

## Deteksi dan Kuantifikasi *Internal Wave* Menggunakan Instrumen *Broadband Echosounder* SIMRAD EK80 di Perairan Padang Bay Bali

### *Internal Wave Detection and Quantification Using SIMRAD EK80 Broadband Echosounder Instrument in Padang Bay Waters Bali*

Edriyan Situmorang<sup>a\*</sup>, Henry Munandar Manik<sup>b</sup>, Agus Saleh Atmadipoera<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK, IPB University, Bogor, Jawa Barat

<sup>b</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK, IPB University, Bogor, Jawa Barat

\*Email : situmorangedriyan@gmail.com

(Diterima 24 Februari 2022; Disetujui 25 Maret 2022; Dipublikasikan 30 November 2022)

#### Abstrak

*Internal wave* adalah gelombang laut yang terjadi di lapisan dalam di perairan laut dangkal dan dalam, di mana kemunculannya hanya dapat terjadi jika kolom air terstratifikasi akibat adanya perbedaan densitas massa air. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi peristiwa *internal wave*, serta mengukur nilai hambur balik akustik dari *internal wave* yang terjadi di Selat Lombok. Data yang digunakan adalah hasil pengukuran instrumen *broadband echosounder* SIMRAD EK80 frekuensi 200 kHz tipe pulsa *continuous wave* (CW) dengan data pendukung elevasi muka air, suhu, salinitas, dan densitas dari *Conductivity Temperature Depth* (CTD) "Yoyo" selama 24 jam. Nilai hambur balik didapatkan dengan analisis menggunakan perangkat lunak Sonar5-Pro. *Echogram* menunjukkan adanya pembentukan *nonlinear internal wave* disertai dengan adanya turbulensi yang terjadi pada saat gelombang pasang membawa massa air dengan densitas berbeda melewati topografi kasar di Selat Lombok. Nilai *backscatter* hasil segmentasi berentang dari -75 dB sampai -59 dB.

Kata kunci: hambur balik, *broadband*, *continuous wave*, *internal wave*, pasang

#### Abstract

*Internal waves* are events that occur in shallow sea and deep sea, where the appearance of internal waves can only occur if the water column is stratified due to differences in water mass density. This study aimed to detect internal wave events, as well as measure the acoustic backscatter value of internal waves occurring in the Lombok Strait. The data used is the measurement result of SIMRAD EK80 broadband echosounder instrument with frequency of 200 kHz continuous wave (CW) pulse type with supporting data for water level elevation, temperature, salinity, and density from Conductivity Temperature Depth (CTD) "Yoyo" for 24 hours. The backscatter value was obtained by analysis using the Sonar5-Pro software. Echogram showed the formation of nonlinear internal waves accompanied by the presence of turbulence that occur when high tidal waves carry water masses from different density through rough topography in Lombok Strait. The backscatter value of the segmentation results range from -75 dB to -59 dB

Keywords: backscatter, broadband, continuous wave, internal wave, tidal wave

#### 1. Latar Belakang

Fenomena gelombang laut pada dasarnya mendemonstrasikan proses pengiriman energi dan momentum yang mengakibatkan gerakan ayunan air tanpa henti di permukaan laut. Gelombang laut yang dapat diamati secara langsung menggunakan indra penglihatan manusia ialah gelombang laut yang terjadi di lapisan permukaan laut. Menurut [1] gelombang laut tidak hanya terjadi di lapisan permukaan laut, tetapi dapat juga terjadi di lapisan

dalam, yaitu di antara dua lapisan air yang mempunyai densitas berbeda dan disebut gelombang dalam (*internal wave*).

Selat Lombok adalah perairan sempit yang dilewati oleh massa air yang berasal dari Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Aktivitas tipe pasang surut di perairan Selat Lombok menurut [2] adalah semidiurnal. Perbedaan massa air yang terjadi dapat terlihat jelas pada saat periode gelombang pasang. Gelombang pasang dikaitkan dengan massa air dingin dan tinggi salinitas yang berasal dari

selatan Selat Lombok. Sementara itu, gelombang surut adalah massa air kebalikannya yang lebih hangat dan rendah salinitas. *Internal wave* yang terjadi di Selat Lombok dibangkitkan oleh aktivitas aliran gelombang pasang surut yang kuat dan berinteraksi dengan topografi di perairan [3]. Selain itu, penelitian terbaru [4] menunjukkan *internal wave* di Selat Lombok adalah *nonlinear internal wave* yang merambat sepanjang *pycnocline*.

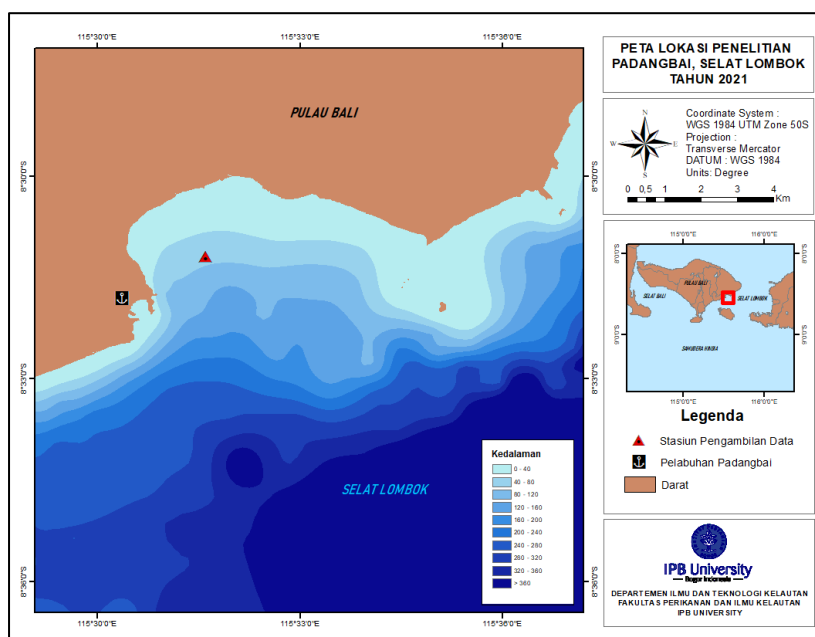
Kemunculan *internal wave* hanya dapat terjadi jika kolom air terstratifikasi, di mana di kolom air terbentuk lapisan air yang memiliki perbedaan densitas. Setelah terbentuknya perairan yang terstratifikasi, untuk memicu terjadinya *internal wave* dibutuhkan suatu energi atau gaya yang dapat mengganggu antarmuka lapisan kolom air. Kestabilan lapisan antarmuka kolom air akan terganggu apabila perpindahan massa air yang dipengaruhi oleh pasang-surut bergerak melewati perairan dangkal dengan batimetri beragam seperti *underwater ridges* dan *shelf breaks* [5,6].

Mekanisme pembangkit *internal wave* menurut [7] terdiri atas pergerakan gelombang pasang melewati topografi kasar, tekanan angin di permukaan laut, dan *quasi steady flow* melewati topografi kasar. Studi ilmiah mengenai *internal wave* sangat penting dan membantu dalam memahami pentingnya peran *internal wave* dalam rekam jejak pembentukan sedimen di perairan

pesisir dan laut terbuka [8]. Studi ilmiah dan pengamatan *internal wave* semakin mudah dengan adanya teknologi akustik bawah air (*underwater acoustic*) yaitu *echosounder*.

Deskripsi lainnya mengenai *internal wave* ialah *internal tide*. *Internal tide* adalah *internal wave* frekuensi pasang-surut. energi pembangkit dari *internal tide* berasal dari interaksi pasang-surut dengan topografi di perairan yang densitasnya terstratifikasi. Aktifitas gelombang pasang surut melewati *ridge* atau *sill* mengganggu lapisan *pycnocline*. Interaksi pasang-surut dengan topografi menjadi sumber utama terbentuknya *internal tides* yang akan berubah menjadi *internal solitary wave*. Setiap periode pasang-surut akan menjadi urutan dari *solitary wave* yang merambat. *solitary wave* adalah hasil dari *internal tide* yang mengalami disintegrasi ditambah dengan efek *nonlinearity* dari *wave steepening* [9]

Pada penelitian ini, instrumen yang digunakan untuk mendeteksi *internal wave* adalah SIMRAD EK80. Instrumen tersebut adalah *scientific echosounder* yang mampu memancarkan sinyal akustik secara *split beam* dilengkapi dengan sistem *broadband*, serta baru dirilis pada tahun 2015 [10]. Sistem *broadband* pada SIMRAD EK80 memancarkan pulsa dalam rentang frekuensi, yang merupakan modulasi frekuensi rendah ke tinggi secara linier.



**Gambar 1.** Peta lokasi pengambilan data di Padang Bay Bali. Pengambilan data *time series* dilakukan di satu titik. Pengukuran CTD dengan SIMRAD EK80 secara bersamaan akan memberikan data akustik yang dilengkapi dengan data sifat massa air laut secara *real time*.

## 2. Metodologi

### 2.A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan data *internal wave* dilakukan di perairan Selat Lombok dalam kegiatan “*Summer course on Marine Science 2017*” pada 24 sampai 25 Agustus 2017. Pada kegiatan tersebut dilakukan pengukuran *Conductivity Temperature Depth* (CTD) “yoyo” dan SIMRAD EK80 selama 24 jam tanpa henti. Pengambilan data *time series* dilakukan di satu titik. Pengukuran CTD dengan SIMRAD EK80 secara bersamaan akan memberikan data akustik yang dilengkapi dengan data sifat massa air laut secara *real time*

### 2.B. Pengolahan Data SIMRAD EK80

Pengolahan data pengukuran oleh SIMRAD EK80 selama 24 dilakukan dengan perangkat lunak Sonar5 Pro. Data hasil pengukuran digabungkan setiap 3 jam dan 6 jam. Data yang ditampilkan terdiri dari dua macam *echogram*, yaitu *amplitude echogram* (*Amp-echogram*) dan *single echo detection echogram* (*SED-echogram*). *Echogram* yang digunakan adalah *amp-echogram* karena *echogram* tersebut menampilkan semua gema yang diterima oleh *receiver*. *Echogram* selanjutnya diproses dengan *pulse compression* (*match filter*), hal ini untuk memanfaatkan pulsa sehingga *echogram* dapat menampilkan *internal wave* dengan baik [11]. Berikutnya adalah menerapkan *threshold*, tujuan penggunaan *threshold* adalah memisahkan *noise* dan sinyal yang dibutuhkan pada *echogram* (*true signal*). Nilai *threshold* yang diberikan ialah -70 dB untuk memisahkan *suspended sediment* dengan plankton. Nilai hambur balik plankton berentang dari -82 dB hingga -75 dB dengan rata-rata -76,63 dB [12]. *Suspended sediment* adalah polusi di laut yang menjadi indikator lingkungan perairan. Nilai hambur balik *suspended sediment* berentang dari -70 dB hingga -40 dB [13]. Tahapan selanjutnya melakukan segmentasi menggunakan setiap 10 menit dari kedalaman 3 meter sampai 53 meter dengan jarak kedalaman 50 meter.

### 2.C. Pengolahan Data CTD

Data CTD yang diperoleh pada saat pengukuran waktu pasang diolah menggunakan perangkat lunak *PyFerret*. Data hasil pengukuran diolah menjadi sebaran salinitas, sebaran suhu, sebaran densitas, dan sebaran kecepatan suara. Profil sifat massa air laut dijadikan pendukung hasil

pemeruman oleh *echosounder* dalam mendeteksi *internal wave*.

### 2.D. Pengukuran Volume Scattering Strength

Pendeteksian *internal wave* memanfaatkan nilai *backscatter* dari pengukuran SIMRAD EK80. Nilai *backscatter* yang digunakan ialah *Volume Scattering Strength* (*Sv*). *Sv* adalah rasio intensitas dari sinyal akustik yang direfleksikan oleh suatu kelompok target tunggal. Nilai *Sv* dan *Sv* rata-rata [14,15] dapat diperoleh dari:

$$Sv = 10 \log \frac{I_r}{I} \quad (1)$$

$$\overline{sv} = \frac{\sum Sv}{n} \quad (2)$$

$$SV = 10 \log sv \quad (3)$$

$$\overline{SV} = 10 \log \overline{sv} \quad (4)$$

Keterangan :

$n$	: Jumlah sampel
$sv$	: <i>Scattering volume linear</i>
$\overline{sv}$	: <i>Scattering volume linear</i> rata-rata
$\overline{SV}$	: <i>Scattering volume</i> rata-rata
$I_r$	: Intensitas sinyal akustik yang diterima
$I$	: Intensitas sinyal akustik yang dipancarkan

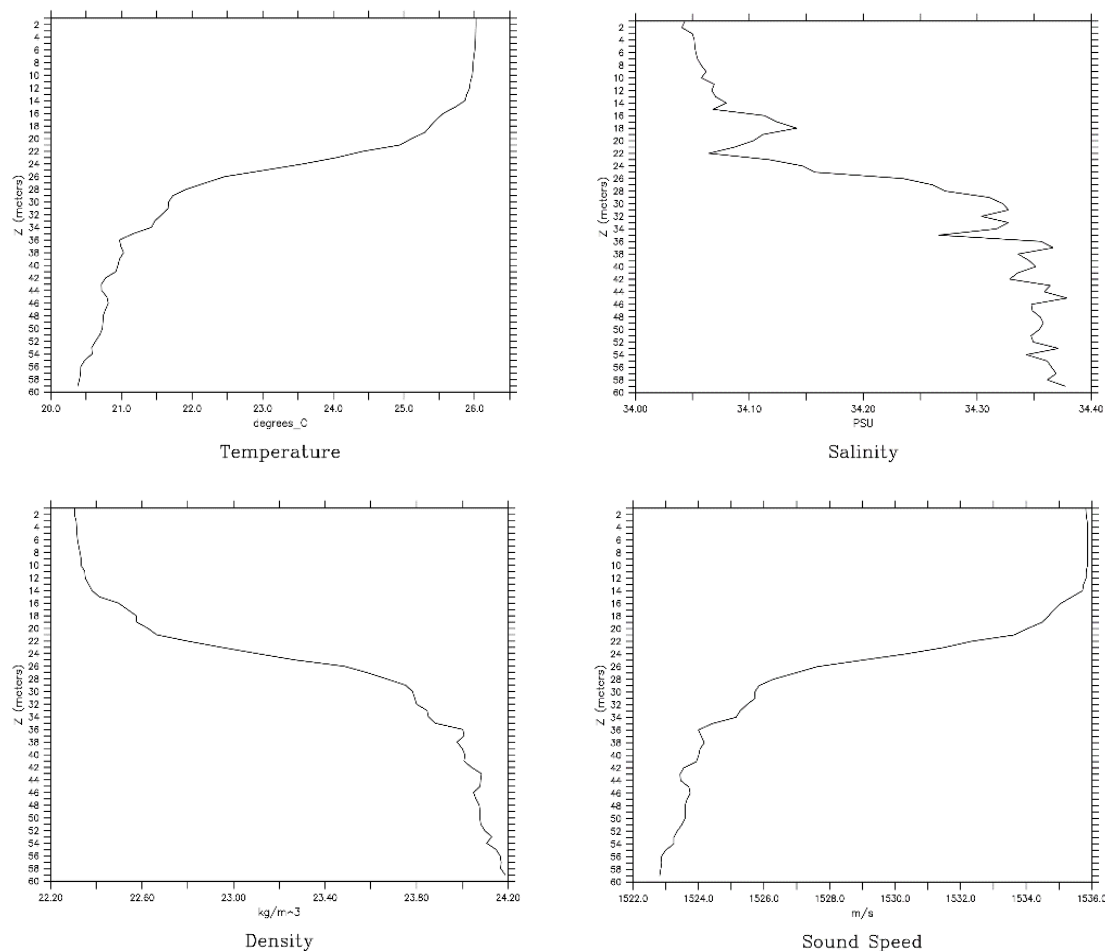
### 2.E. Analisis Internal Wave

Analisis *internal wave* dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari *internal wave* yang terdeteksi. Bentuk *internal wave* di laut dalam cenderung seperti gelombang sinusoidal. Sehingga karakteristik seperti amplitudo dan panjang gelombang dapat diukur. Amplitudo *internal wave* dapat diukur dengan menghitung perbedaan kedalaman dari puncak gelombang dengan dasar puncak. Panjang gelombang dari *internal wave* dapat dihitung sebagai jumlah *ping* dari waktu awal sampai waktu akhir terbentuknya *internal wave*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.A. Kondisi Perairan

Karakteristik Selat Lombok yang terletak di antara Pulau Bali dan Pulau Lombok adalah perairan sempit ( $\pm 30$  km dan dangkal ( $\pm 300$  m). Karena karakteristik tersebut, selat ini mampu memicu arus pasang-surut yang kuat ( $\text{hampir } 1 \text{ ms}^{-1}$ ) [2]. Keberadaan stratifikasi massa air, topografi yang kasar, dan disertai arus pasang-surut yang kuat menjadikan Selat Lombok sebagai tempat pembentukan *internal wave* secara intensif [3].



**Gambar 2.** Hasil Pengukuran CTD

Profil suhu secara vertikal menunjukkan suhu di permukaan air lebih hangat. Suhu menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman. Suhu permukaan lebih hangat karena dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari sehingga suhu tertinggi ialah 26 °C sedangkan suhu terendah ialah 20 °C pada kedalaman 60 meter. Gradien suhu vertikal berdasarkan sebaran suhu ialah 0,2624 °C/m. Nilai gradien suhu vertikal lebih besar dari 0,05 °C/m mengindikasikan adanya lapisan thermoklin [16,17] dan adanya pembentukan *pycnocline* pada kedalaman 14 meter hingga 28 meter selama periode pasang.

Profil salinitas secara vertikal menunjukkan salinitas terendah pada permukaan perairan ialah 34,05 PSU sedangkan salinitas tertinggi berada di kedalaman 60 meter ialah 34,38 PSU. Rendahnya nilai salinitas di permukaan dapat disebabkan oleh presipitasi. Rentang nilai salinitas tidak berbeda

jauh dengan pengukuran [2] pada bulan Agustus, serta pengukuran oleh [18] di bulan September, dan pengukuran oleh [19] di bulan Juni.

Profil densitas air secara vertikal menunjukkan densitas air di permukaan perairan ialah 22,22 kg/m<sup>3</sup> dan nilai terendah pada perairan lebih dalam ialah 24,2 kg/m<sup>3</sup>. Nilai densitas berbanding terbalik dengan nilai suhu, sehingga pada permukaan perairan cenderung suhu hangat dengan densitas rendah dan perairan dalam cenderung suhu lebih dingin dengan densitas tinggi.

Kecepatan suara yang merambat di kolom perairan juga berbeda pada setiap kedalamannya. Kecepatan suara merambat lebih cepat yaitu 1536 m/s dipermukaan perairan dan semakin menurun seiring bertambahnya kedalaman disertai perubahan suhu yang semakin menurun menjadi 1523 m/s.

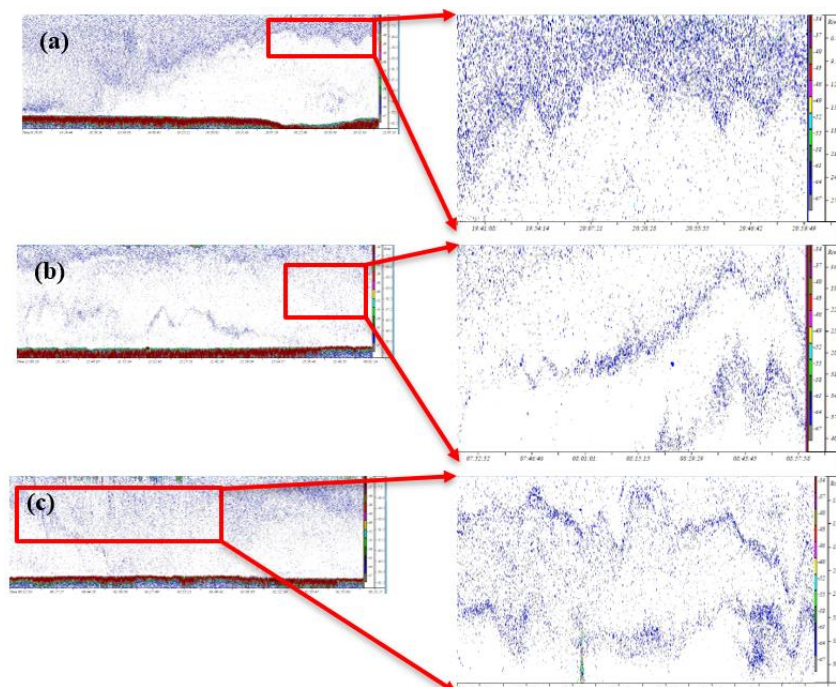
### 3.B. Echogram Internal Wave

*Echogram* merupakan perwakilan visual dari variabel data akustik yang sudah direkam menggunakan *echosounder*. Informasi yang tersedia di dalam *echogram* adalah kedalaman perairan, kolom perairan, objek yang terdeteksi, tipe serta bentuk substrat dasar perairan.

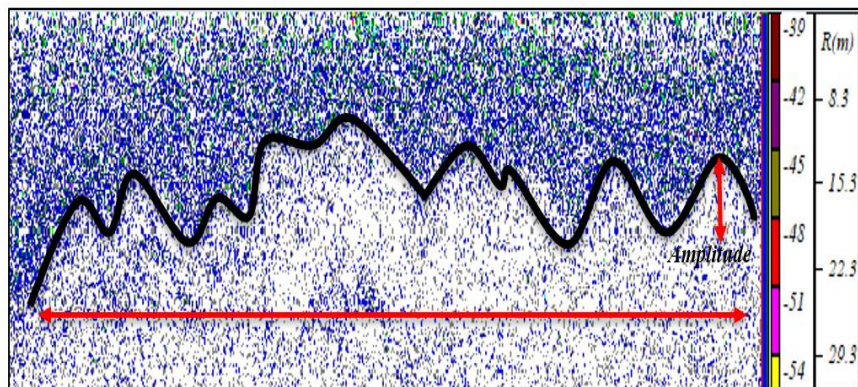
Stratifikasi lapisan di kolom air (Gambar 3a) dipengaruhi oleh adanya perbedaan densitas massa air. Terlihat bahwa kedalaman lapisan antarmuka massa air dari kedalaman 50 meter dan semakin bergerak mendekati permukaan air hingga mendekati kedalaman 15 meter. Hal ini diduga massa air yang masuk dari dasar kolom air adalah massa air dengan densitas tinggi. Data hasil pengukuran CTD (Gambar 2) juga menunjukkan massa air dekat dasar perairan memiliki suhu lebih rendah dengan densitas tinggi. Pergerakan massa air disebabkan oleh gelombang pasang, sehingga massa air dingin dari laut lepas yaitu Samudra Hindia bergerak ke arah utara melewati Selat Lombok. Kondisi ini sesuai dengan hasil penelitian oleh [2] dimana pada pukul 18:00 sampai 00:00 adalah periode pasang yang membawa massa air dingin dengan densitas tinggi melewati Selat Lombok. Pengaruh bentuk topografi yang kasar

menyebabkan lapisan massa air terganggu sehingga memicu terbentuknya *internal wave*. *Echogram* pada pukul 06:00 sampai 09:00 (Gambar3b) dan pukul 09:00 sampai 12:00 (Gambar3c) menampilkan adanya turbulen yang terbentuk di perairan Selat Lombok. Turbulen yang terjadi diduga akibat *tidal mixing* selama periode pasang. *Mixing* yang terjadi di perairan Indonesia terlokalisasi di selat sempit seperti Selat Lombok [20]. Proses pembentukan dan *breaking* dari *internal wave* juga mengakibatkan adanya *mixing* di kolom perairan [21]. Hal yang sama juga dinyatakan oleh [19] bahwa turbulen yang kuat dapat dikaitkan dengan adanya *wave breaking* yang diakibatkan oleh *internal wave*.

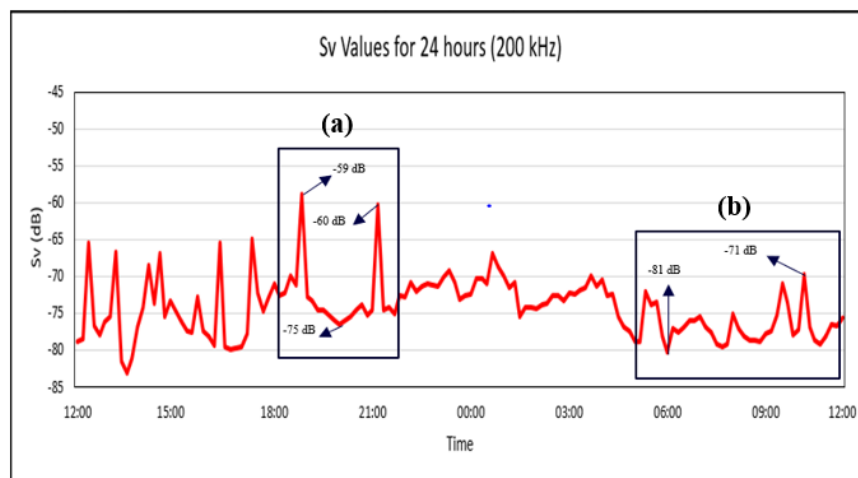
Turbulen yang terlihat diduga adalah *boluses* akibat *internal wave breaking* di daerah *slope*. Sebagian *internal wave* yang merambat di Selat Lombok mengalami *breaking* akibat adanya *critical slope*. *Boluses* dinyatakan sebagai aliran massa air dingin dengan stratifikasi lemah yang melewati selat. Massa air yang dibawa oleh *boluses* memiliki densitas lebih tinggi dari massa air disekitarnya. *Boluses* merambat di sepanjang *slope* membawa massa air penuh *nutrient* menaiki *slope* dan berpotensi memberikan dampak ke ekosistem lokal



**Gambar 3.** Hasil zoom *echogram* (*ping compression*) pada pukul (a) 18:00-21:00, (b) 06:00-09:00, (c) 09:00-12:00



Gambar 4. Internal wave yang terbentuk



Gambar 5. Nilai Backscatter selama 24 jam pengukuran. Nilai acoustic backscatter dari nonlinear internal wave diperoleh dengan mendapatkan nilai Volume Scattering Strength (Sv).

[22]. Umumnya *Boluses* dapat diamati di daerah perairan dangkal sebagai akibat *internal wave breaking* [23]. Bentuk *boluses* (Gambar 3b dan 3c) tidak asimetris. Hal ini juga dinyatakan oleh [22] bahwa *boluses* memiliki bentuk yang beragam dan bervariasi, serta tidak berurut berdasarkan amplitudo. *Boluses* cenderung mempertahankan bentuk asimetri selama merambat menaiki *slope*. *Boluses* sendiri secara advektiv tidak stabil, skala breaking *boluses* terlalu kecil sehingga sulit diamati dengan *echosounder*.

*Echogram* yang telah diperbesar (Gambar 4) diperjelas kembali dengan keterangan pembantu untuk melihat *internal wave* yang terdeteksi. *Echogram* pada pukul 18:00 sampai 21:00 yang telah diperbesar difokuskan pada waktu tertentu dimana *internal wave* secara jelas terbentuk yaitu pada pukul 19:40 sampai pukul 21:00 (Gambar 4). Garis hitam menunjukkan pola atau bentuk perambatannya, garis merah vertikal menunjukkan amplitude gelombang, dan garis merah horizontal

menunjukkan panjang gelombang. Bentuk gelombang yang merambat ialah *nonlinear*. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh [4] bahwa di perairan Selat Lombok, terdapat *nonlinear internal waves* yang terdeteksi. Berdasarkan [24] *nonlinear internal wave* akan merambat di sepanjang lapisan *pycnocline* dimana adanya gradien densitas yang tinggi karena perubahan suhu dan salinitas. Hal ini sesuai dengan profil sifat massa air (Gambar 2) yang menunjukkan adanya perubahan drastis (gradien densitas) di kolom perairan.

Karakteristik *internal wave* (Tabel 1) yang terbentuk adalah *nonlinear internal wave* yang terdeteksi dari kedalaman 12 meter di lapisan *pycnocline*. Panjang gelombang yang terdeteksi adalah 10500 *ping* dengan amplitudo mencapai 6 meter dan jumlah terdeteksinya sebanyak 9 gelombang. Secara teoritis perairan dangkal menjadi tempat yang memungkinkan bangkitnya *nonlinear internal wave* [25].

**Tabel 1.** Karakteristik *intenal wave*

Karakteristik <i>Internal Wave</i>	
Kedalaman terdeteksi	12 m
Panjang <i>internal wave</i>	10500 <i>ping</i>
Amplitudo gelombang	6 m
Jumlah <i>internal wave</i> terdeteksi	9

**3.C. Nilai *Acoustic Backscatter***

Nilai Sv selama perambatan *internal wave* pada (Gambar 5) kotak (a) cenderung stabil. Selama merambat, terdapat dua puncak tinggi dengan nilai Sv -60 dB dan -59 dB. Sv terendah terletak di antara dua puncak dengan nilai Sv -75 dB. Pada saat terjadinya turbulen (*boluses*) pada kotak (b), nilai Sv tertinggi -71 dB dan Sv terendah -81 dB. Selat Lombok merupakan daerah perairan yang subur karena adanya percampuran massa air yang berbeda. Aktivitas percampuran (*mixing*) menyuplai *nutrient* di lapisan atas karena pergerakan lapisan bawah yang kaya *nutrient* naik ke lapisan atas pada kolom air (Witariningsih *et al.* 2020). Kondisi ini membuat adanya kelimpahan plankton di perairan yang menjadi sumber makanan bagi ikan-ikan yang memangsa plankton. Akibatnya, kuantifikasi nilai Sv menjadi beragam. Tingginya nilai Sv yang terdeteksi juga mengindikasikan adanya objek yang terdeteksi seperti *schooling* ikan, plankton, sedimen selama perambatan *internal wave*.

**4. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian, *echogram* pengukuran SIMRAD EK80 dengan frekuensi 200 kHz tipe pulsa *continous wave* (CW) dengan bantuan CTD menunjukkan adanya *nonlinear internal wave* dan *boluses* yang terbentuk selama periode pasang di perairan Selat Lombok. *Nonlinear internal wave* terbentuk karena adanya gangguan pada lapisan antarmuka massa air yang terstratifikasi. Penyebab gangguannya adalah gelombang pasang di kolom air membawa massa air dingin dari perairan Samudra Hindia melewati topografi kasar (*Lombok Sill*). Nilai Sv *nonlinear internal wave* yang terjadi pada saat pasang berentang dari -75 dB sampai -59 dB.

**Daftar Pustaka**

[1] Azis, M. F., Gerak Air Dilaut, Oseana, 31(4), pp. 9–21, 2006.

[2] Suteja, Y., Atmadipoera, A. S., Natih, M. N., Wattimena, M., Masoleh, V., Pranoto, Y., Adhyatma, D., Widiastuti, P., Deswanti, S. R., Triwahyuni, A., Watari, H., Hastuti, A. W., Mamun, A., Vladioiu, A., and Chonnaniyah, Variation of seawater properties on tidal-scale in the entrance of Padangbai Lombok Strait Indonesia, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 429(1), 2020.

[3] Dwi Susanto, R., Mitnik, L., and Zheng, Q., Ocean internal waves observed in the Lombok Strait, Oceanography, 18(SPL.ISS.4), pp. 81–87, 2005.

[4] Purwandana, A., Cuypers, Y., and Bouruet-Aubertot, P., Observation of internal tides, nonlinear internal waves and mixing in the Lombok Strait, Indonesia, Continental Shelf Research, 216 (February), pp. 104358, 2021.

[5] Lamb, K. G., Numerical experiments of internal wave generation by strong tidal flow across a finite amplitude bank edge, Journal of Geophysical Research, 99(C1), pp. 843–864, 1994.

[6] Werner Alpers, Ocean Internal Waves, Springer Reference, 2014.

[7] MacKinnon, J., Mountain waves in the deep ocean, Nature, 501, pp. 321–322, 2013.

[8] Pomar, L., Morsilli, M., Hallock, P., and Bádenas, B., Internal waves, an under-explored source of turbulence events in the sedimentary record, Earth-Science Reviews, 111(1–2), pp. 56–81, 2012.

[9] Gerkema, T. and Zimmerman, J., Generation of Nonlinear Internal Tides and Solitary Waves, Journal of Physical Oceanography, 25, pp.1081–1094, 1995.

[10] Lavery, A. C., Bassett, C., Lawson, G. L., and Jech, J. M., Exploiting signal processing approaches for Broadband echosounders, ICES Journal of Marine Science, 74(8), pp. 2262–2275, 2017.

[11] Simpson, P. K., Denny, G. F., Box, P. O., and Ak, A., A Comparison of Broadband and Narrowband Fisheries Sonar Systems SciFish, NSF Design and Manufacturing Grantees Conference, (0109976), pp. 3405–3425, 2003.

[12] Pujiyati, S., Hamuna, B., Rohilah, Hisyam, M., Srimariana, E. S., and Natih, I. N. M., Distributions of environmental parameters and Plankton’s volume backscattering strength at Yos Sudarso Bay, Jayapura, Indonesia, Egyptian Journal of Aquatic Research, (xxxx), 2021.

- [13] Manik, H. M. and Firdaus, R., Quantifying suspended sediment using acoustic doppler current profiler in Tidung island seawaters, *Pertanika Journal of Science and Technology*, 29(1), pp. 363–385, 2021.
- [14] Kaartvedt, S., Staby, A., and Aksnes, D. L., Efficient trawl avoidance by mesopelagic fishes causes large underestimation of their biomass, *Marine Ecology Progress Series*, 456, pp. 1–6, 2012.
- [15] Lubis, M. Z. and Manik, H. M., Acoustic systems (split beam echo sounder) to determine abundance of fish in marine fisheries, *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 2(1), pp. 76, 2017.
- [16] Hao, J., Chen, Y., Wang, F., and Lin, P., Seasonal thermocline in the China Seas and northwestern Pacific Ocean, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(2), pp. 1–14, 2012.
- [17] Yuliardi, A. Y., Atmadipoera, A. S., Harsono, G., Natih, N. M. N., and Ando, K., Analysis of characteristics and turbulent mixing of seawater mass in lombok strait, *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 26(2), 2021.
- [18] Harvianto, L., Analisis Diagram T-S Berdasarkan Parameter Oseanografis di Perairan Selat Lombok. *SOIJST Vol. 1(1):103-129*, 2018.
- [19] Naulita, Y., Natih, N. M. N., and Nabil, Turbulent mixing process in the Lombok Strait, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 944(1), pp. 012067, 2021.
- [20] Ray, R. D. and Susanto, R. D., A fortnightly atmospheric ‘tide’ at Bali caused by oceanic tidal mixing in Lombok Strait, *Geoscience Letters*, 6(1), pp. 1–9, 2019.
- [21] Kunze, E., Internal-wave-driven mixing: Global geography and budgets, *Journal of Physical Oceanography*, 47(6), pp. 1325–1345, 2017.
- [22] Bourgault, D., Kelley, D. E., and Galbraith, P. S., Turbulence and boluses on an internal beach, *Journal of Marine Research*, 66(5), pp. 563–588, 2008.
- [23] Lamb, K. G., Internal wave breaking and dissipation mechanisms on the continental slope/shelf, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 46, pp. 231–254, 2014.
- [24] Jackson, C. R., Silva, J. C. B. da, and Jeans, G., The generation of nonlinear internal waves, *Oceanography*, 25(2), pp. 108–123, 2012.
- [25] Christopher Garrett, W. M., Internal waves in the ocean, *Reviews of Geophysics*, 13(3), pp. 591–598, 1975.