

---

**ESTIMASI ARUS GEOSTROPIK DI PERAIRAN INDONESIA BAGIAN TIMUR  
DENGAN MENGGUNAKAN SATELIT ALTIMETRI**  
*ESTIMATIONS THE GEOSTROPHIC CURRENT IN THE EASTERN INDONESIAN SEAS USING  
ALTIMETRY SATELLITE*

**Eko Yuli Handoko\*, Muhammad Aldila Syariz dan Arina Mahdiyah**

Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Indonesia 60111

\*Corresponding author email: [ekoyh@its.ac.id](mailto:ekoyh@its.ac.id)

Submitted: 26 July 2023 / Revised: 26 August 2024 / Accepted: 27 August 2024

<http://doi.org/10.21107/jk.v17i2.21511>

**ABSTRAK**

Letak Indonesia yang berada di antara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia menjadi jalur utama transportasi massa air dari Pasifik menuju Hindia juga menjadi tempat bercampurnya massa air dengan karakteristik yang berbeda. Pergerakan arus dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia melewati perairan Indonesia Timur dikenal dengan Indonesian Trough Flow. Arus geostropik yang merupakan komponen penting dari sirkulasi samudera penting di perairan Indonesia bagian timur yang meliputi Laut Banda, Laut Arafura, Laut Timor, Laut Halmahera, dan Laut Sulawesi. Satelit Altimetri adalah teknik penginderaan jauh untuk memantau ketinggian permukaan laut, telah menawarkan wawasan penting ke dalam interaksi antara arus geostropik dan penentuan cuaca karena adanya interaksi laut dengan atmosfer. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi sirkulasi geostropik di perairan Indonesia Timur dengan menggunakan data satelit altimetri Jason-3 dan Sentinel-3 selama 2016-2021. Penentuan arus geostropik dilakukan dengan metode numerikal menggunakan persamaan Stewart yang memanfaatkan nilai Dynamic Ocean Topography dari data altimetri sehingga diperoleh komponen arus zonal dan arus meridional. Dari perhitungan korelasi antara Dynamic Ocean Topography dan Indeks Multivariate ENSO (MEI) Index diperoleh koefisien -0,8176 (memiliki hubungan sangat kuat tetapi berkebalikan) sedangkan untuk arus zonal dengan indeks angin muson diperoleh -0,2312 untuk Australian Monsoon Index dan 0,4472 untuk Western North Pacific Monsoon Index.

**Kata Kunci:** Arus geostropik, Dynamic Ocean Topography, Satelit Altimetri

**ABSTRACT**

The location of Indonesia, which is between the Pacific and Indian Ocean, is the only route for air mass transportation from the Pacific to the Indian Ocean. It is also a place where water masses with different characteristics mix. The movement of currents from the Pacific Ocean to the Indian Ocean through East Indonesian waters is known as the Indonesian Trough Flow. Geotropic currents which are an important component of important ocean circulation in eastern Indonesian waters which include the Banda Sea, Arafura Sea, Timor Sea, Halmahera Sea and Celebes Sea. Satellite altimetry, a remote sensing technique for monitoring sea level elevation, has offered important insights into the interaction between geotropic currents and weather due to the interaction of the ocean with the atmosphere. The purpose of this work is to investigate and evaluate the geotropic circulation in East Indonesian waters using data from the Jason-3 and Sentinel-3 altimetry satellites during 2016-2021. The handling of geostrophic currents is carried out by a numerical method using the Stewart equation which utilizes Dynamic Ocean Topography values from altimetry data so that the components of zonal and meridional currents are obtained. From the calculation of the correlation on the Dynamic Ocean Topography and the Multivariate ENSO Index, a coefficient of -0.8176 is obtained, while for zonal currents with a monsoon index, it is -0.2312 for the Australian Monsoon Index and 0.4472 for the Western North Pacific Monsoon Index.

**Keywords:** Geotropic currents, Dynamic Ocean Topography, Altimetry Satellites

---

## PENDAHULUAN

Perubahan iklim pada beberapa tahun terakhir terus meningkat, perubahan secara alamiah ini akan menimbulkan beberapa kejadian alam lainnya. Iklim merupakan kondisi rata-rata cuaca pada suatu daerah dalam jangka waktu yang lama, maka perubahan iklim terjadi ketika rata-rata cuaca dari sebuah daerah berubah dari jangka waktu yang panjang (NASA, 2023). Perubahan iklim tidak dapat diabaikan dengan dampak negatif pada alam seperti kekeringan dan banjir. Perubahan iklim yang terjadi tidak bersifat regional atau pada satu daerah saja akan tetapi terhubung secara global dimana dampak dari iklim yang berubah dapat diraksakan pada daerah lain juga. Negara Indonesia yang memiliki wilayah luas yang didominasi oleh lautan, maka Indonesia dapat memberikan dampak pada perubahan iklim.

Kedalaman laut di Indonesia memiliki variasi yang beragam, salah satunya laut dalam di bagian Indonesia Timur yang memiliki topografi laut dalam. Indonesia memiliki peran penting pada sistem iklim dimana terjadi pergerakan massa air yang memengaruhi sirkulasi antara dua samudera. *Indonesian Through Flow* (ITF) merupakan pergerakan air dari Samudera Pasifik Barat menuju Samudera Hindia Selatan yang melalui kepulauan Indonesia (Sprintall & Revelard, 2014). ITF menjadi satu-satunya jalur laut utama pada lintang rendah dimana terjadi peristiwa percampuran komponen pemicu iklim juga terdapat anomali dalam sirkulasi termohalin global. Dalam pergerakan air tersebut volume, suhu, dan densitas yang dibawa dari Pasifik Barat akan berdampak pada negara disekitar Samudera Pasifik dan Hindia (Sprintall & Revelard, 2014). Percampuran yang terjadi pada laut Indonesia yang juga disebut sebagai "mix-master" menjadikan aliran air dari Pasifik berubah memiliki stratifikasi tropis khas Indonesia (Radjawane Dan Hadipoertanto, 2014)

Pergerakan massa air pada ITF dipicu oleh perbedaan tekanan antar dua samudera akibat adanya perbedaan tekanan dan akibat gaya coriolis maka timbul Arus geostropik merupakan arus yang terjadi di permukaan laut akibat adanya pengaruh gaya gradien tekanan mendatar dan diseimbangkan oleh gaya coriolis (Richasari & Handoko, 2021). Penentuan kecepatan dan arah arus geostropik dapat diestimasi dengan memanfaatkan nilai tinggi muka air laut yang diperoleh dari data observasi satelit altimetri.

Berdasarkan Guo, et.al, penentuan nilai arus geostropik dapat diperoleh dari penggabungan dua data satelit altimetri yang memiliki beda lintasan dengan menggunakan metode *crossover adjustment*. Dalam penelitian akan dilakukan penggabungan dua data satelit altimetri yaitu Jason-3, dengan waktu pengulangan di titik yang sama setiap 10 hari dengan jarak di ekuator antar titik pass 315 km dan Sentinel-3 dengan waktu pengulangan di titik yang sama setiap 27 hari dengan jarak di ekuator antar titik pass 104 km.

Telah banyak peneliti yang melakukan penelitian dalam memperhitungkan arus geostropik dengan memanfaatkan tinggi muka air laut yang diperoleh dari observasi data satelit altimetri. Arus geostropik merupakan arus tanpa gesekan karena tidak dipengaruhi oleh angin akan tetapi pergerakan arus dipengaruhi oleh gaya tekanan mendatar untuk pergerakan secara horizontal dan dipengaruhi oleh efek coriolis yang timbul karena adanya rotasi bumi (Pick & Picard, 1983). Penentuan arus geostropik memanfaatkan tinggi muka air laut, dalam Chu, P. (2018) menyebutkan penentuan komponen kecepatan arus zonal ( $u$ ) dan meridional ( $v$ ) dengan menggunakan nilai *Dynamic Ocean Topography*.

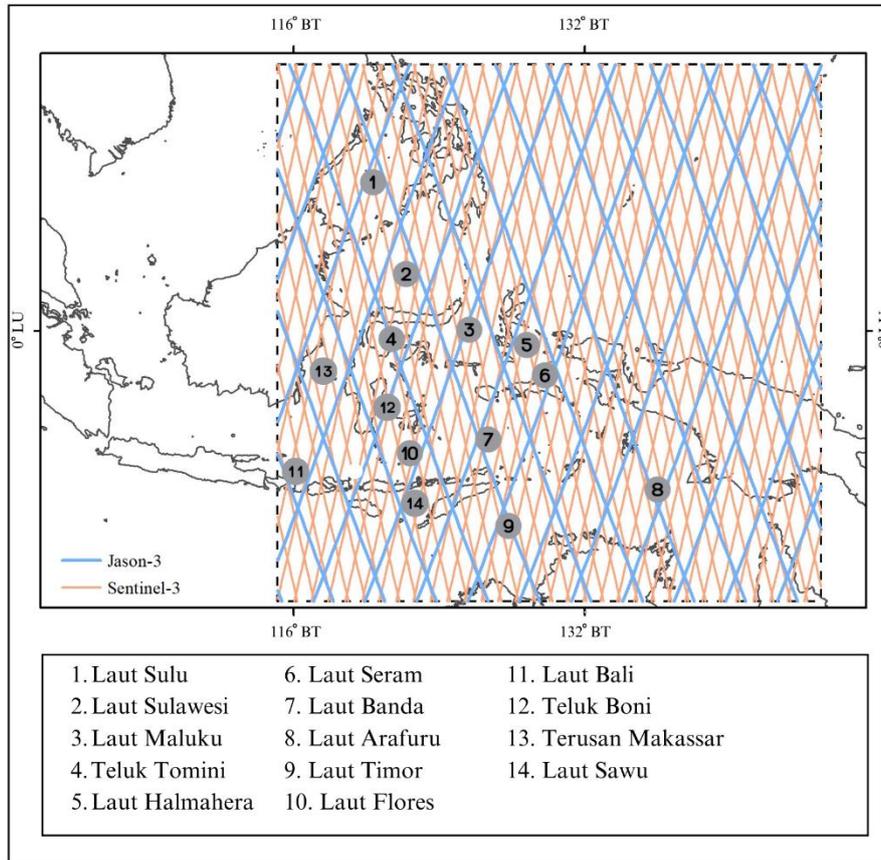
Pergerakan arus tidak hanya membawa massa air akan tetapi juga suhu dan salinitas. Adanya interaksi antara permukaan air dengan angin menentukan musim yang terjadi di daratan sekitarnya. Cuaca yang terjadi di Indonesia dipengaruhi oleh peristiwa *El Nino Shouthern Oscillation* (ENSO) dan angin muson. Pemantauan terhadap kedua peristiwa tersebut dapat dilihat dari data Indeks masing-masing seperti *Multivariate ENSO Index* (MEI), *Australia Summer Monsoon Index* (AUSMI), dan *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI). Pergerakan arus memberi peran dalam terjadinya musim tertentu, dalam penelitian dilakukan perhitungan korelasi antara data arus dengan indeks untuk melihat hubungan yang terjadi diantar keduanya.

## BAHAN DAN METODE

Data dalam penelitian terdiri dari data utama yaitu data ketinggian muka air laut bereferensi pada geoid yang dapat diperoleh dari RADS 2016 hingga 2021 dimana menggunakan data observasi satelit altimetri milik Jason-3 dan Sentinel-3a ([https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lisa/RA\\_DS.php](https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lisa/RA_DS.php)). Kemudian terdapat data indeks MEI (<https://psl.noaa.gov/enso/mei/>) untuk melihat hubungan nilai DOT dengan fenomena ENSO

kemudian indeks AUSMI dan indeks WNPMI untuk melihat hubungan arus dengan angin muson dari tahun 2016 hingga 2021. Perhitungan arus geostropik dilakukan di Laut Indonesia Timur dengan batas geografis 115°

BT – 145° BT dan 15° LU – 15° LS yang mencakup Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Halmahera, Laut Seram, Laut Banda, Laut Arafuru, Laut Timor, Laut Sawu, Laut Bali, Laut Flores, dan Terusan Makassar.



Gambar 1. Batas Lokasi Penelitian

**Penentuan Kecepatan Arus**

Pada data RADS dari kedua satelit Jason 3 dan Sentinel 3 dibutuhkan data DOT untuk penentuan kecepatan arus. Dalam penentuan DOT diperlukan data SSH yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Handoko, et al., 2017)

$$SSH(h) = H - R_{obs} - \Delta R_{Koreksi} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana, H = tinggi wahana satelit terhadap ellipsoid referensi (m);  $R_{obs}$  = adalah jarak observasi altimeter dengan permukaan air (m);  $\Delta R_{Koreksi}$  = adalah koreksi terhadap bias yang disebabkan oleh atmosfer ataupun pasang surut.

Data SSH yang diperoleh dari dua satelit Jason-3 dan Sentinel-3 memiliki periode berbeda dimana Jason-3 selama 10 hari dan Sentinel-3 27 hari untuk memperoleh data yang lebih rapat dilakukan perhitungan crossover (Handoko dan Hariyadi, 2018) atau

penggabungan data antara dua satelit sehingga data dari Jason-3 dan Sentinel-3 dapat digunakan bersamaan. Dari perhitungan crossover diperoleh 216 cycle dengan nilai SSH yang telah terkoreksi. Dalam penentuan nilai arus menggunakan nilai DOT yang mana ditentukan dengan mengurangi sea surface height (SSH) dengan undulasi (N) (Chu, 2018):

$$D = S - N \dots\dots\dots (2)$$

Perhitungan nilai DOT dapat dilakukan menggunakan persamaan (2) Data DOT yang telah diperoleh dilakukan gridding data dengan ukuran grid 1°x1°. Adapun nilai DOT masih dalam bentuk cycle sehingga dilakukan perhitungan rata-rata untuk setiap bulan dari tahun 2016-2021.

Penentuan kecepatan arus geostropik ditentukan dengan menghitung nilai komponen arus yaitu arus zonal (u) dan arus meridional

(v) dalam penentuannya menggunakan persamaan berikut (Chu, 2018):

$$u_s = -\frac{g}{f} \frac{dD}{dy}; \quad v_s = \frac{g}{f} \frac{dD}{dx} \dots\dots\dots (3)$$

Perhitungan arah dan kecepatan arus dilakukan secara numerikal. Pada data arus hasil perhitungan diperoleh nilai kecepatan arus zonal, arus meridional, dan resultan kecepatan arus. Pada data dilakukan penyuaian untuk data *outliers* sehingga diperoleh data arus zonal dan meridional terkoreksi. Kemudian dilakukan penggambaran arah arus sehingga diperoleh peta pola arus geostropik.

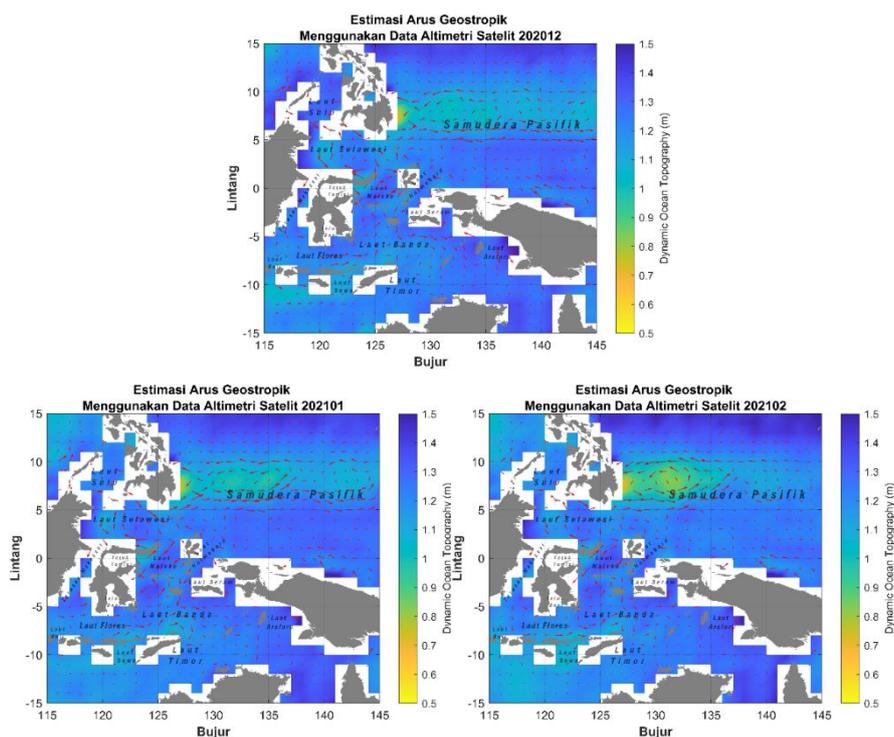
**Uji Statistik**

Untuk melihat hubungan antara arus geostropik dengan fenomena ENSO dan angin muson dilakukan perhitungan statistika dengan metode *cross correlation* dengan tujuan untuk melihat kekuatan dan arah

hubungan diantara dua variabel. Dimana variabel yang akan di ukur adalah arus zonal geostropik dengan indeks AUSMI dan indeks WPNMI. Sedangkan untuk data DOT 2016 hingga 2021 diukur dengan indeks MEI.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada peta arus geostropik yang berhasil digambarkan memiliki pola tertentu mengikuti nilai dari DOT, pergerakan arus cenderung bergerak dari nilai DOT rendah menuju DOT yang lebih tinggi. Perairan Indonesia berada pada *Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ) dimana angin yang bergerak sangat dipengaruhi oleh pola monsoon. Angin muson yang bergerak dari asia pada musim panas di bulan Juli- September dan angin dari Australia pada musim dingin di bulan Januari-Maret masing-masing angin bergantian memberikan pengaruh pada tinggi muka air laut. berdasarkan hasil yang diperoleh, di tampilkan pada gambar berikut.



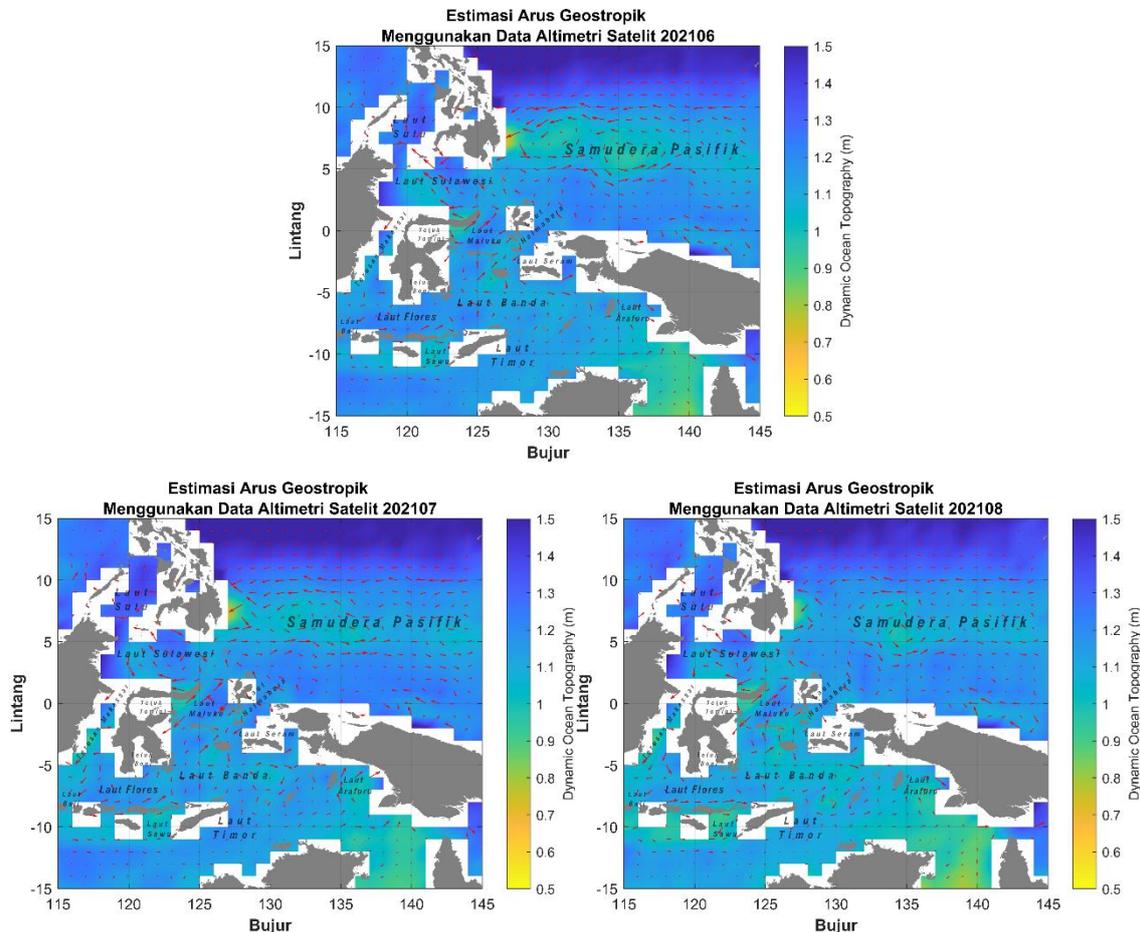
**Gambar 2.** Pola Arus Geostropik di Laut Indonesia Tmur pada Musim Barat

Pada musim barat, pola arus geostropik ditunjukkan dalam **Gambar 2**, fenomena ini terjadi pada bulan Juni, Juli, dan Agustus. Rata-rata nilai DOT berkisar antara 0,6825 m hingga 1,432 m, sementara kecepatan rata-rata arus geostropik berkisar bervariasi di setiap lokasi lautnya. Nilai DOT pada musim ini terlihat memiliki nilai yang lebih tinggi hampir diseluruh lautan. Beberapa laut di Indonesia memiliki arus yang lebih kuat

dibandingkan saat musim timur terjadi. Pada Laut Flores massa air datang dari Terusan Makassar kemudian bergerak menuju Laut banda melewati Laut Flores. Kecepatan rata-rata arus di Laut Flores mencapai 0,2087 m/dt hingga 0,5965 m/dt. Selain itu pergerakan rus di Laut Banda juga memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan saat di musim timur. Pada arus di Laut Banda terjadi percabangan arah arus dimana arus bergerak menuju Laut

Maluku, Laut Seram dan, Laut Timor pergerakan massa air tersebut dipengaruhi oleh DOT walau dalam **Gambar 2** tidak terlihat perbedaan yang signifikan. Di Laut Banda Kecepatan rata-rata arus mencapai 0,2672 m/dt hingga 0,3836 m/dt. Pergerakan arus di Laut Maluku memiliki arus yang cukup kuat berkisar pada 0,3931 m/dt hingga 0,4918 m/dt.

Pergerakan massa air di laut Maluku terbagi menjadi dua, terdapat massa air dari Samudera Pasifik Barat yang bergerak masuk ke perairan Indonesia melewati Laut Maluku dan terdapat massa air yang bergerak dari Laut Maluku menuju Laut Banda dan Laut Flores (Handoko dan Filaili, 2019; Al Tanto & Hartanto, 2021)



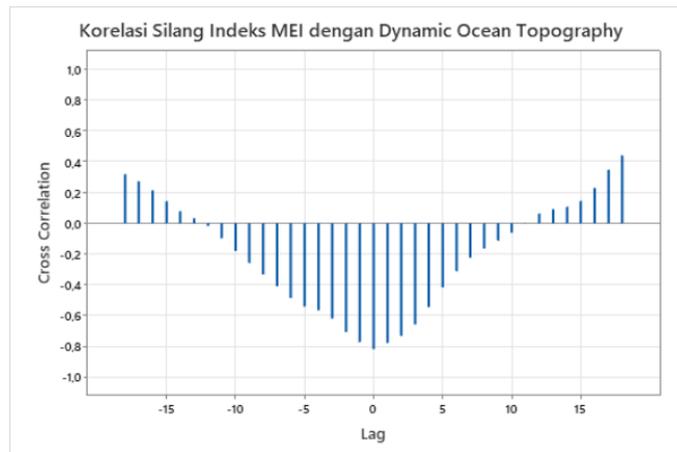
**Gambar 3.** Pola Arus Geostropik di Laut Indonesia Timur saat Musim Timur

Pada musim timur, pola arus geostropik ditunjukkan dalam **Gambar 3**, fenomena ini terjadi pada bulan Juni, Juli, dan Agustus. Rata-rata nilai DOT berkisar antara 0,7377 m - 1,4879 m, sementara kecepatan rata-rata arus geostropik bervariasi di setiap lokasi lautnya. Jika dilihat pada **Gambar 3** pada musim timur Laut Arafuru dan sekitarnya memiliki nilai DOT yang rendah hal ini berkaitan dengan terjadinya fenomena ENSO dibulan Juli, Juni, dan Agustus. Perubahan nilai DOT memberikan pengaruh terhadap kuatnya arus yang bergerak. Menurut Stewart (2008), kekuatan arus geostropik tergantung pada kemiringan muka air laut, sementara arahnya mengikuti garis dengan ketinggian konstan yang tidak berlawanan dengan arah jarum jam di Benua Barat Utara (BBU). Pada Laut Sulawesi arus bergerak lebih kuat saat

terjadi musim timur, massa air dari Samudera Pasifik bergerak menuju Laut Sulawesi bertemu dengan massa air dari Arus Mindanao yang mana mengakibatkan terjadinya *Mindanao Eddy* hal ini membuat pergerakan arus di Laut Sulawesi kemudian masuk perairan Indonesia melalui Terusan Makassar (Hasanudin, 1998). Rata-rata kecepatan arus saat musim timur berkisar pada 0,4667 m/dt hingga 0,5288 m/dt. Selain Laut Sulawesi pada musim timur arus di Laut Arafuru bergerak lebih kuat dengan rata-rata kecepatan berkisar pada 0,3056 m/dt hingga 0,5846 m/dt. Di sekitar Laut Arafuru, terlihat perbedaan nilai DOT yang signifikan mengakibatkan kecepatan arus bertambah. **Gambar 3** juga menggambarkan pergerakan arus dari Benua Australia menuju Laut Arafuru. Pada musim ini, pergerakan arus

geostropik di Laut Flores, Laut Banda, dan Laut Timor memiliki kecepatan arus yang

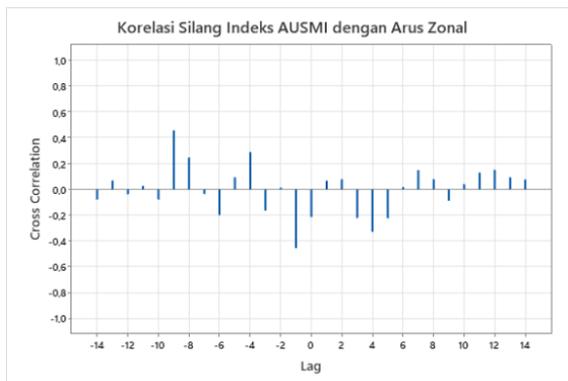
lemah, tetapi di Laut Sawu terjadi arus yang cukup kuat.



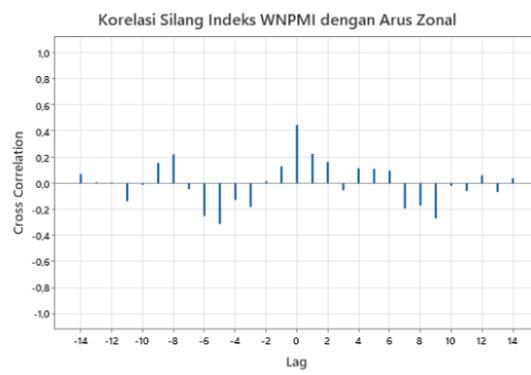
**Gambar 4.** Grafik *cross correlation* untuk indeks MEI dengan data DOT

Pada hasil perhitungan *cross correlation* diperoleh grafik seperti pada **Gambar 4**, grafik menunjukkan arah dari hubungan pada data DOT dengan indeks MEI yang mewakili fenomena ENSO dimana pada *lag* = 0 memiliki nilai -0,8 dengan menggunakan tingkat signifikansi 5% maka hasil *cross*

*correlation* memberikan pernyataan bahwa H0 (tidak ada korelasi) ditolak sehingga antara data DOT dengan indeks ENSO berkorelasi. Dilakukan pula korelasi *pearson* dengan koefisien -0,8176 yang menunjukkan korelasi yang kuat dan negatif (Hasan, 2013).



(a)



(b)

**Gambar 5.** Grafik *cross correlation* untuk indeks AUSMI dengan arus zonal (a) dan grafik *cross correlation* untuk indeks WNPMI dengan arus zonal

Untuk melihat hubungan angin muson dengan arus geostropik digunakan dua indeks, indeks AUSMI bekerja pada 110 BT-130 BT dan 15 LS-5 LS, sedangkan indeks WNPMI berkeja pada 110° BT-140° BT dan 20° LU-30° LU. Berdasarkan pada kedua batas kerja indeks tersebut dinilai cukup untuk mewakili angin muson yang terjadi di Indonesia. Hasil dari perhitungan *cross correlation* antara arus zonal dengan indeks AUSMI diperoleh grafik seperti pada **Gambar 5a** pada *lag* = 0 memiliki nilai hingga -0,2 dimana tidak memenuhi tingkat signifikansi 5% sehingga dengan perhitungan *cross correlation* memberikan pernyataan bahwa H0 (tidak ada korelasi) diterima sehingga antara indeks AUSMI dengan arus zonal geostropik tidak memiliki

hubungan. Sedangkan pada **Gambar 5b** menunjukkan grafik *cross correlation* antara arus zonal dengan indeks WNPMI. Pada *lag* = 0 memiliki nilai sekitar 0,4 dimana tidak memenuhi tingkat signifikansi 5% sehingga dengan perhitungan *cross correlation* memberikan pernyataan bahwa H0 diterima sehingga antara arus zonal dengan indeks WNPMI tidak memiliki hubungan. Dalam batas lokasi penelitian sebagian besar arus merupakan bagian dari Arlindo dimana menurut Hasanudin (2018) Arlindo tidak dipengaruhi oleh angin muson. Selain itu hasil dari penelitian Mulsandi *et al.* (2021) menyatakan bahwa indeks AUSMI dan Indeks WNPMI tidak dapat mewakili muson yang terjadi di wilayah Indonesia.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Estimasi arus geostropik di perairan Indonesia bagian timur menggunakan data satelit altimetri telah dilakukan. Pergerakan arus geostropik di Laut Indonesia Timur memiliki pola tertentu berdasarkan lokasi dan musim. Pada Laut Arafuru dan Laut Sulawesi memiliki arus geostropik yang lebih kuat dari sekitarnya pada musim timur, dimana pada Laut Arafuru arus bergerak menuju Laut Banda dan Laut Timor dan untuk Laut Sulawesi arus bergerak menuju Laut sedangkan pada Laut Flores dan Laut Banda arus geostropik menguat saat musim barat. Pergerakan arus dipengaruhi oleh nilai DOT. Dari perhitungan statistika dengan metode *cross correlation* menunjukkan adanya hubungan antara DOT dengan fenomena ENSO dan tidak adanya hubungan antara arus zonal geostropik dengan angin muson.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada TUDelft selaku penyedia data RADS (Radar Altimetry Database System) sebagai sumber data utama yang digunakan dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada NOAA sebagai penyedia nilai indeks MEI, indeks AUSMI, dan indeks WNPMI

## DAFTAR PUSTAKA

- Al Tanto, T., & Hartanto, T. (2021). Sebaran Arus Geostropik Dan Transpor Massa Air Di Perairan Pulau Sumba, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*, 19(2).
- Chu, P. (2018). Tehcnical Note: Two Types of Absolute Dynamic Ocean Topography. *Ocean Science*, 947-957
- Guo, J. Y., Chang, X. T., Hwang, C., Sun, J. L., & Han, Y. B. (2010). Oceanic Surface Geostrophic Velocities Determined with Satellite Altimetric Crossover Methode. *Chinese Journal of Geophysics*, 926-934.
- Handoko, E. Y. (2017). *Sea Level Studies in Indonesia from Improved Coastal Satellite Altimetry*. Porto: Universidade do Porto.
- Handoko, E. Y., & Filaili, R. B. (2019). Analisa Fenomena Enso Di Perairan Indonesia Menggunakan Data Altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series Tahun 1993–2018. *Geoid*, 14(2), 43-50.
- Harsono, G. (2020). *Hidrografi Berbasis Ekonomi Biru: Sepilihan Esai-Esai*. Pandiva Buku.
- Hasanudin. (1998). Arus Lintas Indonesia. *Oseana*, 1-9.
- Mulsandi, A., Sopaheluwakan, A., Faqih, A., Hidayat, R., & Koesmaryono, Y. (2021). Evaluasi Performa Indeks Monsun AUSMI dan WNPMI di Wilayah Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 61-70.
- Pick, & Picard. (1983). *Introductory Dynamical Oceanography*. Oxford: Pergamon Press.
- Radjawane, I. M., & Hadipoetranto, P. P. (2014). Karakteristik massa air di percabangan arus lintas Indonesia perairan Sangihe Talaud menggunakan data index satal 2010. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(2), 525-536.
- Richasari, D. S., & Handoko, E. Y. (2021). Analisis Pemodelan Arus Geostropik di Perairan Indonesia menggunakan Data Satelit Altimetri. *Geoid*, 16(1), 93-105.
- Sprintall, J., & Revelard, A. (2014). The Indonesian Throughflow Response to Indo-Pasific Climate Variability. *Journal of Geophysical Reserch: Oceans*, 1161-11