsta
Merah, Biru dan Hijau	1011	1037	952
Merah dan Biru	132	30	340
Merah dan Hijau	0	3	1
Biru dan Hijau	0	197	0

Pada tabel 4.7 menjelaskan bahwa dalam pengamatan kombinasi tiga warna (Merah, Biru, dan Hijau), terlihat nilai Parameter *Threshold_On* mencapai 1011, Parameter *Nlta* sebesar 1037, dan Parameter *Nsta* 952. Sementara itu, untuk kombinasi (Merah dan Biru) nilai parameternya lebih rendah dengan *Threshold_On* = 132, Parameter *Nlta* = 30, dan Parameter *Nsta* = 340. Menariknya, kombinasi (Merah dan Hijau) serta (Biru dan Hijau) memiliki Parameter *Threshold_On* = 0. Kombinasi Merah dan Hijau memiliki Parameter *Nlta* = 3 dan Parameter *Nsta* = 1, sedangkan (Biru dan Hijau) memiliki Parameter *Nlta* yang lebih tinggi yaitu = 197 tetapi Parameter *Nsta* = 0.

4.3.1 Penentuan Durasi Waktu Tiba Gelombang P dan Pola Panjang Durasi

Pada Parameter *Nlta*

Seleksi kombinasi parameter *Nlta* dengan tiga variasi, yaitu Variasi 1 (Merah) dengan lebar jendela *Nlta* = 10 detik, Variasi 2 (Biru) dengan lebar jendela *Nlta* = 15 detik, dan Variasi 3 (Hijau) dengan lebar jendela *Nlta* = 20 detik.



Gambar 4.44 Contoh Hasil Durasi waktu Tiba gelombang P pada Parameter *Nlta*. Variasi 1 (warna Merah = 10 s); Variasi 2 (Warna Biru = 15 s); Variasi 3 (Warna Hijau = 20 s). Keterangan: Sumbu X = Detik Sumbu; Sumbu Y = Amplitude (counts).

Pada Gambar 4.44, diperlihatkan bahwa warna hijau menghasilkan waktu deteksi awal dibandingkan dengan warna biru dan merah. Waktu tiba gelombang p untuk warna biru lebih cepat daripada warna merah. Hal ini menunjukkan bahwa jendela NLTA yang lebih pendek akan mengurangi sensitivitas, sehingga deteksi menjadi lebih lambat. Sebaliknya, jika jendela NLTA lebih panjang maka sensitivitas meningkat ini terbukti dengan deteksi waktu tiba yang lebih awal, seperti terlihat pada Gambar 4.44.

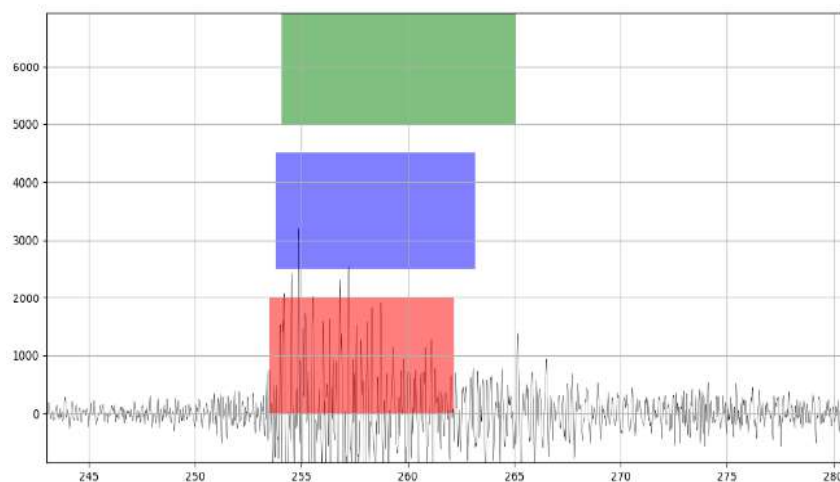
Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi 3 (hijau) dengan lebar jendela NLTA sebesar 20 detik menghasilkan durasi waktu tiba gelombang P yang konsisten. Sementara itu, pola panjang durasi parameter NLTA menunjukkan konsistensi sesuai urutan warna, yaitu hijau, diikuti biru, dan kemudian merah.

Hasil penelitian ini juga didukung oleh penelitian Trnkoczy (2012), yang menyatakan bahwa jendela NLTA yang lebih pendek mengurangi sensitivitas detektor, sedangkan jendela yang lebih panjang meningkatkan sensitivitas. Umumnya, lebar jendela NLTA yang digunakan adalah sekitar 60 detik. Lebar jendela NLTA yang lebih pendek dapat digunakan untuk mendeteksi gempa bumi lokal atau ketika derau di area stasiun seismik sering berubah dengan cepat. Untuk menghindari kesalahan deteksi akibat derau seismik tinggi di suatu stasiun, jendela NLTA yang pendek dapat digunakan (Trnkoczy, 2012).

4.3.2 Penentuan Durasi Waktu Tiba Gelombang P dan Pola Panjang Durasi

Pada Parameter Nsta

Seleksi kombinasi parameter Nsta dengan tiga variasi, yaitu Variasi 1 (Merah) dengan lebar jendela Nlta = 1 detik, Variasi 2 (Biru) dengan lebar jendela Nsta = 2 detik, dan Variasi 3 (Hijau) dengan lebar jendela Nsta= 4 detik.



Gambar 4.45 Contoh Hasil Durasi waktu Tiba gelombang P pada Parameter Nsta. Keterangan: Variasi 1 (warna Merah = 1 s); Variasi 2 (Warna Biru =2 s); Variasi 3 (Warna Hijau = 4 s). Keterangan: Sumbu X = Detik Sumbu; Sumbu Y = Amplitude (*counts*).

Pada Gambar 4.45, diperlihatkan bahwa warna merah menghasilkan waktu deteksi awal dibandingkan dengan warna biru dan hijau. Waktu tiba gelombang p untuk warna biru lebih cepat daripada warna hijau. Hal ini menunjukkan bahwa jendela NSTA yang lebih pendek akan lebih sensitiv, sehingga deteksi menjadi lebih cepat atau lebih awal. Sebaliknya, jika jendela NLTA lebih panjang maka sensitivitas akan berkurang, terbukti dengan deteksi waktu tiba yang lambat seperti terlihat pada Gambar 4.45.

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi 1 (merah) dengan lebar jendela NLTA sebesar 1 detik menghasilkan durasi waktu tiba gelombang P yang konsisten. Sementara itu, pola panjang durasi parameter NSTA menunjukkan konsistensi sesuai pola yang ada di parameter NLTA dengan urutan warna hijau, diikuti biru, dan kemudian merah. (dapat dilihat tampilan beberapa contoh pada gambar 4.45).

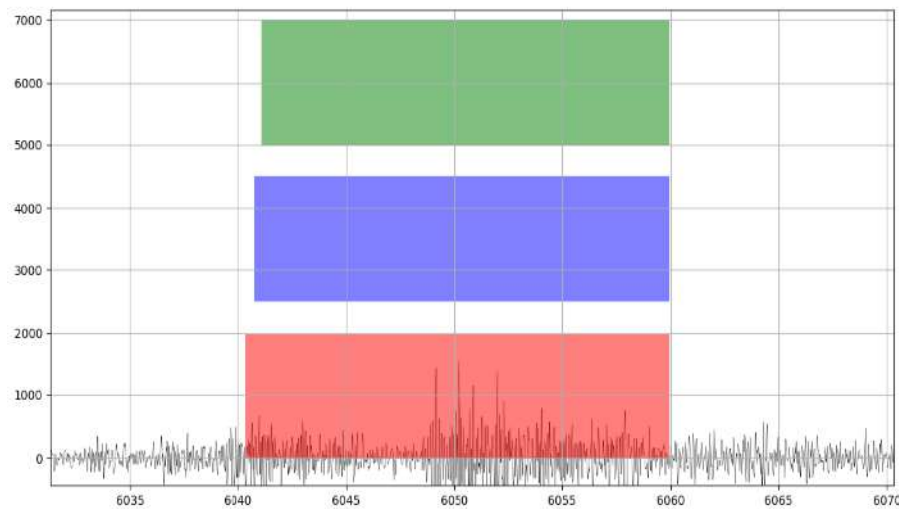
Ilustrasi ini menunjukkan bahwa jendela STA yang lebih pendek meningkatkan sensitivitas detektor terhadap perubahan amplitudo yang cepat. Untuk mendeteksi gempa regional, direkomendasikan lebar jendela STA antara 1-2 detik, sedangkan

untuk gempa lokal, lebar jendela sekitar 0,3-0,5 detik biasanya digunakan (Trnkoczy, 2012).

4.3.3 Penentuan Durasi Waktu Tiba Gelombang P dan Pola Panjang Durasi

Pada Parameter *Threshold_On*

Seleksi kombinasi parameter *Threshold_On* dengan tiga variasi, yaitu Variasi 1 (Merah) dengan lebar jendela *Threshold_On* = 3 detik, Variasi 2 (Biru) dengan lebar jendela *Threshold_On* = 3.5 detik, dan Variasi 3 (Hijau) dengan lebar jendela *Threshold_On* = 4 detik.



Gambar 4.46 Contoh Hasil Durasi waktu Tiba gelombang P pada Parameter *Threshold_On*. Keterangan: Variasi 1 (Warna Merah = 3 s); Variasi 2 (Warna Biru = 3.5 s); Variasi 3 (Warna Hijau = 4 s). Keterangan: Sumbu X = Detik Sumbu; Sumbu Y = Amplitude (*counts*).

Pada Gambar 4.46, diperlihatkan bahwa warna merah menghasilkan waktu deteksi awal dibandingkan dengan warna biru dan hijau. Waktu tiba gelombang p untuk warna biru lebih cepat daripada warna hijau. Hal ini menunjukkan bahwa jendela *Threshold_On* yang lebih pendek akan lebih sensitiv, sehingga deteksi menjadi lebih cepat atau lebih awal. Sebaliknya, jika jendela *Threshold_On* lebih

panjang maka sensitivitas akan berkurang, terbukti dengan deteksi waktu tiba yang lambar, seperti terlihat pada Gambar 4.46.

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi 1 (merah) dengan lebar jendela *Threshold_On* sebesar 3 detik menghasilkan durasi waktu tiba gelombang P yang konsisten. Selain itu, pola panjang durasi parameter *Threshold_On* menunjukkan konsistensi sesuai urutan warna yaitu merah, diikuti biru, dan kemudian hijau. Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat bahwa durasi akhir dari parameter *Threshold_On* sama. Pola ini berbanding terbalik dengan pola pada parameter NLTA dan NSTA, yang dapat dilihat pada beberapa contoh di gambar 4.46. Ilustrasi ini menunjukkan bahwa jendela nilai ambang *Threshold_On* yang lebih rendah akan meningkatkan sensitivitas detektor (Trakocsy, 2012).

4.4 Gunung Api Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains

Al-Qur'an adalah sumber utama pedoman dalam agama Islam yang kebenarannya bersifat mutlak dan absolut. Kitab suci ini menjadi petunjuk yang kekal dalam mengatur berbagai aspek kehidupan manusia, sekaligus berfungsi sebagai sumber ajaran dan dasar utama bagi pemikiran serta peradaban Islam. Al-Qur'an juga memberikan wawasan kepada manusia yang membaca dan memahami isinya, termasuk memberikan arahan mengenai bencana yang terjadi di bumi, seperti bencana yang disebabkan oleh aktivitas gunung berapi.

Gunung berapi adalah tempat keluarnya magma atau material lain ke permukaan bumi, yang kemudian membentuk kerucut besar. Biasanya, kerucut ini akan menghasilkan kubah atau bukit yang dikenal sebagai kawah, yang terkadang terisi air sehingga membentuk danau. Gunung memiliki fungsi penting sebagai penyeimbang antara bumi dan langit agar keduanya tetap stabil. Tanpa adanya

gunung, bumi tidak akan berada dalam kondisi yang stabil atau terbentang dengan sempurna. Seperti halnya pasak tenda yang ditancapkan ke tanah sebagai penopang bagi tenda yang didirikan (Ahmad, 2011). Hal ini dijelaskan dalam Al-Qur'an, Surat An-Naba' (78): 7

وَالْجِبَالِ أَوْتَادًا ط

Artinya:

"Dan gunung-gunung sebagai pasak" (Q.S An-Naba (78):7)

Menurut tafsir Ibnu Katsir, firman Allah Ta'ala *"Dan gunung-gunung sebagai pasak?"* menggambarkan bahwa gunung-gunung diciptakan oleh Allah sebagai pasak yang kokoh. Allah menetapkannya dengan cara menancapkan dan memantapkannya, sehingga gunung-gunung tersebut mampu menahan bumi agar tetap stabil dan tidak mengguncang para makhluk yang tinggal di atasnya (Rasyid, 2017).

Pasak merupakan benda yang mirip dengan paku namun biasanya terbuat dari kayu (KBBI, 2016). Pasak biasanya ditanamkan jauh ke dalam tanah. Dalam konteks ayat tersebut, gunung diibaratkan sebagai pasak yang diciptakan oleh Allah SWT, yang berarti terdapat bagian gunung yang berperan seperti pasak dengan menancap kuat ke dalam tanah.

Dalam ilmu geologi, gunung memiliki akar yang menyerupai jangkar yang menembus ke dalam bumi. Akar ini berperan penting dalam menjaga kestabilan dan keseimbangan bumi, terutama ketika terjadi guncangan akibat pergerakan lempeng tektonik, sehingga bumi tidak mudah mengalami kehancuran. Fungsi utama gunung adalah sebagai pasak untuk mencegah bumi berguncang akibat meningkatnya tekanan gas-gas yang terbentuk di dalamnya (Mulyaningsih, 2006).

Istilah "pasak" dalam Al-Qur'an memiliki dua aspek, yaitu bentuk dan fungsi. Dari segi bentuk, pasak cenderung memiliki sebagian besar bagiannya berada di dalam tanah, sementara hanya sedikit yang terlihat di permukaan. Secara fungsional, pasak berperan untuk menjaga agar benda yang ditancapi tetap stabil dan tidak berpindah tempat (Bakry, 2001).

Dalam pandangan ilmu geologi modern, gunung yang terlihat di permukaan hanyalah sekitar sepertiga dari keseluruhan struktur gunung. Sementara itu, dua pertiga bagian lainnya tertanam jauh di dalam bumi. Dengan demikian, gunung yang tampak di permukaan sebenarnya sangat kecil jika dibandingkan dengan bagian yang tersembunyi di dalam tanah (Mulyaningsih, 2006).

Setiap gunung memiliki akar tunjang yang menjulur ke dalam lapisan bumi. Akar ini berfungsi untuk menahan lapisan benua atau kerak bumi dari berbagai gerakan atau guncangan besar yang dapat terjadi akibat tekanan dari dalam bumi (endogen) maupun tekanan dari luar (eksogen).

Dengan kata lain, gunung berfungsi untuk menahan lempengan-lempengan kerak bumi dengan meluas ke atas dan ke bawah. Kehadiran gunung, khususnya gunung berapi, membantu melindungi makhluk hidup di bumi dari dampak guncangan lempeng yang berada di bawah permukaan tanah (Ahmad, 2011).

Aktivitas magma membuat gunung-gunung tidak sepenuhnya diam di tempatnya dan dapat memicu getaran pada kerak bumi atau gempa bumi. Gempa semacam ini dapat terjadi sebelum, selama, atau setelah erupsi gunung berapi. Getaran tersebut diakibatkan oleh gesekan antara magma dan dinding batuan yang dilaluinya ketika magma bergerak naik ke permukaan. Hal ini sejalan dengan firman Allah SWT dalam Surah An-Naml (27) ayat 88:

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

(٨٨)

Artinya:

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

Menurut tafsir Ibnu Katsir, firman Allah Ta’ala (وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً) “Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap di tempatnya, padahal ia berjalan sebagaimana jalannya awan” menjelaskan bahwa gunung-gunung tampak seolah-olah diam tidak bergerak, padahal sebenarnya gunung-gunung itu berjalan seperti pergerakan awan, yaitu berpindah dari tempat asalnya.

Firman Allah ini juga menegaskan (صُنْعَ اللَّهِ الَّذِي أَتَقَنَ كُلَّ شَيْءٍ) “Begitulah perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu”, menunjukkan bahwa Allah menciptakan segala sesuatu dengan ketetapan yang penuh kebijaksanaan, disertai hikmah yang mendalam dalam setiap ciptaan-Nya (Abdullah, 2007).

Menurut tafsir Al-Maraghy, kata (تَمُرُّ) diartikan sebagai guncangan atau getaran, sementara langit tetap berada di tempatnya. Kata (المر) pada dasarnya bermakna bolak-balik, pulang-pergi, atau terkadang diartikan sebagai bergerak. Dalam tafsir Al-Maraghy dijelaskan bahwa gunung-gunung yang tampak kokoh dan tetap di tempatnya sebenarnya bergerak dari posisinya, berjalan seperti awan yang melayang di langit (Mushthafa, 1989).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa gunung-gunung sebenarnya tidak diam di tempatnya, melainkan bergerak secara terus-menerus, layaknya awan yang melayang di langit. Karena manusia bersama gunung-gunung berada di atas lempeng bumi dan dipengaruhi oleh gaya gravitasi, gerakan ini sulit dirasakan. Awan sendiri tidak bergerak dengan sendirinya, melainkan digerakkan oleh angin. Demikian pula, lempeng samudra dan benua bergerak akibat aliran konveksi magma di bawah lapisan litosfer bumi.

Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa gunung api khususnya Gunung Merapi ini selalu aktif bergerak dan berubah posisi. Pergerakan Gunung Merapi dapat diketahui dengan adanya alat deteksi gempa atau bisa disebut seismograf. Adanya seismograf ini dapat memberikan gambaran getaran yang ada di sekitar Gunung Merapi. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan aktivitas seismik, di mana distribusi gempa yang terjadi dapat dianalisis dengan menggunakan metode *Short-Term Average/Long-Term Average* (STA/LTA). Data seismik atau data gempa dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan terjadinya erupsi di masa mendatang, sehingga dapat diterapkan sebagai langkah pencegahan dan penanggulangan bencana erupsi Gunung Merapi. Dengan demikian, upaya ini bertujuan untuk meminimalkan kerusakan dan jumlah korban yang timbul akibat bencana tersebut. Namun, perlu diingat bahwa erupsi gunung berapi adalah bencana alam yang tidak bisa diprediksi secara pasti, karena kejadian ini termasuk dalam kehendak Allah Yang Maha Kuasa, yang mutlak berdasarkan kekuasaan-Nya. Ketetapan ini dijelaskan dalam Al-Qur'an, surah Al-Hadid (57):22

مَا أَصَابَ مِنْ مُصِيبَةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي أَنْفُسِكُمْ إِلَّا فِي كِتَابٍ مِنْ قَبْلِ أَنْ نَبْرَأَهَا إِنَّ ذَلِكَ عَلَى

اللَّهِ يَسِيرٌ ﴿٢٢﴾

Artinya:

“Setiap bencana yang menimpa di bumi dan yang menimpa dirimu sendiri, semuanya sudah tertulis dalam kitab (Lauhul Mahfudz) sebelum kami mewujudkannya. Sungguh, yang demikian itu mudah bagi Allah” (QS. Al-Hadid (57):22).

Sebagaimana dijelaskan dalam ayat di atas, erupsi gunung berapi termasuk dalam musibah yang merupakan ujian dari Allah SWT, agar manusia tidak mudah putus asa. Ketetapan ini juga dijelaskan dalam tafsir yang mengungkapkan bahwa Al-Qur'an menurunkan ayat-ayat tersebut untuk memberikan pemahaman tentang makna yang terkandung di dalamnya. Dengan begitu, peristiwa-peristiwa tersebut bisa memberikan hikmah yang nyata. Manusia seharusnya merenung dan bersikap bijaksana terhadap bencana alam yang terjadi, sebab erupsi gunung berapi yang sulit diprediksi ini mengharuskan kita untuk mengambil langkah-langkah antisipatif guna mengurangi kerusakan yang mungkin timbul.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu sebagai berikut:

1. Jumlah gempa pada parameter NSTA, variasi dengan NSTA = 1 mendeteksi 1639 gempa; NSTA = 2 mendeteksi 1291 gempa dan NSTA = 4 mendeteksi 952 gempa. Pada parameter NLTA, variasi dengan NLTA = 10 mendeteksi 1091 gempa; NLTA = 15 mendeteksi 1285 gempa dan NLTA = 20 mendeteksi 1291 gempa. Pada parameter *Threshold_On*, variasi dengan *Threshold_On* = 3 mendeteksi 1291 gempa. *Threshold_On* = 3,5 mendeteksi 1145 gempa dan *Threshold_On* = 4 mendeteksi 1011 gempa.
2. Jumlah gempa *Missed* dan *False detection* pada parameter NSTA (variasi 1 = 1 s), terdapat 128 *Missed detection* dan 389 *False detection*. Pada parameter NSTA (variasi 1 = 2 s), terdapat 140 *Missed detection* dan 224 *False detection*. Pada parameter NSTA (variasi 1 = 4 s), terdapat 218 *Missed detection* dan 44 *False detection*. parameter NLTA (variasi 1 = 10 s), terdapat 258 *Missed detection* dan 76 *False detection*. parameter NLTA (variasi 1 = 15 s), terdapat 230 *Missed detection* dan 194 *False detection*. parameter NLTA (variasi 1 = 20 s), terdapat 140 *Missed detection* dan 224 *False detection*. Kemudian untuk parameter *Threshold_On* (variasi 1 = 3 s), terdapat 140 *Missed detection* dan 224 *False detection*. parameter *Threshold_On* (variasi 1 = 3.5 s), terdapat 212 *Missed detection* dan 110

False detection. parameter *Threshold_On* (variasi 1 = 3 s), terdapat 272 *Missed detection* dan 71 *False detection*.

3. Konsistensi durasi gempa yang terdeteksi pada parameter NLTA diperoleh pada (variasi 1 Merah = 10 s; variasi 2 Biru = 15 s; dan variasi 3 Hijau = 20 s) yang menghasilkan durasi waktu tiba gelombang P lebih awal yaitu dengan lebar jendela 20 s (Hijau) dan pola durasi deteksi yaitu hijau, diikuti biru kemudian merah yang konsisten. Parameter NSTA diperoleh pada (variasi 1 Merah = 1 s; variasi 2 Biru = 2 s; dan variasi 3 Hijau = 4 s) yang menghasilkan durasi waktu tiba gelombang P lebih awal yaitu dengan lebar jendela 1 s (merah) dan pola durasi deteksi yaitu hijau, diikuti biru kemudian merah yang konsisten. Parameter *Threshold_On* diperoleh pada (variasi 1 Merah = 3 s; variasi 2 Biru = 3.5 s; dan variasi 3 Hijau = 4 s) yang menghasilkan durasi waktu tiba gelombang P lebih awal yaitu dengan lebar jendela 1 s (merah) dan pola durasi deteksi yaitu merah, diikuti biru kemudian hijau yang konsisten.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah agar penelitian ini dilanjutkan dengan menggunakan metode lain, seperti *Z-Detect*, *Recursive STA/LTA*, atau *Carl-STA-Trig*, guna meningkatkan akurasi deteksi gempa. Selain itu, perlu dilakukan pengoptimalan parameter STA/LTA dengan menambahkan parameter lain atau memodifikasi algoritma deteksi untuk mengurangi *Missed detection* dan *False Detection*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adri et al., (2021). Pembuatan Peta Jalur Evakuasi Bencana Gunung Api Dan Persebaran Lokasi Shelter Menggunakan Metode Network Analyst. Jurnal Geodesi Undip. Volume [10], Nomor [1] (ISSN: 2337-845X).
- Ahmad, Yusuf Al-Hajj. (2011). *Sains Modern Menurut Prespektif AlpQuran dan As-Sunnah. Johor Bahru*:perniagaan Jahabersa.
- Andi Athiyah Anshariyah, A. B. (2019). The Depth of Pressure Source and Magma Supply Volume for Merapi Eruption during 2009-2011 Using the Combination of Yokoyama and Mogi Model. Makassar, Indonesia: ICOST, May 02-03
- Arimuko, A., Wibawa, A. S. W., & Firmansyah, A. (2019). Analisis Perbandingan Penentuan Hiposentrum Menggunakan Metode Grid Search, Geiger, dan Random Search: Studi Kasus pada Letusan Gunung Sinabung 2017. *DIFFRACTION: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 1(2), 22-28.
- Asparini, Dewi. (2011). Penerapan Metode Stacking Dalam Pemrosesan Sinyal Seismik Laut Diperairan Barat Aceh. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor: Bogor
- Bakry, H. Oemar. (2001). *Tafsir Rahmat*.
- Bulo, Deni. Dkk. (2020). Penentuan Titik Epicenter Dan Hypocenter Serta Parameter Magnitudo Gempa bumi Berdasarkan Data Seismogram.Jurnal Geosains Kutai Basin Vol 3 (1), p1-8, E-ISSN 2615-5176. Geofisika FMIPA UNMUL.
- Chen, Y., (2020). Automatic microseismic event picking via unsupervised machine learning. *Geophysical Journal International*, 222(3), pp.1750-1764.
- Echeverria, Inigo Sevilla. (2019). Improving Automatic Earthquake Detection In The Krafla Seismic Network (Doctoral dissertation, MSc thesis). University of Iceland. Retrieved from https://skemman.is/bitstream/1946/34507/4/Thesis_Inigo_MSc.pdf
- ESDM. (2014). Gunung Merapi. <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/542-g-merapi?start=1>
- Ewert, J. W., Harpel, C. J., Brooks, S. K., & Marcaida, M. (2011). Bibliography of literature pertaining to Long Valley Caldera and associated volcanic fields (U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1320, 146 p.). U.S. Geological Survey.
- Firnanza, Esha. (2017). Penentuan Litologi Lapisan Bawah Permukaan Berdasarkan Model Kecepatan 2D Tomografi Seismik Refraksi Untuk Geoteknik Jalan Tol. Fakultas Teknik, Universitas Lampung: Lampung.

- Fridayanti, D. E. (2022). *Analisis gempa vulkanik Gunung Merapi dan korelasi terhadap pengukuran infrasonik: Studi kasus data survei Bulan November 2020-Maret 2021* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Hadisurya, D. (2018). Identifikasi Magma Chamber berdasarkan Analisis Data Magnetik Total di Gunung Ili Lewotolo Kabupaten Lembata, Nusa Tenggara Timur berdasarkan Data Survei Tahun 2010.
- Harijoko, A., Anggraini, A., Setianto, A., Hendratno, A., Solikhin, A., Omang, A., & Hanniel, Y. (2024). *Geologi Gempa Bumi Indonesia*. UGM PRESS.
- Havskov, J. P. Voss and L. Ottemöller (2020). Seismological observatory *software*: Thirty years of SEISAN. *Seismological Research Letters*, Vol. 91, pp. 1846-1852.
- Hidayati, S. (2010). *Pengenalan Seismologi Gunung Api*. Bandung: Diklat Pelaksana Pemula Pengamat Gunungapi Baru, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Houliston, D. J., Waugh, G., & Laughlin, J. (1984). Automatic real-time event detection for seismic networks. *Computers & Geosciences*, 10(4), 431-436. <http://hmgj.or.id/geologi-regional-zona-kendeng/geologi/>. Diakses pada tanggal 23 Agustus 2024
<https://dreamindonesia.me/tag/peta-sebaran-gunung-berapi-di-indonesia/>. Diakses pada tanggal 23 Agustus 2024
- Kaler, S., & Yudha, M. (2011). Kajian Kelayakan Hunian Sementara (Temporary Shelter) Terhadap Bencana Letusan Dan Lahar Gunung Merapi Pasca Erupsi 2010 Di Desa Glagaharjo, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman (Doctoral Dissertation, Upn" Veteran" Yogyakarta).
- KBBI, (2016). Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI). [Online] <http://kbbi.web.id/pusat>.
- KBBI. (2016). *Kamus Besar Bahasa Indonesia* (KBBI). [Online] <http://kbbi.web.id/pusat>.
- Kennett, B. (2009). *Seismic wave propagation in stratified media* (p. 288). ANU Press.
- Khalqillah, A., Isa, M., & Muksin, U. (2018, December). A GUI based automatic detection of seismic P-wave arrivals by using Short Term Average/Long Term Average (STA/LTA) method. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1116, No. 3, p. 032014). IOP Publishing.
- Kiswiranti, D. (2019). SEISMOLOGI (Dasar-dasar Seismologi dan Apilikasinya).

- Kiswiranti, D., & Kirbani, H. (2013). Analisis Statistik Temporal Erupsi Gunung Merapi. *Jurnal Fisika Unnes*, 3(1), 79906. <https://doi.org/10.15294/jf.v3i1.3964>
- Linda, A., Susanto, B., & Prakoso, C. (2019). Analisis perambatan gelombang seismik pada lapisan batuan. *Jurnal Geofisika Indonesia*, 15(2), 78-92.
- Maryanto, S. (2016). *Seismik Vulkanologi*. Universitas Brawijaya Press.
- Mezyk, M. dan Malinowski, M. (2019): Multi-pattern algorithm for first-break picking employing open-source machine learning libraries. *Journal of Applied Geophysics*, 170, doi:10.1016/j.jappgeo.2019.103848.
- Mulyaningsih, S., Sampurno, Zaim, Y., Puradimaja, D.J., (2005), Merapi Volcanic Disaster During Historical Records, Surabaya, *Proceedings Joint Convention Surabaya 2005-HAGI-IAGI-PERHAPI*, 215-221
- Mulyaningsih, Sri. (2006). *Vulkanologi*. Yogyakarta: Ombak.
- Musthafa, Ahmad Al-Maraghi. 198. *Tafsir Al- Maraghiy*. Semarang: Tohaputra.
- Muvid, Nuha Yahya (2018). Analisis deformasi gunung Merapi menggunakan data GPS tahun 2015. Undergraduate thesis. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Ningsih, S. D. R. (2023). Penentuan Parameter STA/LTA Optimal Pada SeisComp 4 untuk Deteksi Gelombang P Otomatis Jaringan Seismik Pemantauan Sesar Opak PVMBG-BPPTKG Yogyakarta (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Putra, V. D. (2016). Penentuan Distribusi Hiposenter Gempa Vulkanik Gunungapi Soputan, Sulawesi Utara Menggunakan Metode Geiger (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Qolbi, A. S. (2021). Estimasi lokasi sumber tekanan dan volume suplai magma Gunung Merapi berdasarkan data tiltmeter menggunakan model mogi (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Rasyid, M. M. (2017). *Rasulullah Way of Life*. Elex Media Komputindo.
- Rauzam, M. (2015). Estimasi Jenis Sesar Sumber Gempa Jepang 11 Maret 2011 Dengan Menggunakan Solusi Bidang Sesar. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Roemaf, S. R. A. (2013). Analisa Sesar Aktif Menggunakan Metode Focal Mechanism (Studi Kasus Data Gempa Sepanjang Cincin Api Zona Selatan Wilayah Jawa Barat Pada Tahun 1999-2009). *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*.

- Sambodo, Endro. (2012). Ring Of Fire: Apakah Itu?.<https://endrosambodo1984.wordpress.com/2012/04/19/ring-of-fire-apakah-itu/> diakses pada tanggal 7 Februari 2021.
- Setiawan, Budi. (2017). Pemetaan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia: Depok.
- Sharma, B. K., Kumar, A., & Murthy, V. M. (2010). Evaluation of seismic events detection algorithms. *Journal of the Geological Society of India*, 75, 533-538
- Shearer, P., Stein, S., & Wysession, M. (2009). An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure. John Wiley & Sons.
- Sucuoğlu, H., Akkar, S., Halûk, S. and Sinan, A. (2014). Basic earthquake engineering. Basic Earthquake Engineering
- Supriyono, P. (2014). Seri Pendidikan Pengurangan Risiko Bencana Gunung Meletus. Yogyakarta: Andi.
- Susilo,S,A. Rudiarto. (2014). Analisis Tingkat Resiko Erupsi Gunung Merapi Terhadap Permukiman Di Kecamatan Kemalang, Kabupaten Klaten. Jurnal Teknik PWK Volume 3 Nomor 1 2014 Online : <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/pwk>
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics. Cambridge University Press.
- Tjandra, K. (2017). Empat Bencana Geologi yang Paling Mematikan (1st ed.). Gadjah Mada University Press.
- Trismahargyono, T., Sulistiyanti, S. R., & Marjunus, R. (2021). Design of an Earthquake Intensity Estimation System for Early Warning. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 197-202.
- Trnkoczy, A. (2012). Understanding and parameter setting of STA/LTA *trigger* algorithm. In *New manual of seismological observatory practice (NMSOP)* (pp. 1-20). Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.
- Vesnaver, A.L. (1996). Ray tracing based on Fermat's principle in irregular grids1. *Geophysical Prospecting*, 44(5), pp.741-760
- Zhang, J., Tang, Y. and Li, H. (2018). STA/LTA Fractal Dimension Algorithm of Detecting the P-Wave ArrivalSTA/LTA Fractal Dimension Algorithm of Detecting the P-Wave Arrival. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(1), pp.230-237

- Zhu, L., & Zhou, X. (2016). Seismic moment tensor inversion using 3D velocity model and its application to the 2013 Lushan earthquake sequence. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 95, 10-18

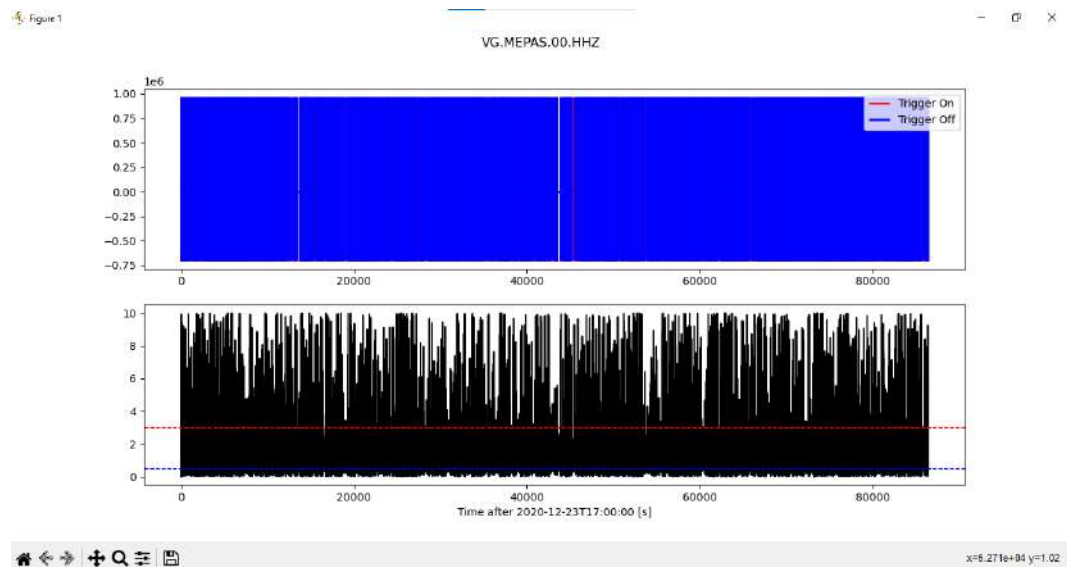
LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh Naskah Pemrograman Algoritma Parameter STA/LTA yaitu meliputi lebar jendela *Threshold_On* Pada ObsPy (.Python Package)

➤ Lebar jendela *Threshold_On*

```
run_thres1.py x
1 > import ...
5
6
7 path_folder = 'F:/KULIAH FARAH/SKRIPSI STA LTA/baca_mseed/Project_baca/data_mseed/'
8 nama_file = 'VG.MEPAS.00.HHZ.D.2020.2412200_wib.msd'
9
10 data_gempa = path_folder + nama_file
11
12 str_merapi = read(data_gempa)
13 tr_merapi = str_merapi[0]
14 df = tr_merapi.stats.sampling_rate
15 tr_filt = tr_merapi.copy()
16 tr_filt.filter('bandpass', freqmin=1, freqmax=15, corners=4, zerophase=True)
17
18 nsta = int(2 * df)
19 nlta = int(20 * df)
20 threshold_on = 3.0
21 threshold_off = 0.5
22
23 cft = classic_sta_lta(tr_filt.data, nsta, nlta)
24 plot_trigger(tr_filt, cft, threshold_on, threshold_off)
25 on_off = trigger_onset(cft, threshold_on, threshold_off)
26
27
```

Lampiran 2. Tampilan output pada *python* dari format *mseed* dengan Titik Data 8.640.000



Lampiran 3. Data Output Hasil Jumlah Deteksi *Missed* dan *False* pada Parameter *Threshold_On* Variasi 1, 2 Dan Variasi 3

Variasi	Jumlah Deteksi Total	nsta	nlta	threshold_on	threshold_off	miss_detection	false_detection
Variasi 1	1291	2	20	3	0.5	140	224
Variasi 2	1145	2	20	3.5	0.5	212	110
Variasi 3	1011	2	20	4	0.5	272	71

Contoh Pencarian Jumlah Deteksi *Missed* dan *False* pada Parameter *Threshold_On* Variasi 1

➤ **Jumlah Deteksi Total *Missed* Variasi 1 = 3 s**



➤ **Jumlah Deteksi Total *False* Variasi 1 = 3 s**



Lampiran 4. Data Output Hasil Jumlah Deteksi *Missed* dan *False* pada Parameter NSTA Variasi 1, 2 Dan Variasi 3

Variasi	Jumlah Deteksi Total	nsta	nlta	threshold_on	threshold_off	miss_detection	false_detection
Variasi_1	1639	1	20	3	0.5	128	389
Variasi_2	1291	2	20	3	0.5	140	224
Variasi_3	952	4	20	3	0.5	218	44

(Keterangan: Untuk pencarian jumlah deteksi *Missed* dan *False* pada parameter NSTA variasi 1,2 dan 3 sama pada lampiran 3)

Lampiran 5. Data Output Hasil Jumlah Deteksi *Missed* dan *False* pada Parameter NSTA Variasi 1, 2 Dan Variasi 3

Variasi	Jumlah Deteksi Total	nsta	nlta	threshold_on	threshold_off	miss_detection	false_detection
Variasi_1	1091	2	10	3	0.5	258	76
Variasi_2	1285	2	15	3	0.5	230	194
Variasi_3	1291	2	20	3	0.5	140	224

(Keterangan: Untuk pencarian jumlah deteksi *Missed* dan *False* pada parameter NSTA variasi 1,2 dan 3 sama pada lampiran 3)

Lampiran 6. Data Jumlah Deteksi Gempa Pada Katalog BPPTKG sebanyak 474

1	eventid	eventdate	eventdate	duration	amplitude	magnitud	longitude	latitude	depth	eventtype	seiscompi	validated	projector	operator	last_modified	ml_deles	ml_labuhi	ml_pasart	ml_pusun	
2	2020-12#8	12/24/2020 0:00	32	5.72	6mm	0	110.446	-7.54	0	MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:30	0.83018	2.0368	1.88033	n	
3	2020-12#8	12/24/2020 0:00	52	8.76	42mm	2.33508	110.446	-7.54167	-2.16	VTB	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:27	0.822049	2.03744	1.88032	e	
4	2020-12#8	12/24/2020 0:03	60	3.72	2mm					MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:28	0.409697	0.805768	0.455112	n	
5	2020-12#8	12/24/2020 0:06	80	3.92	2mm	0	110.446	-7.54	0	MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:28	0.490549	0.619921	0.212056	n	
6	2020-12#8	12/24/2020 0:11	32	31.32	7mm	0	110.446	-7.54	0	ROCKFALL	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:25	0.585952	1.38583	1.25733	n	
7	2020-12#8	12/24/2020 0:13	52	8.32	20mm	0	110.227	-7.3475	1.52	MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:24	1.23412	1.86016	1.78818	n	
8	2020-12#8	12/24/2020 0:13	12	100.4	27mm					ROCKFALL	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:29	1.23605	1.85865	1.78948	n	
9	2020-12#8	12/24/2020 0:15	44	33	7mm	0	110.446	-7.54	0	ROCKFALL	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:26	0.800068	1.50627	2.21969	n	
10	2020-12#8	12/24/2020 0:19	68	5.04	4mm	0	110.426	-7.532	0.11	MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:25	0.519677	1.07489	0.894408	n	
11	2020-12#8	12/24/2020 0:24	88	7.44	2mm	0	110.446	-7.54	0	GASBURST	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:30	0.440248	0.976027	0.674041	n	
12	2020-12#8	12/24/2020 0:26	52	5.6	3mm	0	110.446	-7.54	0	MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:31	0.405069	1.02033	0.675089	n	
13	2020-12#8	12/24/2020 0:29	80	10.32	60mm	2.3637	110.448	-7.538	-1.63	VTB	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:38	1.28842	1.89768	1.64177	e	
14	2020-12#8	12/24/2020 0:31	60	4.08	3mm	0	110.446	-7.54	0	MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:38	0.466321	0.940403	0.721583	n	
15	2020-12#8	12/24/2020 0:32	4	8.04	6mm	0	110.446	-7.54	0	MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:39	0.564897	0.507676	1.37322	1.11902	n
16	2020-12#8	12/24/2020 0:35	68	4.6	3mm	0	110.446	-7.54	0	MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 0:40	0.514109	0.96306	0.716167	n	
17	2020-12#8	12/24/2020 0:37	60	19.52	8mm					ROCKFALL	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 4:55	0.648349	1.1766	1.07653	n	
18	2020-12#8	12/24/2020 0:40	80	7	5mm	0	110.446	-7.54	0	MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 4:31	0.628596	1.35177	1.04472	n	
19	2020-12#8	12/24/2020 0:41	28	14.64	70mm	2.72614	110.451	-7.537	-2.07	VTB	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 4:02	1.84754	2.0863	2.05558	e	
20	2020-12#8	12/24/2020 0:44	44	5.2	2mm	1.32354	110.451	-7.53733	-1	VTB	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 4:36	0.448081	0.734805	0.682194	e	
21	2020-12#8	12/24/2020 0:46	60	4.64	2mm	0	110.446	-7.54	0	MP	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 4:35	0.4649	0.337154	0.802572	0.679609	n
22	2020-12#8	12/24/2020 0:47	52	8.12	3mm	0	110.446	-7.54	0	GASBURST	://bpptkg	0	WGS84	HSW	12/24/2020 4:35	0.626127	1.09734	0.942756	n	
461	2020-12#8	12/24/2020 23:07	12	10.44	3mm	0	110.435	-7.53017	0.11	GASBURST	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:14	0.34879	0.301104	0.794322	0.634445	n
462	2020-12#8	12/24/2020 23:07	68	6.6	3mm					MP	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:14	0.490605	0.710577	0.990327	0.857075	n
463	2020-12#8	12/24/2020 23:08	68	7.76	7mm	0	110.368	-7.56183	9.73	MP	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:15	0.840568	1.13071	1.19242	1.16756	n
464	2020-12#8	12/24/2020 23:10	48	6.48	3mm	0	110.446	-7.54	0	MP	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:15	0.286698	0.509009	0.633088	0.571841	n
465	2020-12#1	12/24/2020 23:15	21			2.2988	110.447	-7.54	-2.22	AUTO	://bpptkg	0	WGS84	SC3	12/24/2020 23:15				e	
466	2020-12#8	12/24/2020 23:15	24	14.6	50mm	2.2988	110.447	-7.54	-2.22	VTB	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:19	1.35212	1.82837	1.83943	1.73317	e
467	2020-12#8	12/24/2020 23:21	56	18.52	5mm	0	110.446	-7.54	0	ROCKFALL	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:24	0.378607	0.389171	1.18188	1.00525	n
468	2020-12#8	12/24/2020 23:23	20	5.64	3mm	0	110.369	-7.684	9.69	MP	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:26	0.49533	0.432325	0.749319	0.37988	n
469	2020-12#8	12/24/2020 23:26	0	8.24	7mm	0	110.451	-7.56333	0.37	MP	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:31	0.59767	0.741167	1.39312	1.19485	n
470	2020-12#8	12/24/2020 23:33	72	5.96	3mm	0	110.446	-7.54	0	MP	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:40	0.2406	0.221718	0.79728	0.407684	n
471	2020-12#8	12/24/2020 23:35	64	90.32	8mm					ROCKFALL	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:42	1.29755	1.64867	1.68121	1.44236	n
472	2020-12#8	12/24/2020 23:45	80	5.88	3mm	0	110.448	-7.53433	0.28	LF	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:54	0.33717	0.507187	0.859277	0.732506	n
473	2020-12#8	12/24/2020 23:46	80	80.6	23mm	0	110.446	-7.54	0	ROCKFALL	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/24/2020 23:55	0.636172	0.913406	1.93221	1.67675	n
474	2020-12#8	12/24/2020 23:58	20	11.76	3mm	0	110.446	-7.54	0	GASBURST	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/25/2020 0:04	0.24657	0.072815	0.872236	0.378669	n
475	2020-12#8	12/24/2020 23:59	16	21.4	8mm	0	110.446	-7.54	0	GASBURST	://bpptkg	0	WGS84	TYN	12/25/2020 0:05	0.864596	1.20618	1.5839	1.32687	n
476																				
477																				
478																				
479																				

Lampiran 7. Naska Pemerograman Algoritma Gabungan Pada Parameter

STA/LTA yaitu meliputi lebar jendela *Threshold_On* Pada ObsPy (.Python

Package)

➤ Gabungan Algoritma Variasi 1,2 dan 3 pada parameter *Threshold_On*

```

variati_threshold.py x
numpy is supported by PyCharm Professional

1  from obspy import read
2  from obspy.signal.trigger import classic_sta_lta
3  from obspy.signal.trigger import trigger_onset
4  import numpy as np
5  import matplotlib.pyplot as plt
6  import matplotlib.patches as patches
7
8
9  path_folder = 'F:/KULIAH FARAH/SKRIPSI STA LTA/baca_mseed/Project_baca/data_mseed/'
10 nama_file = 'V6.MEPAS.00.HHZ.D.2020.2412200_wib.msd'
11
12 data_gempa = path_folder + nama_file
13
14 str_merapi = read(data_gempa)
15 tr_merapi = str_merapi[0]
16 df = tr_merapi.stats.sampling_rate
17 tr_filt = tr_merapi.copy()
18 tr_filt.filter('bandpass', freqmin=1, freqmax=15, corners=4, zerophase=True)
19
20 nsta = int(2 * df)
21 nlta = int(20 * df)
22 threshold_off = 0.5
23
24 threshold_on_1 = 3.0
25 threshold_on_2 = 3.5

```

```

25 threshold_on_2 = 3.5
26 threshold_on_3 = 4.0
27
28 cft = classic_sta_lta(tr_filt.data, nsta, nlta)
29
30 on_off_1 = trigger_onset(cft, threshold_on_1, threshold_off)
31 on_off_2 = trigger_onset(cft, threshold_on_2, threshold_off)
32 on_off_3 = trigger_onset(cft, threshold_on_3, threshold_off)
33
34 sz_detect_1 = on_off_1.shape
35 sz_detect_2 = on_off_2.shape
36 sz_detect_3 = on_off_3.shape
37
38
39 t = np.arange(0, (len(tr_filt.data)/df), 1/df)
40
41 fig = plt.figure()
42 ax = fig.add_subplot(1, 1, 1)
43 plt.grid(zorder=-10)
44 plt.plot(*args, t, tr_filt.data, color='black', linewidth=0.3, zorder=0)
45
46
47 for j in range(sz_detect_1[0]):
48     prect_1 = patches.Rectangle(xy=(t[on_off_1[j, 0]], 0.), (t[on_off_1[j, 1]] -
49                                     t[on_off_1[j, 0]]), height=2000., alpha=0.5, ec="none", fc="red")

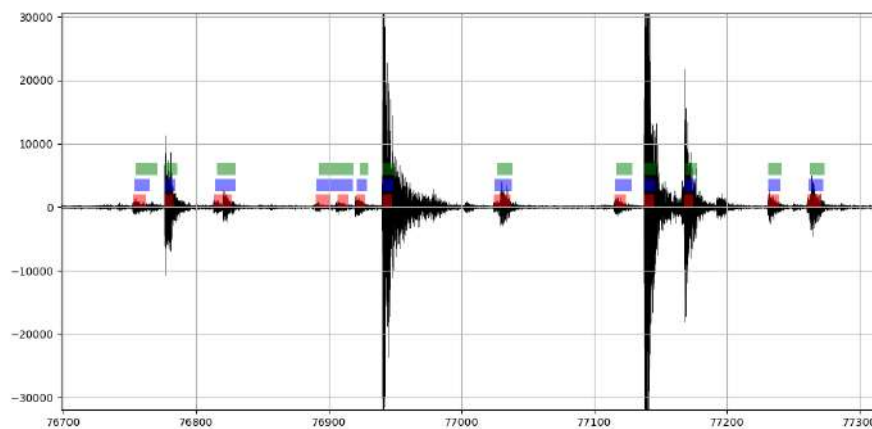
```

```

47 for j in range(sz_detect_1[0]):
48     prect_1 = patches.Rectangle(xy: (t[on_off_1[j], 0]), (t[on_off_1[j], 1]] -
49                                 t[on_off_1[j], 0])), height: 2000., alpha=0.5, ec="none", fc="red")
50     ax.add_patch(prect_1)
51
52 for k in range(sz_detect_2[0]):
53     prect_2 = patches.Rectangle(xy: (t[on_off_2[k], 0]], 2500.), (t[on_off_2[k], 1]] -
54                                 t[on_off_2[k], 0])), height: 2000., alpha=0.5, ec="none", fc="blue")
55     ax.add_patch(prect_2)
56
57 for l in range(sz_detect_3[0]):
58     prect_3 = patches.Rectangle(xy: (t[on_off_3[l], 0]], 5000.), (t[on_off_3[l], 1]] -
59                                 t[on_off_3[l], 0])), height: 2000., alpha=0.5, ec="none", fc="green")
60     ax.add_patch(prect_3)
61
62 plt.show()
63

```

Lampiran 8. Contoh tampilan output pada *python* dari format mseed dengan Titik Data 8.640.000 pada Parameter Gabungan Tiga Variasi dengan masing-masing Parameter (*Threshold*, NSTA dan NLTA)



Lampiran 9. Data Output Hasil Durasi waktu tiba gelombang P dan Pola Gempa Pada gabungan tiga Variasi dengan masing-masing parameter (NSTA, NLTA dan *Threshold_On*)

➤ Contoh sebagian data *Threshold_On*



Lampiran 10. Data Output Hasil Jumlah Deteksi Total pada Parameter Gabungan Tiga Variasi dengan masing-masing Parameter (*Threshold_On*, NSTA dan NLTA)

		Variasi_threshold	Variasi_nlta	Variasi_nsta
Merah,Hijau dan Biru		1011	1037	952
Merah dan Biru		132	30	340
Merah dan Hijau		0	3	1
Hijau dan Biru		0	197	0

Contoh Pencarian Jumlah Deteksi Total pada Parameter Gabungan

Tiga Variasi *Threshold_On*

Merah,Hijau dan Biru		Merah dan Biru	
Nomor	Posisi_t	Nomor	Posisi_t
1	21	1	461
2	31	2	2395
3	78	3	3762
4	130	4	4073
5	217	5	4360
6	253	6	4460

7	310	7	5038
8	383	8	5696
9	418	9	6476
10	492	10	6515
11	544	11	7208
12	591	12	7575
13	678	13	7798
14	695	14	7867
15	815	15	8359
16	954	16	8937
17	1040	17	10414
18	1148	18	11364
19	1322	19	13141
20	1429	20	15155
21	1465	21	15786
22	1580	22	15825
23	1632	23	15989
24	1700	24	16446
25	1753	25	17396
26	1890	26	18713
27	1940	27	19474
28	2150	28	19828
29	2220	29	19868
30	2252	30	20308
31	2321	31	20389
32	2343	32	20875
33	2409	33	21076
34	2495	34	21149
35	2677	35	21352
36	2712	36	21632
37	2746	37	22103
38	2769	38	22208
39	2862	39	22878
40	2936	40	24391

41	3012	41	24668
42	3047	42	25982
43	3086	43	27629
44	3151	44	28748
45	3236	45	29775
46	3268	46	30727
47	3320	47	31284
48	3436	48	32148
49	3585	49	32333
50	3644	50	32605
51	3670	51	32971
52	3804	52	33958
53	3868	53	33996
54	3950	54	34239
55	3990	55	35952
56	4058	56	36629
57	4095	57	36958
58	4172	58	37232
59	4287	59	37300
60	4330	60	37720
61	4400	61	39140
62	4547	62	39215
63	4637	63	39400
64	4724	64	39775
65	4745	65	39857
66	4855	66	42011
67	4875	67	42733
68	4962	68	44276
69	5000	69	44530
70	5056	70	44752
71	5123	71	45636
72	5187	72	46644
73	5289	73	46769
74	5323	74	46964

75	5365	75	48502
76	5394	76	48612
77	5470	77	49440
78	5556	78	49781
79	5599	79	49808
80	5658	80	49837
81	5672	81	50392
82	5710	82	50930
83	5765	83	51628
84	5800	84	51900
85	5871	85	52431
86	5989	86	52640
87	6039	87	52658
88	6075	88	53515
89	6181	89	54074
90	6207	90	54281
91	6239	91	55245
92	6265	92	56744
93	6435	93	60182
94	6544	94	60921
95	6652	95	61313
96	6713	96	63537
97	6739	97	63723
98	6783	98	64723
99	6861	99	65341
100	6896	100	66200
101	7007	101	66417
102	7032	102	66606
103	7074	103	67039
104	7225	104	67212
105	7308	105	67362
106	7457	106	68038
107	7667	107	69089
108	7767	108	69431

109	7844	109	69667
110	7900	110	70500
111	7930	111	70553
112	7975	112	70760
113	8090	113	71497
114	8123	114	71589
115	8207	115	73048
116	8224	116	73721
117	8303	117	74660
118	8333	118	75947
119	8509	119	77436
120	8548	120	78188
121	8739	121	78683
122	8768	122	78812
123	8805	123	78928
124	8882	124	79174
125	8957	125	79230
126	9076	126	79279
127	9140	127	79642
128	9238	128	79730
129	9340	129	80614
130	9412	130	80900
131	9438	131	83879
132	9630	132	85517
133	9667	133	
134	9700	134	
135	9732	135	
136	9757	136	
137	9834	137	
138	9876	138	
139	9953	139	
140	9983	140	
141	10029	141	
142	10046	142	

143	10080	143	
144	10141	144	
145	10254	145	
146	10340	146	
147	10485	147	
148	10530	148	
149	10563	149	
150	10684	150	
151	10766	151	
152	10910	152	
153	10943	153	
154	10969	154	
155	11025	155	
156	11103	156	
157	11316	157	
158	11393	158	
159	11435	159	
160	11546	160	
161	11682	161	
162	11661	162	
163	11694	163	
164	11733	164	
165	11754	165	
166	11915	166	
167	11943	167	
168	12006	168	
169	12061	169	
170	12103	170	
171	12335	171	
172	12465	172	
173	12508	173	
174	12680	174	
175	12915	175	
176	13090	176	

177	13200	177	
178	13327	178	
179	13612	179	
180	13680	180	
181	13859	181	
182	13872	182	
183	13907	183	
184	13972	184	
185	13996	185	
186	14121	186	
187	14133	187	
188	14194	188	
189	14310	189	
190	14393	190	
191	14404	191	
192	14485	192	
193	14517	193	
194	14616	194	
195	14794	195	
196	14827	196	
197	14947	197	
198	15000	198	
199	15052	199	
200	15103	200	
201	15262	201	
202	15490	202	
203	15635	203	
204	15670	204	
205	15766	205	
206	15865	206	
207	15949	207	
208	16020	208	
209	16068	209	
210	16167	210	

211	16220	211	
212	16318	212	
213	16342	213	
214	16416	214	
215	16726	215	
216	16823	216	
217	16876	217	
218	16935	218	
219	16964	219	
220	17000	220	
221	17020	221	
222	17047	222	
223	17058	223	
224	17225	224	
225	17311	225	
226	17321	226	
227	17314	227	
228	17575	228	
229	17666	229	
230	17750	230	
231	17845	231	
232	17932	232	
233	17975	233	
234	18106	234	
235	18132	235	
236	18287	236	
237	18380	237	
238	18491	238	
239	18586	239	
240	18752	240	
241	19230	241	
242	19320	242	
243	19405	243	
244	19596	244	

245	19669	245	
246	19758	246	
247	19895	247	
248	19962	248	
249	19977	249	
250	20011	250	
251	20060	251	
252	20161	252	
253	20326	253	
254	20467	254	
255	20527	255	
256	20607	256	
257	20737	257	
258	20772	258	
259	20892	259	
260	20943	260	
261	21028	261	
262	21237	262	
263	21281	263	
264	21324	264	
265	21510	265	
266	21680	266	
267	21743	267	
268	21803	268	
269	21825	269	
270	21917	270	
271	22059	271	
272	22191	272	
273	22207	273	
274	22235	274	
275	22400	275	
276	22454	276	
277	22521	277	
278	22782	278	

279	22813	279	
280	22957	280	
281	23012	281	
282	23075	282	
283	23256	283	
284	23438	284	
285	23452	285	
286	23510	286	
287	23635	287	
288	23648	288	
289	23743	289	
290	23773	290	
291	23809	291	
292	23838	292	
293	23902	293	
294	23955	294	
295	24061	295	
296	24079	296	
297	24131	297	
298	24468	298	
299	24535	299	
300	24809	300	
301	24854	301	
302	24894	302	
303	24921	303	
304	24960	304	
305	24978	305	
306	25055	306	
307	25131	307	
308	25206	308	
309	25242	309	
310	25254	310	
311	25408	311	
312	25454	312	

313	25470	313	
314	25495	314	
315	25579	315	
316	25639	316	
317	25673	317	
318	25733	318	
319	25815	319	
320	25872	320	
321	25895	321	
322	26063	322	
323	26106	323	
324	26188	324	
325	26238	325	
326	26281	326	
327	26294	327	
328	26325	328	
329	26345	329	
330	26389	330	
331	26570	331	
332	26631	332	
333	26696	333	
334	26800	334	
335	26825	335	
336	26904	336	
337	26988	337	
338	27038	338	
339	27099	339	
340	27118	340	
341	27187	341	
342	27426	342	
343	27506	343	
344	27665	344	
345	27685	345	
346	27824	346	

347	27860	347	
348	27971	348	
349	28034	349	
350	28372	350	
351	28543	351	
352	28597	352	
353	28641	353	
354	28703	354	
355	28832	355	
356	28890	356	
357	28973	357	
358	29003	358	
359	29193	359	
360	29241	360	
361	29283	361	
362	29418	362	
363	29457	363	
364	29497	364	
365	29559	365	
366	29622	366	
367	29739	367	
368	29852	368	
369	29940	369	
370	30069	370	
371	30112	371	
372	30144	372	
373	30194	373	
374	30215	374	
375	30251	375	
376	30333	376	
377	30380	377	
378	30466	378	
379	30543	379	
380	30595	380	

381	30802	381	
382	31125	382	
383	31160	383	
384	31266	384	
385	31370	385	
386	31474	386	
387	31507	387	
388	31528	388	
389	31587	389	
390	31658	390	
391	31782	391	
392	31867	392	
393	31936	393	
394	32024	394	
395	32052	395	
396	32064	396	
397	32113	397	
398	32244	398	
399	32536	399	
400	32720	400	
401	32747	401	
402	32822	402	
403	32996	403	
404	33129	404	
405	33201	405	
406	33327	406	
407	33354	407	
408	33496	408	
409	33567	409	
410	33589	410	
411	33659	411	
412	33687	412	
413	33782	413	
414	33831	414	

415	33903	415	
416	33934	416	
417	34076	417	
418	34146	418	
419	34179	419	
420	34310	420	
421	34369	421	
422	34432	422	
423	34482	423	
424	34505	424	
425	34609	425	
426	34651	426	
427	34830	427	
428	35002	428	
429	35102	429	
430	35271	430	
431	35502	431	
432	35580	432	
433	35705	433	
434	35810	434	
435	36000	435	
436	36100	436	
437	36180	437	
438	36209	438	
439	36708	439	
440	36783	440	
441	36829	441	
442	36851	442	
443	36890	443	
444	36989	444	
445	37026	445	
446	37048	446	
447	37076	447	
448	37174	448	

449	37267	449	
450	37277	450	
451	37344	451	
452	37396	452	
453	37450	453	
454	37490	454	
455	37510	455	
456	37684	456	
457	37790	457	
458	37827	458	
459	37881	459	
460	38013	460	
461	38041	461	
462	38378	462	
463	38462	463	
464	38585	464	
465	38603	465	
466	38700	466	
467	38736	467	
468	39260	468	
469	39440	469	
470	39564	470	
471	39609	471	
472	39754	472	
473	39873	473	
474	39926	474	
475	40065	475	
476	40129	476	
477	40183	477	
478	40249	478	
479	40284	479	
480	40545	480	
481	40863	481	
482	41009	482	

483	41158	483	
484	41189	484	
485	41240	485	
486	41285	486	
487	41324	487	
488	41365	488	
489	41553	489	
490	41600	490	
491	41645	491	
492	41870	492	
493	41927	493	
494	42046	494	
495	42044	495	
496	42076	496	
497	42118	497	
498	41281	498	
499	42460	499	
500	42522	500	
501	42589	501	
502	42926	502	
503	43153	503	
504	43234	504	
505	43386	505	
506	43494	506	
507	43833	507	
508	43929	508	
509	44171	509	
510	44226	510	
511	44422	511	
512	44553	512	
513	44598	513	
514	44648	514	
515	44768	515	
516	44794	516	

517	44811	517	
518	44886	518	
519	44949	519	
520	44987	520	
521	45048	521	
522	45164	522	
523	45470	523	
524	45754	524	
525	45898	525	
526	46089	526	
527	46223	527	
528	46283	528	
529	46307	529	
530	46385	530	
531	46434	531	
532	46527	532	
533	46557	533	
534	46715	534	
535	46733	535	
536	46866	536	
537	47061	537	
538	47088	538	
539	47224	539	
540	47300	540	
541	47403	541	
542	47444	542	
543	47481	543	
544	47520	544	
545	47550	545	
546	47620	546	
547	47684	547	
548	47762	548	
549	47848	549	
550	47933	550	

551	47975	551	
552	48123	552	
553	48238	553	
554	48340	554	
555	48429	555	
556	48800	556	
557	48889	557	
558	48933	558	
559	49125	559	
560	49171	560	
561	49195	561	
562	49266	562	
563	49310	563	
564	49354	564	
565	49464	565	
566	49489	566	
567	49637	567	
568	49686	568	
569	49710	569	
570	49871	570	
571	49995	571	
572	50035	572	
573	50075	573	
574	50112	574	
575	50201	575	
576	50229	576	
577	50253	577	
578	50263	578	
579	50490	579	
580	50674	580	
581	50841	581	
582	50972	582	
583	51008	583	
584	51081	584	

585	51105	585	
586	51124	586	
587	51196	587	
588	51239	588	
589	51297	589	
590	51504	590	
591	51518	591	
592	51576	592	
593	51685	593	
594	51791	594	
595	51853	595	
596	51951	596	
597	51983	597	
598	52071	598	
599	52093	599	
600	52143	600	
601	52252	601	
602	52305	602	
603	52334	603	
604	52364	604	
605	52443	605	
606	52546	606	
607	52708	607	
608	52756	608	
609	52823	609	
610	52920	610	
611	53002	611	
612	53058	612	
613	53100	613	
614	53273	614	
615	53291	615	
616	53324	616	
617	53529	617	
618	53613	618	

619	53909	619	
620	54232	620	
621	54259	621	
622	54311	622	
623	54398	623	
624	54429	624	
625	54455	625	
626	54530	626	
627	54596	627	
628	54618	628	
629	54652	629	
630	54691	630	
631	54766	631	
632	54936	632	
633	54997	633	
634	55159	634	
635	55197	635	
636	55272	636	
637	55655	637	
638	55715	638	
639	55929	639	
640	55972	640	
641	55992	641	
642	56087	642	
643	56148	643	
644	56348	644	
645	56372	645	
646	56483	646	
647	56623	647	
648	56726	648	
649	56823	649	
650	56849	650	
651	56863	651	
652	57090	652	

653	57145	653	
654	57199	654	
655	57253	655	
656	57307	656	
657	57357	657	
658	57381	658	
659	57548	659	
660	57674	660	
661	57726	661	
662	57825	662	
663	57891	663	
664	58007	664	
665	58036	665	
666	58084	666	
667	58130	667	
668	58178	668	
669	58294	669	
670	58326	670	
671	58348	671	
672	58539	672	
673	58563	673	
674	58714	674	
675	58757	675	
676	58785	676	
677	58819	677	
678	58969	678	
679	59007	679	
680	59148	680	
681	59173	681	
682	59257	682	
683	59304	683	
684	59369	684	
685	59453	685	
686	59530	686	

687	59597	687	
688	59719	688	
689	59839	689	
690	59913	690	
691	60022	691	
692	60124	692	
693	60534	693	
694	60640	694	
695	60708	695	
696	60748	696	
697	60815	697	
698	60876	698	
699	60972	699	
700	61121	700	
701	61142	701	
702	61186	702	
703	61252	703	
704	61335	704	
705	61393	705	
706	61466	706	
707	61498	707	
708	61529	708	
709	61585	709	
710	61604	710	
711	61732	711	
712	61755	712	
713	61906	713	
714	61991	714	
715	62136	715	
716	62422	716	
717	62457	717	
718	62501	718	
719	62544	719	
720	62558	720	

721	62677	721	
722	62725	722	
723	62813	723	
724	62877	724	
725	62981	725	
726	63080	726	
727	63146	727	
728	63179	728	
729	63224	729	
730	63306	730	
731	63355	731	
732	63409	732	
733	63464	733	
734	63635	734	
735	63691	735	
736	63812	736	
737	63954	737	
738	64096	738	
739	64134	739	
740	64171	740	
741	64234	741	
742	64260	742	
743	64338	743	
744	64378	744	
745	64520	745	
746	64552	746	
747	64599	747	
748	64787	748	
749	64865	749	
750	64907	750	
751	64966	751	
752	65044	752	
753	65196	753	
754	65236	754	

755	65290	755	
756	65433	756	
757	65518	757	
758	65566	758	
759	65805	759	
760	66013	760	
761	66114	761	
762	66231	762	
763	66265	763	
764	66334	764	
765	66690	765	
766	66712	766	
767	66821	767	
768	66845	768	
769	66912	769	
770	66967	770	
771	66996	771	
772	67016	772	
773	67065	773	
774	67098	774	
775	67222	775	
776	67251	776	
777	67308	777	
778	67408	778	
779	67502	779	
780	67531	780	
781	67590	781	
782	67651	782	
783	67689	783	
784	67745	784	
785	67823	785	
786	67939	786	
787	68113	787	
788	68136	788	

789	68173	789	
790	68196	790	
791	68231	791	
792	68352	792	
793	68439	793	
794	68494	794	
795	68558	795	
796	68659	796	
797	68692	797	
798	68770	798	
799	68848	799	
800	68879	800	
801	68918	801	
802	68960	802	
803	69020	803	
804	69118	804	
805	69178	805	
806	69256	806	
807	69344	807	
808	69380	808	
809	69467	809	
810	69569	810	
811	69685	811	
812	69764	812	
813	69835	813	
814	69919	814	
815	69969	815	
816	70027	816	
817	70085	817	
818	70208	818	
819	70243	819	
820	70341	820	
821	70372	821	
822	70667	822	

823	70719	823	
824	70784	824	
825	70947	825	
826	70982	826	
827	71036	827	
828	71086	828	
829	71179	829	
830	71215	830	
831	71270	831	
832	71364	832	
833	71509	833	
834	71651	834	
835	71700	835	
836	71768	836	
837	71834	837	
838	71893	838	
839	71949	839	
840	72005	840	
841	72533	841	
842	72611	842	
843	72665	843	
844	72778	844	
845	72803	845	
846	73105	846	
847	73176	847	
848	73253	848	
849	73314	849	
850	73348	850	
851	73389	851	
852	73464	852	
853	73512	853	
854	73595	854	
855	73627	855	
856	73821	856	

857	73914	857	
858	73938	858	
859	73984	859	
860	74019	860	
861	74184	861	
862	74206	862	
863	74237	863	
864	74311	864	
865	74368	865	
866	74430	866	
867	74440	867	
868	74493	868	
869	74691	869	
870	74778	870	
871	74860	871	
872	74943	872	
873	74987	873	
874	75038	874	
875	75086	875	
876	75143	876	
877	75202	877	
878	75300	878	
879	75329	879	
880	75446	880	
881	75532	881	
882	75602	882	
883	75690	883	
884	75752	884	
885	75984	885	
886	76051	886	
887	76148	887	
888	76187	888	
889	76271	889	
890	76295	890	

891	76378	891	
892	76391	892	
893	76430	893	
894	76469	894	
895	76492	895	
896	76549	896	
897	76583	897	
898	76643	898	
899	76750	899	
900	76775	900	
901	76814	901	
902	76888	902	
903	76921	903	
904	76940	904	
905	77023	905	
906	77113	906	
907	77137	907	
908	77165	908	
909	77229	909	
910	77261	910	
911	77334	911	
912	77365	912	
913	77457	913	
914	77500	914	
915	77537	915	
916	77549	916	
917	77610	917	
918	77660	918	
919	77717	919	
920	77781	920	
921	77816	921	
922	77962	922	
923	77982	923	
924	78037	924	

925	78123	925	
926	78219	926	
927	78387	927	
928	78432	928	
929	78514	929	
930	78708	930	
931	78754	931	
932	78783	932	
933	78902	933	
934	78993	934	
935	79062	935	
936	79096	936	
937	79311	937	
938	79370	938	
939	79444	939	
940	79496	940	
941	79814	941	
942	79927	942	
943	79969	943	
944	80030	944	
945	80050	945	
946	80079	946	
947	80176	947	
948	80195	948	
949	80263	949	
950	80334	950	
951	80541	951	
952	80676	952	
953	81007	953	
954	81189	954	
955	81274	955	
956	81352	956	
957	81475	957	
958	81503	958	

959	81546	959	
960	81593	960	
961	81842	961	
962	81872	962	
963	81930	963	
964	81972	964	
965	82048	965	
966	82083	966	
967	82207	967	
968	82237	968	
969	82404	969	
970	82500	970	
971	82629	971	
972	82666	972	
973	82753	973	
974	82875	974	
975	82912	975	
976	82939	976	
977	82959	977	
978	83002	978	
979	83093	979	
980	83249	980	
981	83273	981	
982	83336	982	
983	83412	983	
984	83451	984	
985	83509	985	
986	83600	986	
987	83714	987	
988	84081	988	
989	84149	989	
990	84204	990	
991	84291	991	
992	84369	992	

993	84435	993	
994	84454	994	
995	84494	995	
996	84578	996	
997	84691	997	
998	84780	998	
999	84927	999	
1000	84945	1000	
1001	85167	1001	
1002	85216	1002	
1003	85303	1003	
1004	85380	1004	
1005	85544	1005	
1006	85613	1006	
1007	86064	1007	
1008	86126	1008	
1009	86239	1009	
1010	86310	1010	
1011	86356	1011	
1012	86382	1012	

12.30

... Sistem Informasi Akademik Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang 2.0



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341) 551354, Fax. (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

IM : 210604110082
Nama : FARAH HANDAYANI IBRAHIM
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : Drs. ABDUL BASID, M.Si
Dosen Pembimbing 2 : MUTHMAINNAH, M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : EVALUASI DETEKSI GEMPA OTOMATIS MENGGUNAKAN METODE SHORT-TERM AVERAGE/LONG-TERM AVERAGE (STA/LTA) (STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA, INDONESIA)

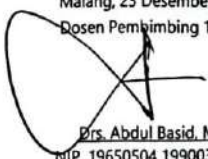
IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	21 Agustus 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi Judul Skripsi	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
2	23 Agustus 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi BAB I	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
3	26 Agustus 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi BAB II	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
4	29 Agustus 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi BAB III	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
5	02 September 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi BAB I, II, III	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
6	12 September 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi Seminar Proposal	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
7	16 September 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8	13 November 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi Data Penelitian Di Lapangan	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
9	15 November 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi Hasil Penelitian	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
10	18 November 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi BAB IV dan V	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
11	22 November 2024	Drs. ABDUL BASID, M.Si	Konsultasi Ujian Komprehensif	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
12	25 November 2024	MUTHMAINNAH, M.Si	Konsultasi Integrasi BAB IV	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
13	27 November 2024	MUTHMAINNAH, M.Si	Konsultasi Revisi Integrasi BAB IV	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Muthmainnah, M.Si
NIP. 19860325 201903 2 009

Malang, 23 Desember 2024
Dosen Pembimbing 1

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Kajur / Kaprodi,

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

