

Pemrosesan Data Seismik Pasif, Metode HVSR

Author: Annora Vandana Erlangga

Pemrosesan data seismik pasif merupakan teknik penting dalam geofisika untuk memahami struktur bawah permukaan bumi tanpa memerlukan sumber getaran buatan. Metode ini memanfaatkan getaran alami atau kebisingan seismik yang terjadi secara kontinu di permukaan bumi, seperti gelombang mikrotermor yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam pemrosesan data seismik pasif adalah metode *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Metode HVSR pertama kali diperkenalkan oleh Nakamura pada tahun 1989 dan sejak itu telah digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi geofisika.

Metode HVSR diperkenalkan oleh Nakamura (1989) dengan dasar asumsi bahwa gelombang Rayleigh dan gelombang Love (yang mendominasi gelombang permukaan dari sumber noise seismik) menghasilkan respon spektral dominan pada komponen horizontal. Sementara komponen vertikal relatif stabil. Maka, rasio H/V dapat memperlihatkan resonansi lokal yang berhubungan dengan ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang geser (V_s) (Nakamura, 1989).

Dengan mengukur tiga komponen gerakan partikel dan menghitung rasio antara spektrum komponen horizontal (H) terhadap komponen vertikal (V), di atas lapisan tanah yang memiliki impedansi shear yang meningkat (yaitu hasil kali antara densitas dan kecepatan gelombang geser V_s), maka dapat diperoleh nilai dari frekuensi resonansi (Abu Zeid et al., 2017). Jika kondisi bawah permukaan sederhana (homogen elastik), maka ketebalan sedimen (h) dan kecepatan gelombang S dapat ditentukan dengan hubungan parameter frekuensi resonansi (f_n).

$$f_n = \frac{V_s(2n - 1)}{4h}, n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Umumnya hanya frekuensi fundamental f_0 yang terlihat pada perhitungan HVSR, orde n yang lebih tinggi akan muncul pada kontras impedansi yang tinggi. Nilai frekuensi fundamental yang didapatkan juga dipengaruhi oleh durasi pengukuran seismik pasif. Menurut SESAME (2004), rekomendasi durasi pengukuran dengan nilai frekuensi fundamental yang didapatkan adalah

Frekuensi fundamental (f_0)[Hz]	Minimal durasi pengukuran [menit]
0.2	30'
0.5	20'
1	10'
2	5'
5	3'
10	2'

Durasi pengukuran tersebut juga perlu disesuaikan dengan kondisi *noise* di lapangan.

Perhitungan spektrum HVSR dilakukan dengan cara menghitung rasio antara akar rata-rata kuadrat (root mean square) dari spektrum amplitudo dua komponen horizontal (umumnya arah timur–barat dan utara–selatan) terhadap komponen vertikal. Rumus HVSR secara umum dituliskan sebagai berikut (SESAME, 2004):

$$HVSR = \frac{\sqrt{H_{NS}(f)^2 + H_{EW}(f)^2}}{V(f)} \quad (2)$$

di mana:

- $HVSR$ = rasio spektrum H/V
- $H_{NS}(f)$ = Komponen arah utara-selatan dalam domain frekuensi
- $H_{EW}(f)$ = Komponen arah timur–barat dalam domain frekuensi
- $V(f)$ = Komponen arah vertikal dalam domain frekuensi

Terdapat beberapa metode perhitungan rasio H/V:

1. **arithmetic mean**, $H/V = (H_{NS} + H_{EW})/2V(f)$, Chavez-Garcia et al. (2007)
2. **geometric mean**, $H/V = \sqrt{H_{NS} \cdot H_{EW}}/V(f)$, Picozi et al. (2005) dan Pileggi et al. (2011)
3. **vector summation**, $H/V = \sqrt{H_{NS}^2 + H_{EW}^2}/V(f)$, SESAME (2004), Sauriau et al. (2007), dan Puglia et al. (2011)
4. **quadratic mean**, $H/V = \sqrt{H_{NS}^2 + H_{EW}^2}/2V(f)$, Bonnefoy-Claudet et al. (2006, 2008) dan Fah et al. (2001)
5. **maximum horizontal value**, $H/V = \max(H_{NS}, H_{EW})/V(f)$, Konno & Ohmachi (1998)

Hasil dari fungsi HVSR terhadap frekuensi ini kemudian diplot untuk mengidentifikasi puncak (peak) yang muncul pada grafik tersebut. Puncak tersebut merepresentasikan frekuensi resonansi lokal atau frekuensi fundamental (f_0) yang sangat dipengaruhi oleh kontras impedansi antara lapisan sedimen dan batuan dasar di bawahnya. Frekuensi resonansi (f_0) memiliki hubungan terbalik dengan ketebalan sedimen: semakin tebal lapisan sedimen, semakin rendah nilai (f_0). Oleh karena itu, metode HVSR sangat efektif untuk mengestimasi ketebalan sedimen dan struktur bawah permukaan, terutama di daerah yang memiliki kontras impedansi signifikan antara lapisan. Metode ini banyak digunakan karena bersifat non-destruktif, ekonomis, dan mudah diimplementasikan di lapangan tanpa memerlukan sumber energi buatan seperti ledakan atau palu. Namun, interpretasi hasilnya tetap harus mempertimbangkan kondisi geologi lokal dan kualitas data.

From H/V Spectral ratio analysis to bedrock depth?

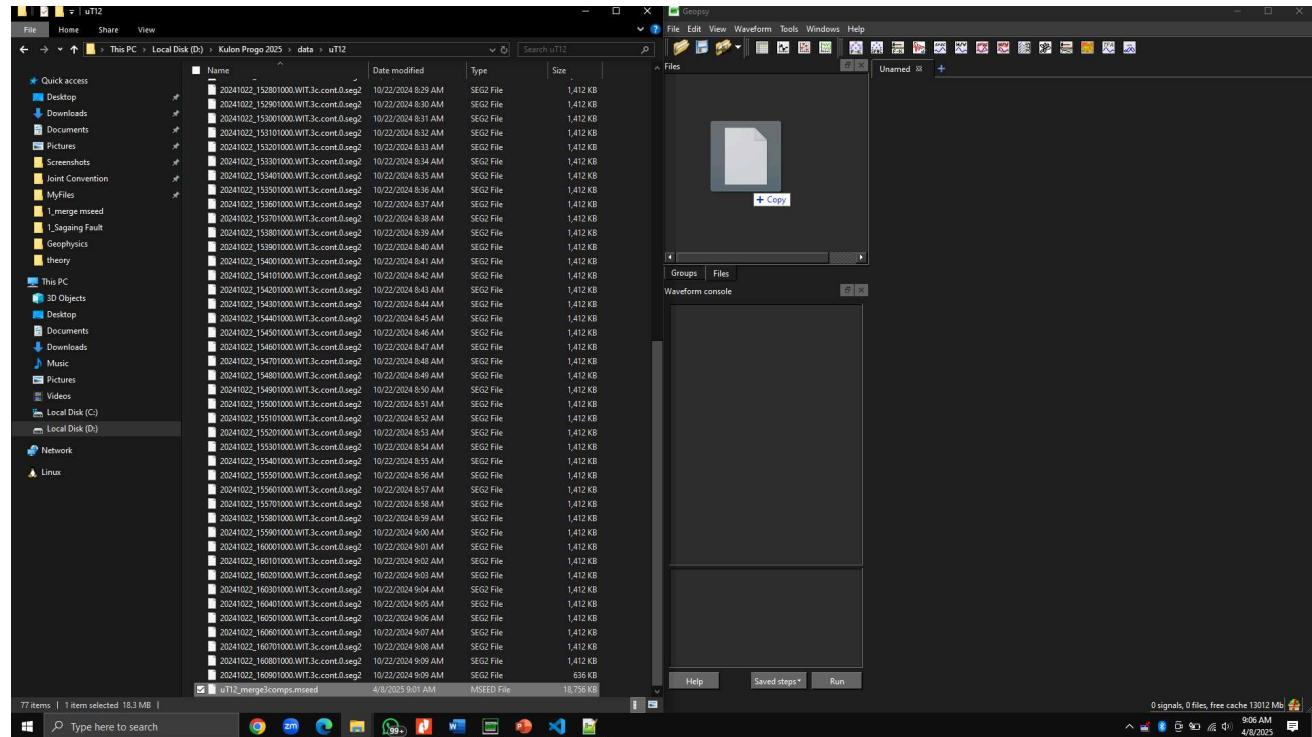
Analisis spektral dilakukan menggunakan *software* GEOPSY (Wathelet, 2005) dan secara umum digunakan untuk menghitung frekuensi resonansi suatu daerah. Frekuensi resonansi dapat diinterpretasikan menggunakan persamaan regresi untuk mengestimasi kedalaman *bedrock* dan juga menghitung ketebalan sedimen.

Secara umum, pengolahan HVSR dilakukan dengan tahapan:

- Penerapan parameter di dalam pengolahan (windowing, filtering, HV calculation, smoothing, dll)
- Pengecekan reabilitas hasil HVSR
- Melakukan korelasi antara frekuensi dominan H/V dengan kondisi geologi daerah pengukuran

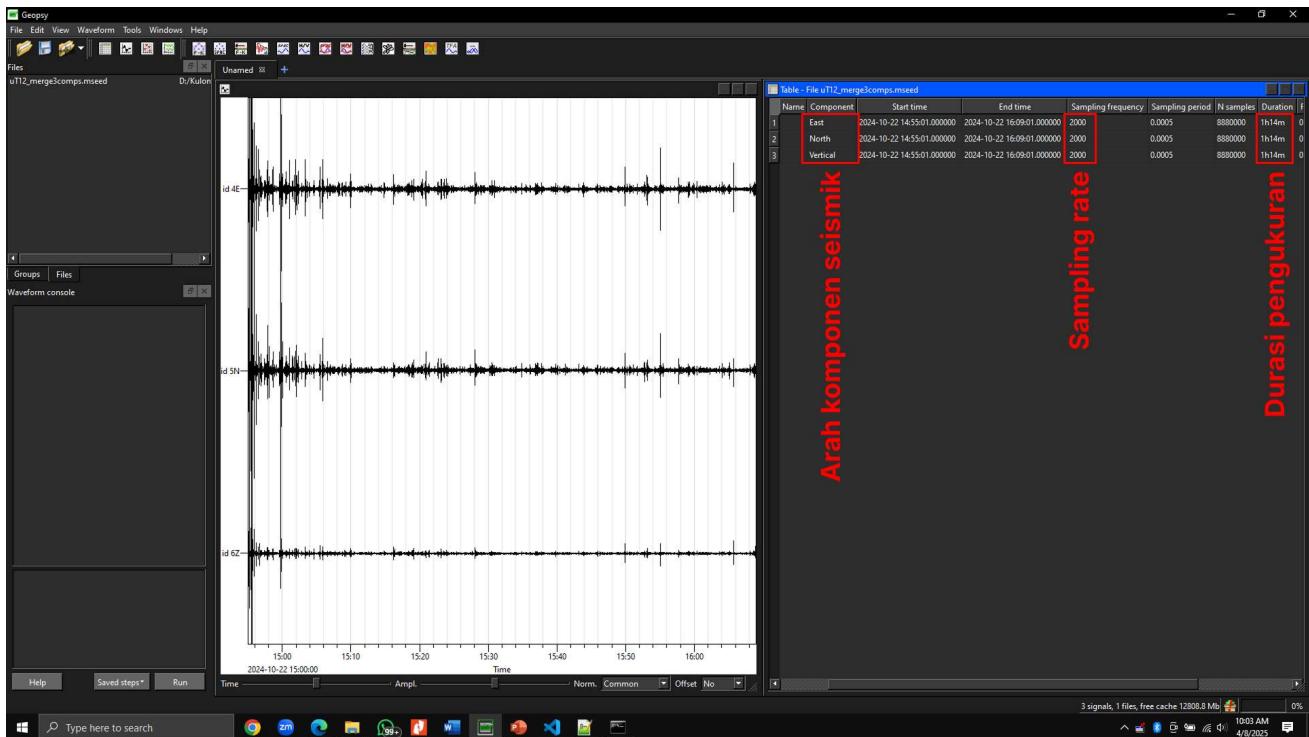
1. Input data ke dalam GEOPSY

Software GEOPSY dapat diunduh pada [website GEOPSY](#). Langkah pertama setelah membuka *software* GEOPSY adalah memasukkan data seismik pasif dalam format miniSEED yang telah digabungkan.



Gambar 1. Input data ke GEOPSY

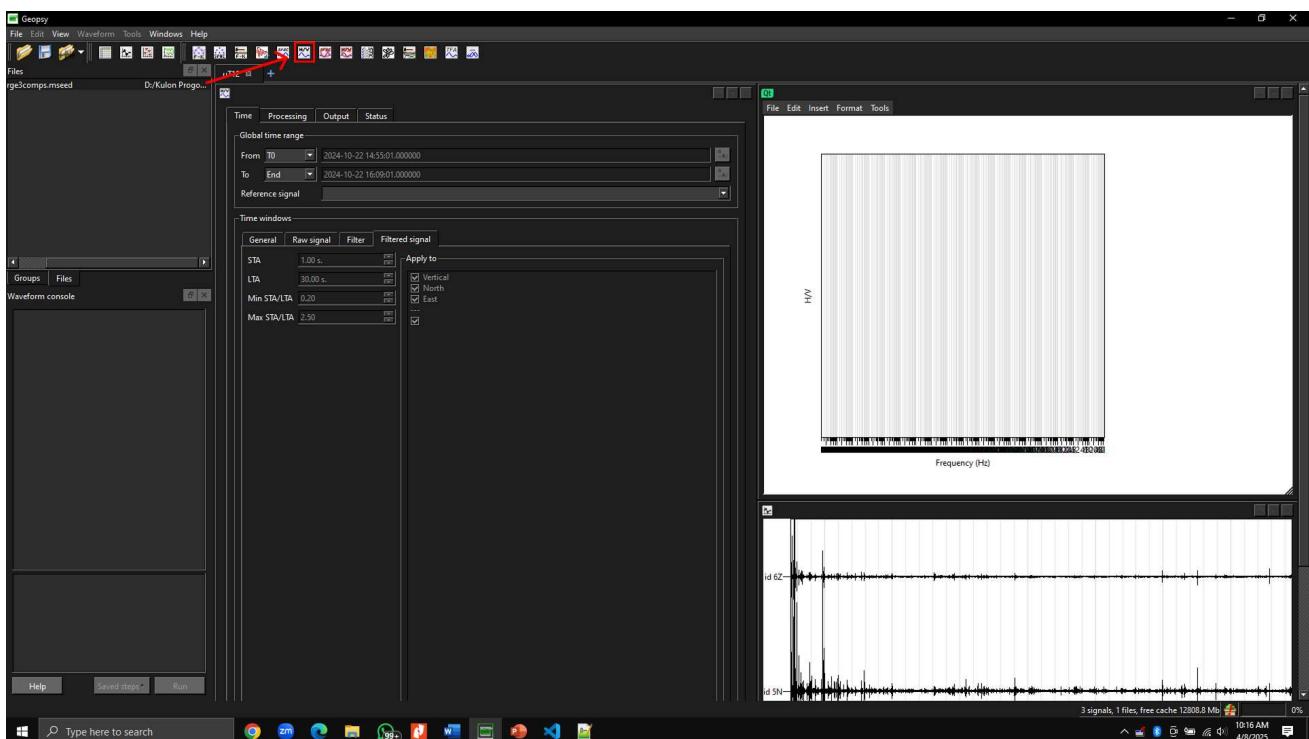
Data yang telah dimasukkan akan muncul pada layar utama. Terdapat beberapa informasi seperti arah komponen seismik, frekuensi sampling, dan durasi pengukuran.



Gambar 2. Data yang telah dimasukkan ke GEOPSY

2. Pemrosesan HVSR

Buka tab **HV** untuk membuka *tools* pemrosesan HVSR.



Gambar 3. Membuka tab HV

Langkah berikutnya adalah menerapkan parameter-parameter pengolahan yang digunakan dalam pemrosesan HVSR.

A. Windowing

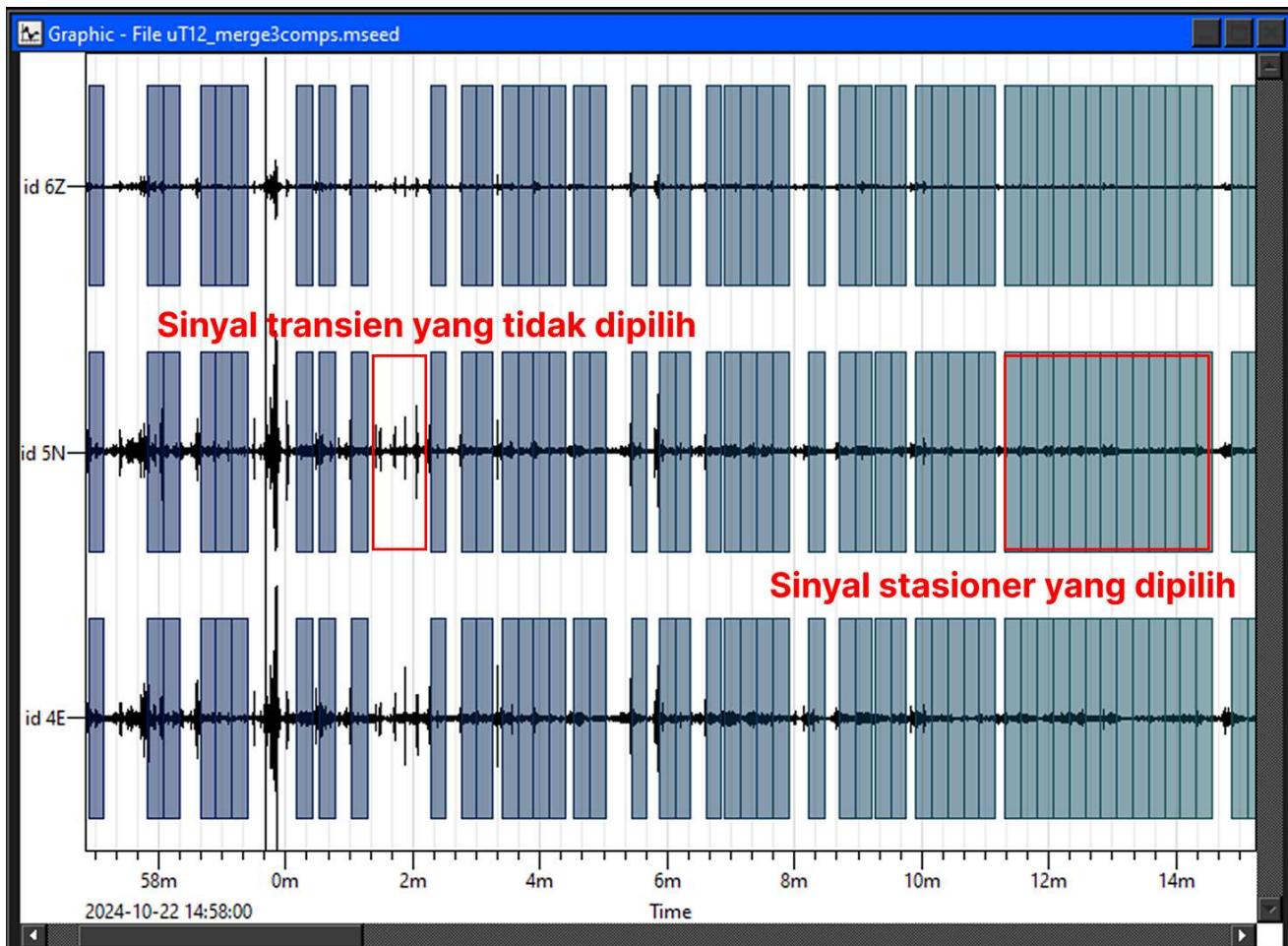
Langkah awal dalam pemrosesan sinyal pasif seismik dalam metode HVSR adalah *windowing*. Di GEOPSY, proses ini bertujuan untuk memilih segmen data yang stabil dan bebas dari gangguan *transient noise* seperti aktivitas manusia, kendaraan, atau gangguan sesaat lainnya. Untuk mengotomatisasi pemilihan jendela, GEOPSY menggunakan algoritma STA/LTA (*Short-Term Average / Long-Term Average*) yang umum digunakan dalam pendekripsi kejadian seismik. Algoritma ini membandingkan rata-rata energi sinyal dalam jangka pendek (*short-term average*) dengan rata-rata dalam jangka panjang (*long-term average*) (Khalqillah et al., 2018).

Ketika rasio ini melebihi ambang tertentu (*threshold*), maka jendela tersebut dianggap mengandung anomali atau gangguan, dan dapat dieliminasi secara otomatis dari analisis. Parameter yang disesuaikan adalah:

- Panjang jendela (misal 20–40 detik)
- Jumlah tumpang tindih antar-jendela (*overlap*)
- Threshold rasio STA/LTA

Pemilihan jendela yang representatif dan bebas gangguan sangat penting karena akan menentukan akurasi spektrum HVSR dan frekuensi resonansi (f_0) yang dihasilkan. Proses windowing pada GEOPSY untuk data `uT12` menggunakan parameter:

- STA = 1 s
- LTA = 30 s
- Min STA/LTA = 0.2
- Max STA/LTA = 2



Gambar 4. Proses windowing

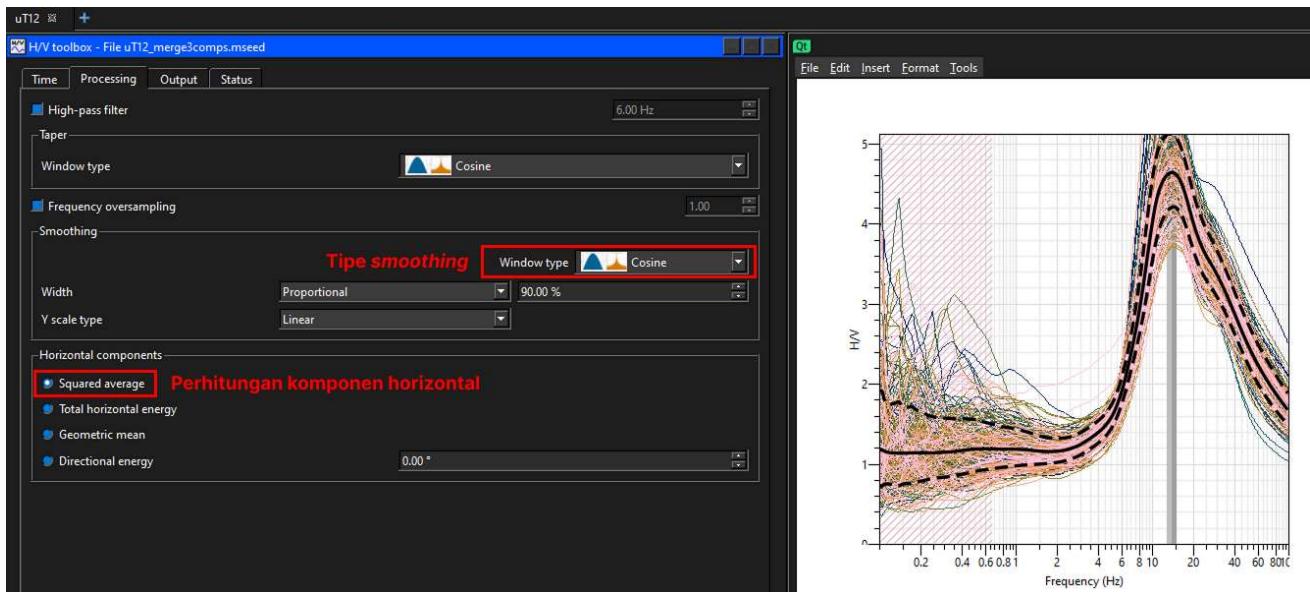
Pemilihan jendela yang representatif dan bebas gangguan sangat penting karena akan menentukan akurasi spektrum HVSR dan frekuensi resonansi (f_0) yang dihasilkan. Jika jendela berisi noise tidak teridentifikasi dan tetap diproses, maka kurva HVSR bisa menunjukkan *false peaks* atau spektrum yang tidak stabil. Algoritma STA/LTA dijelaskan lebih lanjut pada [dokumentasi modul obspy](#).

B. Perhitungan spektrum

Setelah jendela-jendela waktu dipilih, GEOPSY akan menghitung spektrum amplitudo dari masing-masing komponen seismik (komponen horizontal North–South, East–West, dan vertikal). Transformasi Fourier dilakukan untuk setiap jendela terpilih, sehingga diperoleh spektrum daya untuk masing-masing komponen pada rentang frekuensi tertentu.

C. Rasio H/V dan smoothing

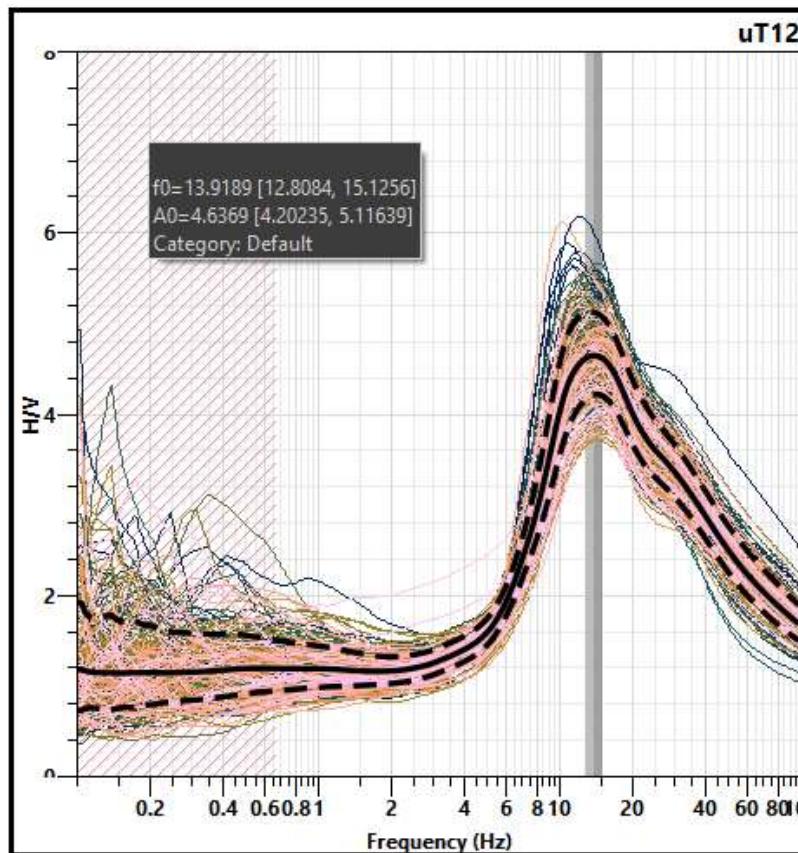
Rasio H/V dihitung menggunakan persamaan (2) dengan metode *squared average*. Hasil HVSR dari semua jendela kemudian di-*stacking* (dirata-ratakan) untuk mendapatkan kurva akhir HVSR. GEOPSY juga menyediakan opsi *smoothing* spektrum (misalnya cosine) untuk memperhalus kurva.



Gambar 5. Perhitungan rasio H/V

D. Visualisasi dan interpretasi

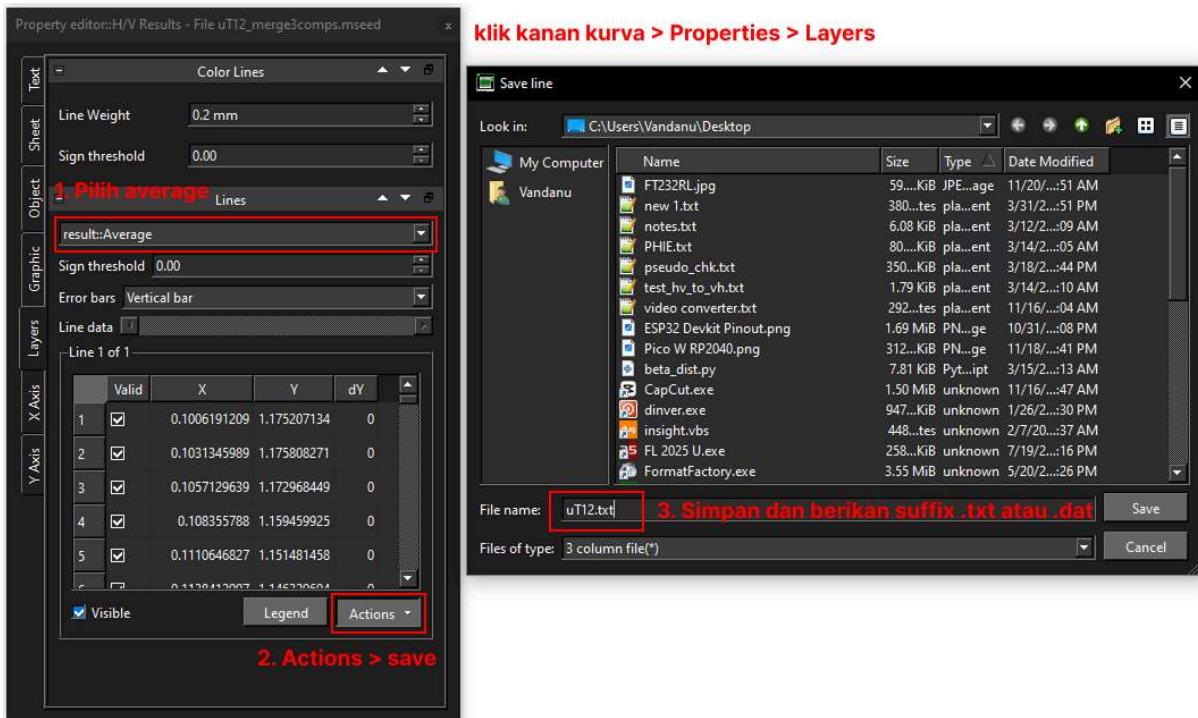
Setelah semua proses selesai, GEOPSY akan menampilkan **kurva HVSR**, lengkap dengan *confidence interval* (CI), serta informasi statistik lainnya seperti deviasi standar dan jumlah jendela yang digunakan. Contoh hasil visualisasi kurva HVSR:



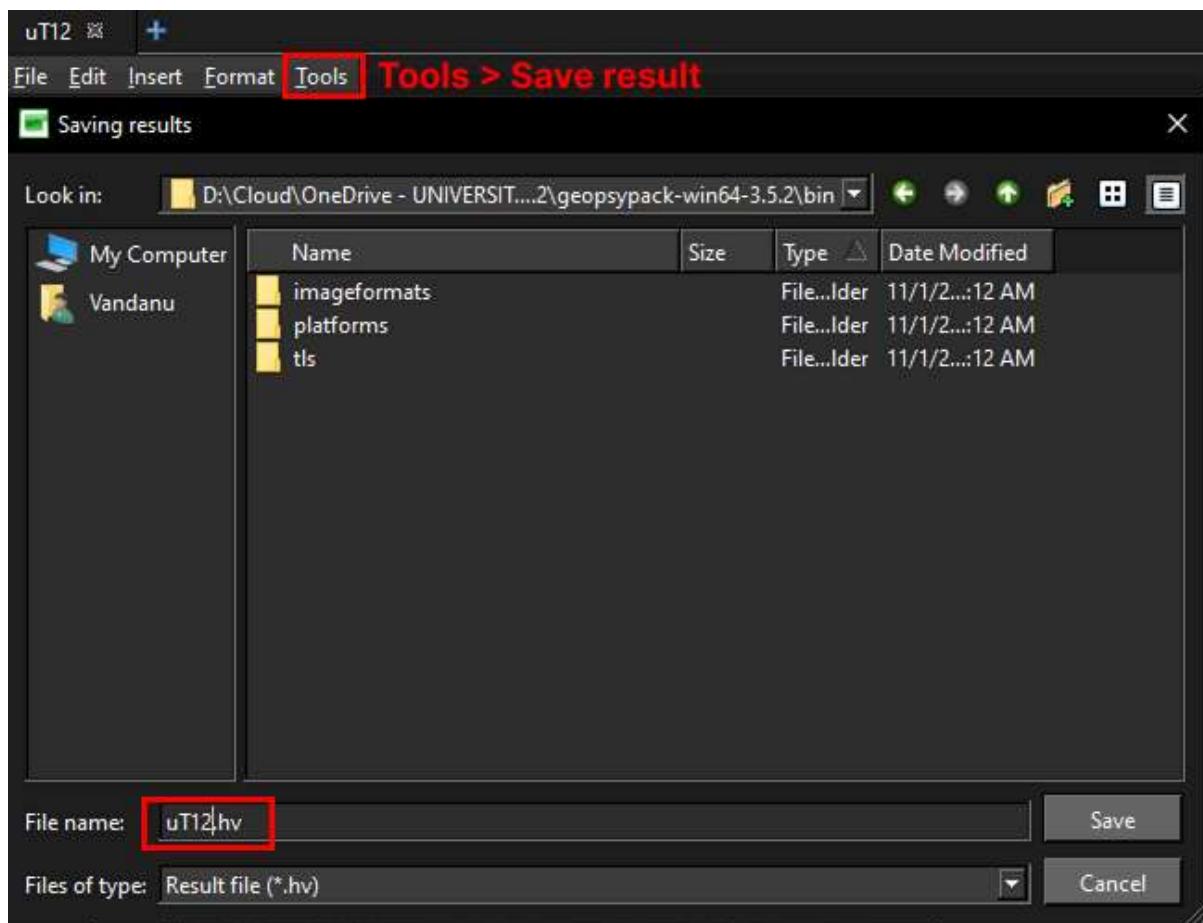
Gambar 6. Kurva HVSR

3. Penyimpanan data

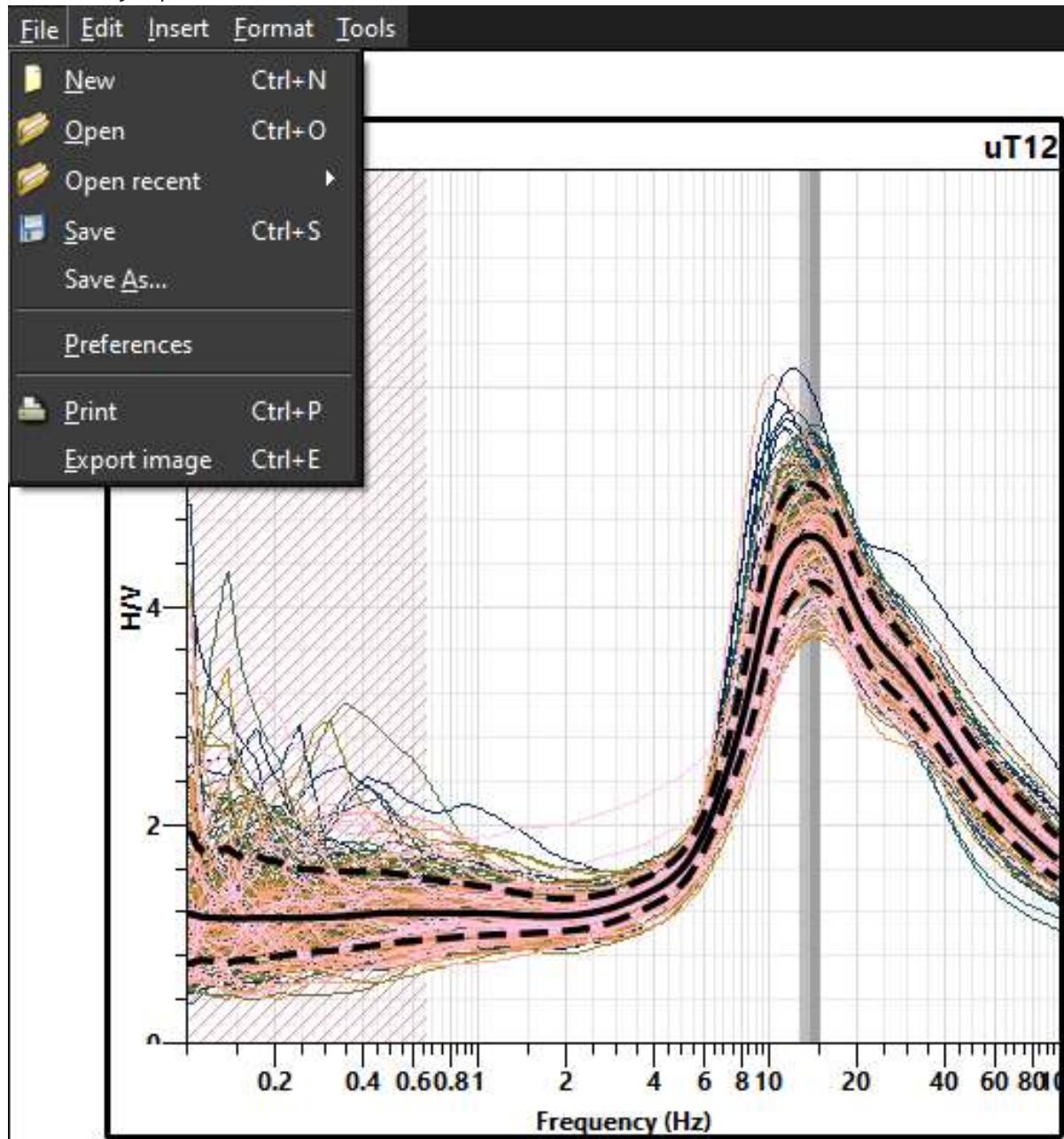
Tahap akhir pemrosesan HVSR adalah menyimpan data hasil pemrosesan. Kurva HVSR disimpan dalam format .txt untuk visualisasi dan pemrosesan lebih lanjut, penyimpanan format .hv dan .log, serta disimpan dalam bentuk gambar.



Gambar 7. Penyimpanan format .txt



Gambar 8. Penyimpanan format .hv



Gambar 9. Penyimpanan kurva format gambar dari GEOPSY

Hasil dari pengolahan HVSR menggunakan GEOPSY berupa file berikut.

uT12.hv	4/8/2025 1:04 PM	HV File	10 KB
uT12.log	4/8/2025 1:04 PM	LOG File	18 KB
uT12.txt	4/8/2025 1:04 PM	TXT File	5 KB
uT12-HVSR.png	4/8/2025 1:04 PM	PNG File	185 KB

Gambar 10. Data hasil pengolahan