

## HIDRODINAMIKA LAUT BALI

### *THE HYDRODYNAMICS OF BALI SEA*

**Yoyok Nurkarya Santosa<sup>1</sup>, Johar Setiyadi<sup>2</sup>, Tri Aji<sup>2,3</sup>, Widodo S. Pranowo<sup>2,4</sup>**

<sup>1</sup> Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut

Bumimoro, Morokrembangan, Surabaya 60187, Jawa Timur,

Phone : 031-99000581- 82, Faximile : 031-99000583

<sup>2</sup>Prodi S2 Hidro-Oceanografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut

Jl. Ganesa No. 1, RT 17 RW 02 Kelurahan Kelapa Gading, Kodamar Jakarta Utara.

<sup>3</sup>Pusat Hidro-Oceanografi, TNI-AL

<sup>4</sup>Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi nasional.

E-mail: ynksantosa@gmail.com

### **ABSTRAK**

Laut Bali adalah suatu basin yang memiliki batimetri yang dalam. Basin tersebut terhubung dengan laut dan selat di sekitarnya. Kondisi unik dari hidrodinamika Laut Bali diobservasi menggunakan data sekunder dari CMEMS Marine Copernicus dan data batimetri GEBCO 30 arcminutes. Perangkat lunak Ocean data View digunakan untuk mengolah dan menganalisis suhu laut, arus, dan batimetri. Kondisi hidrodinamika arus dan suhu pada lapisan permukaan Laut Bali sangat dipengaruhi oleh sistem angin monsun. Kondisi hidrodinamika pada lapisan bawah permukaan (110 m) dipengaruhi oleh Arlindo dari Selat Makassar. Sedangkan gelombang laut dalam (internal wave) dari Samudera Hindia mempengaruhi laut Bali melalui penjararannya pada kedalaman 200 m.

**Kata kunci:** Hidrodinamika, Laut Bali, Arus, Batimetri, Arlindo

### **ABSTRACT**

*The Bali Sea is a deep basin (more than 1000 m depth). The basin is connected to the seas and the surrounding straits. The unique hydrodynamic conditions of the Bali Sea were observed using secondary data from CMEMS Marine Copernicus and GEBCO 30 arcminutes bathymetric data. Ocean Data View software has been employed to plotting and analyze sea temperature, currents, and bathymetry. The hydrodynamic conditions of currents and temperatures in the surface layer of the Bali Sea are strongly influenced by the monsoon wind system. The hydrodynamic conditions in the subsurface layer (110 m) are influenced by Indonesian Through-Flow from the Makassar Strait. Meanwhile, the internal wave from the Indian Ocean influences the Bali Sea through its propagation at 200 m depth.*

**Keywords:** *Hydrodynamics, Bali Sea, ocean current, Bathymetry, Indonesian Through-Flow.*

## PENDAHULUAN

Laut Bali adalah salah satu laut teritorial Indonesia dan merupakan laut kepulauan Indonesia. Secara geografis, Laut Bali terletak di sebelah utara Pulau Bali. Laut Bali di sisi barat berbatasan dengan Pulau Jawa, Selat Madura, dan mulut Selat Bali bagian utara. Kemudian, di sisi utara berbatasan dengan Laut Jawa dan Kepulauan Kangean. Pada sisi selatannya berbatasan dengan Pulau Bali dan mulut utara dari Selat Lombok. Pada sisi timur berbatasan dengan Laut Flores. Lihat Gambar 1.

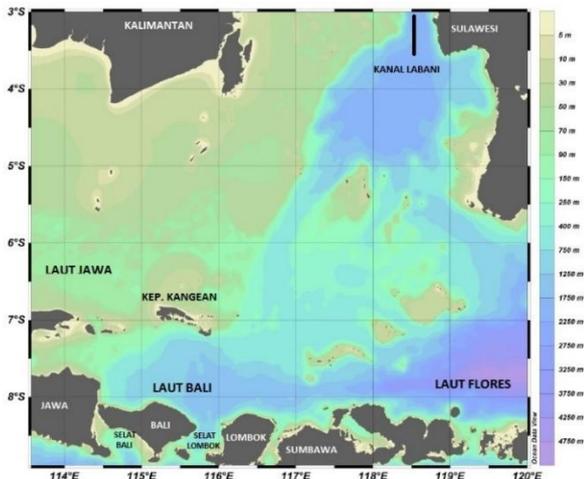
Kondisi dasar Laut Bali berbentuk basin atau seperti mangkuk. Laut Bali memiliki kedalaman yang bervariasi dari sekitar 100 meter di bagian barat hingga semakin dalam ketika menuju ke bagian timur yakni lebih dari 1000 meter. Pada kedalaman lebih dari 1000 meter tersebut, Laut Bali terhubung dengan dasar Selat Lombok dan Laut Flores, dan bahkan tampak ada seperti kanal yang menghubungkannya dengan Kanal Labani di Selat Makassar, lihat Gambar 1.

Berdasarkan karakteristik bentuk basin yang unik seperti diterangkan di atas, menyebabkan Laut Bali mempunyai pola sirkulasi arus tersendiri. Arus laut (*sea current*) adalah perpindahan massa air dari satu tempat menuju tempat lain, yang disebabkan oleh berbagai faktor seperti gradien tekanan, hembusan angin, perbedaan densitas, atau pasang surut (Purba & Pranowo, 2015). Sirkulasi dari arus laut terbagi atas dua kategori yaitu sirkulasi di permukaan laut (*surface circulation*) dan sirkulasi di dalam laut (*intermediate or deep circulations*). Arus

yang bersirkulasi di lapisan permukaan laut didominasi oleh arus yang dibangkitkan oleh angin (Maryan *et al.*, 2021). Sedangkan sirkulasi di lapisan yang lebih dalam bisa dibangkitkan oleh gradien densitas (Fernanda *et al.*, 2021). Sirkulasi arus di permukaan laut (*surface circulation*) angin di Laut Jawa, Laut Bali dan Laut Flores, cenderung dibangkitkan oleh angin muson (Siregar *et al.*, 2017).

Angin muson barat terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari (Suryono *et al.*, 2021). Sedangkan angin muson timur terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus (Risandi *et al.*, 2021). Sedangkan muson peralihan terjadi 2 periode yakni: Maret – Mei dan September – November (Simanjourang *et al.*, 2018). Angin muson juga berpengaruh pada perubahan suhu permukaan laut, dimana pada saat muson barat suhu permukaan laut seperti di Laut Jawa akan lebih hangat dari pada saat muson timur (Siregar *et al.*, 2017).

Berdasarkan kondisi batimetri yang tampak pada Gambar 1, maka diduga Laut Bali akan menerima sirkulasi massa air Arlindo (Arus Lintas Indonesia) yang mengalir dari Kanal Labani di Selat Makassar (Pranowo *et al.*, 2006). Dimana seandainya massa air Arlindo tersebut adalah berasal dari Samudera Pasifik. Kemudian diduga pula, bahwa ada sirkulasi massa air/arus yang mengalir ke Laut Bali dari Samudera Hindia (Pratomo *et al.*, 2016). Artikel ini berusaha mendeskripsikan kondisi hidrodinamika di Laut Bali untuk menjawab dugaan-dugaan tersebut di atas.



Gambar 1. Kondisi kedalaman laut (batimetri) Laut Bali dan sekitarnya (data GEBCO dalam *Ocean Data View*, Schlitzer, 2018).

## BAHAN DAN METODE

### Lokasi dan waktu Penelitian

Lokasi penelitian akan difokuskan di Laut Bali dengan melihat kemungkinan konektivitas dengan Laut Jawa, Selat Madura, Selat Bali, Selat Makassar, Laut Flores dan Selat Lombok. Sedangkan waktu observasinya adalah pada saat monsun barat, monsun timur dan monsun peralihan pertama pada tahun 2021, dengan beberapa kedalaman (0 m, 110 m, dan 200 m).

### Data Penelitian

Jenis data yang digunakan adalah data sekunder, data diambil atau sumber data berasal dari <https://marine.copernicus.eu>. Data yang di *download* berupa data Netcdf yang berisi data salinitas, suhu laut, arus komponen arah timur-barat (u) dan komponen arah utara-selatan (v), dari kedalaman lapisan permukaan (0 meter) hingga 1000 meter. Data batimetri dari GEBCO 30 arminutes juga digunakan pada artikel ilmiah ini.

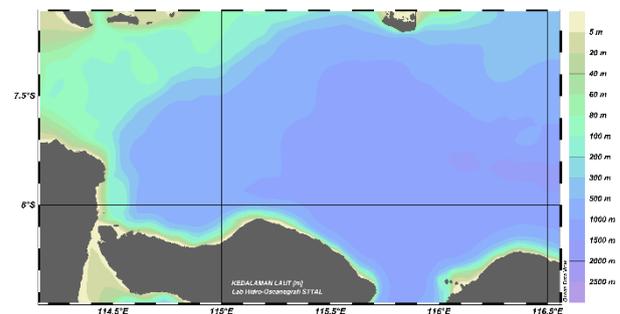
## Metode

Data kemudian divisualisasi dan dianalisis menggunakan *software Ocean Data View* (Schlitzer, 2018). data-data. Analisis deskriptif dilakukan terhadap hasil visualisasi data untuk mengetahui hubungan antara pola arus dan suhu laut di beberapa kedalaman tertentu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Kedalaman Laut Bali

Kedalaman Laut Bali bervariasi, dengan kondisi paling dalam adalah di sisi timur yang berhubungan dengan Selat Lombok dan Laut Flores, yakni berkisar 1000-1500 meter, lihat Gambar 1 dan Gambar 2. Sedangkan di sisi barat, kedalaman berkisar 200-500 meter, kemudian di sisi tengah Laut Bali kedalamannya berkisar 500-1000 meter, lihat Gambar 2.



Gambar 2. Kedalaman Laut Bali (GEBCO 30 arcminutes).

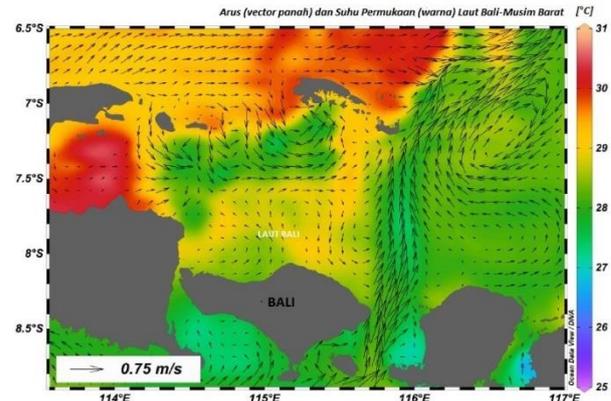
### Kondisi Sirkulasi Arus di Lapisan Permukaan

Kondisi lapisan permukaan Laut Bali seperti pada umumnya kondisi Laut Jawa, maka sangat dipengaruhi oleh angin monsun (Siregar *et al.*, 2017). Angin monsun barat bergerak dari arah barat menuju ke timur pada Desember-Februari, dan sebaliknya bergerak ke barat dari arah

timur ketika monsun timur pada Juni-Agustus (Simanjourang *et al.*, 2018).

Pada saat monsun barat, Laut Bali mendapatkan pasokan massa air dari Laut Jawa dan dari Samudera Hindia. Massa air laut dari Laut Jawa yang cenderung bersuhu hangat/panas (29–31 °Celsius), bertemu dengan massa air laut dari Samudera Hindia yang bersuhu lebih rendah (27–28 °Celsius), sehingga akibat percampuran tersebut suhu permukaan Laut Bali menjadi hangat (28–29 °Celsius). Suhu permukaan laut dari Samudera Hindia tersebut, masuk melalui Selat Bali bagian selatan, kemudian keluar dari mulut selat di sisi utara, menuju ke Laut Bali. Lihat Gambar 3. Kisaran suhu permukaan laut Bali tersebut terkonfirmasi oleh Siregar *et al.* (2017), bahwa memang sedikit lebih rendah dari kisaran suhu permukaan Laut Jawa pada monsun barat.

Kondisi unik pada monsun barat, terjadi di sekitar perbatasan Laut Bali dengan Selat Madura, Laut Jawa dan Kepulauan Kangean, dimana tampak seperti ada kolam air bersuhu dingin (27–28 °Celsius), lihat Gambar 3. Fenomena tersebut terjadi diduga karena adanya upwelling lemah, seperti yang dikemukakan oleh Mustikasari *et al.* (2015) berdasarkan hasil simulasi model 3-dimensi arus vertikal.



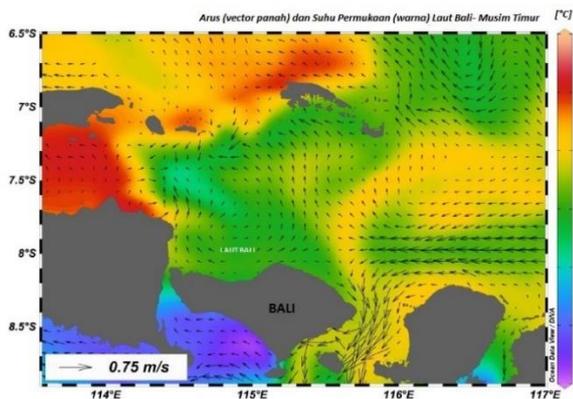
Gambar 3. Kondisi sirkulasi massa air di lapisan permukaan Laut Bali pada saat monsun barat. Pola Arus ditandai dengan vektor panah dan suhu permukaan laut ditandai dengan degradasi warna.

Kondisi Laut Bali pada saat angin monsun timur, yang berlangsung dari Juni hingga Agustus, arus permukaan laut bergerak cenderung menuju ke barat-laut dan utara. Arus permukaan tersebut merupakan hasil dorongan arus yang datang dari arah timur, yakni dari Laut Flores, lihat Gambar 4.

Arus permukaan dari Laut Flores tersebut sebagian bergerak menuju Laut Bali dan sebagian lagi berbelok menuju ke Selat Lombok. Bahkan yang menuju ke Selat Lombok lebih kencang karena memiliki kontur kedalaman yang sama dengan laut Flores, lihat Gambar 4 dan Gambar 2.

Pada monsun timur ini massa air laut permukaan di Laut Bali bersuhu dingin (27–28 °Celsius), namun di dekat perbatasan dengan Selat Madura, tampak ada suhu permukaan laut yang lebih dingin ( $\pm 26.5$  °Celsius) dengan wilayah yang sempit, lihat Gambar 4. Penyebabnya diduga adalah adanya upwelling sangat lemah (Mustikasari *et al.*, 2015).

Suhu permukaan Laut Bali pada monsun timur sedikit lebih rendah daripada saat monsun barat, yang secara umum pola monsunal tersebut mirip dengan yang terjadi di Laut Jawa (Siregar *et al.*, 2017). Bahkan, suhu permukaan Laut Bali pada monsun timur tersebut juga lebih dingin daripada suhu permukaan Laut Jawa dan Selat Madura. Lihat Gambar 4.

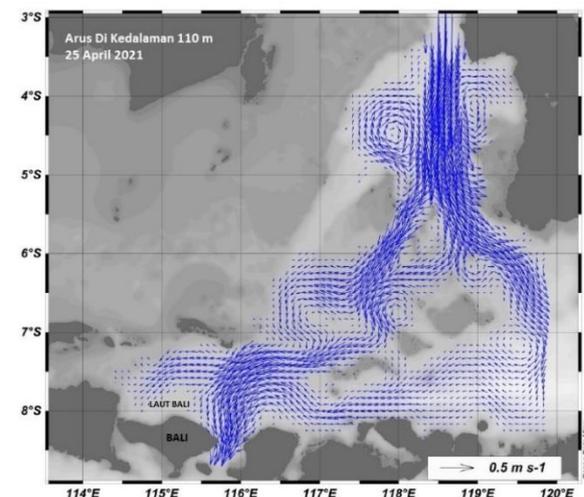


Gambar 4. Kondisi sirkulasi massa air di lapisan permukaan Laut Bali pada saat monsun timur. Pola Arus ditandai dengan vektor panah dan suhu permukaan laut ditandai dengan degradasi warna.

### Kondisi Sirkulasi Arus di Lapisan Dalam

Kondisi sirkulasi arus di bawah lapisan permukaan Laut Bali adalah sangat menarik, karena memiliki hubungan dengan wilayah laut dan selat di sekitarnya. Arus di kedalaman 110 m, pada 21 April 2021, yang berada pada periode monsun peralihan dari monsun barat ke monsun timur, menyajikan pola arus yang pergerakannya didominasi dari arah Selat Makassar, lihat Gambar 5. Arus tersebut bergerak mengikuti kontur kedalaman laut (batimetri) yang membentuk seperti ada kanal yang menghubungkan Kanal Labani di Selat Makassar dengan Selat Lombok dan basin Laut Bali, lihat Gambar 5 dan

Gambar 1. Terlihat sebagian besar arus mengalir ke Selat Lombok, dan sebagian kecil memasuki basin Laut Bali. Sirkulasi arus ini merepresentasikan dari Arus Lintas Indonesia (Arlindo) atau Indonesian Through-Flow (Pranowo *et al.*, 2006; Gordon *et al.*, 2010). Sirkulasi ini juga sering disebut sebagai *Makassar Through-Flow* karena aliran massa airnya yang deras sekitar 11.6 juta meter kubik per detik ketika melewati Kanal Labani yang diduga mulai dari kedalaman 40 meter hingga dasar laut (Gordon *et al.*, 2008; Winata *et al.*, 2022).

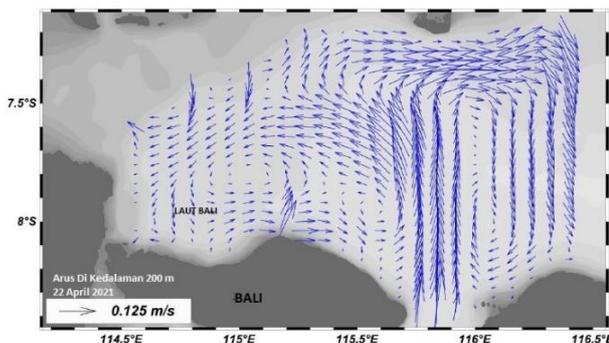


Gambar 5. Sirkulasi arus pada kedalaman 110 meter di Laut Bali dan sekitarnya.

Kondisi hidrodinamika yang unik lainnya, adalah ketika menjumpai sirkulasi arus di kedalaman 200 meter. Jadi, hanya berbeda 80 meter kedalaman saja, kondisi sirkulasi arus pun berbeda pola pergerakannya, walaupun berlangsung pada periode yang sama, yakni monsun peralihan pertama (21 April 2021), lihat Gambar 6. Arus pada kedalaman 200 meter, tampak dominan berasal dari Selat Lombok, yang bisa diduga bahwa arus tersebut adalah dari Samudera Hindia yang bergerak menuju ke arah utara. Arus

tersebut, ketika keluar dari mulut Selat Lombok sisi utara, kemudian membentuk 2 rezim arus pusaran, yakni ada yang berpusar (*eddy current*) ke barat ke basin Laut Bali, dan ada yang berpusar (*eddy current*) ke timur di basin Laut Flores, lihat Gambar 5.

Arus kencang yang menuju ke arah utara di/dari Selat Lombok tersebut diduga adalah representasi dari penjalaran gelombang laut dalam (*internal wave*). Dugaan ini didasarkan kepada hasil analisis arus yang terukur dari instrumen VMCM (*Valeport Measuring Current Meter*) yang dipasang pada *mooring buoy* INSTANT (*International Nusantara Stratification and Transport*) project pada 2004-2005 (Pranowo *et al.*, 2006; Abida *et al.*, 2015; Pratomo *et al.*, 2016). Dimana, pada kedalaman antara 250 hingga 450 meter, terdeteksi arus di Selat Lombok bergerak menuju ke arah utara dengan kecepatan 0.9-1.0 m/detik (Pratomo *et al.*, 2016).



Gambar 5. Karakteristik Arus laut Laut Bali pada kedalaman 200 m.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kondisi hidrodinamika di Laut Bali adalah unik. Hidrodinamika pada lapisan permukaan dipengaruhi oleh sistem angin monsun. Sedangkan hidrodinamika pada lapisan bawah permukaan dipengaruhi oleh Arlindo dari Selat Makassar dan juga gelombang laut dalam (*internal wave*) yang menjalar dari Samudera Hindia dan melewati Selat Lombok sebelum tiba di basin Laut Bali.

## PERSANTUNAN

Seluruh penulis adalah kontributor utama pada artikel ilmiah ini. Data diperoleh dari CMEMS Marine Copernicus. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Ocean Data View*. Artikel ini untuk memperingati KRI 402 Nanggala yang melakukan patroli abadi di Laut Bali sejak 21 April 2021.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abida, R. F., Pranowo, W. S., Pratomo, Y., & Kisnarti, E. A. (2015). Identifikasi komponen harmonik di Selat Lombok berdasarkan data arus time series. *J. Depik*, 4(1), 24-32. <http://dx.doi.org/10.13170/depik.1.1.2361>
- Fernanda, G. V., Pranowo, W.S. Setiono, H., Puspita, C. D., Kuswardani. A. R. T. D. (2021). A Schematic Model of Low Temperature and High Salinity Seawaters in Southern Java of the Indian Ocean during ENSO-IOD 2017. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 925(1), 012001.

- Gordon, A. L., Susanto, R. D., Ffield, A., Huber, B. A., Pranowo, W., & Wirasantosa, S. (2008). Makasar strait troughflow, 2004 to 2006. *Geophys. Res. Lett.* 35, L24605. doi:10.1029/2008GL036372.
- Gordon, A., Sprintall, J., Van Aken, H. M., Susanto, D., Wijffels, S., Molcard, R., Ffield, A., Pranowo, W., & Wirasantosa, S. (2010). The Indonesian Throughflow during 2004-2006 as observed by the INSTANT program. *Dyn. Atmosph. Ocean*, 50(2), 115-128. doi:10.1016/j.dynatmoce.2009.12.002.
- Maryan, Y. S., Pranowo, W.S., Adrianto, D., Kurniawan, A., Sukoco, N. B., & Astika, I. M. J. (2021). Modeling The Hydrodynamic Characteristics of Tidal And Monsoonal Currents In Pondok Dayung Port of Tanjung Priok Harbor, Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 925(1), 012059.
- Mustikasari, E., Dewi, L. C., Heriati, A. & Pranowo, W. S. (2015). Pemodelan Pola Arus Barotropik Musiman 3 Dimensi (3D) Untuk Mensimulasikan Fenomena Upwelling di Perairan Indonesia. *J. Segara*, 11(1), 25-35.
- Pranowo, W. S., Kuswardani, A. R. T. D., Kepel, T. L., Kadarwati, U. R., Makarim, S., & Husrin, S. (2006). *Ekspedisi INSTANT 2003-2005: Menguk Arus Lintas Indonesia*. ISBN: 979-3768-06-1.
- Pratomo, Y., Pranowo, W. S., Setiadi, H., Harsono, G., Kamija, Simanjuntak, S.M., & Alam, T. M. (2016). Identifikasi Penjalaran Gelombang Panjang Samudera Hindia Ke Selat Lombok Berdasarkan Komponen Harmonik Arus, *J. Omni-Aktuatika* 12(1), 22-29.
- Purba, N. P., & Pranowo, W. S. (2015). *Dinamika Oseanografi, Deskripsi Karakteristik Massa Air dan Sirkulasi Air Laut*. UNPAD Press. ISBN: 978-602-0810-20-1. 276 halaman.
- Risandi, J., Pranowo, W. S., Kuswardani, A. R. T. D., Husrin, S., Solihuddin, T., & Akhwady, R. (2021). Wave driven Setup across the North Coast Region of West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 925(1), 012052.
- Schlitzer, R. (2018). Ocean Data View. <https://odv.awi.de>.
- Suryono, D. D., Ati, R. N. A., Setiawan, A., Syakti, A. D., Rustam, A., Salim, H. L., Sudirman, N., Daulat, A., Prasetiawan, N. R., Pranowo, W. S., Jayawiguna, M. H. (2021). Distribution of macro plastic debris in Muara Gembong coastal bay during the east monsoon and the east to west monsoon transition in 2020. *E3S Web of Conferences*, 324(1), 02002.

- Simanjourang, J. E., Pranowo, W. S., Sari, L. P., Purba, N. P., & Syamsuddin, M. L. (2018). Building up the database of the level-2 Java Sea Ecoregion based on physical oceanographic parameters. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*, 176 (1), 012009. 2018. doi:10.1088/1755-1315/176/1/012009.
- Siregar, S. N., Sari, L. P., Purba, N. P., Pranowo, W. S., & Syamsuddin, M.L. (2017). Pertukaran massa air di Laut Jawa terhadap periodisitas monsun dan Arlindo pada tahun 2015. *J. Depik*, 6(1), 44-59.
- Winata, V. A., Kasitowati, R. D., Iranawati, F., Pranowo, W. S., & A. Sartimbul. (2022). Molecular and phylogenetic analysis of *Sardinella lemuru* Bleeker 1835 at fishing ground Canggus-Bali inferred D-loop mutations of mtDNA. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*, 1036, 012065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1036/1/012065>.