p-ISSN : 2302-4216
e-ISSN : 2830-1765
Inovasi Fisika Indonesia
https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia
Published by:
Program Studi Fisika
Jurusan Fisika FMIPA
Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Jl. Ketintang Gd. C3 Lt. 1
Surabaya - Indonesia
jifi@unesa.ac.id

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 15 Nomor 2 Tahun 2026, hal 301-316

ANALISIS TINGKAT KEBISINGAN SEISMIK PADA STASIUN *BROADBAND* DAN *SHORT-PERIOD* DI GUNUNG TANGKUBAN PARAHU MENGGUNAKAN *POWER SPECTRAL DENSITY*

[1)]Afilia Rahima Suwandi, [1)]Nanang Dwi Ardi, [2)]Kristianto

[1)] Program Studi Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

[2)] Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Badan Geologi, Bandung, Indonesia

Corresponding author, email: nanang_dwiardi@upi.edu

Abstrak

Kebisingan seismik berperan penting dalam menentukan keandalan data pemantauan, di Gunung Tangkuban Parahu yang didominasi oleh gempa berfrekuensi rendah dengan energi kecil sehingga sinyal rentan tertutupi oleh kebisingan latar. Perbedaan karakteristik sensor short-period dan broadband dapat mempengaruhi respons spektral yang direkam. Penelitian bertujuan untuk menganalisis tingkat kebisingan seismik serta mengkarakterisasi respons dua tipe stasiun, RTU0 (short-period Sercel L4C) dan SUCI (broadband Guralp CMG-40T), berdasarkan data Januari hingga Agustus 2025. Analisis dilakukan menggunakan Power Spectral Density (PSD) dan dibandingkan dengan model kebisingan New Low Noise Model (NLNM) dan New High Noise Model (NHNM). Hasil menunjukkan tingkat kebisingan pada kedua stasiun berada pada -80 dB hingga -140 dB dan sebagian besar terdistribusi di antara kurva NLNM dan NHNM. Pada periode pendek (0,01–1 sekon), terjadi peningkatan PSD pada Juni hingga Agustus yang mengindikasikan dominasi komponen frekuensi tinggi. Pada periode mikroseismik (1–10 sekon), kedua stasiun menunjukkan pola stabil dengan energi rendah hingga sedang. Perbedaan paling signifikan muncul pada periode panjang (10–100 sekon), sensor broadband memperlihatkan respons yang lebih stabil dan representatif terhadap frekuensi rendah dibandingkan sensor short-period yang memiliki keterbatasan sensitivitas pada rentang. Temuan menegaskan bahwa analisis tingkat kebisingan seismik pada stasiun short-period dan broadband tidak hanya dipengaruhi oleh kebisingan seismik, tetapi juga oleh sensor yang digunakan, sehingga berperan penting dalam menentukan keandalan dan representasi data sinyal seismik yang terekam pada Gunung Tangkuban Parahu.

Kata Kunci: Kebisingan seismik, *Power Spectral Density,* Karakterisasi stasiun *short-period* dan *broadband,* Gunung Tangkuban Parahu.

Abstract

Seismic noise plays an important role in determining the reliability of monitoring data, at Mount Tangkuban Parahu which is dominated by low-frequency earthquakes with small energy, causing the main signal to be prone to being obscured by background noise. Differences in the characteristics of short-period and broadband sensors can affect the recorded spectral response. This research aims to analyze the level of seismic noise and characterize the response of two station types, RTU0 (short-period Sercel L4C) and SUCI (broadband Guralp CMG-40T), based on data from January to August 2025. The analysis was carried out using Power Spectral Density (PSD) and compared with the noise models New Low Noise Model (NLNM) and New High Noise Model (NHNM). The results show that the noise level at both stations ranges from -80 dB to -140 dB and is mostly distributed between the NLNM and NHNM curves. In the short period (0.01–1 second), there was an increase in PSD from June to August, indicating the dominance of high-frequency components. In the microseismic period (1–10 seconds), both stations show a stable pattern with low to moderate energy. The most significant difference appears in the long period (10–100 seconds), where the broadband sensor shows a more stable and representative response to low frequencies compared to the short-period sensor, which has limited sensitivity in that range. These findings confirm that the analysis of seismic noise levels at short-period and broadband stations is influenced not only by seismic noise, but also by the sensor used, thereby playing an important role in determining the reliability and representativeness of the seismic signal data recorded in the Mount Tangkuban Parahu area.

Keywords*: Seismic noise, Power Spectral Density, Characterization of short-period and broadband stations, Mount Tangkuban Parahu.*

p-ISSN : 2302-4216
e-ISSN : 2830-1765
Inovasi Fisika Indonesia
https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia
Published by:
Program Studi Fisika
Jurusan Fisika FMIPA
Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Jl. Ketintang Gd. C3 Lt. 1
Surabaya - Indonesia
jifi@unesa.ac.id

I. PENDAHULUAN

Berbagai getaran tanah, baik yang berasal dari proses alami maupun aktivitas manusia, dicatat oleh seismogram (Jha dkk., 2022). Namun, rekaman tersebut tidak hanya berisi sinyal dari sumber yang diamati, tetapi juga sering terganggu oleh komponen sinyal yang tidak berhubungan dengan peristiwa yang diamati, yang dikenal sebagai kebisingan seismik. Kebisingan seismik adalah getaran tanah kontinu yang muncul dari berbagai sumber alamiah maupun non-alamiah (Trismahargyono & Pertiwi, 2023), seperti interaksi energi gelombang laut, gangguan atmosfer, dinamika fluida dan gempa bumi, serta aktivitas manusia seperti transportasi dan industri (Vance dkk., 2021). Variasi kebisingan ini dipengaruhi oleh kondisi lokasi dan jenis sensor yang digunakan, sehingga dapat diamati baik secara waktu maupun spasial. Tingginya tingkat kebisingan seismik dapat mengurangi keandalan data, sehingga peristiwa yang terekam tidak selalu mempresentasikan kondisi nyata yang terjadi.

Secara umum, kebisingan seismik umumnya diklasifikasikan ke dalam tiga rentang frekuensi utama. Rentang frekuensi tinggi (>1 Hz) umumnya didominasi oleh aktivitas manusia (Bormann & Wielandt, 2013). Rentang mikroseismik (0,01-1 Hz) berkaitan dengan interaksi gelombang laut, dinamika fluida, maupun sinyal gempa bumi (Bensen dkk., 2007), sedangkan rentang frekuensi rendah (<0,1 Hz) dapat disebabkan oleh respons instrumen dan gangguan teknis. Setiap rentang frekuensi ini mencerminkan sumber kebisingan dan karakteristik respons sensor yang berbeda, sehingga kebisingan seismik yang terekam dapat bervariasi tergantung pada jenis sensor yang digunakan (Randall D.Peters, 2006). Oleh karena itu, analisis tingkat kebisingan seismik perlu mempertimbangkan aspek spektral dan karakteristik instrumen perekaman.

Pemantauan aktivitas Gunung Tangkuban Parahu dilakukan melalui jaringan stasiun seismik yang dioperasikan secara kontinu. Stasiun tersebut dilengkapi dengan sensor *broadband* dan *short-period* yang dipasang di sekeliling tubuh gunung. Perbedaan respons frekuensi antara kedua jenis sensor tersebut dapat menimbulkan variasi tingkat kebisingan antar stasiun, sehingga sinyal pada frekuensi tertentu dapat terekam baik di satu stasiun, tetapi melemah atau tidak terdeteksi di stasiun lain (Havskov & Alguacil, 2016). Aktivitas kegempaan di Gunung Tangkuban Parahu sering kali didominasi oleh gempa berfrekuensi rendah yang memiliki energi relatif kecil. Aktivitas tersebut berkaitan dengan meningkatnya jumlah gempa frekuensi rendah mencapai 100 kejadian per hari (ESDM, 2025). Oleh karena itu sinyal seismik yang merepresentasikan aktivitas vulkanik di Gunung Tangkuban Parahu merupakan sinyal utama yang memerlukan keandalan data yang baik agar tidak tertutupi oleh tingginya tingkat kebisingan seismik di wilayah tersebut.

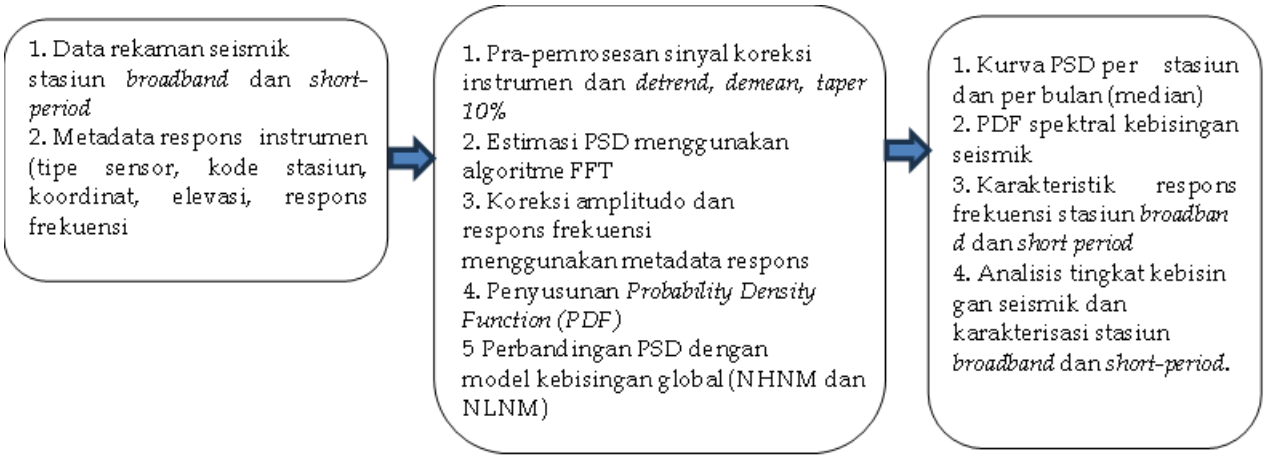
Salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk mengevaluasi tingkat kebisingan seismik adalah metode *Power Spectral Density (PSD)*. Metode ini dapat memperkirakan distribusi daya dengan frekuensi untuk kuantifikasi *background* kebisingan seismik (Mcnamara & Buland, 2004), sehingga dapat dibandingkan dengan model referensi kebisingan global (Peterson, 1993) . Melalui metode ini, tingkat kebisingan seismik dan perbedaan respons frekuensi antarstasiun dapat dianalisis secara sistematis untuk memperoleh gambaran karakteristik spektral masing-masing stasiun. Sayangnya, pemahaman mengenai hal ini pada kawasan aktivitas vulkanik seperti Gunung Tangkuban Parahu masih sangat terbatas. Kondisi ini terjadi karena studi terdahulu umumnya berfokus pada stasiun broadband di wilayah yang jauh dari sumber aktivitas vulkanik sehingga belum memberikan gambaran komprehensif di Gunung Tangkuban Parahu. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis kebisingan seismik dan karakterisasi stasiun *shor-period* dan *broadband* di Gunung Tangkuban Parahu.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian berbasis data sekunder perekaman sinyal seismik dan metadata stasiun dari jaringan stasiun seismik milik Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) selama bulan

Januari hingga Agustus 2025, tahapan rancangan penelitian tersebut dapat dilihat pada skema penelitian **Gambar 1.**



Gambar 1. Skema penelitian analisis tingkat kebisingan seismik pada stasiun broadband dan short-period di Gunung Tangkuban Parahu menggunakan Power Spectral Density (PSD).

Data getaran yang terekam oleh instrumen merupakan perpaduan antara pergerakan tanah yang sebenarnya dengan respons instrumen yang digunakan. Oleh karena itu, agar diperoleh pergerakan tanah yang murni, pengaruh dari instrumen tersebut harus dihilangkan melalui proses koreksi atau dekonvolusi (Ringler & Hutt, 2010). Data seismik yang direkam oleh stasiun kegempaan masih berada dalam satuan digital *(counts)* dan belum secara langsung merepresentasikan gerakan tanah sebenarnya. Secara fisis, sistem seismometer dapat dimodelkan sebagai sistem *linear time invariant,* sehingga sinyal yang terekam merupakan hasil konvolusi antara gerakan tanah dan fungsi respons instrumen (Erna & Wati, 2019). Dalam domain frekuensi, hubungan tersebut dinyatakan sebagai:

$$Y(\omega) = X(\omega)H(\omega) \tag{1}$$

dengan:
$Y(\omega)$ = spektrum sinyal terekam *(counts)*
$X(\omega)$ = spektrum gerakan tanah sebenarnya
$H(\omega)$ = fungsi transfer instrumen
Untuk memperoleh gerakan tanah sebenarnya dilakukan proses dekonvolusi instrumen dengan membagi spektrum sinyal dengan fungsi transfer instrumen:

$$X(\omega) = \frac{Y(\omega)}{H(\omega)} \tag{2}$$

Fungsi transfer $H(\omega)$ ditentukan oleh parameter yang tersedia pada metadata masing-masing stasiun. Dalam kajian kebisingan seismik yang digunakan adalah percepatan tanah m/s^2 (Bormann & Wielandt, 2013). Apabila keluaran instrumen dinyatakan dalam kecepatan, maka dilakukan konversi ke percepatan. Dalam domain frekuensi, operasi turunan terhadap waktu ekuivalen dengan perkalian faktor $i\omega$, sehingga:

$$A(\omega) = i\omega V(\omega) \tag{3}$$

Melalui tahapan ini diperoleh sinyal percepatan tanah dalam domain waktu yang dinyatakan sebagai a(t) dengan satuan m/s^2. Sinyal ini selanjutnya digunakan dalam perhitungan *Power Spectral Density (PSD),* secara fisis PSD menggambarkan bagaimana energi suatu sinyal terdistribusi dalam domain frekuensi dan dinyatakan dalam satuan daya per Hz. Dalam analisis kebisingan seismik digunakan untuk memperkirakan distribusi daya dengan frekuensi untuk kuantifikasi tingkat kebisingan seismik pada perekaman sinyal seismik (Forbriger, 2023).

Secara umum, sinyal yang bergantung pada waktu dapat dinyatakan sebagai fungsi kontinu a(t) dengan satuan m/s^2. Akan tetapi, sistem perekaman digital tidak menyimpan sinyal kontinu secara langsung, melainkan melalui proses sampling, yaitu proses pengambilan nilai amplitudo pada selang waktu tertentu (Tan & Jiang, 2019). Jika interval sampling dinyatakan sebagai Δt, yaitu jarak waktu antar dua data berturut-turut, maka waktu diskrit dapat dituliskan sebagai:

$$t_n = n\Delta t \tag{4}$$

dengan n – 0,1,2,…,N-1. Melalui proses tersebut, sinyal kontinu a(t) direpresentasikan dalam bentuk deret waktu diskrit a[n] sebagai berikut:

$$a[n] = a(t_n) = a(n\Delta t)\ n = 0,1,2,3,\ldots,N-1 \tag{5}$$

dengan:
N = jumlah sampel dalam satu segmen
Δt = interval sampling (detik)

Maka, durasi total dari segmen data tersebut dinyatakan sebagai T = NΔt, dalam satuan detik yang merepresentasikan panjang jendela waktu yang dianalisis. Representasi diskrit a[n] ini menjadi basis untuk analisis frekuensi menggunakan *Discrete Fourier Transform (DFT)* (Tan & Jiang, 2019). DFT merupakan landasan matematis untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi, sehingga distribusi *Power Spectral Density (PSD)* pada setiap komponen frekuensi dapat diestimasi secara kuantitatif (Forbriger, 2023). Adapun persamaan DFT didefinisikan sebagai:

$$A[k] = \sum_{n=0}^{N-1} a[n] e^{-i2\pi kn/N} \tag{6}$$

Koefisien A[k] merepresentasikan amplitudo dan fase komponen frekuensi ke-k. Penggunaan DFT dalam analisis kebisingan seismik konsisten dengan Teorema Parseval yang menyatakan bahwa energi total sinyal dalam domain waktu setara dengan energi dalam domain frekuensi setelah mempertimbangkan faktor normalisasi transformasi *Fourier* (Tan & Jiang, 2019). Secara matematis didefinisikan sebagai:

$$\sum_{n=0}^{N-1} |a[n]|^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |A[k]|^2 \tag{7}$$

Berdasarkan Teorema Parseval, estimasi terhadap karakteristik sinyal dapat diturunkan menjadi besaran daya rata-rata. Dalam analisis kebisingan seismik, daya sinyal dihitung dengan menormalisasi kuadrat koefisien *Fourier* terhadap kuadrat jumlah sampel (N^2) (Mcnamara dkk., 2010). Mengingat analisis ini umumnya menggunakan spektrum satu sisi, energi dari frekuensi negatif diakumulasikan ke frekuensi positif dengan menggunakan faktor pengali 2. Hubungan antara A[k] dan daya P_a didefinisikan sebagai:

$$P_a[k] = \frac{2|A[k]|^2}{N^2} \tag{8}$$

Meskipun nilai $P_a[k]$ telah merepresentasikan daya, nilai tersebut masih terikat pada resolusi frekuensi diskrit tertentu Δt (Forbriger, 2023). Kemudian untuk menghasilkan estimasi yang independen terhadap durasi jendela waktu pengamatan, daya tersebut harus dinyatakan dalam bentuk kerapatan *(density)* dengan membaginya terhadap resolusi frekuensi $\Delta f = \frac{1}{T} = \frac{1}{N\Delta t}$. Proses ini menghasilkan *Power Spectral Density (PSD)* linear sebagai berikut:

$$PSD_a = \frac{P_a[k]}{\Delta f} = \frac{\frac{2|A[k]|^2}{N^2}}{\frac{1}{N\Delta t}} = \frac{2\Delta t}{N}|A[k]|^2 \tag{9}$$

Dalam analisis kebisingan seismik, nilai PSD linear yang memiliki satuan $(\mathrm{m/s^2})^2/Hz$, umumnya dikonversi ke dalam skala desibel (dB). Penggunaan skala ini menjadi penting, karena amplitudo kebisingan seismik memiliki rentang dinamis yang sangat lebar. Energi pada frekuensi rendah dapat bernilai jauh lebih besar dibandingkan energi pada frekuensi tinggi. Apabila disajikan dalam skala linear, perbedaan yang sangat besar ini menyebabkan komponen berenergi kecil cenderung tidak terlihat dalam satu rentang grafik yang sama. Namun, dengan menggunakan skala desibel (dB), rentang nilai yang luas dapat dipadatkan tanpa menghilangkan informasi relatif antar frekuensi. Representasi dalam desibel memungkinkan variasi daya yang sangat kecil tetap terdeteksi (Forbriger, 2023). Secara matematis, konversi PSD linear ke skala desibel dinyatakan sebagai:

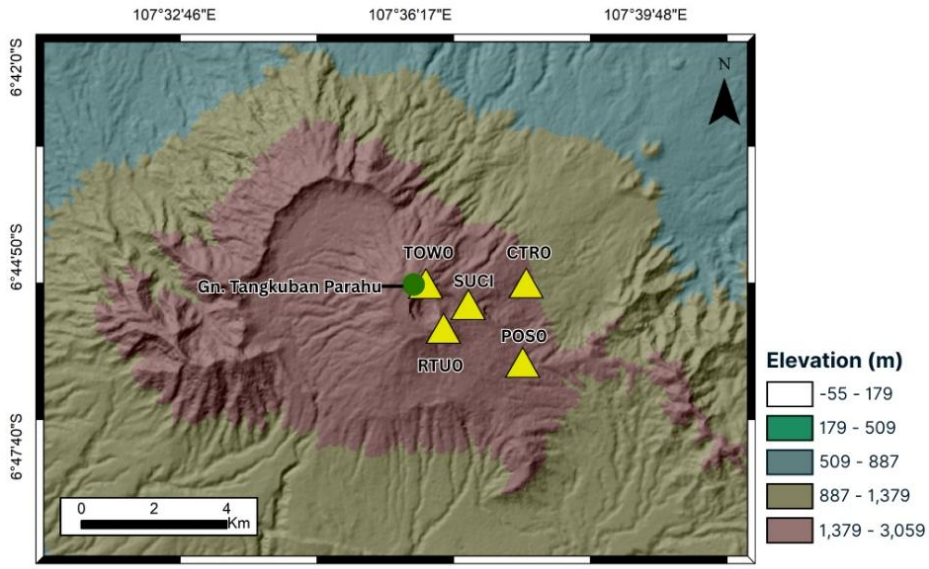
$$\mathrm{PSD_{dB}} = 10 \log_{10}\left(\frac{\mathrm{PSD_a}}{1(\mathrm{m/s^2})^2/\mathrm{Hz}}\right) \tag{10}$$

B. Variabel Operasional Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat tiga jenis variabel operasional, yakni manipulasi, kontrol dan respons. Variabel manipulasi, berupa jenis stasiun yang digunakan, yaitu stasiun dengan sensor *broadband* dan *short-period* di Gunung Tangkuban Parahu. Variabel kontrol yang digunakan adalah periode pengamatan Januari hingga Agustus 2025. Variabel respons, berupa kurva distribusi *Probability Density Function (PDF)* dan kurva median *Power Spectral Density (PSD)*.

C. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakanmerupakan data sekunder berupa rekaman sinyal seismik yang diperoleh dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi bencana Geologi (PVMBG). Jaringan pemantauan di Gunung Tangkuban Parahu terdiri atas lima stasiun, yaitu TOW0, SUCI, RTU0, POS0 dan CTR0. Namun, penelitian ini difokuskan pada dua stasiun yang memiliki kelengkapan data dan metadata respons yang memadai selama periode Januari hingga Agustus 2025, yaitu RTU0 dan SUCI. Posisi stasiun dan tipe koordinat stasiun ditampilkan pada **Gambar 2** dan **Tabel 1.**



Gambar 2. Peta lokasi sebaran stasiun seismik di kawasan Gunung Tangkuban Parahu.

Tabel 1. Koordinat dan jenis instrumen stasiun RTU0 dan SUCI di Gunung Tangkuban Parahu

Kode stasiun	Tipe instrumen	Sensor	Latitude	Longitude	Altitude (m)
SUCI	Guralp CMG-40T	Broadband	S 06°45′52.01″	E 107°36′48.07″	1988
RTU0	Sercel L4C	Short-period	S 06°45′30.45″	E 107°37′10.06″	1746

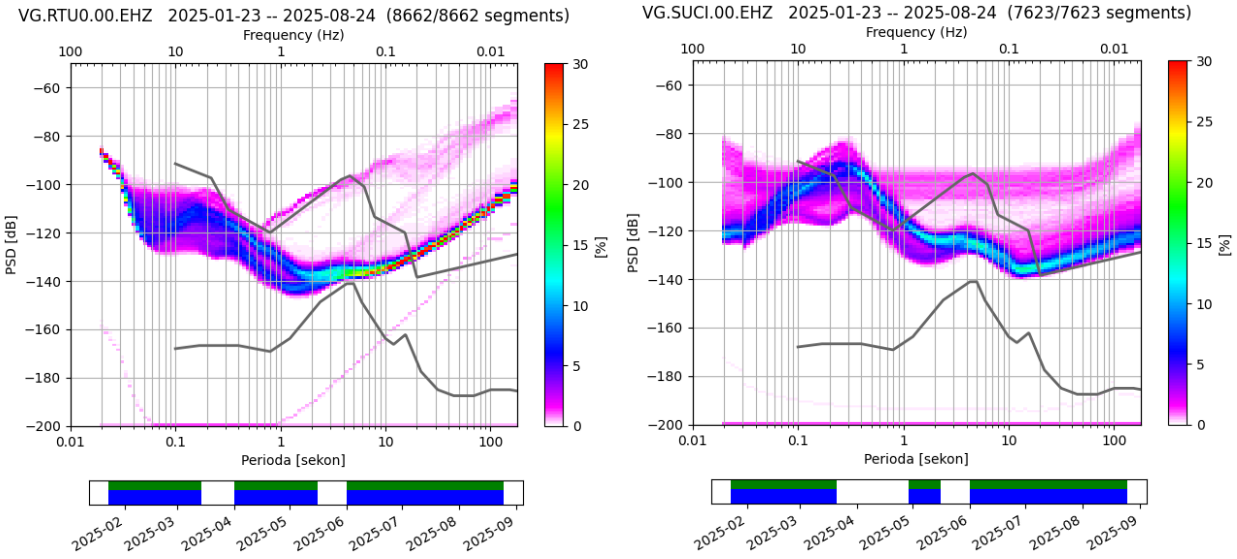
D. Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan modul *ObsPy* PPSD. Estimasi PSD dihitung menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform (FFT)* melalui pembagian dalam segmen berdurasi satu jam (Cooley & Tukey, 1965). Setiap segmen diproses melalui tahapan penghilangan nilai rata-rata *(demean),* penghilangan tren *(detrend),* penerapan *taper* sinusoidal 10% dan algoritme FFT. Hasil PSD kemudian dihaluskan menggunakan perataan 1/8 oktaf dengan rata-rata geometrik pada ruang logaritmik untuk memperoleh representasi spektral yang stabil (Mcnamara dkk., 2010). Selain itu, untuk menggambarkan distribusi kemunculan nilai daya pada setiap periode, digunakan *Probability Density Function (PDF).* Distribusi PSD dalam kurva median per bulan, selanjutnya dibandingkan dengan model kebisingan global *New Low Noise Model (NLNM)* dan *New High Noise Model (NHNM),* untuk menganalisis tingkat kebisingan seismik dan karakteristik respons frekuensi masing-masing stasiun.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Distribusi *Probability Density Function* dari PSD

Hasil *Power Spectral Density* dan *Probability Density Function (PSDPDF)* dikumpulkan dari data selama 203 hari, dengan rentang waktu bulan Januari hingga Agustus 2025 dan jumlah segmen waktu yang dikumpulkan sebanyak 8862/8862 segmen waktu pada stasiun RTU0dan 7623/7623 segmen waktu pada stasiun SUCI. PSDPDF disajikan dalam domain periode (0,01-100 sekon) dan frekuensi (100-0,1 HZ) dengan sumbu vertikal Z yang merepresentasikan spektral dalam satuan desibel (dB) pada rentang -200 dB hingga -50 dB dan skala warna pada grafik yang menunjukkan tingkat probabilitas dalam rentang 0 hingga 30%. Adapun hasil PSDPDF untuk kedua stasiun tersebut ditampilkan pada **Gambar 3**. Stasiun RTU0 memiliki distribusi spektral tersebar pada rentang periode pendek (0,01-1 sekon) dengan dominasi warna hingga biru muda atau sekitar 2-5% tingkat probabilitas yang dihasilkannya.



(a) Stasiun RTU0 (b) Stasiun SUCI

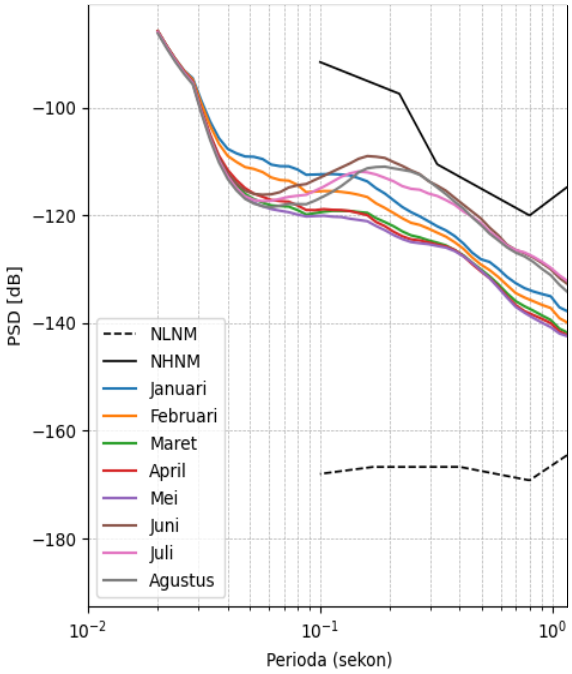
Gambar 3. *Probability Density Function* dari *Power Spectral Density (PSDPDF)* yang menunjukkan distribusi probabilitas PSD terhadap periode sinyal selama Januari hingga Agustus 2025.

Pada rentang periode (1-10 sekon), terlihat spektral yang dihasilkan lebih sempit persebarannya dan cenderung mendekati NLNM. Pada periode panjang (10-100 sekon) persebaran spektral yang dihasilkan melewati batas kebisingan NHNM. Sementara itu, pada stasiun SUCI, distribusi spektral terlihat lebih merata di seluruh periode panjang. Distribusi spektral pada stasiun SUCI berada dalam batas NHNM dan NLNM, meskipun pada periode pendek (0,01-1 sekon) dan periode panjang (10-100 sekon) terlihat sedikit melewati batas kebisingan NHNM. Secara umum, kedua stasiun kegempaan menunjukkan karakter distribusi spektral

yang berada pada rentang periode dari pendek hingga panjang. Stasiun RTU0 memperlihatkan variasi yang lebih terkonsentrasi pada periode pendek hingga mikroseismik dengan peningkatan spektral pada periode panjang, sedangkan stasiun SUCI menunjukkan distribusi spektral yang merata pada rentang periode pendek hingga periode panjang. Perbedaan hasil pola distribusi ini selanjutnya dianalisis untuk setiap bulan Januari hingga Agustus 2025 untuk mendapatkan gambaran mengenai tingkat kebisingan dominan pada masing-masing rentang periode kebisingan seismik.

B. Analisis Tingkat Kebisingan Seismik Stasiun RTU0

Pada rentang periode pendek (0,01-1 sekon) **(Gambar 4)**, kurva median PSD stasiun RTU0 menunjukkan pola yang konsisten pada bulan Januari hingga Mei, dengan kecenderungan nilai PSD berada pada rentang sekitar -80 dB menuju -140 dB seiring bertambahnya periode, karena periode berbanding terbalik dengan frekuensi, rentang periode ini ekuivalen dengan dengan frekuensi sekitar 1-100 Hz. Rentang ini termasuk dalam komponen frekuensi tinggi pada analisis kebisingan seismik. Pola penurunan PSD seiring dengan bertambahnya periode menunjukkan bahwa energi kebisingan seismik lebih besar pada frekuensi tinggi dan semakin berkurang menuju frekuensi yang lebih rendah. Namun, pada bulan Juni hingga Agustus terlihat adanya peningkatan nilai PSD hingga -115 dB pada rentang periode 0,05-1 sekon, sebelum kembali mengikuti pola penurunan seperti pada bulan-bulan sebelumnya. Kenaikan nilai median pada rentang ini menunjukkan adanya tambahan energi kebisingan pada frekuensi tinggi. Secara fisik, gelombang dengan frekuensi tinggi memiliki panjang gelombang yang lebih pendek dan cenderung cepat melemah selama perambatan (Aki & Richards, 2009). Maka dari itu, energi yang terekam pada rentang ini umumnya lebih mencerminkan kondisi di sekitar stasiun dibandingkan dengan sumber yang jauh dari lokasi.



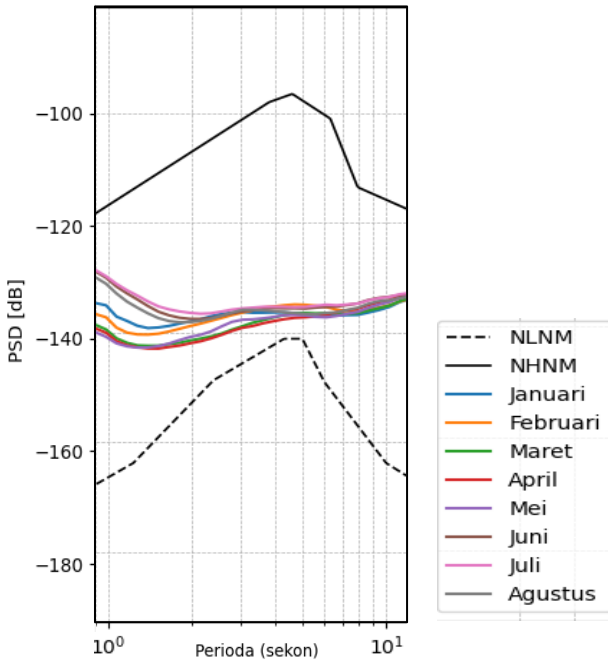
Gambar 4. Kurva median tingkat kebisingan seismik rentang periode pendek stasiun RTU0 pada bulan Januari hingga Agustus 2025.

Pola spektral kebisingan tersebut sesuai dengan model kebisingan global yang menunjukkan bahwa kebisingan seismik pada frekuensi tinggi umumnya berkaitan dengan aktivitas seperti lalu lintas kendaraan, kegiatan industri, maupun aktivitas manusia lainnya dapat menghasilkan getaran yang dominan pada frekuensi di atas 1 Hz (Fuchs dkk., 2015;Lecocq dkk., 2020;Sinambela dkk., 2021). Dalam studi jaringan nasional seperti yang dilakukan pada jaringan seismik di Turki, pola peningkatan kebisingan frekuensi tinggi juga menginterpretasikannya sebagai respons terhadap aktivitas manusia maupun gangguan lingkungan sekitar stasiun (Ozyazicioglu dkk., 2020). Oleh karena itu, peningkatan nilai PSD pada bulan Juni hingga

Agustus 2025 dalam rentang periode 0,05-1 sekon mengindikasikan adanya pengaruh gangguan lokal di sekitar stasiun kegempaan RTU0. Secara geografis, lokasi stasiun yang relatif dekat dengan akses jalan menuju kawasan wisata Gunung Tangkuban Parahu berpotensi menyebabkan peningkatan energi pada frekuensi tinggi. Namun, interpretasi ini tetap perlu dipahami sebagai indikasi yang didasarkan pada pola spektral kebisingan seismik.

Berbeda dengan kondisi pada periode pendek yang didominasi oleh frekuensi tinggi dan sensitif terhadap gangguan lokal, rentang periode 1-10 sekon **(Gambar 5)** merepresentasikan kondisi mikroseismik yang umumnya berkaitan dengan proses alami berskala regional hingga global (Bormann & Wielandt, 2013). Pada rentang ini terjadi peralihan dominasi sumber energi, dari aktivitas di sekitar stasiun menuju proses yang berkaitan dengan dinamika laut. Dalam studi kebisingan seismik, rentang mikroseismik 1-10 sekon umumnya terbagi menjadi 2 bagian. Periode sekitar 1-5 sekon (frekuensi ~0,2-1 Hz) sering dikaitkan dengan mikroseismik sekunder, sedangkan periode sekitar 5-10 sekon (frekuensi ~0,1-0,2 Hz) berkaitan dengan mikroseismik primer (Webb, 2002;Vance dkk., 2021;Uthaman dkk., 2022). Mikroseismik sekunder umumnya memiliki nilai PSD yang lebih besar, karena dihasilkan oleh interaksi gelombang laut yang saling berlawanan arah sehingga menghasilkan tekanan periodik yang lebih efisien dalam membentuk gelombang seismik.

Sementara itu, mikroseismik primer umumnya memiliki nilai PSD yang lebih kecil karena berasal dari interaksi langsung antara gelombang laut dan dasar laut (Parisi dkk., 2024).Pada stasiun RTU0, kurva median PSD selama Januari hingga Agustus menunjukkan pola yang relatif menyempit dan cenderung mendekati batas *New Low Noise Model (NLNM),* dengan nilai berkisar antara -125 dB hingga -140 dB. Batas NLNM merepresentasikan tingkat kebisingan global terendah yang teramati pada berbagai stasiun kegempaan (Mcnamara & Buland, 2004). Kedekatan nilai median PSD terhadap NLNM pada kedua sub-rentang periode tersebut menunjukkan bahwa baik komponen mikroseismik sekunder (1-5 sekon) maupun primer (5-10 sekon) tidak mengalami penguatan yang signifikan selama periode pengamatan. Hal ini terlihat dari ketiadaan puncak energi yang menonjol pada 1-10 sekon.

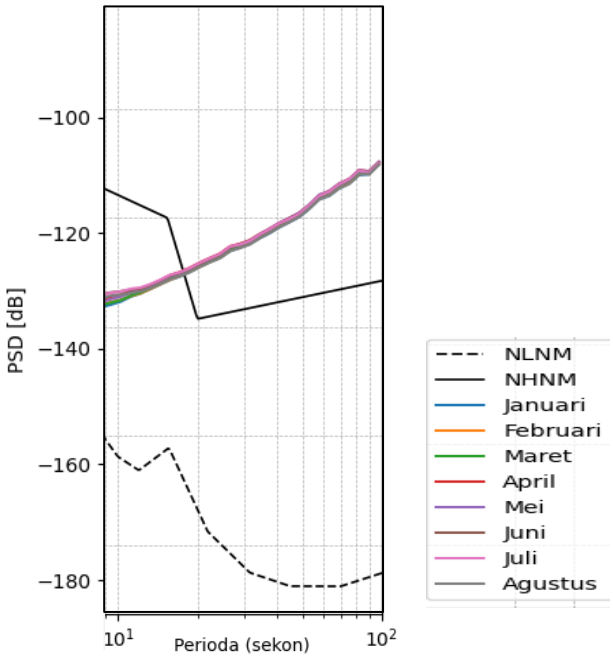


Gambar 5. Kurva median tingkat kebisingan seismik rentang periode mikroseismik stasiun RTU0 pada bulan Januari hingga Agustus 2025.

Kondisi ini menunjukkan bahwa energi yang berasal dari interaksi gelombang laut tidak memberikan kontribusi yang dominan terhadap spektral kebisingan di stasiun RTU0 selama bulan Januari hingga Agustus 2025. Selain itu, lokasi stasiun kegempaan yang berada di kawasan Gunung Tangkuban Parahu dan relatif

jauh dari garis pantai mendukung interpretasi tersebut. Energi yang dibentuk di laut akan mengalami pelemahan selama perambatan menuju daratan (Parisi dkk., 2024), sehingga nilai PSD yang mencapai stasiun menjadi lebih kecil. Oleh karena itu, respons spektral yang mendekati NLNM pada rentang 1-10 sekon, mengindikasikan bahwa kontribusi sumber regional maupun gangguan lokal di sekitar stasiun kegempaan terbatas dalam periode pengamatan ini.

Berbeda dengan rentang mikroseismik (1-10 sekon) yang didominasi oleh respons alami berskala regional, analisi periode panjang (10-100 sekon) **(Gambar 6)** menunjukkan perubahan pola spektral yang berbeda. Pada rentang ini, kurva median PSD stasiun RTU0 selama bulan Januari hingga Agustus 2025 memperlihatkan kecenderungan meningkat secara bertahap dengan nilai PSD -140 dB hingga -115 dB dan pada beberapa bagian mendekati bahkan melampaui batas *New High Noise Model (NHNM)*. Jika pada rentang mikroseismik nilai PSD cenderung mendekati *New Low Noise Model (NLNM),* maka peningkatan bertahap pada periode 10-100 sekon menunjukkan adanya kontribusi tambahan energi pada frekuensi rendah, karena pada periode panjang tidak hanya dipengaruhi oleh sumber alami, tetapi juga oleh karakteristik sistem perekaman dan respons instrumen. Secara instrumental, sensitivitas seismometer terhadap frekuensi rendah sangat bergantung pada desain sensor dan rentang frekuensi kerjanya. Pada sensor tipe *short-period,* respons instrumen umumnya menurun pada frekuensi yang sangat rendah sehingga koreksi respons dapat menghasilkan peningkatan nilai spektral pada periode panjang (Erna & Wati, 2019).

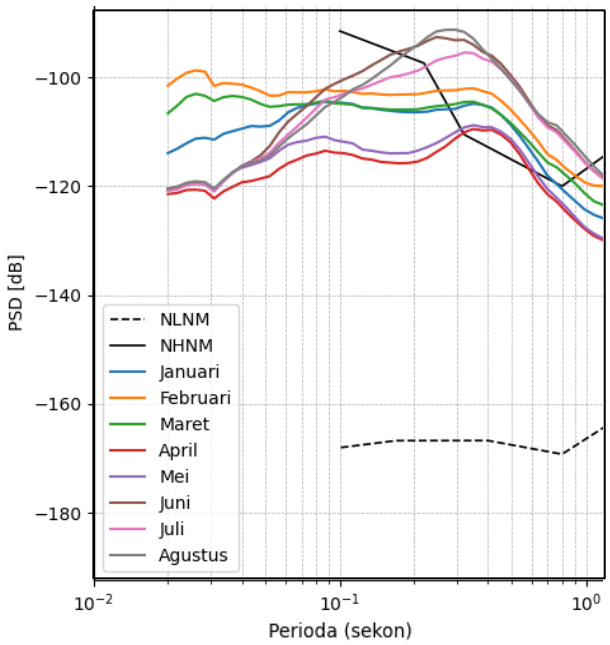


Gambar 6. Kurva median tingkat kebisingan seismik rentang periode panjang stasiun RTU0 pada bulan Januari hingga Agustus 2025.

Selain itu, gangguan transien pada sistem perekaman, ketidakstabilan jangka panjang, maupun kebisingan seismik internal instrumen pada frekuensi rendah. Dalam model kebisingan global, batas NHNM merepresentasikan tingkat kebisingan seismik tinggi yang teramati pada berbagai stasiun secara global (Peterson, 1993; Mcnamara & Buland, 2004). Oleh karena itu, tren peningkatan nilai PSD pada rentang 10-100 sekon di stasiun RTU0 selama Januari hingga Agustus 2025 lebih berkaitan dengan respons instrumen terhadap frekuensi rendah dibandingkan dengan peningkatan sumber kebisingan seismik alami. Interpretasi ini konsisten dengan tidak ditemukannya penguatan yang jelas pada rentang mikroseismik sebelumnya, sehingga secara keseluruhan, spektral kebisingan seismik pada stasiun RTU0 menunjukkan bahwa gangguan dominan lebih teramati pada frekuensi tinggi dan pada batas frekuensi rendah instrumen.

C. Analisis Tingkat Kebisingan Seismik Stasiun SUCI

Pada rentang periode pendek 0,01-1 sekon **Gambar 7**, kurva median PSD stasiun SUCI memperlihatkan pola yang relatif stabil dengan kecenderungan menurun pada rentan -100 dB hingga mendekati -135 dB seiring bertambahnya periode. Nilai PSD berada pada rentang -100 dB dan menurun hingga mendekati –135 dB seiring bertambahnya periode. Pola ini mengindikasikan bahwa distribusi kebisingan seismik tetap dominan pada frekuensi tinggi, namun dengan tingkat PSD yang lebih rendah dibandingkan dengan stasiun RTU0 pada rentang periode yang sama. Apabila dibandingkan dengan RTU0, kedua stasiun menunjukkan spektral kebisingan seismik yang didominasi oleh komponen frekuensi tinggi dan penurunannya lebih bertahap dibandingkan dengan stasiun RTU0. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun berada dalam kawasan yang sama, tingkat kebisingan seismik pada frekuensi tinggi yang terekam di SUCI relatif lebih kecil dibandingkan dengan RTU0 pada periode 0,01 sekon. Pada bulan Juni hingga Agustus, terjadi peningkatan sementara nilai PSD pada rentang periode 0,02 – 0,2 sekon (~5 -10 Hz), sebelum kembali mengikuti pola penurunan seperti bulan-bulan sebelumnya. Kenaikan ini terjadi pada bagian frekuensi tinggi yang secara umum lebih sensitif terhadap gangguan di sekitar lokasi stasiun kegempaan. Dalam studi kebisingan seismik, variasi frekuensi di atas 1 Hz sering dikaitkan dengan aktivitas manusia dan kondisi lingkungan sekitar stasiun (Jana dkk., 2017).

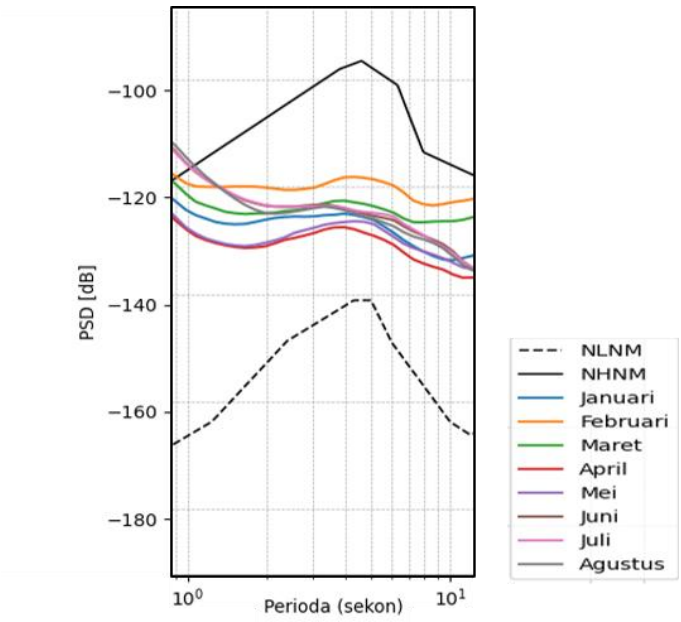


Gambar 7. Kurva median tingkat kebisingan seismik rentang periode pendek stasiun SUCI pada bulan Januari hingga Agustus 2025.

Energi pada frekuensi ini umumnya cepat mengalami pelemahan selama perambatan, sehingga kontribusinya lebih merepresentasikan sumber lokal dibandingkan dengan sumber regional (Aki & Richards, 2009). Secara keseluruhan, kesamaan pola spektral antara SUCI dan RTU0 memperkuat interpretasi bahwa tingkat kebisingan seismik di kawasan Gunung Tangkuban Parahu didominasi oleh komponen frekuensi tinggi yang sensitif terhadap aktivitas permukaan. Kemudian, pada kondisi periode mikroseismik (1-10 sekon) **(Gambar 8)**, kurva median PSD stasiun SUCI memperlihatkan pola yang relatif stabil menurun dari batas *New High Noise Model (NHNM)* selama bulan Januari hingga Agustus, dengan bulan Februari yang memiliki tingkat kebisingan seismik yang lebih tinggi selama periode 2 – 10 sekon dibandingkan dengan bulan-bulan lainnya.

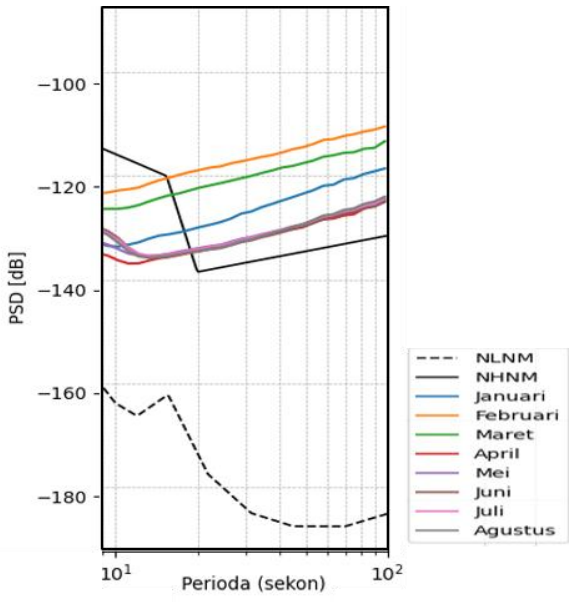
Nilai PSD kebisingan yang berada di bawah batas *New High Noise Model (NHNM)* sekitar -120 dB menunjukkan bahwa kebisingan pada rentang mikroseismik relatif meningkat dibandingkan dengan stasiun RTU0 sebelumnya. Kondisi ini pada periode 1–10 sekon yang umumnya dikaitkan dengan interaksi gelombang laut di samudra (Uthaman et al., 2022; Vance et al., 2021;Webb, 2002). Namun, mengingat stasiun

SUCI juga berlokasi sama seperti stasiun RTU0 yang relatif jauh dari garis pantai, kontribusi gelombang laut terhadap kebisingan mikroseismik tidak mendominasi selama periode Januari hingga Agustus 2025.



Gambar 8. Kurva median tingkat kebisingan seismik rentang periode mikroseismik stasiun SUCI pada bulan Januari hingga Agustus 2025.

Selain itu, peningkatan nilai PSD pada rentang mikroseismik juga dapat dipengaruhi oleh sumber lokal, termasuk pergerakan fluida yang berinteraksi dengan batuan di sekitarnya yang dapat menghasilkan getaran kontinu dan sinyal transien pada rentang periode ini (Uthaman et al., 2022; Vance et al., 2021;Webb, 2002). Maka dari itu, respons stasiun SUCI yang cenderung lebih tinggi dibandingkan stasiun RTU0 pada periode 1-10 sekon merupakan kontribusi dari sumber regional yang lemah dan pengaruh aktivitas lokasi sekitar stasiun yang berada pada kawasan gunung api aktif. Berbeda dengan rentang mikroseismik (1-10 sekon) yang sebelumnya menunjukkan kecenderungan stabil, spektral kebisingan seismik pada periode panjang (10-100 sekon) **(Gambar 9)**, memperlihatkan kurva median PSD selama Januari hingga Agustus yang menunjukkan tren peningkatan bertahap dan pada beberapa bagian melewati batas New High Noise Model (NHNM).

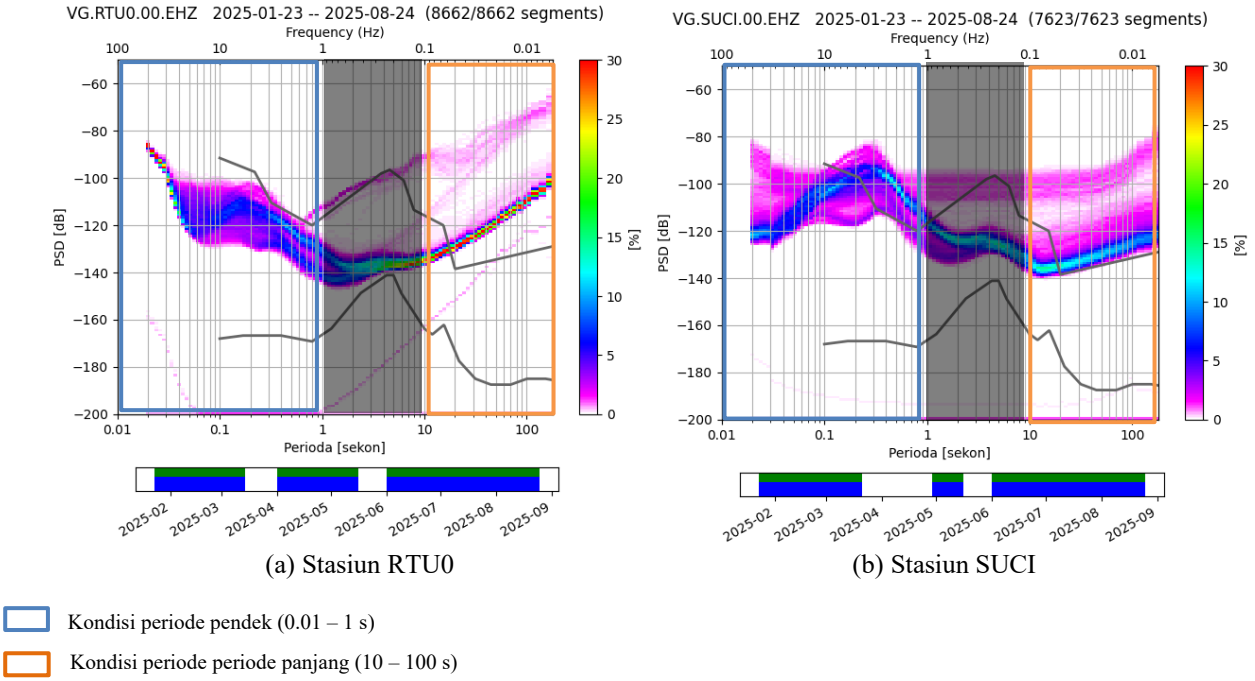


Gambar 9. Kurva median tingkat kebisingan seismik rentang periode mikroseismik stasiun SUCI pada bulan Januari hingga Agustus 2025.

Bulan Februari menampilkan nilai yang relatif tinggi dibandingkan dengan bulan lainnya. Jika dibandingkan dengan RTU0, pola peningkatan stasiun SUCI tampak lebih konsisten melewati NHNM pada beberapa bulan tanpa peningkatan yang berlebih seperti stasiun RTU0. Nilai PSD kebisingan periode panjang, peningkatannya cenderung melampaui batas kebisingan global New High Noise Model (NHNM). Periode panjang ini umumnya dipengaruhi oleh karakteristik sensor sistem perekaman yang digunakan. Pada sensor broadband, tingkat sensitivitas sensor lebih tinggi pada frekuensi rendah, sehingga terekam lebih representatif. Akibatnya, ketika terdapat sumber kebisingan yang dominan pada periode panjang, nilai PSD dapat mendekati atau melebihi batas NHNM *(Bormann & Wielandt, 2013;Mcnamara & Buland, 2004;* Ackerley, 2014).

D. Karakteristik Stasiun Kegempaan Gunung Tangkuban Parahu

Karakteristik stasiun kegempaan dilakukan untuk memahami bagaimana respons masing-masing sistem perekaman dalam merekam getaran tanah, serta menjelaskan perbedaan pola distribusi spektral yang telah diperoleh pada analisis PSD dan distribusi PSDPDF sebelumnya. Stasiun RTU0 menggunakan sensor *short-period* tipe Sercel L4C, sedangkan stasiun SUCI menggunakan sensor *broadband* tipe Guralp CMG-40T. Perbedaan tipe sensor ini menghasilkan karakteristik respons frekuensi yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 10.**

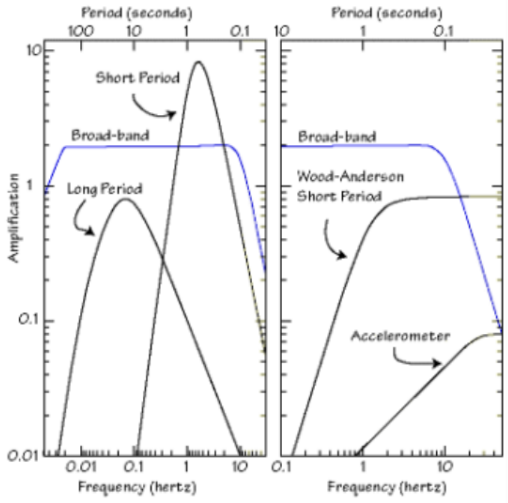


(a) Stasiun RTU0 (b) Stasiun SUCI

Gambar 10. *Power Spectral Density (PSD)* dan *Probability Density Function (PDF)* Januari hingga Agustus 2025.

Pada hasil spektral **Gambar 10**, terlihat bahwa karakteristik respons kedua stasiun masih merespons dengan baik, ditandai dengan persebaran spektral yang merata di periode pendek (0,01-1 sekon) pada stasiun RTU0 yang berada di rentang -80 dB hingga -140 dB, dan stasiun SUCI berada di rentang -80 dB hingga -125 dB. Pada stasiun SUCI yang menggunakan broadband, terjadi lonjakan yang kuat sehingga pada periode 0,2 hingga 0,4 sekon, garis spektralnya melebihi garis batas NHNM. Selanjutnya, pada persebaran spektral kebisingan seismik di periode panjang (10-100 sekon) pada stasiun RTU0 terdapat pemisahan spektral di rentang -70 dB hingga 90 dB. Pemisahan spektral ini terjadi secara terus-menerus dan konsisten dari bulan Januari hingga Agustus. Sementara itu, distribusi spektral kebisingan seismik di periode panjang (10–100 sekon) pada stasiun SUCI tersebar merata dengan baik, ditunjukkan pada rentang -120 dB hingga -140 dB yang terlihat stabil di sepanjang periode.

Secara keseluruhan, karakteristik stasiun kegempaan untuk stasiun RTU0 memiliki respons yang baik pada periode pendek (0,01-1 sekon), sementara pada periode panjang (10-100 sekon) memiliki respons yang lemah. Kemudian stasiun kegempaan untuk stasiun SUCI mendapati respons yang baik di setiap periode, mulai dari periode pendek (0,01-1 sekon), periode mikroseismik (1-10 sekon) dan periode panjang (10-100 sekon). Lebih lanjut, karakteristik stasiun kegempaan sendiri erat kaitannya dengan sensor yang digunakan. Sensor tersebut dapat merepresentasikan sinyal dengan batas frekuensi respons tertentu dan tingkat sensitivitas tertentu dalam perekaman sinyal seperti pada **Gambar 11**. Stasiun SUCI yang menggunakan sensor broadband mampu bekerja pada rentang 0,01-100 Hz dengan f_o serendah 0,005 Hz untuk broadband. Penurunan f_o ini memungkinkan sensor mempertahankan sensitivitas tinggi pada periode panjang. Sementara pada stasiun RTU0 yang menggunakan sensor short period, mampu bekerja pada 0,01-1 Hz dengan f_o 1 Hz, sehingga pada jenis sensor ini spektral di bawah 1 Hz, akan menurun dan semakin menurun tajam pada frekuensi yang lebih rendah (Havskov & Alguacil, 2016). Secara keseluruhan, analisis PSPDPDF menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik respons spektral antara stasiun RTU0 dan stasiun SUCI pada periode panjang (10-100 sekon) dikontrol oleh jenis sensor yang digunakan. Penyebab pemisahan spektral kebisingan pada stasiun RTU0 dihasilkan dari karakteristik stasiun kegempaan yang menggunakan sensor short period. Temuan ini menunjukkan bahwa bentuk pola spektral yang dihasilkan tidak hanya mencerminkan kondisi kebisingan seismik lingkungan sekitar, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik respons jenis sensor yang digunakan.



Gambar 11. Tingkat sensitivitas respons sinyal seismik dari berbagai jenis sensor (Havskov & Alguacil, 2016).

Sementara itu, dalam aktivitas Gunung Tangkuban Parahu yang didominasi oleh gempa berfrekuensi rendah, karakteristik respons instrumen menjadi faktor penting dalam keandalan data perekaman. Sinyal gempa berfrekuensi rendah umumnya memiliki energi dominan pada periode mikroseismik (1-10 sekon) dan periode panjang (10-100 sekon). Oleh karena itu, stasiun SUCI yang menggunakan sensor *broadband* tipe Guralp CMG-40T memiliki kelebihan dalam merekam komponen pada periode panjang yang lebih stabil terhadap kondisi sinyal utama, sedangkan stasiun RTU0 dengan sensor *short-period* tipe Sercel L4C lebih responsif terhadap komponen frekuensi menengah hingga tinggi. Meskipun masih mampu merekam aktivitas frekuensi rendah, sensitivitas yang menurun pada periode panjang menyebabkan amplitudo yang terekam dapat mengalami pelemahan, sehingga stasiun RTU0 lebih sesuai untuk mendeteksi komponen frekuensi tinggi. Secara keseluruhan, karakterisasi ini menunjukkan bahwa kedua stasiun memiliki fungsi yang saling melengkapi dalam sistem pemantauan Gunung Tangkuban Parahu. SUCI lebih unggul dalam perekaman sinyal frekuensi rendah yang stabil dan berkelanjutan, sedangkan RTU0 lebih responsif terhadap dinamika frekuensi tinggi yang berkaitan dengan proses lokal. Pemahaman mengenai perbedaan respons ini membuat

interpretasi tingkat kebisingan dan aktivitas seismik dapat dilakukan lebih akurat dan tidak bias terhadap keterbatasan instrumen.

Meskipun hingga saat ini belum terdapat penelitian di Gunung Tangkuban Parahu yang secara khusus membahas karakteristik respons instrumen terhadap perekaman sinyal seismik vulkanik, penelitian pada gunung api serupa telah menunjukkan pentingnya analisis respons frekuensi instrumen dalam interpretasi aktivitas vulkanik. Salah satu contohnya adalah penelitian di Gunung Merapi yang menunjukkan bahwa sensor *broadband* memiliki kemampuan lebih baik dalam merekam sinyal frekuensi rendah dibandingkan dengan sensor *short-period*. Pada penelitian tersebut, sensor *short-period* mengalami keterbatasan dalam merespons komponen frekuensi rendah (< 1 Hz), sedangkan sensor *broadband* masih mampu merekam sinyal hingga frekuensi sangat rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan sensor *broadband* dapat merekam dengan baik aktivitas vulkanik yang berkaitan dengan kemunculan sinyal frekuensi rendah seperti tremor vulkanik dan *Very Long Period (VLP)* (Rakhman dkk., 2020).

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Analisis Power Spectral Density (PSD) menunjukkan bahwa tingkat kebisingan seismik di Gunung Tangkuban Parahu dikontrol oleh kombinasi sumber lokal, regional, dan karakteristik respons instrumen. Pada periode pendek, fluktuasi amplitudo yang menonjol mencerminkan dominasi gangguan frekuensi tinggi yang sensitif terhadap aktivitas lingkungan sekitar stasiun. Perbedaan pola yang muncul pada periode panjang (10 – 100 s) dengan stasiun broadband (Guralp CMG-40T) menunjukkan respons yang konsisten pada frekuensi rendah dibandingkan dengan stasiun short-period (Sercel L4C) yang memiliki keterbatasan sensitivitas pada rentang tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa interpretasi tingkat kebisingan tidak dapat dilepaskan dari karakteristik respons instrumen. Secara fungsional, stasiun broadband lebih representatif untuk merekam sinyal frekuensi rendah yang berkaitan dengan aktivitas kegempaan, sedangkan stasiun short-period lebih optimal untuk mendeteksi komponen frekuensi menengah hingga tinggi. Kombinasi keduanya memberikan sistem pemantauan yang saling melengkapi.

B. Saran

Penerapan analisis kebisingan seismik berbasis Power Spectral Density dapat dilakukan secara rutin dan berkelanjutan sebagai bagian dari evaluasi kualitas keandalan data seismik Gunung Tangkuban Parahu. Selain itu, perbedaan karakteristik respons antara sensor short period tipe Sercel L4C dan broadband tipe Guralp CMG-40T, yang ditunjukkan oleh hasil PSD dan kurva respons metadata stasiun, menunjukkan pentingnya mempertimbangkan rentang periode efektif masing-masing sensor dalam analisis dan interpretasi data seismik, sehingga informasi spektral yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

Ackerley, N. (2014). Principles of Broadband Seismometry. Dalam *Encyclopedia of Earthquake Engineering* (hlm. 1–35). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5_172-1

Aki, Keiiti., & Richards, P. G.. (2009). *Quantitative seismology*. University Science Books.

Bensen, G. D., Ritzwoller, M. H., Barmin, M. P., Levshin, A. L., Lin, F., Moschetti, M. P., Shapiro, N. M., & Yang, Y. (2007). Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements. *Geophysical Journal International*, *169*(3), 1239–1260. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03374.x

Bormann, P., & Wielandt, E. (2013). Chapter 4 Seismic Signals and Noise. Dalam *Seismic Signals and Noise* (4). https://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2_ch4

Cooley, J. W., & Tukey, J. W. (1965). An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. Dalam *Source: Mathematics of Computation* (Vol. 19, Nomor 90).

Erna, O.: & Wati, K. (2019). *Aplikasi Metode Koreksi Instrumen Untuk Pengolahan Sinyal*.

ESDM. (2025). *Aktivitas Gunungapi Tangkuban Parahu, Jawa Barat, Tanggal 2 Juli 2025*. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam (https://geologi.esdm.go.id/media-center/aktivitas-gunungapi-tangkuban-parahu-jawa-barat-tanggal-2-juli-2025).

Forbriger, T. (2023). *Power spectral density and rms-amplitude*.

Fuchs, F., Kolínský, P., Gröschl, G., Apoloner, M. T., Qorbani, E., Schneider, F., & Bokelmann, G. (2015). Site selection for a countrywide temporary network in Austria: Noise analysis and preliminary performance. *Advances in Geosciences*, *41*, 25–33. https://doi.org/10.5194/adgeo-41-25-2015

Havskov, J., & Alguacil, G. (2016). *Instrumentation in Earthquake Seismology* (2 ed.). Springer International Publishing Switzerland 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21314-9

Jana, N., Singh, C., Biswas, R., Grewal, N., & Singh, A. (2017). Seismic noise analysis of broadband stations in the Eastern Ghat Mobile Belt of India using power spectral density. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *8*(2), 1622–1630. https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1365777

Jha, K., B, P. R., C, S., & S, S. (2022). Analysis of Seismic Noise of Broadband Seismological Stations installed along the Western Ghats. Dalam *Research Square*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1869555/v1

Lecocq, T., Hicks, S. P., van Noten, K., van Wijk, K., Koelemeijer, P., de Plaen, R. S. M., Massin, F., Hillers, G., Anthony, R. E., Apoloner, M. T., Arroyo-Solórzano, M., Assink, J. D., Büyükakpınar, P., Cannata, A., Cannavo, F., Carrasco, S., Caudron, C., Chaves, E. J., Cornwell, D. G., … Xiao, H. (2020). Global quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures. *Science*, *369*(6509), 1338–1343. https://doi.org/10.1126/science.abd2438

Mcnamara, D. E., Boaz, R. I., & Mcnutt, M. K. (2010). *PQLX: A Seismic Data Quality Control System Description, Applications, and Users Manual*. http://www.usgs.gov/pubprod

Mcnamara, D. E., & Buland, R. P. (2004). Ambient Noise Levels in the Continental United States. Dalam *Bulletin of the Seismological Society of America* (Vol. 94, Nomor 4).

Ozyazicioglu, M., Ottemöller, L., Kılıç, T., Alver, F., & Kılıçarslan, Ö. (2020). Ambient noise levels in Turkey and an evaluation of recording quality of the National Network. *Acta Geodaetica et Geophysica*, *55*(1), 83–99. https://doi.org/10.1007/s40328-019-00282-4

Parisi, L., Augustin, N., Trippanera, D., Kirk, H., Dannowski, A., Matrau, R., Fittipaldi, M., Nobile, A., Zielke, O., Valero Cano, E., Hoogewerf, G., Aspiotis, T., Manzo-Vega, S., Espindola Carmona, A., Barreto, A., Juchem, M., Suhendi, C., Schmidt-Aursch, M., Mai, P. M., & Jónsson, S. (2024). The First Network of Ocean Bottom Seismometers in the Red Sea to Investigate the Zabargad Fracture Zone. *Seismica*, *3*(1). https://doi.org/10.26443/seismica.v3i1.729

Peterson, J. (1993). *OBSERVATION AND MODELING OF SEISMIC BACKGROUND NOISE*. 93–322.

Rakhman, A., Wahyudi, Budi Santoso, A., Humaida, H., & Suryanto, W. (2020). Ambient Seismic Noise Analysis Associated with the 2010 Eruption of Merapi Volcano Using Temporal Variations of Randomness and Background Noise. *International Journal of Geophysics*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/8853376

Randall D.Peters. (2006). *Seismometer design based on a simple theory of instrument-generated noise equivalent power*.

Ringler, A. T., & Hutt, C. R. (2010). Self-noise models of seismic instruments. *Seismological Research Letters*, *81*(6), 972–983. https://doi.org/10.1785/gssrl.81.6.972

Sinambela, M., Fandier Saragih, N., Aritonang, M., Gea, A., & Darnila, E. (2021). *Index Terms-wave form, seismic network, power spectral density, probability density function*. *13*(2).

Tan, L., & Jiang, J. (2019). Discrete Fourier Transform and Signal Spectrum. Dalam *Digital Signal Processing* (hlm. 91–142). Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815071-9.00004-x

Trismahargyono, T., & Pertiwi, I. I. (2023). Identifikasi Kualitas Site Seismik di Sulawesi Tenggara Berdasarkan Analisis Spektrum Noise Seismik. *Jurnal Geosaintek*, *9*(1), 52. https://doi.org/10.12962/j25023659.v9i1.13964

Uthaman, M., Singh, C., Singh, A., Jana, N., Dubey, A. K., Sarkar, S., & Tiwari, A. K. (2022). Spatial and temporal variation of the ambient noise environment of the Sikkim Himalaya. *Scientific Reports*, *12*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-04183-x

Vance, S. D., DellaGiustina, D. N., Hughson, K., Hurford, T., Kedar, S., Marusiak, A. G., Daswani, M. M., Panning, M. P., Schmerr, N. C., Schmidt, B. E., Stähler, S., Tharimena, S., Tobie, G., & Weber, R. C. (2021). *A White Paper for the NRC Planetary Science and Astrobiology Decadal Survey*. https://doi.org/https://doi.org/10.3847/25c2cfeb.ca102d2f

Webb, S. C. (2002). Seismic Noise on Land and on the Sea Floor. *International Geophysics*, *81*(PART A), 305–318. https://doi.org/10.1016/S0074-6142(02)80222-4