

Analisis Kecepatan Perambatan Gelombang Internal Soliter di Selat Lombok dengan Citra Himawari-8

Chonnaniyah ^{a*}, I Wayan Gede Astawa Karang ^b, Abd Rahman As-syakur ^b,
Takahiro Osawa ^c

^a Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Sains dan Teknologi Nahdlatul Ulama Bali (ISTNUBA), Jl. Pura Demak Barat No.31 Denpasar, Bali-Indonesia

^b Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Jl. Raya Kampus Unud, Badung, Bali-Indonesia

^c Center for Research and Application of Satellite Remote Sensing (YUCARS), Yamaguchi University, Tokiwadai Ube-shi, Yamaguchi-Japan

* Penulis koresponden. Tel.: +62-877-505-56606

Alamat e-mail: chonnaniyah@gmail.com

Diterima (received) 20 Januari 2022; disetujui (accepted) 25 Mei 2022; tersedia secara online (available online) 1 Juni 2022

Abstract

Internal waves are phenomena that occur below sea surface. One of the most observed types of internal waves was called a solitary wave or soliton so it is often known as an internal solitary wave (ISW). Lombok Strait was one of the straits located in the southern part of the Indonesian archipelago which has the characteristics of intensive ISW generation because this strait has complex waters characteristics. This study aim to analyzed in detail the changes in the ISW propagation speed at the first crest soliton every 10 minutes using Himawari-8 data. The detected ISW pattern is then extracted at the first crest of the soliton as a reference to measure the distance between the detected soliton every 10 minutes as input in estimating the propagation speed. The Himawari-8 image which was in this study detected 2 ISW packets in the Lombok strait area. Packet 1 which was detected in the northern part of the Lombok strait approaching Kangean island had a group speed of 2.22 m/s and Packet 2 which was detected in the area around the Lombok strait had a group speed of 2.78 m/s. The difference in group velocity of the two packets is due to the variation in depth along the ISW propagation. The analysis results of changes in ISW propagation speed in this study indicate that Himawari-8 imagery is a very effective instrument for analysing changes in ISW propagation speed in detail every 10 minutes which is difficult for satellite imagery which usually has low temporal resolution.

Keywords: *Himawari-8; internal solitary wave; Lombok strait*

Abstrak

Gelombang internal merupakan fenomena yang terjadi di bawah permukaan laut. Salah satu jenis gelombang internal yang paling sering diamati disebut gelombang soliter atau soliton sehingga sering dikenal dengan gelombang internal soliter (internal solitary wave, ISW). Selat Lombok merupakan salah satu selat yang terletak di bagian selatan negara kepulauan Indonesia yang memiliki karakteristik pembentukan ISW yang intensif karena selat ini memiliki perairan yang kompleks. Penelitian ini menganalisis secara detail perubahan kecepatan perambatan ISW pada puncak soliton pertama setiap 10 menit menggunakan citra Himawari-8. Pola ISW yang terdeteksi kemudian diekstraksi pada bagian puncak pertama soliton sebagai acuan untuk mengukur jarak antar soliton yang terdeteksi setiap 10 menit sebagai input dalam mengestimasi kecepatan. Citra Himawari-8 yang digunakan mendeteksi 2 paket ISW di area Selat Lombok. Paket 1 yang terdeteksi pada bagian utara Selat Lombok mendekati pulau Kangean memiliki kecepatan grup 2.22 m/s dan Paket 2 yang terdeteksi di area sekitar Selat Lombok memiliki kecepatan grup 2.78 m/s. Perbedaan kecepatan grup dari kedua paket ini disebabkan karena adanya variasi kedalaman sepanjang perambatan ISW. Hasil analisis perubahan kecepatan perambatan ISW pada penelitian ini menunjukkan bahwa citra Himawari-8 merupakan instrumen yang sangat efektif untuk menganalisis perubahan kecepatan perambatan ISW secara detail setiap 10 menit yang sulit dilakukan oleh citra satelit yang biasanya memiliki resolusi temporal rendah.

Kata Kunci: *Himawari-8; internal solitary wave; Selat Lombok*

1. Pendahuluan

Gelombang internal merupakan fenomena yang terjadi di bawah permukaan laut. Salah satu jenis gelombang internal yang paling sering diamati disebut gelombang soliter atau soliton sehingga sering dikenal dengan gelombang internal soliter (*internal solitary wave*, ISW). Berbeda dengan gelombang permukaan, ISW tidak berhubungan dengan elevasi permukaan laut, akan tetapi dengan variabel arus permukaan yang memodulasi kekasaran permukaan laut. Instrumen penginderaan jauh dapat merekam pola ISW di permukaan laut melalui pola kekasaran permukaan (Alpers, 2014). Instrumen penginderaan jauh yang paling umum digunakan untuk mendeteksi ISW dari luar angkasa adalah *synthetic aperture radar* (SAR), yang mampu mengukur perubahan kekasaran permukaan laut yang sangat kecil dalam rentang panjang gelombang dari sentimeter (cm) hingga desimeter (dm). Citra optik dari satelit juga dapat digunakan untuk mendeteksi ISW, akan tetapi penggunaannya terbatas pada siang hari, langit cerah, dan geometri pencitraan yang berhubungan dengan posisi matahari. Pola kekasaran ISW bahkan dapat diamati dengan mata telanjang dengan syarat pengamat mengamati permukaan laut dengan sudut yang dekat dengan sudut pantulan spekular matahari (*sun-glint*). ISW dapat mempertahankan koherensi dan visibilitasnya melalui mekanisme hidrodinamika non linier yang dapat diamati di permukaan laut sebagai garis terang dan gelap pada citra satelit (Apel, 2004).

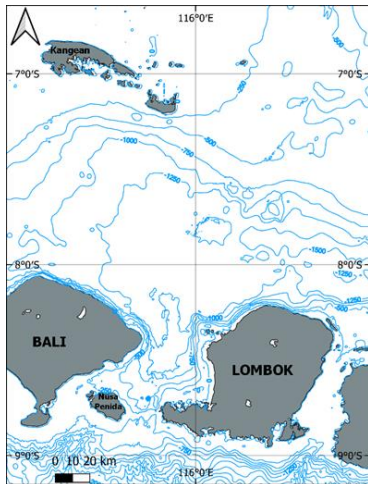
Selat Lombok merupakan salah satu selat yang terletak di bagian selatan negara kepulauan Indonesia yang memiliki karakteristik pembentukan ISW yang intensif karena selat ini memiliki perairan yang terstratifikasi, batimetri yang kasar, dan arus pasang surut yang kuat. ISW di Selat Lombok diasumsikan terbentuk pada perairan dangkal antara pulau Nusa Penida dan Lombok, dimana terdapat gundukan (*sill*) yang memiliki kedalaman kurang dari 350 meter (Susanto et al., 2005). Pembentukan dan perambatan ISW juga dipengaruhi oleh aliran arus lintas samudera yang melalui perairan Indonesia yang dikenal dengan Arus Lintas Indonesia (Arlindo). Dinamika ISW di Selat Lombok menjadi salah satu fenomena penting untuk diketahui karena hubungannya dengan Arlindo dan kondisi

perairan. Dinamika karakteristik dan parameter ISW di Selat Lombok telah diidentifikasi menggunakan pengukuran in-situ (Susanto et al., 2005; Syamsudin et al., 2019), pemodelan numerik (Ningsih et al., 2008), dan citra satelit (Chonnaniyah et al., 2019; Karang et al., 2019a, 2019b; Matthews et al., 2011; Mitnik, 2008).

Penelitian ini menganalisis secara detail perubahan kecepatan perambatan ISW pada puncak soliton pertama setiap 10 menit menggunakan citra Himawari-8. Kecepatan perambatan ISW merupakan salah satu parameter penting dari ISW yang berhubungan dengan kedalaman termoklin di sekitar lokasi terdeteksinya ISW. Selain itu, variabilitas kecepatan perambatan ISW dalam rentang waktu yang panjang dapat dihubungkan dengan Arlindo dan perubahan iklim. Estimasi kecepatan fase ISW menggunakan citra Himawari-8 telah banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa Himawari-8 merupakan instrumen yang efektif untuk menganalisis perubahan kecepatan perambatan ISW dalam periode 10 menit (Chonnaniyah et al., 2021; Gao et al., 2018; Karang et al., 2020). Citra Himawari-8 dengan resolusi temporal yang singkat ini memiliki kemampuan untuk menganalisis perubahan kecepatan setiap 10 menit yang dikaitkan dengan perubahan kedalaman lokasi terdeteksinya pola ISW.

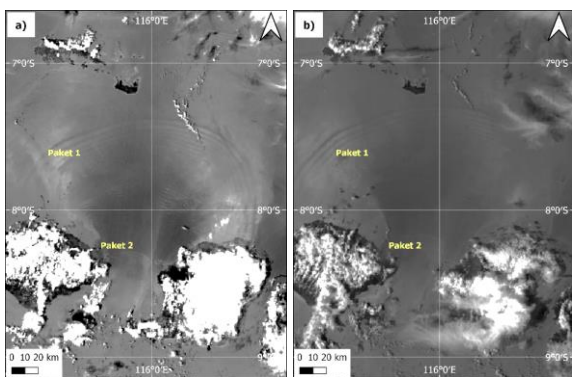
2. Metode Penelitian

Satelit Himawari-8 merupakan satelit meteorologi geostasioner baru yang dioperasikan oleh Badan Meteorologi Jepang (*Japan Meteorological Agency*, JMA), yang menggantikan Satelit *Japanese Multifunctional Transport Satellite* (MTSAT-2) dan mulai beroperasi pada 7 Juli 2015. Satelit Himawari-8 memiliki 16 band pengamatan, dan resolusi spasial adalah 0,5 atau 1 km untuk band visibel dan inframerah-dekat serta 2 km untuk band inframerah. Satelit geostasioner Himawari-8 digunakan untuk mengidentifikasi dan melacak fenomena cuaca yang berubah dengan cepat dan derivasi produk kuantitatif terkait (Bessho et al., 2016). Studi ini menggunakan band merah dengan resolusi spasial 500-meter untuk mendeteksi ISW di Selat Lombok tiap 10 menit. Lokasi penelitian ini di Selat Lombok dan sekitarnya yang mencakup bagian utara selat hingga ke pulau Kangean (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian dan kedalaman batimetri di sekitar Selat Lombok ditunjukkan oleh kontur berwarna biru.

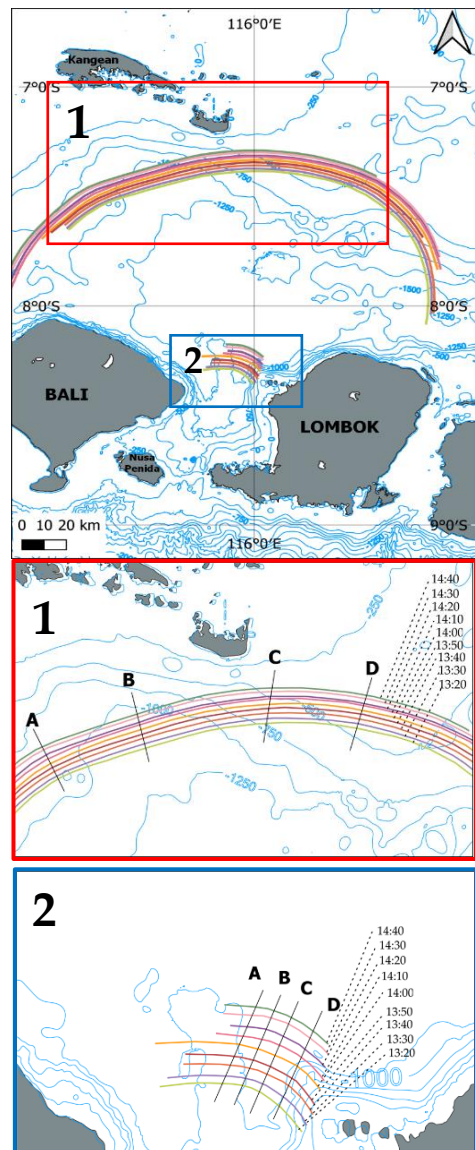
Sembilan citra Himawari-8 dengan jarak waktu 10 menit yang direkam pada tanggal 23 November 2018 pukul 13:20 – 14:40 WITA (waktu setempat) digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis perubahan kecepatan perambatan ISW setiap 10 menit. Jumlah paket ISW yang terdeteksi pada citra Himawari-8 yang digunakan berjumlah 2 paket yang berada di Selat Lombok dan di bagian utara Selat Lombok mendekati pulau Kangean. Gambar 2 merupakan citra Himawari-8 yang menunjukkan 2 paket ISW yang terdeteksi.



Gambar 2. Citra Himawari-8 yang mendeteksi 2 paket pola ISW di Selat Lombok direkam pada 23 November 2018, (a) 13:20 WITA dan (b) 14:40 WITA.

Pola ISW yang terdeteksi kemudian diekstraksi pada bagian puncak pertama soliton sebagai acuan untuk menghitung jarak antar soliton yang terdeteksi setiap 10 menit. Hasil ekstraksi dari sembilan citra Himawari-8 ditunjukkan pada Gambar 3. Penelitian ini menganalisis kecepatan perambatan dua paket ISW yang terdeteksi pada

citra Himawari-8 pada bagian utara Selat Lombok (Paket 1) dan pada area Selat Lombok (Paket 2). Setiap paket yang terdeteksi kemudian diukur jarak antar soliton pada empat lokasi berbeda (garis A – D). Empat lokasi ini ditentukan berdasarkan variasi kedalaman dimana pola ISW terdeteksi untuk mengetahui pengaruh kedalaman terhadap kecepatan perambatan ISW. Hasil pengukuran jarak pada keempat lokasi berbeda ini kemudian digunakan untuk mengestimasi kecepatan menggunakan metode yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya (Chonnanayah et al., 2021; Tensubam et al., 2021).



Gambar 3. Hasil ekstraksi pola puncak pertama ISW yang terdeteksi pada citra Himawari-8 mulai pukul 13:20 – 14:40 WITA. Kotak merah dengan angka 1 merupakan Paket 1 sedangkan kotak biru dengan angka 2 merupakan Paket 2 yang terdeteksi dan garis A – D merupakan posisi penentuan jarak antar soliton untuk menentukan estimasi kecepatan perambatan ISW.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil estimasi kecepatan perambatan pola ISW menggunakan sembilan pola ISW hasil ekstraksi dari citra Himawari-8 pada tanggal 23 November 2018 pukul 13:20 – 14:40 WITA di sekitar Selat Lombok ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Tabel 1 menunjukkan hasil estimasi kecepatan perambatan ISW pada Paket 1 di area bagian utara Selat Lombok mendekati pulau Kangean. Soliton pertama (*first crest*) merupakan soliton dalam satu paket yang pertama terbentuk dan biasanya memiliki intensitas garis yang paling terang atau paling gelap. Panjang melintang soliton pertama pada Paket 1 yang terdeteksi dalam penelitian ini adalah sekitar 188 km dengan jarak antar soliton dalam satu paket adalah 0.7 – 1 km. Berdasarkan hasil estimasi kecepatan perambatan ISW setiap 10 menit menggunakan citra Himawari-8 pada Paket 1 menunjukkan bahwa ISW merambat dengan kecepatan berbeda setiap 10 menitnya. Hal ini dapat diasumsikan karena adanya perbedaan kedalaman pada saat ISW merambat berdasarkan solusi persamaan Korteweg-de Vries (KdV) (Karang et al., 2020). Rata-rata kecepatan grup perambatan ISW pada Paket 1 adalah 2.22 m/s dengan standar deviasi 0.44 secara keseluruhan. Standar deviasi kecepatan pada empat lokasi berbeda lebih kecil jika dibandingkan dengan standar deviasi secara keseluruhan, nilai tertinggi (0.39) berada antara pukul 14:10 – 14:20 WITA dimana Paket 1 melalui kedalaman bervariasi.

Tabel 1

Hasil estimasi kecepatan perambatan pola ISW dari citra Himawari-8 pada Paket 1. A – D merupakan lokasi garis pengukuran jarak antar soliton.

Jam (WITA)	Kecepatan (m/s)				Rata-rata (m/s)	Std
	A	B	C	D		
13:20 – 13:30	2.01	2.25	2.26	2.27	2.20	0.13
13:30 – 13:40	2.61	2.58	2.68	2.58	2.61	0.05
13:40 – 13:50	2.16	2.47	2.48	2.53	2.41	0.17
13:50 – 14:00	1.73	2.22	2.12	2.18	2.06	0.23
14:00 – 14:10	2.76	2.35	2.57	2.50	2.55	0.17
14:10 – 14:20	1.99	1.50	1.19	1.15	1.46	0.39
14:20 – 14:30	2.71	2.59	2.87	2.41	2.65	0.19
14:30 – 14:40	2.09	1.82	1.66	1.65	1.81	0.21
Kecepatan rata-rata (13:20 – 14:40)					2.22	
Standar Deviasi					0.44	

Tabel 2 menunjukkan hasil estimasi kecepatan perambatan ISW pada Paket 2 di area sekitar Selat Lombok. Panjang melintang soliton pertama pada Paket 2 yang terdeteksi dalam penelitian ini adalah sekitar 23 km dengan jarak antar soliton dalam satu paket adalah 1 – 1.5 km. Berdasarkan hasil estimasi kecepatan perambatan ISW setiap 10 menit menggunakan citra Himawari-8 pada Paket 2 juga menunjukkan bahwa ISW merambat dengan kecepatan berbeda setiap 10 menitnya hampir sama dengan Paket 1. Rata-rata kecepatan grup perambatan ISW pada Paket 2 adalah 2.78 m/s dengan standar deviasi 0.50 secara keseluruhan. Standar deviasi kecepatan pada empat lokasi berbeda lebih kecil jika dibandingkan dengan standar deviasi secara keseluruhan, nilai tertinggi (0.32) berada antara pukul 14:10 – 14:20 WITA dimana Paket 2 melalui kedalaman bervariasi.

Tabel 2

Hasil estimasi kecepatan perambatan pola ISW dari citra Himawari-8 pada Paket 2. A – D merupakan lokasi garis pengukuran jarak antar soliton.

Jam (WITA)	Kecepatan (m/s)				Rata-rata (m/s)	Std
	A	B	C	D		
13:20 – 13:30	2.34	2.32	2.58	2.68	2.48	0.18
13:30 – 13:40	3.07	3.16	3.24	3.14	3.15	0.07
13:40 – 13:50	2.52	2.37	2.02	2.23	2.29	0.21
13:50 – 14:00	3.34	3.41	3.41	3.29	3.36	0.06
14:00 – 14:10	2.67	2.68	2.92	2.81	2.77	0.12
14:10 – 14:20	2.89	3.14	2.49	2.49	2.75	0.32
14:20 – 14:30	3.49	3.39	3.48	3.26	3.41	0.11
14:30 – 14:40	2.18	2.01	1.87	2.10	2.04	0.13
Kecepatan rata-rata (13:20 – 14:40)					2.78	
Standar Deviasi					0.50	

Kedua Paket ISW yang terdeteksi memiliki kesamaan pada pukul 14:10 – 14:20 WITA yang menunjukkan nilai standar deviasi tinggi lebih tinggi dibandingkan pada waktu yang lain. Akan tetapi kecepatan grup kedua Paket ini berbeda, Paket 1 lebih lambat dibandingkan Paket 2. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kecepatan paket ISW di area Selat Lombok cenderung lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan paket ISW di bagian utara Selat Lombok mendekati pulau Kangean (Chonnaniyah et al., 2021). Standar deviasi Paket 2 juga lebih tinggi dibandingkan Paket 1, hal ini terlihat pada hasil ekstraksi pola ISW (Gambar 3) dimana

soliton yang terdeteksi pada selang 10 menit memiliki jarak yang sangat bervariasi jika dibandingkan dengan Paket 1. Variasi kecepatan Paket 2 diasumsikan karena perubahan kedalaman yang sangat signifikan pada lokasi terdeteksinya Paket 2. Lokasi pintu masuk antara pulau Bali dan Lombok bagian utara memiliki perubahan kedalaman yang signifikan antara berkisar 500 hingga 1250 m, sedangkan bagian utara yang dilewati Paket 1 memiliki perubahan kedalaman yang bertahap dari 1000, 750, dan 500 m. Hasil analisis perubahan kecepatan perambatan ISW pada penelitian ini menunjukkan bahwa citra Himawari-8 merupakan instrumen yang sangat efektif untuk menganalisis perubahan kecepatan perambatan ISW secara detail setiap 10 menit yang sulit dilakukan oleh citra satelit yang biasanya memiliki resolusi temporal rendah.

4. Simpulan

Penelitian ini menganalisis secara detail perubahan kecepatan perambatan ISW pada puncak soliton pertama setiap 10 menit menggunakan citra Himawari-8. Citra Himawari-8 yang digunakan mendeteksi 2 paket ISW di area Selat Lombok. Paket 1 yang terdeteksi pada bagian utara Selat Lombok mendekati pulau Kangean memiliki panjang melintang soliton sekitar 188 km dengan jarak antar soliton dalam satu paket adalah 0,7 – 1 km dan kecepatan grup 2,22 m/s. Sedangkan Paket 2 yang terdeteksi di area sekitar Selat Lombok memiliki panjang melintang soliton sekitar 23 km dengan jarak antar soliton dalam satu paket adalah 1 – 1,5 km dan kecepatan grup 2,78 m/s. Perbedaan kecepatan grup dari kedua paket ini disebabkan karena adanya variasi kedalaman sepanjang perambatan ISW. Kedua Paket ISW yang terdeteksi memiliki kesamaan pada pukul 14:10 – 14:20 WITA yang menunjukkan nilai standar deviasi tinggi lebih tinggi dibandingkan pada waktu yang lain. Hasil analisis perubahan kecepatan perambatan ISW pada penelitian ini menunjukkan bahwa citra Himawari-8 merupakan instrumen yang sangat efektif untuk menganalisis perubahan kecepatan perambatan ISW secara detail setiap 10 menit yang sulit dilakukan oleh citra satelit yang biasanya memiliki resolusi temporal rendah.

Ucapan terimakasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada *Japanese Meteorological Agency (JMA)* dan *Center for*

Environmental Remote Sensing, Chiba University yang telah menyediakan citra Himawari-8.

Daftar Pustaka

- Alpers, W. (2014). Ocean Internal Waves. In E. G. Njoku (Ed.), *Encyclopedia of Remote Sensing* (pp. 433–437). Springer Reference.
- Apel, J. R. (2004). Oceanic Internal Waves and Solitons. In C. S. Jackson (Ed.), *Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual* (pp. 189–206). NOAA/NESDIS.
- Bessho, K., Date, K., Hayashi, M., Ikeda, A., Imai, T., Inoue, H., Kumagai, Y., Miyakawa, T., Murata, H., Ohno, T., Okuyama, A., Oyama, R., Sasaki, Y., Shimazu, Y., Shimoji, K., Sumida, Y., Suzuki, M., Taniguchi, H., Tsuchiyama, H., ... Yoshida, R. (2016). An Introduction to Himawari-8/9 - Japan's New-Generation Geostationary Meteorological Satellites. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **94**(2), 151–183. DOI: 10.2151/jmsj.2016-009.
- Chonnaniyah, C., Osawa, T., & Karang, I. W. G. A. (2019). Study of Internal Solitary Waves Feature Extraction Based on Stationary Wavelet Transform By Sentinel-1a Image in Lombok Strait. *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, **13**(1), 29. DOI: 10.24843/EJES.2019.v13.i01.
- Chonnaniyah, Karang, I. W. G. A., & Osawa, T. (2021). Internal solitary waves propagation speed estimation in the northern-part of Lombok Strait observed by Sentinel-1 SAR and Himawari-8 images. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **944**(1). DOI: 10.1088/1755-1315/944/1/012042.
- Gao, Q., Dong, D., Yang, X., Husi, L., & Shang, H. (2018). Himawari-8 Geostationary Satellite Observation of The Internal Solitary Waves In The South China Sea. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **XLII-3**, 363–370. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-363-2018, 2018.
- Karang, I. W. G. A., Chonnaniyah, C., & Osawa, T. (2019a). Lombok Strait internal wave occurrence frequency derived from Sentinel-1A SAR images. In T. D. Pham, K. D. Kanniah, K. Arai, G. J. P. Perez, Y. Setiawan, L. B. Prasetyo, & Y. Murayama (Eds.), *Sixth International Symposium on LAPAN-IPB Satellite* (Issue January 2020, p. 49). SPIE. DOI: 10.1117/12.2540879.
- Karang, I. W. G. A., Chonnaniyah, C., & Osawa, T. (2019b). Landsat 8 Observation of the Internal Solitary Waves in the Lombok Strait. *Indonesian Journal of Geography*, **51**(3), 251. DOI: 10.22146/ijg.42655.
- Karang, I. W. G. A., Chonnaniyah, & Osawa, T. (2020). Internal solitary wave observations in the Flores Sea using the Himawari-8 geostationary satellite. *International Journal of Remote Sensing*, **41**(15), 5726–5742. DOI: 10.1080/01431161.2019.1693079.

- Matthews, J. P., Aiki, H., Masuda, S., Awaji, T., & Ishikawa, Y. (2011). Monsoon regulation of Lombok Strait internal waves. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **116**(5), 1–14. DOI: 10.1029/2010JC006403.
- Mitnik, L. M. (2008). Advanced land observing satellite pulsar observations of the oceanic dynamic phenomena in the coastal zone. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, **2**(1), 351–354. DOI: 10.1109/IGARSS.2008.4779000.
- Ningsih, N. S., Rahmayani, R., Hadi, S., & Brojonegoro, I. S. (2008). Internal Waves Dynamics in the Lombok Strait Studied By a Numerical Model. *International Journal of Remote Sensing And Earth Sciences*, **5**, 17–33. DOI: 10.30536/ijreses.2008.v5.a1226.
- Susanto, R. D., Mitnik, L., & Zheng, Q. (2005). Ocean Internal Waves Observed in the Lombok Strait. *Oceanography*, **18**(4), 125–132. DOI: 10.5670/oceanog.2005.08.
- Syamsudin, F., Taniguchi, N., Zhang, C., Hanifa, A. D., Li, G., Chen, M., Mutsuda, H., Zhu, Z. N., Zhu, X. H., 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. DOI: 10.1029/2019GL084595.

© 2022 by the authors; licensee Udayana University, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).