

## IDENTIFIKASI KUALITAS SITE SEISMIK DI SULAWESI TENGGARA BERDASARKAN ANALISIS SPEKTRUM NOISE SEISMIK

Trismahargyono<sup>1</sup>, Imanuela Indah Pertiwi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

e-mail : trismahargyono@bmgk.go.id

**Abstrak.** Stasiun seismik biasanya berada pada daerah *bedrock* dan disimpan di *borehole* (lubang) dengan tujuan dapat menjaga seismometer dari perubahan temperatur dan getaran akibat perubahan cuaca. Secara umum seismometer yang paling banyak digunakan adalah seismometer *broadband* yang memiliki *range* frekuensi yang lebar sehingga merekam banyak *noise*. Analisis PSD dan PDF digunakan untuk mengevaluasi karakteristik noise stasiun seismik. Standarisasi tinggi-rendahnya noise seismik mengacu kepada *Peterson Model*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kualitas stasiun seismik di Sulawesi Tenggara melalui analisis level sumber noise seismik yang mempengaruhi kualitas data seismik. Evaluasi terhadap kualitas site seismik didasarkan pada parameter persentase nilai PSD dengan cara menghitung nilai PSD dari sinyal yang terekam pada tanggal 17 Juni sampai tanggal 20 Juni 2022. Berbagai macam *noise* seismik pada spektrum yang dihasilkan akan terlihat apakah masih dalam batasan *Peterson Model* atau tidak. Berdasarkan gambar spektrum sinyal yang diperoleh terdapat 9 site seismik di Sulawesi Tenggara dengan kualitas site yang ideal, yang dapat merekam data sinyal seismik dan aktivitas sumber-sumber *noise* seismik dengan baik, yaitu BBSI, KCSI, PKCI, RKCM, WKCM, UKCM, WWCI, dan KDI. Sedangkan satu site seismik dengan kualitas *site* yang buruk yang tidak dapat merekam data sinyal seismik dan aktivitas sumber-sumber *noise* seismik, yaitu site seismik LKCI. Tingkat noise seismik pada frekuensi 5-10 Hz yang bersumber dari aktivitas manusia dan kendaraan paling tinggi ditunjukkan oleh site seismik LKUCM.

**Kata Kunci :** site seismik, noise Seismik, Peterson Model

**Abstract.** *Seismic stations are usually located in bedrock areas and stored in boreholes with the aim of protecting the seismometer from temperature and vibration due to weather changes. In general, the most widely used seismometers are broadband seismometers which have a wide frequency range so they record a lot of noise. PSD and PDF analysis were used to evaluate the noise characteristics of seismic stations. The standardization of high and low seismic noise refers to the Peterson Model. This research was conducted with the aim of knowing the quality of seismic stations in Southeast Sulawesi through analysis of the level of seismic noise sources that affect the quality of seismic data. The evaluation of the seismic site quality is based on the PSD value percentage parameter by calculating the PSD value of the signal recorded on June 17 to June 20, 2022. Various kinds of seismic noise in the resulting spectrum will be seen whether it is still within the limits of the Peterson Model or not. Based on the signal spectrum images obtained, there are 9 seismic sites in Southeast Sulawesi with ideal site quality, which can record seismic signal data and seismic noise sources activity well, namely BBSI, KCSI, PKCI, RKCM, WKCM, UKCM, WWCI, and KDI. Meanwhile, one seismic site with poor site quality cannot record seismic signal data and seismic noise sources activity, namely the LKCI seismic site. The seismic noise level at a frequency of 5-10 Hz originating from human activities and vehicles is the highest indicated by the LKUCM seismic site.*

**Keywords:** *seismic site, seismic noise, Peterson Model*

### PENDAHULUAN

Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng utama dunia menyebabkan negara ini disebut sebagai *Ring of Fire* (cincin api). Pergerakan lempeng yang terjadi di batas pertemuan menyebabkan aktivitas seismik yang sangat aktif. Sensor seismik sangat dibutuhkan untuk merekam aktivitas seismik yang ada. Sampai tahun 2022, BMKG telah memasang sensor seismik sebanyak 411 yang tersebar di beberapa daerah di Indonesia. Penempatan sensor seismik didasarkan pada

beberapa faktor, sehingga getaran seismik yang terekam oleh alat merupakan sinyal seismik yang sebenarnya. Namun faktor lingkungan di sekitar sensor seismik bisa menyebabkan adanya *noise* seismik yang ikut terekam oleh sensor.

Stasiun seismik biasanya berada pada daerah *bedrock* dimana seismometer dapat ditempatkan dengan baik. Penempatan seismometer yang baik adalah pada *borehole* (lubang) dengan tujuan dapat menjaga seismometer dari perubahan temperatur dan

getaran akibat perubahan cuaca. Secara umum seismometer yang paling banyak digunakan adalah seismometer *broadband* yang memiliki *range* frekuensi yang lebar sehingga merekam banyak *noise*. Sensor jenis ini sangat sensitif terhadap perubahan temperatur lingkungan dan tekanan udara, dimana komponen horizontalnya lebih sensitif terhadap variasi lingkungan dibanding komponen vertikalnya.

Rekaman sinyal seismik selalu mengandung *noise*. *Noise* seismik merupakan komponen sinyal yang tidak diinginkan yang direkam oleh seismometer. Secara fisik, *noise* seismik muncul terutama disebabkan oleh sumber permukaan atau dekat permukaan sehingga sebagian besar terdiri dari gelombang permukaan elastis. Sumber *seismic noise* dapat dikelompokkan dalam dua sumber. Pertama adalah sumber yang diakibatkan oleh alam (*natural noise*). *Natural noise* terjadi akibat gempa bumi tektonik, gempa bumi vulkanik, dan guguran batuan (*rock falls*). Kedua adalah sumber yang diakibatkan oleh manusia (*man-made noise*) atau biasa disebut *noise* lingkungan. Sumber *noise* ini berasal dari aktifitas manusia di dekat atau pada permukaan bumi, misalnya ledakan di bawah permukaan bumi, aktifitas pengeboran, aktifitas pertambangan, aktifitas industri, dan arus lalu lintas. *Noise* lingkungan menyebar sebagai gelombang permukaan pada frekuensi tinggi (5-10 Hz) yang meluruh terhadap jarak. Dengan data digital dapat dimungkinkan untuk membuat analisis spektral dalam satu operasi sederhana. *Noise* seismik juga memiliki kegunaan praktis, antara lain untuk memperkirakan peta mikrozonasi seismik dengan cara mengkarakterisasi respon tanah lokal dan regional pada saat terjadi gempa bumi.

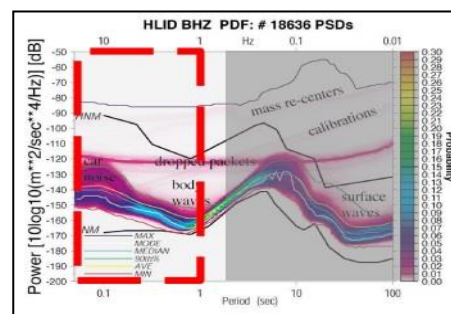
Kualitas site stasiun menunjukkan hasil evaluasi terhadap lokasi yang telah dipasang sensor seismometer. Hasil evaluasi bersifat tetap dan tidak berubah. Evaluasi dilakukan berdasarkan pada beberapa parameter. Parameter geologi dengan cara mengelompokkan kondisi geologi di lokasi sensor berdasarkan umur batuan. Parameter *site class* berdasarkan periode dominan HVSr.

Parameter kekerasan batuan berdasarkan Vs30. Parameter *Photovoltaic* berdasarkan tingkat pencahayaan matahari di lokasi sensor. Hasil setiap parameter dibobotkan dan didapatkan nilai skor untuk dikelompokkan menjadi *Good*, *Fair*, *Poor*, dan *Very Bad*.

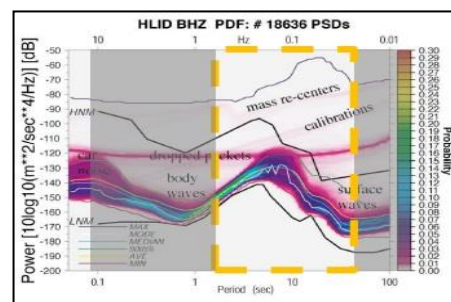
Analisis PSD dan PDF digunakan untuk mengevaluasi karakteristik noise stasiun seismik. Standarisasi tinggi-rendahnya noise seismik mengacu kepada model Peterson (1983) yaitu *New High Noise Model* (NHNM) dan *New Low Noise Model* (NLNM). Hasil PSD dapat juga digunakan untuk menganalisis:

1. *Noise* yang bersumber dari *short-period characteristics* (0.1 - 1 s), *microseismic characteristics* (2 - 20 s), dan *long period characteristics* (period 20 - 900 s) (D. E. McNamara et. al., 2009)
2. *Noise* yang bersumber dari penyebab lainnya seperti gangguan sensor, digitizer, power suplai dan sebagainya.

Sebagai contoh pada Gambar 1 terdapat rekaman dari seismometer di Hailey Idaho (HLID) pada komponen vertikal (BHZ) dengan berbagai macam kondisi (sumber : Mc Namara dan Buland, 2004).



(a)



(b)



$$f_x(x) = p(X=x) \quad (5)$$

Dengan demikian, fungsi  $f_x(x)$  adalah fungsi distribusi probabilitas dari  $X$  untuk variabel acak kontinu. PDF dari variabel acak kontinu  $X$  harus memenuhi sifat – sifat berikut :

1.  $0 \leq f_x(x) \leq 1$ , artinya PDF bernilai nol sampai satu.
2.  $\int_x f_x(x) dx = 1$ , artinya luasan dari semua PDF dari variabel acak kontinu  $X$  pada ruang sampel adalah satu.
3.  $P(a \leq X \leq b) = \int_x^b_a f_x(x) dx$ , nilai  $a$  dan  $b$  adalah dua nilai sembarang dari  $X$  yang memenuhi  $a < b$ .
4.  $P(X \leq x) = P(X < x)$ , tanda ( $<$  dan  $\leq$ ) atau ( $>$  dan  $\geq$ ) dianggap sama.

Nilai PDF ini berguna untuk mengetahui variasi *noise* pada stasiun seismik. Hasil PSD diperhalus dengan mengurangi jumlah frekuensi pada spektrum sinyal. Nilai PSD yang diambil berupa nilai rata-rata pada interval periode 1/8 oktaf. Selanjutnya dilakukan estimasi nilai PDF periode tengah pada setiap *range* periode dengan rumusan:

$$P(T_c) = NP_{T_c} / N_{T_c} \quad (6)$$

dimana :  $NP_{T_c}$  adalah jumlah kekuatan spectral ( $P$ ) pada range -200 sampai -80 db  $N_{T_c}$  adalah jumlah kekuatan spectral yang berada pada nilai periode tengah  $P(T_c)$  adalah nilai PDF pada setiap periode tengah.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kualitas stasiun seismik di Sulawesi Tenggara melalui analisis level sumber *noise/* kebisingan seismik dan gangguan lainnya yang mempengaruhi kualitas data seismik.

## METODOLOGI

Evaluasi kualitas site seismik dilakukan pada stasiun seismik yang berada di wilayah Sulawesi Tenggara. Jumlah stasiun seismik adalah 10 site, diantaranya yaitu BBSI (Baubau Sulawesi

Indonesia), KCSI (Kolaka Sulawesi Indonesia), PKCI (Palangga Konawe Selatan Celebes Indonesia), RRCM (Routa Konawe Celebes Minireg), WKCM (Wolo Kolaka Celebes Minireg), UKCM (Unaaha Konawe Celebes Minireg), WWCI (Wangi-Wangi Celebes Indonesia), KDI (Kendari), LKUCM (Langgikima Konawe Utara Celebes Minireg), dan LKCI (Lasusua Konawe Celebes Minireg), Pada masing-masing *site* terpasang sensor 3 komponen dengan kode penamaan orientasi arah Utara/Selatan (BHN, HHN, SHN), arah Timur/Barat (BHE, HHE, SHE) dan arah vertical (BHZ, HHZ, SHZ). Untuk mendapatkan grafik PSD kondisi kualitas data sensor dilakukan pemrosesan dengan memasukkan script dalam *python*.

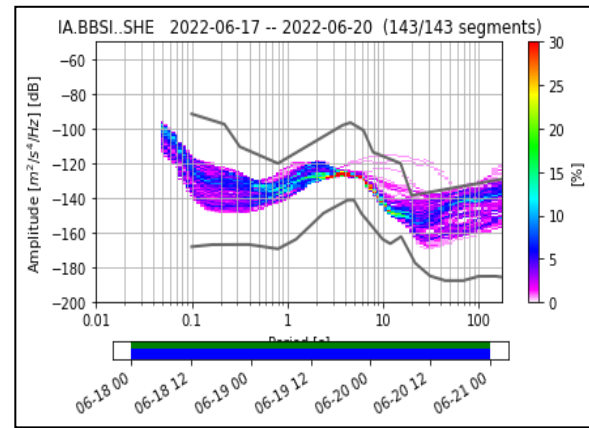
Acuan tingkat *noise* dalam analisis spektral telah diberikan dalam pola *Peterson Model* dengan jangkauan frekuensi antara 0,01 Hz – 10 Hz dengan PSD -180 dB sampai dengan -80 dB, serta batas atas *High Noise Model* (HNM) dan batas bawah *Low Noise Model* (LNM). Terdapat juga pola yang menggambarkan *microseismic* membentuk puncak pada frekuensi 0,05 Hz dan 0,1 Hz sebagai *Primary microseismic peak* (PMP) yang disebabkan oleh gelombang pasang surut laut, dan *Secondary microseismic peak* (SMP) pada frekuensi 0,1 Hz – 0,3 Hz. Masing-masing sumber getaran dengan frekuensi yang berbeda akan terpisah pada rentang frekuensinya seperti *noise* lingkungan yang diakibatkan oleh aktifitas manusia atau mesin dan juga getaran kendaraan di jalan. Untuk melihat karakter dari tiap-tiap stasiun, ditampilkan spektrum dengan *overlay* dari *Peterson Model*, sehingga dapat diketahui berbagai kejadian yang terekam, seperti gelombang badan, gelombang permukaan, *noise* akibat kendaraan dan kekosongan data (*gaps*) karena adanya permasalahan pada pengiriman data dan juga perlakuan yang diberikan kepada sensor seperti proses kalibrasi dan *mass recenters*. *Noise* akibat kendaraan berada pada rentang periode 0,1-0,2 detik atau dalam skala rentang frekuensi 5-10 Hz. Sedangkan masalah teknis akibat kekosongan data

(dropped packets) akan berada pada rentang semua frekuensi pada noise -120 dB.

Evaluasi terhadap kualitas site seismik di Sulawesi Tenggara tersebut didasarkan pada parameter persentase nilai PSD dengan cara menghitung nilai PSD dari sinyal yang terekam pada tanggal 17 Juni sampai tanggal 20 Juni 2022. Berbagai macam noise seismik pada spektrum yang dihasilkan akan terlihat apakah masih dalam batasan Peterson Model atau tidak. Untuk mengevaluasi hanya pada kualitas lokasi penempatan seismometer, maka site seismik yang dianalisis hanya dinyatakan dari seismometer yang masih baik dan mempunyai kelengkapan data seismik.

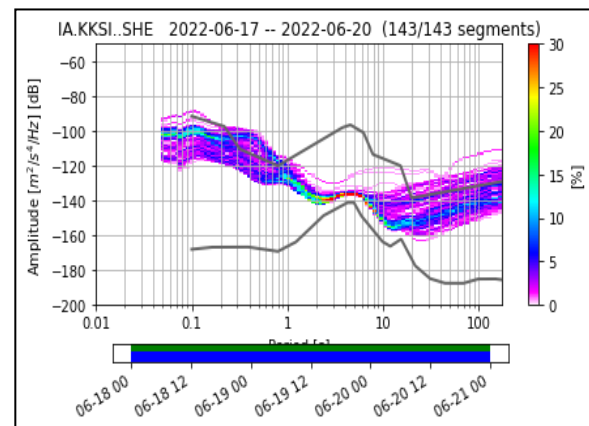
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses PSD dan PDF yang dilakukan pada 10 site seismik dengan mengacu pada sinyal seismik tanggal 17-20 Juni 2022, menghasilkan spektrum seismik pada masing-masing komponen vertikal dan horizontal. Gambar-gambar di bawah ini adalah spektrum seismik hasil PSD dari 10 site seismik yang diwakilkan oleh komponen BHZ, HHZ, SHZ untuk vertikal dan komponen BHE, HHE, SHE untuk horizontal.

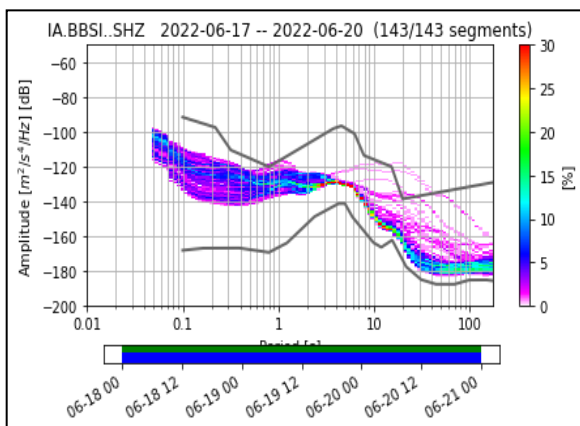


(b)

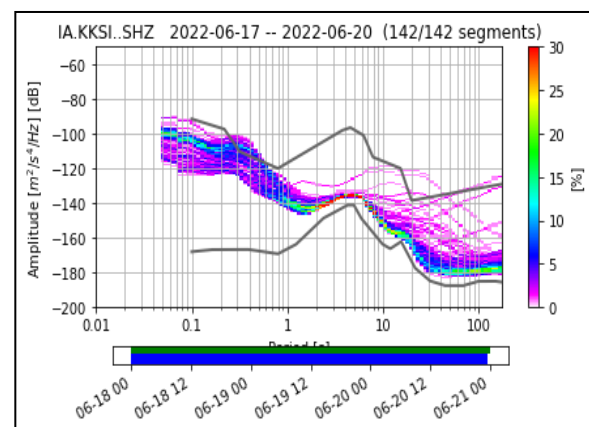
**Gambar 2. Spektrum seismik hasil PSD dari site seismik BBSI : (a) Komponen Vertikal (SHZ). (b) komponen horizontal (SHE).**



(a)

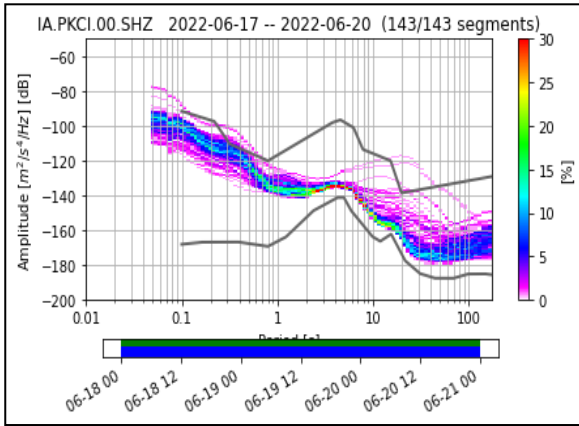


(a)

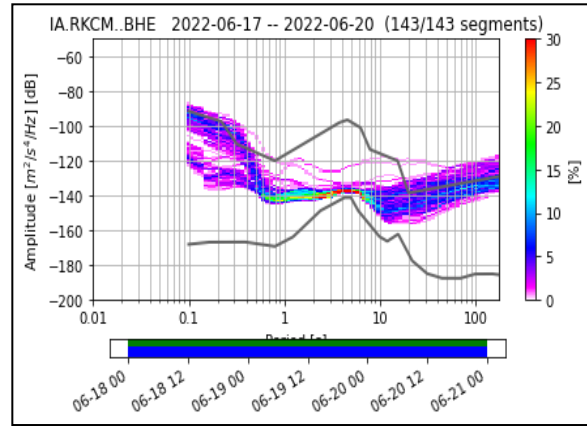


(b)

**Gambar 3. Spektrum seismik hasil PSD dari site seismik KCSI : (a) Komponen Vertikal (SHZ). (b) komponen horizontal (SHE).**

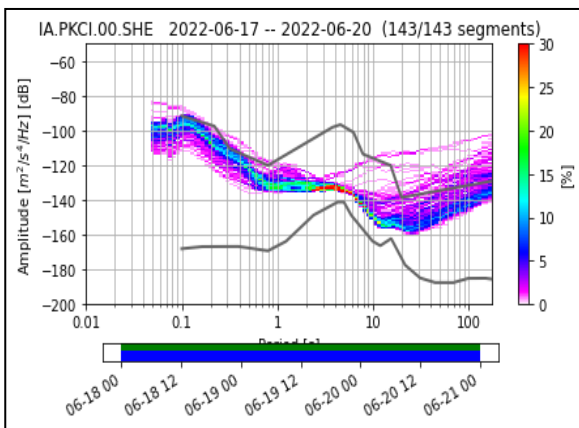


(a)



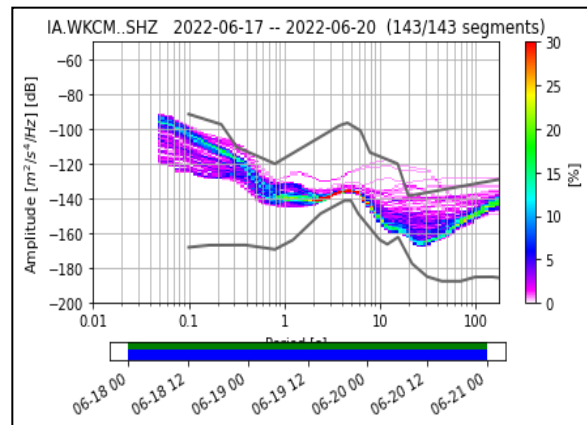
(b)

**Gambar 5. Spektrum seismik hasil PSD dari site seismik RKCM : (a) Komponen Vertikal (BHZ). (b) komponen horizontal (BHE).**

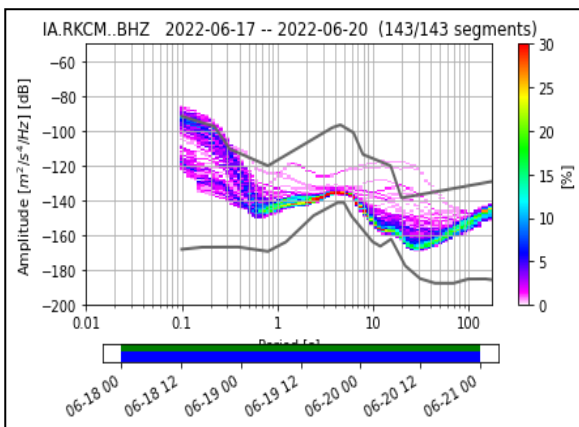


(b)

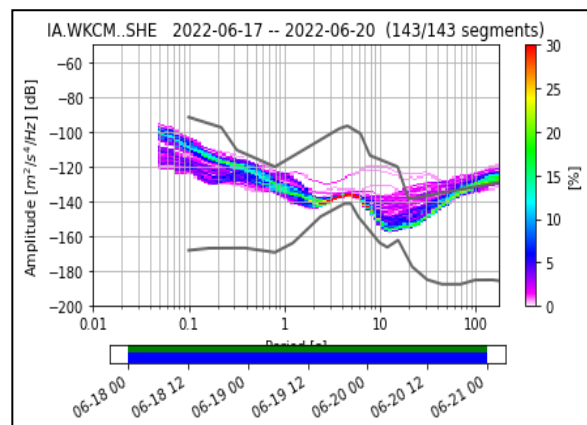
**Gambar 4. Spektrum seismik hasil PSD dari site seismik PKCI : (a) Komponen Vertikal (SHZ). (b) komponen horizontal (SHE).**



(a)

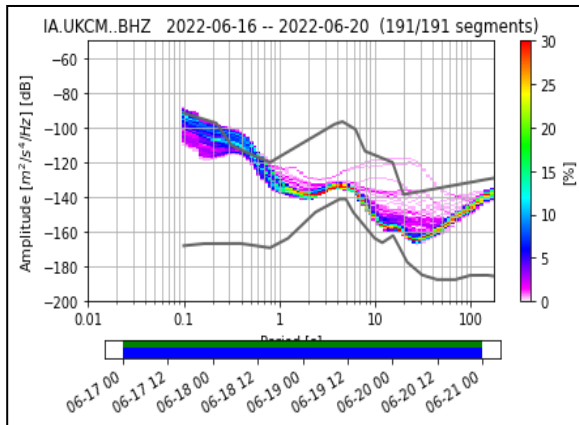


(a)

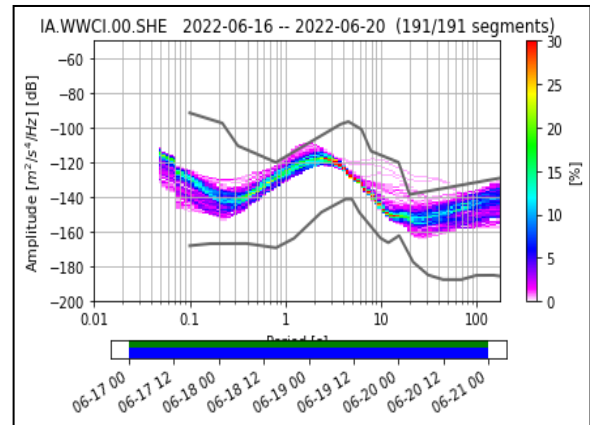


(b)

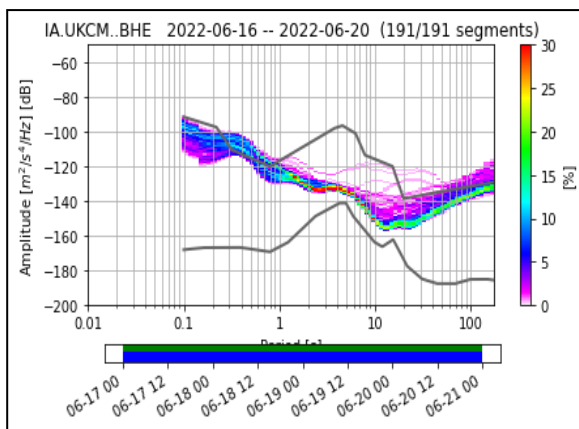
**Gambar 6. Spektrum seismik hasil PSD dari site seismik WKCM : (a) Komponen Vertikal (SHZ). (b) komponen horizontal (SHE).**



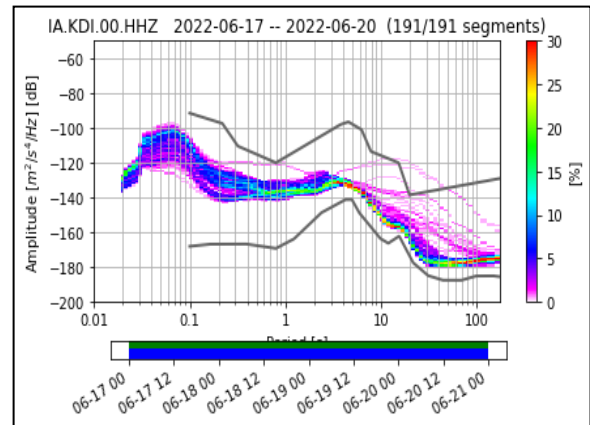
(a)



(a)



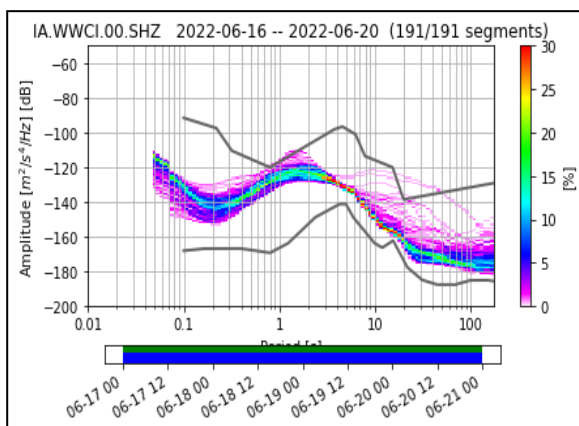
(b)



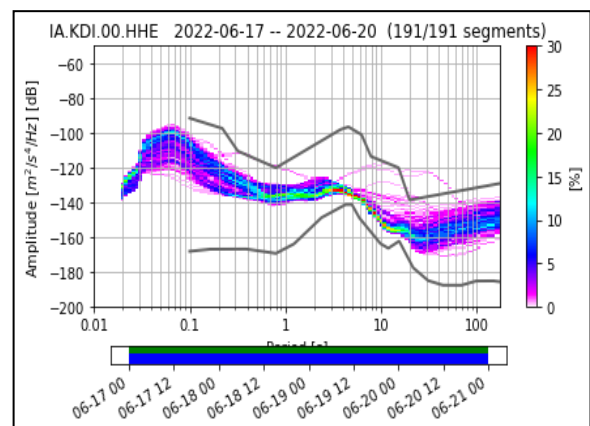
(a)

**Gambar 8. Spektrum seismik hasil PSD dari site seismik WWCI : (a) Komponen Vertikal (SHZ). (b) komponen horizontal (SHE).**

**Gambar 7. Spektrum seismik hasil PSD dari site seismik UKCM : (a) Komponen Vertikal (BHZ). (b) komponen horizontal (BHE).**



(a)

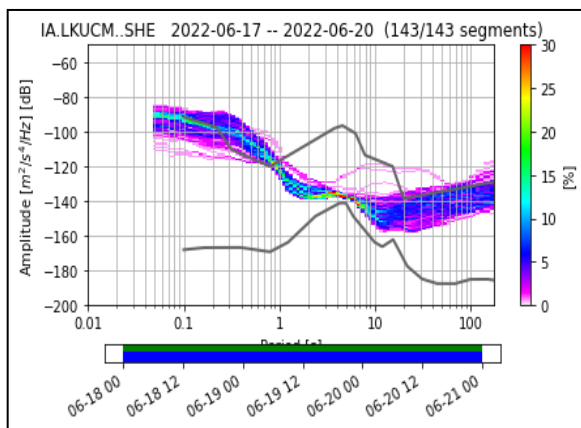


(b)

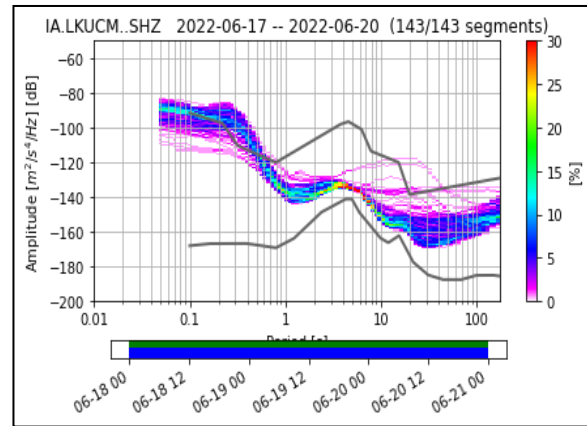
**Gambar 9. Spektrum seismik hasil PSD dari site seismik KDI : (a) Komponen Vertikal (HHZ). (b) komponen horizontal (HHE).**

Berdasarkan pada gambar spektrum hasil PSD di atas (Gambar 2 sampai Gambar 9), *Peterson Model* ditunjukkan dengan garis kurva warna hitam sedangkan garis kurva yang berwarna adalah tampilan nilai persentase PSD dari sinyal-sinyal yang terekam oleh seismometer. Dari gambar-gambar tersebut terlihat bahwa *site* seismik BBSI, KCSI, PKCI, RKCM, WKCM, UKCM, WWCI, dan KDI pada tanggal 17-20 Juni 2022 menghasilkan spektrum seismik yang membentuk pola dan masih masuk dalam batasan *Peterson Model*. Hal ini berarti bahwa delapan *site* seismik di Sulawesi Tenggara memiliki kualitas instalasi bunker dan kualitas sensor yang bagus. Perekaman data seismik yang dilakukan oleh seismometer di *site* tersebut juga sangat baik. *Noise* seismik yang berada pada beberapa frekuensi yang terekam oleh seismometer, seperti aktivitas manusia (*cultural noise*), perbedaan waktu siang dan malam (*diurnal noise*), gelombang laut (gelombang mikroseismik), dan perubahan atmosferik (meteorologi) masih dapat ditoleransi.

Hal yang sedikit berbeda ditunjukkan oleh spektrum seismik yang dihasilkan oleh *site* seismik LKUCM pada Gambar 10 berikut.



(a)



(b)

**Gambar 10. Spektrum seismik hasil PSD dari *site* seismik LKUCM : (a) Komponen Vertikal (SHZ). (b) komponen horizontal (SHE).**

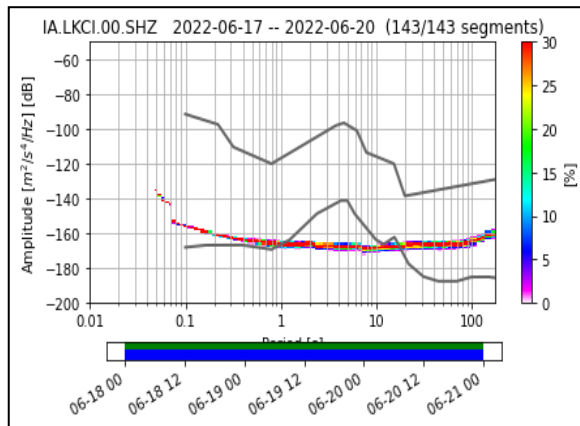
Pada *site* seismik LKUCM di Langgikima, kualitas instalasi bunker dan kualitas sensor masih bagus yang ditunjukkan dengan pola spektrum yang sama dengan pola *Peterson Model*. Data sinyal seismik dan aktivitas sumber *noise* seismik terekam dengan baik oleh seismometer di *site* LKUCM. Hanya saja spektrum *noise* seismik pada frekuensi 5-10 Hz atau pada periode 0,1-0,2 detik menghasilkan nilai persentase PSD yang sedikit berada di luar batasan *Peterson Model*. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh aktivitas manusia dan aktivitas kendaraan di sekitar *site* cukup tinggi. Bila dilihat secara langsung, lokasi *site* LKUCM berada di kompleks perumahan dan perkantoran dan juga dekat dengan jalan raya.

Pada Gambar 2 sampai Gambar 10 dapat dilihat terdapat perbedaan bentuk spektrum antara komponen vertikal dan komponen horizontal pada *noise* seismik periode 20-900 s atau frekuensi 0,05-0,001 Hz (*log period*). Karakteristik *noise* seismik *log period* masuk dalam kategori sebagai *surface wave* (gelombang permukaan). Komponen horizontal lebih peka terhadap gelombang permukaan sehingga menghasilkan nilai *noise* (dB) lebih tinggi dibandingkan dengan komponen vertikal.

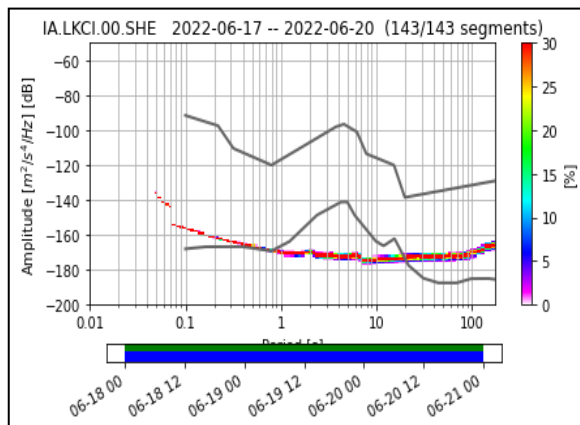
Dari spektrum yang dihasilkan oleh 10 *site* seismik di Sulawesi Tenggara, terdapat satu *site* yang menghasilkan spektrum yang tidak mengikuti



pola dan berada di luar batasan *Peterson Model*. *Site* tersebut adalah LKCI, dan spektrum yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 11.



(a)



(b)

**Gambar 11. Spektrum seismik hasil PSD dari *site* seismik LKCI : (a) Komponen Vertikal (SHZ). (b) komponen horizontal (SHE).**

Spektrum seismik yang dihasilkan oleh *site* seismik LKCI menunjukkan pola yang berbeda dari *Peterson Model*. Nilai persentase PSD spektrum seismik terlihat berwarna merah (> 50%) dan berada di bawah batasan *Peterson Model* pada periode 1-20 s atau frekuensi 1-0,05 Hz. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak adanya perekaman data sinyal seismik maupun aktivitas sumber-sumber *noise* akibat terjadi kerusakan pada sistem seismometer di *site* tersebut. Kerusakan sistem seismometer disebabkan oleh lokasi penempatan/ lokasi *site* yang tidak sesuai sehingga perlu

dilakukan pemindahan lokasi *site* dan penggantian sistem seismometer.

## PENUTUP

### Simpulan dan Saran

1. Terdapat 9 *site* seismik di Sulawesi Tenggara dengan kualitas *site* yang ideal, yang dapat merekam data sinyal seismik dan aktivitas sumber-sumber *noise* seismik dengan baik, yaitu BBSI, KCSI, PKCI, RKCM, WKCM, UKCM, WWCI, dan KDI.
2. Terdapat satu *site* seismik dengan kualitas *site* yang buruk yang tidak dapat merekam data sinyal seismik dan aktivitas sumber-sumber *noise* seismik, yaitu *site* seismik LKCI (Lasusua Kolaka Utara Celebes Indonesia). Pemindahan lokasi *site* dan penggantian sistem seismometer sangat dibutuhkan.
3. Tingkat *noise* seismik pada frekuensi 5-10 Hz yang bersumber dari aktivitas manusia dan kendaraan paling tinggi ditunjukkan oleh *site* seismik LKUCM (Langgikima Konawe Utara Celebes Minireg).

## DAFTAR PUSTAKA

- Gunawan, M.T., dan Tim, (2021), "Penilaian dan Pengelolaan Kualitas Data Seismik", *Pelatihan teknis seismic data processing*.
- Hasselmann, K., (1963), "A Statistical Analysis of the Generation of Microseisms", *Rev. Geophys*, Vol.1, hal.177-210.
- Longuet\_Higgins, M.S., (1950), "A Theory of the Origin of Microseisms", *Phil Trans. R.Soc. Lond*, Vol.A, No.243, hal.1-35.
- McNamara, D.E., and Buland, R.P., (2004), "Ambient Noise Levels in the Continental United States", *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol.94, No.4, hal.1517-1527.  
<https://doi.org/10.1785/0120030001>
- McNamara D.E., Boaz, R.I., (2005), "Seismic Noise Analysis System Using Power Spectral Density Probability Density Functions : A Stand Alone Software Package", *Open-File Report 2005-1438*, USGS, Colorado, USA.

<https://doi.org/10.3133/ofr20051438>

McNamara, D.E., Buland, R.P., Boaz, R.I., Weertman, B., Ahern, T., (2005), "Ambient Seismic Noise", USGS, Colorado, USA.

McNamara, D.E., (2005), "Ambient Noise Probability Density Function", USGS, Colorado, USA.

McNamara, D.E., C.R., Gee, L.S., Benz, H.M., and Buland, R.P., (2009), "A Method To Establish Seismic Noise Baselines for Automated Station Assessment", *Seismological Research Letters*, Vol. 80, No.4, hal.628-637.

<https://doi.org/10.1785/gssrl.80.4.628>

Peterson, Jon., (1993), "Observations and Modeling of Seismic Background Noise", *Open-File Report* hal.93-322, USGS, Albuquerque, New Mexico, USA.

Setiyaji, Andri., Agus, M., (2009), "Analisis Kualitas Data Seismik 6 Stasiun Indonesia Menggunakan PQLX", *Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah*.

Yusuf, Mahmud., Yohanes, T., Ricko, K., (2016), "Evaluasi Kualitas Stasiun Seismograph Berdasarkan Analisis Spektrum Pada Jaringan Seismograph Inatews", *Research gate*.