

# Karakteristik Arus Laut Permukaan dari High Frequency Radar pada Musim Timur di Selat Bali Indonesia

Shafira Tsanyfadhila<sup>1,3\*</sup>, Aris Ismanto<sup>2</sup>, Muhammad Helmi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

<sup>3</sup>Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Maritim, Tanjung Emas Semarang  
Jl. Yos Sudarso No.58, Semarang Utara, Semarang Jawa Tengah 50174 Indonesia  
Email: shafiratsanyfadhila@gmail.com

## Abstract

### Surface Ocean Currents in the Bali Strait: Characteristics from High-Frequency Radar during Southeast Monsoon

Bali Strait has many activities in port and water, such as passenger and freight transportation, tourism, and fisheries. Oceanographic conditions, especially sea surface current (SSC), affect the smoothness of ports and shipping activities in the Bali Strait. High-Frequency Radar (HF Radar) has the advantage of monitoring and mapping surface currents and ocean waves with high resolution. Because of the narrow strait area, HF Radar is very beneficial in describing the characteristics of SSC in the Bali Strait. Therefore, HF Radar data is used to describe the dynamics of SSC in the Bali strait, especially in ship crossing lane, with a temporal approach during Southeast Monsoon, June to August 2020. This study was conducted for 15 days each month which included neap tide and spring tide. Surface current charts are created to analyze the pattern of temporal SSC against the wind, tides, and their components. The results showed In the southeast monsoon, the average current speed at the research site ranged from 0.1 – 1.08 m/s. The direction of the surface current is predominantly towards the south. The characteristics of surface currents in the Bali Strait are influenced by tides, sea level anomalies, and coastal morphology. Temporally, the speed of the current is greater during the ebb phase and when the spring tide. Spatially, the central region of the Bali Strait waters has a greater current speed. Knowledge of areas and times with higher current speeds can be the basis for determining the shipping lane between ports in the Bali Strait.

**Keywords:** Sea Surface Current, Tide, shipping lane

## Abstrak

Selat Bali memiliki banyak kegiatan di pelabuhan dan perairan, seperti transportasi penumpang dan barang, pariwisata, serta perikanan. Kondisi oseanografi, khususnya arus permukaan laut, mempengaruhi kelancaran pelabuhan dan aktivitas pelayaran di Selat Bali. High-Frequency Radar (HF Radar) memiliki keunggulan pemantauan dan pemetaan arus permukaan dan gelombang laut dengan resolusi tinggi. Karena wilayah selat yang sempit, HF Radar sangat bermanfaat dalam menggambarkan karakteristik arus permukaan laut di Selat Bali. Oleh karena itu, data HF Radar digunakan untuk menggambarkan dinamika arus permukaan laut di jalur penyeberangan Selat Bali dengan pendekatan temporal pada musim timur, bulan Juni hingga Agustus 2020. Penelitian ini dilakukan selama 15 hari tiap bulan yang mencakup waktu pasang purnama dan pasang perbani. Grafik arus permukaan dibuat untuk menganalisis pola arus permukaan laut secara temporal ketika musim timur terhadap angin, pasang surut dan komponennya. Hasil menunjukkan pada musim timur, rata – rata kecepatan arus di lokasi penelitian berkisar antara 0.1 – 1.08 m/s. Arah arus permukaan dominan ke arah selatan. Karakteristik arus permukaan di Selat Bali di pengaruhi oleh pasang surut, sea level anomaly dan morfologi pantai. Secara temporal, kecepatan arus lebih besar ketika menuju surut dan ketika pasang purnama. Secara spasial, wilayah tengah perairan Selat Bali memiliki kecepatan arus yang lebih besar. Pengetahuan mengenai wilayah perairan dan waktu – waktu dengan kecepatan arus yang tinggi dapat menjadi dasar dalam penentuan alur pelayaran antar pelabuhan di Selat Bali.

**Kata kunci :** Arus Laut Permukaan, Pasang Surut, Alur Pelayaran

## PENDAHULUAN

Terdapat dua komponen utama dari sirkulasi laut, yaitu arus permukaan yang digerakkan oleh angin dan sirkulasi dalam yang digerakkan oleh densitas (*thermohaline*). Pada kenyataannya di laut, kedalaman yang dipengaruhi oleh gesekan angin sebagian besar dipengaruhi oleh ketebalan

lapisan permukaan campuran. Ketebalannya bervariasi dari beberapa puluh meter hingga 100-200 m, tergantung pada tahun, kecepatan angin dan lainnya (Brown *et al.*, 2004). Aktivitas manusia di laut kebanyakan terjadi di permukaan laut. Arus laut mempengaruhi aktivitas berperahu, memancing, dan pengiriman komersial di mana pengetahuan tentang arus permukaan tidak hanya dapat membantu dalam navigasi tetapi juga secara signifikan berdampak pada konsumsi bahan bakar (Bialystocki & Konovessis, 2016) Hal ini menjadi salah satu alasan penelitian di lakukan di perairan Selat Bali.

Selat Bali memiliki panjang sekitar 80 km yang menghubungkan Samudra Hindia di selatan ke Laut Jawa di utara. Selat ini berbentuk corong, dengan sisi lebar (lebar 60 km dan kedalaman rata-rata 365 m) di selatan yang secara bertahap menyempit ke arah utara (lebar 2 km dan kedalaman 50 m) (Hanifa *et al.*, 2020). Selat Bali merupakan jalur pelayaran kapal dengan aktivitas yang kompleks seperti angkutan penumpang dan barang, pariwisata dan perikanan. Selat Bali dihubungkan dengan layanan kapal ferry dari Pelabuhan Gilimanuk dan Pelabuhan Ketapang. Tiap pelabuhan memiliki empat dermaga kapal penumpang dan dua dermaga kapal barang dimana tiap dermaga memberangkatkan kapal bergantian tiap 15 menit setiap harinya. Hal ini menyebabkan pentingnya informasi arus laut permukaan untuk mendukung kelancaran pelayaran diantara dua pelabuhan tersebut.

Arus permukaan laut dapat digunakan untuk mengoreksi *ground speed* kapal. Ketika arus mengalir searah maka akan ditambahkan ke *ground speed* kapal. Sebaliknya, jika arus mengalir berlawanan maka dikurangi dari *ground speed* kapal (Bialystocki & Konovessis, 2016) . Informasi tentang arus laut penting dalam bidang navigasi, penangkapan ikan, dan operasi pencarian dan penyelamatan (*search and rescue*), efisiensi bahan bakar dan pemodelan tumpahan minyak (World Meteorological University, 2018). Arus laut dapat mempengaruhi navigasi kapal pada pelayaran. Salah satu contoh di timur laut Cina, arus Kuroshio memiliki pengaruh yang signifikan terhadap waktu pelayaran dan juga biaya bahan bakar (Chen *et al.*, 2015).

Pelabuhan Ketapang dan Gilimanuk memiliki jarak sekitar 5 km, sehingga penggunaan *High-Frequency* (HF) Radar sangat bermanfaat dalam mengamati arus permukaan di lokasi ini. HF Radar memiliki keunggulan dalam memonitor dan memetakan arus permukaan laut, baik secara spasial maupun temporal dengan resolusi yang cukup baik (Fuji *et al.*, 2013). Pengukuran HF radar biasanya dalam jangka waktu rata – rata per 15 menit secara *real time*. HF Radar dapat mengukur hingga 200 km dengan resolusi yang bervariasi antara 500 m hingga 6 km tergantung pada frekuensi radar. Sinyal HF Radar terpolarisasi secara vertikal dan disebarkan pada permukaan laut yang konduktif (Barrick & Snider, 1977). Contoh studi kasus pada peta arus HF Radar *real – time* yang ada di Pelabuhan Rotterdam. Pelabuhan Rotterdam mengalami arus sepanjang pantai hingga 2 knot, yang sebagian besar adalah akibat pasang surut tetapi juga didorong oleh angin, arus keluar terestrial, dan beberapa sirkulasi skala besar di Laut Utara (Heron *et al.*, 2016). Radar *array* WERA telah dipasang di setiap sisi pelabuhan untuk memetakan arus permukaan di area kritis untuk pelayaran. Penggunaan data HF Radar untuk meneliti karakteristik arus permukaan di berbagai musim telah banyak dilakukan di luar negeri. Contohnya oleh Aoki & Kataoka (2018); Jena *et al.* (2020); Samul, (2017) yang melakukan penelitian mengenai pergerakan arus permukaan di Laut Ariake Jepang, Perairan Pulau Andaman India dan Teluk Thailand di musim yang berbeda.

Karakteristik arus permukaan laut di perairan sekitar Bali telah dikaji oleh Theoyana *et al.* (2015) dan Tanto *et al.* (2017) di perairan Selat Badung dan Teluk Benoa dengan menggunakan data arus pengukuran ADCP. Di wilayah Selat Bali, penelitian arus permukaan dengan data HF Radar dilakukan oleh Setiawan (2020) pada musim barat yaitu Desember – Februari dan oleh Firdaus *et al.*, (2021) yang hanya dilakukan pada bulan Juli tahun 2020. Supriyadi *et al.* (2021) menyatakan bahwa pada bulan Juni, Juli, Agustus (musim timur) di Selat Bali memiliki kecepatan arus yang lebih tinggi dari bulan – bulan lainnya. Hal ini akan berpengaruh terhadap penentuan jalur pelayaran antara pelabuhan di Selat Bali. Penelitian ini bertujuan untuk melengkapi dan meneliti lebih dalam bagaimana karakteristik arus permukaan pada musim timur yaitu bulan Juni, Juli dan Agustus di jalur

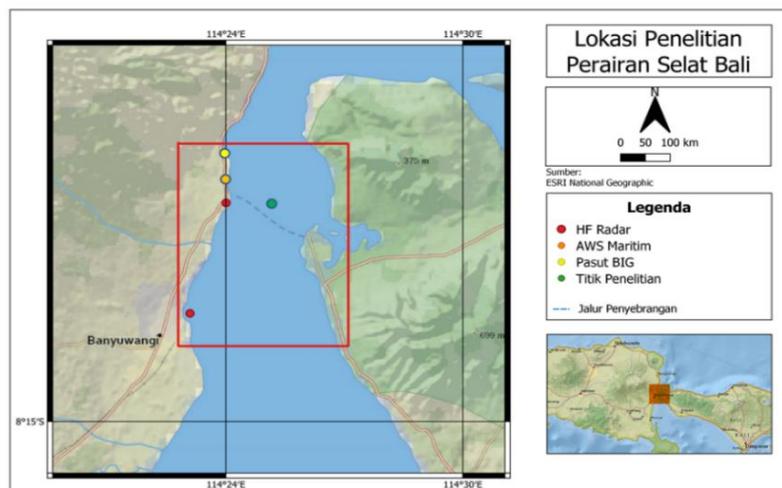
pelayaran kapal ferry antara pelabuhan di Selat Bali. Analisis dilakukan secara temporal untuk mengetahui dinamika arus permukaan di jalur yang dilalui oleh pelayaran kapal. Selain itu juga dilakukan analisis *Sea Level Anomaly* dan Hovmoller arus agar dapat lebih menjelaskan karakteristik arus permukaan pada musim timur. Pengetahuan mengenai arus pada musim timur di Selat Bali diharapkan dapat menjadi salah satu pertimbangan dan pedoman pengguna informasi seperti nahkoda kapal dalam menentukan alur pelayaran antara Pelabuhan Ketapang dan Pelabuhan Gilimanuk.

**MATERI DAN METODE**

Penelitian dilakukan pada musim timur ataupun bulan Juni, Juli dan Agustus tahun 2020, di wilayah perairan Selat Bali (Gambar 1). Titik hijau merupakan titik sampel yang mewakili jalur penyebrangan kapal ferry antara Pelabuhan Ketapang dan Pelabuhan Gilimanuk. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kecepatan dan arah arus permukaan hasil pengamatan dari alat High Frequency Radar yang dipasang secara berpasangan di dua titik di Pelabuhan Ketapang dan Pelabuhan Boom Banyuwangi milik BMKG di lokasi titik merah.

Data awal yang dihasilkan HF Radar adalah data kecepatan arus dalam arah zonal dan meridional. HF Radar bekerja dengan menggunakan prinsip Bragg Scattering. HF Radar akan memancarkan gelombang berfrekuensi tinggi dan menerima pantulan dari permukaan laut (Gambar 2). Panjang gelombang yang dipancarkan oleh HF Radar ialah sebesar 0–10 m dengan frekuensi 3–30 MHz (Barrick & Snider, 1977). Perbandingan rata – rata selama tiga jam dari kecepatan meridional antara data arus HF Radar dan ADCP di Selat Bali selama 10 hari menunjukkan nilai korelasi tinggi sebesar 0.813 dan RMSE 0.22 m/s (Firdaus *et al.*, 2021). Perbandingan analisis statistik antara kecepatan arus laut permukaan dari HF Radar dan ADCP dengan *lowpass filter* 36 jam, didapatkan nilai RMSE dan IA 6,4 cm/s dan 0,99. Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa output arus laut pengukuran HF Radar hasilnya hampir sesuai dengan pengukuran di lapangan dan dapat digunakan untuk mempelajari karakteristik arus laut permukaan di Selat Bali (Supriyadi *et al.*, 2021).

Selain data pengamatan arus juga digunakan data angin pengamatan *Automatic Weather Station* (AWS) maritime milik BMKG (titik oranye) dan data pasang surut bersumber dari stasiun pengamatan BIG (titik kuning) di pelabuhan Ketapang selama bulan Juni – Agustus tahun 2020. Data SLA bulanan bersumber dari *marine copernicus* tahun 2019 - 2020 dengan resolusi 0,25° x 0,25° digunakan untuk analisis *sea level anomaly* di wilayah utara Selat Bali (Laut Jawa) dan wilayah selatan Selat Bali (Samudra Hindia). Lokasi pemilihan titik ditunjukkan oleh gambar 3A.



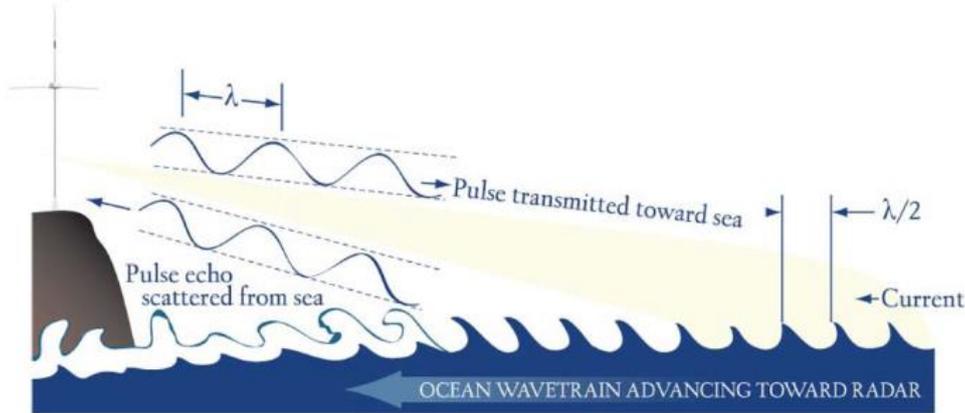
**Gambar 1.** Lokasi dan Titik Penelitian

Setiap bulannya diambil sampel waktu selama lima belas hari yang meliputi waktu pasang purnama dan pasang perbani. Analisa dilakukan dengan membandingkan arah dan kecepatan angin, arah dan kecepatan arus dan tinggi pasang surut. Kecepatan arus komponen  $u$  dan  $v$  juga dibandingkan untuk mengetahui komponen mana yang paling dominan. Hovmoller dibuat dengan mengekstrak kecepatan arus di sepanjang garis alur pelayaran. Jalur Pelayaran di bagi menjadi tiga segmen, yang dekat Pelabuhan Ketapang sebanyak 3 titik, bagian tengah 3 titik dan yang dekat pelabuhan Gilimanuk sebanyak 2 titik (Gambar 3B). Setiap bulan diambil sample waktu selama satu hari untuk melihat dinamika arus setiap jamnya.

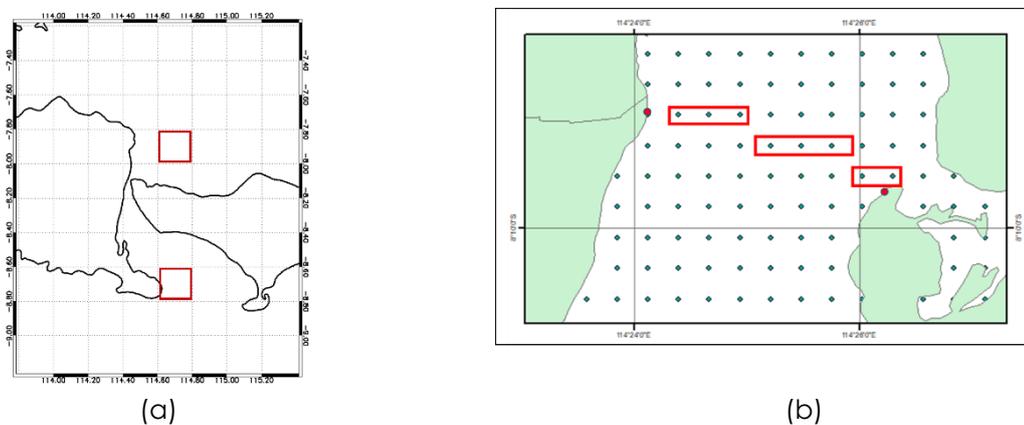
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Peta rata – rata bulanan arus permukaan pada bulan Juni, Juli dan Agustus (JJA) tahun 2020 ditunjukkan oleh Gambar 4. Garis hitam menunjukkan salah satu alur pelayaran kapal ferry di Selat Bali antara Pelabuhan Ketapang dan Pelabuhan Gilimanuk. Arus laut permukaan secara umum mengarah ke Selatan dengan rata - rata kecepatan arus maksimum 0.76–1.08 m/s. Terdapat perbedaan yang signifikan antara wilayah perairan timur Pulau Jawa dan perairan barat Pulau Bali. Perairan barat pulau bali kecepatannya berfluktuasi antara 0.3–1.08 m/s, sedangkan di perairan timur Pulau Jawa kecepatan arus cenderung konstan antara 0.1–0.75 m/s. Kecepatan arus laut meningkat pada bulan Juli dan menurun pada bulan Agustus.

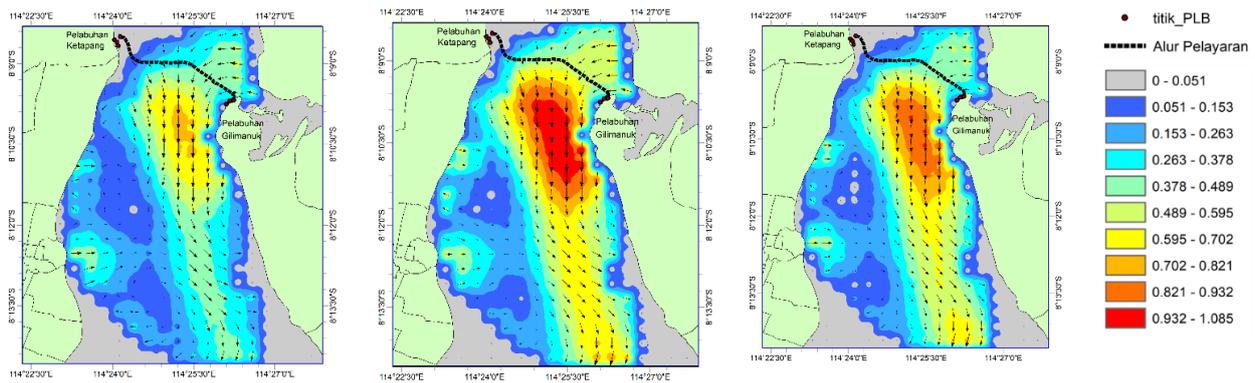
Supriyadi et al. (2021) menyatakan pada bulan Juni, Juli dan Agustus di tahun 2019 adalah bulan dengan kecepatan arus laut permukaan maksimum di Selat Bali sepanjang tahun. Sisi barat pulau Bali kecepatan arus laut permukaan bisa mencapai 140 cm/s dengan arus dominan menuju selatan. Dalam penelitian ini titik sampel yang digunakan termasuk dalam wilayah yang memiliki fluktuasi kecepatan arus permukaan laut yang cukup tinggi di Selat Bali.



**Gambar 2.** Cara Kerja HF Radar (Roarty et al., 2019)



**Gambar 3.** (a) Titik ekstrak data SLA, (b) Tiga segmen Hovmoller Arus



**Gambar 4.** Rata – rata bulanan arus permukaan bulan Juni, Juli, Agustus 2020

Hasil pengamatan arah dan kecepatan arus pada titik sampel pada bulan Juni, Juli dan Agustus ditunjukkan oleh Gambar 5. Arah arus pada musim timur di titik sampel dominan ke arah selatan dengan persentase 45–54%. Nilai arus kecepatan 1.1–1.6 m/s dan 1.6–2.1 m/s paling banyak terjadi pada bulan Juli dengan persentase 26 % dan 13 %.

Hasil pengukuran arah dan kecepatan angin di Pelabuhan Ketapang pada bulan Juni, Juli dan Agustus ditunjukkan oleh Gambar 6. Di ketiga bulan pada musim ini arah angin cenderung bertiup dari Selatan dengan persentase 43–54% dan Barat Daya dengan persentase 38–48%. Arah angin menuju Utara – Timur Laut sedangkan arah arus menuju Selatan, hal ini menunjukkan pengaruh angin yang kecil di perairan Selat Bali.

Penelitian arus permukaan oleh Setiawan (2020) di Selat Bali pada musim hujan tahun 2018 – 2019 menyatakan bahwa pergerakan arus total didominasi oleh arus pasang surut, dengan nilai perbandingan kecepatan rata-rata terhadap arus residu sebesar 2.655. Arah angin baratan dan angin lokal tidak berpengaruh terhadap pola gerak arus residu. Hal ini memiliki kesesuaian dengan hasil analisis arus permukaan di Selat Bali pada musim timur.

Kecepatan arus pada musim timur bila dibandingkan dengan data pasang surut selama lima belas hari polanya mengikuti fase pasang surut. Di ketiga bulan pada musim timur dapat dilihat bahwa kecepatan arus semakin meningkat ketika fase menuju pasang dan fase menuju surut (Gambar 7). Hal ini sejalan dengan penelitian (Indrayanti *et al.*, 2014) dan (Tanto *et al.*, 2017) di Karimun Jawa dan Teluk Benoa, dimana fluktuasi kecepatan arus laut mengikuti pola tinggi pasang surut. Sesuai dengan teori bahwa pasang surut merupakan faktor utama yang mempengaruhi perubahan tinggi muka air dan arus di perairan pantai dan estuari (Suryanti *et al.*, 2019).

Pada bulan Juni, Juli dan Agustus kecepatan arus lebih tinggi ketika terjadi pasang purnama dan sebaliknya kecepatan arus lebih rendah ketika pasang perbani. Kondisi ini sama dengan pola arus di Teluk Benoa yang memiliki kecepatan arus yang tinggi saat purnama dan lebih tenang ketika pasang perbani (Tanto *et al.*, 2017). Kondisi ini dipicu oleh gaya pembangkit pasang surut yang cenderung menguat ketika pasang purnama, sehingga lebih banyak volume air yang dipindahkan melalui arus jika dibandingkan ketika pasang perbani, akibatnya kecepatan arus akan menjadi lebih tinggi (Surbakti, 2012). Arah arus juga menunjukkan pengaruh pasang surut yang kuat. Ketika pasang, arah arus permukaan cenderung mengarah ke utara yaitu ke arah Laut Jawa, sedangkan ketika surut arah arus permukaan cenderung mengarah ke selatan ke Samudra Hindia.

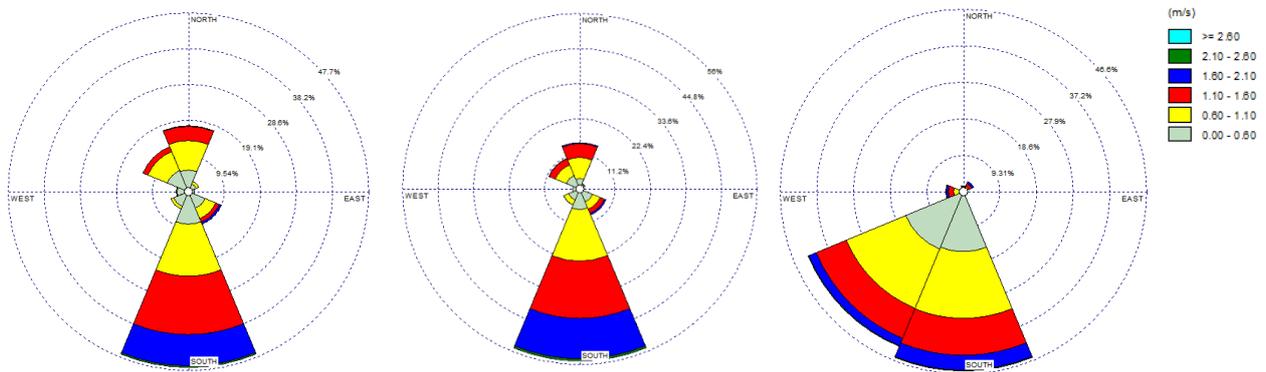
Pada bulan Juni kecepatan komponen arus timur - Barat (u) minimum – maksimum sebesar -0.71-0.72 m/s. Komponen utara – selatan (v) minimum – maksimum sebesar -2.11-1.47 m/s. Pada bulan Juli kecepatan komponen u minimum – maksimum sebesar -0.85-0.82 m/s. Komponen v minimum – maksimum sebesar -2.11-1.58 m/s. Pada bulan Agustus kecepatan komponen u minimum

– maksimum sebesar -0,91-0.69 m/s. Komponen v minimum – maksimum sebesar -2.21-1.63 m/s (Gambar 8).

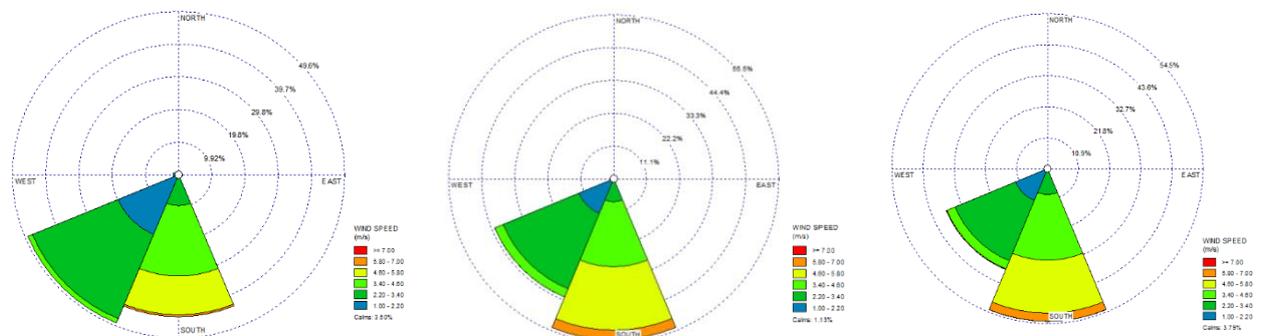
Berdasarkan grafik kecepatan arus komponen u dan v, terlihat bahwa nilai kecepatan arus komponen v lebih tinggi dari komponen u di setiap bulan pada musim timur. Perbedaan kecepatan arus komponen v yang signifikan juga dapat diamati antara fase pasang purnama dan pasang perbani, dimana kecepataannya lebih tinggi ketika pasang purnama. Nilai kecepatan komponen v positif menunjukkan arah arus bergerak ke utara sedangkan ketika bernilai negatif arah arus ke selatan. Sesuai dengan grafik arah arus dan tinggi pasang surut sebelumnya, kecepatan arus komponen v cenderung lebih besar bernilai negatif (-2.21 m/s) dan mengarah ke selatan ketika kondisi menuju surut.

Gambar 9 menunjukkan variasi *sea level anomaly* bulanan tahun 2019 - 2020. Di bagian utara Selat Bali, nilai SLA maksimum terjadi pada bulan Desember dan Februari, kemudian menurun dan bernilai minimum pada bulan Agustus – September. Di Selatan Bali, SLA maksimum terjadi pada bulan April, dan terendah pada bulan September. Wilayah utara dan selatan, memiliki nilai yang hampir sama pada bulan April, Mei, Oktober dan November.

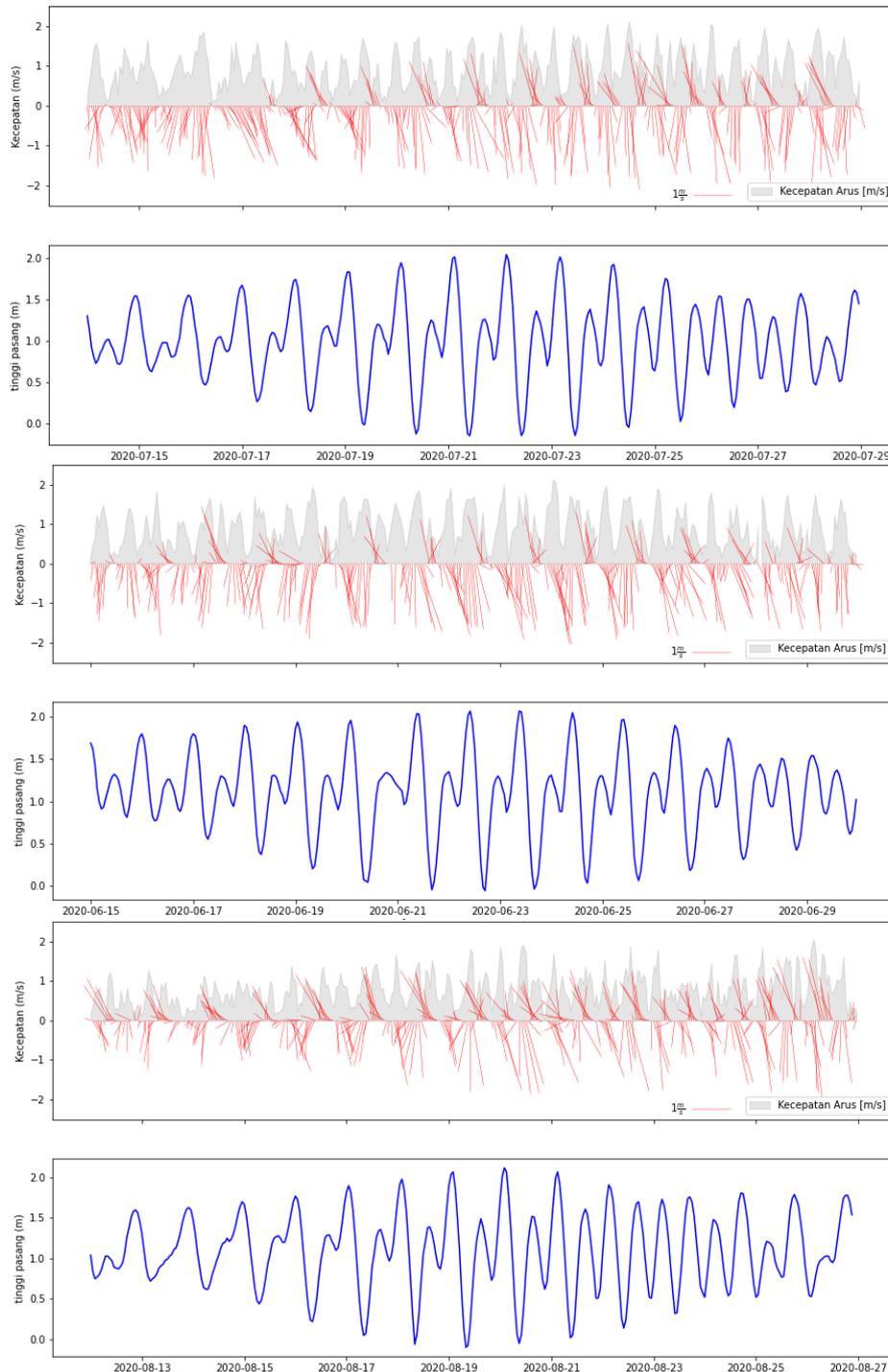
Pada bulan JJA nilai SLA positif lebih tinggi di bagian utara Selat Bali dibandingkan dibagian Selatan. Hal ini berarti wilayah utara Selat Bali memiliki tinggi muka laut yang lebih tinggi dari wilayah selatan, sehingga arus cenderung mengarah dari utara ke selatan melalui Selat Bali seperti pada gambar 5. Hal ini sesuai dengan penelitian Fadlan & Rosanti (2019) yang menyatakan tinggi permukaan laut terendah berada di lintang 8°LS – 10°LS yaitu di sepanjang



Gambar 5. Current Rose bulan Juni, Juli dan Agustus 2020



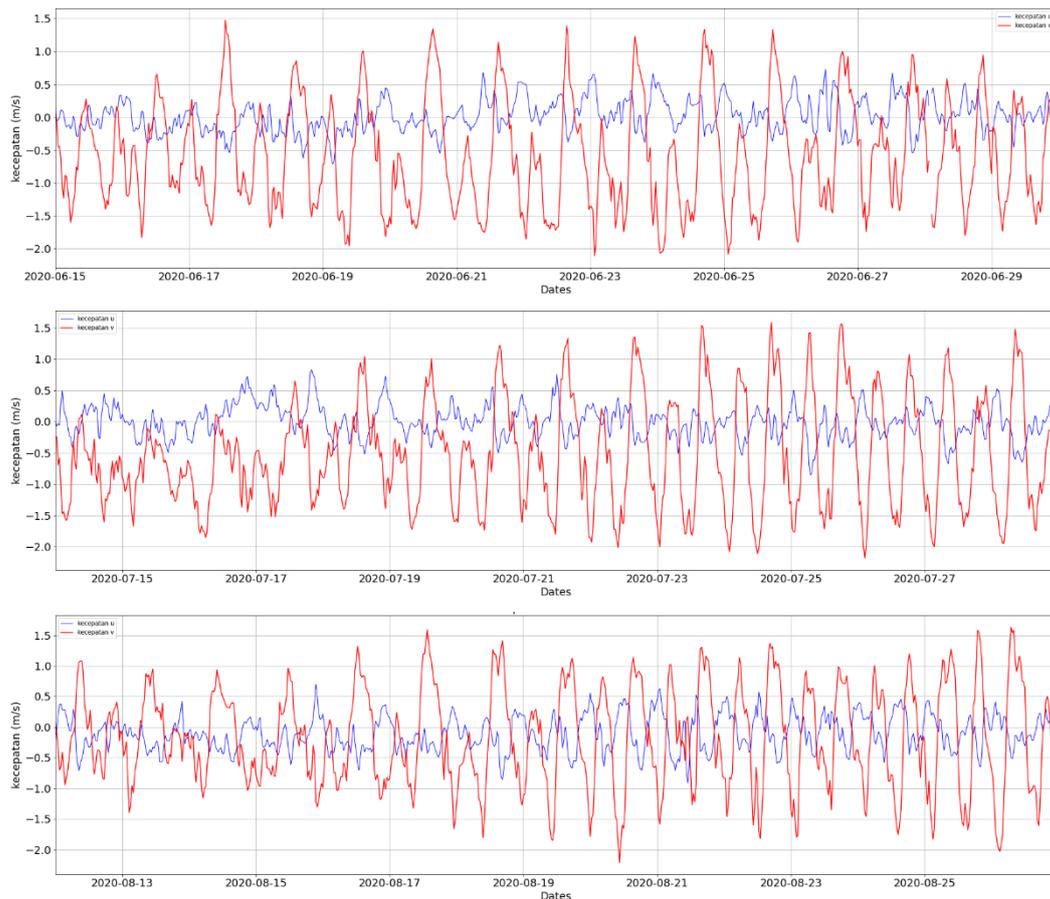
Gambar 6. Wind rose angin bulan Juni, Juli dan Agustus 2020



**Gambar 7.** Kecepatan dan arah arus permukaan terhadap tinggi pasang surut bulan Juni, Juli dan Agustus 2020

perairan Selatan Jawa. Tinggi muka laut yang rendah di Selatan Selat Bali pada musim timur juga salah satunya diakibatkan oleh terjadinya *upwelling* akibat angin yang bertiup sejajar dari benua Australia (Rendhy. *et al.*, 2015). Perbedaan SLA antara wilayah Selat Bali bagian Utara dan Selatan menjadi salah satu penyebab tingginya nilai kecepatan arus komponen  $v$  pada musim timur.

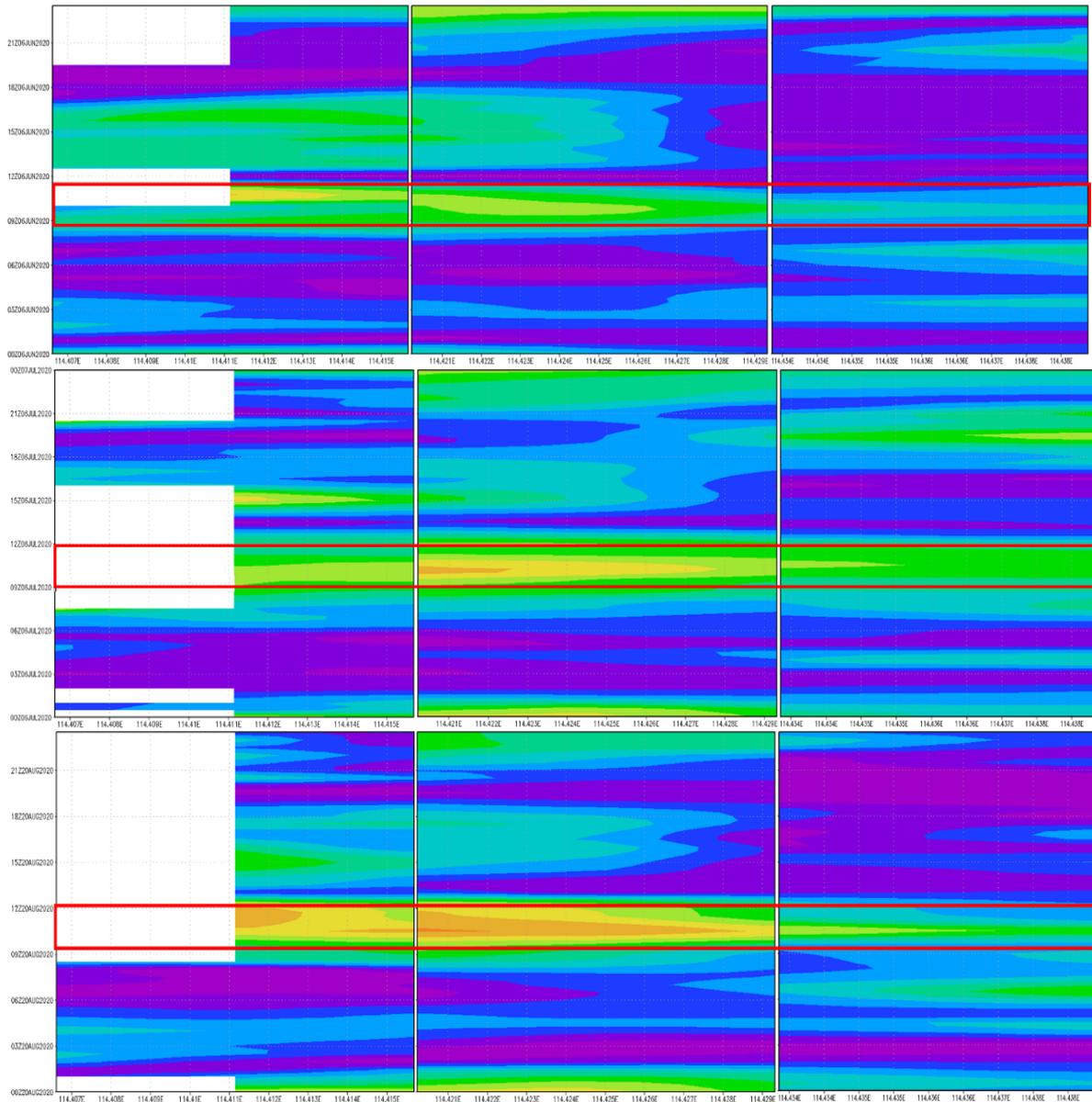
Berdasarkan diagram hovmoller pada tanggal 6 Juni, 6 Juli dan 20 Agustus (Gambar 10), perubahan kecepatan arus terhadap waktu sama bila dibandingkan dengan gambar 7, dimana kecepatan arus yang besar terjadi ketika waktu menuju surut dan menuju pasang. Berdasarkan segmen alur pelayaran 1 dan 2 (kiri ke kanan), pola kecepatan arus laut sangat dipengaruhi oleh pasang surut, terlihat fluktuasi yang signifikan setiap jamnya. Segmen 3 dekat Pelabuhan Gilimanuk juga memiliki pola kecepatan arus yang sama dengan segmen 1 dan 2, namun terlihat bahwa kecepatan arusnya lebih rendah dari segmen 1 dan 2. Segmen 2 atau wilayah tengah perairan yang memiliki nilai paling maksimum mencapai 2.25–2.5 m/s. Kecepatan rendah terjadi pada pukul 04.00–07.00 UTC atau 11.00–14.00 WIB, sedangkan kecepatan tinggi terjadi pada pukul 09.00–12.00 UTC atau 16.00–19.00 WIB.



**Gambar 8.** Kecepatan arus komponen u dan v, bulan Juni, Juli dan Agustus 2020



**Gambar 9.** Grafik Sea Level Anomaly Bulanan tahun 2019 -2020



**Gambar 10.** Diagram Hovmoller Arus di Segmen Alur Pelayaran 1, 2 dan 3

Berdasarkan grafik time series dan hovmoller, terlihat bahwa fluktuasi kecepatan arus permukaan komponen v dan total mengikuti fase pasang purnama dan perbani. Kecepatan arus komponen v dan total lebih tinggi ketika pasang purnama dibandingkan ketika pasang perbani. Ketika fase menuju puncak pasang dan menuju surut, kecepatan arus permukaan memiliki nilai yang tinggi. Demikian pula dengan arah arus, ketika air laut pasang maka arah arus menuju utara, sebaliknya ketika air laut surut maka arus menuju selatan. Pola perubahan arah arus ini terlihat jelas baik ketika pasang purnama maupun pasang perbani. Komponen harmonik M2 di Selat Bali menunjukkan arus komponen utara – selatan yang kuat dibandingkan dengan arus komponen timur – barat, sehingga menyebabkan osilasi arus pasang surut ke utara dan selatan (Hanifa *et al.*, 2020)

Batimetri dan morfologi pantai juga mempengaruhi variasi arus permukaan di Selat Bali. Berdasarkan Usman (2007), bagian tengah Selat Bali antara Pelabuhan Ketapang dan Gilimanuk (segmen 2) memiliki dasar laut berbentuk lembah dengan kedalaman 85 – 140 meter, sedangkan

pada perairan dekat Pelabuhan Ketapang (segmen 1) dan Perairan dekat Gilimanuk (segmen 3) kedalamannya adalah 10 – 40 meter. Perbedaan ketinggian dasar laut (batimetri) mempengaruhi perbedaan kecepatan di tengah dan pinggir perairan. Morfologi pantai memberikan pengaruh dominan pada arus ke arah selatan, karena berasal dari pintu selat yang lebih sempit sehingga kecepatannya lebih kencang. Gaya gesek lateral dengan pinggir pantai menyebabkan kecepatan arus dekat pantai lebih rendah (Evans *et al.*, 2013).

Arah angin pada musim timur di Selat Bali cenderung bertiup dari arah selatan menuju utara dengan kecepatan yang cukup tinggi dibandingkan ketika musim peralihan. Namun, berdasarkan analisa grafik arus permukaan arah dominannya adalah ke selatan bertolak belakang dengan angin. Pengaruh angin terhadap arus permukaan laut di Selat Bali sangat kecil jika dibandingkan dengan parameter oseanografi yang lain seperti gelombang Purwanto *et al.* (2021) dan suhu permukaan laut Wirasatriya *et al.* (2019) yang dinamikanya sangat dipengaruhi oleh angin dan musim. Nilai kecepatan arus maksimum di musim timur adalah berkisar di 2.1 m/s. Menurut Ismanto *et al.*, (2019), Arus secara keseluruhan yang kecepatannya di atas nilai batas kebutuhan turbin (*cut in speed*) yaitu 0,5 m/s, secara umum memiliki potensi energi arus laut di semua musim, sehingga perairan Selat Bali juga memiliki potensi untuk menjadi sumber energi arus laut karena kecepatannya sudah melebihi *cut in speed*.

Di Jalur penyeberangan antara Pelabuhan Ketapang dan Gilimanuk Bali tidak terdapat peta pedoman khusus yang menggambarkan alur untuk menyeberang. Karena jarak hanya 5 km dan antar pulau terlihat oleh mata, maka nahkoda menggunakan kebiasaan dengan memperhatikan kondisi arus dan cuaca pada saat itu serta kapal disekitarnya untuk menentukan alur pelayaran antara Ketapang – Gilimanuk dan sebaliknya. Pengetahuan mengenai karakteristik arus permukaan sangat bermanfaat, sehingga nahkoda dapat mengubah alur pelayarannya agar tidak terbawa arus dan sebaliknya bisa juga dengan memanfaatkan arah dan kecepatan arus saat itu agar sampai tepat pada waktunya.

## KESIMPULAN

Karakteristik arus permukaan di Selat Bali sangat di pengaruhi oleh pasang surut. Pada musim timur, rata – rata kecepatan arus di lokasi penelitian berkisar antara 0.1–1.08 m/s. Arah arus permukaan dominan ke arah selatan. Kecepatan arus lebih besar ketika pasang purnama dan ketika menuju surut. Anomali SLA dan morfologi pantai juga mempengaruhi karakteristik arus permukaan di Selat Bali. Wilayah tengah perairan Selat Bali memiliki kecepatan arus yang lebih besar. Informasi mengenai waktu – waktu dan wilayah perairan dengan kecepatan arus yang tinggi dapat menjadi dasar dalam penentuan alur pelayaran kapal di Selat Bali.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aoki, K. & Kataoka, T. (2018). High-frequency ocean radar derived characteristics of sea surface currents in the Ariake Sea, Japan. *Journal of Oceanography*, 74(4), 431–437. doi: 10.1007/s10872-018-0464-2
- Barrick, D.E. & Snider, J.B. (1977). The Statistics of HF Sea-Echo Doppler Spectra. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2(1), 19–28. doi: 10.1109/JOE.1977.1145317
- Bialystocki, N. & Konovessis, D. (2016). On the estimation of ship's fuel consumption and speed curve: A statistical approach. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 1(2), 157–166. doi: 10.1016/j.joes.2016.02.001
- Brown, J. (2016). *Ocean circulation*. Open University.
- Chen, C., Shiotani, S. & Sasa, K. (2015). Effect of ocean currents on ship navigation in the east China sea. *Ocean Engineering*, 104, 283–293. doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.04.062
- Dimas, R., Setiyono, H., & Helmi, M. (2015). Arus Geostropik Permukaan Musiman Berdasarkan Data Satelit Altimetri Tahun 2012-2013 Di Samudera Hindia Bagian Timur. *Jurnal Oseanografi*, 4(4), 756–764.

- Evans, P., Armstrong, S., Wilson, C., Fairley, I., Wooldridge, C. & Masters, I. 2013. Characterisation of a Highly Energetic Tidal Energy Site with Specific Reference to Hydrodynamics and Bathymetry. *European Wave and Tidal Energy Conference*, p.1–11
- Fadlan, A. & Rosanti, R. (2019). Variabilitas Tinggi Muka Laut di Indonesia Berdasarkan Pengamatan Satelit Altimetri. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh Ke-6*, p.468–473.
- Firdaus, R., Siadari, E. L. & Alfahmi, F. (2021). Measurement and Analysis of Ocean Current using High-Frequency (HF) Radar Observation in the Bali Strait. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 893(1), p.012053. doi: 10.1088/1755-1315/893/1/012053
- Fujii, S., Heron, M.L., Kim, K., Lai, J.W., Lee, S.H., Wu, X., Wu, X., Wyatt, L. R. & Yang, W.C. (2013). An overview of developments and applications of oceanographic radar networks in Asia and Oceania countries. *Ocean Science Journal*, 48(1), 69–97. doi: 10.1007/s12601-013-0007-0
- Hanifa, A.D., Syamsudin, F., Zhang, C., Mutsuda, H., Chen, M., Zhu, X.H., Kaneko, A., Taniguchi, N., Li, G., Zhu, Z.N., & Gohda, N. (2020). Tomographic measurement of tidal current and associated 3-h oscillation in Bali Strait. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 236(February), p.106655. doi: 10.1016/j.ecss.2020.106655
- Heron, M., Gomez, R., Weber, B., Dzvonkovskaya, A., Helzel, T., Thomas, N. & Wyatt, L. (2016). Application of HF Radar in Hazard Management. *International Journal of Antennas and Propagation*, Article ID 4725407. doi: 10.1155/2016/4725407
- Ismanto, A., Ismunarti, D.H., Sugianto, D.N., Maisyarah, S., Subardjo, P., Dwi-Suryoputro, A.A. & Siagian, H. (2019). The potential of ocean current as electrical power sources alternatives in Karimunjawa Islands Indonesia. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 4(6), 126–133. doi: 10.25046/aj040615
- Jena, B.K., Arunraj, K.S., Suseentharan, V. & Ramanamurthy, M.V. (2020). Surface circulation off the Andaman Islands from HF radar observations. *Current Science*, 118(11), 1739–1745. doi: 10.18520/cs/v118/i11/1739-1745
- Pranowo, W. S., Kuswardhani, A.R. & Purwanto, P. (2015). Karakteristik arus pasang surut di selat Badung, Bali. *Segara Journal*, 11(2), 115–123.
- Purwanto, Sugianto, D.N., Zainuri, M., Permatasari, G., Atmodjo, W., Rochaddi, B., Ismanto, A., Wetchayont, P., & Wirasatriya, A. (2021). Seasonal variability of waves within the Indonesian seas and its relation with the monsoon wind. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 26(3), 189–196. doi: 10.14710/ik.ijms.26.3.189-196
- Roarty, H., Cook, T., Hazard, L., George, D., Harlan, J., Cosoli, S., Wyatt, L., Alvarez Fanjul, E., Terrill, E., Otero, M. & Largier, J. (2019). The global high frequency radar network. *Frontiers in Marine Science*, 6, p.164. doi: 10.3389/fmars.2019.00164
- Saramul, S. (2017). Seasonal monsoon variations in surface currents in the Gulf of Thailand revealed by high frequency radar. *Engineering Journal*, 21(4), 25–37. doi: 10.4186/ej.2017.21.4.25
- Setiawan, F. (2020). Pergerakan Arus Permukaan Laut Selat Bali Berdasarkan Parameter Angin Dan Cuaca. *Jurnal Riset Kelautan Tropis*, 1(2), 1-15. doi: 10.30649/jrkt.v1i2.25
- Supriyadi, E., Hidayat, R., Santikayasa, I.P., & Ramdhani, A. (2021). An Analysis of Surface Ocean Currents from HF Radar Measurements in the Bali Strait and the Flores Sea, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11(4), 1521–1534. doi: 10.18517/ijaseit.11.4.14265
- Surbakti, H. (2012). Karakteristik pasang surut dan pola arus di Muara Sungai Musi, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 15(1), 35–39.
- Suryanti, Supriharyono, & Anggoro, S. (2019). *Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu*. FPIK UNDIP
- Tanto, T.A.I, Wisha, U.J., Kusumah, G., Pranowo, W.S., & Husrin, S. (2017). Karakteristik Arus Laut Teluk Benoa - Bali (Characteristics of Sea Current in Benoa Bay Waters – Bali). *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 23(1), 37–48.
- Tarhadi, T., Indrayanti, E. & Dwi-Suryoputro, A.A. (2014). Studi Pola Dan Karakteristik Arus Laut Di Perairan Kaliwungu Kendal Jawa Tengah Pada Musim Peralihan I. *Jurnal Oseanografi*, 3(1), 16–25.
- Usman, E. 2007. Penentuan lokasi sarana penghubung jawa - bali (selat bali) sesuai dengan kondisi optimal geologi kelautan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 17(4), 233-242
- Wirasatriya, A., Sugianto, D.N., Helmi, M., Setiawan, R.Y., & Koch, M. (2019). Distinct Characteristics of

SST Variabilities in the Sulawesi Sea and the Northern Part of the Maluku Sea during the Southeast Monsoon. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(6), 1763–1770. doi: 10.1109/JSTARS.2019.2913739  
World Meteorological Office. (2018). *Guide to Marine Meteorological Services*. Switzerland