

KAJIAN KEBISINGAN LINGKUNGAN PADA AKUSTIK TOMOGRAFI PESISIR (ATP) UNTUK PREDIKSI ARUS PERMUKAAN LOKAL

THE ASSESSMENT OF AMBIENT NOISE IN COASTAL ACOUSTIC TOMOGRAPHY SYSTEM TO ESTIMATE THE LOCAL SURFACE CURRENTS

Teguh Arif Pianto¹, Harun Idham Akbar¹, Galih Prasetya Dinanta², Nurdiansyah³,
Nico Anatoly⁴, Fanny Meliani², & Bayu Sutejo¹

¹Pusat Riset Geospasial, Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim

²Pusat Riset Penginderaan Jauh, Organisasi Riset Penerbangan dan Antariksa

³Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim

⁴Pusat Riset Limnologi dan Sumberdaya Air, Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim

e-mail : tegu023@brin.go.id

Diterima tanggal: 3 April 2022 ; diterima setelah perbaikan: 1 Agustus 2022 ; Disetujui tanggal: 19 Agustus 2022

ABSTRAK

Akustik Tomografi Pesisir (ATP) merupakan sebuah inovasi teknologi yang dapat digunakan untuk mendapatkan informasi tentang karakter fisik kelautan pada kurun waktu tertentu melalui media gelombang akustik. Pada sistem ATP, pembacaan *transducer/sensor* memiliki peran yang sangat penting, karena data dan informasi sangat bergantung pada kestabilan instrument oleh karenanya pemasangan alat menjadi sangat penting. Disamping itu, langkah-langkah akuisisi dan pengolahan data ATP wajib memiliki fundamental tentang fisika dan pemahaman tentang kelautan yang baik. Salah satu yang harus dipahami adalah karakter kebisingan lingkungan yang terekam sebagai *Environmental Sound Noise (ESN)*. Data ini diperoleh dengan tujuan khusus untuk melihat karakter lingkungan dimana sensor ATP dipasang pada waktu rentang waktu tertentu, disamping itu data ini dapat digunakan juga sebagai instrument pemantauan perubahan kondisi lingkungan secara *near-realtime*. Data pada penelitian ini menggunakan data ATP yang di pasang di suar navigasi di wilayah perairan Senggigi, Lombok pada Januari 2021, dengan jumlah data 2724 data, yang terbagi kedalam empat (4) kuartan waktu, Analisa dengan menggunakan *Fourier Transform (FFT)* dan *Power Spectral Density (PSD)* membuka informasi tentang kondisi arus permukaan. Berdasarkan hasil kajian dan analisis yang telah dilakukan didapat informasi pada saat kondisi hujan lebat sinyal ESN akan memiliki *spike* amplitudo dengan frekuensi yang yang rapat, kemudian *sea-breeze* setelah dilakukan *signal processing* berada pada nilai <12 Hz, *surface wave* pada 12-15 Hz dan *underwater signal* 15-32 Hz. Secara garis besar ATP dapat menjadi instrument untuk pengukuran kondisi perairan dan menjadi salah satu referensi untuk lalu lintas pelayaran.

Kata Kunci: Akustik Tomografi Pesisir, ambient kebisingan, kepadatan daya spektral, *Sea-breeze*, transformasi fourier.

ABSTRACT

Acoustic Coastal Tomography (ATP) is a technological innovation that can be used to obtain information about the physical characteristics of the ocean at a certain time through the medium of acoustic waves. In the ATP system, transducer/sensor readings have a very important role, because the data and information are very dependent on the stability of the instrument, therefore the installation of the instrument is very important. In addition, the steps of ATP data acquisition and processing must have fundamentals of physics and a good understanding of the ocean. One thing that must be understood is the character of environmental noise which is recorded as Environmental Sound Noise (ESN). This data was obtained with a special purpose to see the character of the environment where the ATP sensor is installed at a certain time span, besides that this data can also be used as an instrument for monitoring changes in environmental conditions in near-realtime. The data in this study uses ATP data installed in navigational beacons in the waters of Senggigi, Lombok in January 2021, with a total of 2724 data, which is divided into four (4) time quadrants. Analysis using Fourier transform (FFT) and Welch's Power Spectral Density (PSD) provides information about surface current conditions. Based on the results of studies and analyzes that have been carried out, information is obtained during heavy rain conditions, the ESN signal will have a spike amplitude with a tight frequency, then the sea-breeze after signal processing is at a value of <12 Hz, surface wave at 12-15 Hz and underwater signal 15-32 Hz. In Summary, ATP

can be an instrument for measuring water conditions and a reference for sailing.

Keywords: *Acoustic Coastal Tomography, ambient noise, fourier transform, power spectral density, Sea-breeze.*

PENDAHULUAN

Akustik Tomografi di bidang kelautan pertama kali diinisiasi oleh Walter Munk of Scripps Institution pada tahun 1970 an (Munk & Wunsch, 1979) dan sejak saat itu dikembangkan sebagai sebuah instrument pemantauan yang dapat dipasang di pesisir untuk mendeteksi parameter fisis kelautan. Prospek aplikasi dan pemanfaatan teknologi ini memiliki peluang yang cukup luas dan besar (Munk *et al.*, 1995), disamping itu instrument ATP menggunakan konsep dasar dari gelombang akustik yang menjalar pada sebuah medium (air laut) (Becken, 1960; Cato, 2012; Dahl *et al.*, 2007; Tegowski *et al.*, 2013; Wenz G.M., 1962) dengan banyak variasi dari *wavelet* dalam akusisi datanya. Pada Akustik Tomografi Pantai (ATP) ini terdapat dua jenis data yang di akusisi, data yang berformat RAW (*Read After Write*) dan data yang berformat ESN (*Environmental Sound Noise*), kedua data ini memiliki tujuan yang berbeda dan konsep integrasi yang berbeda, data RAW merupakan data hasil integrasi transmit dan *receive* dari dua pasang stasiun ATP sedangkan data ESN atau data *ambient noise* merupakan data dari satu stasiun dimana sensor hanya bekerja untuk menerima sinyal akustik yang akan masuk tanpa adanya proses transmisi. Pada studi ini dilakukan pembahasan mendalam dari data ESN sebagai bentuk pendekatan alternatif untuk model monitoring dari perubahan arus permukaan laut secara lokal, sehingga penentuan dan proses dari karakter sinyal pada kebisingan lingkungan tersebut menjadi sangat penting dan berkontribusi terhadap upaya pengembangan teknologi ini (Frison *et al.*, 1996; Hildebrand, 2009; Siddagangaiah *et al.*, 2015).

Algoritma komputasi telah dibangun untuk menyelesaikan perhitungan dan mengambil informasi penting dari rekaman dan transmisi sinyal pada sistem ATP, informasi yang bisa didapatkan dari sinyal ESN ini adalah informasi fisika gelombang, seperti amplitudo, phase, frekuensi dan panjang gelombang. Kemudian, diyakini bahwa informasi fisis tersebut sangat berkaitan dengan perubahan kondisi arus permukaan dan cuaca pada saat data tersebut terekam. Ketika melakukan studi tentang karakteristik gelombang laut, banyak *scientists* dan *engineers* yang setuju bahwa selalu ada intervensi dari proses-proses yang terjadi di atmosfer; seperti angin, perubahan suhu

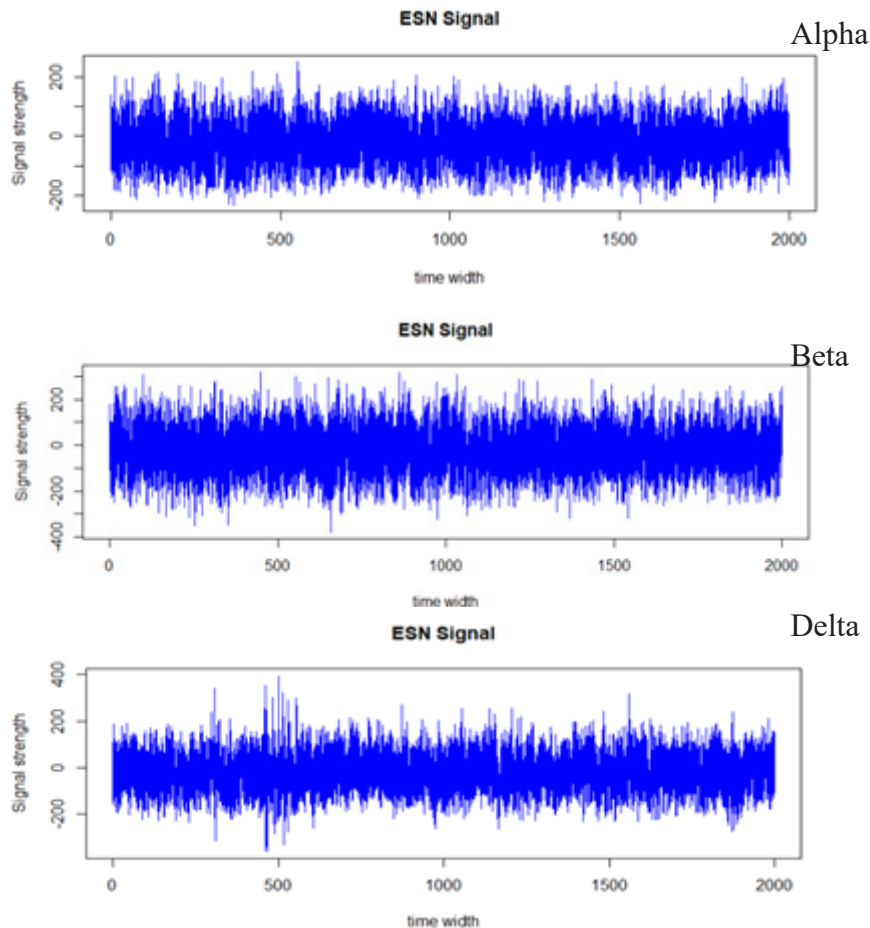
dan tekanan di permukaan laut (Jayakrishnan *et al.*, 2021). Viner & Noble (2021) menyatakan bahwa “masa udara dapat menghasilkan lapisan (*Layer*) tipis dengan karakter yang berbeda dalam hal ini angin dan suhu”, dalam penelitiannya mereka membuat teknik pemantauan melalui observasi dengan data radar dan pemetaan pola dari angin laut. Berdasarkan hal tersebut maka dapat diilustrasikan bahwa gelombang permukaan sangat berpengaruh terhadap lautan dan daerah pesisir. (Park & Kaneko, 2000; Yamoaka *et al.*, 2002; X.-H. Zhu *et al.*, 2013) Metode akustik tomografi pesisir ini juga dapat digunakan untuk memantau kondisi fisik perairan (Park & Kaneko, 2000; Yamoaka *et al.*, 2002; X.-H. Zhu *et al.*, 2013). Penelitian terkait kebisingan lingkungan merupakan tantangan yang unik yang menawarkan alternatif penyelesaian masalah terkait observasi kondisi lingkungan perairan dengan cara menganalisa propagasi gelombang dan pemrosesan sinyal (Miyazaki *et al.*, 2019). Untuk ringkasnya, penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi dari fenomena-fenomena kelautan melalui analisa data kebisingan lingkungan yang terekam sebagai sinyal ESN, melalui pemahaman fisika gelombang, fenomena-fenomena ini dapat teridentifikasi kemunculannya dan berkaitan erat dengan perubahan lingkungan seperti hujan lokal, lalu lintas perairan maupun sinyal-sinyal bawah laut.

BAHAN DAN METODE

Environmental Sound Noise pada sistem ATP (Penentuan data Observasi)

Data ESN memiliki karakteristik yang berbeda daripada data RAW, pada data RAW sangat jarang ditemukan adanya puncak daripada sinyal, yang mencapai nilai lebih besar daripada 200 (*unitless*) atau lebih, namun pada ESN hal ini lazim ditemukan, dan selama studi ini dilakukan terhadap data rekaman observasi, karakter dan bentuk gelombang (*Waveform*) dari ESN dapat diklasifikasikan menjadi 3 tipe yaitu; alpha, beta dan delta, perbedaanya dapat dilihat pada gambar 1.

Untuk karakter sinyal Alpha, bentuk *Waveform* yang dimiliki relatif seimbang, baik antara *amplitude positif* dan *amplitude negative* terhadap nilai standar “0”, karakter sinyal ini paling sering dijumpai pada data dan indikasi adanya gangguan berupa *high-peak noises* relatif jarang. pada karakter sinyal Beta, bentuk



Gambar 1. Tipe dari sinyal ESN, alpha (atas), beta (tengah) and delta (bawah), karakteristik ini ditentukan berdasarkan nilai normal. (Sumber: Dokumentasi data ATP-BPPT)

Figure 1. The types of ESN signals, alpha (top), beta (middle) and delta (bottom), these characteristics are determined based on normal values. (Source: ATP-BPPT data documentation)

Waveform yang dimiliki condong kearah negatif, artinya secara persentasi (>60%) *amplitude* sinyal berada dibawah nilai standar “0” serta sebaliknya untuk sinyal delta. Untuk mempelajari karakteristik dan bentuk geombang (Waveform) dari masing-masing jenis sehingga perlu dipahami bahwa kontribusi dari lingkungan saat data tersebut terekam menjadi sangat signifikan, terlepas dari tetap adanya pengaruh dari instrumen ATP itu sendiri.

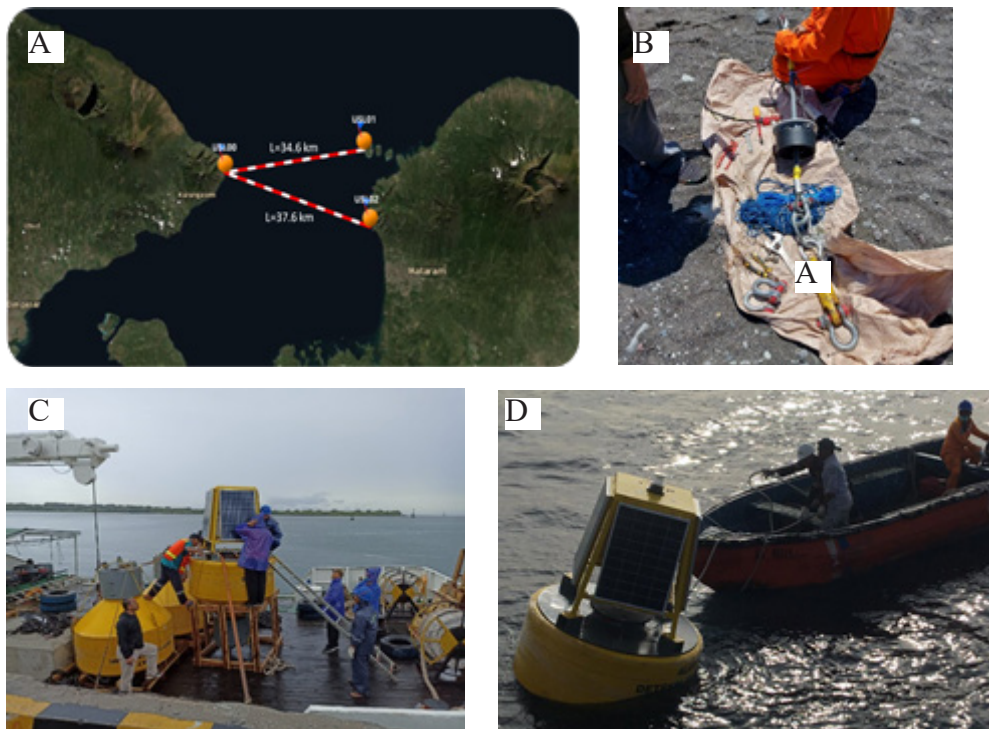
Pengambilan data dilaksanakan pada stasiun ATP yang dipasang pada posisi pengamatan suar navigasi di wilayah Senggigi, Lombok. Pemasangan perangkat di wilayah ini sangat menarik karena wilayah perairan Lombok adalah sebagai jalur Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) dengan berbagai fenomena laut yang menarik untuk dipelajari. Penelitian sebelumnya terkait *Internal Solitary Waves* juga kuat terjadi di selat Lombok (Syamsudin *et al.*, 2019)

Analisis data dilakukan setelah membagi data menjadi empat kuadran waktu dan melihat tipe karakter dari sinyal ESN, dengan melakukan hal tersebut informasi mengenai kondisi harian akan lebih mudah untuk di analisa. Data yang digunakan untuk studi ini merupakan data selama kurun waktu 27 hari pengamatan (Tabel 1).

Karakterisasi dari frekuensi *ambient noise*

Sistem akusisi data ATP ini pada dasarnya mengukur transmisi akustik bolak balik (*reciprocal*) yang merambat pada kolom air laut (Adityawarman *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2015), dan umumnya *noise* sinyal akan selalu melekat pada beberapa bagian dari data tanpa bisa dihilangkan seluruhnya, namun demikian dapat diminimalisasikan melalui pengolahan data lebih lanjut.

Metode transmisi gelombang suara bolak balik untuk beberapa stasiun ATP berhasil di terapkan di sekitar Jepang dan Cina (Zhang *et al.*, 2015; X.-H. Zhu *et al.*,



Gambar 2. (A) Lokasi penempatan perangkat ATP, (B) *transducer* sistem ATP yang berfungsi sebagai *receiver* dan *transmitter* gelombang akustik, (C) proses persiapan instalasi sistem ATP dengan *modul buoy* secara *offshore*, (D) Proses *quality check* pada sistem ATP yang sudah terpasang. (Sumber: Dokumentasi Tim InaCAT-BPPT)

Figure 2. (A) The location of the ATP device placement, (B) the *transducer* of the ATP system which functions as a *receiver* and *transmitter* of acoustic waves, (C) the process of preparing for the installation of the ATP system with an *offshore buoy* module, (D) The *quality check* process on the ATP system that has been installed. (Source: InaCAT-BPPT Team Documentation)

2013). Akan tetapi belum mempertimbangkan berbagai kondisi dari gangguan atau *noise* lingkungan sekitar (Chen *et al.*, 2014; Taniguchi *et al.*, 2013). Proses minimalisasi gangguan atau *noise* ini pada sinyal analisis disebut dengan filterisasi sinyal, beberapa teknik

untuk melakukan filterisasi sinyal ini menggunakan tipe *highpass*, *bandpass*, *lowpass filter* dan jenis filter yang lainnya. Pada studi ini telah dilakukan proses *filtering* dan pengolahan lebih lanjut dengan menggunakan algoritma *fast fourier transform* (FFT) untuk ATP (Liu *et al.*, 2016; Z.-N. Zhu *et al.*, 2017). Sejalan dengan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini *cut-off* frekuensi yang digunakan adalah maksimum frekuensi dari *wave* akustik yang terekam pada data kebisingan lingkungan yaitu $\pm 35\text{Hz}$ (*Low pass filter*). Karakterisasi spektral atau dikenal dengan *Power Spectral Density* (PSD), secara *time series* mendiskripsikan variansi atau distribusi dari daya (*power*) dari sinyal ke dalam fungsi frekuensi, sehingga kita dapat melihat bahwa semakin tinggi frekuensinya maka akan semakin tinggi energi dan daya untuk pembangkitannya. Pada kasus *sea-breeze* dapat diidentifikasi karakter spektralnya berada pada frekuensi rendah dan energi yang di transfer ke lingkungan juga rendah karena karakternya lebih kepada hembusan angin dipermukaan laut. Persamaan tentang PSD dapat dilihat pada persamaan (1), Daya (*P*) dari sinyal $x(t)$ dalam domain waktu (*time series*) memiliki periode (*T*) yang berada pada rangkaian waktu tertentu $t=t_0$.

Tabel 1. Jumlah data harian yang terekam dan digunakan untuk analisis ESN

Table 1. Amount of daily data recorded and used for ESN analysis

Tanggal	Jumlah data (per hari)
04-Sep-21	75
05-Sep-21	0
06-Sep-21	61
07-Sep-21	131
08-Sep-21	129
09-Sep-21	107
10-Sep-21	93
11-Sep-21	137
12-Sep-21	140
13-Sep-21	136
14-Sep-21	145
15-Sep-21	138
16-Sep-21	103
17-Sep-21	81
18-Sep-21	14
19-Sep-21	0
20-Sep-21	58
21-Sep-21	73
22-Sep-21	76
23-Sep-21	97
24-Sep-21	110
25-Sep-21	138
26-Sep-21	140
27-Sep-21	131
28-Sep-21	133
29-Sep-21	136
30-Sep-21	123
01-Okt-21	19
Total	2.724

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} |x(t)|^2 dt \quad \dots\dots\dots 1)$$

Jika batasan dari integral ini diasumsikan sebanding dengan panjang dari rambatan sinyal itu sendiri (Comer, 1998; Miller & Childers, 2012; Ricker, 2003), maka lebih mudah untuk menyelesaikan persamaan tersebut sebagai bentuk integral tak hingga, jika $x(t)=X_T/\omega_T$, dan ω_T berada dalam satu siklus dimana nilainya adalah 1. Sehingga persamaanya dapat ditulis menjadi :

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} |x_T(t)|^2 dt \quad \dots\dots\dots 2)$$

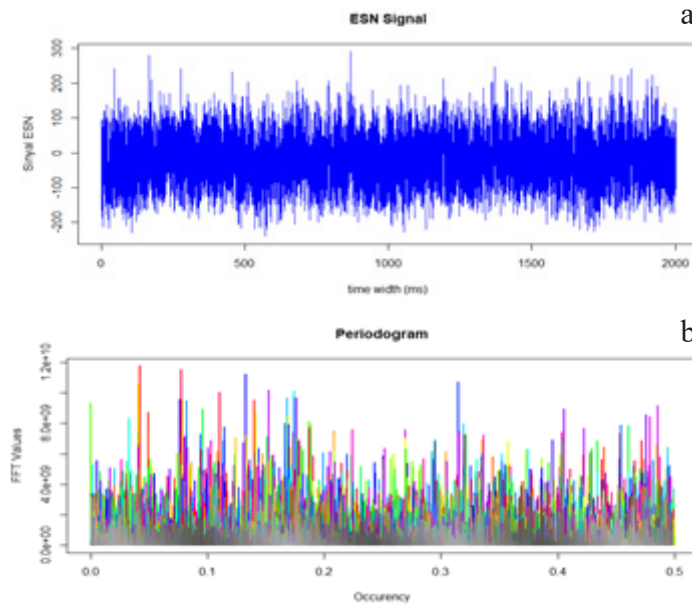
Jika persamaan transformasi fourier diterapkan (Miller & Childers, 2012; Ricker, 2003) pada persamaan (2), dan dari time domain berubah menjadi frekuensi domain, persamaan terakhir dapat di tulis menjadi :

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} |\hat{x}_T(f)|^2 \quad \dots\dots\dots 3)$$

Dimana, f adalah frekuensi domain,

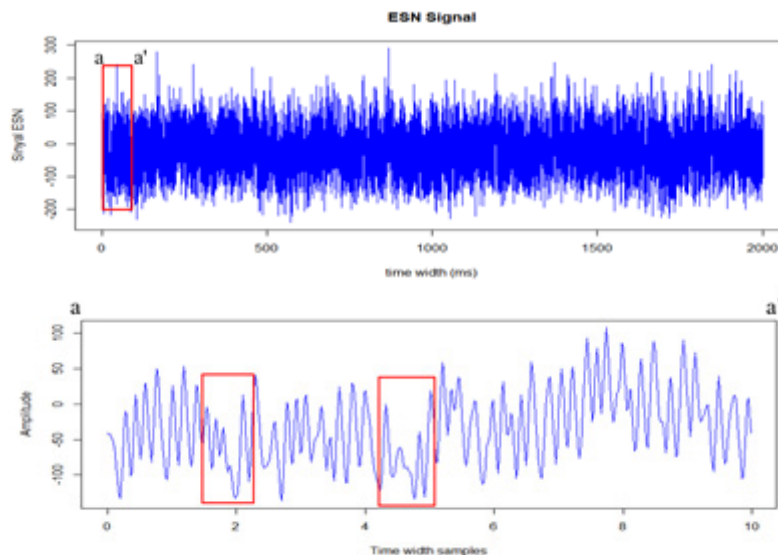
Dengan persamaan tersebut dapat diidentifikasi spektral gelombang akustik yang diperoleh berdasarkan frekuensinya, dan dengan demikian akan memudahkan untuk dilakukan analisis lebih lanjut pada data-data ambient *noise* yang menjadi objek studi (Andrew *et al.*, 2002; Cato, 2012; Dahl *et al.*, 2007; Tegowski *et al.*, 2013). Setelah dilakukan pengolahan untuk keseluruhan data sampel, didapatkan informasi yang memuaskan tentang bagaimana frekuensi *sea-breeze* dapat secara interpretatif dipisahkan dengan frekuensi lainnya melalui bentuk gelombangnya. Gambar 3 menampilkan bentuk gelombang (*Waveform*) dari data kebisingan lingkungan, teridentifikasi adanya fluktuasi nilai dan besaran *amplitude* yang membentuk satu bentuk kesatuan gelombang sinusoidal, bentuk sinyal seperti ini adalah indikasi adanya pencampuran efek gelombang akustik dengan gangguan (*noises*) akibat adanya gelombang permukaan (Kaneko, 2020; Kaneko *et al.*, 2020; Philip *et al.*, 2011; Reynolds, 2011).

Gelombang permukaan (*sea level fluctuation*) pada dasarnya memiliki vektor arah, baik secara vertikal dan horizontal dan pada Gambar 4. Terdapat contoh sampel data dari kebisingan lingkungan, secara sederhana teridentifikasi bahwa sinyal ini adalah



Gambar 3. (a) Bentuk sinyal kebisingan lingkungan dari sampel data (diambil pada 12 September; 09:30 GMT), setelah dilakukan FFT diperoleh nilai *power vs occurrence* (f) (standar-PSD) yang ditampilkan dalam periodogram (b), proses ini berhasil menunjukkan sinyal pada frekuensi rendah yang ternyata yang lebih dominan, kriteria dari frekuensi rendah adalah frekuensi *infrasonic*.(Sumber: Data analisis- Tim InaCAT-BPPT)

Figure 3. (a) The form of environmental noise signal from the data sample (taken on 12 September; 09:30 GMT), after the FFT is performed the *power vs occurrence* (f) (standard-PSD) value is displayed in the periodogram (b), this process is successful shows a signal at a low frequency which turns out to be more dominant, the criteria for low frequency is the *infrasonic* frequency. (Source: Data analysis- InaCAT-BPPT Team)



Gambar 4. Magnifikasi dari sinyal ESN yang terukur pada data menunjukkan adanya gangguan (*interference*).

(Sumber: Data analisis Tim Ina-CAT BPPT)

Figure 4. The magnification of the ESN signal measured in the data indicates interference.

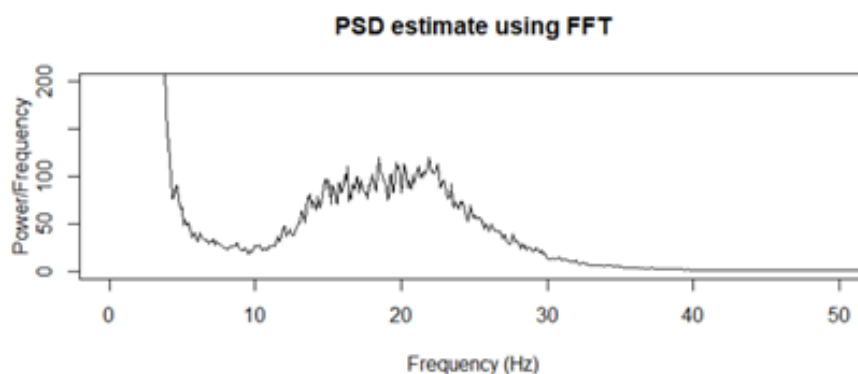
(Source: Data analysis of the BPPT Ina-CAT Team)

gabungan (*composite*) dari beberapa gelombang yang membentuk gelombang ESN.

Dengan menerapkan *power spectral density* analisis pada data sinyal ESN diperoleh identifikasi terkait komposisi dari sinyal pada Gambar 4 (atas), sinyal tersebut selanjutnya dapat dibuat klusterisasinya berdasarkan jangkauan frekuensinya dan informasi-informasi fisis dari gelombang ini kemudian dapat diambil dan dijadikan sebagai referensi untuk analisis lanjutan (Greenwood *et al.*, 2011). *Sea-breeze* dapat diidentifikasi dari hasil analisis pada data ESN, berdasarkan karakter frekuensinya yaitu antara 5 – 11 Hz, pembacaan pada ESN tidak dapat menunjukkan secara langsung adanya pengaruh *sea-breeze* tetapi harus ditransformasi dan dilihat nilai spektrum frekuensinya, dan ATP adalah instrumen baru didunia

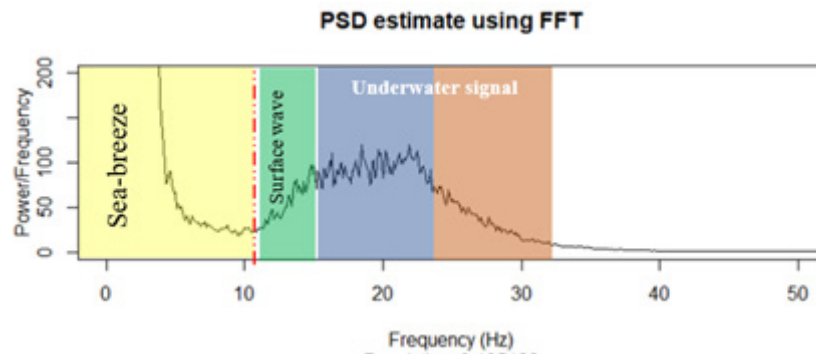
penelitian kelautan maka referensi detail mengenai penelitian tersebut masih sangat terbatas (M. Chen *et al.*, 2022; Kaneko, 2020; Kaneko *et al.*, 2020).

Pada gambar 5 diilustrasikan grafik *welch's PSD* dari data ESN, data yang diperoleh merupakan hasil proses transformasi pada ESN dengan menggunakan *Hanning Windows* untuk nilai 200 sampling per 10 msec, nilai ini adalah nilai optimum setelah dilakukan beberapa kali iterasi dan menghindari adanya distorsi pada data. karakter nilai *power* frekuensi pada sumbu y disisi kiri yang tinggi kemudian merendah memang adalah ciri khas *welch's PSD* dan ini bukan merupakan spektral *leakage*, tetapi akumulasi rerata dari sinyal-sinyal frekuensi rendah, power frekuensi pada sumbu y bukan menjelaskan indikasi besarnya energi, *power* disini adalah pangkat dalam matematika



Gambar 5. Analisa pada sampel data yang menunjukkan frekuensi *sea-breeze* (warna kuning) dari dataset ESN.

Figure 5. Analysis of data samples showing the frequency of *sea-breeze* (yellow) from the ESN dataset.



Gambar 6. Hasil identifikasi dari data ESN dengan menggunakan PSD, terlihat karakter dari gelombang penyusun sinyal ESN.

Figure 6. The results of the identification of the ESN data using PSD, show the character of the ESN signal composing waves.

yang menunjukkan hubungan polinomial dalam data dan frekuensi disini adalah intensitas kemunculan. Thomas *et al.* (2015) menyatakan dalam publikasinya bahwa, tidak seperti pada standar PSD dimana model dibuat *spectral powernya* secara keseluruhan, *welch's PSD* menambahkan proses *windowing* dan algoritma, dengan faktor pengali setengah nilai dari keseluruhan nilai segmen yang asli.

Proses identifikasi frekuensi *sea-breeze* menjadi langkah dasar untuk proses analisis komponen sinyal selanjutnya, penggunaan persamaan PSD (*Power Spectral Density*) memberikan informasi penunjang bahwa perubahan harian (diurnal) dapat diidentifikasi polanya (Barbour & Parker, 2014; Mohd Salleh & Daud, 2018). Sebagai contoh pada gambar no 6. jangkauan daya spektral (*power spectral*) dari frekuensi yang menyusun sinyal ESN dapat dibagi menjadi beberapa bagian. Setiap bagian merupakan karakter dari masing-masing gelombang penyusun, seperti gelombang permukaan (*surface wave*) dan gelombang bawah permukaan. Lalu apa yang menjadi indikator pembeda dari keduanya, secara fisika perbedaan frekuensi dan daya spektral inilah yang membedakan. Pada gelombang permukaan jangkauan frekuensinya antara 12-15 Hz dan untuk gelombang bawah permukaan dari 16 - 32 Hz (lihat Gambar 6).

Dalam studi ini hasil dari identifikasi pada sinyal ESN dapat membantu dalam menerjemahkan domain frekuensi dari sumber sinyal, lalu dengan hal tersebut pemantauan terhadap kondisi dinamika laut saat dilakukan akusisi dapat diketahui dan dipelajari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

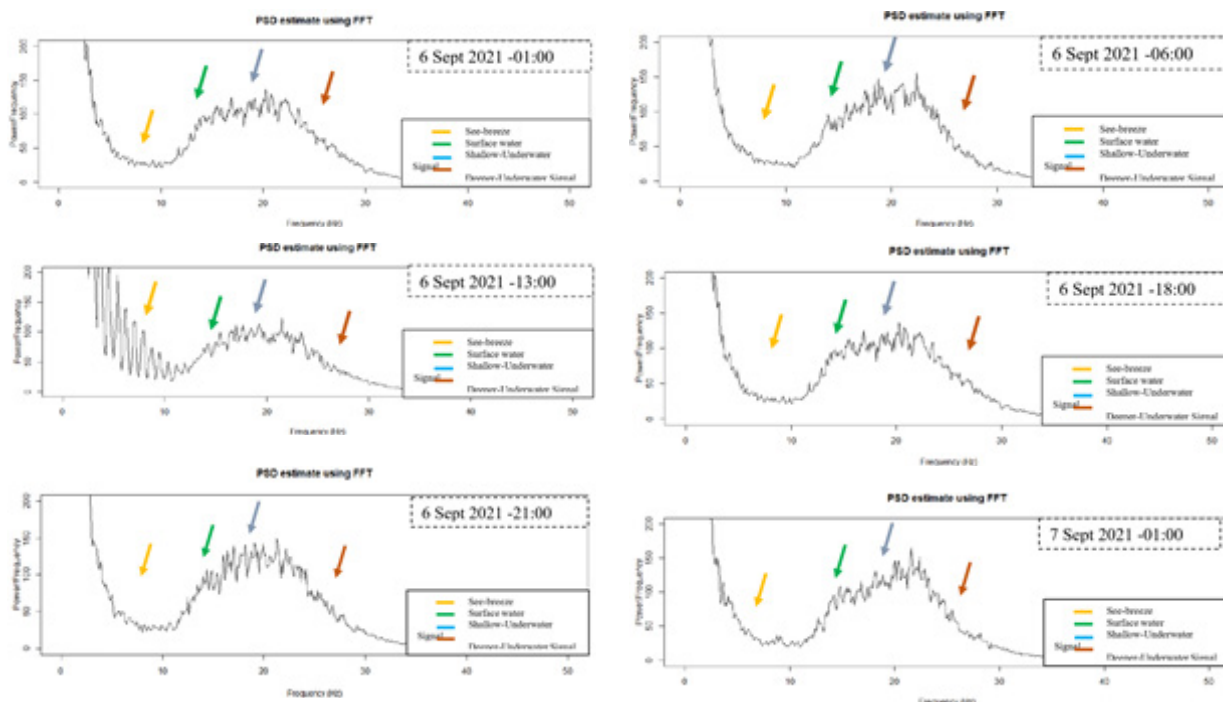
Pada sampling data yang dikumpulkan selama 27 hari pengamatan dan 2.724 data, dapat teridentifikasi

adanya pengaruh adanya perubahan waktu atau diurnal variation didalam data ESN, walaupun demikian untuk dapat melihat perbedaan tersebut harus dilakukan proses transformasi *fourier* dan mengubahnya kedalam spektral daya. Untuk memberikan gambaran tentang pengaruh perubahan diurnal dari data ESN dapat dilihat pada gambar 6. Pada data tersebut tidak dilakukan proses *smoothing*, dikarenakan tujuannya adalah untuk mendapatkan data sesuai informasi aslinya, *noise* yang muncul merupakan bagian dari proses karakterisasi dan dapat menjadi investigasi selanjutnya tentang adanya kemungkinan *sediment transport* dalam pembacaan akustik tomografi pesisir.

Pada hasil analisis selama 27 hari pengamatan (Gambar 7) dan 2.724 data telah dibuat klusterisasinya menjadi 4 (empat) bagian (lihat Tabel 2), Gambar 7 merupakan dasar statistik yang digunakan untuk menyusun informasi pada Tabel 2. Oleh karena itu, secara garis besar ada dua hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan pembacaan Gambar 7 dan Tabel 2, yaitu :

1. Tujuan keduanya sudah berbeda, Gambar 7 adalah untuk identifikasi sumber dari *noise*, sedangkan pada tabel 2 adalah untuk klasifikasi tingkat/level *noise* berdasarkan deviasi *amplitudeny*,
2. Gambar 7 adalah contoh sampling dari 2.724 data, yang tidak mungkin keseluruhannya ditampilkan dalam jurnal pembahasan ini, dan dari keseluruhan observasi pada data tersebut, kesimpulan klasifikasi gangguan dapat disusun dalam bentuk tabel 2.

Penjelasan mengenai masing-masing karakter yang teridentifikasi dalam tabel 2 yaitu: kondisi rendah (*low*) yaitu ketika *amplitude* sinyal berada pada kondisi dibawah rata-rata dan diduga permukaan laut pada domain/bagian sinyal tersebut relatif dapat diasumsikan tenang, kondisi rata-rata (*average*) apabila diduga pada domain/bagian sinyal tersebut relatif normal atau



Gambar 7. Dinamika perubahan harian (diurnal) pada sinyal ESN yang telah proses dengan FFT-PSD, memberikan hasil yang mirip disetiap harinya selama 27 hari pengamatan.
 Figure 7. The dynamics of daily (diurnal) changes in the ESN signal that has been processed with FFT-PSD, gives similar results every day for 27 days of observation.

kondisi permukaan laut relatif dalam keadaan normal, kemudian kondisi tinggi apabila berada diatas rata-rata dan diasumsikan kondisi laut pada domain bagian sinyal tersebut sedang berombak/berarus kencang, dan yang terakhir adalah kondisi sangat tinggi apabila kondisi benar-benar ekstrim atau terjadi dinamika/turbulensi yang tinggi di laut (contoh ketika terjadi hujan lebat atau badai).

Memahami grafik *welch's* PSD sedikit berbeda dengan grafik FFT, konsep perspektif matematik harus digunakan. Kemudian jika dilakukan proses identifikasi lebih lanjut dari sampel data ESN dengan domain/bagian frekuensi yang telah diketahui besaran nilainya maka, terlihat bahwa *sea-breeze* lebih kuat terdeteksi pada data waktu pagi hingga siang hari mirip dengan

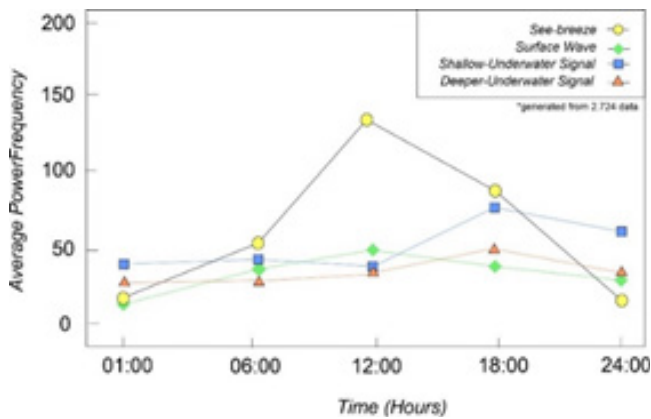
hasil analisa diurnal pada penelitian sebelumnya (Viner *et al.*, 2021), sedangkan pada malam hari lebih mudah untuk mendeteksi sinyal/gelombang yang berada dibawah laut, lihat Gambar 8.

Parajuli, dkk (2020) menyampaikan hasil penelitiannya tentang sirkulasi dari *sea-breeze*, yaitu dimana ketika siang hari jangkauan *sea-breeze* akan lebih luas dan lebih kuat jika dibanding dengan malam hari.

Lebih jauh tentang *sea-breeze* ini dapat dibaca pada beberapa literatur seperti; Gunson & Symonds, (2014) yang menggunakan model SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) untuk memodelkan peningkatan dan penurunan siklus *sea-breeze* serta *spectral model* 1D-nya yang menggambarkan kompleksitas dari

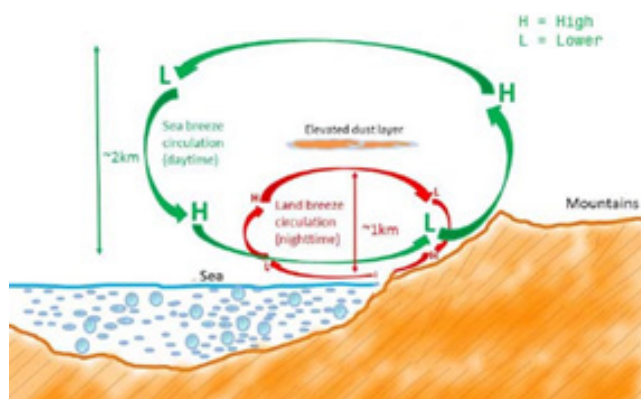
Tabel 2. Kelas data untuk sinyal ESN pada domain frekuensi dengan fungsi PSD
 Table 2. Data class for ESN signal in frequency domain with PSD . function

Identifikasi	Displacement of Amplitude (Power/Freq)	Kondisi
Rendah (<i>Low</i>)	0-10	Tenang (<i>less turbulence</i>)
Rata-rata (<i>Average</i>)	10-25	Normal
Tinggi (<i>High</i>)	25-35	Berombak (<i>turbulence</i>)
Sangat Tinggi (<i>Very-High</i>)	>35	Berombak tinggi (<i>storm, traffic, etc.</i>)



Gambar 8. Grafik perbandingan *Average Power Frequency* dari data ESN untuk masing masing kategori sumber sinyal.
 Figure 8. Comparison graph of *Average Power Frequency* from ESN data for each category of signal sources.

siklus tersebut. Lebih jauh lagi, Jayakrishnan, dkk. (2021) dalam penelitiannya melakukan analisa statistik untuk *sea-breeze* pada kondisi atmosfer berawan dan tidak berawan serta mendefinisikan karakteristiknya, dan dalam kesimpulannya dia menjelaskan bahwa variabilitas dari *sea-breeze* berkaitan dengan variasi *temperature* dan angin *monsoon*. Selain dari pada penelitian tersebut, penelitian lain yang dilakukan oleh Parajuli *et al.* (2020) memberikan perspektif lain bahwa selain *sea-breeze*, *land-breeze* ternyata juga memiliki pengaruh diurnal dan seasonal terhadap distribusi/penyebaran sedimen atau partikel *dust* pada area penelitiannya, dan ini berkorelasi dengan penelitian ini meskipun objek studi dilokasi yang berbeda. Pengamatan *sea-breeze* sendiri dapat dilakukan dengan LIDAR dan *Ground Based Observation* (AWS, *radiosonde*, dan sebagainya) serta dapat menggunakan

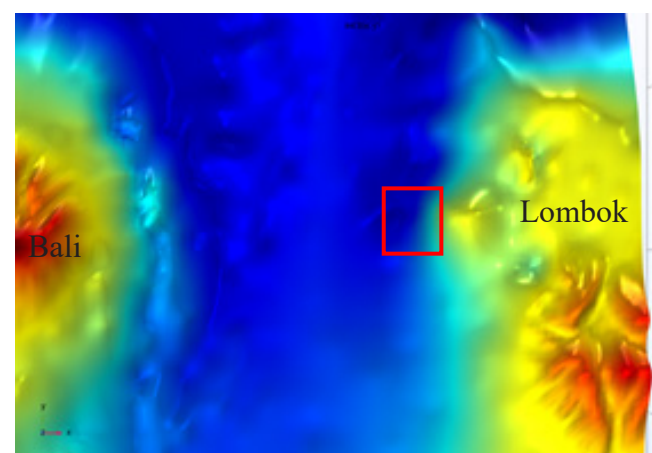


Gambar 9. Diagram skema dari proses sirkulasi *sea-Breeze* yang terjadi didaerah pesisir kondisi siang dan malam hari.
 (Sumber: dimodifikasi Parajuli *et al.*, 2021)
 Figure 9. Schematic diagram of the *sea-Breeze* circulation process that occurs in the coastal area in day and night conditions. (Source: modified Parajuli *et al.*, 2021)

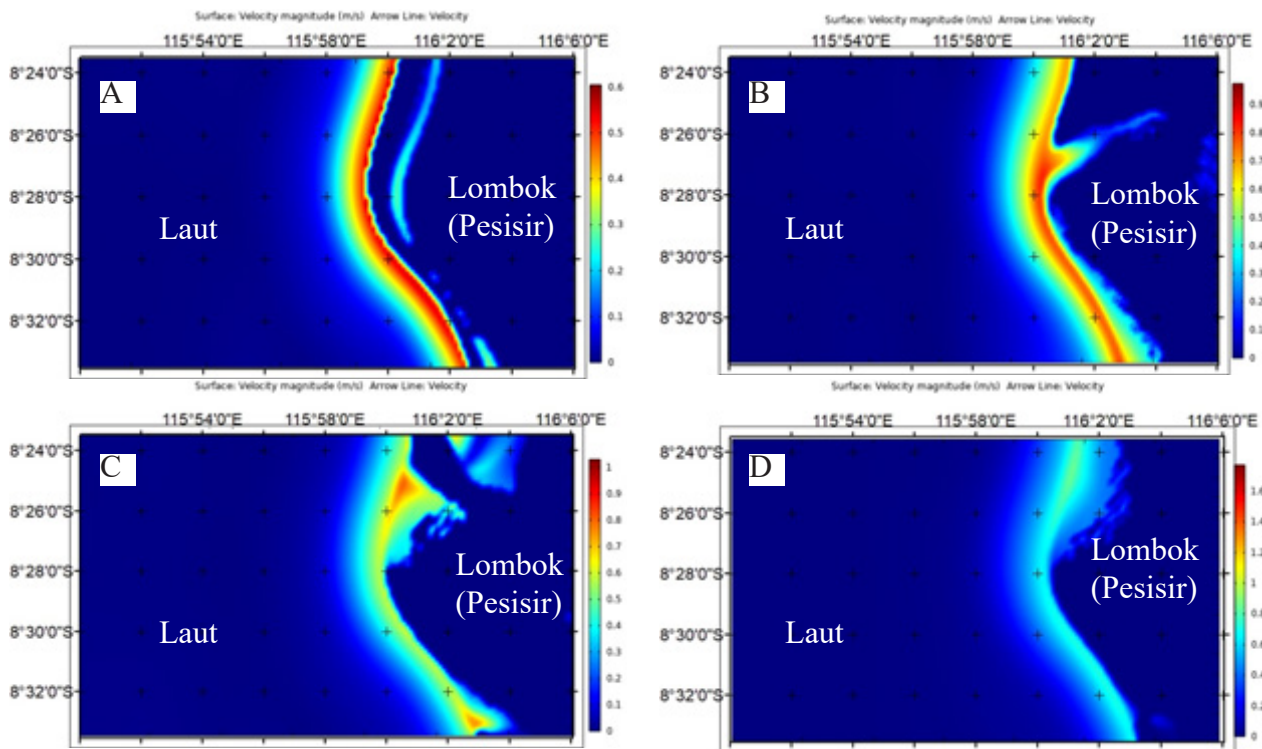
beberapa analisa statistik untuk mengetahui pola periodiknya seperti yang dilakukan oleh Reddy *et al.* (2021) didalam penelitiannya. Jika melihat kembali pada penelitian lain yang dilakukan oleh Viner *et al.* (2021), yang menyoroti tentang perilaku (*behavior*) dari *sea-Breeze* saat perubahan suhu udara dan kelembapan, kita dapat memahami bahwa hembusan angin, membawa banyak partikel, aerosol dan memberikan informasi backscatter yang berbeda-beda tergantung densitas masa udara pembawanya.

Penggunaan ESN sebagai data monitoring terhadap perubahan kondisi arus permukaan lokal khususnya daerah Lombok, tempat dimana stasiun ATP dipasang, dapat memberikan keuntungan yang besar secara sains karena data yang terekam secara kontinu dapat dianalisis dan memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang (Kaneko, 2020; Kaneko *et al.*, 2020) dinamika pesisir di area tersebut, lokasi pemasangan ATP terletak pada area seperti pada Gambar 10.

Sensor dipasang pada area yang ditandai kotak (Gambar 10) dengan menara suar sebagai tempat instalasi, selanjutnya hasil dari analisis data ATP dibuat model 2D arusnya dan model ini disusun berdasarkan informasi panjang gelombang dan frekuensi dari hasil pengolahan pada rekaman data menggunakan PSD, namun dengan beberapa tambahan asumsi yang dibuat, seperti skalasi area, *randomness* data, implementasi dengan metode *montecarlo*, *controlled simulation area*, yang tidak dapat dijelaskan didalam jurnal ini karena pembahasan dan fokus topiknya berbeda. Pada gambar 11 merupakan pemodelan 2D yang dilakukan dan memberikan ilustrasi tentang pengaruh gelombang



Gambar 10. Area observasi ambient noise dengan data CAT. (Sumber: Dokumentasi- BPPT)
 Figure 10. Ambient noise observation area with CAT data. (Source: Documentation- BPPT)



Gambar 11. Simulasi berdasarkan data ATP dengan 4 zona waktu (A. Dini hari, B. Pagi-Siang hari, C. Siang-Sore Hari, D. Malam-Dini Hari)

Figure 11. Simulation based on ATP data with 4 time zones (A. Early morning, B. Morning-Afternoon, C. Afternoon-Afternoon, D. Night-Early Day).

laut di daerah pesisir Lombok berdasarkan data pengolahan ATP, gelombang laut tidak berkontribusi secara langsung dengan *surface current*. Namun, keberadaannya linier dengan gaya gravitasi dan pasang-surut permukaan laut yang pada kondisi tertentu dapat mempengaruhi dinamika permukaan laut.

Dengan pemodelan 2D yang dilakukan maka dapat diperoleh gambaran tentang hubungan kebisingan lingkungan yang terekam pada data ATP dengan dinamika permukaan laut pada waktu-waktu tertentu, dari model yang diilustrasikan pada Gambar 11 (metode dan teknik pemodelan akan dibahas dalam jurnal dengan topik berbeda) diperoleh kecepatan gelombang maksimal pada dini hari antara 0,4-0,6 m/s, pada pagi hari antara 0,7-0,9 m/s, pada siang hari antara 0,7-1,1 m/s dan pada malam hari 0,4-0,65 m/s (dapat dilihat pada warna legenda), dari sini kita dapat memperoleh informasi pentingnya melihat fluktuasi kondisi permukaan laut. Data ESN dapat digunakan untuk melihat variasi kondisi permukaan berdasarkan informasi fisika-matematik yang kemudian dapat dijadikan interpretasi dan model tingkat lanjut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan terhadap

data kebisingan lingkungan yang terekam pada data ATP, didapatkan informasi yang penting yang merupakan hasil penurunan dari data-data tersebut, FFT diperlukan untuk membuka informasi spektrum dari data kebisingan yang ditangkap, namun untuk mengkaraktisasinya dibutuhkan konsep *welch's PSD*, untuk dapat melihat sumber dari frekuensi tersebut. Dalam proses analisis dan interpretasi diketahui informasi *sea-breeze* dapat diidentifikasi berdasarkan karakter frekuensinya yaitu antara 5–11 Hz, pada gelombang permukaan (*surface wave*) jangkauan frekuensinya antara 12-15 Hz dan untuk gelombang bawah permukaan dari 16-32 Hz, selain dari pada itu ketika dilakukan analisa statistik sederhana pada 27 hari pengamatan dengan 2.724 data, *sea-breeze* dan *surface wave* lebih mendominasi pada siang-sore hari sedangkan pada malam hari sinyal-sinyal dari kedalaman laut lebih banyak mendominasi pada sinyal yang terekam. Paper ini memberikan *benefit* dan signifikansi karena ini adalah paper pertama yang membahas tentang analisa kebisingan lingkungan dengan menggunakan instrument ATP, yang sebelumnya hanya menggunakan sensor *hydrophone* atau metode remote sensing pada siang hari antara 0,7-1,1 m/s dan pada malam hari 0,4-0,65 m/s. Riset yang dilakukan lebih mengedepankan *inverse modelling* dari data-data ATP, sehingga relevan dengan kondisi aslinya atau pendekatan optimum

yang bisa dilakukan dengan instrument dan data ATP, dalam prosesnya diperoleh informasi tentang karakter *Sea-breeze*, karakter *surface wave* dan *underwater signal*, pendekatan ini adalah kebaruan dalam riset dan belum pernah dipublikasikan sampai publikasi ini dibuat, namun tidak menutup kemungkinan perkembangan penelitian selanjutnya mampu meningkatkan informasi-informasi tambahan yang berkaitan dengan data-data kebisingan lingkungan. Publikasi dari riset ini diharapkan dapat menjadi acuan dan gambaran bagi pengamat (*oceanographer*) untuk dapat menggunakan teknologi ATP secara lebih luas dan kajian terhadap data-data kebisingan lingkungan dapat menjadi rekomendasi bagi kelancaran lalu lintas perairan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Dr. Agustan sebagai Kepala Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Wilayah dan Ketua MAPIN yang telah memberikan perijinan, bantuan dan saran selama penelitian dilakukan, Dr. Reni Sulistiyowati sebagai kepala *Engineer* yang telah mengakomodir dan mengkoordinasi seluruh tim darat dan laut untuk proses instalasi dan monitoring, serta Ir. Syaefudin, M.Si. yang telah melakukan *supervise* selama kegiatan penelitian ini berlangsung. Serta kepada semua rekan-rekan tim yang telah berjuang mendapatkan data dan mendukung semua aktifitas ATP.

DAFTAR PUSTAKA

- Adityawarman, Y., Kaneko, A., Taniguchi, N., Mutsuda, H., Komai, K., Guo, X., & Gohda, N. (2012). Tidal current measurement in the Kurushima Strait by the reciprocal sound transmission method. *Acoustical Science and Technology*, 33(1), 45-51. <https://doi.org/10.1250/ast.33.45>
- Andrew, R. K., Howe, B. M., Mercer, J. A., & Dzieciuch, M. A. (2002). Ocean ambient sound: Comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast. *Acoustics Research Letters Online*, 3(2), 65–70. <https://doi.org/10.1121/1.1461915>
- Barbour, A. J., & Parker, R. L. (2014). Psd: Adaptive, sine multitaper power spectral density estimation for R. *Computers and Geosciences*, 63(February 2014), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.09.015>
- Becken, B. A. (1960). Directional Distribution of Ambient Noise in the Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 32(7), 920–920. <https://doi.org/10.1121/1.1936463>
- Cato, D. H. (2012). A perspective on 30 years of progress in ambient noise: Source mechanisms and the characteristics of the sound field. *AIP Conference Proceedings 1495*, 242–260. <https://doi.org/10.1063/1.4765918>
- Chen, M., Hanifa, A. D., Taniguchi, N., Mutsuda, H., Zhu, X., Zhu, Z., Zhang, C., Lin, J., & Kaneko, A. (2022). Coastal Acoustic Tomography of the Neko-Seto Channel with a Focus on the Generation of Nonlinear Tidal Currents—Revisiting the First Experiment. *Remote Sensing*, 14(7), 1699. <https://doi.org/10.3390/rs14071699>
- Chen, Y.-H., Taniguchi, N., Liu, C.-T., & Huang, C.-F. (2014). Acoustic current measurement using travel-time method in Bachimen Harbor, Taiwan,” *OCEANS 2014 - TAIPEI, 2014*, 1-5, doi: 10.1109/OCEANS-TAIPEI.2014.6964414.
- Comer, C. (1998). Exploring the Neural Code. *Computational Neuroscience. The Quarterly Review of Biology*, 73(4), 537–537. <https://doi.org/10.1086/420509>
- Dahl, P. H., Miller, J. H., Cato, D. H., & Andrew, R. K. (2007). Underwater Ambient Noise. *Acoustics Today*, 3(1), 23. <https://doi.org/10.1121/1.2961145>
- Frison, T. W., Abarbanel, H. D. I., Cembrola, J., & Neales, B. (1996). Chaos in ocean ambient “noise.” *The Journal of the Acoustical Society of America*, 99(3), 1527–1539. <https://doi.org/10.1121/1.414730>
- Greenwood, B., Brander, R. W., & Joseph, E. (2011). *Far-infragravity and infragravity “pulses” in a rip current*. Coastal Processes II, Rome, Italy, 123–135. <https://doi.org/10.2495/CP110111>
- Gunson, J., & Symonds, G. (2014a). Spectral evolution of nearshore wave energy during a sea-breeze cycle. *Journal of Physical Oceanography*, 44(12), 3195–3208. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-13-0205.1>
- Gunson, J., & Symonds, G. (2014b). Spectral evolution

- of nearshore wave energy during a *sea-breeze* cycle. *Journal of Physical Oceanography*, 44(12), 3195–3208. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-13-0205.1>
- Hildebrand, J. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient *noise* in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>
- Jayakrishnan, P. R., Sivaprasad, P., Chenoli, S. N., Babu, C. A., Samah, A. A., & Mohammedali, N. P. (2021). Sea breeze characteristics over a coastal station in peninsular Malaysia. *Journal of Earth System Science*, 130, 126. <https://doi.org/10.1007/s12040-021-01632-z>
- Kaneko, A. (2020). *Quick Manual for Tsunami CAT (TCAT) (No. 1st)*. Aqua Environment Monitoring Limited Liability Partnership.
- Kaneko, A., Ju, L., & Zhu, X. (2020). *Coastal Acoustic Tomography (1st ed.)*. Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/coastal-acoustic-tomography/kaneko/978-0-12-818507-0>
- Liu, W., Zhu, X., Zhu, Z., Fan, X., Dong, M., & Zhang, Z. (2016). A coastal acoustic tomography experiment in the Qiongzhou Strait. *2016 IEEE/OES China Ocean Acoustics (COA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/COA.2016.7535688>
- Miller, S. L., & Childers, D. (2012). *Random Processes*. In *Probability and Random Processes*, 335–382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386981-4.50011-4>
- Miyazaki, K., Toda, T., Hayashi, T., & Takeda, K. (2019). Environmental sound processing and its applications. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 14(3), 340–351. <https://doi.org/10.1002/tee.22868>
- Munk, W., Worcester, P. F., & Wunsch, C. (1995). *Ocean acoustic tomography*. (Vol. 433pp). Cambridge Univ. Press.
- Munk, W., & Wunsch, C. (1979). Ocean acoustic tomography: a scheme for large scale monitoring. Deep Sea Research Part A. *Oceanographic Research Papers*, 26(2), 123–161. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(79\)90073-6](https://doi.org/10.1016/0198-0149(79)90073-6)
- Parajuli, S., Stenchikov, G., Ukhov, A., & Shevchenko, I. (2020). *Interaction of Dust Aerosols with Land/Sea Breezes over the Eastern Coast of the Red Sea from LIDAR Data and High-resolution WRF-Chem Simulations*. EGU- Atmospheric Chemistry and Physics. <https://doi.org/10.5194/acp-2020-444>
- Park, J.-H., & Kaneko, A. (2000). Assimilation of coastal acoustic tomography data into a barotropic ocean model. *Geophysical Research Letters*, 27(20), 3373–3376. <https://doi.org/10.1029/2000GL011600>
- Philip, K., Brooks, M., & Hill, I. (2011). *An Introduction to Geophysical Exploration (2nd ed.)*. Wiley-Blackwell. 288 Page. <https://www.wiley.com/en-us/+to+Geophysical+Exploration%2C+3rd+Edition-p-9780632049295>
- Reddy, T. V. R., Mehta, S. K., Ananthavel, A., Ali, S., Annamalai, V., & Rao, D. N. (2021). Seasonal characteristics of sea breeze and thermal internal boundary layer over Indian east coast region. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(2), 217–232. <https://doi.org/10.1007/s00703-020-00746-1>
- Reynolds, J. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics (2nd ed.)*. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/An+Introduction+to+Applied+and+Environmental+Geophysics%2C+2nd+Edition-p-9780471485353>
- Ricker, D. W. (2003). *Basic Signal Theory*. In *Echo Signal Processing* (pp. 1–30). The Springer International Series in Engineering and Computer Science, 725. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0312-5_1
- Salleh, A. M., & Daud, M. E. (2018). Power spectral density analysis of ocean wave by using GPS buoy. *International Journal of Integrated Engineering*, 10(2), 61–65. <https://doi.org/10.30880/ijie.2018.10.02.012>
- Siddagangaiah, S., Li, Y., Guo, X., & Yang, K. (2015). On the dynamics of ocean ambient *noise*: Two decades later. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 25(10), 103117. <https://doi.org/10.1063/1.4932561>
- Syamsudin, F., Taniguchi, N., Zhang, C., Hanifa, A.

- D., Li, G., Chen, M., Mutsuda, H., Zhu, Z., Zhu, X., Nagai, T., & Kaneko, A. (2019). Observing Internal Solitary Waves in the Lombok Strait by Coastal Acoustic Tomography. *Geophysical Research Letters*, 46(17–18), 10475–10483. <https://doi.org/10.1029/2019GL084595>
- Taniguchi, N., Huang, C.-F., Kaneko, A., Liu, C.-T., Howe, B. M., Wang, Y.-H., Yang, Y., Lin, J., Zhu, X.-H., & Gohda, N. (2013). Measuring the Kuroshio Current with ocean acoustic tomography. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(4), 3272–3281. <https://doi.org/10.1121/1.4818842>
- Tegowski, J., Deane, G. B., Lisimenka, A., & Blondel, P. (2013). Spectral and statistical analyses of ambient noise. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 17(1), 070079. <https://doi.org/10.1121/1.4790329>
- Thomas, B. E., Pg, S. K. J., & Abe, S. (2015). Power Spectral Density Computation using Modified Welch Method. *In IJSTE-International Journal of Science Technology & Engineering*, 2(4), 145-152.
- Viner, B., Noble, S., Qian, J. H., Werth, D., Gayes, P., Pietrafesa, L., & Bao, S. (2021). Frequency and characteristics of inland advecting sea breezes in the Southeast United States. *Atmosphere*, 12(8), 950. <https://doi.org/10.3390/atmos12080950>
- Wenz G. M. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 34(12), 1936. <https://doi.org/10.1121/1.1909155>
- Yamoaka, H., Kaneko, A., Jae-Hun Park, Hong Zheng, Gohda, N., Takano, T., Xiao-Hua Zhu, & Takasugi, Y. (2002). Coastal acoustic tomography system and its field application. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 27(2), 283–295. <https://doi.org/10.1109/JOE.2002.1002483>
- You, C., & Fung, J. C. H. (2019). Characteristics of the sea-breeze circulation in the pearl river delta region and its dynamical diagnosis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58(4), 741–755. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0153.1>
- Yuan, R., Sun, J., Luo, T., & Wu, X. (2013). Scaling Characteristics of Developing Sea Breezes Simulated in a Water Tank. *Boundary-Layer Meteorology*, 148(3), 455–478. <https://doi.org/10.1007/s10546-013-9824-z>
- Zhang, C., Kaneko, A., Zhu, X., & Gohda, N. (2015). Tomographic mapping of a coastal upwelling and the associated diurnal internal tides in Hiroshima Bay, Japan. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(6), 4288–4305. <https://doi.org/10.1002/2014JC010676>
- Zhu, X.-H., Kaneko, A., Wu, Q., Zhang, C., Taniguchi, N., & Gohda, N. (2013). Mapping Tidal Current Structures in Zhitouyang Bay, China, Using Coastal Acoustic Tomography. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 38(2), 285–296. <https://doi.org/10.1109/JOE.2012.2223911>
- Zhu, Z.-N., Zhu, X.-H., & Guo, X. (2017). Coastal tomographic mapping of nonlinear tidal currents and residual currents. *Continental Shelf Research*, 143(1 July 2017), 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.06.014>

