

**KARAKTERISTIK NATUNA OFF-SHELF CURRENT (NOC) BERDASARKAN
KOMPUTASI DATA LAUT SKALA KECIL BERBASIS AWAN**

**CHARACTERISTICS OF NATUNA OFF-SHELF CURRENT (NOC) ON CLOUD-BASED
SMALL-SCALE MARINE DATA COMPUTATION**

**Agung Kurniawan^{1,3}, Widodo S. Pranowo^{1,2}, Nurul Khakim³, Agus Iwan Santoso⁴,
Zikri¹, & Kurnia Malik⁵**

¹Laboratorium Hidro-Oseanografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL)
Jakarta, Indonesia

²Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bandung,
Indonesia

³Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

⁴Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut, Jakarta, Indonesia

⁵Program Studi Hidrografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL), Jakarta,
Indonesia

Email: agungk213@gmail.com

ABSTRAK

Morfologi perairan Laut Natuna Utara yang unik menghasilkan arus yang memiliki kecepatan yang signifikan sebagai perpanjangan dari *Vietnam Coastal Jet* (VCJ) yang disebut sebagai *Natuna Off-Shelf Current* (NOC). Identifikasi NOC dilakukan untuk melihat pola arus pada setiap musim serta pengaruh fenomena ENSO terhadap pola arus yang dihasilkan. Visualisasi dilakukan menggunakan pendekatan komputasi awan berkecepatan tinggi diproses melalui platform *google earth engine* (GEE) dengan menggunakan input data dari HYCOM. Artikel ini bertujuan untuk melakukan identifikasi dan visualisasi NOC menggunakan pendekatan data berbasis raster yang diolah menggunakan komputasi awan di GEE. Tahun kajian sebagai periode observasi diantaranya adalah periode La Niña tahun 2022, periode El Niño kuat pada tahun 1997, dan tahun netral pada tahun 1996. Secara visual NOC terbentuk akibat perpanjangan VCJ pada bulan musim barat, dan terlihat di semua tahun kajian observasi. Arus paling signifikan dijumpai pada musim barat tahun 1996 (tahun netral) dengan kecepatan 1,7 m/detik di lapisan permukaan, 1,4 m/detik di kedalaman 50m untuk bulan November 1996 (tahun netral), dan 1,4 m/detik di kedalaman 100m pada November 1997 (periode ENSO) dan Februari 1996 (tahun netral).

Kata kunci: *Natuna Off-Shelf Current* (NOC), Komputasi awan, *Google Earth Engine*, HYCOM, Arus

ABSTRACT

The unique morphology of the North Natuna Sea produces a current that has a significant velocity as an extension of the Vietnam Coastal Jet (VCJ) which is known as the Natuna Off-Shelf Current (NOC). NOC identification is carried out to see the current pattern in each season and the effect of the ENSO phenomenon on the resulting current pattern. Visualization is carried out using a high-speed cloud computing approach which is

processed through the Google Earth Engine (GEE) platform using input data from HYCOM. This article aims to assist and visualize NOC using a raster-based data approach that is processed using cloud computing at GEE. The study years as observation periods include the La Niña period in 2022, the strong El Niño period in 1997, and the neutral year in 1996. Visually NOC is formed due to the addition of VCJ in the western monsoon, and is visible in all observation study years. The most significant currents were found in the west monsoon of 1996 (neutral year) with a speed of 1.7 m/s at the surface layer, 1.4 m/s at a depth of 50m for November 1996 (neutral year), and 1.4 m/s at a depth of 100m in November 1997 (ENSO period) and February 1996 (neutral year).

Keywords: Natuna Off-Shelf Current (NOC), Cloud Computing, Google Earth Engine, HYCOM, Current.

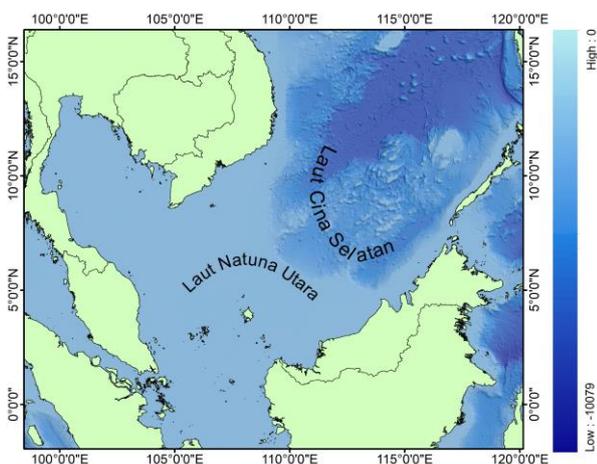
PENDAHULUAN

Kepulauan Indonesia, khususnya wilayah perairan Natuna di utara berhadapan langsung dengan sistem massa air Laut China Selatan (LCS). Karena morfologinya yang unik, Laut China Selatan juga dikenal dengan istilah “semi-enclosed water” (Hu, 2010). Posisinya sebagai laut marjinal terbesar di kawasan perairan tropis, LCS memiliki kedalaman hingga 5000 meter yang secara aktif memegang peran dalam perubahan iklim, pertukaran massa air antara samudera Pasifik dan Hindia (gambar 1) (Zeng *et al.* 2014; Zeng *et al.*, 2016). Luas perairan LCS mencapai $3,5 \times 10 \text{ km}^2$ yang melewati zona tropis dan sub-tropis dengan sejumlah besar input air tawar Sungai Zhijuang di utara dan Sungai Mekong di Barat Laut (Qi-zhou *et al.*, 1994), LCS juga secara fisik terkoneksi langsung dengan Laut Cina Timur (Zhu, Hu, dan Zheng 2022), Samudera Pasifik, Laut Sulu, Laut Jawa, hingga masuk ke selatan sampai ke Samudera Hindia melalui Selat Sunda dan Selat Malaka (Qi-zhou *et al.* 1994). Massa air laut di SCS cenderung memiliki kompleksitas yang bervariasi, sebagai akibat dari input air dari samudera pasifik,

variasi musim, dan cekungan topografi (Zhu *et al.*, 2022).

Sebagai bagian dari komposisi besar LCS, Laut Natuna Utara secara geografis terletak di barat laut Kepulauan Natuna dengan karakteristik perairan yang relatif dangkal hingga <200 meter, serta dibatasi oleh Semenanjung Malaysia di barat, Serawak di timur, Laut Jawa di sebelah selatan, dan Laut Cina Selatan di sebelah utara. Bersinggungan dengan LCS memberikan Laut Natuna Utara memiliki massa air yang kompleks, dengan musim yang mempengaruhi kondisi interaksi laut dan atmosfer (Hariyadi *et al.*, 2021), yang memiliki karakteristik iklim mengikuti Pasifik tengah katulistiwa (Liu *et al.*, 2002). *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) berkontribusi dalam meningkatnya salinitas di LCS (Qi *et al.*, 2022), begitu pula dengan probabilitas pusaran pilin tertutup pada fase dewasa (Zu *et al.*, 2019). Nampaknya, *Indian Ocean Dipole* (IOD) juga memiliki peranan dalam kompleksitas suhu permukaan laut dan presipitasi di sekitar Laut Natuna Utara dan LCS (Khaldun *et al.*, 2018). Setidaknya terdapat empat fase variasi tahunan yang

terjadi di LCS, dimana November – Februari sirkulasi di sekitar Laut Natuna Utara dipengaruhi oleh pilin siklon ganda di utara, dengan instruksi Kuroshio, serta adanya arus *off-shelf* arah timur laut berhadapan dengan Pulau Kalimantan. Fase Maret – April terbentuk antiklonik pada pilin selatan serta mulai menunjukkan adanya dipole pada pola sirkulasi. Ketika *Jet Muson* pada LCS mendominasi, pada bulan Mei hingga Juli pola monsun pada sekitar Laut Natuna Utara bergerak ke utara menyisir di sekitar pantai Vietnam kemudian berbelok mengikuti pola topografi hingga mencapai Pulau Hainan dan membentuk belokan antiklonik yang berbelok menuju timur laut melewati LCS. Perbedaan pola mulai terlihat dari Agustus hingga Oktober, *Jet Muson* bergerak dari pesisir Vietnam menuju bagian dalam basin (Li *et al.*, 2003).



Gambar 1. Topografi di sekitar Laut Natuna Utara.

Figure 1. Topography arround North Natuna Sea.

Sumber: GEBCO

Natuna Off-Shelf Current (NOC) diperkenalkan melalui identifikasi adanya perpanjangan dari *Vietnam Coastal Jet* (VCJ) yang menghasilkan Eddy siklon

(Hariyadi *et al.*, 2021). Model yang disajikan oleh (Fang *et al.*, 2002) mendapati adanya (*Winter*) NOC pada persimpangan antara pilin siklon dengan intensitas kuat di barat LCS bagian selatan dan sirkulasi yang lebih lemah membentuk antiklonik di timur). NOC sendiri dapat dijelaskan sebagai arus utara yang melawan arah dengan kuat (ekstream). Identifikasi NOC dan pola sirkulasi umumnya diidentifikasi menggunakan pendekatan berbasis numerical model (Chu *et al.*, 1999);(Fang *et al.*, 2002);(Liu *et al.*, 2002);(Fang *et al.*, 2009);(Zu *et al.*, 2019)&(Hariyadi *et al.*, 2021). Pendekatan lain yang mulai muncul pada dekade terakhir adalah komputasi berbasis awan (*cloud computing*). Vance *et al.* (2019) memaparkan bahwa melalui Platform cloud dapat dilakukan proses pengamatan dan pemodelan data kelautan. Dengan adanya penyimpanan berkapasitas besar dan memiliki peforma tinggi dalam komputasi on-demand, cloud computing dilengkapi dengan arsitektur yang bervariasi dengan kemampuan yang lebih fleksibel (Ramamurthy, 2016). Artikel ini bertujuan untuk melakukan identifikasi karakteristik NOC, dan sirkulasi secara umum di perairan laut natuna utara menggunakan pendekatan *cloud computing di Earth-engine*.

Sebagaimana yang juga dilakukan oleh Hariyadi *et al.* (2021) penelitian ini juga memperhatikan terjadinya fenomena ENSO. ENSO merupakan sebuah fenomena atmosfer yang dapat mempengaruhi perubahan iklim akibat adanya fluktuasi alami yang berasal dari pasifik yang berkaitan dengan angin regional, curah hujan dan pola suhu yang mengalami anomali. Suhu mengalami

perubahan signifikan di permukaan, yang akhirnya mempengaruhi kehidupan umat manusia di daratan (Salau *et al.*, 2012).

METODE PENELITIAN

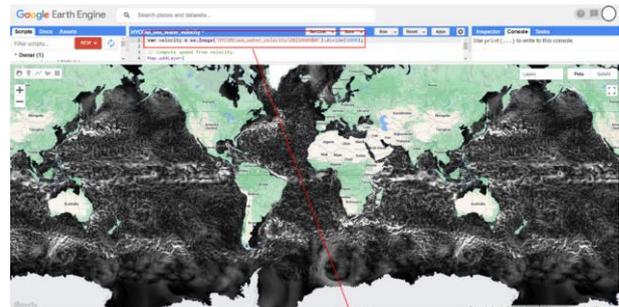
Sumber Data

Google earth engine menyediakan beberapa dataset yang dapat dianalisis, yaitu HYCOM: *Hybrid Coordinate Ocean Model, Water Temperature and Salinity* yang merupakan dataset berisi informasi salinitas dan *water temperature*, yang digunakan untuk melakukan analisa karakteristik dari kedua parameter tersebut. Terdapat pula dataset *sea water velocity* dalam bentuk raster, dimana dataset ini nantinya digunakan untuk memodelkan arus dalam format arah dan kecepatannya melalui komputasi di GEE. Secara spesifik studi ini akan menggunakan “*boundary*” dengan cakupan 17,8° - 1,9° LU dan 103,7 – 120,4 BT.

Metode Komputasi dengan *Earth-Engine*

Penelitian ini berfokus pada komputasi data kelautan menggunakan perangkat berbasis awan (*cloud*) yaitu GEE. Kode program pada GEE dibangun menggunakan *Java Script* sebagai bahasa utama pemrograman (Amani *et al.*, 2020). GEE *launched* pada Tahun 2010, dengan kapabilitas komputasi *cloud* dengan akses terbuka sehingga memungkinkan pengguna melakukan operasi pengelolaan, pemrosesan, dan analisis data geospasial tanpa adanya batasan tertentu, khususnya terkait dengan komersialisasi. Data yang mampu disediakan berkisar antara 40 tahun data raster hingga ukuran petabyte, dan terus

bertambah hingga kini (Kavzoglu & Goral 2022). Dalam studi ini melibatkan data arus permukaan yang diperoleh dari HYCOM, yang digenerate langsung melalui GEE menggunakan kode program `var velocity=ee.Image('HYCOM/sea_water_velocity/2021040900').divide(1000);` (gambar 2).

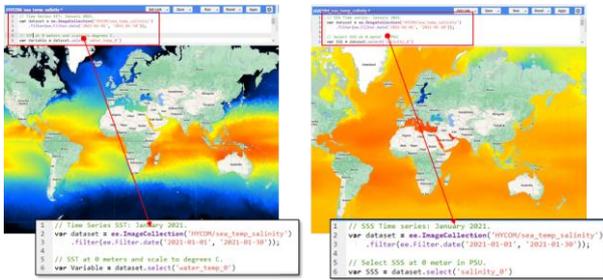


Gambar 2. Kecepatan arus permukaan yang dapat diperoleh melalui GEE dengan menggambarkan data dari HYCOM. *Figure 2. Surface current velocity can be obtained through GEE by drawing data from HYCOM.*

Sumber: HYCOM diolah menggunakan GEE

HYCOM merupakan data asimilatif berbasis *hybrid isopycnal-sigma-pressure* yang digeneralisasi untuk merepresentasikan model kelautan. Variabel yang diakomodasi oleh *earth-engine* diantaranya salinitas, suhu, kecepatan, dan ketinggian, dengan spesifikasi interpolasi hingga 40 *z-level* standar. Kemampuan akselerasi yang diberikan GEE mampu mempercepat efektivitas waktu pengolahan dalam hitungan detik. Kapabilitas *time series* yang diberikan oleh *earth-engine* memberikan manfaat untuk mengolah data dalam jumlah besar dengan waktu yang singkat. Pengolahan keseluruhan data seutuhnya dikerjakan pada platform berbasis *cloud*, sehingga tidak menggunakan penyimpanan berbasis hardware seperti

pada umumnya (gambar 3 menunjukkan variable suhu dan salinitas).



Gambar 3. Variabel suhu permukaan laut (SPL) dan Salinitas yang di generate melalui GEE.

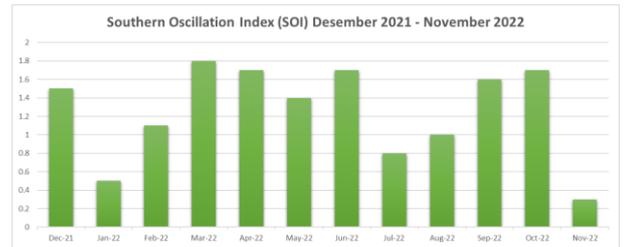
Figure 3. Variable sea surface temperature (SST) and Salinity generated through GEE.

Sumber: HYCOM diolah menggunakan GEE

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi NOC pada Kondisi La Niña

Tahun 2022 menjadi tahun dasar pengamatan merupakan tahun dalam kondisi La Niña. Kategorisasi klimatologi yang digunakan mengacu pada *Southern Oscillation Index (SOI)*, yang merupakan indeks yang menggambarkan tekanan permukaan laut (*Sea level pressure*) melalui pengamatan antara Tahiti dan Darwin. Melalui SOI dapat diketahui fluktuasi dalam skala global dalam keadaan Osilasi Selatan selama periode El Niño dan La Niña. Nilai SOI positif umumnya berkorelasi dengan peristiwa La Niña (Hariyadi *et al.*, 2021) (gambar 4). Untuk melihat variasi arus yang terjadi di laut natuna utara, program dijalankan pada setiap layer kedalaman tertentu, sehingga dapat diketahui perbedaan arus pada periode normal. Python digunakan dalam melakukan visualisasi hasil pemrosesan data yang telah diunduh melalui platform GEE.



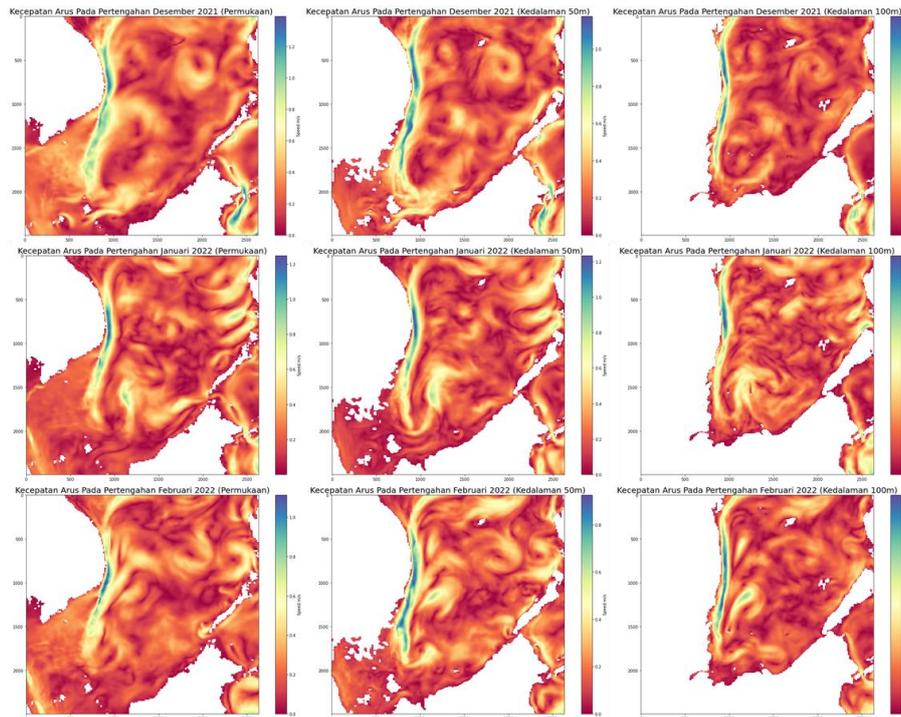
Gambar 4. Indeks SOI pada tahun 2022.

Figure 4. SOI index in 2022.

Sumber: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/soi>

Pada musim barat (pertengahan Desember 2021) dapat terlihat kenampakan VCJ dengan kecepatan maksimum lebih dari 1,5 m/detik menyusuri topografi sepanjang perairan Utara Vietnam hingga Selatan mendekati Pulau Natuna (Indonesia) kemudian mengalami pembelokan (indikasi utama adalah faktor topografi). Kecepatan intensitas arus di permukaan mengalami penurunan di bulan Januari (>1,2 m/detik) dan februari (>1,0 m/detik). Pola dari VCJ yang diikuti oleh NOC secara perlahan berkurang saat menuju musim peralihan I. Perpanjangan kecepatan arus yang dinamis ini serupa dengan yang ditemukan oleh Fang. *et al.* (2002) yang kemudian diidentifikasi sebagai NOC (gambar 5). Penemuan berdasarkan periode waktu juga divalidasi oleh Fang *et al.* (2002), dimana *Winter Natuna Off-Shelf Current* mulai dijumpai pada bulan November (berdasarkan pengamatan fang di tahun 1997), dan memiliki pola sirkulasi atas LCS bagian selatan yang tergambar mendekati pola musim dingin (musim barat) yaitu sepanjang bulan Desember – Februari.

Distribusi salinitas pada musim barat tidak memperlihatkan adanya anomali yang khusus, dimana salinitas tertinggi berada pada rentang 20 - 34 psu di layer permukaan. Pada layer salinitas di



Gambar 5. Visualisasi kecepatan arus pada musim barat untuk permukaan perairan, kedalaman 50 meter, dan kedalaman 100 meter.

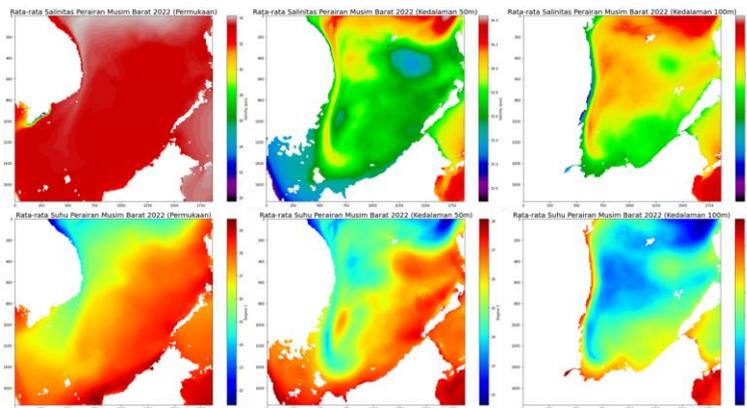
Figure 5. Visualization of current speed in the west monsoon for surface waters, a depth of 50 meters and a depth of 100 meters.

Sumber: HYCOM diolah menggunakan GEE dan Matplotlib di Python

permukaan laut menunjukkan nilai yang hampir seragam dalam satu kawasan, sedangkan pada kedalaman 50 meter salinitas mulai bervariasi dengan rentang yang pendek yaitu diantara 33 – 34 Psu dengan konsentrasi salinitas tertinggi berada di wilayah perairan bagian utara, begitupula pada salinitas yang berada di kedalaman 100m. Suhu perairan berbanding terbalik dengan salinitas secara umum di kedalaman 50 m dan 100 m. Perairan bagian utara dengan kedalaman 50 meter cenderung didominasi oleh suhu yang rendah (antara $< 23^{\circ}\text{C}$), namun memiliki salinitas yang tinggi (>34 Psu). Pola tersebut juga dapat terlihat dengan cukup signifikan di kedalaman 100 meter, dimana secara berkesinambungan dari utara ke selatan

melalui sisi barat perairan Vietnam, suhu perairan cenderung rendah namun salinitas menunjukkan nilai yang tinggi (gambar 6).

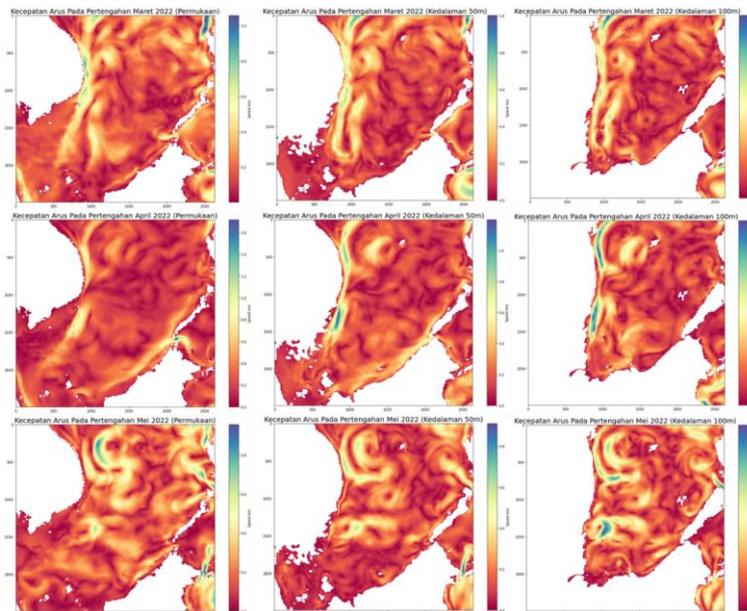
Berdasarkan hasil observasi, pada musim peralihan I (pertengahan Maret 2022) NOC di permukaan perairan mulai menghilang diiringi dengan menurunnya kecepatan arus permukaan sampai 1,05 m/detik. Namun, konsistensi perpanjangan VCJ menjadi NOC masih terlihat pada kedalaman 50 dan 100 m namun dengan intensitas kecepatan arus yang sudah menurun sampai dengan 1 m/detik dan 0,9 m/detik maksimal. Pada bulan April 2022 kecepatan arus menurun secara perlahan dan diikuti secara vertikal, hingga tersisa



Gambar 6. Setiap gambar memiliki rentang skala yang berbeda sesuai dengan rentang data dari sumber data tersebut, (atas) merupakan gambaran Rata-rata salinitas selama musim barat yang ada di permukaan, kedalaman 50m, dan kedalaman 100m, (bawah) Rata-rata suhu perairan selama musim barat yang terdapat pada permukaan, kedalaman 50m, dan kedalaman 100meter.

Figure 6. Each image has a different scale range according to the range of data from the data source, (above) is an illustration of the average salinity during the western monsoon on the surface, 50m depth, and 100m depth, (below) the average water temperature during the season west which is on the surface, a depth of 50m, and a depth of 100m.

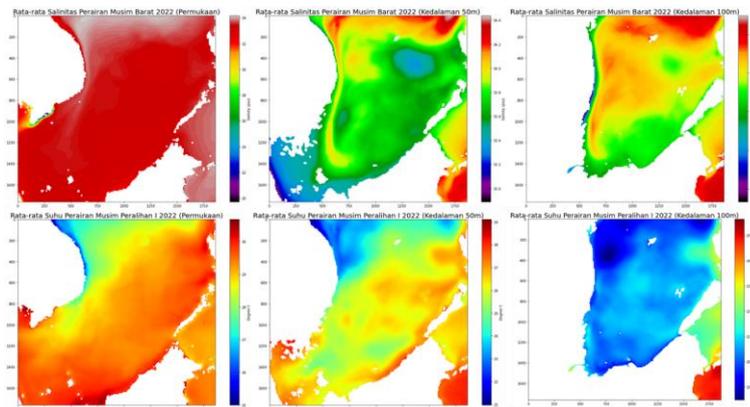
Sumber: HYCOM diolah menggunakan GEE dan Matplotlib di Python



Gambar 7. Masing – masing gambar memiliki skala yang berbeda sesuai dengan sumber data aslinya. Visualisasi kecepatan arus pada musim peralihan I untuk permukaan perairan, kedalaman 50 meter, dan kedalaman 100 meter.

Figure 7. Each image has a different scale according to the original data source. Visualization of current velocity in transitional season I for surface waters, 50 meters depth and 100 meters depth.

Sumber: HYCOM diolah menggunakan GEE dan Matplotlib di Python



Gambar 8. Masing – masing gambar memiliki skala yang berbeda sesuai dengan sumber data aslinya. Visualisasi kecepatan arus pada musim peralihan I untuk permukaan perairan, kedalaman 50 meter, dan kedalaman 100 meter.

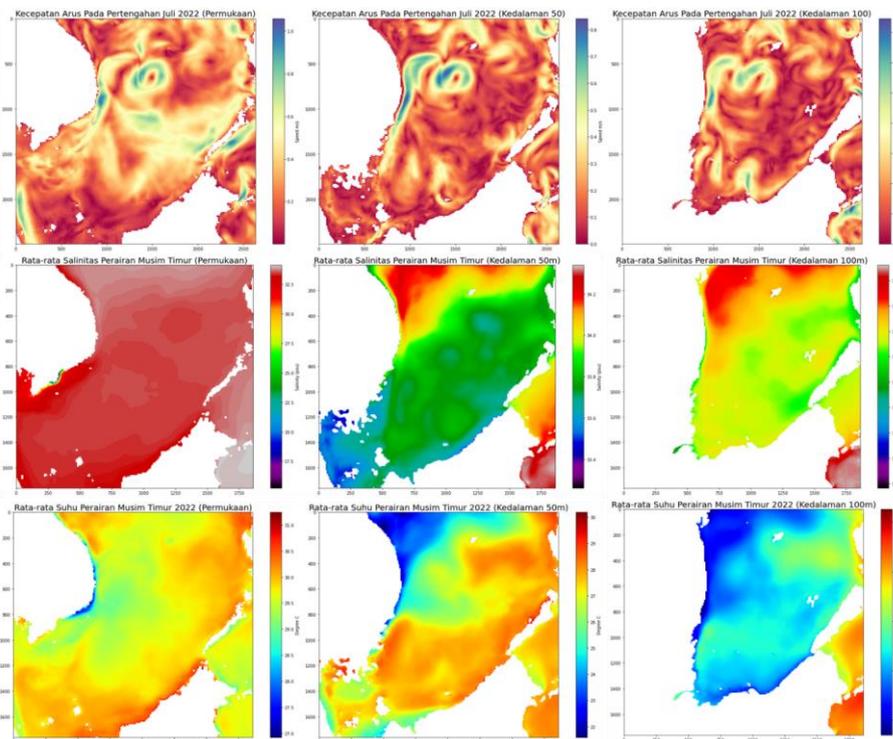
Figure 8. Each image has a different scale based on the data source, (above) The average salinity during the I transition season on the surface, 50m depth, and 100m depth, (below) The average water temperature during the I transition season on the surface, 50m deep, and 100m deep.

Sumber: HYCOM diolah menggunakan GEE dan Matplotlib di Python

hanya VCJ pada kecepatan berada sedikit diatas 1 m/detik. Pada akhir musim peralihan I NOC telah hilang sepenuhnya, namun pola sirkulasi eddy menjadi dominan di sekitar domain penelitian (lihat gambar 7). Pola korelasi suhu perairan dengan salinitas yang serupa pada musim barat, masih dapat ditemui pada musim peralihan I dimana semakin rendah suhu perairan umumnya diikuti dengan peningkatan kadar salinitas (gambar 8).

Musim – musim selanjutnya pola NOC perlahan memudar dan menghilang dan digantikan pola sirkulasi eddy yang umum ditemui pada sisi garis pantai Vietnam. Perwakilan musim Timur yang ditampilkan (Juli 2022) menunjukkan kecepatan arus cenderung lebih rendah dari musim barat, yaitu berada pada kecepatan 1,05 m/detik di permukaan, kemudian turun hingga 0.8 m/detik di kedalaman 50 meter, dan 0,7 m/detik di kedalaman 100 meter. Sirkulasi eddy terbentuk secara konstan di permukaan

hingga kedalaman 100 meter, di lokasi yang sama. Sirkulasi eddy yang terbentuk di bagian timur perairan Vietnam dapat diidentifikasi sebagai bagian dari VCJ (gambar 9). Pola NOC pada bulan Oktober 2022 belum menunjukkan adanya pola yang terbentuk, namun pola NOC kembali terlihat pada bulan November 2022, dimana pada periode tersebut merupakan transisi dari Musim Peralihan II ke Musim Barat (gambar 10). Pola kecepatan arus yang membentuk NOC menjalar dari utara hingga selatan, dan bertambah panjang pada setiap level kedalamannya. Kecepatan arus juga meningkat secara signifikan dari 1,05 m/detik di permukaan pada musim timur meningkat menjadi 1,5 m/detik pada musim peralihan II (November). Sehingga berdasarkan hasil observasi, Pola sirkulasi NOC dapat terlihat pada Bulan November, hingga Februari.



Gambar 9. Masing – masing gambar memiliki skala berbeda berdasarkan sumber datanya, (atas) Visualisasi kecepatan arus pada perwakilan musim Timur, (tengah) Rata – rata salinitas pada musim Timur, dan (bawah) Rata – rata suhu perairan pada musim Timur pada tiga level kedalaman.

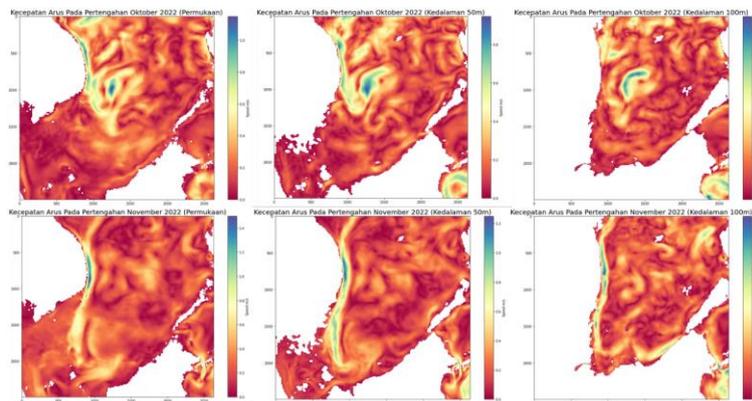
Figure 9. Each image has a different scale based on the data source, (above) Visualization of current velocity in the representative East monsoon, (middle) Average salinity in the Eastern monsoon, and (bottom) Average water temperature in the Eastern monsoon at three depth levels.

Sumber: HYCOM diolah menggunakan GEE dan Matplotlib di Python

Efek ENSO Pada NOC

Parameterisasi vektor arus pada kejadian ENSO juga dilakukan (tahun 1997) untuk melihat bagaimana pengaruh ENSO terhadap NOC. Tahun 1997 merupakan salah satu tahun dengan El Niño kuat yang dapat dilihat pada SOI yang berada pada nilai minus (-) (gambar 11). Pada bulan terakhir sebelum memasuki Musim Barat yaitu bulan November, NOC mulai terbentuk dengan arus yang signifikan dengan nilai 1,6 m/detik di permukaan, kemudian tetap stabil di angka 1,4 m/detik pada kedalaman 50 dan 100 meter. Intensitas kecepatan arus tetap bertahan selama masa akhir ENSO, yaitu

pada 1,7 m/detik di permukaan pada bulan Desember, kemudian turun secara bertahap pada 1,3 m/detik pada kedalaman 50 meter, dan 1,2 m/detik pada 100 meter kedalaman. Pada bulan Januari 1998 intensitas NOC secara drastis menghilang dengan diikuti penurunan kecepatan arus secara signifikan di kawasan Laut Natuna Utara, yaitu berada pada 1 m/detik di permukaan dan turun dibawah 1 m/detik di setiap level kedalamannya. NOC kembali muncul pada akhir musim barat (Februari 1998) dengan kecepatan arus sekitar 1,2 m/detik di sekitar VCJ kemudian bergerak menuju

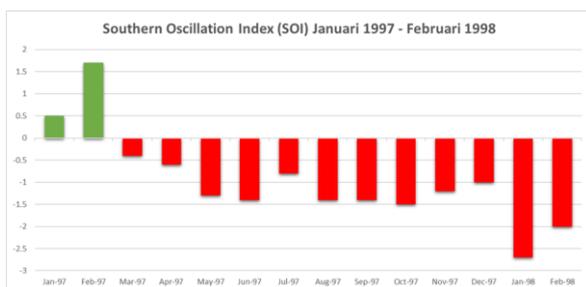


Gambar 10. Visualisasi kecepatan arus pada bulan oktober 2022 (Musim Peralihan II), dan NOC mulai terlihat pada bulan November 2022 dimana merupakan periode peralihan dari musim Peralihan II menuju musim Barat.

Figure 10. Visualization of current velocity in October 2022 (Transition Season II), and NOC will begin to be seen in November 2022 which is a transitional period from the Second Transitional season to the West season.

Sumber: HYCOM diolah menggunakan GEE dan Matplotlib di Python

Laut Natuna Utara. Pola menunjukkan bentuk yang serupa pada kedalaman 50 meter, dan sedikit berubah pada kedalaman 100 meter. Berdasarkan pengamatan NOC selama El Niño kuat di tahun 1997 dapat diketahui bahwa NOC terlihat pada bulan November, Desember, dan Februari. Memiliki pola yang serupa dengan kondisi La Niña di tahun 2022.



Gambar 11. SOI pada rentang waktu El Niño di tahun 1997.

Figure 11. SOI during the El Niño period in 1997..

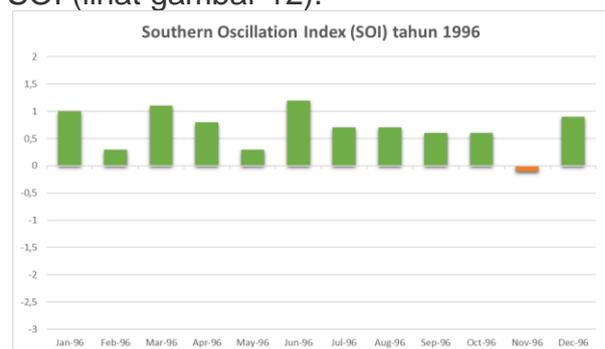
Sumber:

<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/soi>

Pola NOC di tahun Netral

Tahun kajian yang dilakukan observasi menggunakan pendekatan komputasi awan adalah tahun 1996. Pada tahun tersebut terdapat setidaknya satu bulan yang bernilai negatif, dan sebelas bulan

yang bernilai positif dalam satuan ukuran SOI (lihat gambar 12).



Gambar 12. SOI pada rentang waktu El Niño di tahun 1997.

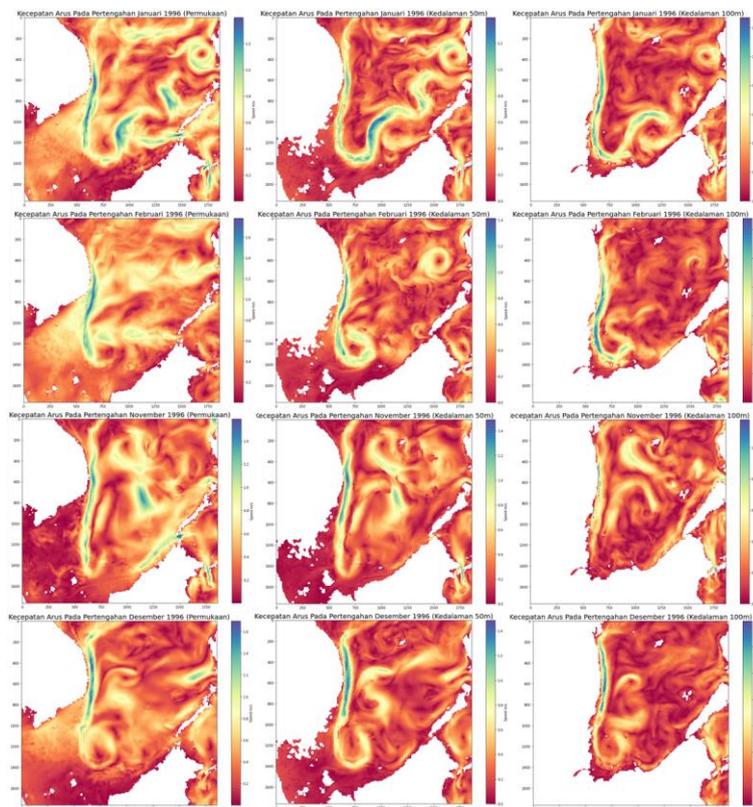
Figure 12. SOI during the El Niño period in 1997..

Sumber:

<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/soi>

Berdasarkan hasil observasi pada bulan Januari 1996 (Musim Barat), NOC terbentuk secara signifikan (lihat gambar 13).

Pada bulan Januari 1996, NOC terbentuk dari perpanjangan VCJ di utara, namun memiliki karakteristik yang berbeda dengan NOC di tahun El Niño dan La Niña. Pada periode netral Januari 1996 NOC yang terbentuk kemudian menjalar



Gambar 13. Visualisasi kecepatan arus pada Musim Barat di tahun netral (1996) pada layer permukaan, Kedalaman 50 mter, dan Kedalaman 100 meter.

Figure 13. Visualization of current velocity in the West Season in a neutral year (1996) on the surface layer, a depth of 50 meters and a depth of 100 meters.

Sumber: HYCOM diolah menggunakan GEE dan Matplotlib di Python

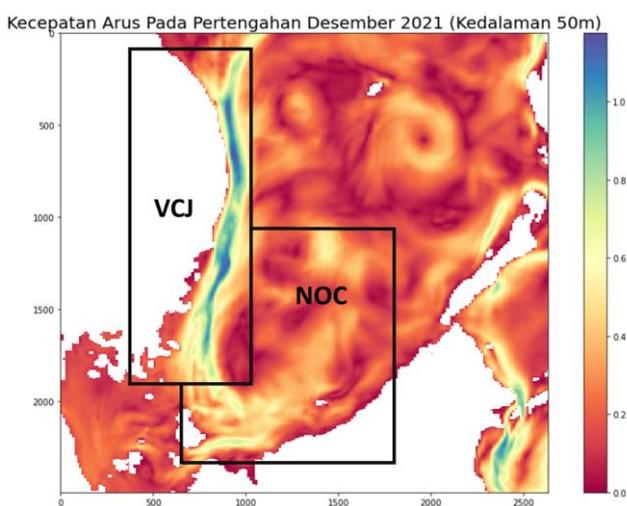
mengikuti dinding topografi di Laut Natuna Utara yang secara berkesinambungan membentuk konstelasi arus yang tidak terputus menyusuri perairan sebelah Barat Pulau Kalimantan dan berakhir di Kepulauan Spratly. Kecepatan arus di permukaan cenderung normal yang berada di angka 1,4 m/detik, namun pada saat turun di level kedalaman 100 meter, kecepatan arus menjadi lebih kuat pada 1,2 m/detik.

Arus yang terbentuk di bulan Februari masih menunjukkan karakteristik visual seperti NOC, namun perlahan mulai menghilang. Kecepatan arus pada bulan ini di permukaan sangat signifikan mencapai

1,7 m/detik, kemudian turun menjadi 1,4 m/detik di kedalaman 50 meter, dan terus mengalami penurunan sampai 1,2 m/detik di kedalaman 100 meter. Pada bulan November arus di permukaan memiliki kecepatan 1,4 m/detik dan tetap konsisten sampai kedalaman 50 meter, dan turun menjadi 1,1 m/detik pada kedalaman 100m. Pola NOC yang masih berlanjut sampai bulan Desember di permukaan memiliki kecepatan yang signifikan mencapai 1,6 m/detik, kemudian turun pada 1,3 m/detik di kedalaman 50 meter sebelum kembali naik pada 1,4 m/detik di kedalaman 100 meter. Pengamatan arus pada tahun netral di Musim Barat menunjukkan bahwa NOC tetap terlihat

dan memiliki konsistensi kecepatan diatas 1 m/detik di permukaan.

Sebagai bentuk perpanjangan dari VCJ ciri khas mencolok dari NOC adalah bentuk kelokan ekstream dari kecepatan arus yang berbelok di sekitar perairan Laut Natuna Utara (gambar 14). Karena tidak muncul di setiap musim, dan hanya dapat dijumpai secara penuh di Musim Barat, maka NOC menjadi fenomena oseanografi yang muncul secara periode tertentu.



Gambar 14. Visualisasi posisi NOC terhadap VCJ di Laut Natuna Utara.

Figure 14. Visualization of the position of NOC against VCJ in the North Natuna Sea.

Sumber: HYCOM diolah menggunakan GEE dan Matplotlib di Python

KESIMPULAN

Natuna Off-Shelf Current (NOC) secara umum dapat dijumpai pada musim Barat berdasarkan hasil observasi menggunakan Google Earth Engine dari data HYCOM. NOC dengan intensitas arus paling signifikan dapat dijumpai pada pengamatan di angka 1,7 m/detik pada lapisan layer permukaan di bulan february tahun netral (1996), 1,4 m/detik di layer

kedalaman 50 bulan November pada musim peralihan II tahun ENSO serta Februari dan November 1996 (tahun netral), serta 1.4 m/detik di layer kedalaman 100 meter pada November 1997 (musim peralihan II), DAN Februari 1996 (tahun netral). NOC yang terbentuk umumnya merupakan perpanjangan dari

Vietnam Coastal Jet (VCJ) yang mengalami intervensi dari bentukan topografi yang ada di Laut Natuna Utara. Pola NOC dapat dilihat pada setiap layer kedalaman, yaitu pada level permukaan, kedalaman 50 meter, dan 100 meter.

PERSANTUNAN

Seluruh penulis adalah kontributor utama. Data arus, suhu dan salinitas diambil dari HYCOM Archive, dan SOI diambil dari NOAA. Pengolahan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Hidro-Oseanografi STTAL. Google Earth Engine telah diajarkan kepada mahasiswa Angkatan 43 Prodi S1 Hidrografi STTAL pada Mata Kuliah Hitung Perataan, dengan WSP sebagai dosen pengampu, AK sebagai asisten dosen.

DAFTAR PUSTAKA

Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, A. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). "Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote*

- Sensing*, 13(September), 5326–50.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>.
- Chu, P. C., Edmons, N. L., & Fan, C. (1999). Dynamical Mechanisms for the South China Sea Seasonal Circulation and Thermohaline Variabilities. *Journal of Physical Oceanography*, 29(11), 2971–89.
[https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1999\)029<2971:DMFTSC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1999)029<2971:DMFTSC>2.0.CO;2).
- Fang, G., Wang, Y., Wei, Z., Fang, Y., Qiao, F., & Hu, X. (2009). Interocean Circulation and Heat and Freshwater Budgets of the South China Sea Based on a Numerical Model. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 47(1–3), 55–72.
<https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2008.09.003>.
- Fang, W., Fang, G., Shi, P., Huang, Q., & Xie, Q. (2002). “Seasonal Structures of Upper Layer Circulation in the Southern South China Sea from in Situ Observations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 107(11), 1–12.
<https://doi.org/10.1029/2002jc001343>
- Hariyadi., Hutabarat, J., Sugianto, D. N., Noercholis, M. F. M., Prasetyani, N. D., Pranowo, W. S., Kunarso., Wetchayount, P., & Wirasatriya, A. (2021). Natuna Off-Shelf Current (NOC) Vertical Variability and Its Relation to ENSO in the North Natuna Sea. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 26(2), 63–70.
<https://doi.org/10.14710/IK.IJMS.26.2.63-70>.
- Hu, N. T. A. (2010). Semi-Enclosed Troubled Waters: A New Thinking on the Application of the 1982 Unclos Article 123 to the South China Sea. *Ocean Development and International Law*, 41(3), 281–314.
<https://doi.org/10.1080/00908320.2010.499306>.
- Khaldun, M. H. I., Wirasatriya, A., Suryo, A. A. D., & Kunarso. (2018). The Influence of Indian Ocean Dipole (IOD) on the Variability of Sea Surface Temperature and Precipitation in Sumatera Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 165(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/165/1/012008>.
- Kavzoglu, T., & Goral, M. (2022). Google Earth Engine for Monitoring Marine Mucilage: Izmit Bay in Spring 2021. *Hydrology*, 9(8), 1–16.
<https://doi.org/10.3390/hydrology9080135>.
- Li., Jindian, X., Chunsheng, J., Risheng, W., & Xiaogang, G. (2003). Annual Variation of Sea Surface Height, Dynamic Topography and Circulation in the South China Sea - A TOPEX/Poseidon Satellite Altimetry Study. *Science in China, Series D: Earth Sciences*, 46(2), 127–38.
<https://doi.org/10.1360/03yd9012>.

- Liu, K. K., Chao, S. Y., Shaw, P. T., Gong, G. C., Chen, C. C., & Tang, T. Y. (2002). Monsoon-Forced Chlorophyll Distribution and Primary Production in the South China Sea: Observations and a Numerical Study. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(8), 1387–1412. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(02\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(02)00035-3).
- Qi-zhou, H., Wen-zhi, W., Li, Y. S., & Li, C. W. (1994). Current Characteristics Of The South China Sea. *Oceanology of China Seas*, 1(1982), 39–47. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0862-1_5.
- Qi, J., Du, Y., Chi, J., Yi, D. L., Li, D., & Yin, B. (2022). Impacts of El Niño on the South China Sea Surface Salinity as Seen from Satellites. *Environmental Research Letters*, 17(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6a6a>.
- Ramamurthy, M. (2016). *Data-Driven Atmospheric Sciences Using Cloud-Based Cyberinfrastructure: Plans, Opportunities, and Challenges for a Real-Time Weather Data Facility. Cloud Computing in Ocean and Atmospheric Sciences*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803192-6.00004-9>.
- Salau, O. R., Schneider, B., Park, W., Khon, V., & Latif, M. (2012). Modeling the ENSO Impact of Orbitally Induced Mean State Climate Changes. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(5), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2011JC007742>.
- Vance, T. C., Wengren, M., Burger, E., Hernandez, D., Kearns, T., Medina-Lopez, E., Merati, N., O'Brien, K., O'Neil, J., Potemra, J. T., Signell, R. P., & Wilcox, K. (2019). From the Oceans to the Cloud: Opportunities and Challenges for Data, Models, Computation and Workflows. *Frontiers in Marine Science*, 6(APR), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.0211>.
- Zeng, L., Wang, D., Chen, J., Wang, W., & Chen, R. (2016). SCSPD14, a South China Sea Physical Oceanographic Dataset Derived from in Situ Measurements during 1919–2014. *Scientific Data*, 3, 160029. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.29>.
- Zeng, X., Peng, S., Li, Z., Qi, Y., & Chen, R. (2014). A Reanalysis Dataset of the South China Sea. *Scientific Data*, 1, 1–11. <https://doi.org/10.1038/sdata.2014.52>.
- Zhu, J., Hu, J., & Zheng, Q. (2022). An Overview on Water Masses in the China Seas. *Frontiers in Marine Science* 9(August), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.972921>.
- Zu, T, Xue, H., Wang, D., Geng, B., Zeng, L., Liu, Q., Chen, J., & He, Y. (2019). Interannual Variation of the South

China Sea Circulation during Winter:
Intensified in the Southern Basin.
Climate Dynamics, 52(3–4), 1917-33.
<https://doi.org/10.1007/s00382-018-4230-3>.

