

ANALISIS TINGKAT KEBISINGAN SEISMOGRAM AKIBAT VARIASI MUSIMAN MENGGUNAKAN POWER SPECTRAL DENSITY

SEISMOGRAM NOISE LEVEL ANALYSIS DUE TO SEASONAL VARIATION USING POWER SPECTRAL DENSITY

Aditya Setyo Rahman¹, Egiraldo Makhdafa¹, Nur Fani Habibah¹ dan Retno Yogi Widjayanti²

¹⁾ Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10610

²⁾ Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Wilayah II Tangerang Selatan

*Email: aditya.rahman@bmkgo.go.id

ABSTRAK

Seismograf adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur dan mencatat semua getaran tanah yang berada di sekitar sensor. Pembacaan seismogram di sekitar sumber seismik akan diproses beserta data pembacaan dari seismogram lainnya untuk mengetahui parameter dari sumber terkait. Seismograf merekam semua getaran seismik baik yang termasuk dalam sinyal seismik ataupun bising seismik. Variasi musiman dapat menjadi pendorong dominan kebisingan pada rentang frekuensi tertentu, yaitu periode pendek, periode menengah atau mikroseismik, dan periode panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kebisingan seismogram akibat variasi musiman menggunakan Densitas Spektrum Daya dan Fungsi Probabilitas Densitas pada 6 sensor BMKG di daerah Jawa Tengah dan Yogyakarta. Data yang digunakan adalah intensitas curah hujan dan data seismograf. Dari data curah hujan ditentukan bulan yang dapat mewakili musim hujan dan musim kemarau dengan tahun yang digunakan adalah 2021. Kemudian data diolah menggunakan Python 3.7 untuk mendapatkan nilai PSD dan PDF dalam bentuk grafik. Penelitian ini berhasil mendapatkan grafik tampilan PSD dan PDF dari setiap bulan yang sudah ditentukan kemudian membandingkan grafik ketika musim hujan dan musim kemarau. Kebisingan akibat variasi musiman teramati pada beberapa sensor yang terjadi pada periode mikroseismik dengan perbedaan dan periode panjang dengan perbedaan. Penyebab kebisingan yang teramati antara lain adalah kebisingan akibat aktivitas badai di laut, aktivitas manusia, perbedaan tekanan dan turbulensi angin. Selain itu ditemukan juga permasalahan pada instrumen seperti data kosong, kalibrasi, dan sensor tidak berada pada posisi yang baik. Meskipun kebisingan dipengaruhi oleh variasi musiman, kebisingan dapat ditoleransi karena masih berada dalam batasan Peterson.

Kata kunci: Kebisingan seismik, densitas spektrum daya, fungsi probabilitas densitas, variasi musiman

ABSTRACT

A seismograph is a device used to measure and record all ground vibrations in the vicinity of the sensor. Seismogram readings around a seismic source will be processed together with data from other seismogram readings to determine the parameters of the related source. Seismographs record all seismic vibrations, both those that are included in the seismic signal and seismic noise. Seasonal variations can be a dominant driver of noise in certain frequency ranges, namely short periods, intermediate periods or microseismic periods, and long periods. This study aims to determine the level of seismogram noise due to seasonal variations using Power Spectral Density and Probability Density Function on 6 BMKG sensors in the Central Java and Yogyakarta regions. The data used are

rainfall intensity and seismograph data. From the rainfall data, months that can represent the rainy season and the dry season were determined with the year used being 2021. Then the data was processed using Python 3.7 to obtain PSD and PDF values in the form of graphs. This study successfully obtained PSD and PDF display graphs from each of the predetermined months and then compared the graphs when the rainy season and the dry season. Noise due to seasonal variations was observed in several sensors that occurred during the microseismic period with a difference of and the long period with a difference of . The causes of the observed noise include noise due to storm activity at sea, human activity, pressure differences and wind turbulence. In addition, problems were also found in the instruments such as blank data, calibration, and the sensor is not in a good position. Although the noise is influenced by seasonal variations, the noise can be tolerated because it is still within the Peterson limits.

Keywords: *Seismic Noise, Power Spectral Density, Probability Density Function, Seasonal Variation*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mengelola jaringan seismograf yang luas di Indonesia dengan 429 sensor untuk memantau aktivitas seismik dan mengestimasi potensi gempa bumi [1]. Data seismik ini berperan penting dalam upaya mitigasi dan kesiapan terhadap bencana gempa bumi [2]. Meskipun demikian, kualitas data seismograf bervariasi, dengan beberapa sensor menghasilkan data yang kurang optimal [3]. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan hal ini antara lain tingkat kebisingan yang tinggi, kerusakan sensor, dan keterbatasan kalibrasi [4].

Memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas data seismograf merupakan hal krusial bagi BMKG dalam meningkatkan akurasi analisis gempa bumi dan efektivitas mitigasi bencana. Salah satu faktor yang masih minim penelitian dan membutuhkan eksplorasi lebih lanjut adalah pengaruh musiman [5]. Fluktuasi musiman dapat menghasilkan perubahan tingkat kebisingan pada berbagai sumber, seperti aktivitas gelombang laut, aktivitas manusia [6], dan aktivitas sungai [7]. Kebisingan ini dapat mengganggu pembacaan

sinyal gempa bumi, terutama pada periode musim hujan [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh musiman terhadap tingkat kebisingan seismogram dan bagaimana hal ini dapat memengaruhi pembacaan sinyal gempabumi. Penelitian ini akan menggunakan metode *Power Spectral Density* (PSD) dan *Probability Density Function* (PDF) untuk menganalisis data seismogram dari 6 seismograf yang dipilih di wilayah Indonesia yang berbeda. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu BMKG dalam meningkatkan kualitas data seismograf dan akurasi analisis gempa bumi.

1.2 Tujuan

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis tingkat kebisingan seismogram akibat variasi musiman menggunakan *Power Spectral Density* dan *Probability Density Function*.

1.3 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, baik secara teoritis maupun praktis. Secara teoritis, penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam

pengembangan teori dan metodologi penelitian seismologi. Temuan penelitian ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam mengevaluasi sensor seismometer, menentukan stasiun seismometer yang layak, dan menentukan penempatan lokasi seismometer.

2. Tinjauan Pustaka

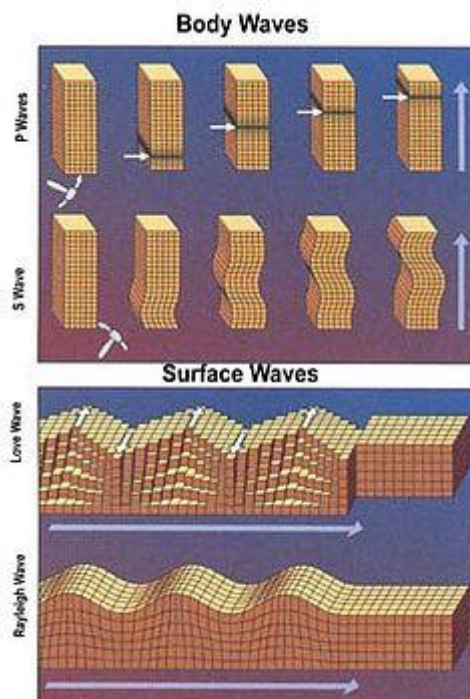
2.1 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang merambat dalam medium bumi. Bumi sebagai medium gelombang terdiri dari beberapa lapisan batuan yang mempunyai sifat fisis berbeda-beda. Perbedaan sifat pada medium mengakibatkan gelombang seismik yang merambat sebagian energinya akan dipantulkan ataupun diteruskan ke medium di bawahnya [9].

Sumber gelombang seismik (misalnya gempa bumi, ledakan, aktivitas gunung berapi) memancarkan energi ke segala arah. Energi ini merambat melalui bumi dalam bentuk gelombang seismik, yang dapat berupa gelombang P (gelombang primer) dan gelombang S (gelombang sekunder). Ketika gelombang seismik mencapai batas antara dua lapisan batuan dengan impedansi akustik yang berbeda, sebagian energi akan dipantulkan dan sebagian lainnya akan dibiaskan. Impedansi akustik adalah perkalian antara kecepatan rambat gelombang dan massa jenis pada suatu lapisan batuan. Perbedaan impedansi akustik inilah yang menyebabkan pemantulan dan pembiasan gelombang seismik.

Gelombang seismik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Seperti ditunjukkan pada gambar 1, gelombang badan menjalar di dalam bumi sedangkan gelombang

permukaan menjalar di permukaan bumi.



Gambar 1. Gelombang badan dan gelombang permukaan [10].

2.2 Bising Seismik

Bising seismik adalah gelombang yang tidak dikehendaki dalam sebuah rekaman seismik sedangkan data adalah gelombang yang dikehendaki [11]. Sumber kebisingan dapat dikelompokkan menjadi 3 karakteristik [12], sebagai berikut:

- Pertama kebisingan budaya, bersumber dari tindakan manusia di permukaan bumi seperti sambungan lalu lintas dan energi mesin ke bumi. Kebisingan budaya menyebar terutama sebagai gelombang permukaan frekuensi tinggi (1–10 Hz, 1–0,1 detik) yang melemah dalam jarak dan kedalaman.
- Kedua, kebisingan angin, air, dan geologi, bersumber dari aktivitas alam seperti pergerakan angin ketika melewati ketidakteraturan topografi, air yang mengalir, ombak, aktivitas gunung berapi,

dan gerakan pohon oleh angin yang disalurkan melalui akarnya. Kebisingan ini menghasilkan kebisingan seismik frekuensi tinggi.

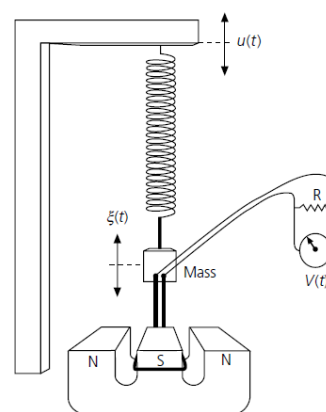
- Ketiga, kebisingan mikroseismik, terdapat dua puncak dalam spektrum kebisingan seismik yang mudah dikenali. Pertama adalah puncak frekuensi tunggal dicirikan dengan amplitudo yang lebih rendah, puncak periode yang lebih lama (10 – 16 detik). Puncak frekuensi tunggal dihasilkan di perairan dangkal di mana gelombang diubah secara langsung menjadi energi seismik baik melalui tekanan vertikal atau dari benturan ombak di pantai [13]. Kedua adalah puncak frekuensi ganda yang dicirikan dengan amplitudo yang lebih tinggi, periode puncak yang lebih pendek (4 – 8 detik). Puncak frekuensi ganda dihasilkan oleh superposisi gelombang laut dengan periode yang sama yang berjalan dalam arah yang berlawanan, sehingga menghasilkan gelombang gravitasi berdiri dari setengah gelombang laut [14].

Kemudian terdapat kebisingan yang teridentifikasi dalam hasil analisis grafik *Probabilty Density Function* (PDF) yaitu kebisingan instrumen. Kebisingan instrumen terjadi akibat adanya kekosongan data atau gangguan pada sensor karena suhu atau aliran arus melalui elemen yang berbeda [15]. Hal ini sangat berguna untuk kontrol kualitas jaringan.

2.3 Seismograf

Seismograf adalah rangkaian alat yang digunakan untuk mengetahui dan mengukur gempa atau getaran yang terjadi di permukaan bumi kemudian mencatat getaran dalam bentuk grafik yang disebut seismogram [16]. Prinsip kerja dari

seismograf adalah dengan mendeteksi gelombang elastik. Ketika gelombang elastik melalui medium, medium akan mengalami kompresi dan deformasi, sehingga untuk mendeteksi sifat gelombang elastik dasar adalah dengan mendeteksi sifat deformasi media. Gambar 2 merupakan ilustrasi dari seismometer elektromagnetik, dimana massa digabungkan ke transduser elektromagnetik. Gerakan massa menggerakkan kumparan melalui medan magnet, menghasilkan arus listrik. Tegangan melintasi kumparan sebanding dengan kecepatan relatif antara massa dan magnet.



Gambar 2. Seismometer elektronik [17].

2.4 Densitas Spektrum Daya (Power Spectral Density)

Dalam perhitungan PSD digunakan algoritma Transformasi Fourier Cepat (*Fast Fourier Transform*) atau FFT untuk efisiensi perhitungan. FFT untuk rentang waktu periodik dalam rentang terbatas, $y(t)$, dengan periode T dan N sampel [18], dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Y(f, T_r) = \int_0^{T_r} y(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

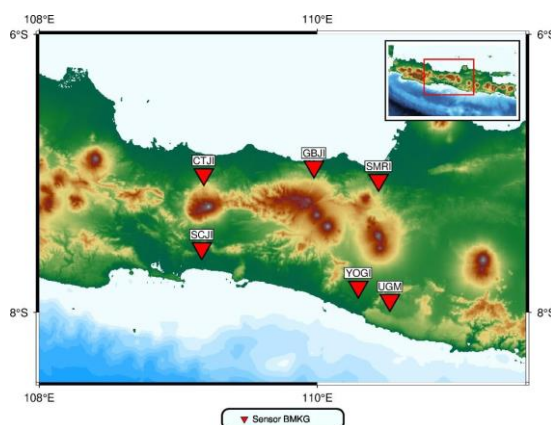
Dimana T_r merupakan Panjang segmen deret waktu = $2^n \times$ laju sampling dan f merupakan frekuensi (Hz).

3. Pengolahan Data 3.1 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu provinsi yang memiliki potensi bencana gempa bumi dan tsunami yang cukup tinggi. Kualitas sensor yang dipasang harus dalam kondisi ideal agar memiliki keakuratan yang baik saat proses estimasi parameter gempa bumi. Sensor seismik yang digunakan ditampilkan dalam Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Lokasi sensor seismograf.

Stasiun	Koordinat	
	Lintang	Bujur
UGM	-7.9125	110.5219
YOGI	-7.8166	110.295
SMRI	-7.0491	110.4408
GBJI	-6.9533	109.9762
SCJI	-7.681	109.1689
CTJI	-7.0075	109.1836



Gambar 3. Peta lokasi seismometer.

3.2 Model Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang bersifat sistematis dan terstruktur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Power Spectral Density* (PSD) dan *Probability Density Function* (PDF) sehingga diketahui tingkat kebisingan seismogram akibat variasi musiman.

3.3 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data intensitas curah hujan sebagai penentuan waktu dan data *waveform*.

• Data intensitas curah hujan

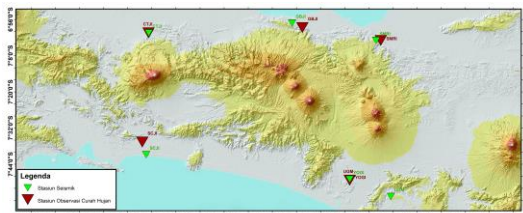
Panjang data yang digunakan untuk setiap stasiun adalah selama 1 bulan ketika musim hujan dan 1 bulan ketika musim kemarau. Penentuan waktu yang digunakan berdasarkan nilai intensitas curah hujan yang diamati oleh stasiun BMKG terdekat dari lokasi sensor (Gambar 4). Kemudian untuk data musim hujan dicari intensitas curah hujan tertinggi dalam 1 bulan pada tahun 2019, 2020, dan 2021. Untuk musim kemarau dicari intensitas curah hujan terendah dalam 1 bulan pada tahun 2019, 2020, dan 2021. Lokasi stasiun observasi curah hujan yang digunakan sebagai penentuan waktu data seismogram ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Lokasi stasiun observasi curah hujan.

Stasiun Observasi Curah Hujan	Koordinat		Jarak terhadap stasiun seismik (km)
	Lintang	Bujur	
Stasiun Geofisika Sleman	-7.822	110.295	26
Stasiun Geofisika Sleman	-7.822	110.295	0,61

Mangunharjo	-7.049	110.467	2,90
Kutosari	-6.9781	110.033	6,84
Maos	-7.611	109.147	8,12
Sirampok	-7.007	109.182	0,19

dilakukan perhitungan *Fast Fourier Transform* untuk merubah dari domain waktu ke domain frekuensi. PSD rata-rata dari ke 13 segmen akan menghasilkan PSD satu jam yang kemudian akan dihasilkan nilai PSD untuk 1 bulan. Kemudian nilai PSD akan dikonversi ke dalam satuan desibel (dB). PDF didapat dengan memplot setiap hasil PSD yang telah diproses ke dalam bin 1-dB serta membandingkan langsung dengan *Noise Level of Low Noise Model (NLNM)* dan (*Noise Level of High Noise Model*) NHNM [18].



Gambar 4. Peta lokasi seismometer dan stasiun observasi curah hujan.

• Data seismograf

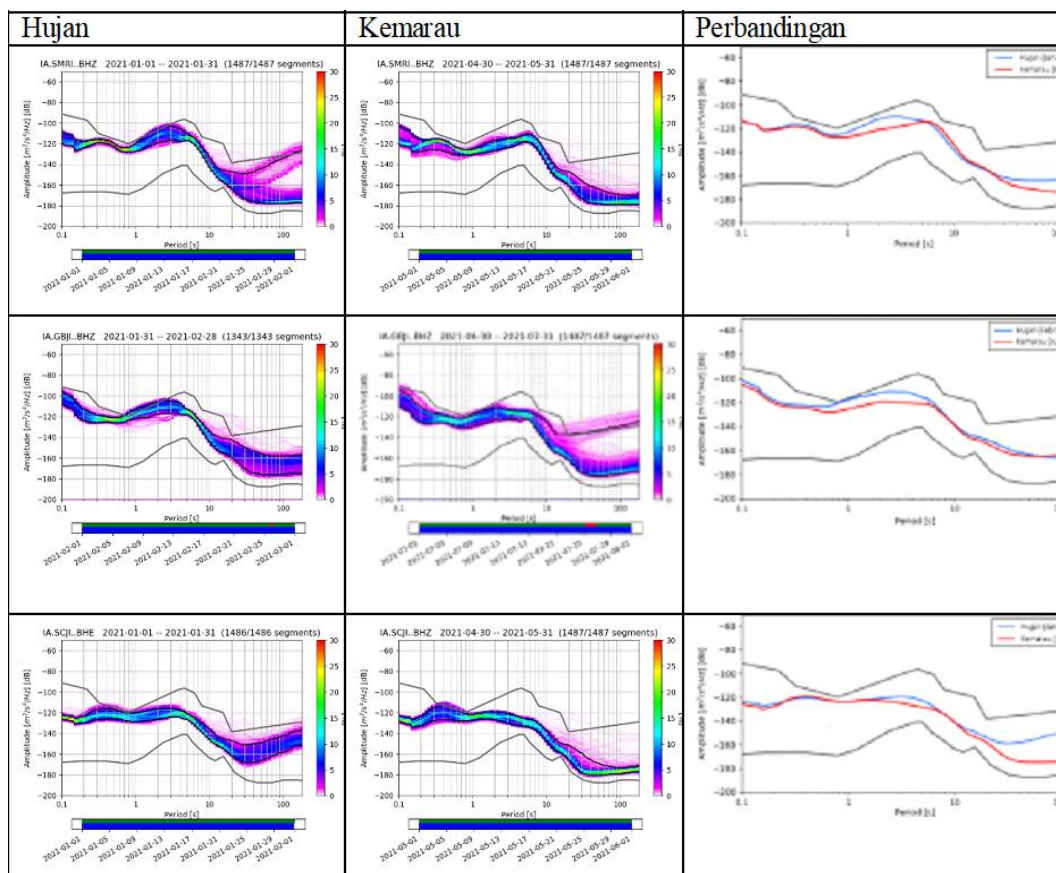
Setelah ditentukan waktu data yang digunakan, kemudian mengunduh data *waveform* dalam format *miniseed* dan metadata stasiun dalam format *xml* melalui laman <https://geof.bmkg.go.id/webdc3/>.

3.4 Pengolahan

Penelitian dimulai dari menentukan waktu 1 bulan perwakilan untuk musim hujan dan musim kemarau pada tahun 2019, 2020, dan 2021. Penentuan dengan cara mengunduh data curah hujan dan melihat bulan dengan intensitas curah hujan tertinggi dan terendah. Kemudian mengunduh data seismogram dan metadata sensor. Data *waveform* dan metadata yang sudah diunduh akan diproses menggunakan *Python 3.7*. Metode yang digunakan dalam pemrosesan sinyal digital mengikuti penelitian terdahulu [7]. Dari data 1 bulan akan diurai ke dalam data waktu 1 jam dengan *overlapping* 50% dan didistribusikan terus selama 1 bulan. *Overlapping* pada tiap pemotongan bertujuan untuk mengurangi variansi dalam estimasi PSD [17]. Kemudian data 1 jam akan dibagi lagi menjadi 13 segmen dengan *taper* 10% dan *overlapping* 75%. Dari data terkecil

4. Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah beberapa hasil yang menunjukkan bahwa variasi musiman dapat menjadi pendorong meningkatnya kebisingan seismik.



Gambar 5. Hasil pengolahan data.

Pada baris pertama merupakan hasil dari sensor SMRI di mana musim hujan diwakilkan oleh bulan Januari dengan curah hujan total 545 mm dan musim kemarau diwakilkan oleh bulan Mei dengan curah hujan total 0 mm. Pada periode pendek di kedua musim memiliki rentang daya yang hampir sama yaitu berkisar -105(-130) dB dengan probabilitas 10-15%. Sumber kebisingan pada periode pendek dapat berasal dari pemukiman yang berjarak 10 m dan Kota Semarang yang berjarak 1 km. Pada periode panjang, musim hujan memiliki rentang daya -134(-178) dB dengan probabilitas 8-12% terlihat juga garis PSD yang menyebar hingga pada daya -120 dB dengan probabilitas 0-5%. Sedangkan periode panjang

musim kemarau pada setiap tahun memiliki rentang daya -135(-185) dB dan probabilitas 10-15% dengan garis PSD yang tidak terlalu menyebar dan lebih rapat dengan NLNM. Sumber kebisingan ini dapat disebabkan oleh turbulensi angin yang mengenai bangunan tinggi, aktivitas vulkanik pada Gunung Merapi yang berjarak 55 km dan Gunung Merbabu yang berjarak 43 km. Pada periode mikroseismik, musim hujan memiliki rentang daya yang hampir sama yaitu -100(-140) dB dengan probabilitas 8-13%. Pada musim kemarau, periode mikroseismik berada pada rentang daya -110(-140) dB dengan probabilitas 8-13%. Pada periode ini kebisingan bersumber dari badai lokal, di mana laut terdekat berada di Utara

yaitu Laut Jawa dengan jarak 12 km dan Samudra Hindia yang berada di Selatan berjarak 110 km. Pada grafik perbandingan terlihat pada periode mikroseismik ada pergeseran puncak frekuensi ganda ke arah periode yang lebih cepat saat musim hujan dengan kenaikan sebesar 5 dB dan kenaikan pada periode panjang sebesar 13 dB.

Pada baris kedua merupakan hasil dari sensor GBJI di mana musim hujan diwakilkan oleh bulan Februari dengan curah hujan total 675 mm dan musim kemarau diwakilkan oleh bulan Juli dengan curah hujan total 0 mm. Pada periode pendek baik pada musim kemarau dan hujan memiliki rentang daya yang hampir sama yaitu -95-(-130) dB dengan probabilitas 10-15%. Kebisingan ini dapat disebabkan oleh aktivitas manusia di mana daerah pemukiman yang berjarak 500 m dan di sekitar sensor merupakan lahan pertanian. Pada periode panjang musim kemarau memiliki rentang daya -135-(-180) dB dengan probabilitas 5-12%, namun pada musim kemarau terdapat banyak garis PSD yang tersebar naik di atas NHNM dengan probabilitas 1-5%. Pada periode mikroseismik berada pada rentang daya -110-(-150) dB dengan probabilitas 8-13%. Sumber kebisingan mikroseismik terdekat dari sensor ini adalah Laut Jawa yang berjarak 3 km. Pada tahun 2021 grafik perbandingan terjadi kenaikan daya ketika musim hujan di periode mikroseismik sebesar 10 dB dan berada pada periode yang lebih pendek. Hal ini berarti ketika musim hujan terjadi badai lokal yang lebih besar. Secara keseluruhan seismometer GBJI terpengaruh oleh kebisingan akibat variasi musiman

yang dapat terlihat pada periode mikroseismik dan periode panjang.

Pada baris ketiga merupakan hasil dari sensor SCJI di mana musim hujan diwakilkan oleh bulan Januari dengan curah hujan total 672 mm dan musim kemarau diwakilkan oleh bulan Juli dengan curah hujan total 21 mm. Pada periode pendek baik pada musim hujan dan kemarau memiliki rentang daya yang hampir sama yaitu -115-(-135) dB dengan probabilitas 10-15% dan terlihat sangat rapat dengan NHNM. Kebisingan periode pendek pada sensor ini dapat bersumber dari pemukiman terdekat yang berjarak 100, lingkungan sekitar sensor yang merupakan lahan pertanian, dan Kota Cilacap yang berjarak 17 km. Pada periode panjang musim hujan memiliki rentang daya -125-(-165) dB dengan probabilitas 2-7%, sedangkan pada musim kemarau memiliki rentang daya -140-(-180) dengan probabilitas 10-15 %. Sumber kebisingan pada periode panjang dapat berasal dari lokasi sungai yang berjarak 500 m dan 5 km dari sensor. Pada periode mikroseismik memiliki rentang daya yang hampir sama juga yaitu -120-(-150) dB dengan probabilitas 10-15% yang disebabkan aktivitas Samudra Hindia yang jaraknya 7 km dari sensor. Pada grafik perbandingan terlihat perbedaan daya sekitar 7 dB pada periode mikroseismik dan perbedaan daya hingga 28 dB pada periode panjang. Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya debit sungai pada musim hujan atau adanya perubahan tekanan dan turbulensi angin yang terjadi saat musim hujan.

5. Kesimpulan

Tingkat kebisingan seismogram di Indonesia dipengaruhi oleh musim. Pada musim hujan, tingkat kebisingan meningkat di semua stasiun seismograf yang diteliti, baik pada periode mikroseismik (0.05-0.5 Hz) maupun periode panjang (1-10 Hz). Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti peningkatan aktivitas manusia dan alam di musim hujan. Aktivitas manusia seperti pertanian dan badai lokal menghasilkan lebih banyak getaran yang terekam oleh seismograf. Curah hujan tinggi di musim hujan juga meningkatkan debit sungai dan turbulensi angin, yang menghasilkan lebih banyak kebisingan.

Di musim kemarau, tingkat kebisingan seismogram menurun di semua stasiun. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya aktivitas manusia dan alam di musim kemarau.

Lokasi sensor juga berpengaruh terhadap tingkat kebisingan seismogram. Stasiun yang dekat dengan laut, sungai, atau pemukiman lebih rentan terhadap kebisingan.

Kebisingan yang tinggi dapat mengganggu pembacaan sinyal gempa bumi, terutama sinyal gempa bumi kecil. Peningkatan kebisingan di musim hujan dapat membuat deteksi gempa bumi lebih sulit. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan pengaruh musiman terhadap tingkat kebisingan seismogram dalam analisis seismogram. Hal ini dapat membantu untuk meningkatkan pembacaan sinyal gempa bumi dan mendeteksi gempa bumi kecil dengan lebih akurat.

Ucapan Terima Kasih

Apresiasi setinggi-tingginya untuk rekan-rekan BMKG Pusat dan rekan dalam penelitian ini atas kerjasama dan dukungannya dalam melakukan

survei dan akuisisi data guna terpenuhinya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Supriyadi, A., Daryono, B., & Widiyantoro, S. (2023). Peningkatan Kualitas Data Seismik Jaringan Seismograf BMKG. *Prosiding Seminar Nasional Mitigasi Bencana Gempa Bumi*, 1-10.
- [2] Widodo, S., Haryanto, B., & Irsyam, M. (2020). Peran Data Seismik dalam Mitigasi Bencana Gempa Bumi di Indonesia. *Jurnal Geologi dan Geofisika*, 11(2), 137-145.
- [3] Suryanto, A., Tritoso, W., & Rahayu, S. (2018). Analisis Kualitas Data Seismik Jaringan Seismograf BMKG di Wilayah Jawa Barat. *Jurnal Ilmiah Geofisika*, 23(2), 109-118.
- [4] Daryono, B., Supriyadi, A., & Widiyantoro, S. (2019). Faktor-Faktor yang mempengaruhi Kualitas Data Seismik Jaringan Seismograf BMKG. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 20(2), 123-132.
- [5] Aster, R. C., Bormann, P., & Shearer, P. M. (2008). Seasonal Variations in Seismic Noise Levels. *Geophysical Research Letters*, 35(2), L02302..
- [6] Hough, S. E. (2002). Monitoring long-period earthquakes with global seismic networks. *Reviews of Geophysics*, 40(1), 1-17.
- [7] McNamara, D. E., & Buland, R. P. (2004). Ambient noise levels in the continental United States. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(4).
- [8] Haney, M. M., Koper, K. D., &

- Thelen, W. A. (2018). Seasonal variations in the Earth's background seismic noise: Global and regional patterns. *Earth and Planetary Science Letters*, 502, 175-184.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.09.006>.
- [9] Telford, W. M., Telford, W. M., Geldart, L. P. dan Sheriff, R. E., (1990). *Applied geophysics*. Cambridge university press.
- [10] Stein, S. dan Wysession, M., (2009). *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure (Google eBook)*.
- [11] Putra, H. K. (2017). Analisa Metode Seismik linversi AI Dan Seismik Multiatribut Untuk Memprediksi Persebaran Porositas Pada Reservoir Karbonat, Formasi Baturaja Di Lapangan "GF". Cekungan Sunda. UPN" VETERAN" YOGYAKARTA.
- [12] McNamara, D. E. dan Buland, R. P. (2004a). Ambient noise levels in the continental United States. *Bulletin of the seismological society of America*. Vol. 94, no. 4, pp 1517–1527.
- [13] Hasselmann, K. (1963). A statistical analysis of the generation of microseisms. *Reviews of Geophysics*. Vol. 1, No. 2, pp 177-210.
- [14] Longuet-Higgins, M. S. (1950). A theory of the origin of microseisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. Vol. 243, no. 857, pp 1–35.
- [15] Perdana, Y. H. (2016). *Skripsi Perancangan Filter Butterworth Infinite Impulse Response Untuk Gelombang Gempabumi Filter Design Of Butterworth Infinite Impulse Response For Earthquake Waves*, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [16] Gutenberg, B. (1945). Amplitudes of P and S waves from earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 35(1), 33-41.
- [17] Stein, S. dan Wysession, M., (2009), *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure (Google eBook)*.
- [18] Rabiner, L. R., & Gold, B. (1975). Theory and application of digital signal processing. *Proceedings of the IEEE*, 63(4), 477-514.