

IDENTIFIKASI KUALITAS *SITE* SEISMIK DI WILAYAH SUMATERA BERDASARKAN ANALISIS SPEKTRUM *NOISE* SEISMIK MENGUNAKAN METODE *POWER SPECTRAL DENSITY (PSD)*

Eka Syam Setiawan Lubis¹⁾, Lailatul Husna Lubis²⁾, Renhard M Sipayung³⁾

^{1,2)} Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Jl. Lapangan Golf, Kp. Tengah, Kec. Pancur Batu, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara, 20353

³⁾ Stasiun Geofisika Kelas I Deli Serdang, Jl. Geofisika No. 1 Tuntungan I, Kec. Pancurbatu, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara

email: lailatulhusnalubis@uinsu.ac.id

ABSTRAK

Wilayah Sumatera merupakan salah satu kawasan dengan aktivitas seismik tinggi di Indonesia sehingga memerlukan sistem pemantauan seismik yang andal dan didukung oleh kualitas data seismik yang baik. Kualitas rekaman seismik dapat dipengaruhi oleh keberadaan *noise* yang berasal dari proses alami maupun aktivitas antropogenik. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi kualitas *site* seismik di wilayah Sumatera berdasarkan karakteristik spektrum *noise* menggunakan metode *Power Spectral Density (PSD)*. Data yang digunakan berupa *waveform* seismik kontinu tiga komponen, yaitu *Seismic Horizontal East (SHE)*, *Seismic Horizontal North (SHN)*, dan *Seismic Horizontal Vertical (SHZ)* dari empat stasiun seismik BMKG, yaitu DDSI, LASI, LDSI, dan PLSM. Data pengamatan mencakup periode 20 Januari 2026 hingga 19 Februari 2026 dan diolah menggunakan pustaka ObsPy pada bahasa pemrograman Python. Analisis dilakukan dengan menghitung PSD pada setiap komponen dan membandingkan hasilnya terhadap kurva referensi *New Low Noise Model (NLNM)* dan *New High Noise Model (NHNM)* untuk mengevaluasi kualitas *site* dan karakteristik *noise* pada masing-masing stasiun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh distribusi nilai PSD masih berada dalam rentang NLNM dan NHNM sehingga kualitas *site* seismik pada keempat stasiun tergolong baik dan stabil. Dominasi energi pada frekuensi 0,2–0,3 Hz menunjukkan karakteristik *secondary microseism* yang berkaitan dengan interaksi gelombang laut dan dinamika oseanik di wilayah Sumatera dan Selat Malaka. Stasiun DDSI dan LASI menunjukkan respons mikroseismik yang lebih kuat karena lokasinya relatif dekat dengan wilayah pesisir, sedangkan stasiun LDSI memiliki distribusi PSD paling mendekati kurva NLNM dengan amplitudo *noise* yang lebih rendah dan stabil. Sementara itu, stasiun PLSM menunjukkan sedikit peningkatan *noise* pada frekuensi tinggi akibat pengaruh aktivitas lokal di sekitar stasiun, meskipun masih berada dalam batas normal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode PSD efektif digunakan untuk mengevaluasi kualitas *site* seismik serta mendukung pengelolaan dan pengembangan jaringan pemantauan gempa bumi di wilayah Sumatera.

Kata kunci: kualitas *site* seismik, NHNM, NLNM, *noise* seismik, *Power Spectral Density*

ABSTRACT

Sumatra is one of the regions in Indonesia with high seismic activity; therefore, a reliable seismic monitoring system supported by high-quality seismic data is required. The quality of seismic recordings can be affected by the presence of noise originating from natural processes and anthropogenic activities. Therefore, this study was conducted to identify seismic site quality in the Sumatra region based on seismic noise spectral characteristics using the Power Spectral Density (PSD) method. The data used consisted of continuous three-component seismic waveforms, namely Seismic Horizontal East (SHE), Seismic Horizontal North (SHN), and Seismic Horizontal Vertical (SHZ), obtained from four BMKG seismic stations: DDSI, LASI, LDSI, and PLSM. The observation period covered 20 January 2026 to 19 February 2026, and the data were processed using the ObsPy

library in the Python programming language. The analysis was carried out by calculating the PSD for each component and comparing the results with the New Low Noise Model (NLNM) and New High Noise Model (NHNM) reference curves to evaluate site quality and noise characteristics at each station. The results show that all PSD distributions remain within the NLNM and NHNM ranges, indicating that the seismic site quality at the four stations is generally good and stable. Energy dominance at frequencies of 0.2–0.3 Hz indicates the presence of secondary microseism associated with ocean-wave interactions and oceanic dynamics in the Sumatra region and the Malacca Strait. DDSI and LASI stations show stronger microseismic responses due to their proximity to coastal areas, whereas LDSI has PSD distributions closest to the NLNM curve with lower and more stable noise amplitudes. Meanwhile, PLSM shows a slight increase in high-frequency noise caused by local activities around the station, although it remains within normal limits. These findings indicate that the PSD method is effective for evaluating seismic site quality and supporting the management and development of earthquake monitoring networks in the Sumatra region.

Keywords: *NHNM, NLNM, Power Spectral Density, seismic noise, seismic site quality*

PENDAHULUAN

Wilayah Sumatera merupakan salah satu kawasan dengan aktivitas seismik tinggi di Indonesia sehingga membutuhkan sistem monitoring seismik yang andal untuk mendukung kegiatan mitigasi bencana dan pengamatan kegempaan. Keandalan sistem monitoring sangat dipengaruhi oleh kualitas data yang direkam oleh stasiun seismik. Namun, rekaman seismik tidak hanya mengandung sinyal gempa, tetapi juga noise seismik yang dapat mempengaruhi sensitivitas instrumen dan kualitas perekaman data seismik (Withers et al., 1996).

Tingginya aktivitas kegempaan di wilayah Sumatera ditunjukkan oleh penelitian Lubis et al. (2022) yang menyatakan bahwa Sumatera bagian utara merupakan wilayah dengan seismisitas aktif dan tingkat kegempaan yang tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya sistem monitoring seismik yang andal untuk mendukung kegiatan pengamatan dan mitigasi gempa bumi.

Analisis karakteristik *noise* seismik menjadi penting untuk mengevaluasi kualitas *site* dan kestabilan stasiun pengamatan. Salah satu metode yang umum digunakan adalah *Power Spectral Density* (PSD), yaitu metode analisis spektrum untuk mengetahui distribusi energi sinyal terhadap frekuensi sehingga tingkat kebisingan suatu stasiun dapat

dianalisis secara kuantitatif (Welch, 1967). Dalam bidang seismologi, analisis PSD digunakan untuk mengevaluasi kualitas *site* seismik melalui perbandingan terhadap kurva referensi *New Low Noise Model* (NLNM) dan *New High Noise Model* (NHNM) yang dikembangkan oleh Peterson (1993).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan metode PSD untuk evaluasi kualitas stasiun seismik, seperti penelitian Trismahargyono dan Pertiwi (2023) di wilayah Sulawesi Tenggara. Namun, kajian mengenai identifikasi kualitas *site* seismik menggunakan metode PSD pada stasiun seismik BMKG di wilayah Sumatera masih terbatas, khususnya dalam evaluasi karakteristik *noise* untuk mendukung optimalisasi monitoring seismik regional. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik spektrum *noise* seismik pada beberapa stasiun di wilayah Sumatera sebagai upaya evaluasi kualitas *site* seismik berdasarkan metode PSD.

Penelitian ini menggunakan data waveform kontinu tiga komponen dari empat stasiun seismik BMKG di wilayah Sumatera, yaitu DDSI, LASI, LDSI, dan PLSM, untuk mengevaluasi karakteristik *noise* dan kualitas *site* seismik berdasarkan metode *Power Spectral Density* (PSD). Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik *noise* dominan serta

mengevaluasi tingkat kestabilan masing-masing stasiun pengamatan.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi kualitas *site* seismik pada jaringan pengamatan di wilayah Sumatera. Informasi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan evaluasi dalam pengelolaan sistem monitoring gempa bumi, khususnya dalam pemeliharaan instrumen, evaluasi lokasi pemasangan sensor, dan peningkatan kualitas perekaman data seismik. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung optimalisasi jaringan monitoring seismik agar proses pengamatan dan analisis data gempa bumi dapat dilakukan secara lebih akurat dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

1. Data dan Lokasi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data waveform seismik kontinu tiga komponen, yaitu *Seismic Horizontal East* (SHE), *Seismic Horizontal North* (SHN), dan *Seismic Horizontal Vertical* (SHZ). Data diperoleh dari jaringan stasiun seismik milik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang terdiri dari empat stasiun seismik di wilayah Sumatera, yaitu DDSI (Dumai), LASI (Langsa), LDSI (Sukandebi), dan PLSM (Sosa). Periode pengamatan yang digunakan adalah 20 Januari 2026 pukul 21.00 WIB hingga 19 Februari 2026 pukul 21.00 WIB. Data tersebut digunakan untuk menganalisis karakteristik *noise* seismik dan mengevaluasi kualitas *site* seismik berdasarkan spektrum *noise* yang terekam pada masing-masing stasiun. Berikut adalah data stasiun seismik yang digunakan dalam penelitian ini yang disajikan Tabel 1.

Tabel 1. Data Stasiun Seismik dan Durasi Pengolahan *Power Spectral Density* (PSD)

No	Kode Stasiun	Lokasi	Titik Koordinat	Durasi Pengolahan PSD
1	DDSI	Dumai	2.886° LU – 98.157° BT	1441 jam

No	Kode Stasiun	Lokasi	Titik Koordinat	Durasi Pengolahan PSD
2	LASI	Langsa	4.4572° LU – 97.9704° BT	1410 jam
3	LDSI	Sukandebi	1.54° LU – 99.6462° BT	1441 jam
4	PLSM	Sosa	1.6675° LU – 101.46° BT	1441 jam



Gambar 1. Peta Lokasi Stasiun Seismik di Wilayah Sumatera (DDSI, LASI, LDSI, dan PLSM).

2. Dasar Metode *Power Spectral Density* (PSD)

Power Spectral Density (PSD) merupakan metode analisis spektrum yang digunakan untuk mengetahui distribusi energi suatu sinyal terhadap frekuensi. Dalam bidang seismologi, PSD digunakan untuk menganalisis karakteristik *noise* seismik yang terekam oleh sensor pada suatu stasiun pengamatan. Analisis PSD digunakan untuk mengevaluasi kualitas *site* seismik berdasarkan tingkat kebisingan pada data seismik kontinu (Welch, 1967).

Metode PSD dihitung menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT), yaitu metode transformasi yang berfungsi mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. FFT memungkinkan identifikasi komponen frekuensi dominan pada sinyal *noise* seismik dengan proses perhitungan yang lebih cepat dan efisien dibandingkan transformasi Fourier konvensional (Cooley

& Tukey, 1965). Transformasi *Fourier* pada sinyal periodik dapat dinyatakan sebagai:

$$Y(f, T_r) = \int_0^{T_r} y(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (1.1)$$

dimana :

T_r : Panjang segmen rangkaian waktu
 = 2^n x laju sampling.

F : Frekuensi (Hz) untuk nilai frekuensi diskrit.

Sedangkan untuk sinyal dan frekuensi diskrit (f_k) komponen *Fourier* didefinisikan sebagai :

$$Y_k = \frac{Y(f_k, T_r)}{\Delta t} \quad (1.2)$$

dimana :

Δt : Sampling interval

f_k : $k/N\Delta t$ dengan $k = 1, 2, 3, \dots, N-1$

N : Jumlah data dalam domain

Waktu N : $T_r/\Delta t$

Hasil nilai fourier diatas dilakukan estimasi nilai PSD dengan rumusan:

$$P_k = \left(\frac{2\Delta t}{N}\right) |Y_k|^2 \quad (1.3)$$

Hasil PSD kemudian dikonversi ke dalam satuan desibel (dB) untuk mempermudah interpretasi spektrum *noise* seismik:

$$PSD = 10 \log P_k \quad (1.4)$$

Perhitungan PSD dilakukan pada segmen data berdurasi 1 jam dengan *overlapping* 50% setelah dilakukan koreksi respons instrumen. Hasil PSD menghasilkan spektrum periode 0,05–100 detik yang digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik *noise* seismik pada masing-masing stasiun pengamatan (McNamara & Buland, 2004).

Berdasarkan rentang periodenya, *noise* seismik dapat diklasifikasikan menjadi *short-period noise* pada rentang 0,1–1 s, *microseismic noise* pada rentang 2–20 s, dan *long-period noise* pada rentang 20–900 s. *Primary Microseismic Peak* (PMP) umumnya muncul pada frekuensi 0,05–0,08 Hz akibat pengaruh pasang surut laut, sedangkan *Secondary Microseismic Peak* (SMP) muncul pada

frekuensi 0,1–0,3 Hz akibat interaksi gelombang laut (Longuet-Higgins, 1950). Selain itu, *noise* antropogenik seperti aktivitas kendaraan dan manusia umumnya muncul pada frekuensi tinggi sekitar 5–10 Hz, sedangkan *dropped packets* atau kekosongan data biasanya terlihat pada amplitudo sekitar –120 dB pada seluruh frekuensi (Trismahargyono & Pertiwi, 2023).

Untuk mengevaluasi kualitas site seismik, hasil PSD dibandingkan dengan model referensi global yang dikembangkan oleh Peterson (1993), yaitu *New Low Noise Model* (NLNM) dan *New High Noise Model* (NHNM). NLNM merepresentasikan tingkat kebisingan minimum global pada stasiun seismik terbaik di dunia, sedangkan NHNM menunjukkan batas kebisingan maksimum yang masih dianggap normal untuk stasiun operasional. Perbandingan hasil PSD terhadap kurva NLNM dan NHNM digunakan untuk mengevaluasi kualitas site seismik serta tingkat kestabilan masing-masing stasiun pengamatan.

3. Pengolahan Data

Pengolahan data seismik pada penelitian ini dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan bantuan pustaka *ObsPy* melalui aplikasi Visual Studio Code (VS Code). Tahapan pengolahan diawali dengan menyiapkan lingkungan kerja berupa direktori penyimpanan data dan pembuatan lembar kerja berbasis *Jupyter Notebook*. Selanjutnya, pustaka *ObsPy* diinstal dan digunakan sebagai perangkat utama dalam proses pembacaan, pengelolaan, dan analisis data seismik yang diperoleh dari stasiun pengamatan di wilayah Sumatera.

Setelah lingkungan kerja siap, data seismogram dibaca menggunakan fungsi-fungsi yang tersedia pada *ObsPy*. Data yang telah berhasil diakses kemudian melalui tahap pemrosesan awal yang meliputi pemeriksaan kualitas data, penyesuaian parameter analisis, dan persiapan data un-

tuk analisis spektral. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang digunakan memiliki kualitas yang baik sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya dari sinyal seismik yang direkam oleh sensor.

Analisis spektral dilakukan menggunakan metode *Power Spectral Density* (PSD) untuk mengetahui distribusi energi sinyal terhadap frekuensi. Perhitungan PSD menghasilkan informasi mengenai tingkat kebisingan (*noise*) pada berbagai rentang frekuensi yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik spektrum PSD. Hasil yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan kurva referensi *New Low Noise Model* (NLNM) dan *New High Noise Model* (NHNM) guna mengevaluasi kualitas *site* seismik, mengidentifikasi karakteristik *noise* dominan, serta menilai kemampuan dari keempat stasiun dalam merekam sinyal gempa bumi secara optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

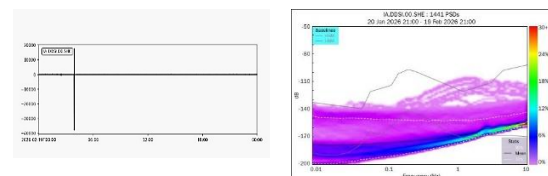
1. Stasiun Seismik DDSI Dumai

Hasil analisis *Power Spectral Density* (PSD) pada komponen SHE, SHN, dan SHZ di stasiun IA.DDSI periode 20 Januari–19 Februari 2026 menunjukkan bahwa distribusi spektrum masih berada di antara kurva *New Low Noise Model* (NLNM) dan *New High Noise Model* (NHNM), sehingga kualitas *site* dan instrumen tergolong baik (Peterson, 1993; McNamara & Buland, 2004). Gambar 2a, 2b, dan 2c menunjukkan distribusi spektrum PSD pada masing-masing komponen seismik dengan dominasi energi pada frekuensi 0,2–0,3 Hz yang mengindikasikan karakteristik *secondary microseism* akibat interaksi gelombang laut di wilayah pesisir Sumatera dan Selat Malaka.

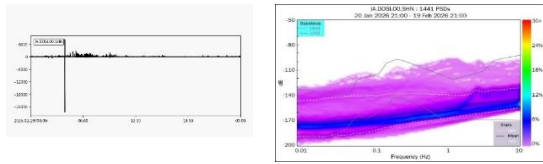
Pada frekuensi rendah (0,01–0,1 Hz), nilai PSD relatif stabil yang menunjukkan dominasi *noise* alami global akibat pengaruh atmosfer dan gelombang laut periode panjang (Webb, 1998). Pada

frekuensi menengah (0,1–1 Hz), terlihat peningkatan energi pada kisaran 0,2–0,3 Hz terutama pada komponen horizontal SHE dan SHN di Gambar 2a dan Gambar 2b. Karakteristik ini menunjukkan dominasi *secondary microseism* yang dihasilkan oleh interaksi gelombang laut di wilayah perairan sekitar Sumatera dan Selat Malaka (Longuet-Higgins, 1950). Lokasi geografis Dumai yang berada dekat wilayah pesisir menyebabkan energi mikroseismik lebih kuat terekam dibandingkan stasiun yang berada lebih jauh dari laut. Selain itu, dominasi energi pada komponen horizontal mengindikasikan bahwa gelombang permukaan berkembang lebih baik akibat pengaruh kondisi sedimen permukaan dan dinamika oseanik di sekitar stasiun.

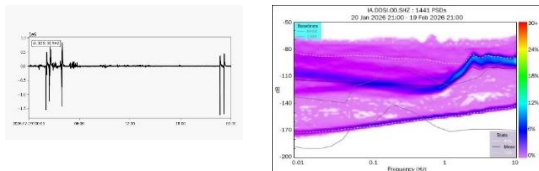
Pada frekuensi tinggi (>1 Hz), nilai PSD relatif stabil tanpa adanya puncak spektral tajam sehingga menunjukkan bahwa pengaruh *noise* antropogenik di sekitar stasiun masih rendah. Komponen vertikal SHZ pada Gambar 2c memiliki tingkat *noise* yang lebih rendah sehingga lebih optimal dalam mendeteksi sinyal gempa (Aki & Richards, 2002). Kondisi ini menunjukkan bahwa lingkungan *site* IA.DDSI masih cukup baik untuk mendukung perekaman data seismik secara stabil. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Withers et al. (1996) yang menyatakan bahwa stasiun dengan gangguan antropogenik rendah umumnya memiliki kestabilan PSD yang lebih baik pada frekuensi tinggi.



Gambar 2a. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari *Site* Seismik DDSI: Komponen *Seismic Horizontal East* (SHE).



Gambar 2b. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari Site Seismik DDSI: Komponen *Seismic Horizontal North (SHN)*.



Gambar 2c. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari Site Seismik DDSI: Komponen *Seismic Horizontal Vertical (SHZ)*.

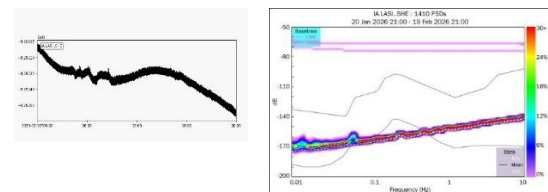
2. Stasiun Seismik LASI LANGSA

Hasil analisis PSD pada stasiun IA.LASI menunjukkan bahwa seluruh distribusi spektrum masih berada di antara kurva NLNM dan NHHM sehingga kualitas data seismik tergolong baik dan stabil. Gambar 3a, 3b, dan 3c menunjukkan distribusi PSD pada masing-masing komponen dengan dominasi energi pada frekuensi menengah 0,2–0,3 Hz yang berkaitan dengan karakteristik *secondary microseism*.

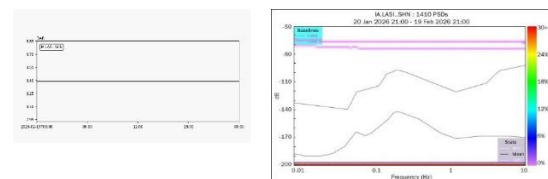
Pada frekuensi rendah (0,01–0,1 Hz), PSD menunjukkan pola yang relatif stabil akibat dominasi *noise* alami global seperti pengaruh atmosfer dan gelombang laut periode panjang (Aki & Richards, 2002). Peningkatan energi pada frekuensi menengah 0,2–0,3 Hz terlihat lebih dominan pada komponen vertikal SHZ di Gambar 3c. Karakteristik ini menunjukkan adanya pengaruh *secondary microseism* yang berkaitan dengan interaksi gelombang laut (Longuet-Higgins, 1950). Secara geografis, stasiun LASI berada dekat kawasan pesisir timur Aceh sehingga masih menerima pengaruh energi mikroseismik dari Selat Malaka.

Dibandingkan stasiun lainnya, LASI menunjukkan variasi PSD yang lebih besar pada frekuensi tinggi (>1 Hz), terutama

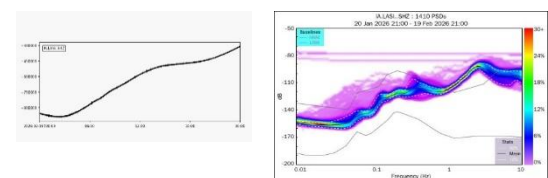
pada komponen horizontal di Gambar 3a dan 3b. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya pengaruh *noise* lokal seperti aktivitas transportasi, permukiman, maupun kondisi geologi dangkal yang kurang kompak sehingga meningkatkan respons getaran permukaan. Pola peningkatan *noise* frekuensi tinggi pada LASI menunjukkan bahwa kondisi lingkungan sekitar stasiun lebih terbuka terhadap gangguan antropogenik dibandingkan LDSI dan DDSI. Temuan ini sejalan dengan penelitian Bonnefoy-Claudet et al. (2006) yang menyatakan bahwa kondisi geologi permukaan dan aktivitas manusia dapat meningkatkan amplitudo *noise* pada frekuensi menengah hingga tinggi.



Gambar 3a. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari Site Seismik LASI: Komponen *Seismic Horizontal East (SHE)*.



Gambar 3b. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari Site Seismik LASI: Komponen *Seismic Horizontal North (SHN)*.



Gambar 3c. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari Site Seismik LASI: Komponen *Seismic Horizontal Vertical (SHZ)*.

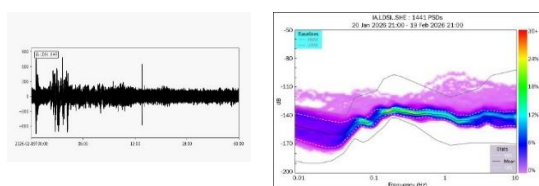
3. Stasiun Seismik LDSI Sukandebi

Hasil analisis PSD pada stasiun IA.LDSI menunjukkan distribusi spektrum yang paling mendekati kurva NLNM

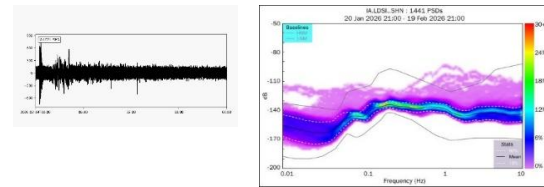
dibandingkan stasiun lainnya, sehingga mengindikasikan kualitas *site* yang sangat baik dan kondisi lingkungan yang relatif stabil. Gambar 4a, 4b, dan 4c menunjukkan distribusi PSD yang relatif homogen dengan amplitudo *noise* yang lebih rendah dibandingkan stasiun lainnya.

Pada frekuensi rendah (0,01–0,1 Hz), PSD menunjukkan *noise* alami global yang stabil tanpa adanya fluktuasi signifikan. Peningkatan energi pada frekuensi 0,2–0,3 Hz tetap terlihat sebagai karakteristik *secondary microseism*, namun amplitudonya relatif lebih rendah dibandingkan DDSI dan LASI. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pengaruh energi gelombang laut terhadap stasiun lebih kecil. Lokasi stasiun yang relatif lebih jauh dari wilayah pesisir menyebabkan pengaruh mikroseismik sekunder tidak terlalu dominan. Selain itu, kondisi topografi dan geologi lokal yang lebih stabil menyebabkan propagasi getaran permukaan menjadi lebih kecil sehingga *noise* seismik cenderung rendah dan konstan.

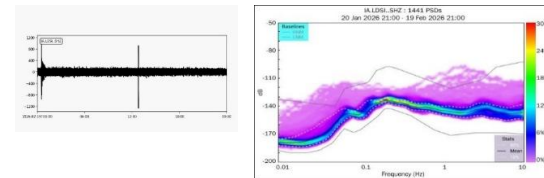
Pada frekuensi tinggi (>1 Hz), tidak terlihat peningkatan *noise* yang signifikan pada Gambar 4a, 4b, dan 4c sehingga menunjukkan minimnya pengaruh aktivitas antropogenik di sekitar stasiun. Karakteristik ini menunjukkan bahwa stasiun IA.LDSI memiliki kondisi *site* yang optimal untuk perekaman sinyal gempa. Hasil tersebut konsisten dengan penelitian McNamara dan Buland (2004) yang menyatakan bahwa stasiun dengan lingkungan tenang dan kondisi geologi stabil umumnya memiliki distribusi PSD yang mendekati NLNM.



Gambar 4a. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari *Site* Seismik LDSI: Komponen *Seismic Horizontal East* (SHE).



Gambar 4b. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari *Site* Seismik LDSI: Komponen *Seismic Horizontal North* (SHN).



Gambar 4c. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari *Site* Seismik LDSI: Komponen *Seismic Horizontal Vertical* (SHZ).

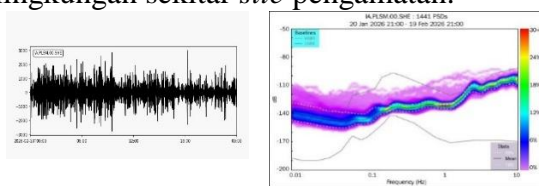
4. Stasiun Seismik PLSM Sosa

Hasil analisis PSD pada stasiun IA.PLSM menunjukkan bahwa seluruh spektrum masih berada dalam rentang NLNM dan NHHM sehingga kualitas data seismik tergolong baik. Gambar 5a, 5b, dan 5c menunjukkan distribusi PSD yang relatif stabil dengan dominasi energi pada frekuensi menengah akibat pengaruh *secondary microseism*.

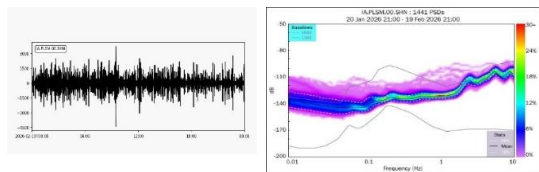
Pada frekuensi rendah (0,01–0,1 Hz), PSD relatif stabil yang menunjukkan dominasi pengaruh *noise* alami global seperti atmosfer dan dinamika laut (Webb, 1998). Pada frekuensi menengah (0,1–1 Hz), peningkatan energi pada kisaran 0,2–0,3 Hz terutama pada komponen vertikal SHZ di Gambar 5c menunjukkan karakteristik *secondary microseism* akibat interaksi gelombang laut. Namun demikian, amplitudo PSD pada frekuensi menengah relatif lebih kecil dibandingkan DDSI dan LASI sehingga menunjukkan bahwa pengaruh energi oseanik terhadap stasiun tidak terlalu dominan.

Berbeda dengan LDSI, stasiun PLSM menunjukkan sedikit peningkatan *noise* pada frekuensi tinggi (>1 Hz). Kondisi ini mengindikasikan adanya pengaruh *noise* lokal atau aktivitas antropogenik di sekitar

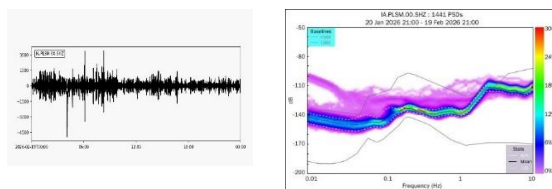
stasiun, seperti aktivitas transportasi, permukiman, maupun kondisi tanah permukaan yang kurang kompak. Meskipun demikian, tidak adanya puncak spektral tajam menunjukkan bahwa gangguan lokal tersebut masih tergolong rendah dan belum memengaruhi kualitas data secara signifikan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Trismahargyono dan Pertiwi (2023) yang menyatakan bahwa peningkatan *noise* frekuensi tinggi pada stasiun seismik umumnya berkaitan dengan aktivitas manusia dan kondisi lingkungan sekitar *site* pengamatan.



Gambar 5a. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari *Site* Seismik PLSM: Komponen *Seismic Horizontal East* (SHE).



Gambar 5b. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari *Site* Seismik PLSM: Komponen *Seismic Horizontal North* (SHN).



Gambar 5c. Spektrum Seismik Hasil PSD Dari *Site* Seismik PLSM: Komponen *Seismic Horizontal Vertical* (SHZ).

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik *Noise* Tiap Stasiun

Kode Stasiun	Frekuensi Dominan <i>Noise</i>	Karakteristik <i>Noise</i>	Kondisi <i>Site</i>
DDSI	0,2–0,3 Hz	Mikroseismik sekunder dominan dan stabil	Baik

LASI	0,2–0,3 Hz	<i>Noise</i> menengah dengan variasi frekuensi tinggi	Baik
LDSI	0,2–0,3 Hz	<i>Noise</i> rendah dan paling stabil	Sangat baik
PLSM	>1 Hz	Sedikit dipengaruhi <i>noise</i> lokal	Baik

Hasil analisis *Power Spectral Density* (PSD) menunjukkan bahwa seluruh stasiun memiliki spektrum *noise* yang masih berada di antara kurva *New Low Noise Model* (NLNM) dan *New High Noise Model* (NHNM), sehingga kualitas *site* seismik secara umum tergolong baik dan stabil. Dominasi energi pada frekuensi 0,2–0,3 Hz pada sebagian besar stasiun menunjukkan karakteristik *secondary microseism* yang berkaitan dengan interaksi gelombang laut dan atmosfer. Perbedaan karakteristik *noise* antarstasiun dipengaruhi oleh kondisi geografis, kedekatan terhadap wilayah pesisir, kondisi geologi lokal, topografi, dan aktivitas antropogenik di sekitar *site* pengamatan.

Stasiun DDSI dan LASI menunjukkan respons mikroseismik yang lebih kuat karena lokasinya relatif dekat dengan wilayah pesisir dan Selat Malaka sehingga lebih dipengaruhi oleh dinamika oseanik. Sebaliknya, stasiun LDSI memiliki distribusi PSD yang paling mendekati kurva NLNM sehingga menunjukkan kondisi lingkungan yang lebih stabil dan minim gangguan antropogenik. Sementara itu, stasiun PLSM menunjukkan sedikit peningkatan *noise* pada frekuensi tinggi (>1 Hz) yang berkaitan dengan aktivitas lokal di sekitar stasiun, meskipun masih berada dalam batas normal.

Hasil penelitian ini memiliki karakteristik yang serupa dengan penelitian Trismahargyono dan Pertiwi (2023) pada beberapa stasiun seismik di Indonesia yang menunjukkan dominasi *secondary microseism* pada frekuensi 0,2–

0,3 Hz akibat pengaruh dinamika oseanik dan aktivitas gelombang laut. Selain itu, penelitian Bonnefoy-Claudet et al. (2006) juga menunjukkan bahwa kondisi geologi dangkal dan aktivitas antropogenik dapat meningkatkan amplitudo *noise* pada frekuensi menengah hingga tinggi. Kesamaan pola tersebut menunjukkan bahwa variasi *noise* seismik tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas instrumen, tetapi juga kondisi lingkungan dan geografis di sekitar stasiun pengamatan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode *Power Spectral Density* (PSD) efektif digunakan untuk mengidentifikasi kualitas *site* seismik berdasarkan karakteristik *noise* yang terekam pada stasiun pengamatan. Hasil analisis pada stasiun DDSI, LASI, LDSI, dan PLSM menunjukkan bahwa seluruh distribusi nilai PSD berada di antara kurva *New Low Noise Model* (NLNM) dan *New High Noise Model* (NHNM), sehingga kualitas *site* seismik pada keempat stasiun tergolong baik dan stabil.

Karakteristik *noise* dominan pada frekuensi 0,2–0,3 Hz menunjukkan adanya *secondary microseism* yang berkaitan dengan interaksi gelombang laut dan dinamika oseanik di wilayah Sumatera dan Selat Malaka. Perbedaan karakteristik *noise* antarstasiun dipengaruhi oleh kondisi geografis, kedekatan terhadap wilayah pesisir, kondisi geologi lokal, topografi, serta aktivitas antropogenik di sekitar lokasi stasiun.

Stasiun DDSI dan LASI menunjukkan respons mikroseismik yang lebih kuat karena lokasinya relatif dekat dengan wilayah pesisir sehingga lebih dipengaruhi oleh dinamika gelombang laut. Stasiun LDSI memiliki distribusi PSD yang paling mendekati kurva NLNM dengan amplitudo *noise* yang lebih rendah dan stabil, yang menunjukkan kondisi lingkungan *site* yang lebih tenang serta minim gangguan antropogenik. Sementara itu, stasiun

PLSM menunjukkan sedikit peningkatan *noise* pada frekuensi tinggi (>1 Hz) yang diduga berkaitan dengan aktivitas lokal di sekitar stasiun, meskipun masih berada dalam batas normal dan tidak memengaruhi kualitas data secara signifikan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa analisis PSD dapat dimanfaatkan sebagai metode evaluasi kualitas *site* seismik dan pengelolaan jaringan *monitoring* gempa bumi, khususnya dalam pemeliharaan instrumen, evaluasi lokasi pemasangan sensor, serta peningkatan kualitas perekaman data seismik di wilayah Sumatera.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan data dengan periode pengamatan yang lebih panjang dan melibatkan lebih banyak stasiun seismik agar karakteristik *noise* dapat dianalisis secara lebih menyeluruh. Selain itu, penggunaan metode pendukung lain dalam evaluasi kualitas *site* seismik dapat dilakukan untuk memperoleh informasi kondisi stasiun seismik yang lebih komprehensif.

REFERENSI

- Aki, K., & Richards, P. G. (2002). *Quantitative seismology* (2nd ed.). University Science Books.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2024). *Laporan seismisitas wilayah Sumatera Utara tahun 2020-2024*. Diakses dari <https://www.bmkg.go.id>.
- Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F., & Bard, P. Y. (2006). The nature of *noise* wavefield and its applications for site effects studies. *Earth-Science Reviews*, 79(3–4), 205–227.
- Cooley, J. W., & Tukey, J. W. (1965). An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Mathematics of Computation*, 19(90), 297–301.
- Lubis, L. H., Ayundita, A. A., Sari, N., & Wardono, W. (2022). *Aktivitas*

- seismisitas di wilayah Sumatera bagian utara menggunakan Arc-GIS periode 2020–2021. Jurnal Kumparan Fisika*, 5(2), 91–98.
- Longuet-Higgins, M. S. (1950). A theory of the origin of microseisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 243(857), 1–35.
- McNamara, D. E., & Buland, R. P. (2004). Ambient *noise* levels in the continental United States. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(4), 1517–1527.
- Peterson, J. (1993). Observations and modeling of seismic background *noise*. U.S. Geological Survey Open-File Report 93–322.
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. H. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 105(B12), 28295–28326.
- Trismahargyono, & Pertiwi, I. I. (2023). Identifikasi kualitas site seismik di Sulawesi Tenggara berdasarkan analisis spektrum *noise* seismik. *Jurnal Geosaintek*, 9(1), 62–71.
- Webb, S. C. (1998). Broadband seismology and *noise* under the ocean. *Reviews of Geophysics*, 36(1), 105–142.
- Welch, P. D. (1967). The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 15(2), 70–73.
- Withers, M., Aster, R., Young, C., & Chael, E. (1996). High-frequency analysis of seismic background *noise* as a function of wind speed and shallow depth. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86(5), 1507–1515.