SKRIPSI

STUDI NILAI KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_S) PERLAPISAN BATUAN DAN PERUBAHAN GARIS PANTAI BENGKULU TENGAH

JUWINDRI AISAH SIHOMBING
NPM. F1C019019

PROGRAM STUDI S1 FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BENGKULU
2024

SKRIPSI

STUDI NILAI KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_S) PERLAPISAN BATUAN DAN PERUBAHAN GARIS PANTAI BENGKULU TENGAH

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memeroleh Gelar Sarjana pada Program Studi S1 Fisika

JUWINDRI AISAH SIHOMBING
NPM. F1C019019

PROGRAM STUDI S1 FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BENGKULU
2024

STUDI NILAI KECEPATAN GELOMBANG GESER (Vs) PERLAPISAN BATUAN DAN PERUBAHAN GARIS PANTAI BENGKULU TENGAH

JUWINDRI AISAH SIHOMBING

NPM. F1C019019

Telah disetujui, diuji, dan disahkan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Program Studi S1 Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Bengkulu

Bengkulu, Januari 2024

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
Refrizon,S.Si.,M,Si.	Prof.Dr.Farid,M.S.
NIP.196902201996011001	NIP.195911081986031001

Penguji

Prof.Ashar Muda Lubis,S.Si.,M.Sc.,Ph.D	Dr.Riska Ekawita, S.Si.,M.Si
NIP.197712122001121001	NIP.198220915200501200l

Mengesahkan

Dekan FMIPA	Koordinator Prodi S1 Fisika
Dr.Jarulis, S.Si., M.Si.	Supiyati, S.Si., M.Si.
NIP. 197511252005011013	NIP.197401102000122005

iii

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: JUWINDRI AISAH SIHOMBING
NPM	: F1C019019
Fakultas	: MIPA
Program Studi	: S1 Fisika

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini yang berjudul "**Studi Nilai Kecepatan Gelombang Geser (V_s) Perlapisan Batuan dan Perubahan Garis Pantai Bengkulu Tengah**" disusun sebagai syarat untuk memeroleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi S1 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu seluruhnya merupakan hasil karya saya sendiri.

Bagian tertentu dalam penulisan Skripsi dikutip dari hasil karya orang lain yang telah dicantumkan sumbernya secara jelas sesuai norma, etika, dan kaidah penulisan ilmiah.

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Skripsi ini adanya plagiat dalam bagian–bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan perundangan yang berlaku.

Bengkulu, 07 Februari 2024

Juwindri Aisah Sihombing

NPM. F1C019019

iv

ABSTRAK

STUDI NILAI KECEPATAN GELOMBANG GESER (V_S) PERLAPISAN BATUAN DAN PERUBAHAN GARIS PANTAI BENGKULU TENGAH

OLEH:
JUWINDRI AISAH SIHOMBING
NPM.F1C019019

Garis pantai Bengkulu Tengah mengalami pergeseran akibat aktivitas gelombang laut Samudra Hindia. Pergeseran tersebut secara umum dipengaruhi oleh kekuatan gelombang laut dan batuan di garis pantai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perlapisan batuan di sepanjang pantai Bengkulu Tengah berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (Vs) dan besarnya pergeseran garis pantai Bengkulu Tengah. Pengambilan data mikrotremor menggunakan Seismometer PASI Gemini Mod-2 di 27 titik sepanjang pesisir Pantai Bengkulu Tengah, sedangkan data pergeseran garis pantai berdasarkan *google earth*. Pengolahan data mikrotremor diawali dengan *geopsy* untuk mendapatkan kurva *HVSR* yang dilanjutkan dengan inversi *HVSR* dengan *HV-Inv Beta*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kerentanan seismik (K_g) berkisar antara 0,54-30,69, nilai frekuensi dominan (f_0) berkisar antara 1,00-8,22 Hz, nilai amplifikasi tanah (A_0) berkisar antara 1,81-5,54, dan kecepatan gelombang geser (V_s) perlapisan batuan berkisar antara 168 m/s-598 m/s. Berdasarkan data pergeseran garis pantai di sebagian wilayah mengalamai abrasi, sebagian lainnya mengalami akresi, peristiwa tersebut diduga karena akibat struktur lapisan serta jenis material penyusunnya yang berbeda-beda atau karena endapan sedimen dipermukaan yang terbawa oleh arus laut dan muara sungai. Berdasarkan besar nilai V_s perlapisan jenis materialnya adalah lumpur lembut, pasir kering, dan lempung. Kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter berkisar antara 123 m/s – 1515 m/s dan berdasarkan nilai tersebut diduga struktur lapisan batuan bawah permukaan bahwa daerah Bengkulu Tengah memiliki kelas situs batuan berdasarkan nilai V_{s30} yaitu C dan D.

Kata kunci : Garis pantai, Vs_{30}, Nilai K_g, Metode HVSR, Citra satelit, Mikrotremor

ABSTRACT

STUDY OF SHEAR WAVE VELOCITY (VS) OF ROCK LAYERS AND SHORELINE CHANGES IN ABRASION-PRONE AREAS OF CENTRAL BENGKULU

BY:

JUWINDRI AISAH SIHOMBING

NPM. F1C019019

The coastline of Central Bengkulu has shifted because of Indian Ocean wave activity. The shift is generally influenced by the strength of ocean waves and rocks on the coastline. This study aims to determine the rock layers along the coast of Central Bengkulu based on the value of shear wave velocity (Vs) and the magnitude of the shifting coastline of Central Bengkulu. Microtremor data was collected using the PASI Gemini Mod-2 Seismometer at 27 points along the coast of Bengkulu Tengah, while the shoreline shift data was based on Google Earth. Processing of microtremor data begins with geopsy to get the HVSR curve followed by HVSR inversion with HV-Inv Beta. The results showed that the seismic susceptibility value (Kg) ranged from 0.54-30.69, the dominant frequency value (f0) ranged from 1.00-8.22 Hz, the ground amplification value (A0) ranged from 1.81-5.54, and the shear wave velocity (Vs) of rock layers ranged from 168 m/s-598 m/s. Based on the shoreline shift data in some areas experiencing abrasion and some others experiencing accretion, and is thought to be due to the layer structure and the type of constituent material that is different and sediment deposits on the surface carried by ocean currents or river estuaries. Based on the magnitude of the Vs value, the material types are soft mud, dry sand, and clay. The shear wave velocity to a depth of 30 metres ranges from 123 m/s - 1515 m/s and based on these values it is estimated that the structure of the subsurface rock layer that the Central Bengkulu area has a rock site class based on the Vs30 value, namely C and D.

Keywords: Shoreline, Vs30, Kg value, HVSR method, Satellite image, Microtremor

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas berkat dan rahmat kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kekuatan dan kemampuan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Studi Nilai Kecepatan Gelombang Geser (V_s) Perlapisan Batuan Dan Perubahan Garis Pantai Bengkulu Tengah".**

Dalam menyelesaikan skripsi ini, saya banyak mendapatkan kontribusi dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini saya mengucapkan terimaksih kepada:

1. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu.
2. Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu.
3. Ketua Prodi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu.
4. Bapak **Refrizon, S.Si., M.Si.** dan **Prof. Dr. M. Farid, M.S.** Bapak selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, pengetahuan, bahan, arahan, saran, motivasi dan petunjuk dalam penyelesaian dan penyempurnaan skripsi ini.
5. Bapak **Prof. Ashar Muda Lubis, S.Si., M.Sc., Ph.D.** dan Ibu **Dr. Riska Ekawita, S.Si., M.Si.** selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak arahan dan masukan yang tak ternilai dalam penyelesaian dan penyempurnaan skripsi ini.
6. Ibu **Supiyati, S.Si., M.Si.** selaku dosen pembimbing akademik yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan motivasinya kepada saya.
7. Seluruh dosen dan staff tata usaha FMIPA Fisika UNIB yang telah membimbing dan memberikan banyak bantuan dan dukungan selama perkuliahan dan penyelesaian skripsi ini.

MOTTO dan PERSEMBAHAN

Motto:

- Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku (Filipi 4 : 13)

Persembahan :

Segala puji dan syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat, kasih dan karunia-Nya, saya persembahkan karya ini untuk:

- Kepada superhero dan panutanku Bapak Jonto Sihombing. Beliau tidak sempat merasakan pendidikan sampai bangku perkuliahan, namun beliau mendidik penulis, memotivasi, memberikan dukungan hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
- Pintu surgaku, Mama Tetty Siregar, terimakasih sebesar-besarnya penulis berikan kepada beliau atas segala bentuk bantuan, semangat, dan doa yang diberikan selama ini. Terimakasih atas nasihat, kesabaran dan kebesaran hati menghadapi penulis yang keras kepala. Ibu menjadi penguat dan pengingat paling hebat. Terimakasih, sudah menjadi tempat untuk pulang.
- Adik- adikku tercinta Suryani, Rosari, Gabe, dan Angga yang menjadi *moodbosterku*, selalu memberikan doa, dukungan, semangat, perhatian, sehingga bisa mendapatkan gelar ini.
- Josua Arimeta yang selalu memberi inspirasi untuk terus melangkah maju kedepan, menjadi tempat bertukar pikiran, tempat berkeluh kesah, dan menjadi support system penulis dalam menyelesaikan skripsi. Terimakasih atas waktu, doa yang senantiasa dilangitkan, dan seluruh hal baik yang diberikan kepada penulis selama ini.
- Kepada teman-teman khususnya Endah, Ronni, Arief, Ardika, yang telah banyak membantu dan membersamai proses penulis dari awal proposal sampai skripsi. Terimakasih atas segala bantuan, waktu, support, dan kebaikan yang diberikan kepada penulis selama ini.
- Semua dosen-dosen dan staf program studi Fisika FMIPA UNIB.
- Keluarga Fisika 2019 dan keluarga besar HIMAFI Fisika UNIB.
- Almamaterku,Universitas Bengkulu.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN……...iv
ABSTRAK……..v
***ABSTRACT* ..... vi**
KATA PENGANTAR..... vii
MOTTO dan PERSEMBAHAN..... viii
DAFTAR ISI..... ix
DAFTAR GAMBAR..... xii
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN..... xiv
DAFTAR ISTILAH/SIMBOL/SINGKATAN/NOTASI xv
BAB I..... 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah..... 3
1.3 Batasan Masalah..... 4
1.4 Tujuan Penelitian..... 4
1.5 Manfaat Penelitian..... 4
BAB II 5
TINJAUAN PUSTAKA..... 5
2.1 Kondisi Geologi Bengkulu Tengah..... 5
2.2 Perubahan Garis Pantai 6
2.3 Faktor Yang Menyebabkan Perubahan Garis Pantai..... 6
2.4 Gelombang Seismik..... 8
2.5 Mikrotremor 9
2.6 Metode HVSR 11
2.4 Amplifikasi..... 14
2.5 Frekuensi Dominan 16
2.6 Indeks Kerentanan Seismik (Kg) 17
2.7 Kecepatan Gelombang Geser (Vs)..... 17

2.8 Densitas 18
2.9 Hv-inv Beta 19
2.10(*Vs*30) 20
2.11Citra Satelit Landsat 22
BAB III 24
METODOLOGI PENELITIAN 24
3.1 Waktu dan Tempat 24
3.2 Alat dan Bahan 24
3.3 Tahapan Penelitian 25
3.3.1 Survei Lapangan **25**
3.3.2 Teknik Pengambilan Data 26
3.3.3 Teknik Pengolahan Data 26
3.3.3.1 Pengolahan Data Citra Untuk Mengetahui Kecepatan Garis Pantai 26
3.3.3.2 Pengolahan Data Mikrotremor dengan Metode HVSR 27
3.4 Diagram Alir 28
3.4.1 Diagram Alir Penelitian 28
3.4.2 Diagram Alir Pengolahan Data 29
BAB IV 31
HASIL DAN PEMBAHASAN 31
4.1 HASIL 31
4.1.1 Perubahan garis pantai 31
4.1.2 Data Mikrotremor 33
4.1.3 Frekuensi Dominan (f_0) 34
4.1.4 Amplifikasi (A_0) 35
4.1.5 Indeks Kerentanan Seismik (K_g) 36
4.1.6 Inversi HVSR 37
4.1.7 Kecepatan gelombang geser (Vs) 38
4.1.8 Grafik hubungan perubahan garis pantai dan Vs30 39
4.2 Pembahasan 40
4.2.1 Perubahan garis pantai 40
4.2.2 Data Mikrotremor Dengan Metode HSVR 41
4.2.3 Kecepatan Gelombang Geser (Vs) 44

4.2.4 Perubahan Garis pantai dan Vs30..... 45
BAB V 46
KESIMPULAN DAN SARAN 46
5.1 Kesimpulan..... 46
DAFTAR PUSTAKA..... 47
LAMPIRAN 1..... 50
LAMPIRAN 2..... 51
LAMPIRAN 3..... 52
LAMPIRAN 4..... 67
LAMPIRAN 5..... 73
LAMPIRAN 6..... 100
LAMPIRAN 7..... 106
LAMPIRAN 8..... 109
DAFTAR RIWAYAT HIDUP 111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Perubahan garis pantai Bengkulu Tengah . 1
Gambar 2. 1 Peta Geologi Bengkulu Tengah. 5
Gambar 2. 2 Jenis pergerakan gerakan gelombang seismik di lapisan dan permukaan bumi 9
Gambar 2. 3 Rekaman mikrotremor tiga komponen (UD, EW dan NS) pada perangkat lunak *Geopsy* 10
Gambar 2. 4 Perbandingan HVSR (SESAME, 2004) . 14
Gambar 2. 5 Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik (Ramdani, 2011). 16
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian 24
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian 28
Gambar 3. 3 Diagram alir pengolahan data HVSR 29
Gambar 3. 4 Diagram alir pengolahan data inversi HVSR 30
Gambar 4. 1 (a) Peta perubahan garis pantai Bengkulu Tengah, (b) Perubahan garis pantai akibat abrasi, (c) Perubahan garis pantai akibat akresi 31
Gambar 4. 2 Kurrva H/V Pengukuran di titik 7 34
Gambar 4. 3 Peta sebaran Frekuensi Dominan f_o 35
Gambar 4. 4 Peta Sebaran Amplifikasi (A_o) 36
Gambar 4. 5 Peta Sebaran Indeks Kerentanan Seismik (K_g) 37
Gambar 4. 6 Proses Inversi HVSR di titik 18 38
Gambar 4. 7 Peta Sebaran Nilai V_S30 39
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan perubahan garis pantai dan Vs30 39
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan perubahan garis pantai abrasi dan Vs30 40

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai kelas faktor amplifikasi menurut Ratdomopurbo 15
Tabel 2. 2 Kelas tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan menurut Kanai 16
Tabel 2. 3 Tipe kecepatan gelombang geser untuk berbagai jenis material. 18
Tabel 2. 4 Klasifikasi *site class* berdasarkan nilai kecepatan geser 20
Tabel 2. 5 Klasifikasi tanah sesuai dengan Eurocode 8 (Mufida *et al.*, 2013) 21
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian 25
Tabel 4. 1 Data perubahan garis pantai Bengkulu Tengah 32

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Tabel Hasil Perhitungan Dari *Geopsy* 50
LAMPIRAN 2 Hasil Inversi 51
LAMPIRAN 3 Uji Validasi Nilai Kurva H/V berdasarkan " *criteria for a reliable H/V curve "* 52
LAMPIRAN 4 Hasil Pengolahan Data Menggunakan *Software Geopsy* 67
LAMPIRAN 5 Hasil Pengolahan Data Menggunakan HV-In Beta 73
LAMPIRAN 6 Tahap Pengolahan Dta Mikrotremor Dengan *Software Geopsy* 100
LAMPIRAN 7 Tahap Pengolahan Data Analisis HVSR dengan Data Kurva H/V di *Software* HV-In Beta 106
LAMPIRAN 8 Dokumentasi Penelitian 109

DAFTAR ISTILAH/SIMBOL/SINGKATAN/NOTASI

I_w	:	Panjang Jendela
n_w	:	Jumlah rat-rata jendela yang dipilih untuk kurva H/V
n_c	:	Jumlah siklus signifikan
f_0	:	Frekuensi dominan
K_g	:	Indeks kerentanan seismik
A_0	:	Faktor amplifikasi tanah
V_s	:	Kecepatan gelombang geser
d_i	:	Tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 m
V_{si}	:	Kecepatan gelombang geser kedalaman (m/s)
V_s30	:	Kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m
P	:	Densitas tanah
v	:	*Poisson ratio*
V_p	:	Kecepatan gelombang tekan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Garis pantai merupakan pertemuan garis antara daratan dengan lautan yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Garis pantai sifatnya dinamis karena mengalami perubahan posisi yang berlangsung secara terus menerus akibat pengikisan daratan yang biasa disebut abrasi maupun penambahan daratan yang disebut akresi (Usman dan Irbani, 2021). Bengkulu secara geografis berada di pesisir barat Pulau Sumatera yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia oleh karena itu terdapat wilayah pesisir pantai yang terkena hantaman gelombang laut yang kuat dan dapat mengakibatkan abrasi pantai atau menimbulkan sedimentasi di sepanjang garis pantai. (Hasanudin dan Kusmanto, 2018). Tingginya tingkat laju abrasi di garis pantai Bengkulu dapat menyebabkan perubahan garis pantai yang terjadi hingga sekarang. Perubahan tersebut menjadi ancaman bagi kerusakan rumah, tambak, dan bangunan lain yang berada di dekat pantai (Farid dkk., 2012).

Gambar 1. 1 Perubahan garis pantai Bengkulu Tengah (Fadilah,2013).

Pantai Bengkulu Tengah mengalami perubahan dapat dilihat pada Gambar 1.1 akibat abrasi atau pengikisan daratan maupun akresi atau penambahan daratan.

Garis pantai Bengkulu Tengah mengalami kerusakan akibat pengikisan oleh gelombang karena letaknya tepat di pesisir barat Pulau Sumatera dan panjang

oleh gelombang karena letaknya tepat di pesisir barat Pulau Sumatera dan panjang pantainya kira-kira 15 km maupun karena aktifitas manusia (Fadillah dkk, 2013). Proses pengikisan garis pantai sangat dipengaruhi oleh gerak sedimen yaitu gelombang dan arus laut, gerak sedimen tersebut mengakibatkan abrasi di sekitar pantai. Struktur dan kondisi geologi batuan bawah permukaan bumi berpengaruh pada abrasi di sekitar pantai (Apriansyah dkk, 2019). Struktur batuan di bawah permukaan yang lemah diduga menjadi salah satu faktor penyebab tingginya laju abrasi (Refrizon dkk, 2019). Analisis perbedaan kecepatan perubahan garis pantai dengan struktur bawah permukaan untuk mengetahui karakteristik dinamis jenis batuan.

Hasil penelitian Suwarsono pada tahun 2011 mengatakan bahwa kecepatan abrasi di Air Petai, Palik, dan Pekik Nyaring adalah 1,5 meter/tahun (Suwarsono dkk, 2011). Hasil penelitian Eci Widiasmi di Padang Betuah Kabupaten Bengkulu Tengah yaitu kecepatan perubahan garis pantai menunjukan bahwa daerah tersebut sudah mengalami kemunduran 4,9 m/tahun dalam selang waktu 20 tahun terakhir dan mengindikasikan bahwa tanah di daerah tersebut termasuk daerah yang mudah terkikis oleh gelombang laut berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser ($V\,s\,30$) yaitu 300 m/s, 258 m/s dan 330 m/s menunjukan klasifikasi tanah pada daerah Padang Betuah termasuk dalam jenis tanah sedang. Daerah Padang Betuah disimpulkan merupakan daerah yang mudah mengalami abrasi karena memiliki jenis tanah yang lunak (Widiasmi, 2022).

Kondisi geologi pantai Bengkulu Tengah di sepanjang daerah rawan abrasi dilihat berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (Vs) dari hasil inversi HVSR untuk melihat struktur bawah tanah di sepanjang jalan lintas pantai Bengkulu Tengah. Mengetahui nilai kecepatan gelombang geser (Vs) sangat penting karena berkaitan dengan ketahanan suatu tebing terhadap pengikisan akibat gelombang. Nilai Vs diperoleh berdasarkan nilai faktor amplifikasi (A_0) dan nilai frekuensi dominan (f_0) dari data penelitian sebelumnya, kemudian dilakukan pemodelan forward win-HVSR yang menghasilkan output lapisan Vs (Natasya dkk., 2022).

Sifat struktur perlapisan batuan sampai kedalaman tertentu (stratigrafi) dianalisis berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser v_s dengan interpretasi

pengukuran metode geofisika yaitu salah satunya dengan menggunakan survei mikrotremor yang mencatat kebisingan sekitar dan informasi ini digunakan untuk menghitung kecepatan gelombang geser (Vs). HVInv adalah aplikasi berbasis pengkodean MATLAB telah digunakan untuk mendapatkan nilai Vs dari rekaman mikrotremor oleh Sugianto pada tahun 2022 (Sugianto dkk., 2022).

Penelitian ini menggunakan data sekunder dan survei lapangan untuk mengidentifikasi proses abrasi di sepanjang Pantai Bengkulu Tengah. Dengan memetakan dan menganalisis laju perubahan garis pantai selama rentang waktu 20 tahun menggunakan data sekunder yaitu data citra satelit, dan data survei lapangan berupa pengambilan data mikrotremor dan digunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk memetakan karakteristik tanah di bawah permukaan. Kelebihan metode inversi Kurva HVSR adalah tidak memakan biaya banyak dan tidak memakan waktu lama, sehingga digunakan dalam penelitian ini. Akuisisi data lapangan dilakukan selama 30 menit per titik pengukuran, dan untuk mendapatkan data perubahan garis pantai dengan menggunduh data dari *citra satelit*. Dengan diketahuinya kecepatan perubahan garis pantai, indeks kerentanan seimik, dan struktur lapisan bawah permukaan tanah pada daerah Bengkulu Tengah yang dapat melatar belakangi penelitian ini sehingga studi mengenai perubahan garis pantai sangat penting untuk ditingkatkan karena Bengkulu Tengah berada pada kawasan pantai yang banyak menyimpan potensi kekayaan alam yang perlu untuk dipertahankan. Selain itu banyaknya infrastruktur dan pemukiman yang berdiri di kawasan pantai yang terancam bahaya abrasi akan membuat banyak pihak akan merasa khawatir akan kehilangan dan kerusakan fasilitas tersebut (Fadillah dkk, 2013).

1.2 Perumusan Masalah

1. Berapa perubahan garis pantai di sepanjang Pantai Bengkulu Tengah?
2. Berapakah nilai Vs serta nilai stratigrafi Vs di sepanjang pantai Bengkulu Tengah dengan mengunakan metode HVSR?
3. Bagaimana hubungan laju abrasi dengan nilai Vs perlapisan batuan di sepanjang pantai Bengkulu tengah?

1.3 Batasan Masalah

Adapun yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Penelitian ini dilakukan di 27 titik pada jarak kira-kira 200 – 500 meter di Bengkulu Tengah dengan menggunakan mikrotremor dan data diolah dengan *Software Geopsy* dengan metode HVSR. Nilai Vs didapatkan melalui inversi dengan *software* HVin .
2. Perubahan garis pantai diperoleh dengan analisis data *citra satelit* selama 20 tahun yaitu untuk tahun 2000 sampai tahun 2020 sehingga tidak memperhitungkan pasang surut maupun pasang naik.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun rumusan masalah di atas penelitian ini bertujuan :

1. Untuk mengetahui besar nilai perubahan garis pantai di sepanjang pantai Bengkulu Tengah.
2. Untuk mengetahui besar nilai Vs atau startigrafi Vs dengan mengunakan metode HVSR.
3. Untuk mengetahui bagaimana hubungan laju abrasi perlapisan batuan di sepanjang pantai Bengkulu tengah .

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah :

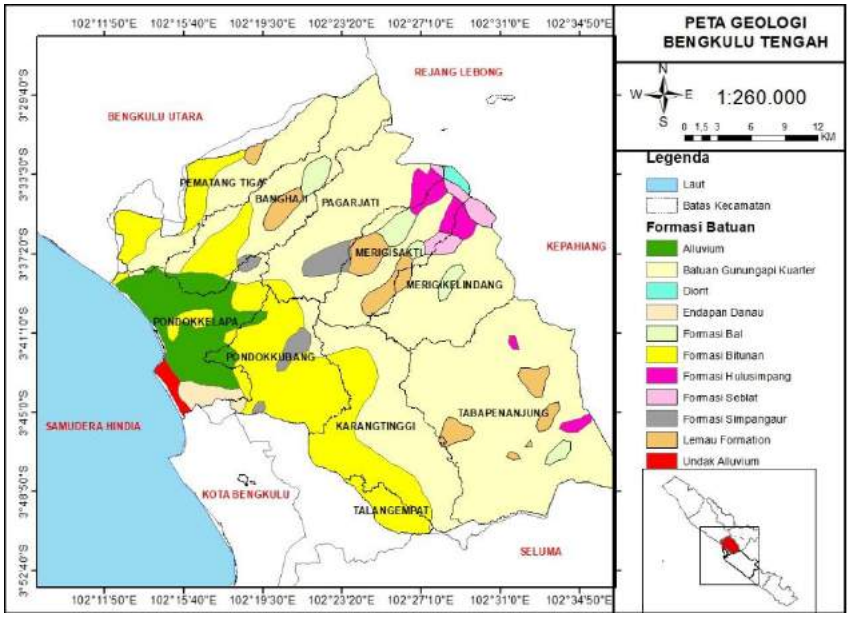
1. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai hubungan keadaan struktur bawah permukaan tanah dengan tingkat laju abrasi mengakibatkan perubahan garis pantai yang berbeda pada setiap titik penelitian.
2. Dapat memberikan studi mengenai perubahan garis pantai di Bengkulu tengah tahun 2000 sampai tahun 2020 yang dapat digunakan oleh pemerintah dalam menentukan kebijakan.dan adaptasi masyarakat terhadap bahaya abrasi pada kawasan tepi pantai Bengkulu Tengah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Geologi Bengkulu Tengah

Pada Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Bengkulu dan sekitarnya (Gafoer dkk., 2007) bahwa wilayah Bengkulu Tengah secara umum tersusun oleh batuan endapan permukaan (*surficial deposits*) berumur Kuarter, batuan sedimen dan gunung api (sedimentary and volcanic rocks) serta batuan terobosan berumur Tersier. Pada batuan yang terdapat pada stratigrafi kuarter terdiri dari Aluvium (Qa), Endapan Rawa (Qs), Teras Aluvium (Qat), dan Satuan Vulkanik Andesit – Basalt (Qv) merupakan batuan vulkanik Pleistosen – Holosen yang terdiri dari lava andesit – basaltik, tuf, dan breksi vulkanik. Aluvium (Qa), Endapan Rawa (Qs), Teras Aluvium (Qat), Terasering Aluvium (Qat) merupakan batuan sedimen yang berumur Holosen. Endapan Rawa (Qs) terdiri dari pasir, lanau, lumpur, dan lempung yang mengandung sisa – sisa tumbuhan, sedangkan Terasering Aluvium (Qat) terdiri dari kerikil, pasir, dan lempung semi konsolidasi.



Gambar 2. 1 Peta Geologi Bengkulu Tengah.

Stratigrafi Bengkulu Tengah dibagi menjadi 4 satuan batuan yang diurutkan dari tua ke muda yaitu Satuan Batu lempung Formasi Lemau, Satuan Batupasir Formasi Lemau, Satuan Andesit Vulkanik Kuarter dan Satuan Tuf Vulkanik

Kuarter. Struktur yang berkembang pada daerah Bengkulu Tengah adalah struktur kekar (Muhammad, 2018).

2.2 Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai merupakan proses yang berlangsung secara terus menerus tanpa henti dan dapat mengakibatkan garis pantai mengalami pergerakan sedimen sehingga terjadi pengikisan daratan (Abrasi) atau penambahan daratan (Akresi). Abrasi merupakan pengikisan daratan oleh gelombang laut dan arus laut yang bersifat merusak sedangkan akresi merupakan penambahan daratan karena adanya pengendapan sedimen yang terbawa arus laut (Fadilah, 2021). Kawasan pantai merupakan satu kawasan yang sangat dinamik terhadap perubahan, begitu pula dengan perubahan garis pantainya. Garis pantai adalah batas wilayah daratan yang berbatasan langsung dengan lautan. Garis pantai dapat diidentifikasi ketika batas air laut pada waktu pasang tertinggi telah mencapai daratan. Mendeteksi perubahan garis pantai membutuhkan pengambilan sampel setiap 10-20 tahun untuk mendapatkan perubahan dalam hitungan sentimeter hingga beberapa puluh meter.

Metode yang dapat diterapkan untuk mengidentifikasi perubahan garis pantai adalah metode *oneline model*, penginderaan jauh, dan menggunakan perangkat lunak tertentu. Perubahan garis pantai adalah satu proses tanpa henti (terus menerus) melalui berbagai proses alam di pantai (Nugraha dkk, 2017). Proses-proses tersebut terjadi sebagai akibat dari pergerakan sedimen, arus, dan gelombang yang berinteraksi dengan kawasan pantai secara langsung. Perubahan pada garis pantai ini dapat dilihat dari faktor-faktor yang menunjukkan kecenderungan perubahan apakah menjorok ke laut dan atau terkikis. Perubahan garis pantai yang terjadi di kawasan pantai berupa pengikisan badan pantai disebut abrasi dan penambahan badan pantai disebut sedimentasi atau akresi (Raihansyah dkk , 2016).

2.3 Faktor Yang Menyebabkan Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai merupakan proses yang cukup konstan dalam dinamika pantai, dengan perubahan yang disebabkan oleh faktor alam dan manusia. Perubahan pada garis pantai yang diakibatkan oleh faktor alam dan

faktor manusia dapat menunjukkan kecenderungan perubahan garis pantai tersebut terkikis (mengarah ke daratan) atau bertambah (menjorok ke laut) (Arief dkk, 2011). Faktor perubahan garis pantai secara alami berupa sedimentasi, abrasi, pemadatan sedimen pantai, kenaikan muka laut dan kondisi geologi. Faktor manusia berupa penanggulan pantai, penggalian sedimen pantai, penimbunan pantai, pembabatan tumbuhan pelindung pantai, pembuatan kanal banjir dan pengaturan pola daerah aliran sungai. Perubahan garis pantai dapat terjadi secara musiman atau tahunan, tergantung pada kestabilan kondisi pantai (Darmiati, dkk, 2020). Pantai bisa berubah seiring waktu. Ini terjadi ketika gelombang akibat pergeseran lempeng atau tsunami menyapu daratan, bebatuan, dan puing-puing lainnya di sepanjang pantai. Perubahan pada garis pantai dapat berdampak pada penggunaan lahan, pariwisata, perikanan, dan lainnya (Lubis dkk , 2017).

Faktor alamiah yang menyebabkan kerusakan kawasan pantai adalah sebagai berikut:

1. Aksi gelombang dengan intensitas yang tinggi dan energi yang terpusat. Gelombang terjadi melalui proses pergerakan massa air yang dibentuk secara umum oleh hembusan angin secara tegak lurus terhadap garis pantai . Gelombang merambat ke segala arah membawa energi yang kemudian dilepaskannya ke pantai dalam bentuk hempasan ombak (Opa, 2011). Gelombang pecah terjadi dekat dengan garis pantai, menyebabkan energi gelombang yang terhamburkan setelah gelombang pecah, terpusat pada garis pantai yang memicu terjadinya perubahan garis pantai pada daerah-daerah tertentu (Angkotasan dkk, 2012).
2. Arus merupakan salah satu faktor Penyebab terjadinya pengangkutan sedimen di daerah pantai. Arus berfungsi sebagai media transpor sedimen dan sebagai agen pengerosi yaitu arus yang dipengaruhi oleh hempasan gelombang. Gelombang yang datang menuju pantai dapat menimbulkan arus pantai (*nearshore current*) yang berpengaruh terhadap proses sedimentasi abrasi di pantai. Proses abrasi dan sedimentasi merupakan bagian dari dinamika pantai yang menarik

untuk dikaji guna mengetahui faktor dominan yang mempengaruhi proses pantai sehingga dapat memberikan informasi kepada pemerintah setempat dalam menentukan kebijakan pengelolaan dan perencanaan wilayah.

3. Pasut adalah gerakan naik turunnya muka air laut secara berirama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari. Pasang naik akan menyebabkan sedimentasi ke dekat pantai, sedangkan bila surut akan menyebabkan majunya sedimentasi ke arah laut lepas.ah pesisir (KKP, 2015).

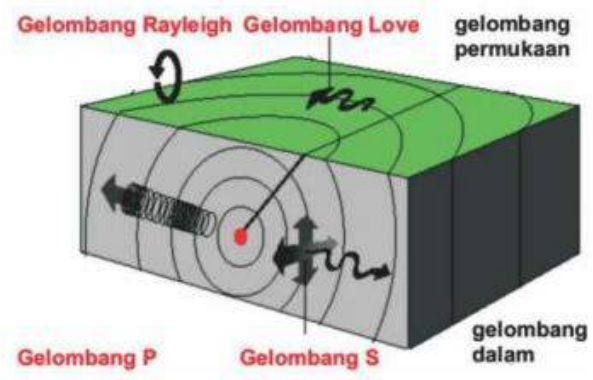
2.4 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang yang sifatnya elastis dan merambat bergantung pada elastisitas batuan dan kerapatan batuan, sehingga dengan mengetahui kecepatan perambatan gelombang seismik pada lapisan batuan dapat menentukan kekerasan dan kerapatan batuan batuan (Ayub dkk, 2022). Gelombang seismik yang selama penjalarannya ke tiap lapisan bawah permukaan bumi berlaku prinsip *snellius* dan prinsip Huygen. Prinsip *Snellius* yang menyatakan bahwa sudut antara sinar yang datang dengan garis normal (sudut datang) adalah sama dengan sudut antara sinar yang dipantulkan dengan garis normal (sudut pantul atau sudut refleksi). Prinsip Huygen menyatakan bahwa setiap titik pada muka gelombang bertindak sebagai sumber baru untuk muka gelombang berikutnya yang merambat ke segala arah. Sehingga prinsip Huygen dapat dipakai untuk menjelaskan fenomena gelombang seismik (Zuhrial dkk, 2022).

Gelombang seismik merambat di dalam bumi dan di permukaan bumi. Gelombang seismik bersumber dari suatu sumber seismik, misalkan gempa, ledakan (proses kimia atau nuklir), erupsi gunung api, dan longsoran. Getaran gempa menimbulkan gelombang gempabumi yang menjalar ke seluruh lapisan bumi (Haerudin dkk, 2019).

Bumi adalah medium gelombang yang terdiri dari beberapa lapisan batuan dimana antar satu lapisan dengan lapisan lainnya mempunyai sifat fisis yang berbeda, dapat menyebabkan gelombang seismik yang sebagian energinya merambat dan akan memantul dan sebagian energi yang lainnya akan

diteruskan ke medium di bawahnya (Saiful dkk, 2014). Selama gelombang seismik yang merambat ke tiap lapisan bawah permukaan bumi, gelombang seismik disebut sebagai sinar seismik. Untuk kasus pemantulan atau refleksi, prinsip *Snellius* menyatakan bahwa sudut antara sinar yang datang dengan garis normal (biasa disebut sudut datang) adalah sama dengan sudut antara sinar yang dipantulkan dengan garis normal (biasa disebut sudut pantul atau sudut refleksi) Gambar di bawah ini merupakan gambar dari jenis pergerakan gelombang seismik.



Gambar 2. 2 Jenis pergerakan gerakan gelombang seismik di lapisan dan permukaan bumi.

Gelombang seismik memiliki dua jenis yaitu; Gelombang Badan (*body wave*) dan Gelombang Permukaan (*surface wave*) (Telfored dkk, 1990). Gelombang badan atau *body wave* adalah gelombang yang merambat masuk ke bagian dalam bumi. Gelombang badan merupakan gelombang yang tiba sebelum gelombang permukaan yang dipancarkan oleh gempa bumi. Jenis gelombang ini ada dua yaitu Gelombang Primer dan Gelombang Sekunder (Pritaningtyas, 2022). Sedangkan gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya free surface dimana terdapat perbedaan sifat elastik.

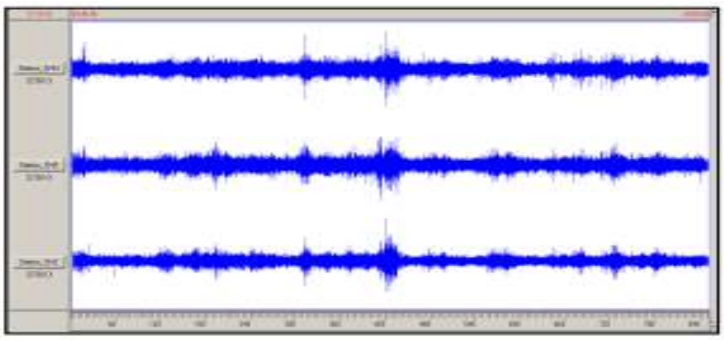
2.5 Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti, lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain. Mikrotremor digunakan untuk mengetahui karakteristik

lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi) (Arintalofa dkk, 2020).

Metode mikrotremor merupakan metode yang efektif untuk mengetahui karakteristik lapisan bawah permukaan. Metode mikrotremor merupakan metode yang efektif, murah dan dapat diterapkan di lingkungan perkotaan. Metode mikroremor telah digunakan dalam berbagai macam kasus untuk menyelidiki bawah permukaan terutama untuk studi gempabumi. Satria dkk (2019) melakukan penelitian menggunakan metode mikrotremor dengan analisis HVSR untuk mengetahui karakteristik indeks kerentanan seismik. Metode mikrotremor biasanya digunakan untuk menganalisis efek geologi permukaan dan karakteristik sedimen akibat gerakan tanah pada peristiwa gempa bumi (Lermo & Chavez-Garcia, 1993; Nakamura, 1989) (Hesti dkk, 2021).

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa mikrotremor merupakan sinyal yang terdiri dari dua komponen horizontal yang ditunjukkan oleh spektrum stat E (Barat Timur), dan spektrum stat N (Utara-Selatan) serta satu komponen vertikal yang ditunjukkan oleh spektrum stat Z. Mikrotremor didominasi oleh gelombang permukaan yang dapat digunakan dalam teknik kegempaan. Dalam kajian teknik kegempaan, litologi yang lebih lunak mempunyai resiko yang lebih tinggi bila diguncang gelombang gempa bumi, karena akan mengalami penguatan gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak. Hasil pengukuran mikrotremor di lapangan berupa data getaran tanah dalam fungsi waktu.



Gambar 2. 3 Rekaman mikrotremor tiga komponen (UD, EW dan NS) pada perangkat lunak *Geopsy* (Sungkowo, 2017).

Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan perekaman secara langsung pada dua atau lebih lokasi. Salah satunya harus dilakukan di tempat yang memiliki struktur batuan keras (hard rock). Hal ini mencegah amplifikasi dan frekuensi akibat gerakan tanah. Rasio spektrum yang dihasilkan pada daerah lain akan dibandingkan dengan rasio spektrum yang terekam pada batuan keras, sehingga diperoleh respon terhadap mikrotremor. Nakamura (1989) memperperkenalkan pendekatan keduanya beserta metode analisisnya. Ia menemukan bahwa rasio dari spektrum vertikal dan horizontal dari mikrotremor mengalami peningkatan pada frekuensi resonansi dan akan memperlihatkan puncak pada frekuensi tersebut. Menurut asumsi Nakamura, H/V merefleksikan tingkat amplifikasi dari gerakan tanah. Dengan menggunakan metode ini maka pengukuran tidak perlu dilakukan menggunakan syarat adanya batuan keras (*hard rock*).

2.6 Metode HVSR

Nakamura (1989) memperkenalkan metode HVSR untuk menghasilkan parameter yaitu frekuensi natural dan amplifikasi geologi setempat dari data mikrotremor. Selanjutnya, metode HVSR digunakan untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah (Nakamura, 1997). Metode HVSR merupakan metode yang efektif, murah, dan ramah lingkungan biasanya digunakan pada seismic pasif (microtremor) tiga komponen. Metode HVSR dilakukan dengan cara estimasi rasio spektrum fourier komponen vertikal terhadap komponen horizontal. Frekuensi natural setempat merupakan frekuensi pada rasio HVSR puncak pertama, sedangkan rasio HVSR pada frekuensi natural merupakan nilai amplifikasi geologi setempat (Sitorus dkk., 2017). Nakamura dan saito (1983) juga melakukan pengamatan terhadap *ambient vibrations atau ambient noise* di permukaan dan perambatan gelombang akibat peristiwa gempa untuk berbagai kondisi geologi yang disebabkan oleh gelombang *rayleigh* dan hasilnya menunjukkan adanya kesesuaian antara nilai faktor amplifikasi tanah yang dihasilkan dengan menggunakan data pengamatan gelombang ambien dan gelombang gempa .

Nakamura (2008) menyampaikan bahwa nilai faktor amplifikasi suatu tempat dapat diketahui dari tinggi puncak spektrum kurva HVSR hasil

pengukuran mikrotremor di tempat tersebut dan nilai periode dominan atau frekuensi dominan yang diperoleh dari kurva HVSR mempunyai korelasi dengan tingkat ketebalan dari lapisan sedimen (Partono dkk., 2013). Setelah kurva HVSR diperoleh, maka yang didapatkan yaitu nilai faktor amplifikasi dan nilai frekuensi dominannya. Nilai yang diperoleh tentu harus divalidasi untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Adapun kriteria hasil yang sesuai ditentukan dengan 3 syarat dan data mikrotremor dapat dipakai jika ketiga syarat terpenuhi. Ketiga syarat tersebut adalah sebagai berikut (SESAME, 2004) :

1. $f_0 > \frac{10}{I_w}$
2. $n_c\ (f_0) > 200)$

dengan :

$$n_c = I_w \times n_w \times f_0 \qquad (2.1)$$

dengan:

I_w : Panjang jendela (s)

n_w : Jumlah rata-rata jendela yang dipilih untuk kurva H/V

n_c : Jumlah siklus signifikan

f_0 : Frekuansi dominan (Hz)

3. Jika $f_0 > 0{,}5\ Hz, maka\ \sigma A(f) < 2,\ atau$ Jika $f_0 < 0{,}5\ Hz, maka\ \sigma A(f) < 3$ (SESAME, 2004).

Metode HVSR menggunakan perbandingan antara komponen horizontal dan komponen vertikal, dimana metode HVSR ini diasumsikan rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan.

Faktor amplifikasi gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen didasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan yang dilambangkan dengan T_H dan T v (Nakamura, 2000). Dengan membandingkan faktor amplifikasi horizontal (Th) dan spektrum komponen gerak horizontal di permukaan tanah (S_{HS}) dengan spektrum komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah (S_{HB}) diperoleh persamaan faktor amplifikasi horizontal T_H dan T_v faktor amplifikasi vertikal adalah sebagai berikut adalah :

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.2)$$

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2.3)$$

Dengan S_{VS} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal di permukaan tanah dan S_{VB} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal pada dasar lapisan tanah.

Hasil rekaman pada stasiun pada batuan keras nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal mendekati 1 sedangkan pada batuan lunak nilai maksimumnya mengalami perbesaran atau amplifikasi ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad (2.4)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek dari gelombang Rayleigh dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau site effect (T_{SITE}). T_{SITE} menunjukkan puncak amplifikasi pada frekuensi dasar dari suatu lokasi (Slob, 2007). Berdasarkan Persamaan (2.2), (2.3), dan (2.4) didapatkan besarnya T_{SITE} sebagai :

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (2.5)$$

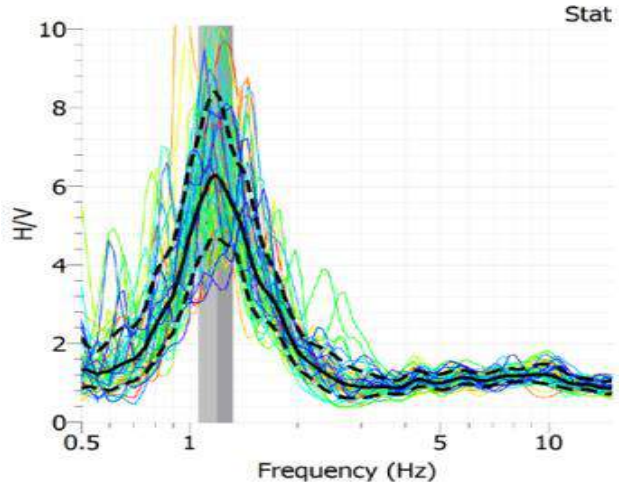
Pada pengukuran di lapangan terdapat dua komponen horizontal utara-selatan dan komponen horizontal barat-timur maka persamaan yang sesuai digagas Nakamura yaitu :

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{\sqrt{[(S_{NORTH-SOUTH})^2 + (S_{EAST-WEST})^2}}{S_{VS}} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya atau *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Metode HVSR biasanya digunakan pada seismik pasif tiga komponen. Terdapat dua parameter penting yang didapatkan dari hasil pengolahan metode ini antara lain frekuensi natural (f_0) dan

amplifikasi (A_0). Kedua parameter ini pada dasarnya merupakan implementasi dari karakterisasi geologi setempat (Ambarsari, 2017).

Pada Gambar 2.4 sumbu horizontal ialah frekuensi dari getaran tanah dan sumbu vertikal merupakan amplitudo getaran tanah. Kurva H/V ditunjukkan dengan garis hitam tebal. Sedangkan garis putus-putus ialah deviasi dari kurva H/V tersebut. Pada titik maksimum kurva H/V merupakan besaran frekuensi predominan (SESAME, 2004).



Gambar 2. 4 Perbandingan HVSR (SESAME, 2004) .

2.4 Amplifikasi

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awalnya. Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. Nilai faktor penguatan (amplifikasi) tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya (Arintalofa dkk., 2020).

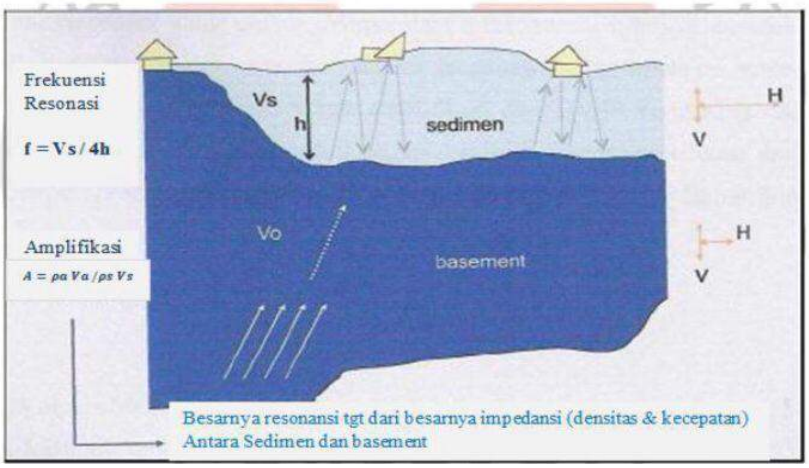
Faktor amplifikasi memberikan gambaran tentang perubahan (pembesaran) percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan. Pembesaran percepatan tanah dari batuan dasar ke permukaan disebabkan karena perbedaan kecepatan gerakan gelombang geser (Vs) di batuan dasar dan pada lapisan tanah (sedimen). Nilai Vs dari batuan dasar ke permukaan akan mengecil. Nilai Vs yang makin mengecil menyebabkan kecilnya nilai modulus geser (GS) dan faktor redaman, sehingga percepatan tanah akan makin membesar. Semakin besar nilai faktor amplifikasi maka semakin besar pula percepatan gerakan tanah di permukaan (Partono dkk, 2013). Adapun kelas nilai faktor amplifikasi menurut Ratdomopurbo disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Nilai kelas faktor amplifikasi menurut Ratdomopurbo (Setiawan, 2009).

No	**Kelas**	**Nilai faktor amplifikasi**
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat tinggi	$A \geq 9$

Nilai amplifikasi dipengaruhi variasi formasi geologi, ketebalan dan sifat fisika lapisan tanah dan batuan, seperti batuan mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan, dan pergeseran) yang mengubah sifat fisik batuan. Pada batuan yang sama nilainya amplifikasinya sama dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut (Nakamura, 2000).

Pada Gambar 2.5 merupakan konsep dasar fenomena amplifikasi gelombang seismik, yang dicirikan oleh adanya batuan sedimen yang berada di atas *basement* dengan perbedaan densitas ρ. Besaran amplifikasi dapat diestimasi dari kontras impedensi antara *bedrock* dan sedimen permukaan. Semakin besar perbedaan parameter tersebut, semakin besar pula nilai amplifikasi perambatan gelombangnya (Gosar, 2007).



Gambar 2. 5 Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik (Ramdani, 2011).

2.5 Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan merupakan parameter yang dihasilkan dari pengolahan dengan menggunakan metode HVSR dan konsep transformasi fourier serta merupakan frekuensi yang sering muncul . Kelas tanah oleh Kanai berdasarkan nilai frekuensi dominan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Kelas tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan menurut Kanai.

Kelas Tanah	*fo* (Hz)	Kelas Kanai	Deskripsi
Kelas I	6,67 – 20	Batuan tersier atau lebih tua terdiri dari batuan pasir berkerikil keras *(hard sandy gravel)*.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis,didominasi oleh batuan keras.
Kelas II	4 – 6,67	Batuan alluvial dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari pasir berkerikil *(sandy gravel)*, pasir bergelembung keras *(sandy hard clay*), tanah liat, lempung *(loam)*, dan sebagainya.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 -10 m.

Kelas III	2,5 – 4	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui *(buff formation).*	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 m.
Kelas IV	<2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, *top soil*, lumpur, dengan kedalaman 30 m.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.

2.6 Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Salah satu parameter yang dinilai dalam pengukuran mikroseismik pada mikrozonasi gempa adalah adalah indeks kerentanan tanah (Kg). Nakamura (1989) menyatakan, Indeks Kerentanan (Kg) suatu wilayah mengindentifikasikan tingkat kerentanan suatu lapisan tanah yang mengalami deformasi akibat gempa bumi. Nilai kerentanan (Kg) dapat dicari dengan persamaan:

$$K_g = \frac{{A_0}^2}{f_0} \qquad (2.7)$$

dengarn :

K_g= Indeks kerentanan seismik

A_0= Faktor amplifikasi tanah

f_0= Frekuensi dominan tanah (Hz)

Nilai Kg yang tinggi umumnya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan sedimen yang lunak. Nilai yang tinggi tersebut mendeskripsikan bahwa daerah tersebut rentan terhadap gempa. Sebaliknya, nilai Kg yang kecil umumnya ditemukan pada tanah dengan batuan penyusun yang kuat dan stabil sehingga saat terjadi gempa, daerah tersebut hanya mengalami guncangan yang kecil.

2.7 Kecepatan Gelombang Geser (Vs)

Kecepatan gelombang geser (*shear wave*) yaitu paramater yang penting

untuk mengetahui klasifikasi tanah atau perlapisan tanah. S*ite effect* dianalisis atau dievaluasi menggunakan gelombang s terkhusus pada lapisan sedimen yang berada diatas batuan dasar. Kecepatan gelombang geser V_s ditentukan dari perambatan gelombang seismik yang tegak lurus terhadap arah rambatan gelombangnya. Nilai kecepatan gelombang geser dapat merupakan representasi dari sifat geser struktur tanah (Arifudin, 2021). Kecepatan gelombang S *(shear)* berhubungan dengan suatu jenis material, dimana kecepatan gelombang geser pada suatu tempat berbeda-beda tergantung jenis material atau kondisi geologi suatu tempat. Kecepatan gelombang S *(shear)* dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Tipe kecepatan gelombang geser untuk berbagai jenis material Milsom dan Eriksen, (2011).

Material	**Kecepatan Gelombang Geser (m/s)**
Lumpur Lembut	<200
Pasir Kering	300-600
Lempung	500-800
Pasir Basah	700-900
Tanah (*Tills*)	1000-1200
Batuan Pasir	1600-2600
Serpih	2200-2400
Batu Kapur	2500-3100
Granit	3200-3800
Basalt	3400-4000

Semakin rendah/kecil kecepatan gelombang geser maka semakin lunak kondisi tanah, sebaliknya semakin tinggi/besar kecepatan gelombang geser maka semakin padat kondisi tanah (Milson dan Eriksen, 2011).

2.8 Densitas

Densitas atau kerapatan batuan umumnya bertambah dengan bertambahnya kedalaman. Dengan bertambahnya kedalaman, tekanan hidrostatik juga semakin bertambah besar. Semakin besarnya tekanan menyebabkan batuan

mengalami kompresi sehingga semakin rapat lapisan suatu batuan yang menyebabkan semakin besar densitas batuan.

Besarnya densitas suatu batuan juga bergantung pada besarnya porositas suatu batuan. Semakin besar porositas suatu batuan mengindikasikan semakin besar pula massa suatu batuan yang hilang atau rongga batuan makin besar. Hal ini menyebabkan densitas batuan semakin berkurang (Setiawan 2008). Densitas berbanding lurus dengan cepat rambat gelombang seismik dari formasi batuan, sehingga semakin besar densitas suatu formasi batuan maka semakin besar cepat rambat gelombang dalam batuan tersebut (Patimah, 2017).

2.9 Hv-inv Beta

HV-Inv adalah aplikasi yang dikembangkan oleh (Garcia-Jerez dkk, 2016) yang berbasis MATLAB yang digunakan untuk mengestimasi dan memodelkan struktur bawah permukaan dengan menggunakan prinsip penyelesaian *Monte Carlo* (MC). (Garcia-Jerez dkk, 2016) mengenalkan inversi kurva Horizontal to Vertikal SpectralRatio (HVSR) dengan menggunakan aplikasi HV-Inv. Model yang diadopsi terdiri dari 5 parameter pada setiap lapisan termasuk ketebalan, kecepatan gelombang tekan (Vp), kecepatan gelombang geser (Vs), densitas tanah (ρ), dan poisson ratio (v). Pada simulasi Monte Carlo (MC), setiap parameter berkisar dari nilai minimum hingga nilai maksimum. Algoritma inversi HVRS ini didasarkan pada kombinasi sederhana Monte Carlo (MC) untuk menemukan model terbaik dengan meminimalkan ketidakcocokan (misfit) yang diberikan dalam Persamaan 2.8 (Gracia-Jerez, 2016) :

$$\Gamma_{HV} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(HV_{obs}(\omega i) - HV_{th}(\omega i))^2}{\sigma^2{}_{HV}(\omega i)} \qquad (2.8)$$

Dengan HV_{obs} adalah *HVSR* observasi, HV_{th} adalah *HVSR* teoritis, dan σ_{HV} adalah standar deviasi yang dihasilkan dari eksperimen perhitungan HV_{obs}. Persamaan ini telah dimasukkan ke dalam program untuk inversi *HVSR* yang mendukung inversi gabungan rasio spektral dan kurva dispersi gelombang permukaan. Pendekatan ini telah ditunjukkan untuk mengurangi pertukaran antara ketebalan dan kecepatan yang melekat pada inversi rasio H/V dan meningkatkan sensitivitas terhadap kontras kecepatan dari profil yang diperoleh dari kurva dispersi, dan khususnya terhadap kecepatan basement. Program ini

memungkinkan untuk menerapkan pengambilan sampel ruang model Monte Carlo, algoritma SA serta metode lokal. Software Hv-Inv Beta ini untuk data nyata yang diperoleh pada struktur sedimen yang cukup dalam memberikan kesesuaian yang baik dari kurva eksperimental, termasuk puncak dan fitur sekunder. Hasilnya konsisten dengan informasi sebelumnya yang diperoleh dari lubang bor dan metode seismik konvensional (Gracia, 2016).

2.10 (*Vs*30)

Kerusakan pada bangunan biasanya dipengaruhi oleh frekuensi alami dan nilai amplifikasi. Kedua parameter ini bergantung pada nilai Vs di bawah permukaan. Vs30 merupakan nilai kecepatan gelombang geser *(shear wave)* rata-rata hingga kedalaman 30 meter. Nilai Vs30 dapat dipergunakan untuk mendeskripsikan litologi permukaan (Wibowo, 2017). Nilai Vs30 juga dapat digunakan untuk memperkirakan bahaya gempa bumi dan fondasi standar tahan gempa melalui pengklasifikasian tanah berdasarkan standar ketetapan yang sudah ada (Dewi et al., 2016) seperti dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Klasifikasi *site class* berdasarkan nilai kecepatan geser SNI 1726 (Badan Standarisasi Nasional, 2012)

Tipe Batuan	Profil Jenis Batuan	*Vs30*
Batuan Keras (SA)	Batuan keras	>1.500 m/s
Batuan (SB)	Batuan	750 – 1500 m/s
Tanah Keras, Sangat Padat, dan Bauan Lunak (SC)	Tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak	350 – 750 m/s
Tanah Sedang (SD)	Tanah sedang	175– 350 m/s
Tanah Lunak (SE)		<175

Tabel 2. 5 Klasifikasi tanah sesuai dengan Eurocode 8 (Mufida *et al.*, 2013)

Tipe Tanah	Uraian Gambar Stratigrafi	*Vs30*
A	Batuan atau formasi batuan lainnya.	>800 m/s
B	Endapan *sand* atau *clay* yang sangat padat, *gravel*, pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai dengan peningkatan sifat mekanik terhadap kedalaman	360 – 800 m/s
C	Endapan *sand* padat atau setengah padat yang tebal, *grave*l atau *clay* padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter	180 – 360 m/s
D	Endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), atau terutama pada tanah kohesi rendah.	< 180 m/s
E	Lapisan tanah terdiri alluvium pada permukaan dengan nilai Vs tipe C dan D dengan ketebalan bervariasi antara 5 m dan 20 m, di bawah tanah ini berupa material keras dengan Vs > 800 m/s	
S1	Terdiri dari endapan atau mengandung lapisan minimal 10 m, pada tanah lempung lanauan dengan indeks keplastisan/kekenyalan dan kadar air yang tinggi.	<100 m/s

S2	Endapan tanah encer, tanah liat yang sensitif, atau tanah lain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1.	

Nilai kecepatan rata-rata gelombang geser dengan kedalaman tidak lebih dari 30 meter dapat diperoleh melalui persamaan berikut ini :

$$\text{Vs30} = \frac{\sum_{i-1}^{m} t_i}{\sum_{i-1}^{m} \frac{t_i}{V_{si}}} \quad (2.10)$$

dengan:

V_s30 = Kecepatan gelombang geser pada regangan geser yang kecil di dalam lapisan kedalaman 30 m

t_i = ketebalan lapisan ke i

i = indeks pelapisan

V_{si} = Kecepatan gelombang geser (m/s)

di mana $V\,s$ 30 adalah kecepatan rata-rata lapisan hingga kedalaman 30 meter hi adalah ketebalan lapisan 0 hingga 30 meter dan $V\,i$ adalah kecepatan gelombang geser dari lapisan ke-n (Building Seismic Safety Council, 2003).

2.11 Citra Satelit Landsat

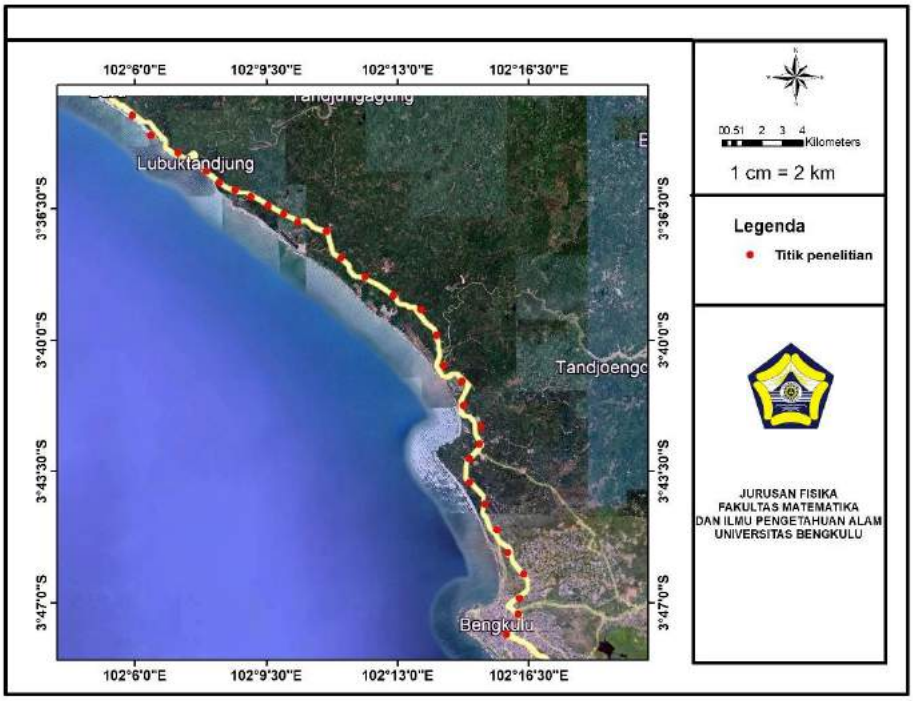
Landsat adalah salah satu satelit penginderaan yang dikembangkan oleh *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan *United States Geological Survey* (USGS) (Putra dkk., 2015). Studi penggunaan citra satelit dalam monitoring, analisa dan prediksi perubahan garis pantai sudah banyak dilakukan. Parman, 2010 mendeteksi perubahan garis pantai di Pantai Utara Semarang Demak menggunakan citra satelit Landsat tahun 1998 dan citra Allos tahun 2006 dengan tingkat akurasi 93%. Penggunaan Citra Landsat serta *Digital Shoreline Analisis Sistem* (DSAS) untuk menganalisis perubahan garis pantai. Landsat MMS, Landsat TM dan SPOT4 digunakan untuk memperkirakan perubahan yang terjadi kawasan pantai antara Damietta Nile branch dan Port-Said pada 1973 sampai 2007. Penggunaan data satelit Landsat (sensor MSS, TM dan ETM+) secara temporal dapat membantu untuk menganalisis perubahan tutupan lahan dan perubahan panjang pantai, abrasi dan akresi.

Pemanfaatan citra satelit Landsat juga dapat dipergunakan untuk melakukan monitoring perubahan garis pantai. Nilai perubahan garis pantai dan laju erosi pantai dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran secara periodik setiap tahunnya, namun hal ini memerlukan biaya yang cukup besar. Penggunaan data citra satelit untuk monitoring perubahan garis pantai memiliki beberapa keuntungan, yaitu mampu memonitor cakupan wilayah yang luas, mengurangi biaya jika dibandingkan dengan menggunakan pengukuran langsung, memerlukan waktu yang lebih pendek dalam menganalisa jika dibandingkan dengan pengukuran lapangan. Analisa citra satelit merupakan salah satu alternatif untuk mengetahui perubahan garis pantai (Aryastana dkk., 2017).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2022 di Bengkulu Tengah, Provinsi Bengkulu. Titik pengukuran ditempatkan di 27 titik pengukuran sesuai seperti pada peta penelitian pada Gambar 3.1. Pengolahan data akan dilakukan di Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.

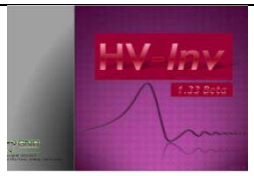


Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian

No	Alat dan bahan	Gambar	Kegunaan
1	*Seismometer Portable Short Period* yang terdiri dari Seismometer PASI Mod Gemini 2 Sn-1405		Merekam data getaran tanah
2.	Laptop		Mengolah data, menyimpan data numerik, melakukan perhitungan, dan pembuatan peta daerah rawan abrasi
3.	Kompas		Menentukan arah utara-selatan pada Seismometer *portable short period.*
4.	*Global Positioning System* (*GPS*)		Menentukan titik koordinat penelitian
5.	*Software Geopsy*		Mengolah dan melakukan perhitungan data hasil rekaman seismometer
6.	*Microsoft Office Excel*		Mengolah dan melakukan perhitungan data hasil rekaman seismometer
7.	*ArcGis*		Membuat peta daerah Bengkulu Tengah
8.	HV- Inv		Digunakan untuk inversi *HVSR*

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Survei Lapangan

Survei lapangan penelitian dilakukan untuk mengetahui medan yang akan dilalui dan kondisi secara langsung lokasi yang akan dijadikan titik pengukuran

sinyal mikrotremor. Selain mengacu pada desain survei, penentuan lokasi dan pengukuran juga mempertimbangkan beberapa persyaratan teknis yang ditunjukkan pada pedoman aturan pada SESAME *European Research Project.*

3.3.2 Teknik Pengambilan Data

Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan dengan frekuensi sampling Hz selama ± 30 menit dengan mengacu pada durasi pengukuran yang disarankan oleh SESAME (2004). Hasil dari pengukuran tersebut berupa data mentah sinyal getaran mikrotremor dalam fungsi waktu. Sinyal getaran ini terdiri dari 3 komponen, yaitu 2 komponen horizontal dan 1 komponen vertikal. Komponen horizontal terdiri dari sinyal *North-South* dan sinyal *East-West*, sedangkan komponen vertikal merupakan sinyal getaran *Up and Down*. Data tersebut dapat secara langsung ditampilkan pada laptop dengan menggunakan software *Geopsy*.

3.3.3 Teknik Pengolahan Data

Data hasil rekaman gelombang getaran yang direkam oleh seismograf pada lapangan diolah dengan beberapa tahapan yaitu:

3.3.3.1 Pengolahan Data Citra Untuk Mengetahui Kecepatan Garis Pantai

Pengolahan data citra dilakukan dengan mengunduh peta garis pantai tahun 2000 dan 2020 disitus resmi https://earthexplorer.usgs.gov.Tahap awal yang dilakukan dalam pengolahan data yaitu pemotongan citra yang bertujuan untuk memperoleh fokus wilayah penelitian yaitu Bengkulu Tengah. Tahap selanjutnya adalah koreksi geometrik. Koreksi geometrik dilakukan untuk memperbaiki posisi objek dalam citra agar sesuai dengaan koordinat sebenarnya di lapangan. Kemudian menggunakan metode *Modified Normalised Difference Water Index* (MNDWI). Metode ini merupakan salah satu metode terbaik untuk dapat memisahkan objek daratan dan lautan pada citra. Kemudian setelah terkumpul data tersebut di *overlay* menggunakan *ArcGIS.* Setelah itu, perhitungan nilai laju perubahan garis pantai (*v)* dengan mengetahui antara jarak perubahan garis pantai dengan perubahan tahun menggunakan persamaan:

$$v = \frac{s}{t} \quad (3.1)$$

v = laju kecepatan perubahan garis pantai

s = perubahan garis pantai yang telah terjadi dalam satuan meter

t = waktu selama terjadinya perubahan garis pantai dalam satuan tahun.

3.3.3.2 Pengolahan Data Mikrotremor dengan Metode HVSR

Pengolahan data yang dilakukan yaitu input data hasil rekaman gelombang getaran yang didapat dari penelitian di lapangan menggunakan *Software Geopsy* dan mengimport *signal* sebagai inputan data (format SAF). Pada *toolbox* dipilih H/V, kemudian tahap *windowing* sinyal untuk memisahkan sinyal dari *noi*se di lapangan dengan klik *select* dan pilih *add*. Dilanjutkan dengan klik *start* maka masing-masing komponen ditransformasi (FFT) dari fungsi waktu menjadi fungsi frekuensi pada spektrum H/V untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi A_0. Klik *save result* pada *tool* untuk menyimpan data dalam format *.hv.

3.3.3.3 Pengolahan Data Inversi HVSR Menggunakan HV-Inv

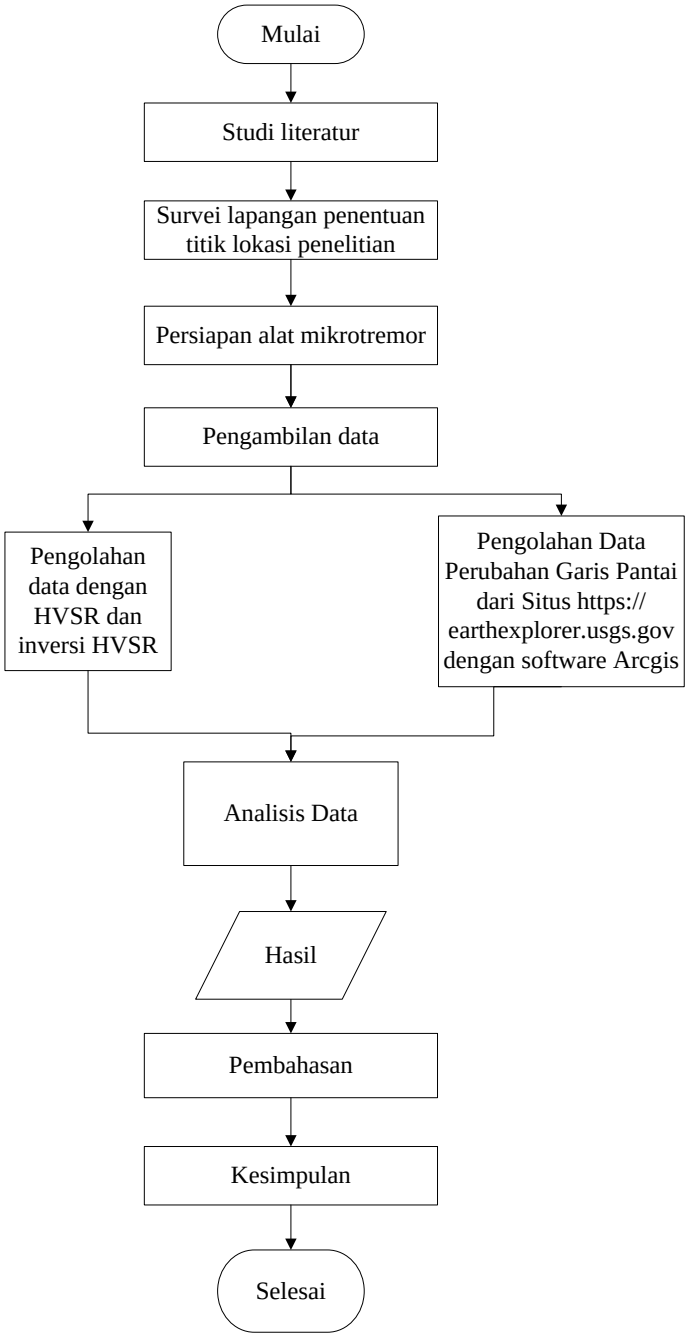
Inversi kurva HVSR bertujuan untuk mengestimasikan parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya. Dalam menghitung kecepatan gelombang geser (Vs) Mulai Input Data mikrotremor 3 komponen Windowing Smoothing Kurva H/V (f_0, A_0) Selesai 18 dengan menginversi kurva H/V dalam format file *hv menggunakan aplikasi Hv-Inv berbasis Matlab yang telah dikembangkan oleh (Garcia-Jerez dkk, 2016). Analisa inversi dilakukan dengan metode iterasi yang dipadukan dengan konsep simulasi Monte Carlo. Parameter yang dimasukkan adalah ketebalan lapisan (h), rentang nilai (Vs), rentang nilai (Vp), rentang kerapatan massa (ρ), dan rentang rasio poisson (v). Analisa random menggunakan menggunakan metode Monte Carlo diperlukan agar mendapatkan kecocokan kurva H/V yang dimodelkan dengan kurva H/V lapangan. Proses iterasi selesai, apabila nilai misfit kedua bernilai kecil. Apabila nilai misfit minimum telah diketahui, maka langkah selanjutnya menurunkan nilai parameter tersebut ke dalam profil gelombang geser (Vs).

3.3.4 Interprestasi Hasil

Setelah mendapatkan hasil pengolahan data dilakukan interpretasi hasil penelitian berupa kecepatan gelombang geser (Vs) bawah permukaan. Kemudian diperoleh hasil struktur lapisan bawah permukaan di Bengkulu Tengah sesuai inversi HVSR dengan HV-Inv.

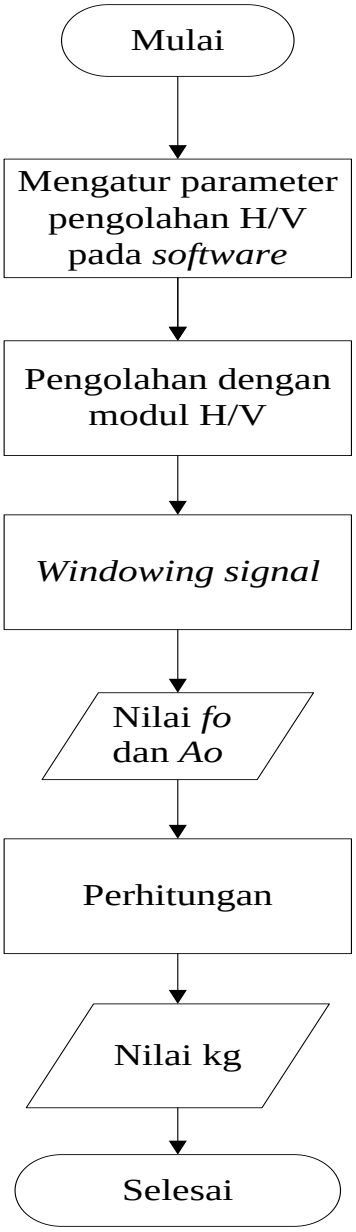
3.4 Diagram Alir

3.4.1 Diagram Alir Penelitian



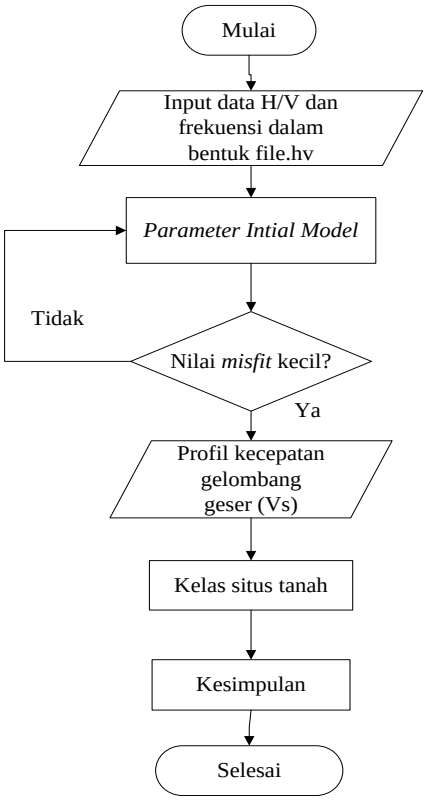
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian

3.4.2 Diagram Alir Pengolahan Data



Gambar 3. 3 Diagram alir pengolahan data HVSR

3.4.2.1 Diagram Alir Pengolahan Data Inversi HVSR



Gambar 3. 4 Diagram alir pengolahan data inversi HVSR

3.5 Analisis Hasil

Tahap analisa data meliputi data kecepatan perubahan garis pantai yang yaitu perubahan garis pantai tahun 2000 dan 2020 diperoleh dari situs https://earthexplorer.usgs.gov. Kemudian di *overlay* menggunakan program *ArcGIS* maka akan terlihat kecepatan perubahan garis pantainya menggunakan Pers 3.1 pada titik-titik penelitian di pinggir pantai.

Data hasil pengukuran merupakan data mentah mikrotremor yang berupa sinyal getaran dan dianalisis menggunakan *software Geopsy* untuk filtering sinyal tanpa noise. Kemudian sinyal dianalisis menggunakan metode HVSR sehingga menghasilkan kurva H/V, nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) kemudian di inversi HVSR mengunakan HV-Inv. Hasil yang akan diperoleh dari inversi HVSR mengunakan HV-Inv akan dapat memperkirakan struktur, komposisi, sifat fisik batuan, karekteristik geologi bawah permukaan dan analisis bahaya gempa berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser.

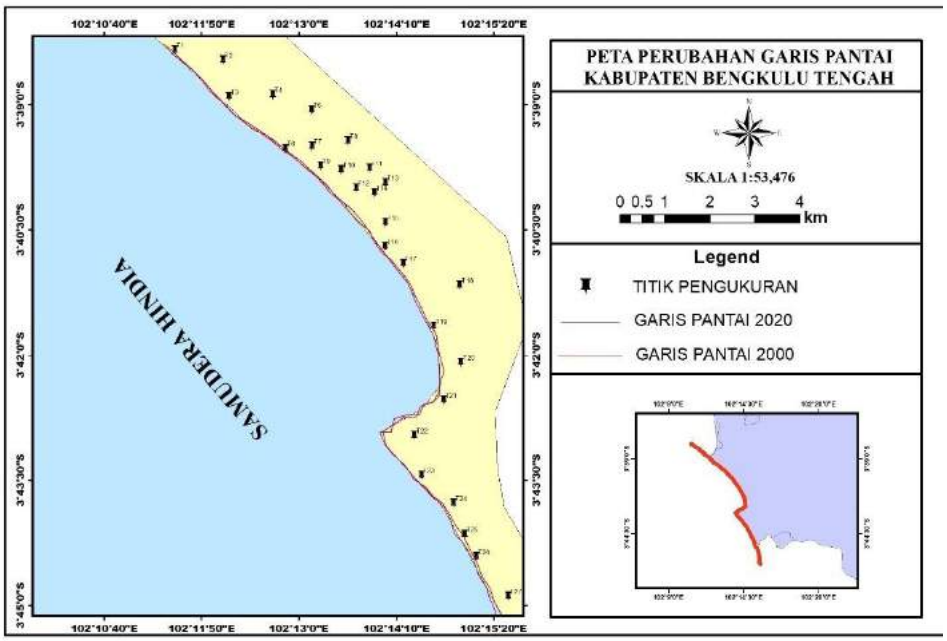
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

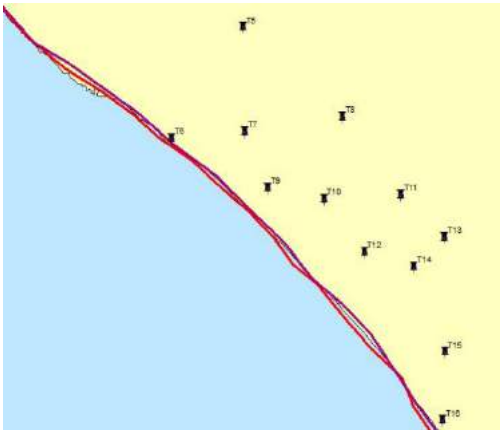
4.1 HASIL

4.1.1 Perubahan garis pantai

Penginderaan jarak jauh digunakan untuk pemantauan perubahan garis pantai di suatu kawasan salah satunya yaitu Citra Landsat dalam jangka waktu tahunan. Data garis pantai tahun 2000 diambil menggunakan Citra Landsat TM 7 dan citra landsat 8 digunakan untuk data tahun 2020.



(a)



(b)

(c)

Gambar 4. 1 (a) Peta perubahan garis pantai Bengkulu Tengah, (b) Perubahan garis pantai akibat abrasi, (c) Perubahan garis pantai akibat akresi

Gambar 4.1 merupakan peta perubahan garis pantai yang telah di *overlay* menggunakan program *ArcGIS* maka dapat terlihat kecepatan perubahan garis pantai rentang 20 tahun yaitu tahun 2000 sampai tahun 2020. Pada gambar tersebut terdapat dua garis yaitu garis merah menunjukan garis pantai pada tahun 2000 dan garis ungu menunjukan garis pantai tahun 2020. Adanya perubahan garis pantai bisa diakibatkan karena hilangnya daratan pinggir pantai yang diakibatkan oleh abrasi serta penambahan daratan atau akresi yang diakibatkan adanya sungai di sekitar pantai yang dapat membawa material-material yang terkandung di kawasan perairan Sungai.

Kecepatan perubahan garis pantai pada setiap titik penelitian untuk daerah pinggir pantai menggunakan 27 titik sesuai dengan titik mikrotremor untuk mengetahui kecepatan perubahan garis pantainya. Kecepatan perubahan garis pantai bisa diketahui dengan dilakukannya proses perhitungan nilai laju kecepatan perubahan garis pantai yang terjadi selama beberapa tahun dengan Persamaan berikut :

$$v = \frac{s}{t} \tag{4.1}$$

Tabel 4. 1 Data perubahan garis pantai Bengkulu Tengah

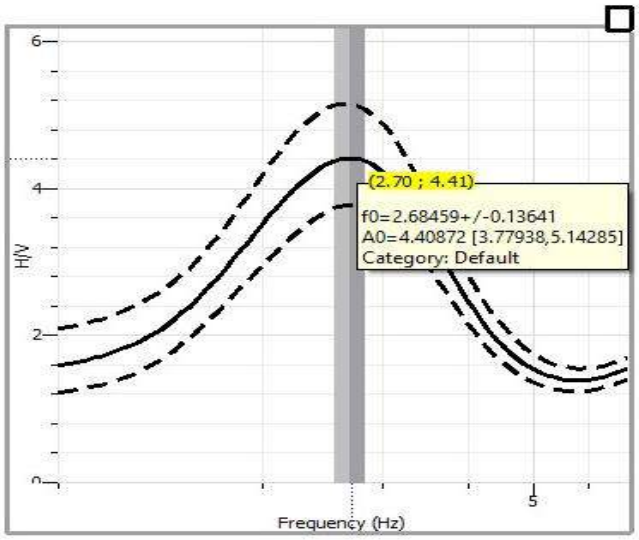
No	Nama Titik	Perubahan Garis Pantai (dm)	Vs30 (m/S)	Keterangan
1	T1	-531,40	1515,86	Akresi
2	T2	68,30	325,93	Abrasi
3	T3	79,20	378,28	Abrasi
4	T4	256,30	573,06	Abrasi
5	T5	359,20	263,26	Abrasi
6	T6	292,40	343,13	Abrasi
7	T7	276,10	279,92	Abrasi
8	T8	433,90	343,44	Abrasi
9	T9	215,50	308,96	Abrasi
10	T10	379,80	251,71	Abrasi
11	T11	511,10	151,25	Abrasi
12	T12	91,90	251,41	Abrasi
13	T13	425,90	123,54	Abrasi
14	T14	636,80	441,27	Abrasi

15	T15	137,40	940,08	Abrasi
16	T16	427,10	364,95	Abrasi
17	T17	-377,00	221,15	Akresi
18	T18	-534,10	262,15	Akresi
19	T19	-620,40	313,08	Akresi
20	T20	-611,60	293,49	Akresi
21	T21	496,50	326,78	Abrasi
22	T22	605,50	280,07	Abrasi
23	T23	363,00	293,49	Abrasi
24	T24	-190,30	248,35	Akresi
25	T25	-1124,30	226,19	Akresi
26	T26	-499,80	202,51	Akresi
27	T27	-667,50	382,67	Akresi

4.1.2 Data Mikrotremor

Hasil pengukuran di titik-titik penelitian berupa data rekaman mikrotremor dengan durasi waktu perekaman kurang lebih 30 menit. Pengolahan data mikrotremor pada penelitian ini mengunakan *software Geopsy*. Data yang telah diperoleh sebanyak 27 titik kemudian dianalisis mengunakan metode *HVSR* sehingga diperoleh kurva H/V berupa parameter frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Parameter f_0 dan A_0 digunakan untuk mikrozonasi dan membuat pemodelan penampang seismik kurva H/V.

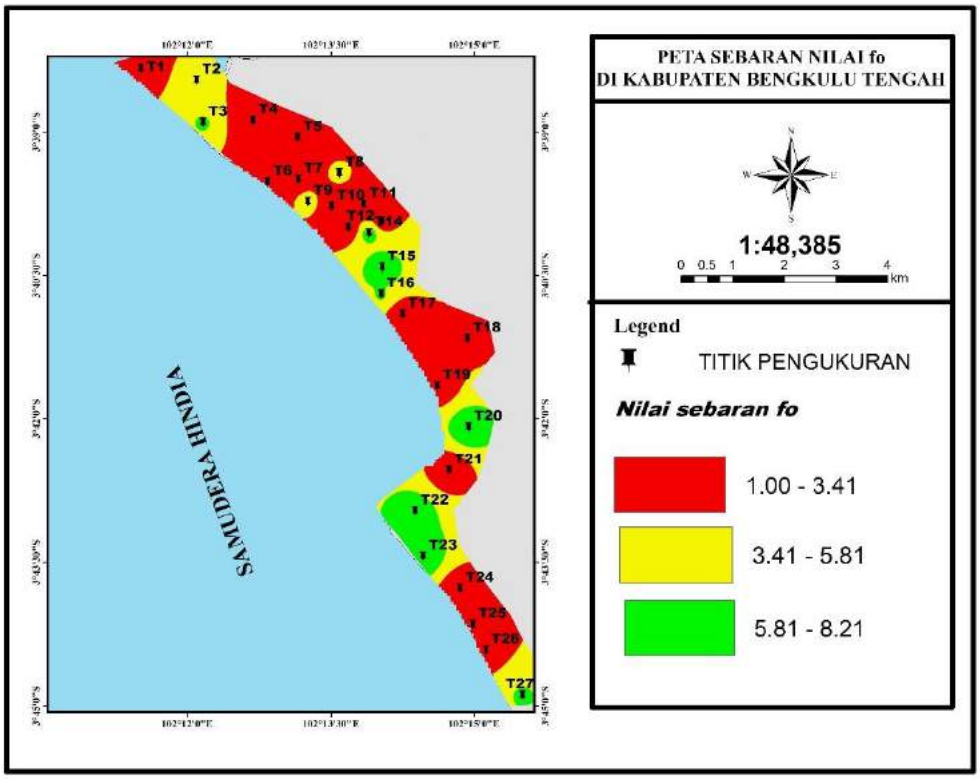
Nilai frekuensi dominan (*fo*) dan amplifikasi (*Ao*) di kabupaten Bengkulu Tengah bervariasi yang dapat di indentifikasi melalui analisis data mikrotremor. Metode HVSR dapat mengidentifikasi struktur bawah permukaan setempat dilihat dari parameter fisik berupa frekuensi dominan dan faktor amplifikasi (Pratama dkk, 2020). Nilai-nilai yang didapatkan dari kurva H/V akan diuji dengan *criteria for a reliable H/V curve* dari SESAME (2004). Pada Gambar 4.2 adalah kurva H/V yang menghasilkan amplifikasi (A_0) pada sumbu vertikal dan frekuensi dominan (f_o) pada sumbu horizontal. Garis putus-putus merupakan deviasi kurva, dan garis hitam tebal merupakan kurva H/V.



Gambar 4. 2 Kurrva H/V Pengukuran di titik 7

4.1.3 Frekuensi Dominan (f_0)

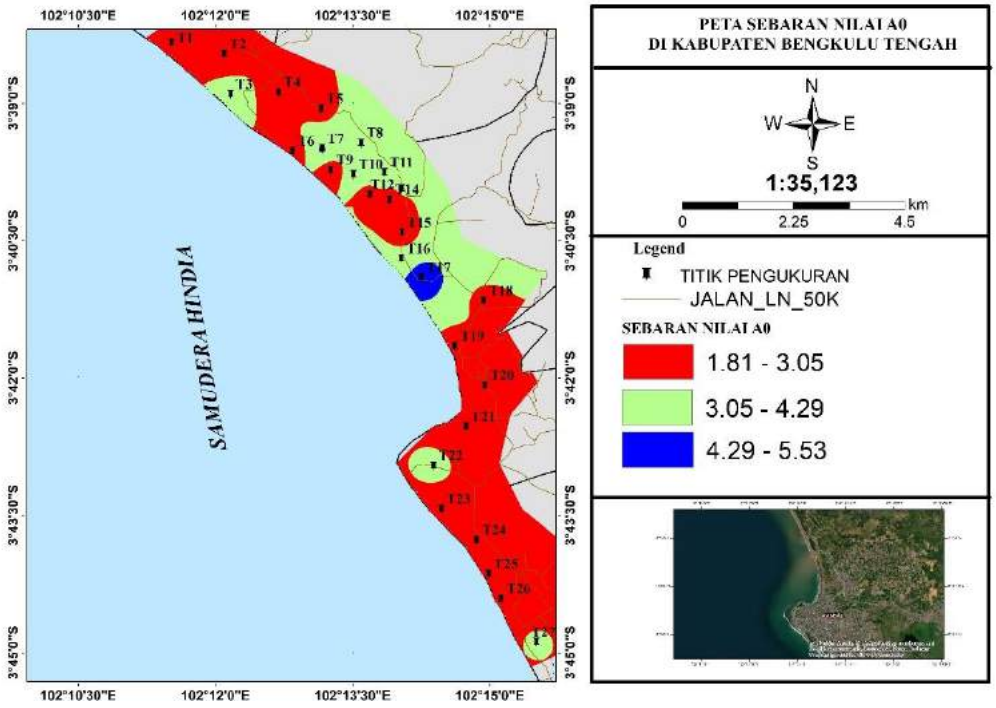
Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang sering muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut. Nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakterisktik batuan tersebut. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh kanai ada empat tipe tanah (Arifin, dkk, 2013). Pada Gambar 4.3 nilai frekuensi dominan terendah ditandai dengan warna merah yang berada pada titik pengukuran 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 17, 18, 19, 21, 24, 25, dan 26 merupakan daerah yang memiliki sedimen sangat tebal berdasarkan nilai frekuensi dominannya. Nilai sebaran frekuensi sedang ditunjukkan dengan warna kuning yaitu berada pada titik 2, 8, dan 9 dengan ketebalan sedimennya termasuk kategori menegah dan frekuensi dominan tertinggi termasuk kategori dengan sedimen yang tipis berdasarkan nilai frekuensi dominannya ditandai dengan warna hijau yaitu pada titik pengukuran 3, 15, 16, 20, 22, 23, dan 27.



Gambar 4. 3 Peta sebaran Frekuensi Dominan f_o

4.1.4 Amplifikasi (A_0)

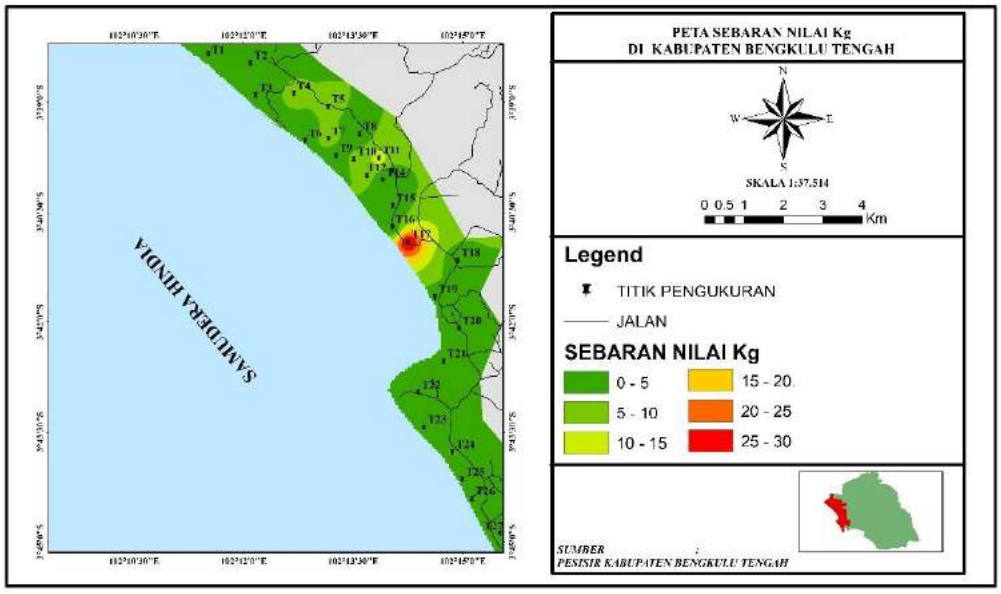
Pada Gambar 4.4 merupakan sebaran nilai amplifikasi dengan amplifikasi terendah ditunjukkan dengan warna merah dan amplifikasi terbesar ditunjukkan dengan warna biru tua. Nilai amplifikasi semakin besar maka semakin besar percepatan gerakan tanah di permukaan (Partono dkk, 2013). Dilihat dari sebaran nilai amplifikasi daerah Bengkulu tengah dominan dengan nilai amplifikasi rendah. Pada peta sebaran amplifikasi (A_o) titik pengukuran yang memiliki nilai kelas rendah yaitu 1, 2, 4, 5, 6, 9, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, dan 26. Kelas tinggi berada pada titik 7 dan 17.



Gambar 4. 4 Peta Sebaran Amplifikasi (A_o)

4.1.5 Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

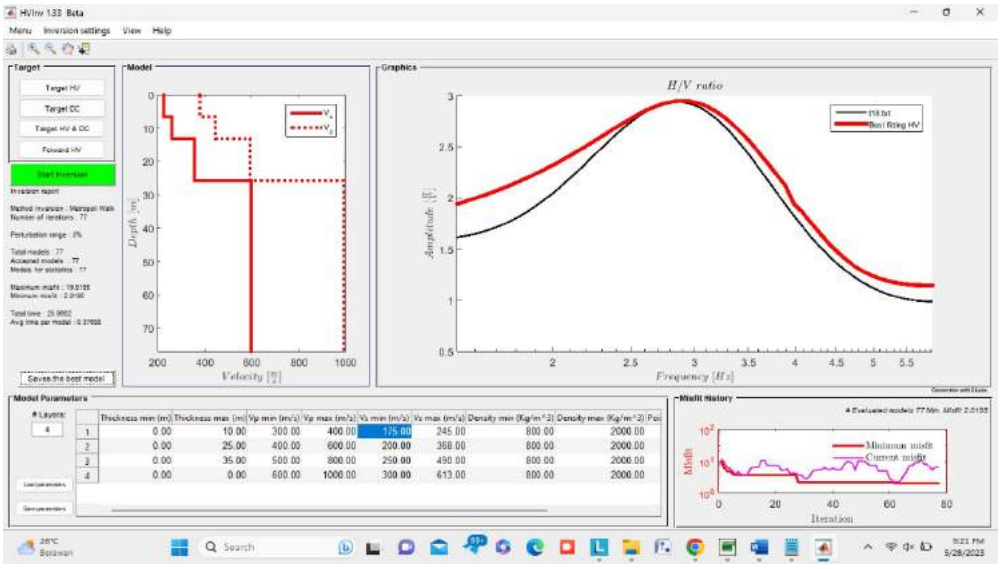
Nilai kerentanan seismik diklasifikasikan menjadi 3 kategori yaitu kecil, sedang, dan tinggi. Nilai Indeks Kerentanan Seismik yang tinggi umumnya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan sedimen yang lunak. Nilai yang tinggi tersebut mendeskripsikan bahwa daerah tersebut rentan terhadap getaran maupun pengikisan oleh gelombang. Sebaliknya, nilai Kg yang kecil umumnya ditemukan pada tanah dengan batuan penyusun yang kuat dan stabil sehingga saat terjadi getaran, daerah tersebut hanya mengalami guncangan yang kecil Berdasarkan Gambar 4.5 daerah pinggir pantai yang rentan terhadap getaran atau pengikisan oleh gelombang merupakan daerah yang memiliki nilai kerentan seismik tertinggi yaitu 30,69 ditandai dengan warna merah, dan nilai indeks kerentanan seismik terendah yaitu 0,54 ditandai dengan warna hijau tua.



Gambar 4. 5 Peta Sebaran Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

4.1.6 Inversi HVSR

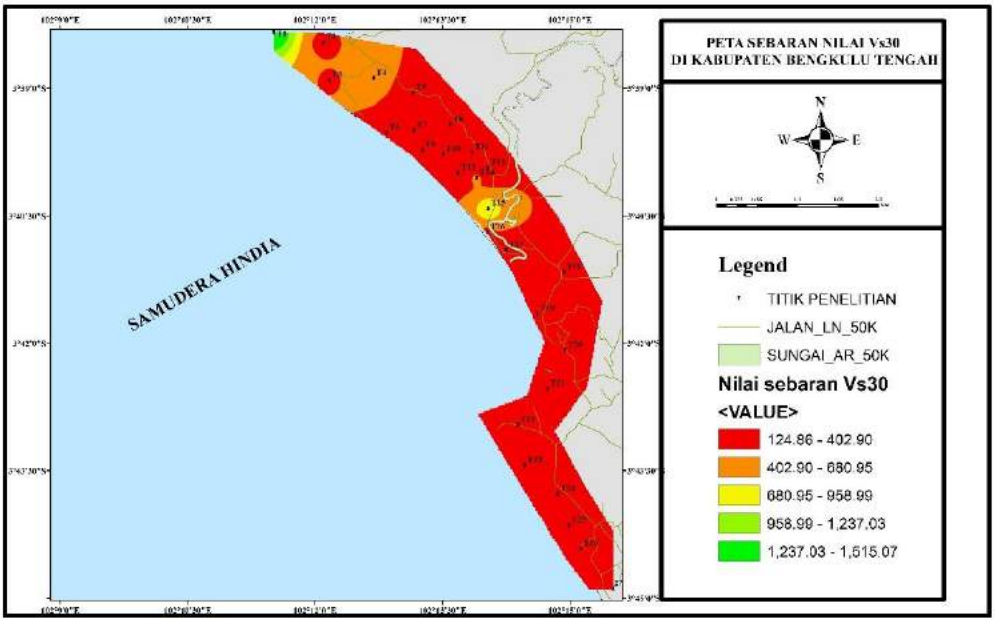
Nilai kecepatan gemobang geser (V_s) pada penelitian ini diperoleh dengan mengunakan data mikrotremor yang didapatkan dengan cara menginversi kurva HVSR. Inversi kurva HVSR mengunakan *software* HV-Inv beta, dimana algoritma pada *software* ini bekerja dengan cara melakukan iterasi pada parameter model kemudian dicocokan dengan kurva HVSR sampai mendapatkan model terbaik. Parameter model yang dimasukan pada setiap lapisan adalah ketebalan lapisan (h), rentang nilai (V_s), rentang nilai (V_p), rentang kerapatan massa (ρ), dan rentang rasio poisson (v). Pada Gambar 4.6 merupakan contoh hasil inversi kurva HVSR di titik 18, yang mana garis hitam merupakan kurva HVSR hasil pengukuran, sedangkan garis merah merupakan hasil inversi. Garis hitam dan merah harus saling berimpit dengan syarat nilai ketidakcocokan (*misfit)* yang kecil.



Gambar 4. 6 Proses Inversi HVSR di titik 18

4.1.7 Kecepatan gelombang geser (Vs)

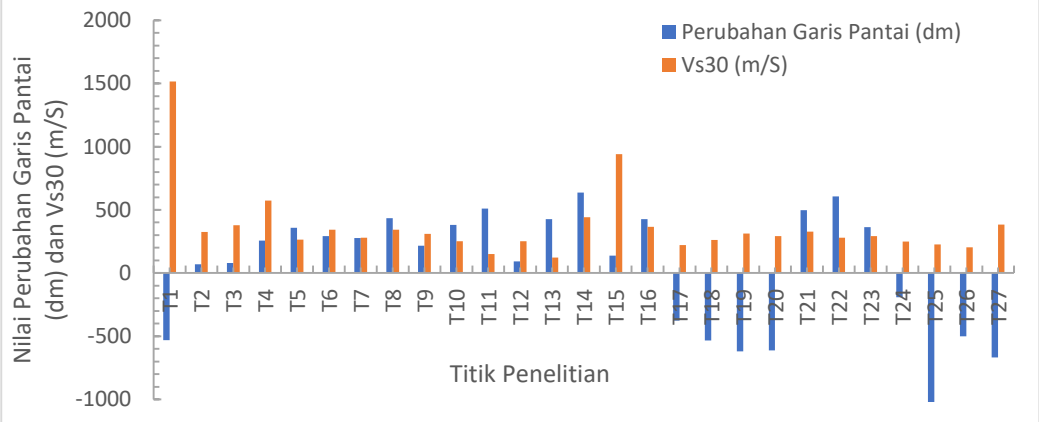
Klasifikasi tanah berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (Vs30) diklasifikasikan menjadi tanah lunak (SE) dengan nilai Vs kurang dari 175 m/s, tanah sedang (SD) dengan nilai Vs 175 hingga kurang dari 350 m/s, tanah keras / batuan lunak (SC) dengan nilai Vs lebih dari 350 hingga kurang dari 750 m/s, batuan (SB) dengan nilai Vs lebih dari 750 hingga kurang dari 1500 m/s serta batuan keras (SA) dengan nilai Vs lebih dari 1500 m/s (Sunardi dkk, 2019). Pada penelitian ini kurva HVSR pada 27 titik pengukuran mikrotremor diinversi mengunakan *software Hv-Inv Beta* maka akan didapatkan nilai kecepatan gelombang geser dan nilai kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter (V_s30). Berdasarkan nilai Vs30 pada kawasan pantai Bengkulu Tengah termasuk kategori tipe batuan yaitu tanah sedang, tanah sedang memiliki tekstur tanah yang berlempung, mineral-mineral yang mudah untuk terlepas, terangkat, bergerak, atau rentan terjadi pergerakan tanah. Sehingga pada daerah dengan nilai rata-rata kecapatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter rentan terjadi abrasi atau akresi. Pada Gambar 4.7 merupakan sebaran nilai *VS30* yang memiliki rentang nilai 124 m/s sampai 1515 m/s. Sebaran nilai *VS30* pada titik pengukuran yang nilainya rendah ditandai dengan warna merah, sedangkan nilai *VS30* dengan nilai tertinggi ditandai dengan warna hijau.



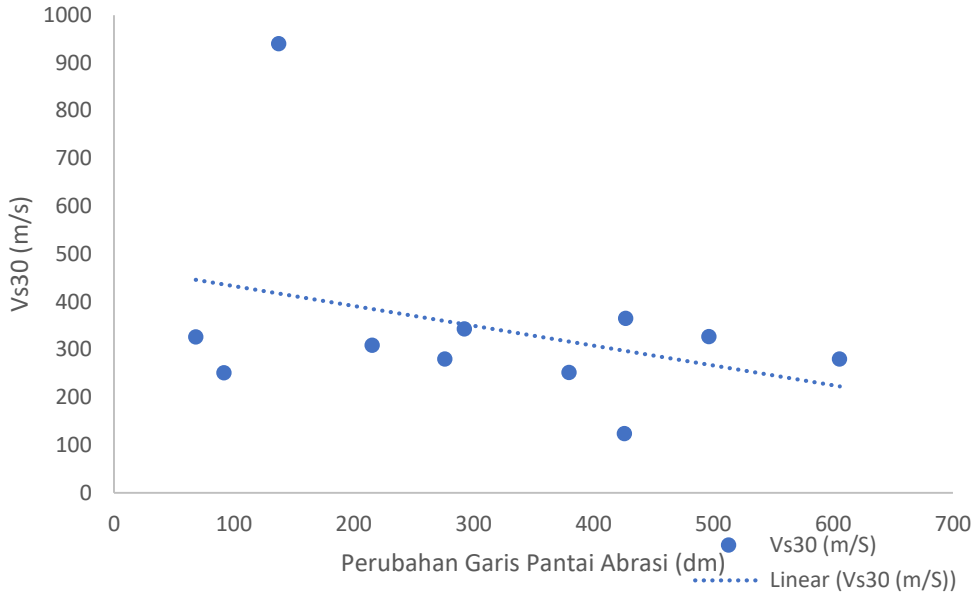
Gambar 4. 7 Peta Sebaran Nilai V_S30

4.1.8 Grafik hubungan perubahan garis pantai dan Vs30

Berdasarkan grafik hubungan perubahan garis pantai dan Vs30 dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai Vs30nya terdapat nilai abrasinya juga tinggi diduga karena pengaruh permukaan lautnya landai dan hantaman gelombang laut langsung mengenai tebing dengan nilai Vs30 tinggi sehingga hubungannya tidak linear akibat dari banyak faktor perubahan garis pantai tidak hanya karena faktor perlapisan Vs30 tetapi juga karena faktor sedimentasi atau adanya material yang terbawa oleh arus laut maupun muara sungai. Dapat dilihat pada titik 14 pada Gambar 4.8 terjadi nilai abrasi tinggi sedangkan nilai Vs30nya tinggi dan kondisi tanahnya keras atau padat.



Gambar 4. 8 Grafik Hubungan perubahan garis pantai dan Vs30



Gambar 4. 9 Grafik Hubungan perubahan garis pantai abrasi dan Vs30

Pada Gambar 4.9 titik yang ditampilkan hanya yang mengalamai abrasi saja dan nilai abrasi tidak terlalu dipengaruhi oleh nilai Vs30 untuk kasus di sekitar pantai Bengkulu Tengah berdasarkan data dan fakta yang telah dilakukan penelitian karena daerah yang terkena abrasi diduga mengalami proses penumpukan material akibat transpor sedimen atau akresi. Dari 11 titik penelitian yang mengalami abrasi yang jauh dari muara sungai, nilai Vs30 berkisar dantara 123 m/s – 364 m/s dan nilai abrasinya berkisar antara 68 dm – 600 dm dan terdapat satu titik nilai Vs30 940 m/s diduga anomali.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Perubahan garis pantai

Perubahan garis pantai yang terjadi diakibatkan oleh abrasi dan akresi, penyebab utama abrasi yaitu gelombang laut dan penyebab terjadinya akresi diakibatkan adanya sungai di sekitar pantai yang dapat membawa material-material yang terkandung di kawasan perairan sungai. Gelombang mengalami tranformasi yang kemudian membangkitkan arus didekat pantai. Arus yang bergerak disepanjang pantai memindahkan sedimen sehingga menyebabkan perubahan garis pantai. Selain itu, gelombang yang menerjang tebing pantai mengakibatkan berkurangnya daratan yang terkikis oleh gelombang. Perubahan terhadap garis pantai ini menyebabkan mundurnya garis pantai dan terancamnya fasilitas yang ada dikawasan pantai. Semakin tinggi atau besar nilai kecepatan perubahan garis pantai per tahunnya maka semakin parah kerusakan, sebaliknya

semakin kecil nilai kecepatan perubahan garis pantai semakin kecil juga kriteria kerusakannya.

Pada Gambar 4.1 dilihat 27 titik penelitian kecepatan perubahan garis pantai yang telah melalui tahap olah menggunakan *ArcGis* dengan meng*overlay* data tahun 2000 dan tahun 2020 dan data perubahan garis pantainya di undah di situs USGS. Titik penelitian tersebut kemudian dilakukan perhitungan dengan mengetahui antara jarak perubahan garis pantai dengan perubahan tahun, secara visual di 27 titik penelitian tersebut dan terlihat perubahan garis pantai dari tahun 2000 sampai tahun 2020. Gambar 4.1 menjelaskan bahwa pada tahun 2000 ditunjukan dengan warna merah lalu bergeser ke tahun 2020 ditunjukan pada warna ungu menunjukan bahwa daerah pantai Bengkulu Tengah telah mengalami kemunduran daratan akibat abrasi dan penambahan daratan akibat akresi.

Adapun kecepatan perubahan garis pantai yang berbeda di setiap titik penelitian berdasarkan hasil tersebut pada Tabel 4.1 titik penelitian yang mengalami kecepatan perubahan garis pantai paling tinggi yaitu sebesar 3,34 m/thn dititik 27 sedangkan titik penelitian yang mengalami kecepatan perubahan garis pantai terendah pada titik 2 yaitu sebesar 0,34 m/thn. Jarak tiap titik berbeda-beda sehingga hasil kecepatan perubahannya berbeda maka garis pantai akan mundur kearah daratan pun berbeda. Hal itu disebabkan oleh seberapa kuat ketahanan dan kerapatan tanah dalam menahan terjangan gelombang laut.

4.2.2 Data Mikrotremor Dengan Metode HSVR

Dalam analisis mikrotremor hubungan antara perbandingan spektrum komponen horizontal dibandingkan terhadap komponen vertikal merupakan metode HVSR. Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR yaitu frekuensi natural dan amplifikasi. Dari hasil penelitian didapatkan sebaran nilai frekuensi dominan (fo) yang didapatkan dari hasil pengolahan data mikrotremor di kawasan pantai Bengkulu Tengah. Analisis dengan HVSR dikenalkan oleh Nogoshi dan Igarashi (1971) yang selanjutnya di kembangkan oleh Nakamura (1989).

Konsep dasar metode HVSR adalah adanya kesamaan antara rasio spektra horizontal ke vertikal dengan transfer gelombang dari batuan dasar ke permukaan (Nakamura, 1989). Dalam metode HVSR diperoleh 3 komponen yang sangat penting yaitu komponen horizontal barat timur, horinzontal utara selatan, dan komponen vertikal. Panjang rekaman pengambilan data akan memuat berbagai informasi spektrum dari berbagai sinyal sehingga dilakukan pemisahan sinyal. Sinyal yang dipakai hanya 0,5 Hz hingga 20 Hz maka dianggap sebagai *noise* . Setelah didapatkan sinyal alami bawah permukaan, maka akan dilakukan perhitungan H/V yang hasilnya yaitu frekuensi natural dan amplifikasi. Nilai frekuensi natural diperoleh dari puncak pertama pada kurva H/V, sedangkan nilai amplifikasi diperoleh dari perhitungan H/V rata-rata panjang spektrumnya, sehingga frekuensi natural disebut sebagai komponen vertikal dan amplifikasi disebut komponen horizontal. Kurva H/V memiliki standar yang merujuk kepada SESAME *European Research Project* tahun 2004. Hasil yang diperoleh dari kurva H/V memberikan informasi berupa karakteristik geologi kawasan pantai Bengkulu Tengah dalam bentuk parameter frekuensi dominan (f_o) dan amplifikasi (A_0) yang akan digunakan dalam mendapatkan nilai indeks kerentanan seimik (K_g). Nilai frekuensi dominan (f_o), amplifikasi (A_0) dan indeks kerentanan seismk (K_g) digambarkan dalam bentuk peta sebaran. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sebaran tingkat kerentanan suatu daerah jika terjadi akitivitas gekombang laut.

Nilai frekuensi dominan berkaitan dengan kedalaman bidang pantul bagi gelombang di bawah permukaan, dimana bidang pantul ini merupakan batas antara lapisan sedimen lunak dengan batuan yang lebih keras, sehingga jika frekuensi yang terbentuk dari pemantulan gelombang tersebut bernilai kecil maka hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan sedimen atau semakin dalam bidang pantul gelombang tersebut. Berdasarkan peta sebaran frekuensi dominan (f_o) yang ditunjukan pada Gambar 4.3.

Frekuensi dominan dengan nilai lebih besar dominan pada daerah penelitian yaitu pada arah utara. Hasil f_o yang didapatkan cukup bervariasi dengan nilai minimum 1,00 Hz dan nilai maksimum 8,22 Hz yang tersebar pada 27 titik pengukuran. Berdasarkan Tabel 2.2 data f_0 hasil dari kurva HVSR, nilai

frekuensi dominan (f_o) dapat dikelompokkan menjadi empat kategori, yaitu dengan kelas I, kelas I,kelas III, dan kelas IV. Daerah dengan kelas I bersesuaian dengan batuan tersier lebih tua, terdiri dari batuan pasir berkerikil dan keras, ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis yang didominasi oleh batuan keras. Kelas II bersesuaian dengan sedimen menengah, batuan aluvial dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari pasir berkerikil *(sandy gravel)*, pasir bergelembung keras *(sandy hard clay*), tanah liat, lempung *(loam).* Kelas III bersesuaian dengan batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II tetapi dibedakan dengan formasi yang belum diketahui dan ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-3- meter. Kelas IV bersesuaian dengan batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, *top soil*, lumpur, dengan kedalaman 30 meter dan ketebalan sedimennya sangat tebal. Maka pada daerah penelitian dapat dikategorikan mimiliki frekuensi dominan (f_o) pada kelas III dengan ketebalan sedimen yang tebal. Kawasan Pantai Bengkulu Tengah yang dominan memiliki ketebalan sedimen yang tebal dimungkinkan karena akibat pengendapan pantai.

Selain memberikan informasi nilai frekuensi dominan (f_o) pada hasil pengolahan data mikrotremor tetapi juga memberikan informasi mengenai nilai amplifiasi (A_0) yang berada pada sumbu vertikal puncak kurva H/V. Nilai amplifikasi (A_0) yang besar maka sedimen di daerah itu semakin lunak, sebaliknya jika nilai amplifikasi (A_0) tanahnya rendah maka semakin keras lapisan sedimennya. Oleh karena itu, nilai amplifikasi (A_0) besar potensi kerusakan pantai di daerah tersebut semakin besar pada saat daerah tersebut terkena aktivitas gelombang laut. Nilai amplifikasi (A_0) di daerah penelitian diperoleh berkisar dari 2,04 hingga 3,78. Dari hasil tersebut lalu dibuat peta sebaran amplifikasi (A_0) di daerah peneltian seperti yang ditunjukan pada Gambar 4.4. Berdasarkan Tabel 2.1 Nilai amplifikasi (A_0) dibagi menjadi 2 kelas faktor amplifikasi yaitu kelas rendah dan sedang. Amplifikasi dengan kelas rendah dikarenakan pada daerah penelitian dikategorikan nilai amplifikasi A<3. Pada daerah dengan amplifikasi sedang memiliki nilai rentang amplifikasi antara $3 \leq A < 6$.

Dapat dilihat persebaran nilainya yang sangat acak. Saat frekuensi natural rendah nilai amplifikasi ada yang rendah dan ada yang tinggi begitu juga sebaliknya. Ketidak saling terkaitan kedua parameter ini dapat disebabkan oleh nilai ketebalan sedimen yang tidak terlalu berpengaruh pada nilai amplifikasi. Sementara untuk nilai frekuensi natural parameter ini merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh. Laju perubahan garis pantai dapat ditinjau dari ketebalan sedimen permukaan kawasan pantai Bengkulu Tengah.

Indeks kerentanan seismik (K_g) ditentukan dari nilai amplikasi dan frekuensi dominan dengan menguadratkan nilai amplifikasi dibagai dengan nilai frekuensi dominan Nilai K_g< 3 memiliki indeks kerentanan tanah yang rendah, 3< K_g<6 masuk kategori sedang dan K_g >6 termasuk kategori tinggi. Dari hasil perhitungan indeks kerentanan seismik (K_g) diperoleh nilai K_g dari 0,54 sampai 30,69. Semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik maka lapisan sedimennya tebal yang menandakan kondisi tanah pada daerah tersebut lebih rentan terhadap getaran sehingga tebing atau daratan kawasan pantai Bengkulu Tengah lebih mudah terkikis oleh gelombang laut sehingga mengalamai abrasi atau kemunduran daratan.Berdasarkan nilai Indeks kerentanan seismik yang diperoleh daerah kawasan pantai Bengkulu Tengah dominan pada kategori $K_g < 3$ dan $3<K_g < 6$ yaitu termasuk kategori kerentanan tanah yang rendah dan sedang sehingga ada daerah yang tidak rentan terhadap aktivitas gelombang.

4.2.3 Kecepatan Gelombang Geser (V_s)

Pada penelitian ini metode estimasi kecepatan gelombang geser (vs) menggunakan mikrotremor diperoleh dari analisis kurva H/Vdengan Inversi HVSR pada software HV-Inv beta bertujuan untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya dalam mencari ruang model dengan meminimalkan fungsi nilai misfit dengan prinsip *Monte Carlo*. Besar atau kecilnya nilai V_s yang dihasilkan dipengaruhi oleh tahapan seleksi data, *picking*, nilai *misfit* dan standar deviasi. Model dengan *misfit* terendah akan digunakan sebagai model terbaik.Variasi nilai kecepatan gelombang geser utamanya tergantung dari keras lunaknya lapisan tanah. Nilai berdasarkan nilai Vs perlapisan batuan jenis materialnya adalah lumpur lembut, pasir kering, dan

lempung dan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter pada kawasan pantai Bengkulu Tengah termasuk kategori tipe batuan yaitu tanah sedang, tanah sedang memiliki tekstur tanah yang berlempung, mineral-mineral yang mudah untuk terlepas, terangkat, bergerak, atau rentan terjadi pergerakan tanah.

4.2.4 Perubahan Garis pantai dan Vs30

Hubungan perubahan garis pantai dan Vs30 tidak linear akibat dari banyak faktor perubahan garis pantai tidak hanya karena faktor perlapisan Vs30 tetapi juga karena faktor sedimentasi atau adanya material yang terbawa oleh arus laut maupun muara sungai. Ketika gelombang menghamburkan material sedangkan arus laut membawa material tersebut ke arah laut dimana terjadi perubahan garis pantai berupa akresi atau penambahan daratan. Dapat dilihat pada titik 14 terjadi nilai abrasi tinggi sedangkan nilai Vs30nya tinggi dan kondisi tanahnya keras atau padat hal ini diduga akibat keadaan permukaan lautnya yang landai sehingga gelombangnya menghantam langsung tebingnya yang Vs30nya tinggi. Sedangkan pada titik 25 nilai akresinya tinggi dan nilai Vs30 di daerah tersebut rendah dapat diduga akibat arus laut yang membawa material sehingga terjadi penumpukan sedimen mengakibatkan penambahan daratan atau akresi. Secara keseluruhan titik penelitian yang mengalami abrasi, nilai abrasi tidak berpengaruh langsung oleh nilai Vs30 untuk kasus di pantai Bengkulu Tengah diduga ketika abrasi terjadi proses penumpukan material akibat transpor sedimen.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

1. Besar nilai perubahan garis pantai di sepanjang pantai Bengkulu Tengah yang diperoleh dengan pengolahan dan perhitungan pada 27 titik berkisar antara 0,34 m/thn sampai 3,34 m/thn.
2. Besar nilai Vs atau startigrafi Vs hingga kedalaman 30 m dengan mengunakan metode HVSR yaitu berkisar antara nilai 123 m/s sampai 1515 m/s
3. Hubungan laju abrasi dengan perlapisan batuan di sepanjang pantai Bengkulu tengah tidak linear karena tidak hanya faktor perlapisan yang mengakibatkan perubahan garis pantai tetapi ada beberapa faktor lainnya.

5.2 Saran

Pada penelitian ini dalam pengambilan data *citra satelit* memperhitungkan pasang surut dan pasang naik untuk menentukan penyebab terjadinya perubahan garis pantai apakah terjadi kemunduran akibat pasang naik atau sebaliknya. Pengambilan data mikrotremor perlu dilakukan pemantuan dari gangguan aktivitas sekitar sehingga data tidak sulit untuk diolah di *software Geopsy*. Untuk pengolahan inversi di Hvin Beta diharapkan nilai *misfit* kecil untuk mendapatkan *best model* dan kurva *best model* dengan kurva dari lapangan harus berhimpit.

DAFTAR PUSTAKA

Ambarsari, D. (2017). *Analisis Mikrotremor Dengan Metode Hvsr Untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta*. 95. Https://Repository.Its.Ac.Id/72120/

Angkotasan, A. M., Nurjaya, I. W., & Natih, N. M. N. (2017). Analisis Perubahan Garis Pantai Di Pantai Barat Daya Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, *3*(2), 11–22. Https://Doi.Org/10.24319/Jtpk.3.11-22

Apriansyah, A., Kushadijayanto, A. A., & Risko, R. (2019). Pengaruh Gelombang Pada Perubahan Garis Pantai Di Perairan Batu Burung Singkawang, Kalimantan Barat. *Positron*, *9*(1), 1. Https://Doi.Org/10.26418/Positron.V9i1.32632

Arief, M., Winarso, G., & Prayogo, T. (2011). Kajian Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Satelit Landsat Di Kabupaten Kendal. *Penginderaan Jauh*, *8*, 71–80.

Arifin, S. S., Bagus, B. S., Marjiyono, Roby, R. (2013.). Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi Hvsr Mikrotremor Dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa Dan Sekitarnya. *2*(1).

Arifudin, A. Mas. (2021). Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Dan Ketebalan Sedimen (H) Di Kabupaten Klaten Dari Data Mikrotremor. *Teknisia*, *Xxvi*(1). Https://Doi.Org/10.20885/Teknisia.Vol26.Iss1.Art6

Arintalofa, V., Yulianto, G., & Harmoko, U. (2020). Analisa Mikrotremor Menggunakan Metode Hvsr Untuk Mengetahui Karakteristik Bawah Permukaan Manifestasi Panas Bumi Diwak Dan Derekan Berdasarkan Nilai Vp. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, *1*(2), 54–61. Https://Doi.Org/10.14710/Jebt.2020.9276

Aryastana, P., Ardantha, I. M., & Agustini, N. K. A. (2017). Analisis Perubahan Garis Pantai Dan Laju Erosi Di Kota Denpasar Dan Kabupaten Badung Dengan Citra Satelit Spot. *Jurnal Fondasi*, *6*(2). Https://Doi.Org/10.36055/Jft.V6i2.2634

Ayub, S., & Zuhdi, M. (2022). *Aplikasi Konsep Gelombang Dalam Menentukan Struktur Bawah Permukaan Persawahan Sembalun Bumbung Bagi Mahasiswa Calon Guru*. 2718–2725.

Darmiati, Nurjaya, I. W., & Atmadipoera, A. S. (2020). Analisis Perubahan Garis Pantai Di Wilayah Pantai Barat Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, *12*(1), 211–222. Https://Doi.Org/10.29244/Jitkt.V12i1.22815

Dhita, A. P. (2022). *Analisa Gelombang Seismik Di Gunung Sinabung, Sumatera Utara Pada Periode Halaman Judul*.

Fadilah, Suripin, Sasongko, D., P. (2013). *Identifikasi Kerusakan Pantai Kabupaten Bengkulu Tengah Provinsi Bengkulu*. 337–341.

Fadilah. (2021). *Analisis Faktor Hidro-Oseanografi Terhadap Kerusakan Pantai Kecamatan Pondok Kelapa Kabupaten Bengkulu Tengah Dan Penentuan Konsep Penanganannya* (F. A. Rahmawati (Ed.)). Cv.Jakad Media Publishing.

Farid, M., Wahyudi, Brotopuspito, K., S., Sunarto, Suryanto, W. (2012). *Perubahan Garis Pantai Di Wilayah Rawan Gempabumi (Studi Kasus Di Kota Bengkulu)*. *September*, 10–13.

Haerudin, N., Alami, F., & Rustadi. (2019). *Mikroseismik, Mikrotremor Dan Microearthquake Dalam Ilmu Kebumian*.

Hasanudin, M., & Kusmanto, E. (2018). Abrasi Dan Sedimentasi Pantai Di Kawasan Pesisir Kota Bengkulu. *Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia*, *3*(3), 245. Https://Doi.Org/10.14203/Oldi.2018.V3i3.197

Hesti, Suharno, Mulyasari, & R.Hidayatika. (2021). Berdasarkan Data Mikrotremor Di Area Rumah Analysis Of Sediment Characteristic Based On Microtremor Data In Area Of Rumah Sakit. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, *07*(02), 150–159.

Hudha, S.N., Harmoko. U., Sugeng. W., Yusuf. D.H., Yulianto. G., S. (2014). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi Di Lapangan Panas Bumi Diwak Dan Derekan, Kecamatan Bergas. *Ejournal3.Undip.Ac.Id*, *3*(3), 263–268. Https://Ejournal3.Undip.Ac.Id/Index.Php/Bfd/Article/View/5944

Lubis, D., P., Pinem, M., Simanjuntak, M., A., N. (2017). Analisis Perubahan Garis Pantai Dengan Menggunakan Citra Penginderaan Jauh (Studi Kasus Di Kecamatan Talawi Kabupaten Batubara). *Jurnal Geografi*, *9*(1), 21. Https://Doi.Org/10.24114/Jg.V9i1.6044

Nakamura, Y. (2000). *Clear Ldentification Of Fundamental Ldea Of Nakamura's*.

Natasya, I., D, Puspa, M., L., Putri, E., G., G., R. (2022). *Upaya Mitigasi Bencana Longsor Jalan Lintas Bengkulu-Kepahiang Berdasarkan Kecepatan Gelombang Geser (Vs)*. *3*(1), 33–37.

Nugraha, I. N. J., Karang, I. W. G. A., & Dharma, I. G. B. S. (2017). Studi Laju Perubahan Garis Pantai Di Pesisir Tenggara Bali Menggunakan Citra Satelit Landsat (Studi Kasus Kabupaten Gianyar Dan Klungkung). *Journal Of Marine And Aquatic Sciences*, *3*(2), 204.

Opa, E. T. (2011). Perubahan Garis Pantai Desa Bentenan Kecamatan Pusomaen, Minahasa Tenggara. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan Tropis*, *7*(3), 109. Https://Doi.Org/10.35800/Jpkt.7.3.2011.187

Partono, W., Irsyam, M., Prabandiyani, S., & Maarif, S. (2013). Aplikasi

Metode Hvsr Pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah Di Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Dan Terapan Bidang Teknik Sipil*, *19*(2), 125–134.

Pratama I.P.D., Priyanto Dwi. K., N. P. K. G. A. (2020). Ambient Seismic Noise Analysis Of Nyepi Cellebration Day In Denpasar, Bali Using Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio (Hvsr). *Pure And Applied Geophysics*, *177*(8), 3831–3849. Https://Doi.Org/10.1007/S00024-020-02424-0

Putra, I. M. A. W., Susanto, A., & Soesanti, I. (2015). Pemodelan Perubahan Garis Pantai Dengan Metode End Point Rate Pada Citra Satelit Landsat. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Multimedia 2015*, *4*, 6–8.

Raihansyah, T., Setiawan, I., Rizwan Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Kelautan Dan Perikanan Universitas Syiah Kuala Darussalam, T., & Aceh, B. (2016). Studi Perubahan Garis Pantai Di Wilayah Pesisir Perairan Ujung Blang Kecamatan Banda Sakti Lhokseumawe. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan Dan Perikanan Unsyiah*, *1*(1), 46–54.

Ramalis, T. (2015). *Seram Dengan Penampang Seismik 2d Dan Batimetri*. *3*(1).

Refrizon, R., Sugianto, N., & Bernard, A. (2019). Penentuan Stratigrafi Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Di Daerah Rawan Abrasi Kabupaten Bengkulu Utara Menggunakan Metode Multichannel Analysis Of Surface Wave (Masw). *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, *6*(2), 15–20. Https://Doi.Org/10.36754/Jmkg.V6i2.119

Setiawan, J. H. (2009). Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta Dan Sekitarnya. In *Institut Teknologi Bandung, Bandung*. Institut Teknologi Bandung.

Sitorus, N., Purwanto, S., & Utama, W. (2017). Analisis Nilai Frekuensi Natural Dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor Hvsr. *Jurnal Geosaintek*, *3*(2), 89. Https://Doi.Org/10.12962/J25023659.V3i2.2962

Sugianto, N., Refrizon, Irkhos, Al-Hakim, M., M. (2022). *Struktur Kecepatan Gelombang Geser Dan Ground Shear Strain Daerah Rawan Abrasi Bengkulu Utara, Indonesia*. *7*(2), 149–162.

Sunardi, Bambang, Siti Naimah, Dkk. (2019). Vs30 Mapping And Soil Classification In The Southern Part Of Kulon Progo Using Rayleigh Wave Ellipticity Inversion. *Jgise: Journal Of Geospatial Information Science And Engineering*, *1*(2), 58–64. Https://Doi.Org/10.22146/Jgise.39780

Usaman, I. M. A. (2021). *Analisis Perubahan Garis Pantai Berdasarkan Data Citra Satelit Di Wilayah Pesisir Kota Makassar Provinsi Sulawesi Selatan*. *3*(March), 6.

Widiasmi, E. (2022). *Mitigasi Erosi Pantai Rawan Gempa Bumi Menggunakan Data Perubahan Garis Pantai, Metode Ambient Noise, Dan Vs30*. Universitas Bengkulu.

LAMPIRAN 1

Tabel Hasil Perhitungan dari Geopsy

Nama Titik	X	Y	Elevation (m)	A_0	f_0	K_g
T1	102,1919	-3,63918	13,50	2,54	2,51	2,57
T2	102,2016	-3,64123	22,70	2,22	3,97	1,24
T3	102,2027	-3,64855	12,10	3,78	6,09	2,35
T4	102,2115	-3,64816	17,00	2,61	1,05	6,49
T5	102,2192	-3,65117	8,80	2,82	1,31	6,07
T6	102,214	-3,65889	13,60	2,42	1,68	3,49
T7	102,2194	-3,65842	5,70	4,40	2,68	7,22
T8	102,2265	-3,6574	6,90	3,64	3,93	3,37
T9	102,221	-3,66233	6,50	2,46	4,32	1,40
T10	102,2251	-3,66312	9,50	3,42	1,91	6,12
T11	102,2308	-3,6628	7,40	3,83	1,05	13,97
T12	102,2281	-3,66679	6,40	2,81	1,11	7,11
T13	102,2339	-3,66575	10,00	3,11	2,09	4,63
T14	102,2317	-3,66779	9,00	2,53	7,32	0,87
T15	102,234	-3,67372	9,70	2,71	8,22	0,89
T16	102,2338	-3,67846	8,70	3,16	5,98	1,67
T17	102,2375	-3,68192	11,30	5,54	1,00	30,69
T18	102,2488	-3,68618	11,60	2,93	2,84	3,02
T19	102,2436	-3,69443	5,20	2,84	1,80	4,48
T20	102,2491	-3,70157	11,90	2,50	8,01	0,78
T21	102,2456	-3,70908	8,80	1,81	1,22	2,69
T22	102,2397	-3,71618	20,90	3,49	7,14	1,71
T23	102,2411	-3,72409	13,80	2,06	7,90	0,54
T24	102,2476	-3,72973	11,90	2,71	1,29	5,69
T25	102,2498	-3,73593	8,30	2,23	2,69	1,85
T26	102,2521	-3,74041	5,70	2,04	2,44	1,71
T27	102,2585	-3,74828	6,60	3,16	5,99	1,67

LAMPIRAN 2

Hasil Inversi

Nama Titik	Vs1	d1	Vs2	d2	Vs3	d3	Vs4	d4	Vs30	kelas tanah
T1	168,00	8,31	289,00	14,24	305,00	7,45	407,00	0,00	1515,866	B
T2	187,00	6,43	343,00	5,60	391,00	1,71	467,00	17,26	325,9301	C
T3	260,00	8,53	445,00	16,57	529,00	4,90	628,00	0,00	378,2797	C
T4	233,00	9,46	246,00	19,35	320,00	1,19	475,00	0,00	573,0616	C
T5	240,00	7,16	262,00	17,17	305,00	5,67	525,00	0,00	263,2552	D
T6	230,00	6,34	287,00	9,06	318,00	14,60	557,00	0,00	343,4431	C
T7	181,00	2,65	228,00	4,86	275,00	16,68	550,00	5,81	279,9164	D
T8	184,00	4,68	290,00	7,50	364,00	5,88	600,00	11,94	343,4432	C
T9	217,00	7,57	357,00	11,24	397,00	11,19	550,00	0,00	308,9647	D
T10	216,00	4,54	243,00	13,04	329,00	15,91	484,00	0,00	251,7157	D
T11	222,00	9,30	252,00	13,10	278,00	7,60	510,00	0,00	151,2510	E
T12	222,00	5,15	246,00	12,27	272,00	12,58	489,00	0,00	251,4116	D
T13	191,00	5,64	239,00	10,18	395,00	10,58	521,00	3,60	123,5401	E
T14	276,00	9,59	365,00	10,08	394,00	1,33	551,00	0,00	441,2769	C
T15	314,00	9,19	460,00	19,63	526,00	1,18	617,00	0,00	940,0808	B
T16	190,00	3,27	322,00	8,04	467,00	18,69	551,00	0,00	364,9596	D
T17	181,00	3,45	206,00	14,18	259,00	12,37	587,00	0,00	221,147	D
T18	226,00	6,50	226,00	6,69	258,00	12,69	598,00	4,12	262,1495	D
T19	212,00	2,68	242,00	12,91	483,00	14,41	595,00	0,00	313,0773	D
T20	215,00	6,43	312,00	14,88	353,00	8,69	560,00	0,00	293,4937	D
T21	234,00	1,54	326,00	7,73	337,00	20,73	569,00	0,00	326,7753	D
T22	174,00	6,05	325,00	21,64	401,00	2,31	506,00	0,00	280,072	D
T23	239,00	6,19	299,00	15,22	338,00	8,59	526,00	0,00	293,4938	D
T24	227,00	9,13	259,00	20,87	370,00	0,00	527,00	0,00	248,3456	D
T25	184,00	13,94	273,00	9,70	298,00	6,36	365,00	0,00	226,1859	D
T26	235,00	9,10	309,00	17,40	402,00	3,50	459,00	0,00	202,5100	D
T27	190,00	3,00	356,00	9,58	488,00	17,42	510,00	0,00	382,6711	C

LAMPIRAN 3

Uji Validasi Nilai Kurva H/V berdasarkan "*criteria for a reliable H/V curve*"

(SESAME, 2004)

i. Syarat Pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

ii. Syarat kedua $n_c (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A (f) < 2$, atau

Jika $f_0 < 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A(f) < 3$

Perhitungan

T1

Diketahui : f_0 : 2,51

I_w : 15,00

n_w : 89

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$2{,}51 > \frac{10}{15}$

$2{,}51 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 89 \times 2{,}51 = 3.350.85 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A (f) < 2$

$= \frac{(2{,}99-2{,}69)+(2{,}69-2{,}20)}{2} = 0{,}40 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T2

Diketahui : f_0 : 3,97

I_w : 15,00

n_w : 70

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

3,97 > $\frac{10}{15}$

3,97 > 0,66

ii. Syarat kedua, $n_c (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 70 \times 3,97 = 4.168,5 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0,5$ Hz, maka $\sigma A (f) < 2$

$= \frac{(2,42 - 2,23)+(2,23-2,15)}{2} = 0,14 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T3

Diketahui : f_0 6,09

I_w : 15,00

n_w : 65

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

6,09 > $\frac{10}{15}$

6,09 > 0,66

ii. Syarat kedua, $n_c (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 65 \times 6,09 = 5.937,75 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0,5$ Hz, maka $\sigma A (f) < 2$

$= \frac{(4,23-3,79)+(3,79-3,39)}{2} = 0,42 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T4

Diketahui : f_0 : 1,05

I_w : 15,00

n_w : 59

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$1,05 > \frac{10}{15}$

1,05 > 0,66

ii. Syarat kedua, $n_c (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 59 \times 1,05 = 929,25 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0,5$ Hz, maka $\sigma A (f) < 2$

$= \frac{(3,12 - 3,62) + (3,62 - 2,41)}{2} = 0,36 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T5

Diketahui : f_0 :1,31

I_w : 15,00

n_w : 74

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$1,31 > \frac{10}{15}$

1,31 > 0,66

ii. Syarat kedua, $n_c (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 74 \times 1,31 = 1.454,1 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0,5$ Hz, maka $\sigma A (f) < 2$

$= \frac{(3,42 - 2,85) + 2,85 - 2,05)}{2} = 0,69 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T6

Diketahui : f_0 :1,68

I_w : 15,00

n_w : 84

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$1{,}68 > \frac{10}{15}$

1,68 > 0,66

ii. Syarat kedua, $n_c (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 84 \times 1{,}68 = 2.116{,}8 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A (f) < 2$

$= \frac{2{,}88 - 2{,}22) + (2{,}22 - 2{,}11)}{2} = 0{,}39 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T7

Diketahui : f_0 :2,68

I_w : 15,00

n_w :67

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$2{,}68 > \frac{10}{15}$

2,68 > 0,66

ii. Syarat kedua, $n_c (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 67 \times 2{,}68 = 2.693{,}4 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A (f) < 2$

$= \frac{(4,59-4,19)+(4,19-3,79)}{2} = 0,4 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T8

Diketahui : f_0 : 3,93

I_w : 15,00

n_w : 91

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$3,93 > \frac{10}{15}$

$3,93 > 0,66$

ii. Syarat kedua, $n_c (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 91 \times 3,93 = 5.364,45 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0,5$ H_Z, maka $\sigma A (f) < 2$

$= \frac{4,25- 3,71)+(3,71-2,98)}{2} = 0,64 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T9

Diketahui : f_0 4,32

I_w : 15,00

n_w :99

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$4,32 > \frac{10}{15}$

$4,32 > 0,66$

ii. Syarat kedua, $n_c (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 99 \times 4,32 = 6.415,2 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika f_0 > 0,5 H_Z, maka $\sigma A\ (f) < 2$

$= \frac{2,78- 2,55)+(2,55-2,15)}{2} = 0,31 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T10

Diketahui : f_0 : 1,91

I_w : 15,00

n_w : 71

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$1,91 > \frac{10}{15}$

1,91 > 0,66

ii. Syarat kedua, $n_c\ (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 71 \times 1,91 = 2.034,15 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika f_0 > 0,5 H_Z, maka $\sigma A\ (f) < 2$

$= \frac{(4,11- 3,41)+(3,41-2,89)}{2} = 0,61 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T11

Diketahui : f_0 : 1,05

I_w : 15,00

n_w : 53

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$1,05 > \frac{10}{15}$

1,05 > 0,66

ii. Syarat kedua, $n_c\ (f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 53 \times 1{,}05 = 834{,}75 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(4{,}78-3{,}95)+(3{,}95-2{,}28)}{2} = 1{,}25 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T12

Diketahui : f_0 : 1,11

I_w : 15,00

n_w : 63

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$1{,}11 > \frac{10}{15}$

$1{,}11 > 0{,}6667$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 63 \times 1{,}11 = 1.048{,}95 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(3{,}45-2{,}77)+(2{,}77-2{,}25)}{2} = 0{,}6 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T13

Diketahui : f_0 : 2,09

I_w : 15,00

n_w : 78

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$2{,}09 > \frac{10}{15}$

$2{,}09 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 78 \times 2{,}09 = 2.445{,}3 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(3{,}75 - 3{,}19)+(3{,}19-2{,}45)}{2} = 0{,}65 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T14

Diketahui : f_0 : 7,32

I_w : 15,00

n_w : 86

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$7{,}32 > \frac{10}{15}$

$7{,}32 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 86 \times 7{,}32 = 9.442{,}8 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(2{,}92 - 2{,}55)+(2{,}55-2{,}35)}{2} = 0{,}29 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T15

Diketahui : f_0 : 7,89

I_w : 15,00

n_w : 94

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$7{,}89 > \frac{10}{15}$

$7{,}89 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 94 \times 7,89 = 11.124,9 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0,5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(3,18 - 2,76)+(2,76-2,55)}{2} = 0,32 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T16

Diketahui : f_0 : 5,98

I_w : 15,00

n_w : 74

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$5,98 > \frac{10}{15}$

$5,98 > 0,66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 74 \times 5,98 = 6.637,8 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0,5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(4,18 - 3,15)+(3,15-2,32)}{2} = 0,93 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T17

Diketahui : f_0 : 1

I_w : 15,00

n_w : 61

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$1 > \frac{10}{15}$

$1 > 0,66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 61 \times 1 = 915 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(6{,}5 - 5{,}12)+(5{,}12-3{,}21)}{2} = 0{,}64 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T18

Diketahui : f_0 : 2,84

I_w : 15,00

n_w : 94

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$2{,}84 > \frac{10}{15}$

$2{,}84 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 94 \times 2{,}84 = 4.004{,}4 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(3{,}21 - 2{,}95)+(2{,}95-2{,}55)}{2} = 0{,}33 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T19

Diketahui : f_0 : 1,8

I_w : 15,00

n_w : 46

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$1{,}8 > \frac{10}{15}$

$1{,}8 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 46 \times 1{,}8 = 1.242 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(3{,}42 - 285) + (2{,}85 - 2{,}25)}{2} = 0{,}59 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T20

Diketahui : f_0 : 8,01

I_w : 15,00

n_w : 94

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$8{,}01 > \frac{10}{15}$

$8{,}01 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 94 \times 8{,}01 = 11.294{,}1 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(2{,}89 - 2{,}55) + (2{,}55 - 2{,}21)}{2} = 0{,}34 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T21

Diketahui : f_0 : 1,22

I_w : 15,00

n_w :81

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$1{,}22 > \frac{10}{15}$

$1{,}22 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 81 \times 1{,}22 = 1.482{,}3 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(2{,}15-1{,}75)+(1{,}75-1{,}45)}{2} = 0{,}35 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T22

Diketahui : f_0 : 7,14

I_w : 15,00

n_w : 73

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$7{,}14 > \frac{10}{15}$

$7{,}14 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 73 \times 7{,}14 = 7.818{,}3 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(4{,}17-3{,}51)+(3{,}51-2{,}95)}{2} = 0{,}61 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T23

Diketahui : f_0 : 7,9

I_w : 15,00

n_w : 105

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$7{,}9 > \frac{10}{15}$

$7{,}9 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 105 \times 7{,}9 = 12.442{,}5 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(2{,}42 - 2{,}15)+(2{,}15-1{,}59)}{2} = 0{,}42 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T24

Diketahui : f_0 : 1,29

I_w : 15,00

n_w : 36

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$1{,}29 > \frac{10}{15}$

$1{,}29 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 36 \times 1{,}29 = 696{,}6 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(3{,}23 - 2{,}59)+(2{,}59-2{,}16)}{2} = 0{,}54 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T25

Diketahui : f_0 : 2,69

I_w : 15,00

n_w : 94

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$2{,}69 > \frac{10}{15}$

$2{,}69 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 94 \times 2{,}69 = 3{,}792{,}9 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(2{,}45 - 2{,}25)+(2{,}25-1{,}95)}{2} = 0{,}25 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T26

Diketahui : f_0 :2,44

I_w : 15,00

n_w : 60

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$2{,}44 > \frac{10}{15}$

$2{,}44 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 60 \times 2{,}44 = 2.196 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

$= \frac{(2{,}42 - 2{,}15)+(2{,}15-1{,}59)}{2} = 0{,}42 < 2$ **(memenuhi syarat)**

T27

Diketahui : f_0 : 5,99

I_w : 15,00

n_w : 74

i. Syarat pertama, $f_0 > \frac{10}{I_w}$

$74 > \frac{10}{15}$

$74 > 0{,}66$

ii. Syarat kedua, $n_c\,(f_0) > 200$

Dimana :

$n_c = I_w \times n_w \times f_0$

$n_c = 15 \times 74 \times 5{,}99 = 6.648{,}9 > 200$

iii. Syarat ketiga, Jika $f_0 > 0{,}5$ Hz, maka $\sigma A\,(f) < 2$

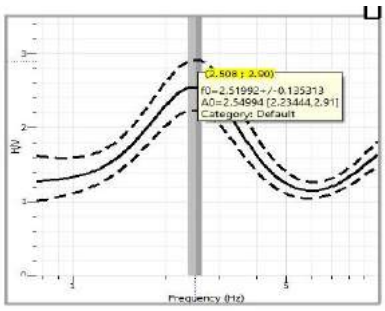
$= \frac{(4{,}25 - 3{,}25) + (3{,}25 - 2{,}35)}{2} = 0{,}95 < 2$ **(memenuhi syarat)**

Tabel *Criteria for reliable curve*

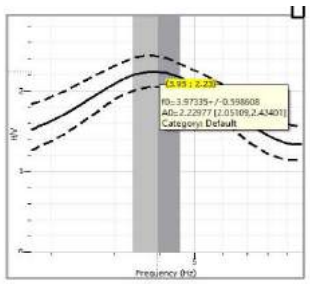
Titik pengukuran	F_0	I_w	n_w	*Tabel criteria for reliable curve*		
				Criteria for reliable curve		
				i	ii	iii
Titik 1	2,51	15	89	0,66	3350,85	0,4
Titik 2	3,97	15	70	0,66	4168,5	0,14
Titik 3	6,09	15	65	0,66	5937,75	0,42
Titik 4	1,05	15	59	0,66	929,25	0,36
Titik 5	1,31	15	74	0,66	1454,1	0,67
Titik 6	1,68	15	84	0,66	2116,8	0,34
Titik 7	2,68	15	67	0,66	2693,4	0,4
Titik 8	3,93	15	91	0,66	5364,45	0,64
Titik 9	4,32	15	99	0,66	6415,2	0,31
Titik 10	1,91	15	71	0,66	2034,15	0,61
Titik 11	1,05	15	53	0,66	834,75	1,25
Titik 12	1,11	15	63	0,66	1048,95	0,6
Titik 13	2,09	15	78	0,66	2445,3	0,65
Titik 14	7,32	15	86	0,66	9442,8	0,29
Titik 15	7,89	15	94	0,66	11124,9	0,31
Titik 16	5,98	15	74	0,66	6637,8	0,93
Titik 17	1	15	61	0,66	915	1,65
Titik 18	2,84	15	94	0,66	4004,4	0,33
Titik 19	1,8	15	46	0,66	1242	0,59
Titik 20	8,01	15	94	0,66	11294,1	0,34
Titik 21	1,22	15	81	0,66	1482,3	0,35
Titik 22	7,14	15	73	0,66	7818,3	0,61

Titik 23	7,9	15	105	0,66	12442,5	0,42
Titik 24	1,29	15	36	0,66	696,6	0,54
Titik 25	2,69	15	94	0,66	3792,9	0,25
Titik 26	2,44	15	60	0,66	2196	0,42
Titik 27	5,99	15	74	0,66	6648,9	0,95

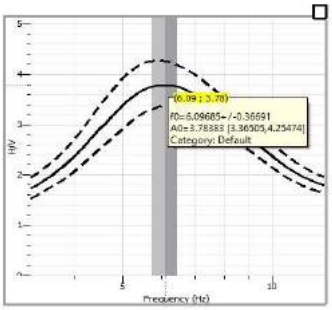
LAMPIRAN 4
Hasil Pengolahan Data Menggunakan *Software Geopsy*



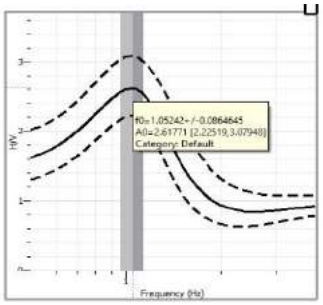
TITIK 1



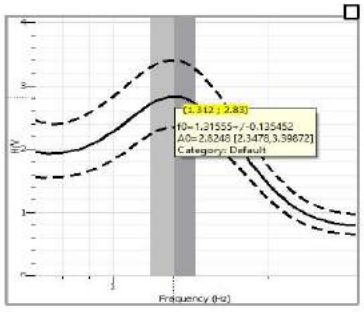
TITIK 2



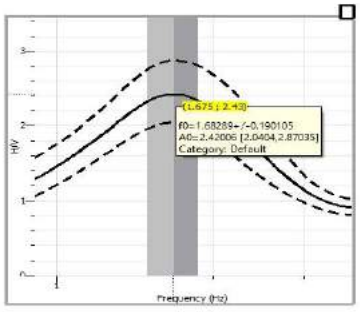
TITIK 3



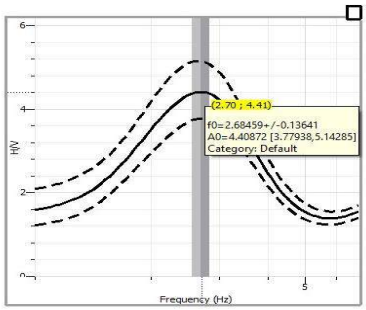
TITIK 4



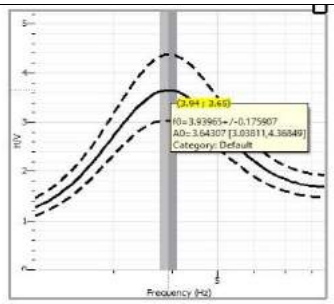
TITIK 5



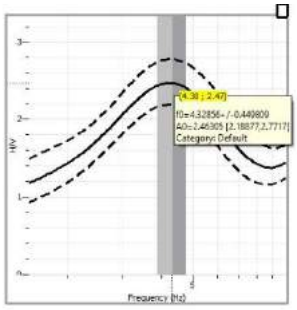
TITIK 6



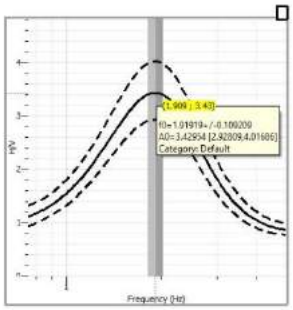
TITIK 7



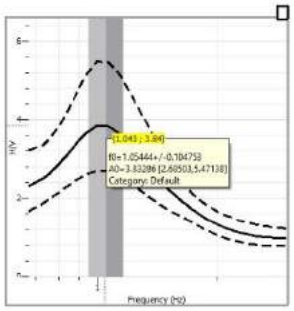
TITIK 8



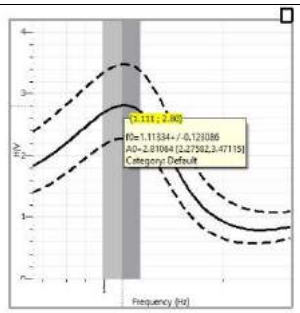
TITIK 9



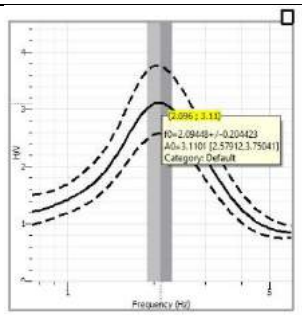
TITIK 10



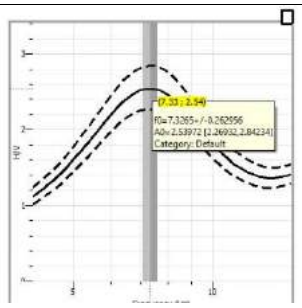
TITIK 11



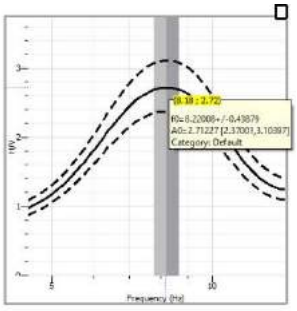
TITIK 12



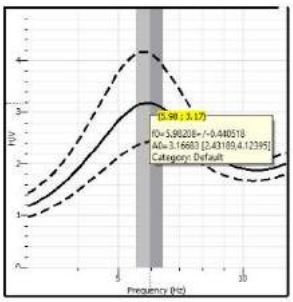
TITIK 13



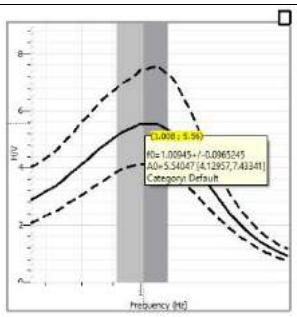
TITIK 14



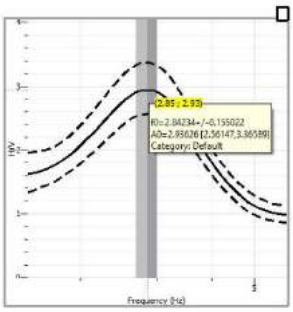
TITITK 15



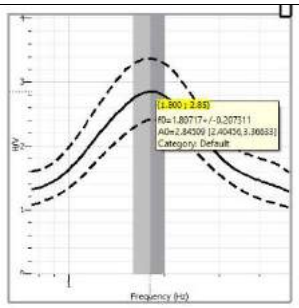
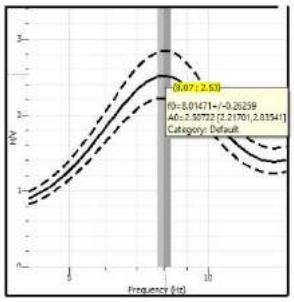
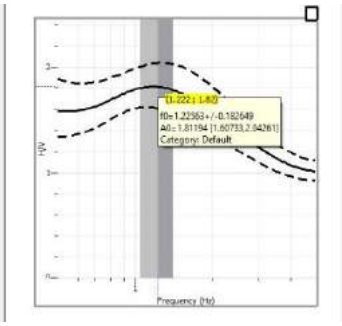
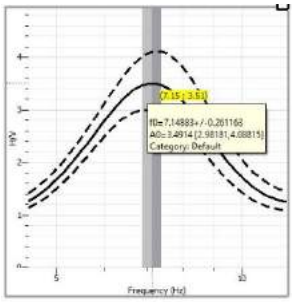
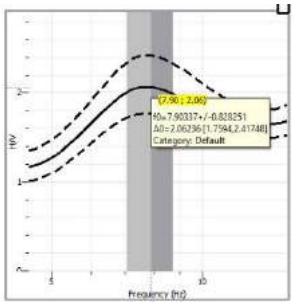
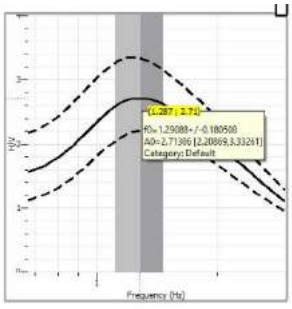
TITIK 16

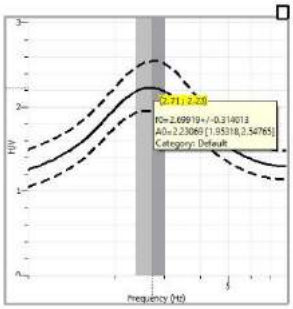
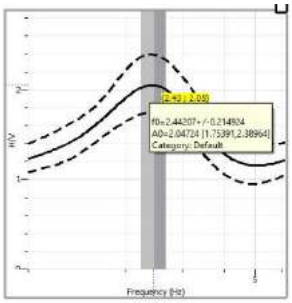
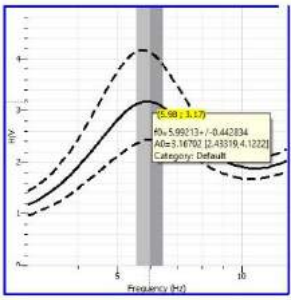


TITIK 17



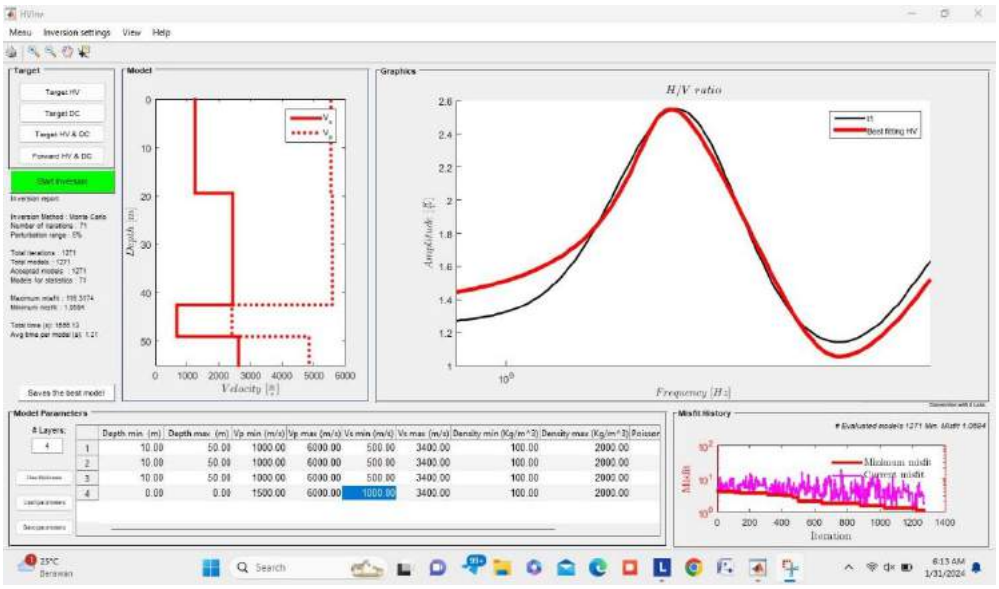
TITIK 18

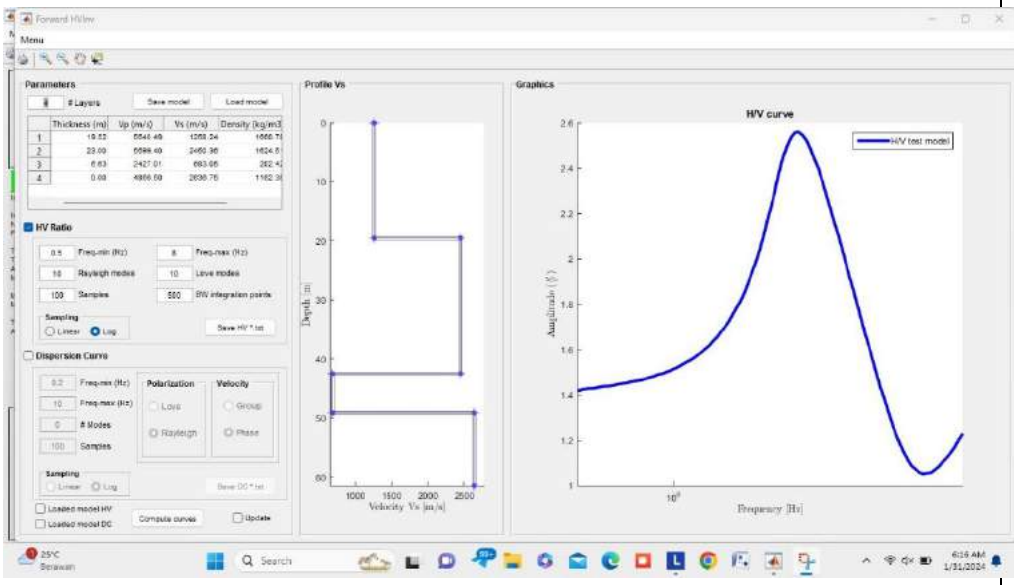
 **TITIK 19**	 **TITIK 20**
 **TITIK 21**	 **TITIK 22**
 **TITIK 23**	 **TITIK 24**

 **TITIK 25**	 **TITIK 26**
 **TITIK 27**	

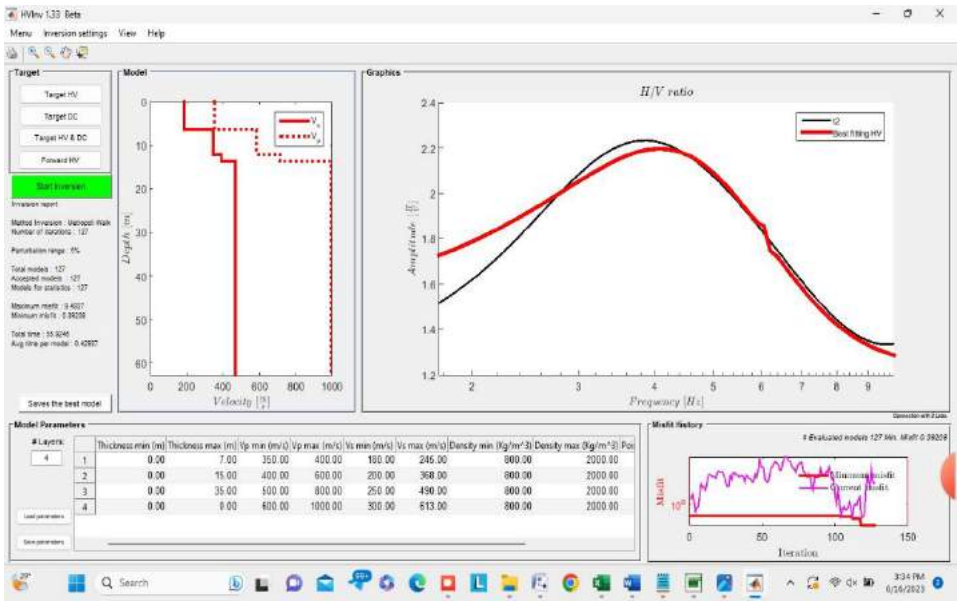
LAMPIRAN 5

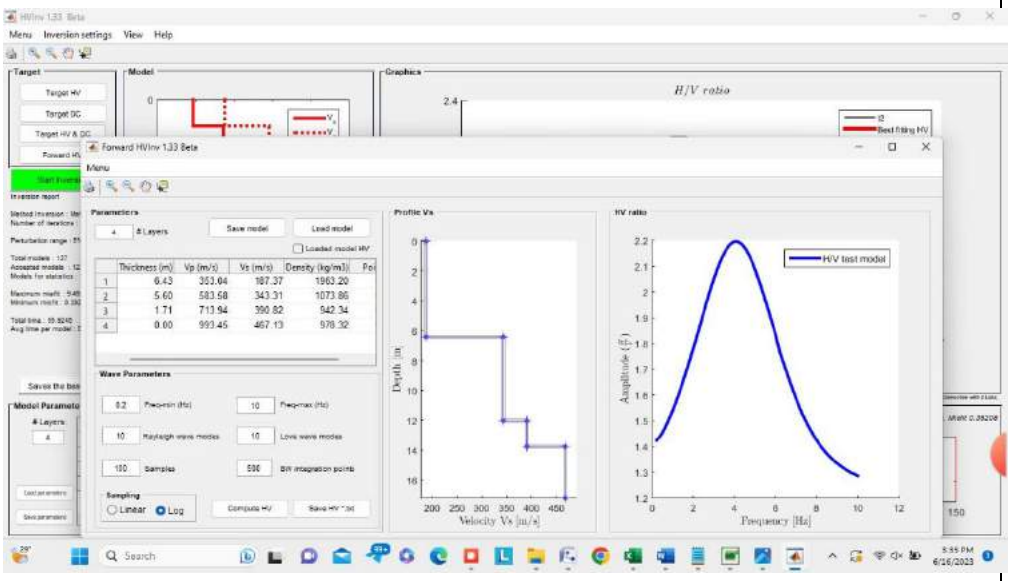
Hasil Pengolahan Data Menggunakan HV-In Beta



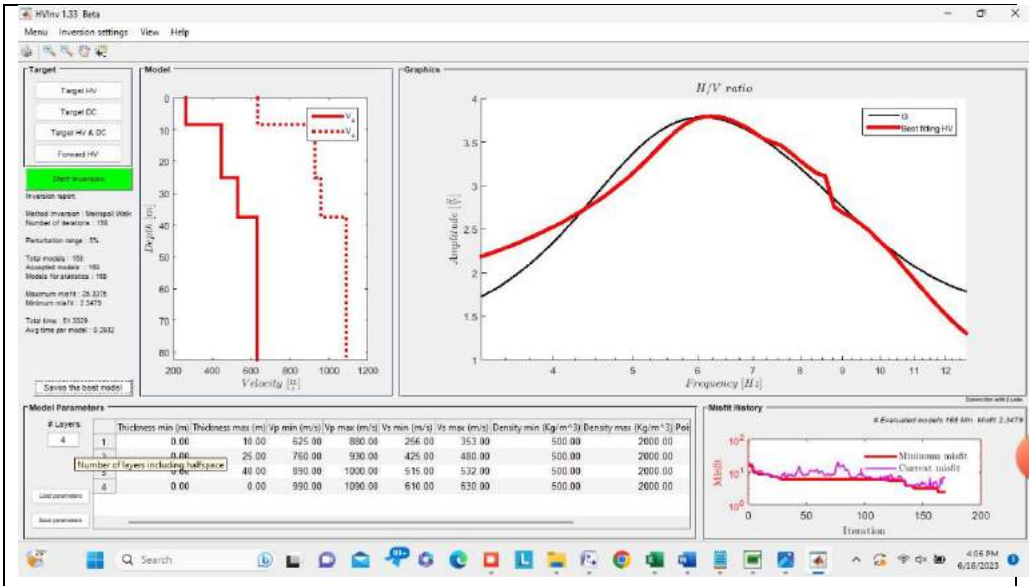


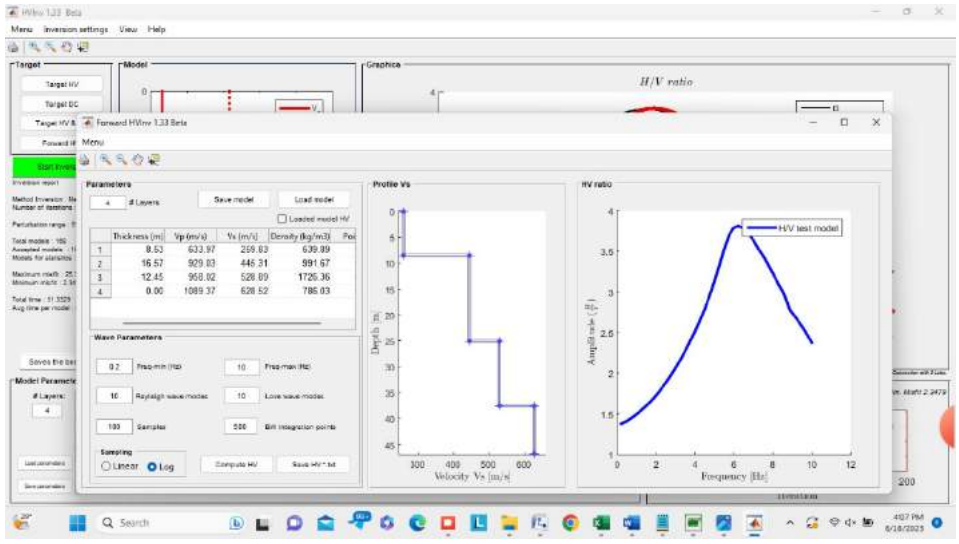
TITK 1


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Misfit history
Search

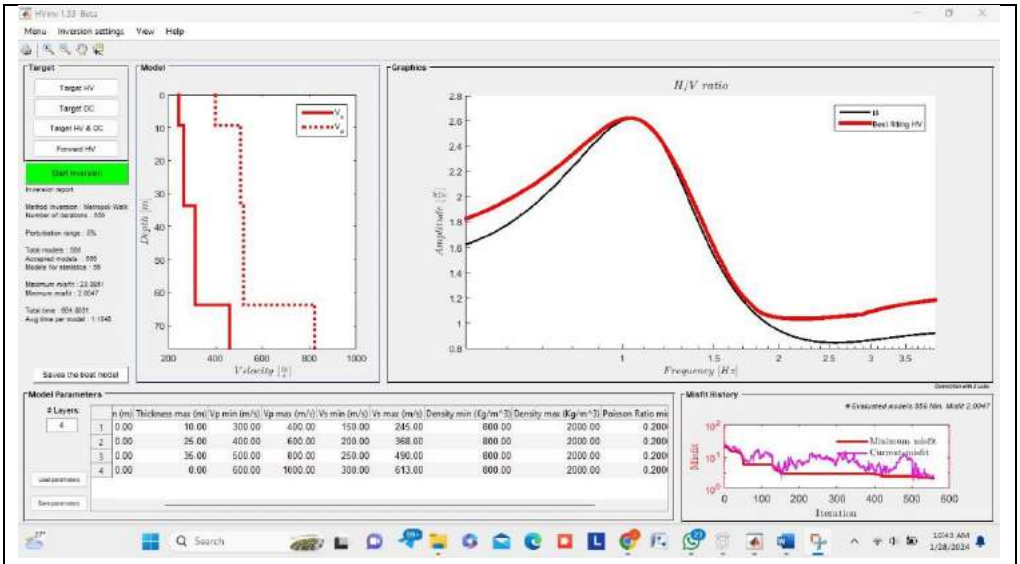

Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Wave Parameters
Profile Vs
HV ratio
H/V test model
Search

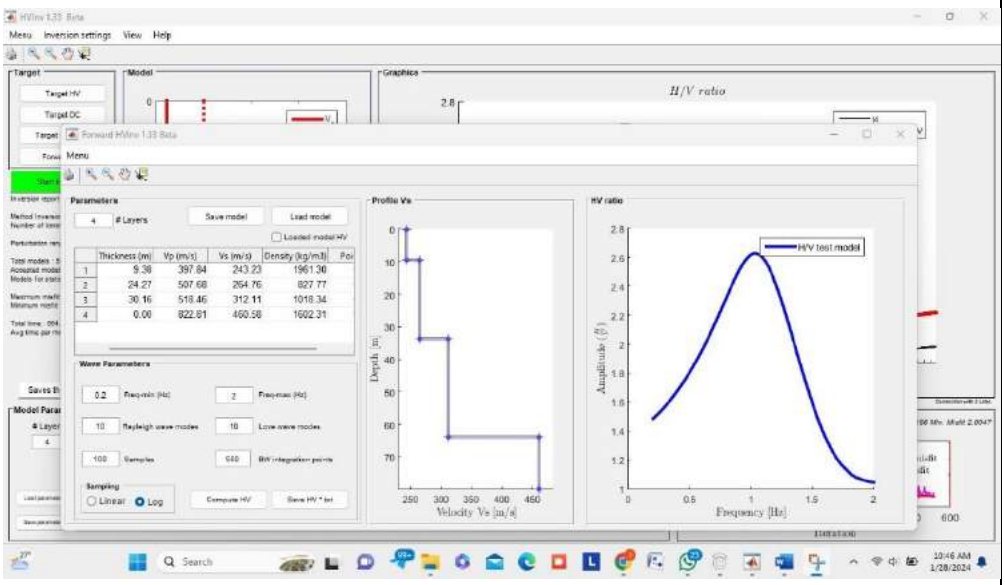
TITIK 2


HVInv 1.33 Beta
Menu Inversion settings View Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Best fitting H/V
Model Parameters
Misfit history
Minimum misfit
Current misfit
Iteration

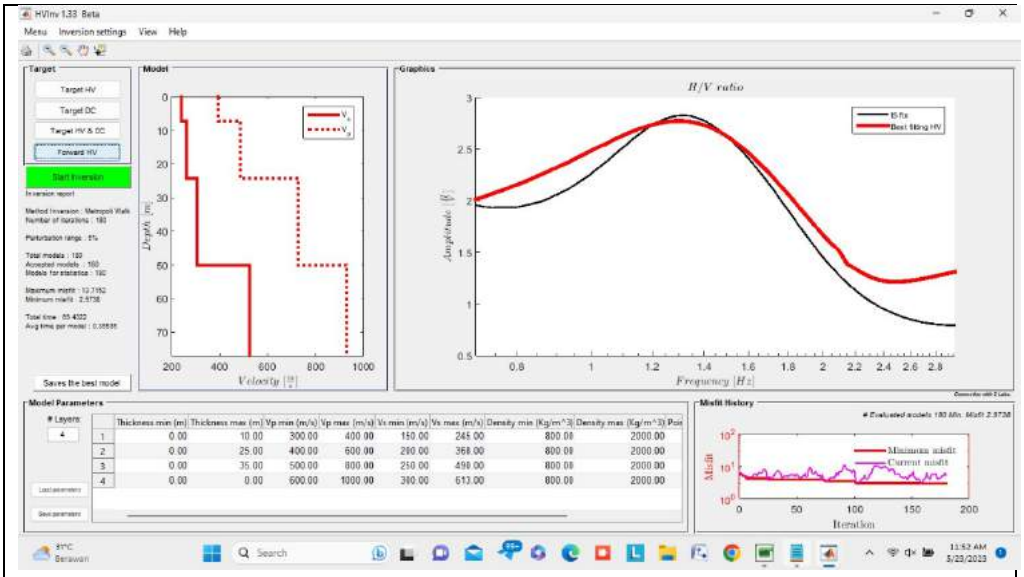

Forward HVInv 1.33 Beta
Parameters
Profile Vs
HV ratio
H/V test model
Wave Parameters

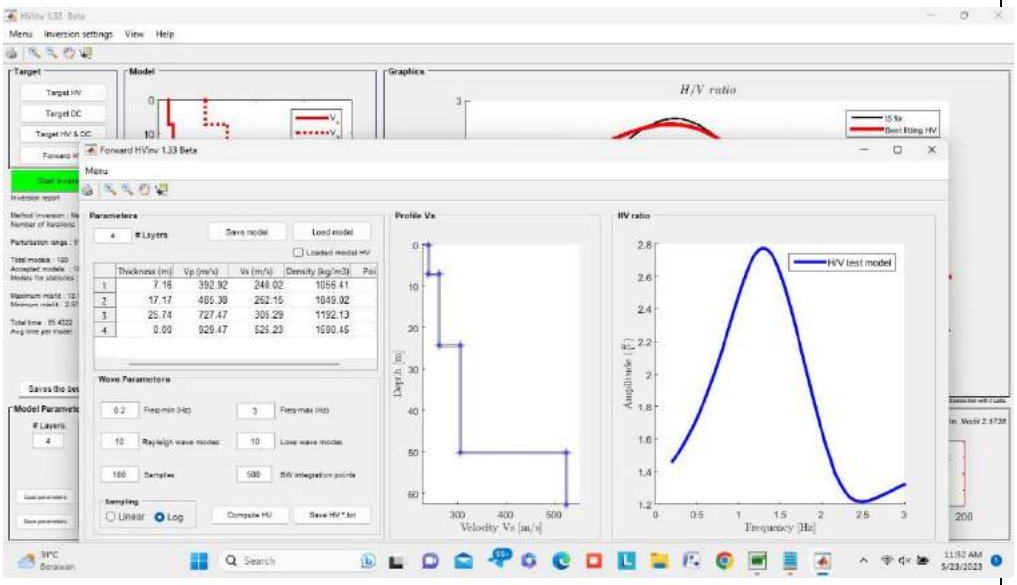
TITIK 3


Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Start Inversion
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Misfit History
Search

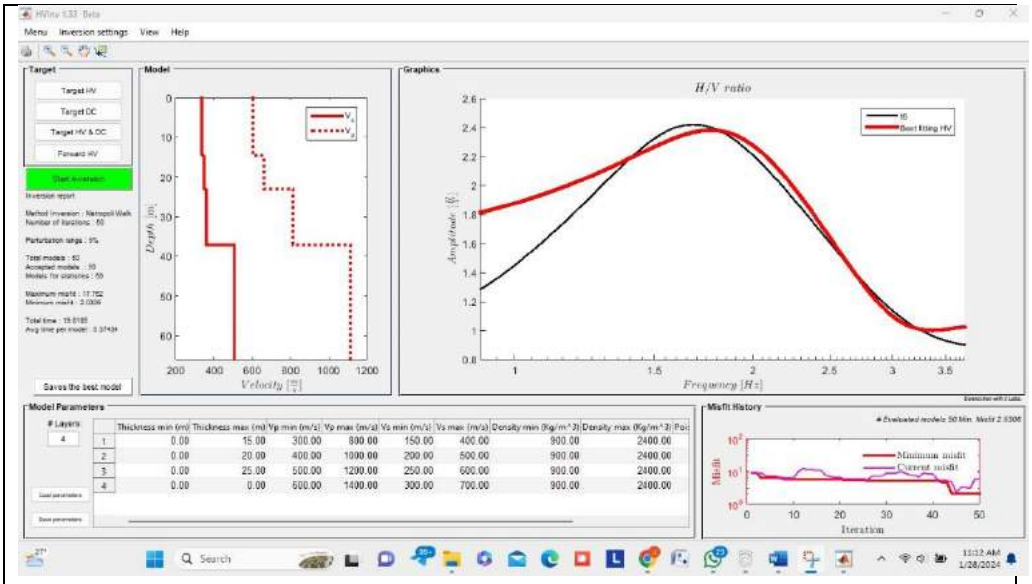

Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Parameters
Save model
Load model
Profile Vs
HV ratio
H/V test model
Velocity Vs [m/s]
Frequency [Hz]
Search

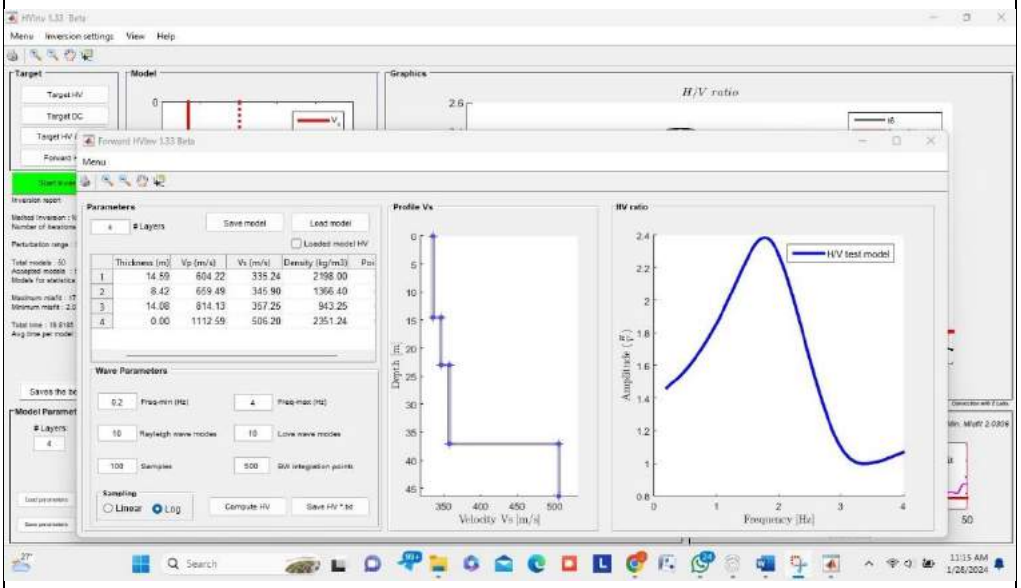
TITK 4


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Start Inversion
Saves the best model
Model
Graphics
H/V ratio
Best fitting HV
Depth [m]
Velocity [m/s]
Amplitude [-]
Frequency [Hz]
Model Parameters
Layers
Misfit History
Misfit
Minimum misfit
Current misfit
Iteration

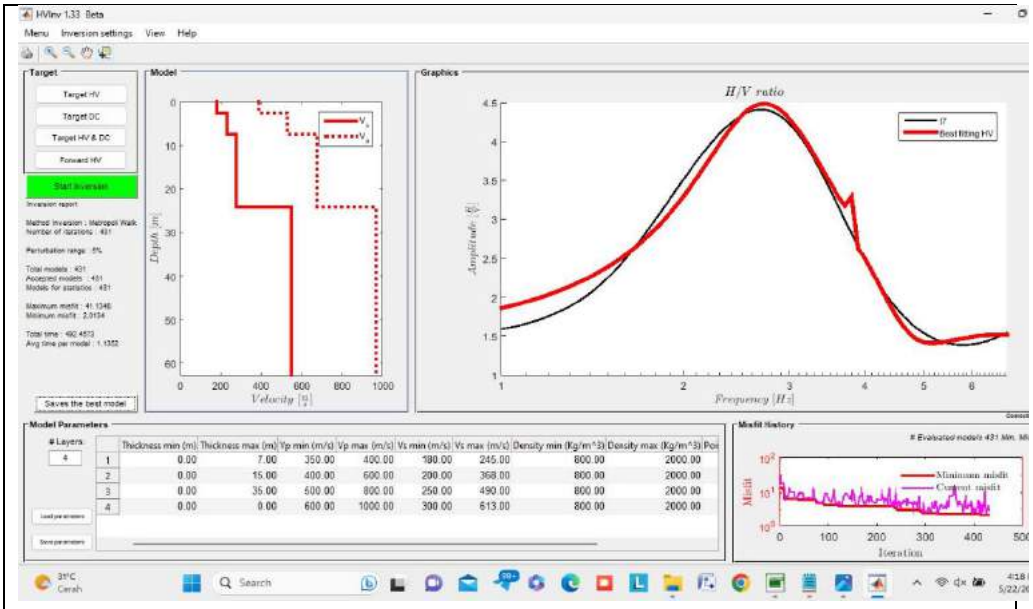

Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Layers
Save model
Load model
Wave Parameters
Sampling
Linear
Log
Compute HV
Profile Vs
Depth [m]
Velocity Vs [m/s]
HV ratio
H/V test model
Amplitude [-]
Frequency [Hz]

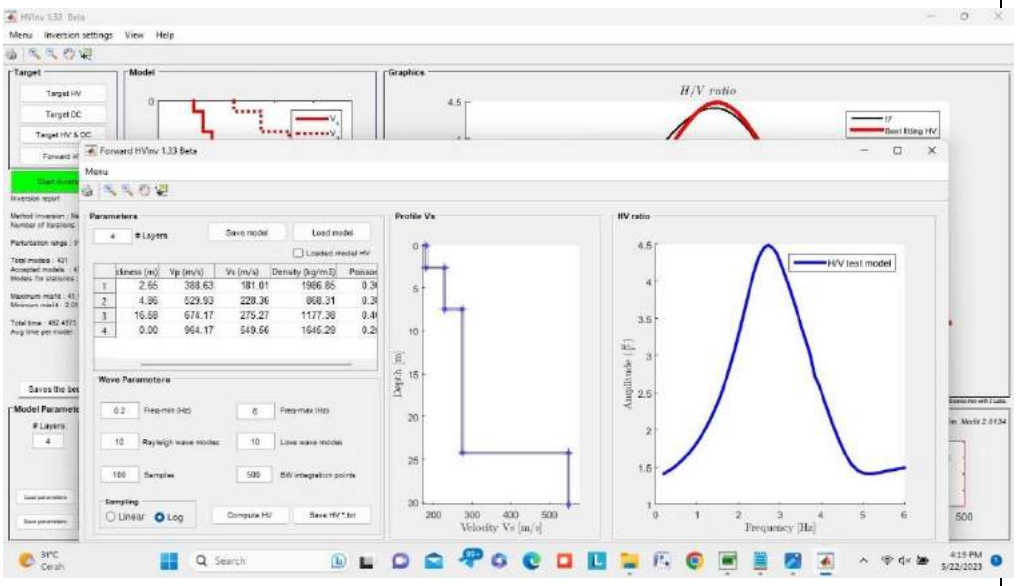
TIITK 5


Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Depth [m]
Velocity [m/s]
Amplitude [-]
Frequency [Hz]
Model Parameters
Misfit History
Iteration

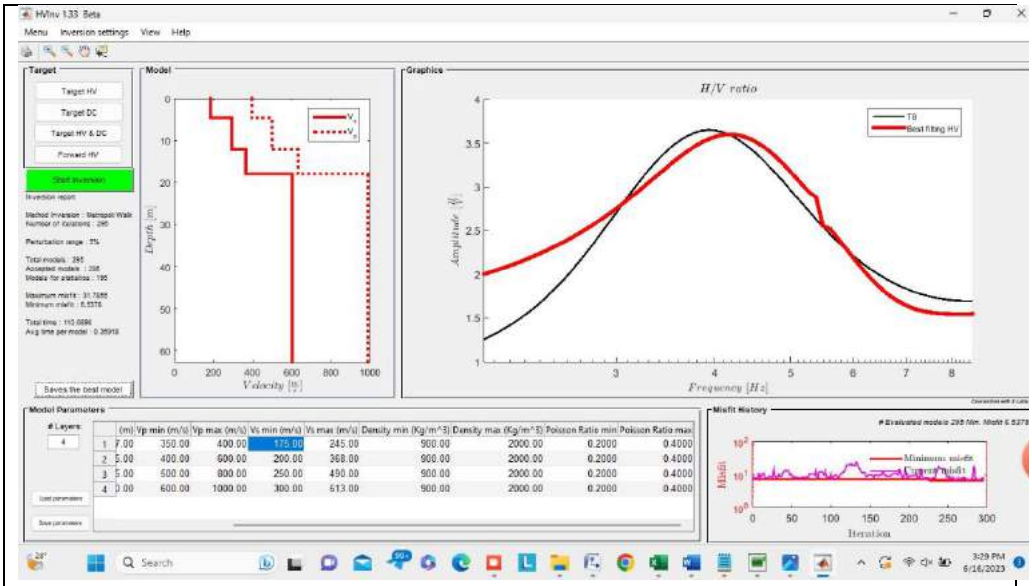

Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Parameters
Profile Vs
HV ratio
H/V test model
Depth [m]
Velocity Vs [m/s]
Amplitude [-]
Frequency [Hz]

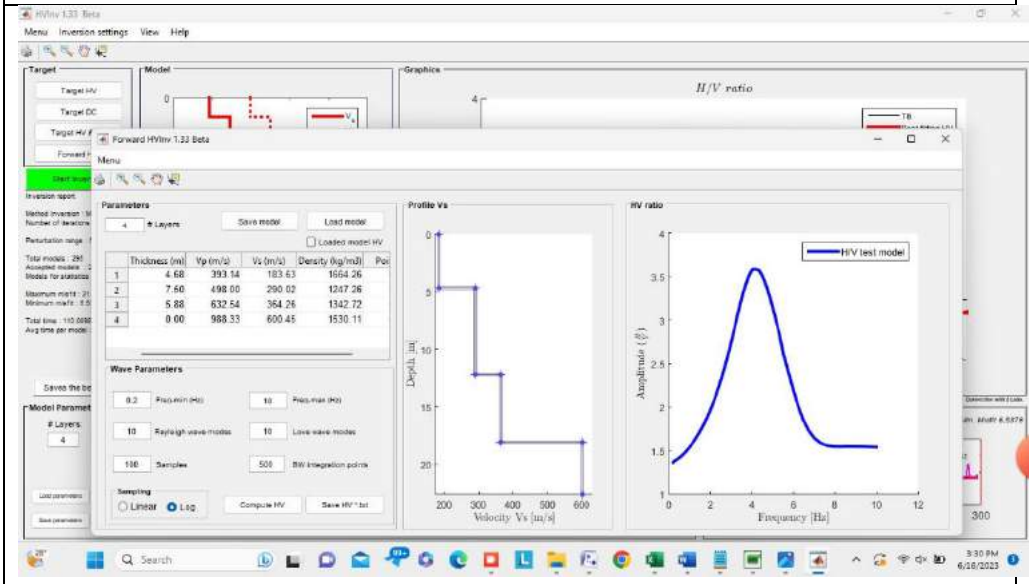
TITIK 6


HVInv 1.33 Beta
Menu Inversion settings View Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Start Inversion
Saves the best model
Model
Graphics
H/V ratio
Best fitting HV
Model Parameters
Layers
Thickness min (m) Thickness max (m) Vp min (m/s) Vp max (m/s) Vs min (m/s) Vs max (m/s) Density min (Kg/m^3) Density max (Kg/m^3)
1 0.00 7.00 350.00 400.00 180.00 245.00 800.00 2000.00
2 0.00 15.00 400.00 600.00 200.00 368.00 800.00 2000.00
3 0.00 35.00 600.00 800.00 250.00 490.00 800.00 2000.00
4 0.00 0.00 600.00 1000.00 300.00 613.00 800.00 2000.00
Misfit History
Minimum misfit
Current misfit
Misfit
Iteration
Depth [m]
Velocity [m/s]
Amplitude [F]
Frequency [Hz]

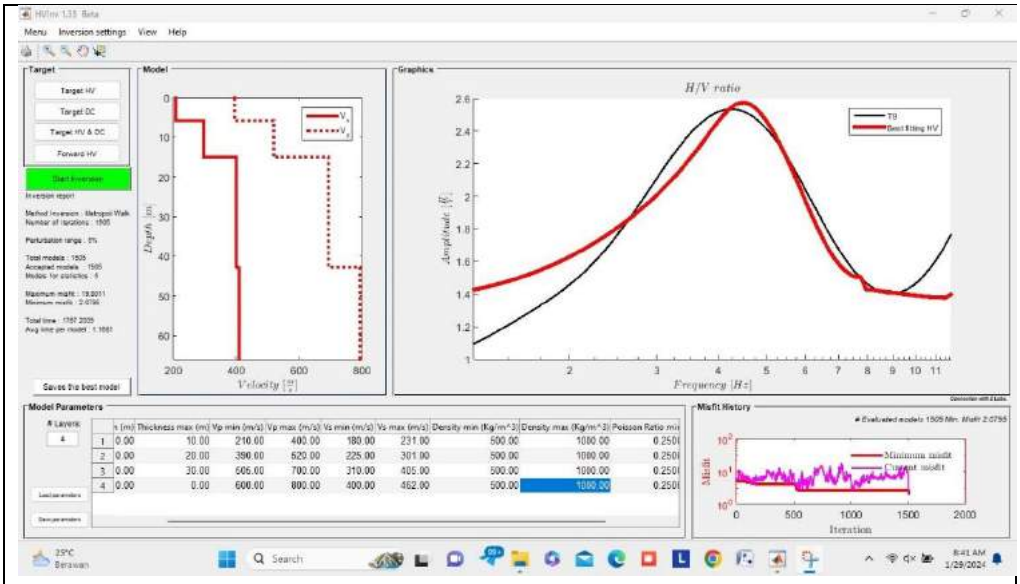

Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Layers
Save model
Load model
Wave Parameters
Sampling
Linear
Log
Compute HV
Profile Vs
HV ratio
H/V test model
Depth [m]
Velocity Vs [m/s]
Amplitude [F]
Frequency [Hz]

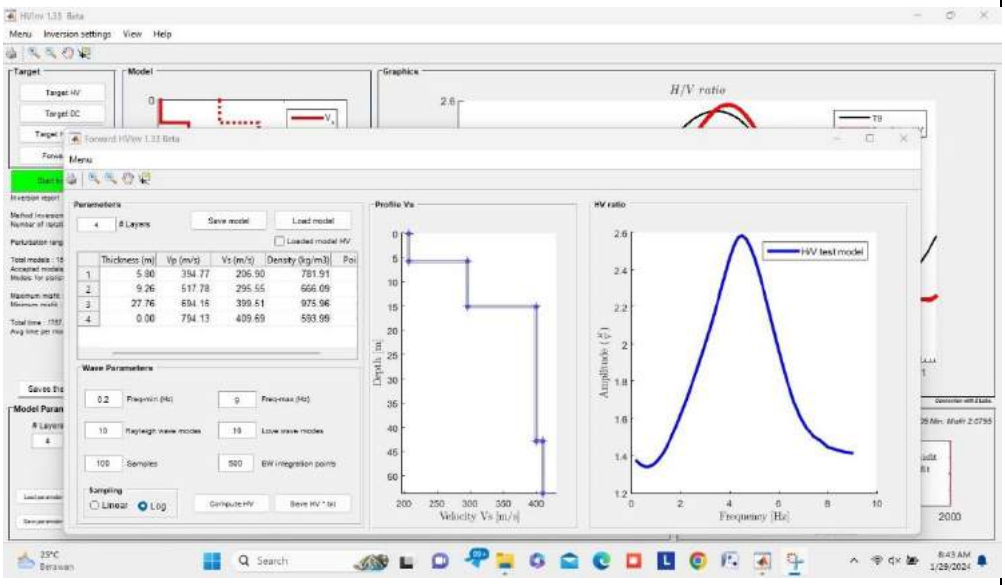
TITIK 7


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Misfit History
Search

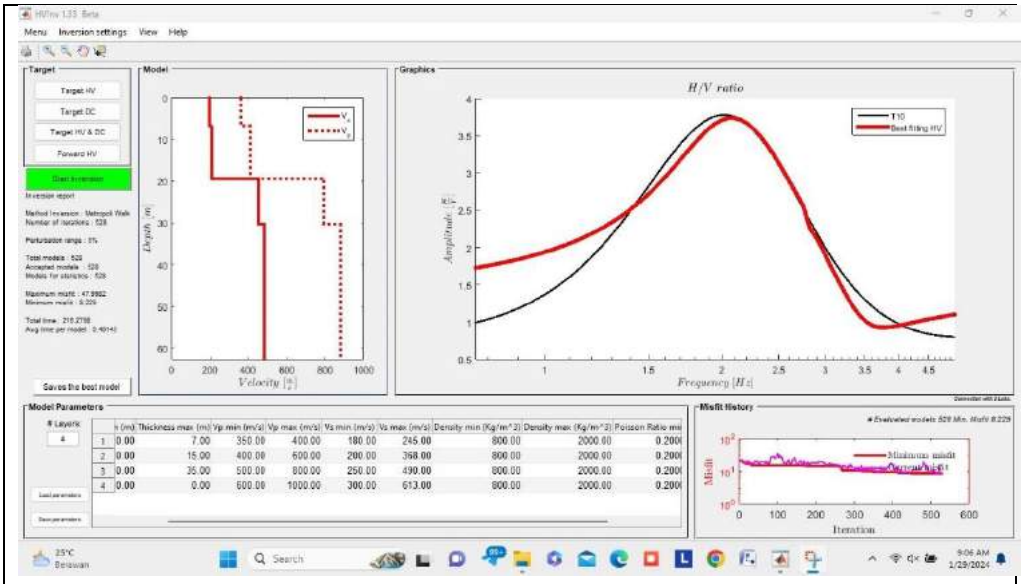

HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Forward HVInv 1.33 Beta
Parameters
Profile Vs
HV ratio
H/V test model
Wave Parameters
Search

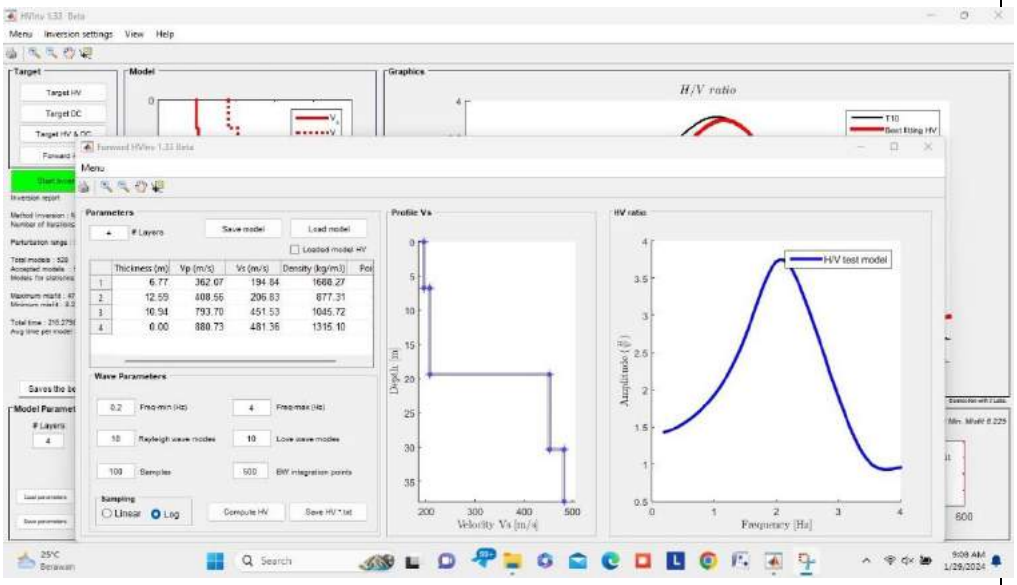
TITIK 8


Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Misfit History
Search

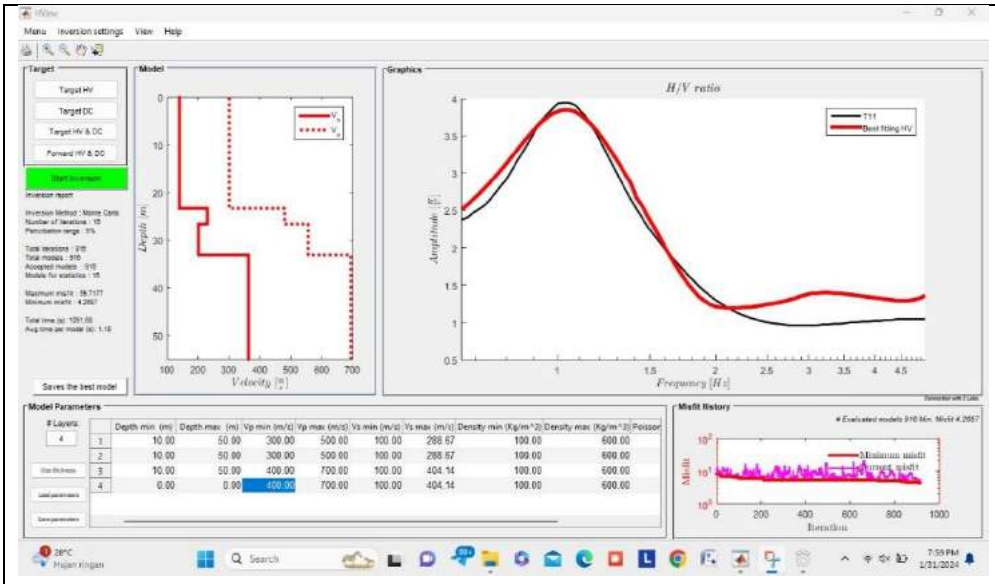

Menu
Inversion settings
View
Help
Forward HVSR 1.33 Beta
Parameters
Profile Vs
HV ratio
HV test model
Search

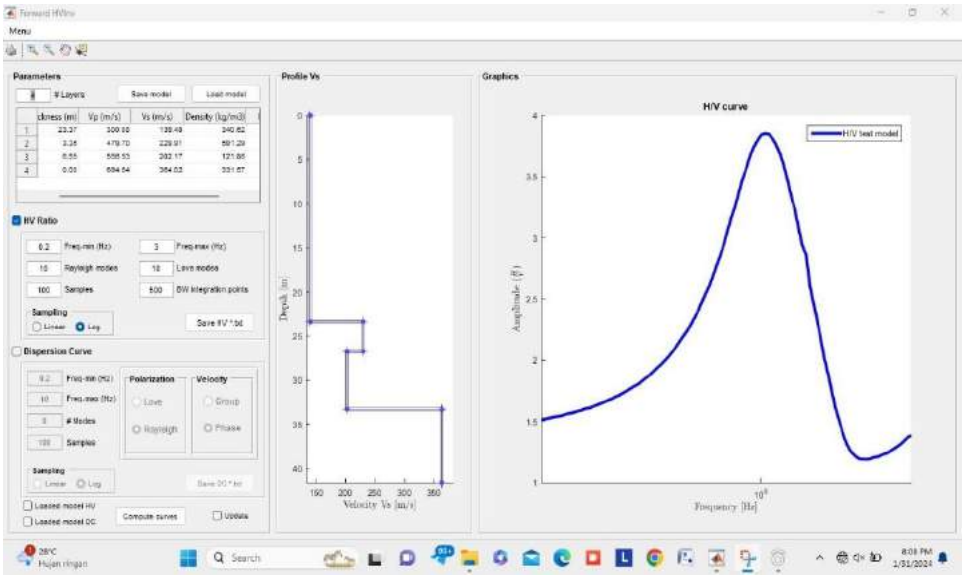
TITIK 9


Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Frequency [Hz]
Velocity [m/s]
Depth (m)
Model Parameters
Misfit History
Iteration

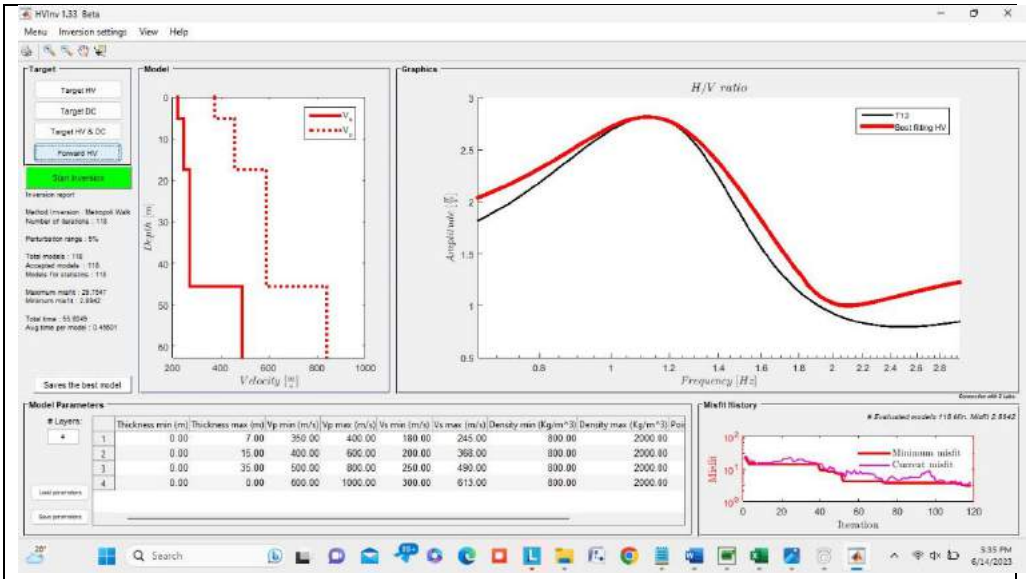

Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Parameters
Save model
Load model
Wave Parameters
Profile Vs
HV ratio
H/V test model
Velocity Vs [m/s]
Frequency [Hz]
Depth [m]

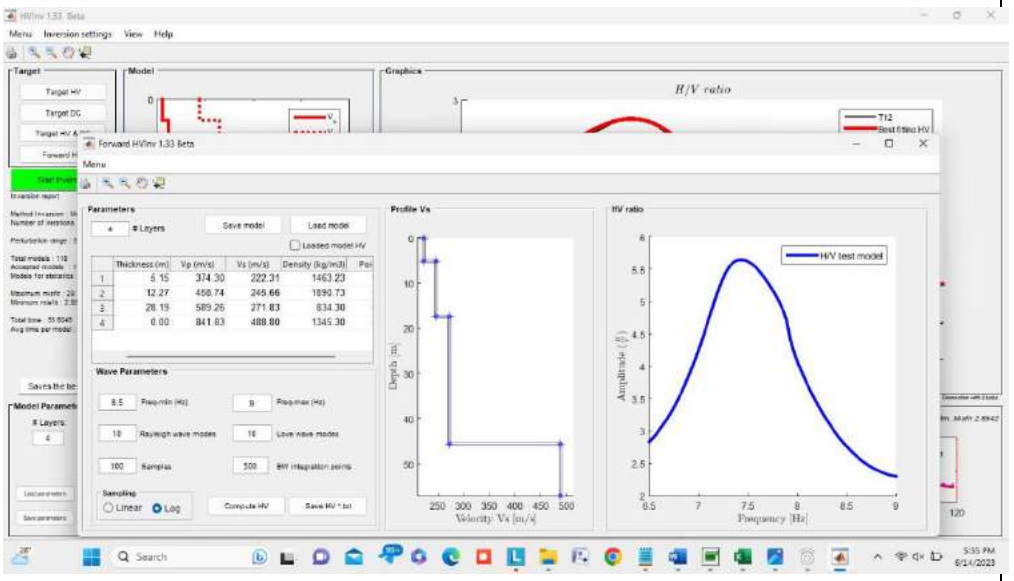
TITIK 10


Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV & DC
Model
Graphics
H/V ratio
Frequency [Hz]
Amplitude [-]
Depth [m]
Velocity [m/s]
Model Parameters
Layers:
Depth min (m)
Depth max (m)
Vp min (m/s)
Vp max (m/s)
Vs min (m/s)
Vs max (m/s)
Density min (Kg/m^3)
Density max (Kg/m^3)
Poisson
Misfit History
Misfit
Iteration

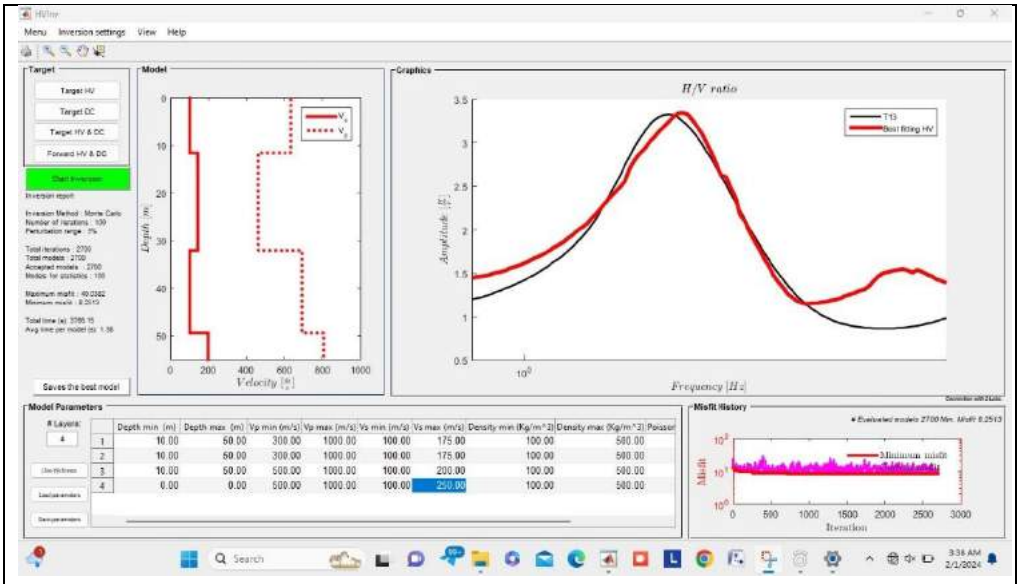

Menu
Parameters
Layers:
Save model
Load model
HV Ratio
Freq-min (Hz)
Freq-max (Hz)
Rayleigh modes
Love modes
Samples
SW integration points
Sampling
Save HV *.txt
Dispersion Curve
Polarization
Velocity
Love
Rayleigh
Group
Phase
Modes
Loaded model HV
Loaded model DC
Compute curves
Update
Profile Vs
Depth [m]
Velocity Vs [m/s]
Graphics
H/V curve
H/V best model
Amplitude [-]
Frequency [Hz]

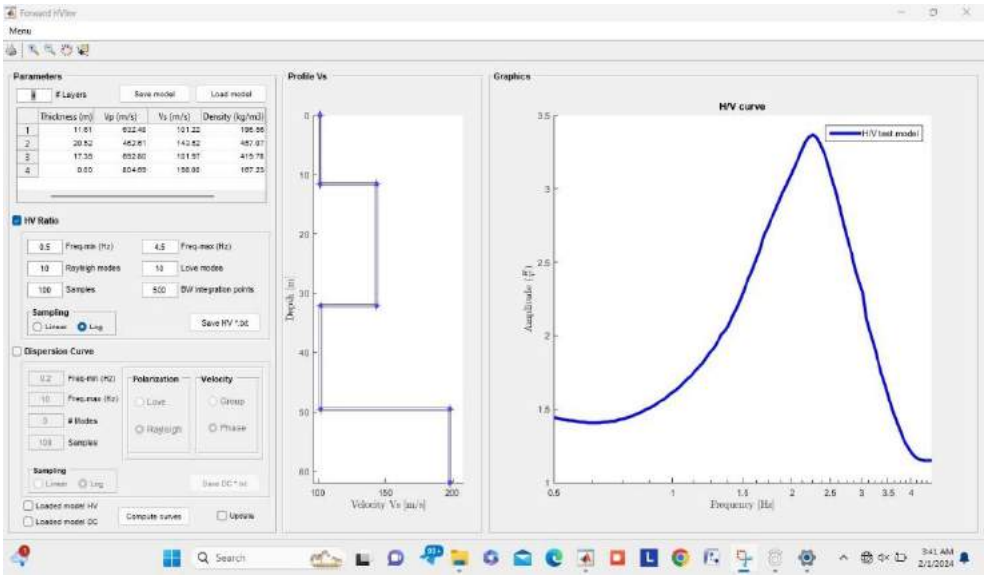
TITIK 11


HVInv 1.33 Beta
Menu Inversion settings View Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Start Inversion
Saves the best model
Model
Depth (m)
Velocity [m/s]
Graphics
H/V ratio
T12
Best fitting HV
Amplitude
Frequency [Hz]
Model Parameters
Layers:
Thickness min (m) Thickness max (m) Vp min (m/s) Vp max (m/s) Vs min (m/s) Vs max (m/s) Density min (Kg/m^3) Density max (Kg/m^3) Poi
1 0.00 7.00 350.00 400.00 180.00 245.00 800.00 2000.00
2 0.00 15.00 400.00 600.00 200.00 368.00 800.00 2000.00
3 0.00 35.00 500.00 800.00 250.00 490.00 800.00 2000.00
4 0.00 0.00 600.00 1000.00 300.00 613.00 800.00 2000.00
Misfit history
Minimum misfit
Current misfit
Misfit
Iteration
Search
5:35 PM
6/14/2023

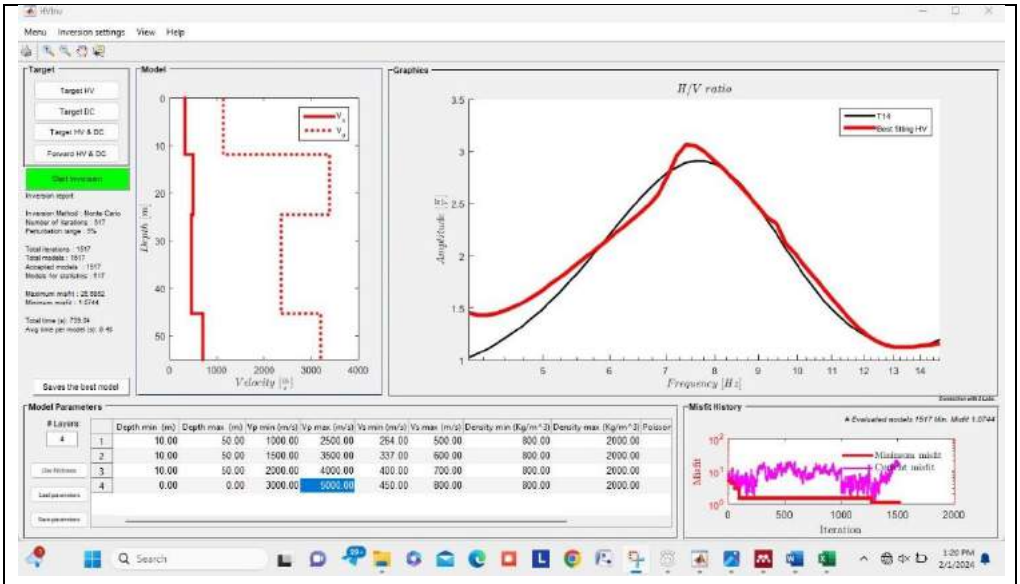

Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Layers
Save model
Load model
Loaded model HV
Thickness (m) Vp (m/s) Vs (m/s) Density (kg/m3)
1 5.15 374.30 222.31 1463.23
2 12.27 468.74 245.66 1890.73
3 28.19 589.26 271.83 834.30
4 0.00 841.83 488.80 1345.30
Wave Parameters
Sampling
Linear
Log
Compute HV
Profile Vs
Depth (m)
Velocity Vs [m/s]
HV ratio
H/V test model
Amplitude
Frequency [Hz]

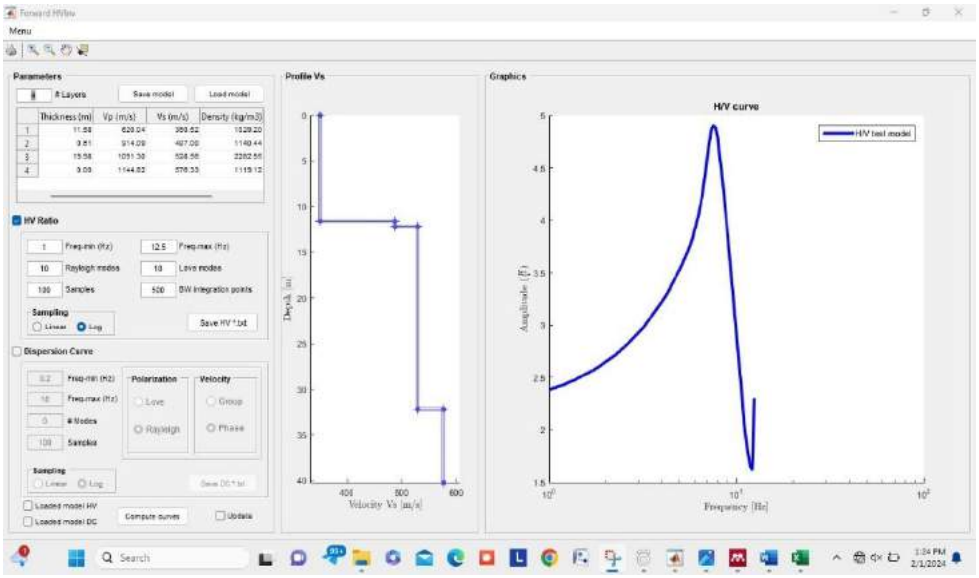
TIITK 12


Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Misfit History

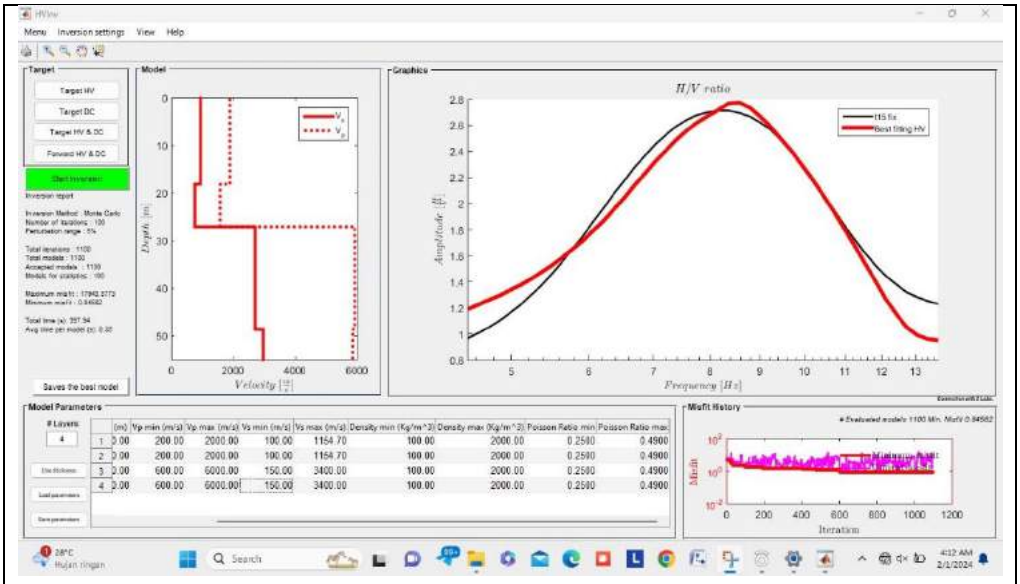

Menu
Parameters
Profile Vs
Graphics
H/V curve
HV Ratio
Dispersion Curve

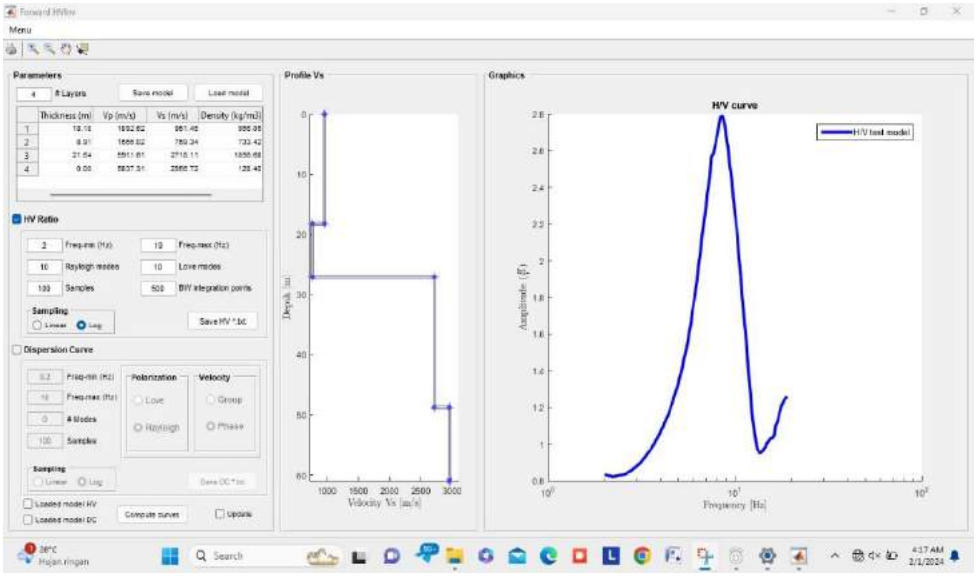
TITIK 13


Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV & DC
Model
Graphics
H/V ratio
T14
Best fitting HV
Frequency [Hz]
Model Parameters
Layers
Misfit History
Iteration

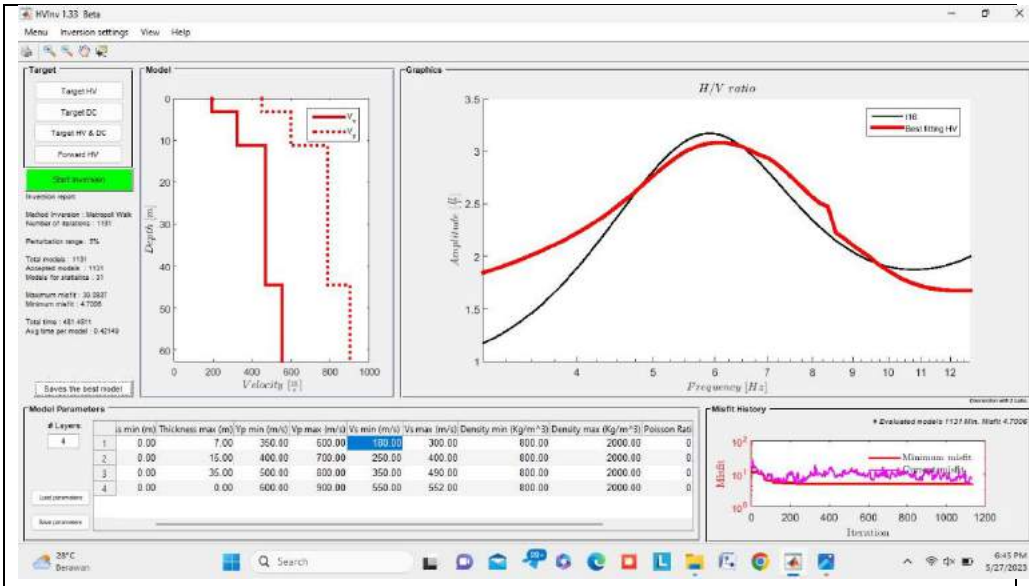

Menu
Parameters
Layers
Save model
Load model
HV Ratio
Dispersion Curve
Profile Vs
Graphics
H/V curve
HV test model
Frequency [Hz]

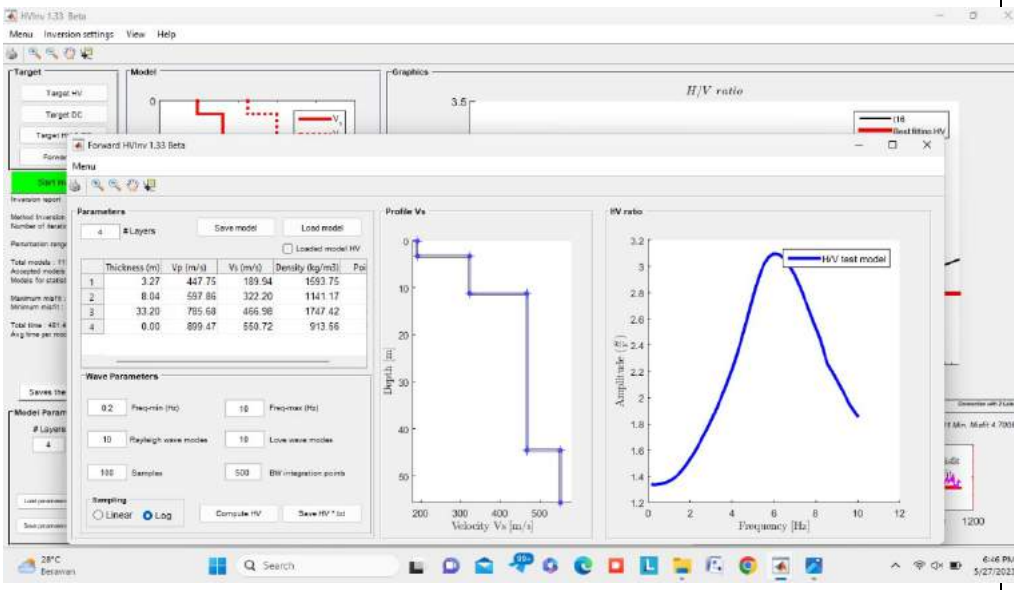
TITIK 14


Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Misfit History

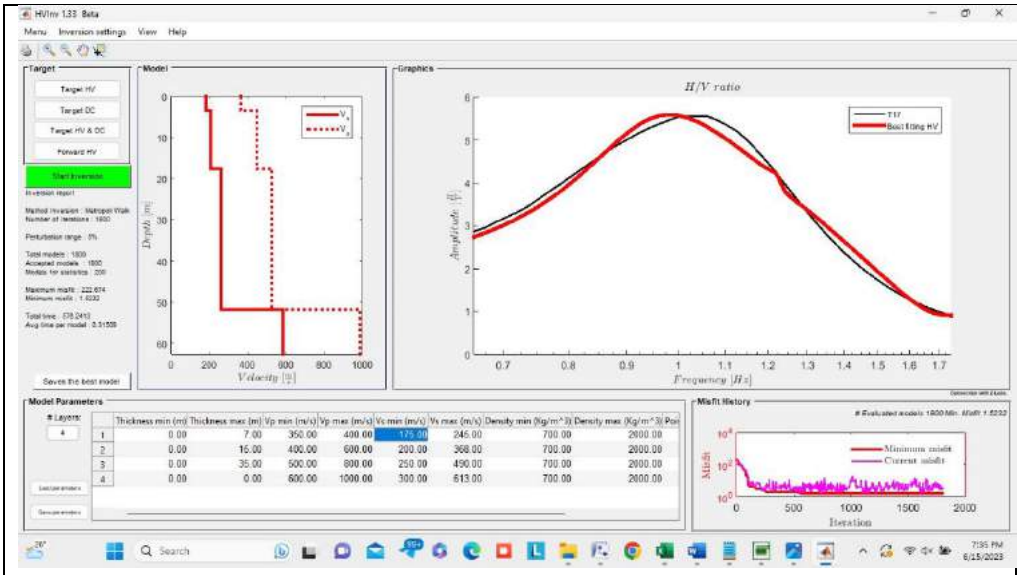

Menu
Parameters
Profile Vs
Graphics
H/V curve
HV Ratio
Dispersion Curve

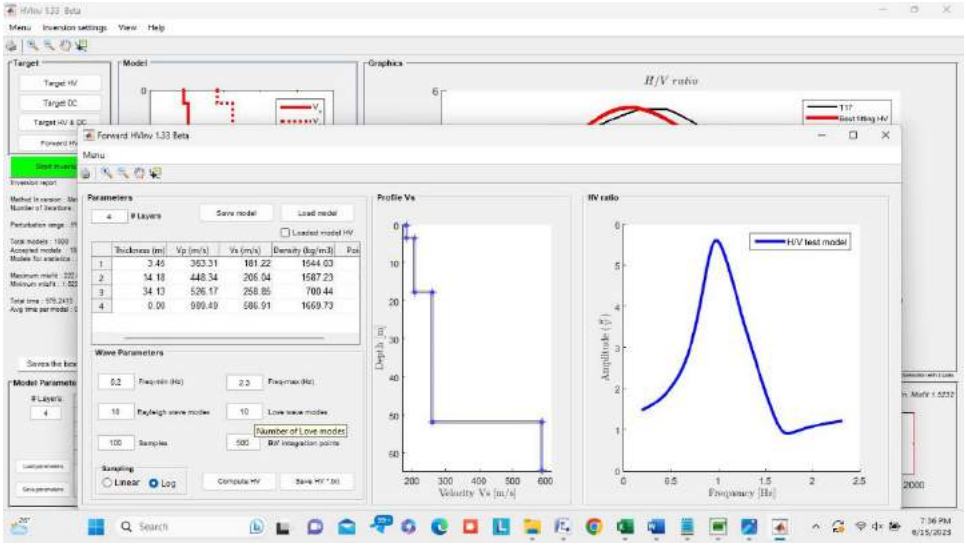
TITIK 15


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Misfit History
Search

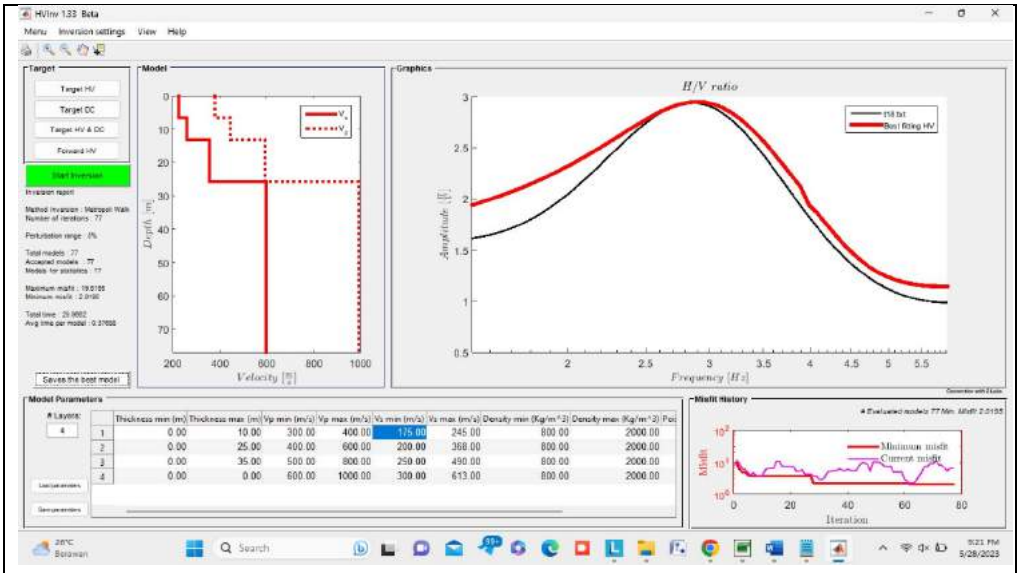

HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Forward HVInv 1.33 Beta
Parameters
Wave Parameters
Profile Vs
H/V ratio
H/V test model
Search

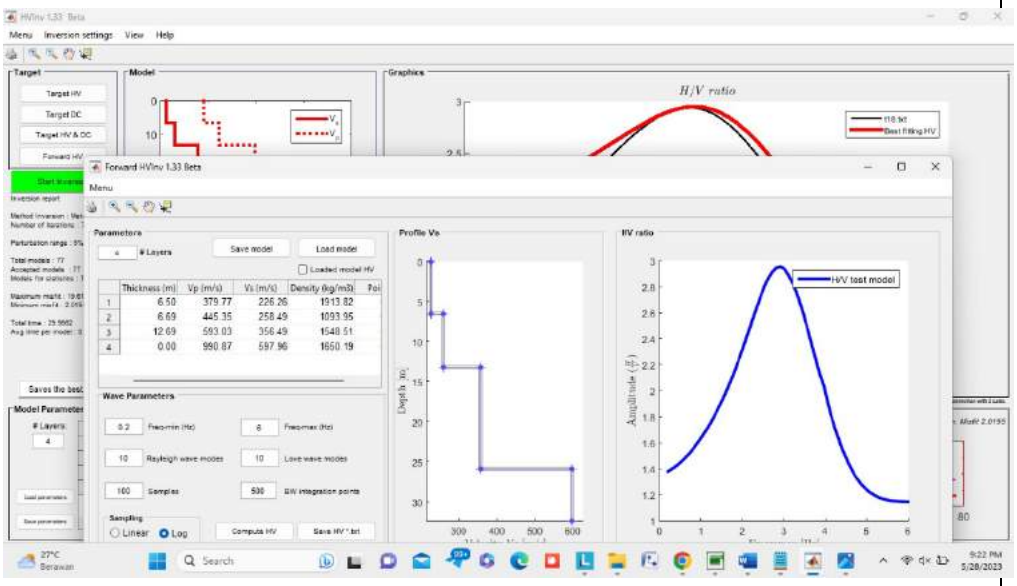
TIITK 16


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Start Inversion
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Layers
Misfit History
Minimum misfit
Current misfit
Iteration

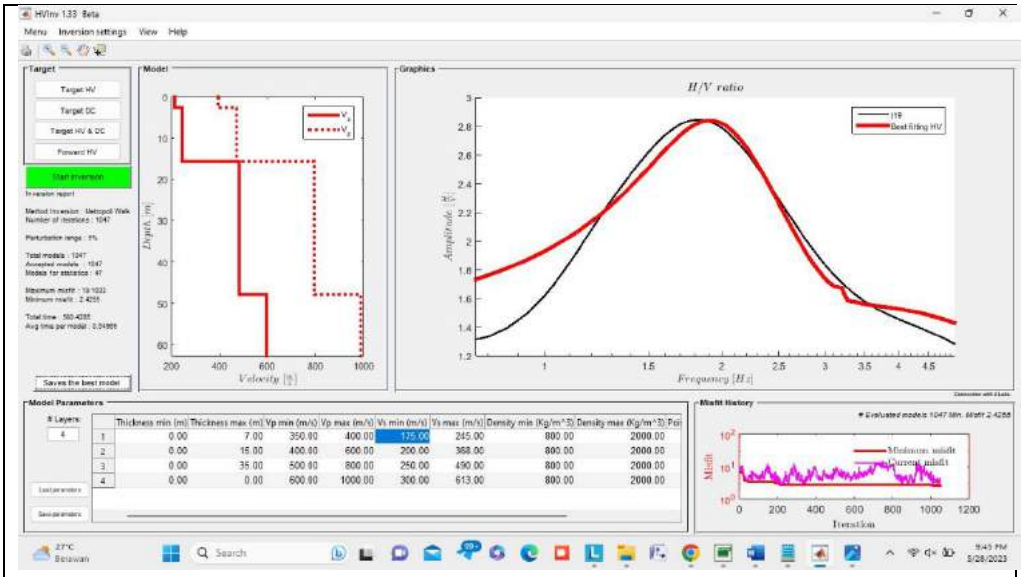

Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Save model
Load model
Wave Parameters
Profile Vs
HV ratio
HV test model
Velocity Vs [m/s]
Frequency [Hz]

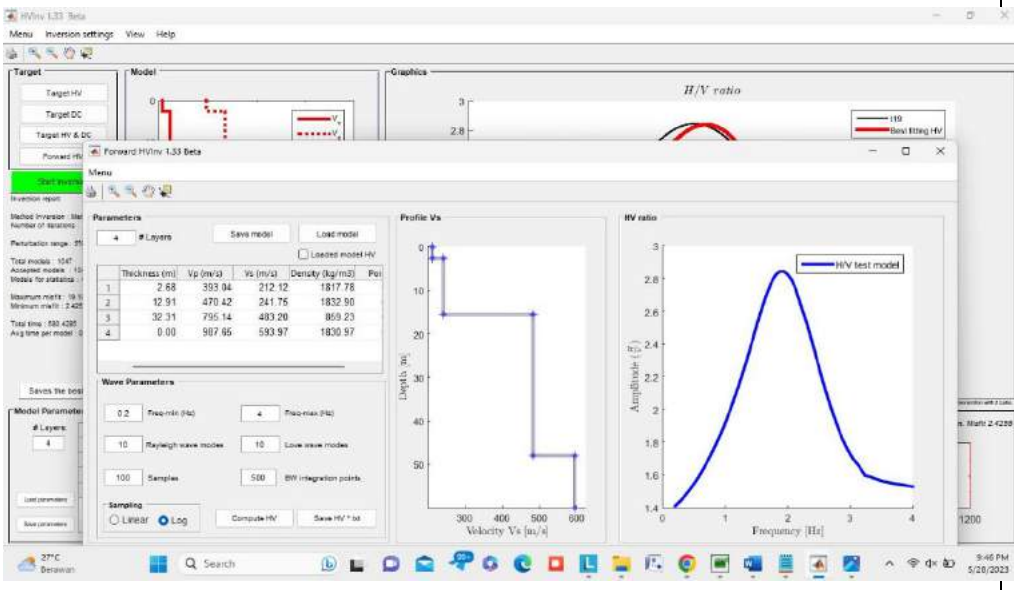
TITIK 17


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Start Inversion
Saves the best model
Model
Graphics
H/V ratio
Best fitting HV
Model Parameters
Layers:
Misfit History
Minimum misfit
Current misfit
Iteration
Search

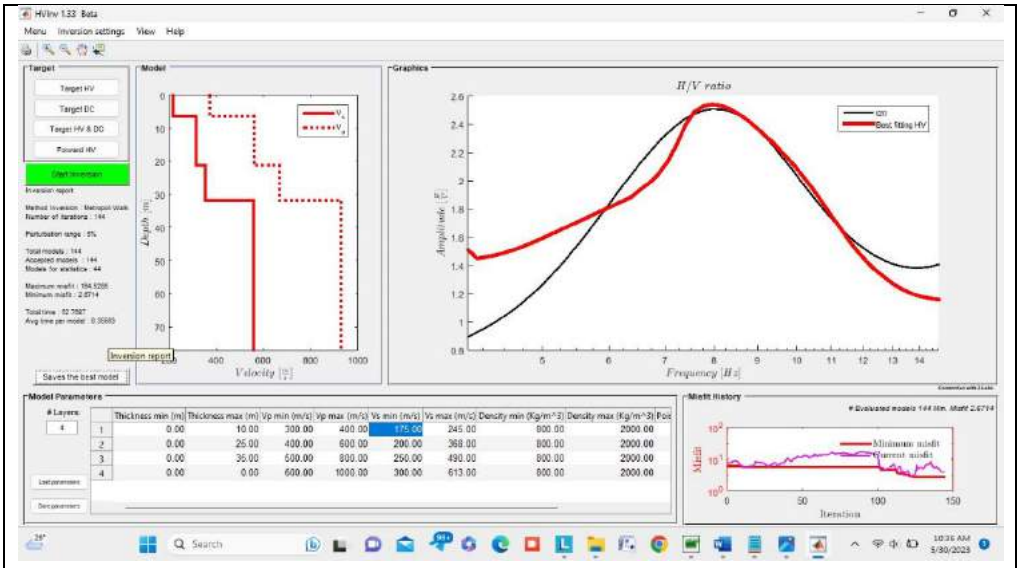

HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Forward HVInv 1.33 Beta
Parameters
Save model
Load model
Profile Vs
H/V ratio
H/V test model
Wave Parameters
Sampling
Linear
Log
Search

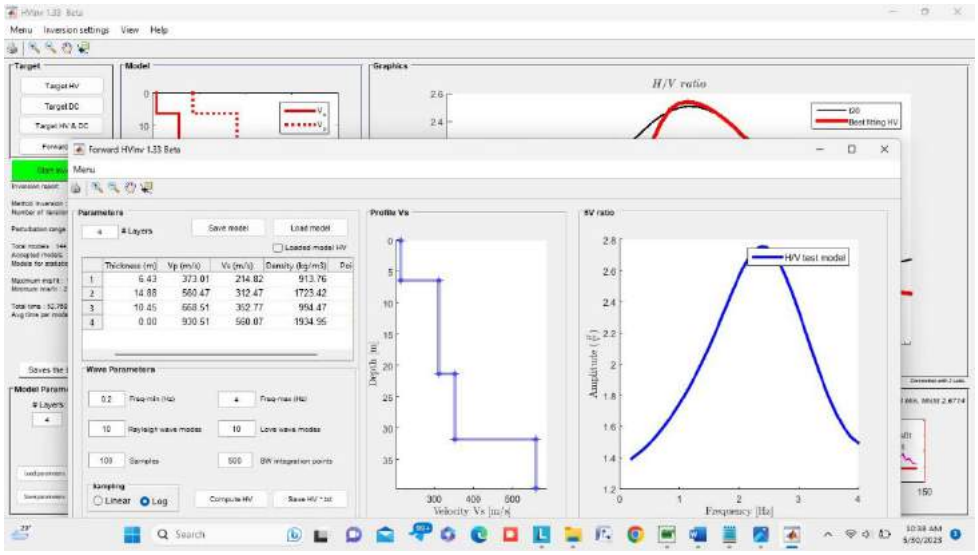
TITIK 18


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Misfit History

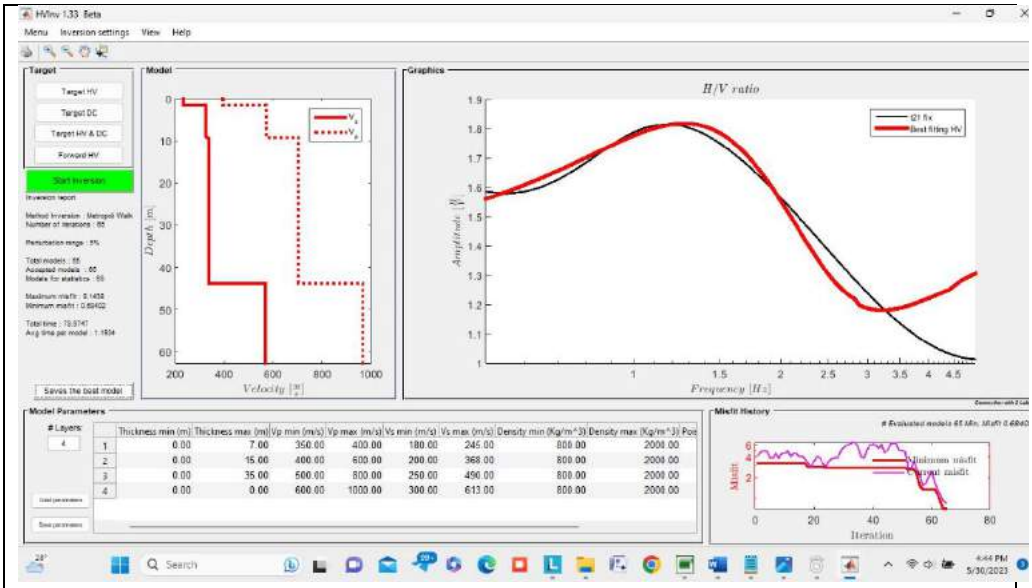

Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Profile Vs
HV ratio
H/V test model

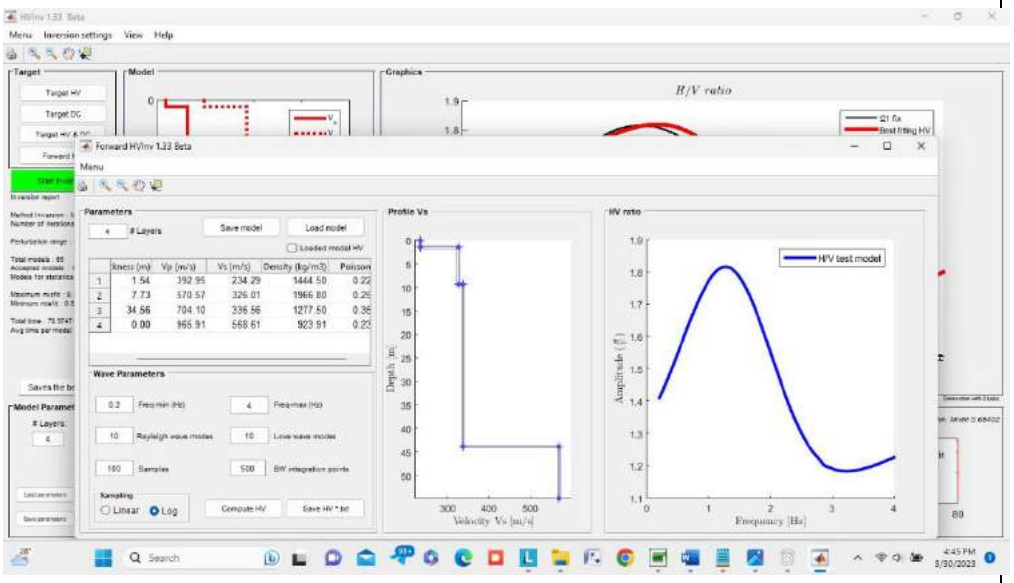
TITIK 19


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Start Inversion
Inversion report
Saves the best model
Model
Depth (m)
Velocity [ft]
Vs
Vp
Graphics
H/V ratio
Amplitude [-]
Frequency [Hz]
H/V
Best fitting HV
Model Parameters
Layers:
Thickness min (m)
Thickness max (m)
Vp min (m/s)
Vp max (m/s)
Vs min (m/s)
Vs max (m/s)
Density min (Kg/m^3)
Density max (Kg/m^3)
1 0.00 10.00 300.00 400.00 175.00 245.00 800.00 2000.00
2 0.00 25.00 400.00 600.00 200.00 368.00 800.00 2000.00
3 0.00 35.00 500.00 800.00 250.00 490.00 800.00 2000.00
4 0.00 0.00 600.00 1000.00 300.00 613.00 800.00 2000.00
Misfit History
Misfit
Iteration
Minimum misfit
Current misfit
Search

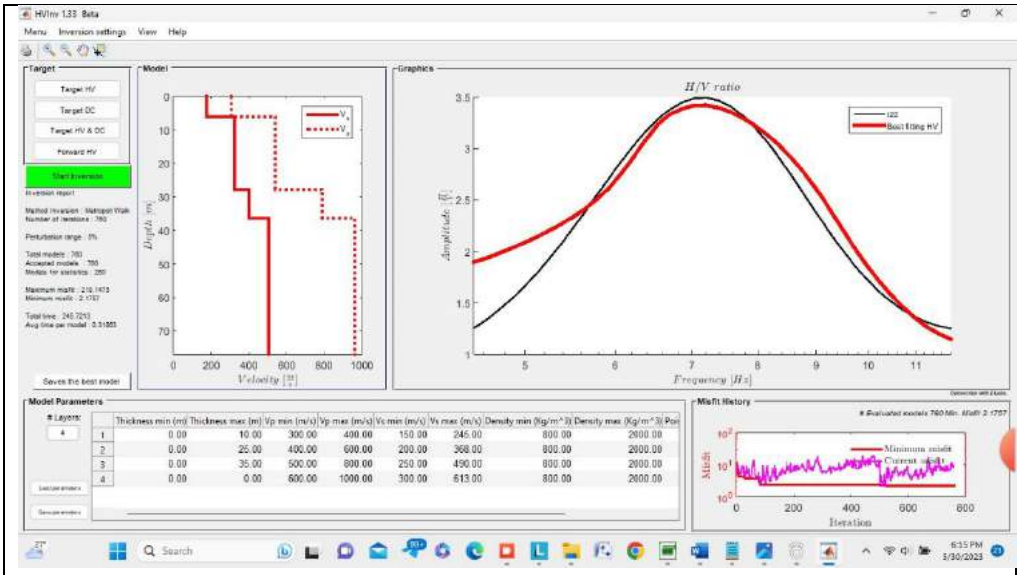

Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Model
Graphics
H/V ratio
Best fitting HV
Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Layers
Save model
Load model
Loaded model HV
Thickness (m)
Vp (m/s)
Vs (m/s)
Density (kg/m3)
1 6.43 373.01 214.82 913.76
2 14.88 560.47 312.47 1725.42
3 10.45 668.51 392.77 954.47
4 0.00 930.51 560.07 1934.95
Wave Parameters
Rayleigh wave modes
Love wave modes
Samples
Sampling
Linear
Log
Compute HV
Profile Vs
Depth [m]
Velocity Vs [m/s]
HV ratio
H/V test model
Amplitude [-]
Frequency [Hz]
Search

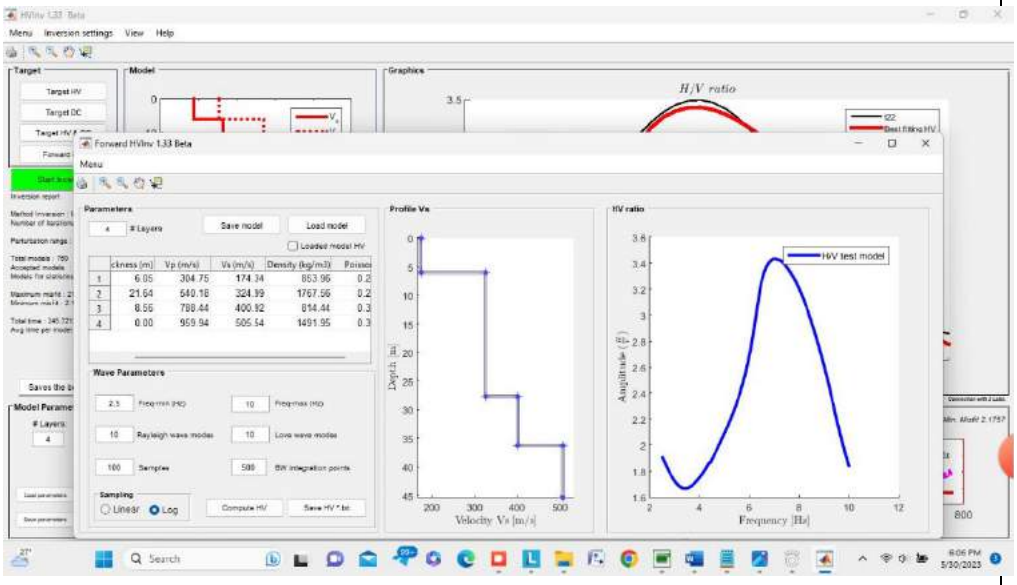
TITIK 20


HVInv 1.33 Beta
Menu Inversion settings View Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Misfit History

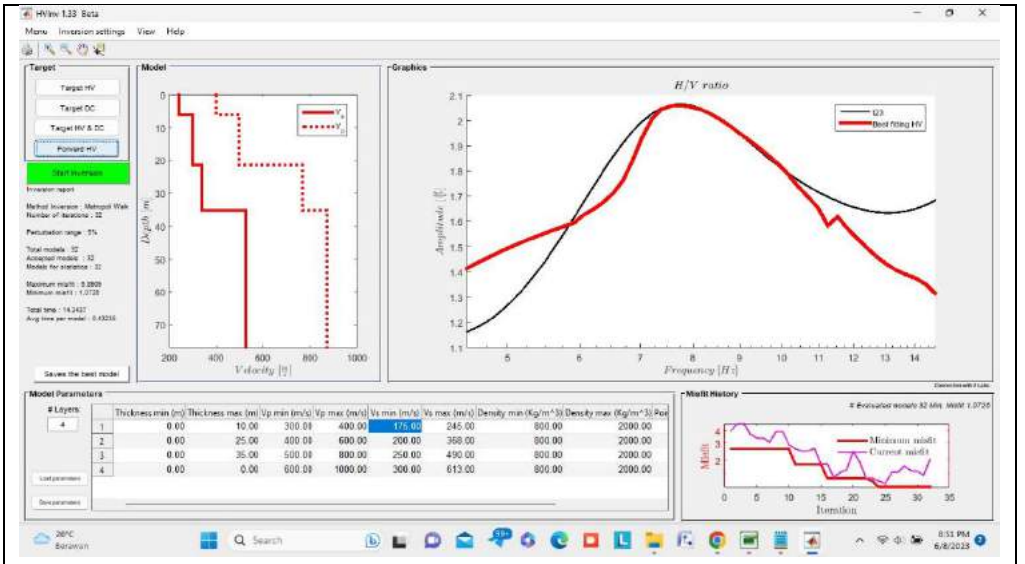

Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Wave Parameters
Profile Vs
HV ratio
HV test model

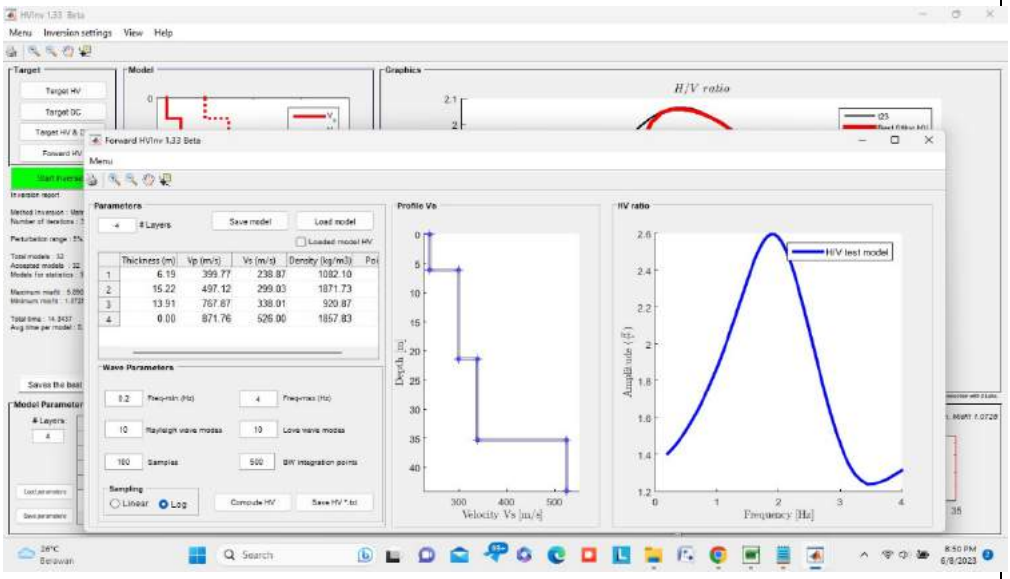
TITIK 21


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Misfit History
Search

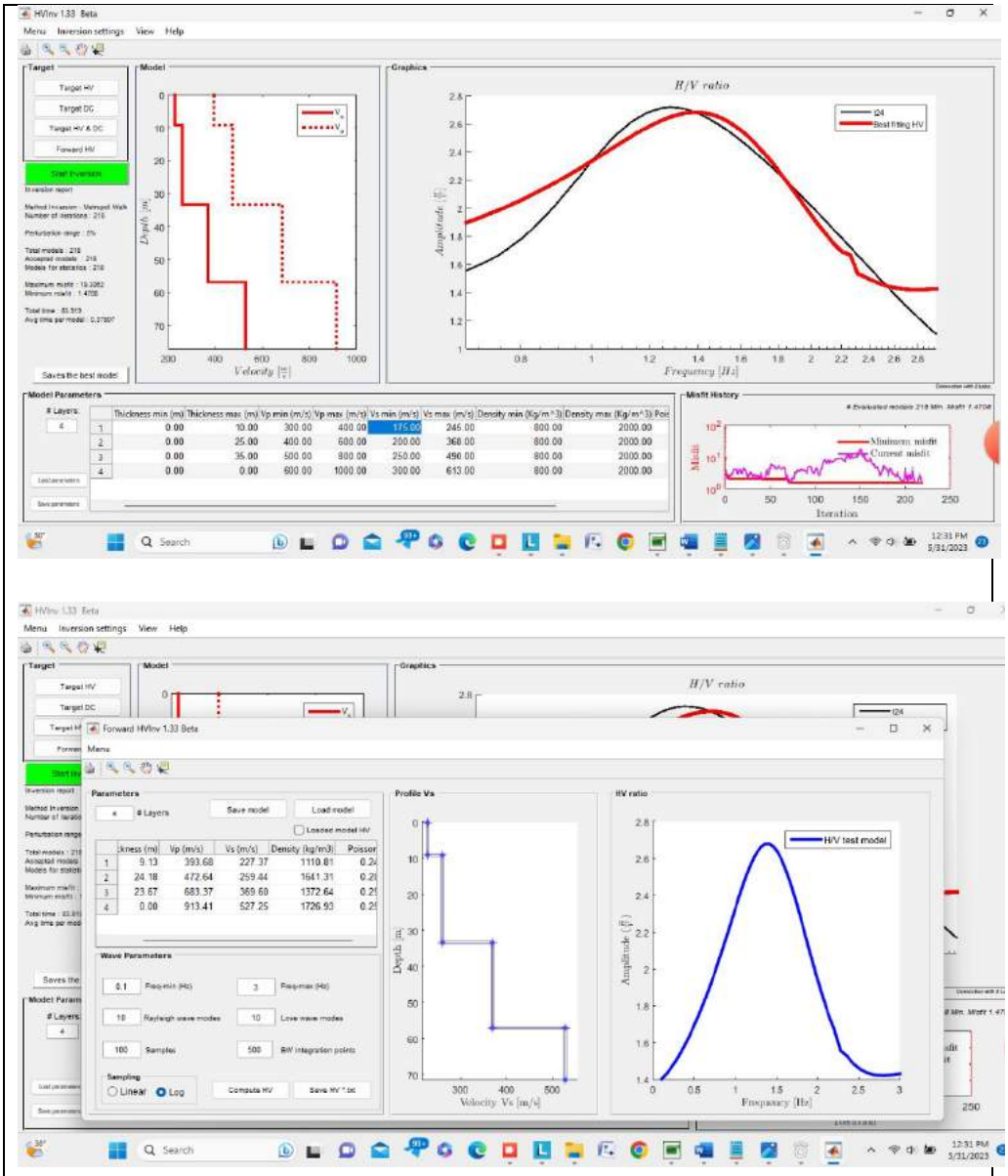

Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Save model
Load model
Wave Parameters
Profile Vs
HV ratio
HV test model
Sampling
Linear
Log
Search

TIITK 22


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Start Inversion
Model
Graphics
H/V ratio
Model Parameters
Layers:
Misfit History
Minimum misfit
Current misfit
Iteration

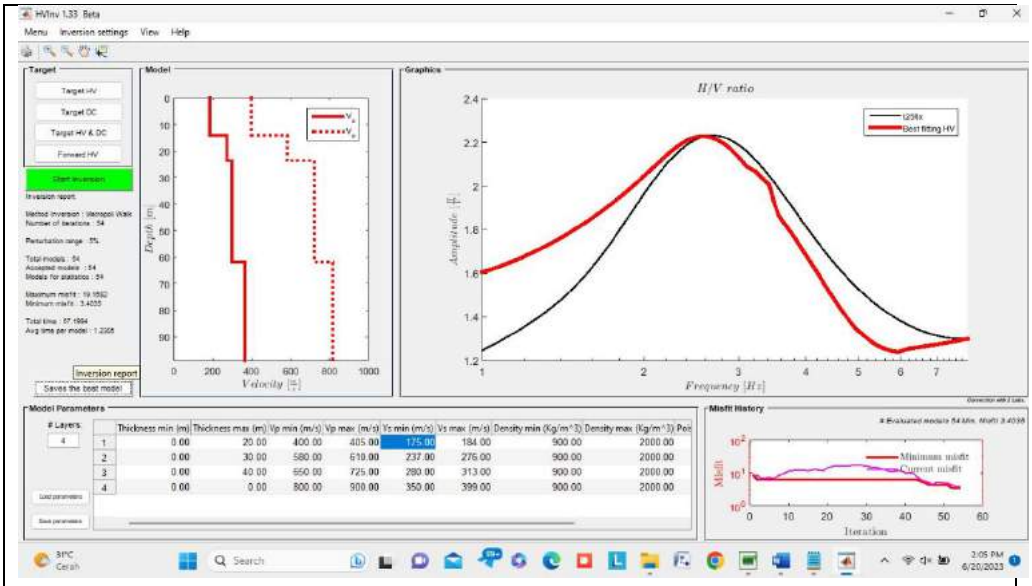

Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Layers
Save model
Load model
Loaded model HV
Thickness (m)
Vp (m/s)
Vs (m/s)
Density (kg/m3)
Wave Parameters
Sampling
Linear
Log
Compute HV
Profile Vs
Velocity Vs [m/s]
Depth [m]
HV ratio
H/V test model
Amplitude
Frequency [Hz]

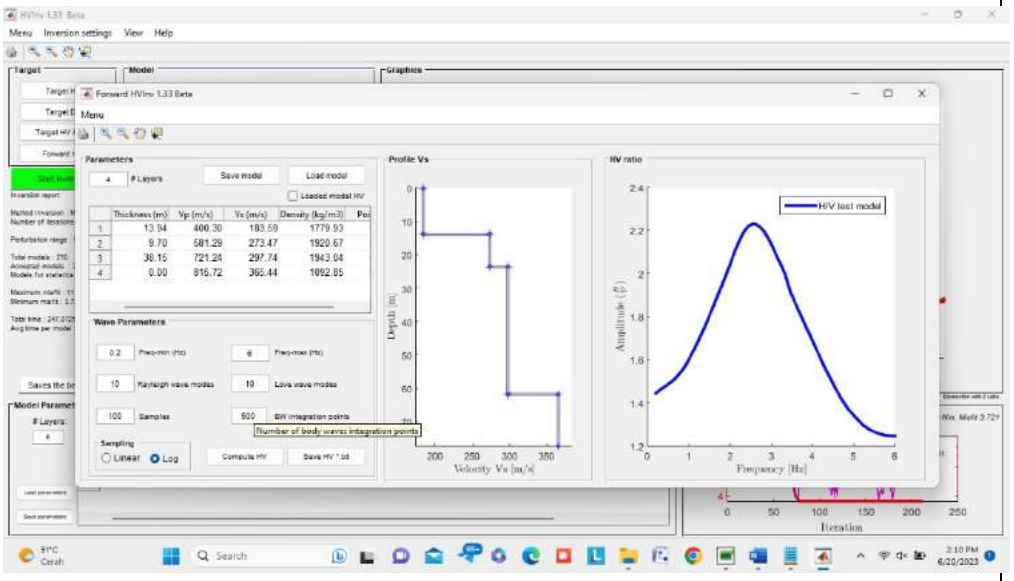
TITIK 23


HVInv 1.33 Beta
Menu Inversion settings View Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Start Inversion
Saves the best models
Model
Depth, m
Velocity [m/s]
Graphics
H/V ratio
Best fitting HV
Amplitude
Frequency [Hz]
Model Parameters
Layers:
Thickness min (m) Thickness max (m) Vp min (m/s) Vp max (m/s) Vs min (m/s) Vs max (m/s) Density min (Kg/m^3) Density max (Kg/m^3) Poi
1 0.00 10.00 300.00 400.00 175.00 245.00 800.00 2000.00
2 0.00 25.00 400.00 600.00 200.00 368.00 800.00 2000.00
3 0.00 35.00 500.00 800.00 250.00 490.00 800.00 2000.00
4 0.00 0.00 600.00 1000.00 300.00 613.00 800.00 2000.00
Misfit History
Minimum misfit
Current misfit
Misfit
Iteration
Search
12:31 PM
5/31/2023

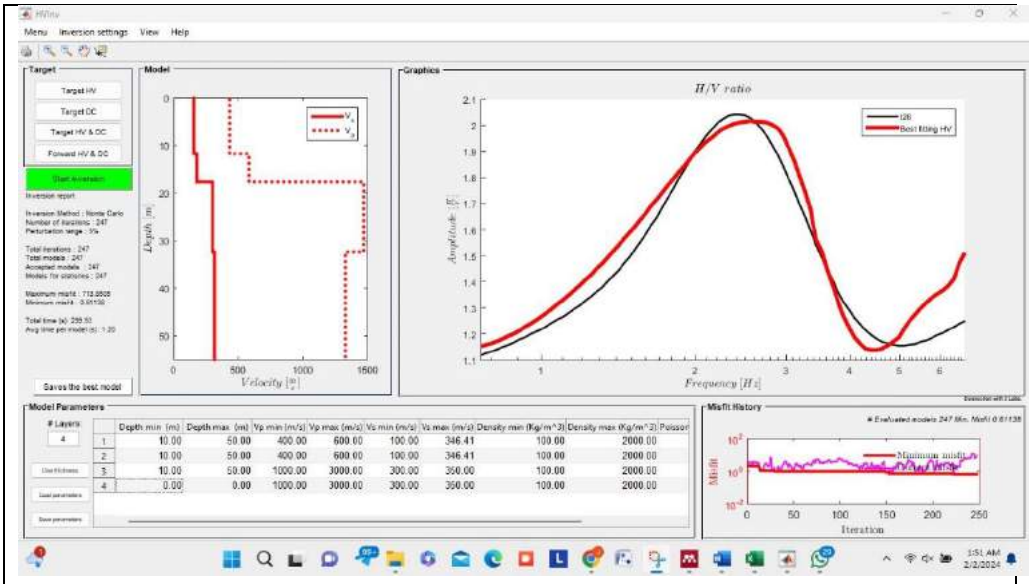
HVInv 1.33 Beta
Menu Inversion settings View Help
Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Layers
Save model
Load model
Loaded model HV
Wave Parameters
Freq-min (Hz)
Freq-max (Hz)
Rayleigh wave modes
Love wave modes
Samples
BW integration points
Sampling
Linear
Log
Compute HV
Save HV *.txt
Profile Vs
Depth, m
Velocity Vs [m/s]
HV ratio
H/V test model
Amplitude
Frequency [Hz]
Search
12:31 PM
5/31/2023

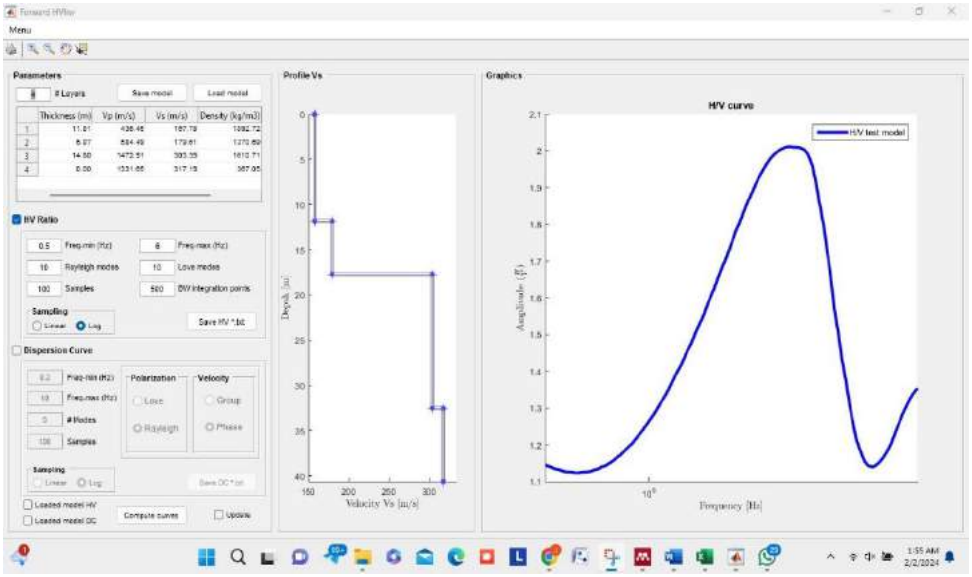
TITIK 24


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Model
Graphics
H/V ratio
Best fitting HV
Depth [m]
Velocity [ft]
Amplitude [-]
Frequency [Hz]
Model Parameters
Layers
Misfit History
Minimum misfit
Current misfit
Misfit
Iteration

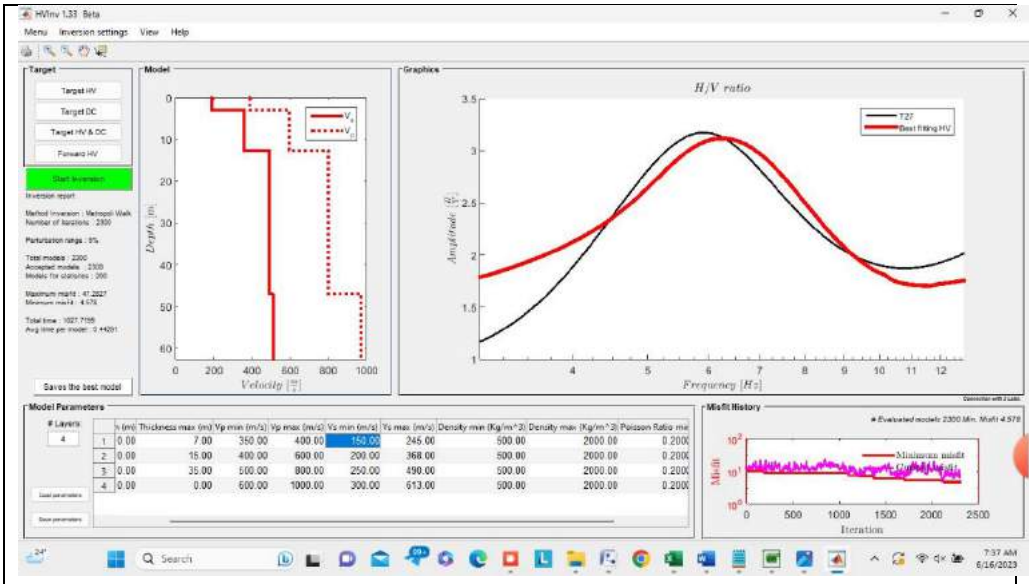

HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Forward HVInv 1.33 Beta
Parameters
Layers
Save model
Load model
Wave Parameters
Profile Vs
HV ratio
HV last model
Depth [m]
Velocity Vs [m/s]
Amplitude [-]
Frequency [Hz]
Iteration

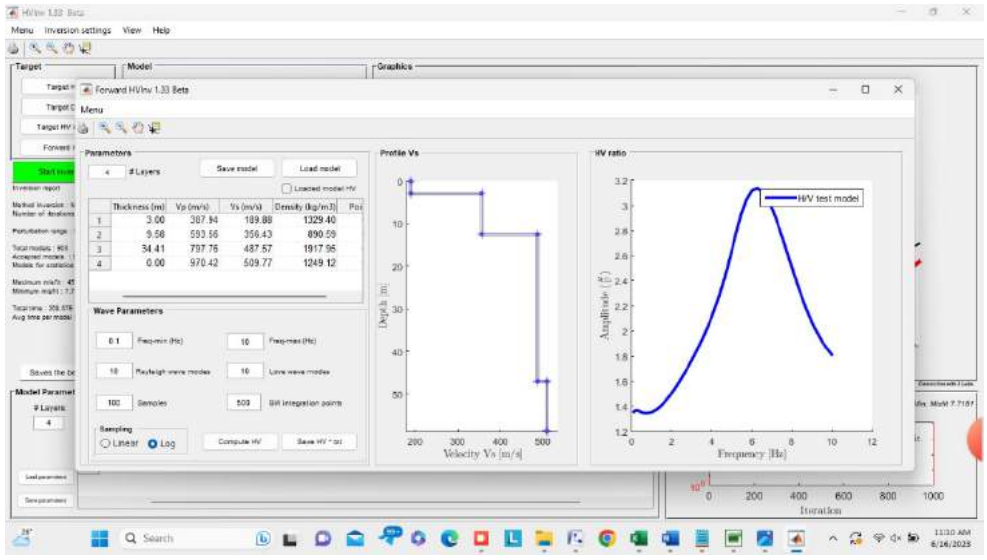
TITIK 25


Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV & DC
Model
Graphics
H/V ratio
Best fitting HV
Model Parameters
Layers
Misfit History
Iteration


Menu
Parameters
Layers
Thickness (m)
Vp (m/s)
Vs (m/s)
Density (kg/m3)
H/V Ratio
Dispersion Curve
Profile Vs
Graphics
H/V curve
H/V best model
Velocity Vs [m/s]
Frequency [Hz]

TIITK 26


HVInv 1.33 Beta
Menu
Inversion settings
View
Help
Target
Target HV
Target DC
Target HV & DC
Forward HV
Start Inversion
Saves the best model
Model
Depth [m]
Velocity [m/s]
Graphics
H/V ratio
T27
Best fitting HV
Amplitude
Frequency [Hz]
Model Parameters
Layers
Misfit History
Misfit
Iteration
Search

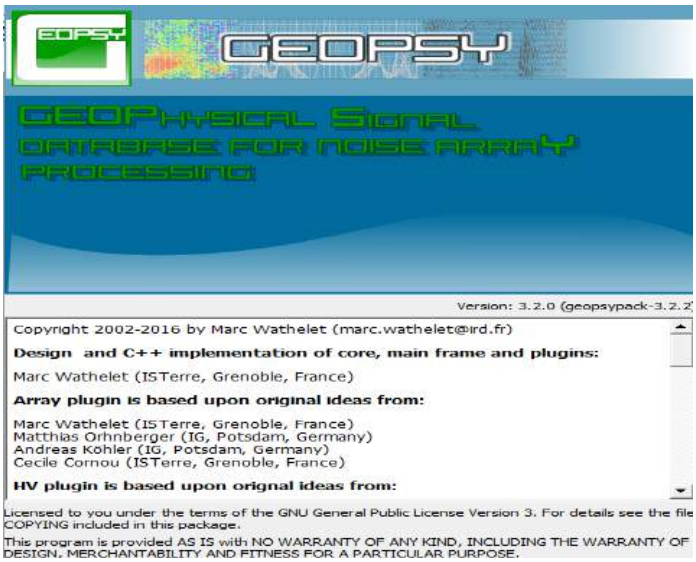

Forward HVInv 1.33 Beta
Menu
Parameters
Layers
Save model
Load model
Thickness (m)
Vp (m/s)
Vs (m/s)
Density (kg/m3)
Wave Parameters
Sampling
Linear
Log
Profile Vs
Depth [m]
Velocity Vs [m/s]
HV ratio
HV test model
Amplitude
Frequency [Hz]
Misfit
Iteration
Search

TIITK 27

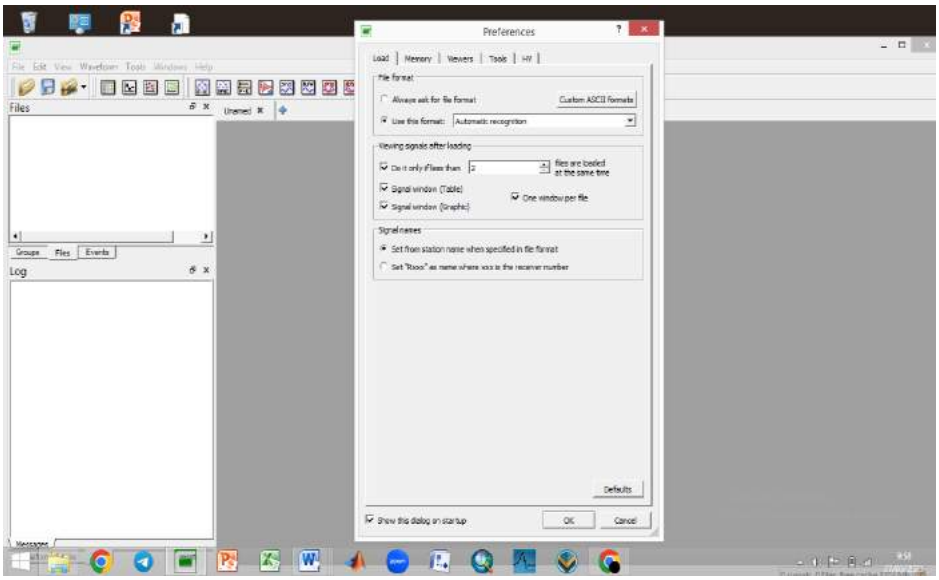
LAMPIRAN 6

Tahap Pengolahan Data Mikrotremor Dengan *Software Geopsy*

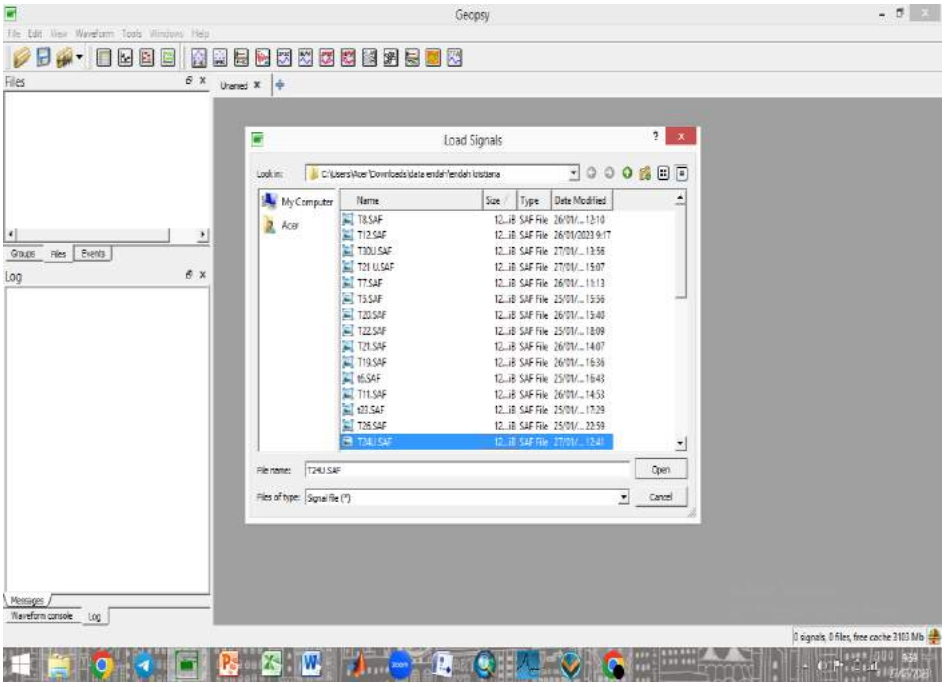
1. Data mikrotremor dengan format *SAF *(Sesame ACII Format)*
2. Kemudian mengolah data dengan mengunakan metode analisi H/V mengunakan *sofware Geopsy*

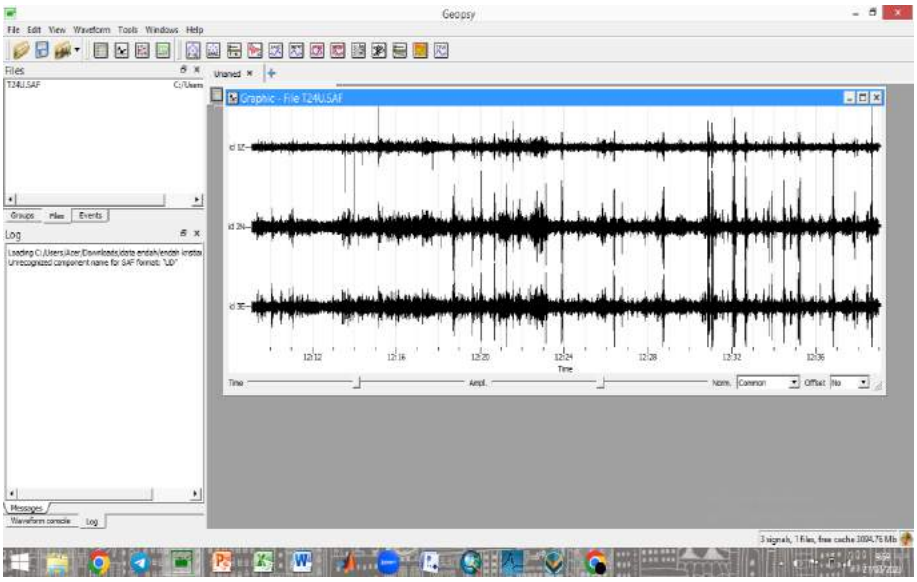


3. Buka *software Geopsy* kemudian klik ok

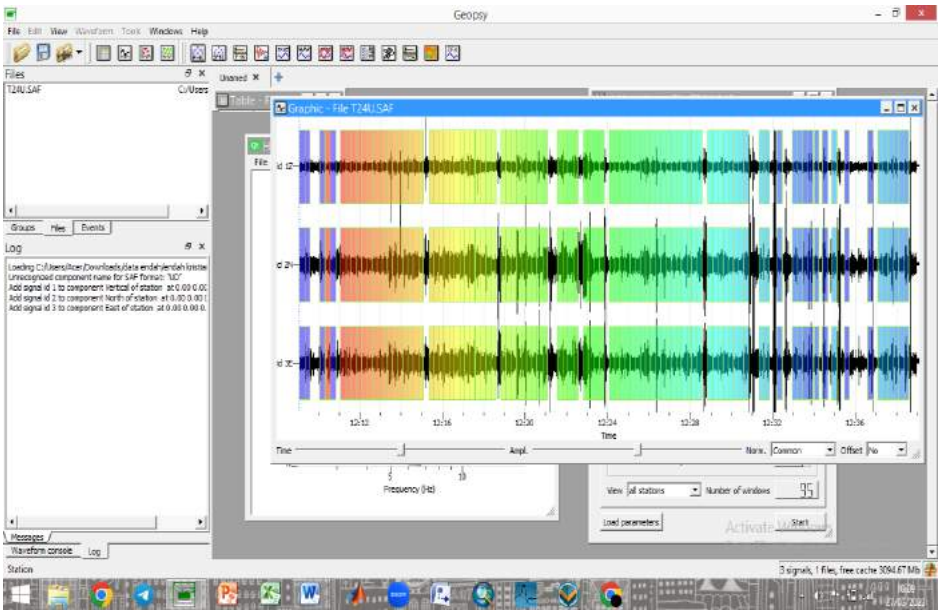


4. Klik *import signal* dan masukan buka file data yang berbentuk format *SAF dan klik *open*

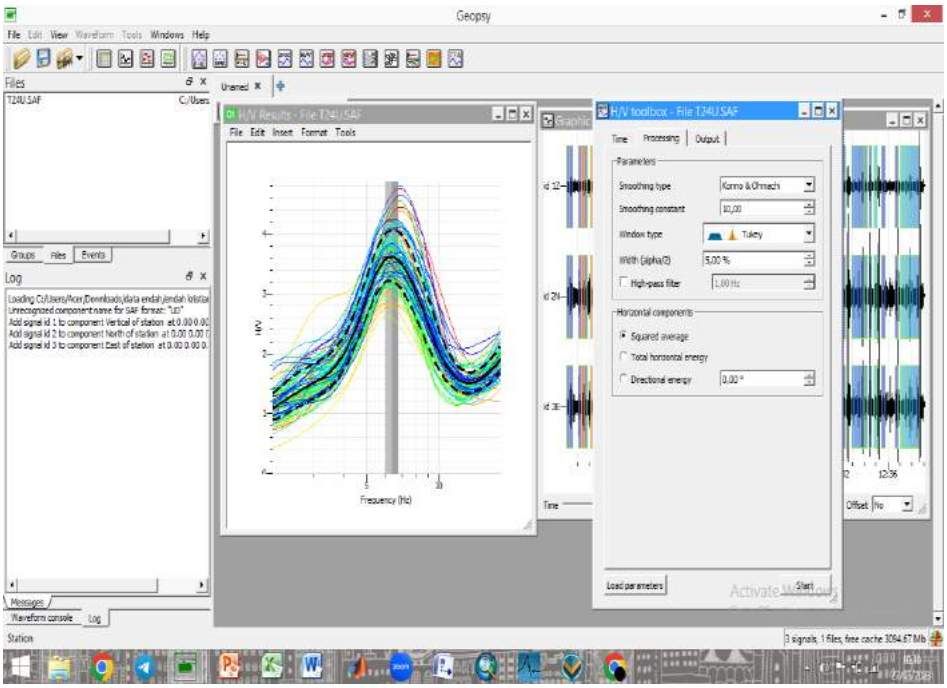




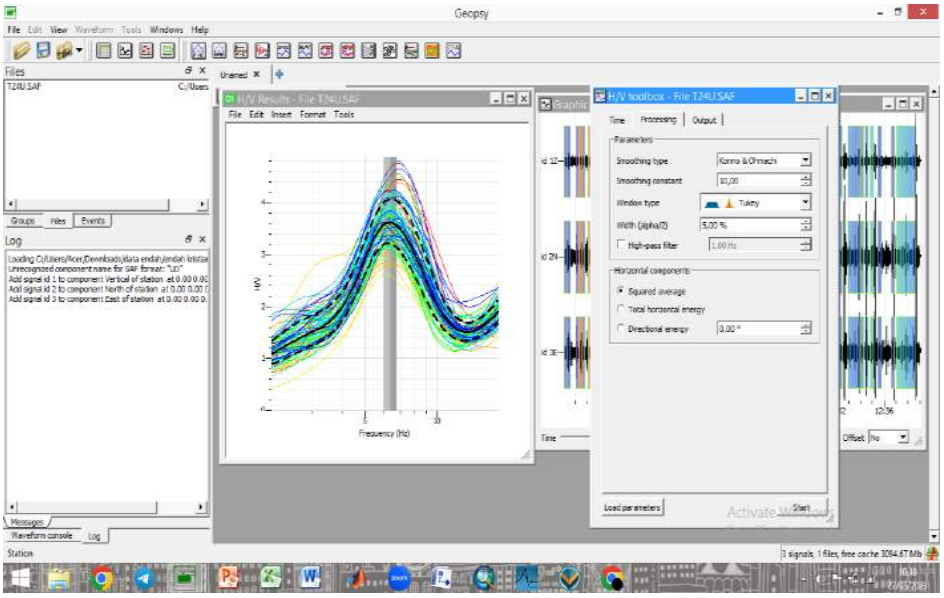
5. Kemudian klik pada toolbar H/V maka akan muncul *spectral ratio toolbox*. Lalu lakukan tahap *windowing* dengan klik *select* dan pilih add kemudian pilih grafik *noise* yang paling kecil

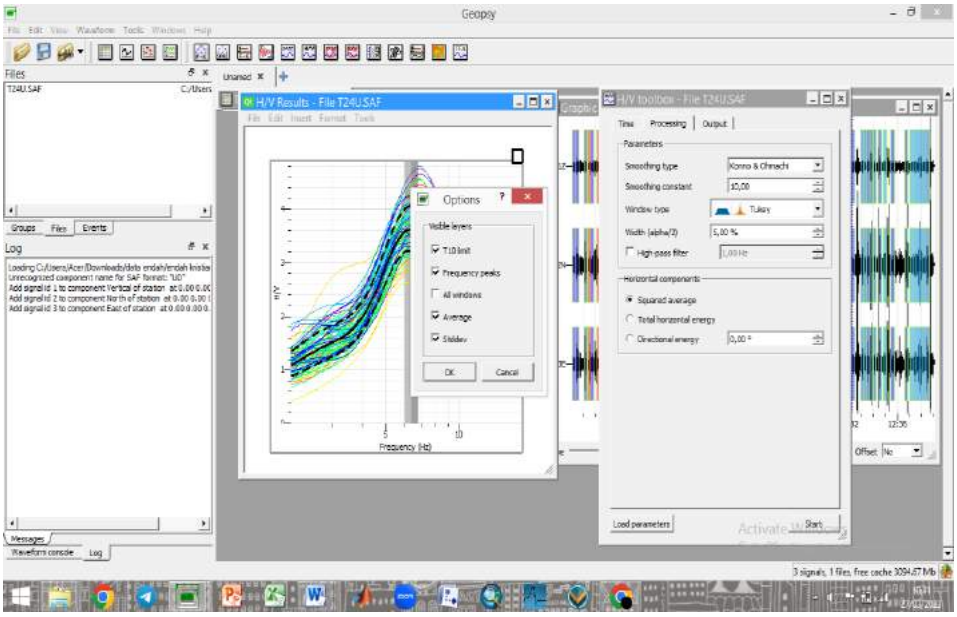


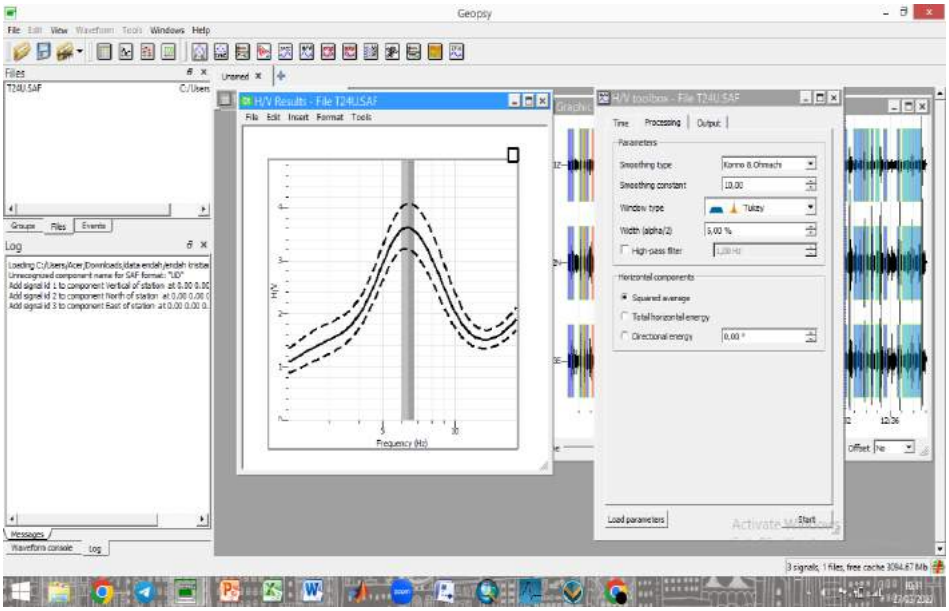
6. Klik *start* maka akan muncul kurva



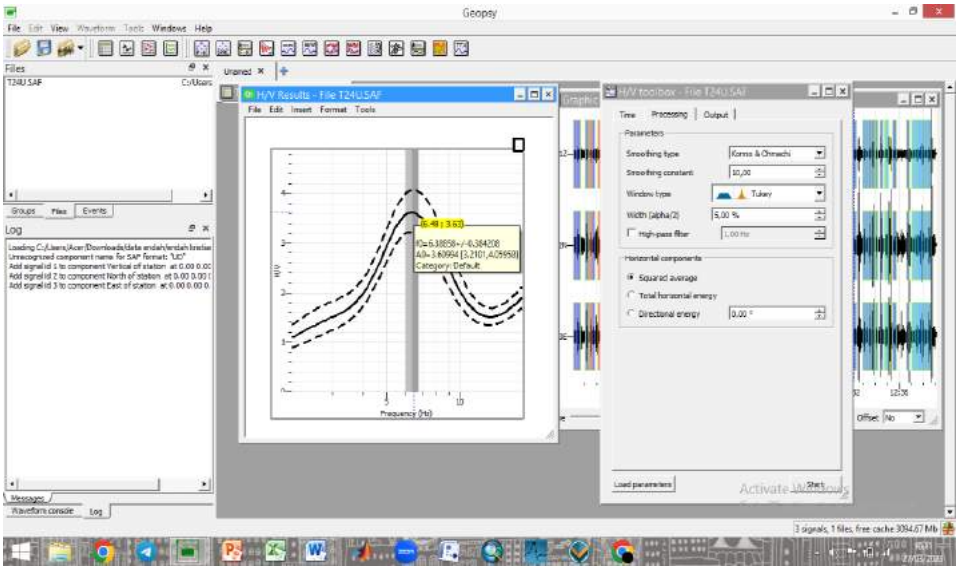
7. Untuk menghilangkan kurva-kurva warna pilih menu *format* dan klik *optional* kemudian hilngkan tanda centang pada *all windows*



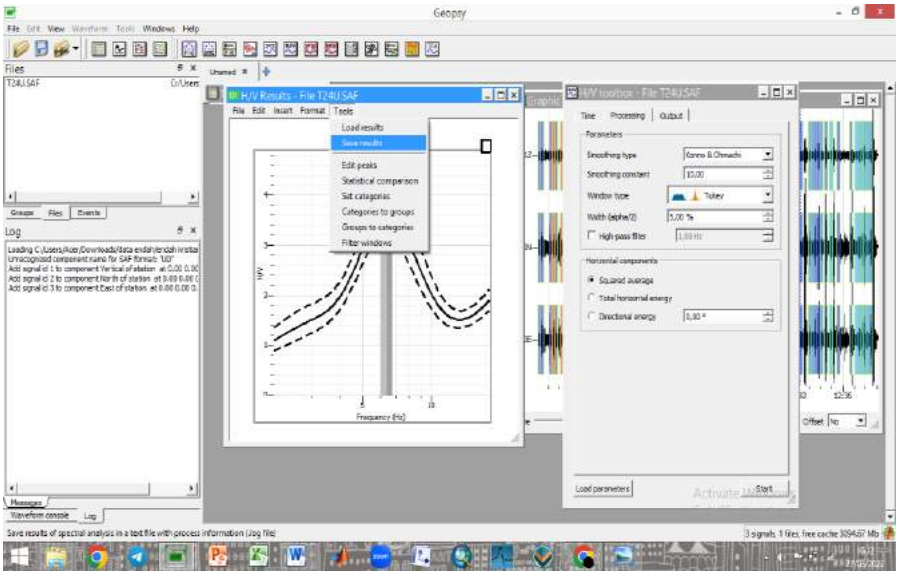




8. Untuk menampilkan hasil f_0 dan A_0 letakkan kursor didaerah kurva



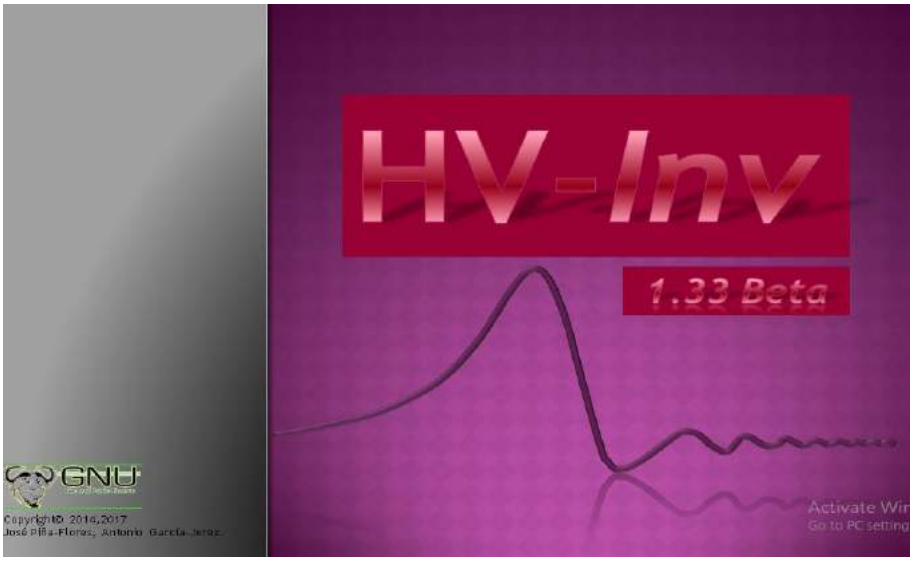
9. Kemudian untuk menyimpan data dalam *.hv dengan cara save result pada menu tools, yang nantinya data kurva H/V akan diinversikan ke *Software HVInv beta.*


Geopsy
File Edit View Waveform Tools Windows Help
Files
T24U.SAF
C:/Users
Log
H/V Results - File T24U.SAF
File Edit Insert Format Tools
Load results
Save results
Edit peaks
Statistical comparison
Set categories
Categories to groups
Groups to categories
Filter windows
H/V toolbox - File T24U.SAF
Time Processing Output
Parameters
Smoothing type
Konno & Ohmachi
Smoothing constant
40,00
Window type
Tukey
Width (alpha/2)
5,00 %
High-pass filter
1,00 Hz
Horizontal components
Squared average
Total horizontal energy
Directional energy
0,00 °
Load parameters
Start
Offset
No
Frequency (Hz)
Save results of spectral analysis in a text file with process information (Log file)
3 signals, 1 files, free cache 3094,67 Mb

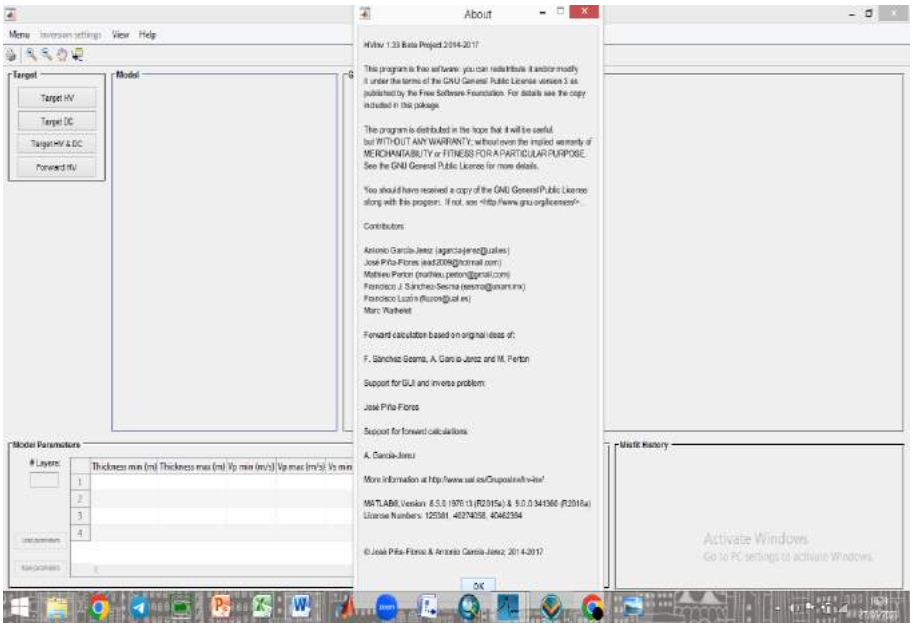
LAMPIRAN 7

Tahap Pengolahan Data Analisis HVSR dengan Data Kurva H/V di *Software* HV-Inv Beta

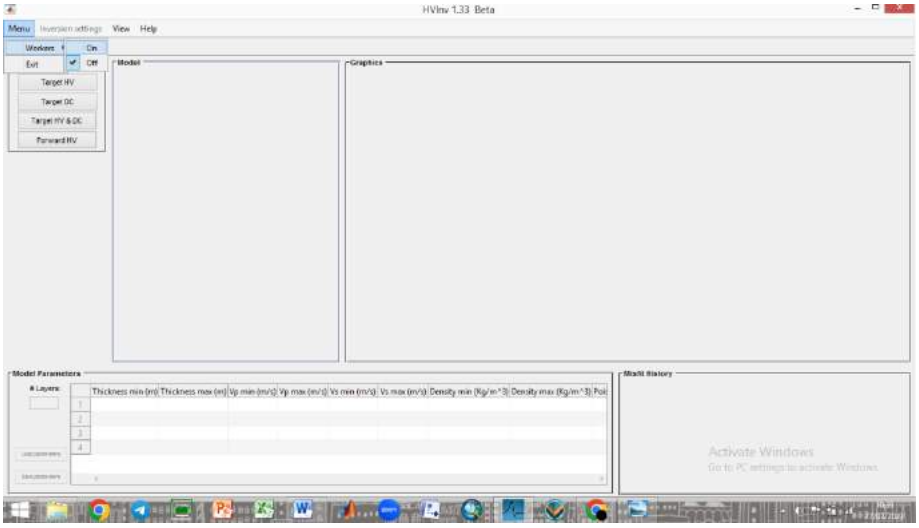
1. Data kurva H/V dalam bentuk format *txt
2. Tahap selanjutnya mengolah data dengan cara Inversi HVSR mengunakan *software HV-Inv Beta*



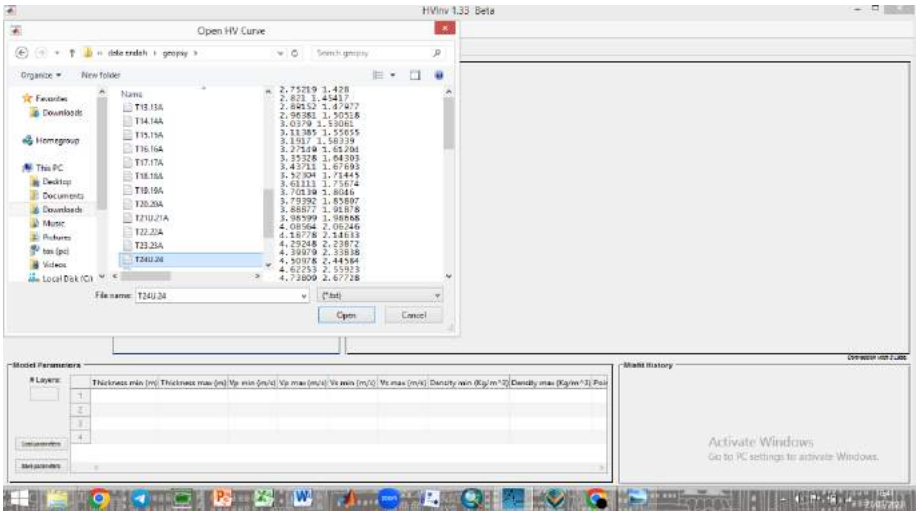
3. Kemudian buka *software HV-Inv Beta* lalu klik ok



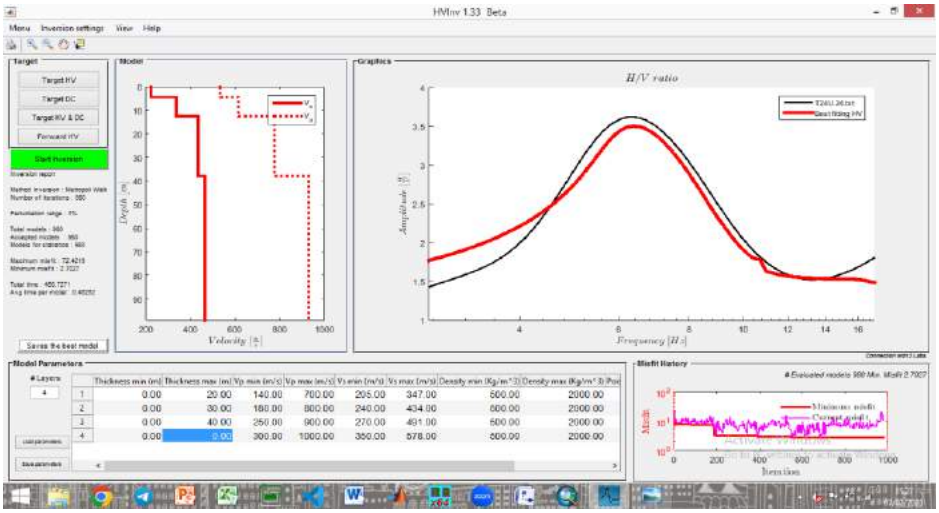
4. Pilih *workes* dan pilih on



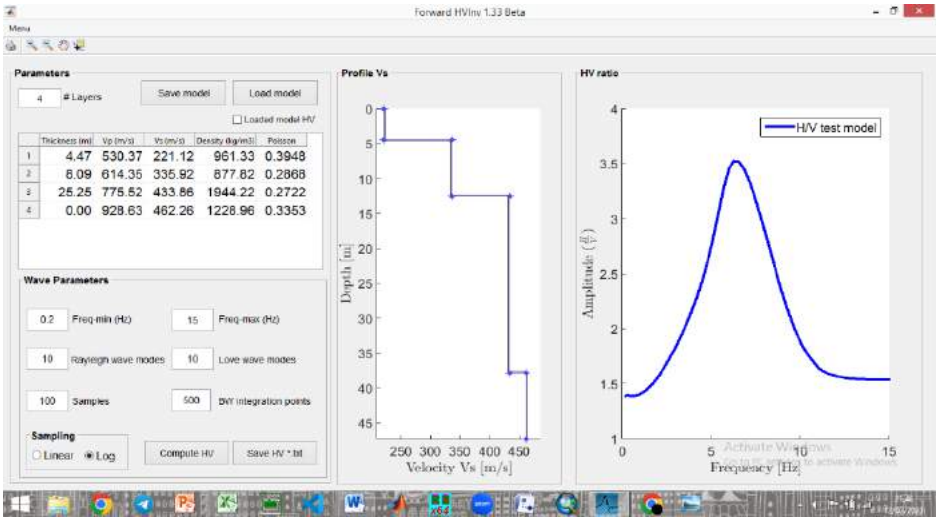
5. Kemudian *input* data dalam format *txt yang telah disimpan pada pengolahan sebelumnya, lalu klik Target H/V, dan pilih data dengan format *txt



6. Diinput parameter model awak berupa *Thicknes*, *Thickness*,*Vp*, *Vs*, *Density*, *Poisson Ratio* dari data parameter yang telah ada di *Software* tersebut. Kemudian klik load parameter, lalu klik "*Start Inversion*"



7. Kemudian H/V yang terhitung, klik *forward HV*, pilih *load model*, kemudian diisi batasan keluaran frekuensi pada saat diolah di *geopsy* dan pilih "*Compute HV*", lalu "*Save Have"*. Hasil dari Inversi HVSR ini berupa nilai *Thickness, V_P, V_S, Density* dalam bentuk format *.txt



LAMPIRAN 8

Dokumentasi Penelitian

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama	:	Juwindri Aisah Sihombing
NPM	:	F1C019019
Tempat, Tanggal Lahir	:	Pasar Baru, 14 September 2000
Jenis Kelamin	:	Perempuan
Agama	:	Kristen Protestan
Status	:	Belum Kawin
Alamat	:	Jl. Tugu no 56 Pasar Baru, Kecamatan Lintongnihuta, Kabupaten Humbang Hasundutan, Provinsi Sumatera Utara
No.HP	:	082267729600
E-mail	:	aisyahjuwindri09@gmail.com

PENDIDIKAN

	SD	SMP	SMA	Universitas
Nama Instansi	SD Swasta Bintang Kejora Lintongnihuta	SMP Swasta Santo Yoseph Lintongnihuta	SMAN 01 Lintongnihuta	Universitas Bengkulu
Jurusan	-	-	IPA	Fisika
Periode	2007-2013	2013-2016	2016-2019	2019-2024

KEMAMPUAN

- Microsoft Office (Ms. Word, Excel, Powerpoint)
- *Software Hv-Inv Beta*
- *Software Geopsy*
- *Software Arcgis*

PRESTASI

- Asisten Dosen Lab.Fisika UNIB Tahun 2021-2022
- Kepala Bidang kerohanian Kristen HIMAFI 2021-2022
- Pengurus Perkantas 2022-2023

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS BENGKULU
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
Jln.WR Supratman, Kandang Limun, Kota Bengkulu
Telepon: (0736) 20919, 21170 ext. 208 Faksimile: (0736) 20919
Laman: http://www.fmipa.unib.ac.id email: dekanat_fmipa@unib.ac.id

LEMBAR HASIL TES *SIMILARITY*

Identitas Dokumen

Nama Dokumen	: SKRIPSI
Format Dokumen	: PDF
Nama Mahasiswa	: Juwindri Aisyah Sihombing
NPM	: F1C019019
Judul	: STUDI NILAI KECEPATAN GELOMBANG GESER (Vs) PELAPISAN BATUAN DAN PERUBAHAN GARIS PANTAI BENGKULU TENGAH

Hasil Tes *Similarity*

Sofware	: Turnitin
Jenis Tes	: *Online Plagiarism*
Hari/ Tanggal Tes	: Senin/ 05 Februari 2024
**Statistics*	:

Jumlah kata	Indeks *Similarity*
9457	15%

*Ringkasan hasil tes terlampir

Bengkulu, 05 Februari 2024
Ketua Jurusan

Dr. Lizalidiawati, S.Si., M.Si
NIP. 197710072002122002

Catatan:
- Hasil tes similarity/ plagiasi yang diperbolehkan maksimal 30%
- Untuk program studi vokasi ditanda tangani langsung Wakil Dekan Akademik

Studi nilai kecepatan gelombang geser (vs) pelapisan batuan dan perubahan garis pantai Bengkulu tengah

ORIGINALITY REPORT

15%	14%	4%	6%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	docplayer.info Internet Source	3%
2	repository.its.ac.id Internet Source	1%
3	erepo.unud.ac.id Internet Source	1%
4	journal.ipb.ac.id Internet Source	1%
5	eprints.uny.ac.id Internet Source	1%
6	repository.ub.ac.id Internet Source	<1%
7	repository.lppm.unila.ac.id Internet Source	<1%
8	repository.unja.ac.id Internet Source	<1%
9	pt.scribd.com Internet Source	<1%

10	repository.warmadewa.ac.id Internet Source	<1 %
11	dspace.hangtuah.ac.id:8080 Internet Source	<1 %
12	repositori.unsil.ac.id Internet Source	<1 %
13	ejournal.unib.ac.id Internet Source	<1 %
14	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %
15	media.neliti.com Internet Source	<1 %
16	www.scribd.com Internet Source	<1 %
17	pdfcoffee.com Internet Source	<1 %
18	repository.unsri.ac.id Internet Source	<1 %
19	www.cultek.com Internet Source	<1 %
20	proceedings.upi.edu Internet Source	<1 %
21	digilib.uinsby.ac.id Internet Source	<1 %

22	ojs.unm.ac.id Internet Source	<1 %
23	Submitted to Universitas Pendidikan Indonesia Student Paper	<1 %
24	Submitted to Universitas Sebelas Maret Student Paper	<1 %
25	Submitted to Universitas Papua Student Paper	<1 %
26	123dok.com Internet Source	<1 %
27	Submitted to Syiah Kuala University Student Paper	<1 %
28	idus.us.es Internet Source	<1 %
29	garuda.kemdikbud.go.id Internet Source	<1 %
30	repo.itera.ac.id Internet Source	<1 %
31	Submitted to Universitas Bengkulu Student Paper	<1 %
32	idr.uin-antasari.ac.id Internet Source	<1 %
33	jurnal.uns.ac.id Internet Source	

		<1 %
34	id.123dok.com Internet Source	<1 %
35	jge.eng.unila.ac.id Internet Source	<1 %
36	nanopdf.com Internet Source	<1 %
37	jurnal.batan.go.id Internet Source	<1 %
38	Submitted to itera Student Paper	<1 %
39	repository.itera.ac.id Internet Source	<1 %
40	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
41	journal.upp.ac.id Internet Source	<1 %
42	download.garuda.ristekdikti.go.id Internet Source	<1 %
43	jrisetgeotam.com Internet Source	<1 %
44	repositori.usu.ac.id Internet Source	<1 %

45	repository.unibos.ac.id Internet Source	<1%
46	www.lpem.org Internet Source	<1%
47	qdoc.tips Internet Source	<1%
48	www.ejournal.warmadewa.ac.id Internet Source	<1%

Exclude quotes	Off	Exclude matches	Off
Exclude bibliography	On		