

ANALISIS KARAKTERISTIK ARUS LAUT DAN TRANSPOR MASSA AIR DI PERAIRAN SEKITAR PULAU ENGGANO DENGAN MENGUNAKAN MODEL NUMERIK 3D

Iwan Pramesti Anwar^{1,4}, Mukti Dono Wilopo², Aulia Try Atmojo³

¹*Program Studi Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan,
Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia*

²*Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu,
Bengkulu, Indonesia*

³*Program Studi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sumatra, Lampung,
Indonesia*

⁴*Kelompok Keilmuan Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi
Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia*

E-mail : iwan.p.anwar@gmail.com

ABSTRAK

GLORYS12V1 merupakan produk dari model numerik 3 dimensi fisika oseanografi dengan resolusi horizontal $1/12^\circ \times 1/12^\circ$ (sekitar 8 km x 8 km) dan 50-layer terhadap kedalaman. Arus laut merupakan salah satu parameter dinamika oseanografi yang berhasil disimulasikan dengan baik oleh model tersebut. Arus laut terhadap kedalaman dapat digunakan untuk kajian tranpor volume. Dengan menggunakan GLORYS12V1 dapat dikaji arus permukaan dan tranpor volume rata-rata bulanan di perairan sekitar Pulau Enggano dan sekitarnya selama tahun 2013. Kecepatan arus permukaan bervariasi antara 0-0,75 m/detik. Sementara itu, untuk arus terhadap kedalaman berkisar antara 0-1 m/detik dengan arah dan besar arus bervariasi terhadap kedalaman. Bahkan untuk bulan-bulan tertentu antara permukaan hingga kedalaman 50 m arahnya berbeda dengan kedalaman >50 m hingga dasar. Arus terhadap kedalaman di barat laut dengan tenggara Pulau Enggano memiliki perbedaan arah pada bulan-bulan musim peralihan seperti April dan November. Sementara untuk besarnya relatif sama yaitu pada kisaran 0-1 m/detik. Kemudian tranpor volume terhadap kedalaman yang melalui perairan antara Pulau Enggano dengan daratan Sumatra berkisar antara -2 Sv sampai 2 Sv, ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{detik}$). Nilai positif (negatif) menunjukkan arah transport ke barat laut (tenggara). Tranpor maksimum berada pada kedalaman 100-700 m pada bulan April-Mei dan Oktober-November menuju barat laut sedangkan bulan Februari-Maret dan Juni-Juli menuju tenggara. Perbedaan arah tranpor terhadap kedalaman terjadi pada bulan Februari-Maret (musim barat) dan Juni-Juli (musim timur). Sedangkan pada musim peralihan I dan peralihan II tranpor terhadap kedalaman arahnya cenderung seragam yaitu menuju tenggara. Korelasi antara tranpor volume dengan kecepatan angin lokal menunjukkan kuat searah dari permukaan hingga kedalaman 20 m. Selanjutnya, dari kedalaman 20-300 m korelasi tranpor volume dengan

angin berlawanan. Terakhir, dari kedalaman 300 m hingga dasar korelasinya searah namun tidak signifikan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kecepatan arus dan transpor volume di Perairan Pulau Enggano dan sekitarnya dipengaruhi oleh kecepatan angin lokal untuk permukaan - 20 m dan pengaruh regional untuk kedalaman > 20 m.

Kata kunci: Perairan Pulau Enggano, Arus Laut, Transpor Volume

ABSTRACT

GLORYS12V1 is a product of a 3-dimensional numerical model of oceanographic physics with a horizontal resolution of $1/12^\circ \times 1/12^\circ$ (approximately 8 km x 8 km) and 50 layers to depth. Ocean currents are one of the parameters of oceanographic dynamics which the model has successfully simulated. Ocean currents to depth can be used for volume transport studies. Thus, by using GLORYS12V1, it is possible to study the average monthly surface currents and transport volumes in the waters around Enggano Island and its surroundings during 2013. The surface current velocity varies between 0-0.75 m/s. Meanwhile, current with depth ranged from 0-1 m/s with the direction and magnitude of the currents vary with depth. Even for certain months, the direction is different between the surface to a depth of 50 m, with a depth of > 50 m to the bottom. Currents to deep in the northwest and southeast of Enggano Island have different directions in the transitional season months, such as April and November. Meanwhile, the magnitude is relatively the same, namely in the range of 0-1 m/s. Then the transport volume to depth through the waters between Enggano Island and mainland Sumatra ranges from -2 Sv to 2 Sv, ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$). A positive (negative) value indicates the direction of transport to the northwest (southeast). Maximum transport is at a depth of 100-700 m in April-May and October-November towards the northwest while February-March and June-July towards the southeast. The difference in transport direction with depth occurs in February-March (west season) and June-July (eastern season). Meanwhile, in transition seasons I and II, the direction of transport towards depth tends to be uniform, namely towards the southeast. The correlation between volume transport and local wind speed shows the unidirectional strength from the surface to a depth of 20 m. Furthermore, from a depth of 20 m-300 m, the volume transport correlates with the opposite wind. Finally, from a depth of 300 m to the base, the correlation is unidirectional but not significant. This indicates that current velocity and volume transport in the waters of Enggano Island and its surroundings are influenced by local wind speeds for surface - 20 m and regional influences for depths > 20.

Keywords : Enggano Island's waters, Sea current, Volume transport

PENDAHULUAN

Perairan Samudra Hindia tropis bagian tenggara atau dikenal juga dengan *Southeast Tropical Indian Ocean* (SETIO) merupakan perairan yang menerima pengaruh langsung dari Samudra Hindia dan daratan di benua maritime Indonesia. Pengaruh tersebut menjadikan dinamika perairan di wilayah tersebut memiliki karakteristik perpaduan antara perairan Samudra dan pantai. Wilayah SETIO membentang dari selatan India hingga Selatan Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Termasuk di dalamnya perairan Barat Sumatra dan lebih spesifik lagi perairan Pulau Enggano dan sekitarnya.

Wilayah Indonesia dipengaruhi oleh angin monsun. Hal tersebut juga terjadi pada wilayah Barat Sumatra khususnya Pulau Enggano dan sekitarnya. Angin tersebut memiliki dua puncak setiap tahunnya. Pertama adalah musim barat laut, angin bertiup dari arah barat laut menuju tenggara. Kedua adalah musim tenggara, angin bertiup dari tenggara ke arah barat laut. Selain pada puncak musim angin bertiup tidak terlalu kuat pada satu arah. Sehingga waktu tersebut dikenal dengan musim peralihan I, terjadi setelah musim barat laut dan musim peralihan II, terjadi setelah musim tenggara. Musim Barat laut terjadi pada bulan Desember, Januari, dan Februari. Sementara itu, musim tenggara terjadi pada bulan Juni, Juli, dan Agustus. Kemudian, bulan Maret, April dan Mei termasuk musim peralihan I dan September, Oktober, dan November termasuk musim peralihan II (Wyrki, 1961). Arah dan kecepatan angin sangat mempengaruhi dinamika arus pada perairan terutama untuk bagian permukaan hingga kedalaman tertentu.

Wilayah SETIO memegang peranan penting pada dinamika perairan dan iklim global-regional. Pada wilayah tersebut ditemukan sistem arus *Wyrki Jet*, *South Java Current*, *South Java Under Current*, dan pengaruh Arus lintas Indonesia (Arlindo) yang keluar melalui Selat Sunda, Lombok, dan Ombai menuju Samudra Hindia (Ningsih *et al.*, 2021). Arus yang amat kencang pada wilayah SETIO ditemukan saat musim peralihan di kedalaman 80-100 m (Timmermans, 2015; Duan Y *et al.*, 2016). Arus kencang tersebut dikenal dengan Wyrky Jet (Schott *et al.*, 2009). Arus tersebut terjadi secara regional dan dampaknya akan terasa hingga perairan Barat Sumatra. Wyrky jet membawa massa air yang relatif lebih hangat sehingga berakibat pada menurunnya termoklin di wilayah barat Sumatra hingga Selatan Jawa. Kecepatan dari Wyrky Jet mencapai 0,7 m/detik (Tomczak dan Godfrey, 1994) pada musim peralihan I dan 1,3 m/detik pada musim peralihan II (Purwandana *et al.*, 2021). Selain Wyrky Jet penamaan arus kencang yang juga dipengaruhi oleh efek lokal ditemukan di perairan Barat Sumatra, khususnya di Perairan Mentawai. Arus tersebut dinamakan dengan Mentawai Jet. Arus tersebut ditemukan pada kedalaman diatas 125 m dengan kecepatan mencapai 1 m/detik pada bulan April (Purwandana *et al.*, 2021).

Sistem arus permukaan dan terhadap kedalaman di wilayah SETIO sangat dipengaruhi oleh periode *intra-seasonal*, *seasonal*, *annual* dan *interannual* (Ningsih *et al.*, 2021). Pengaruh interannual berupa fenomena

Indian Ocean Dipole (IOD) berpengaruh kuat terhadap dinamika perairan di sekitar Pulau Enggano (Cahyarini *et al.*, 2021). Selain pengaruh global ditemukan pula pengaruh lokal pada tiap-tiap wilayah yang termasuk wilayah SETIO. Seperti pada perairan sekitar Pulau Mentawai (Purwandana *et al.*, 2021) dan perairan Pulau Simeulue (Bernawis *et al.*, 2019). Sistem arus permukaan perlu dikaji salah satunya untuk melihat/memprediksi sebaran sampah plastik di laut (Mheen *et al.*, 2020), sementara transpor terhadap kedalaman dikaji untuk mengetahui dinamika perairan dan dampaknya terhadap iklim global.

Data hasil pengukuran lapangan kecepatan arus baik permukaan atau pun kedalaman di Perairan Pulau Enggano sulit didapat. Hal tersebut menjadikan penelitian ini menggunakan luaran model 3D yang dikembangkan oleh *Copernicus Marine Service Center* (CMSC), Eropa (Lellouche *et al.*, 2021). Luaran model tersebut cukup representatif untuk digunakan dalam mengkaji arus permukaan dan kedalaman di wilayah Perairan Pulau Enggano.

MATERI DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini mengkaji arus laut dan transport volume di wilayah perairan Pulau Enggano dan sekitarnya. Tepatnya berada pada 101-103BT dan 6,75-2,25LS (Gambar 1.). Arus laut rata-rata bulanan secara spasial dan temporal dianalisis untuk tahun 2013. Secara horizontal arus laut tersebut memiliki kerapatan sekitar 8 km x 8 km sedangkan untuk lapisan kedalamannya dibagi menjadi 38 lapisan kedalaman (Tabel 1.).

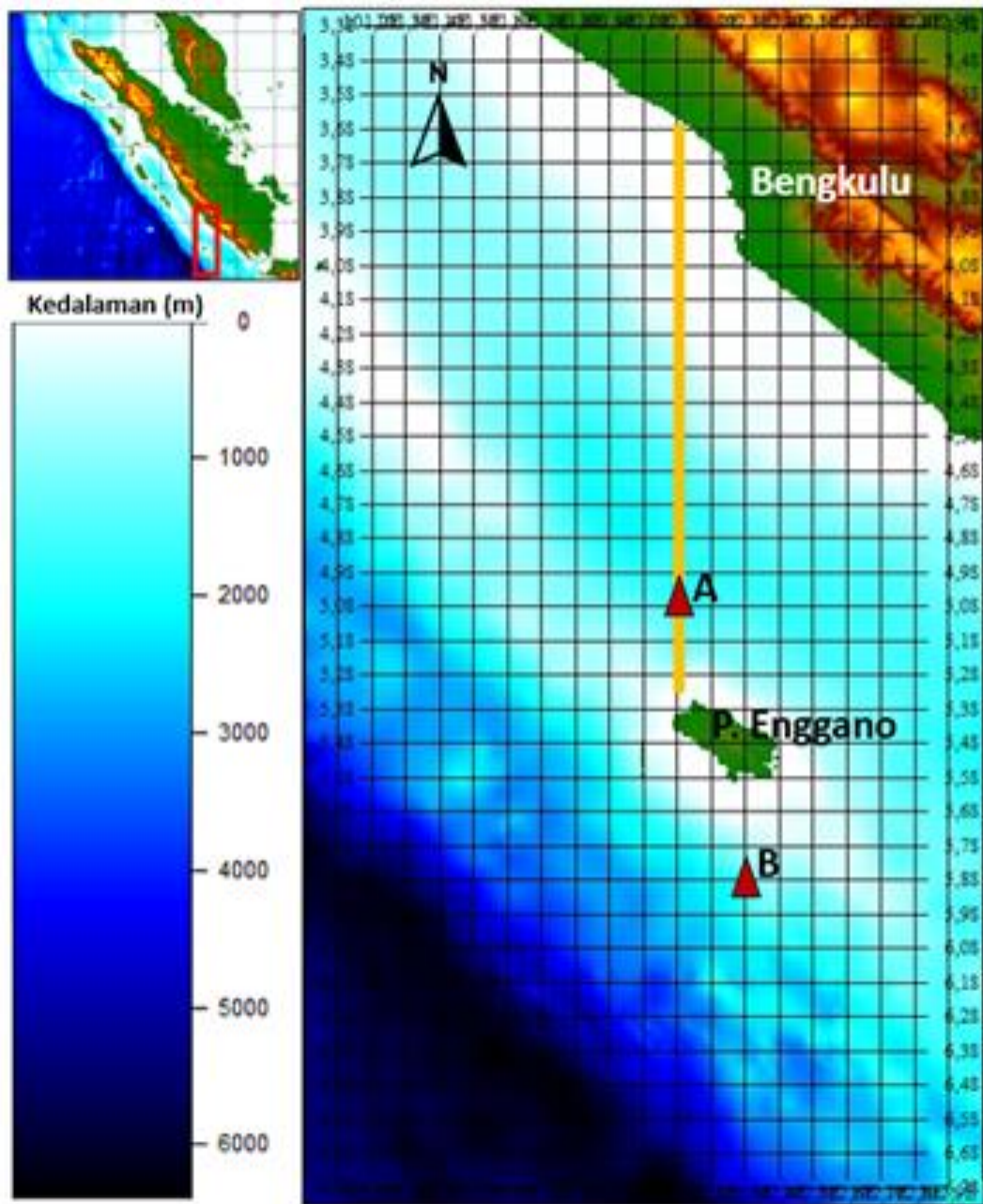
Metode Penelitian

Model Numerik 2D GLORYS12V1

Penelitian ini menggunakan luaran model numerik 3D GLORYS12V1 yang telah dijalankan oleh *Copernicus Marine Environment Monitoring Service*, Eropa. Model numerik yang digunakan telah diasimilasikan dengan data pengamatan dan satelit. Sehingga hal tersebut dapat menggambarkan dinamika laut yang sebenarnya.

Model ini merupakan model global dengan resolusi horizontal $1/12^\circ \times 1/12^\circ$ (sekitar 8 km x 8 km) dengan lapisan vertikal 50 layer. Tabel 1. Menunjukkan ketebalan lapisan untuk setiap layernya. Model hidrodinamika dijalankan dengan menggunakan *platform Nucleus for European Modelling of the Ocean* atau biasa disingkat NEMO (Gurvan *et al.*, 2019) kemudian diberi input model kecepatan angin dari ERA-ECMWF, Elevasi muka air dari satelit altimetri, temperature permukaan laut, dan salinitas permukaan laut dari satelit, dan temperatur-salinitas dari data pengukuran *in situ* terhadap kedalaman (Lellouche *et al.*, 2021).

Luaran dari model numerik yang dimanfaatkan pada penelitian ini adalah kecepatan arus arah-x (u), kecepatan arus arah-y (v).



Gambar 1. Peta batimetri perairan Pulau Enggano dan sekitarnya. Garis kuning adalah transek penghitungan transpor (sumber : Arndt, 2013).

Tabel 1. Ketebalan lapisan pada model

No. Layer	Tebal Layer (m)	No. Layer	Tebal Layer (m)
1	0,49	26	30,27
2	1,05	27	36,35
3	1,10	28	43,57
4	1,17	29	52,09
5	1,26	30	62,09
6	1,36	31	73,72

7	1,49	32	87,15
8	1,64	33	102,48
9	1,83	34	119,77
10	2,06	35	139,01
11	2,34	36	160,10
12	2,69	37	182,85
13	3,10	38	206,96
14	3,61	39	232,03
15	4,23	40	257,61
16	4,99	41	283,19
17	5,91	42	308,26
18	7,03	43	332,37
19	8,39	44	355,12
20	10,04	45	376,21
21	12,05	46	395,45
22	14,47	47	412,74
23	17,40	48	428,07
24	20,94	49	441,49
25	25,18	50	453,13

Prosedur Pengolahan Data

Luaran model/data rata-rata bulanan dari kecepatan arus arah-x (u) dan kecepatan arus arah-y (v) pada tahun 2013 di wilayah perairan Pulau Enggano pertama diunduh pada laman <https://resources.marine.copernicus.eu/>. Pada saat mengunduh data pastikan wilayah, layer kedalaman, tahun, dan parameter yang hendak dipilih. Setelah itu, hasil unduhan berupa data dengan format netCDF, itu harus diolah lebih lanjut menggunakan perangkat lunak. Pada penelitian ini perangkat lunak yang digunakan adalah MATLAB 9.2.

Rata-rata arus permukaan bulanan digambarkan secara spasial dengan menggunakan skrip dari (Pawlowicz, 2020). Selanjutnya, data arus terhadap kedalaman pada stasiun-A dan stasiun-B (Gambar 1.) diambil kemudian digambarkan dengan menggunakan fungsi *feather plot* pada MATLAB 9.2. Kemudian ambil data arus terhadap kedalaman sepanjang transek orange pada Gambar 1. Sehingga didapat data arus bulanan terhadap kedalaman di transek tersebut.

Data arus zonal pada transek orange diolah lebih lanjut dengan menerapkan persamaan transpor volume (Fang *et al.*, 2010; Anwar *et al.*, 2017; Anwar *et al.*, 2018). Persamaan transpor volume ditunjukkan oleh Persamaan 1.

$$F_v = \int_A u dA \quad (1)$$

Dengan,

F_v adalah transpor volume ($m^3/detik$)

u adalah kecepatan arus ($m/detik$)

A adalah luas penampang transek (m^2)

Perhitungan transpor volume digunakan arus zonal dengan luas penampang transek total 118.700 m (lintang) x 2.007 m (kedalaman).

Data tambahan untuk analisis digunakan kecepatan angin permukaan rata-rata bulanan pada tempat dan waktu yang sama dengan data kecepatan arus. Data angin bersumber dari ERA-ECMWF yang dapat diunduh pada laman <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim> (Dee *et al.*, 2011). Data tersebut juga diolah lebih lanjut dengan menggunakan MATLAB 9.2.

Transpor volume rata-rata bulanan terhadap kedalaman dan terhadap lintang digambarkan dengan menggunakan fungsi *contourf* pada MATLAB 9.2. Selanjutnya dilakukan penyesuaian *map color* dengan pilihan *red-blue color* (Auton, 2021).

Untuk melihat hubungan pola antara transpor volume dengan kecepatan angin digunakan metode statistik korelasi. Koefisien korelasi menunjukkan hubungan yang kuat searah apabila nilainya 1 sedangkan menunjukkan hubungan yang kuat namun berlawanan arah nilainya -1. Koefisien korelasi yang digunakan pada penelitian ini menerapkan signifikansi 95%. Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien korelasi ditunjukkan oleh Persamaan 2.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (2)$$

Dengan,

r adalah koefisien korelasi ($-1 \leq r \leq 1$)

n adalah jumlah data

x adalah data variabel-x dalam hal ini transpor volume

y adalah data variabel-y dalam hal ini kecepatan angin

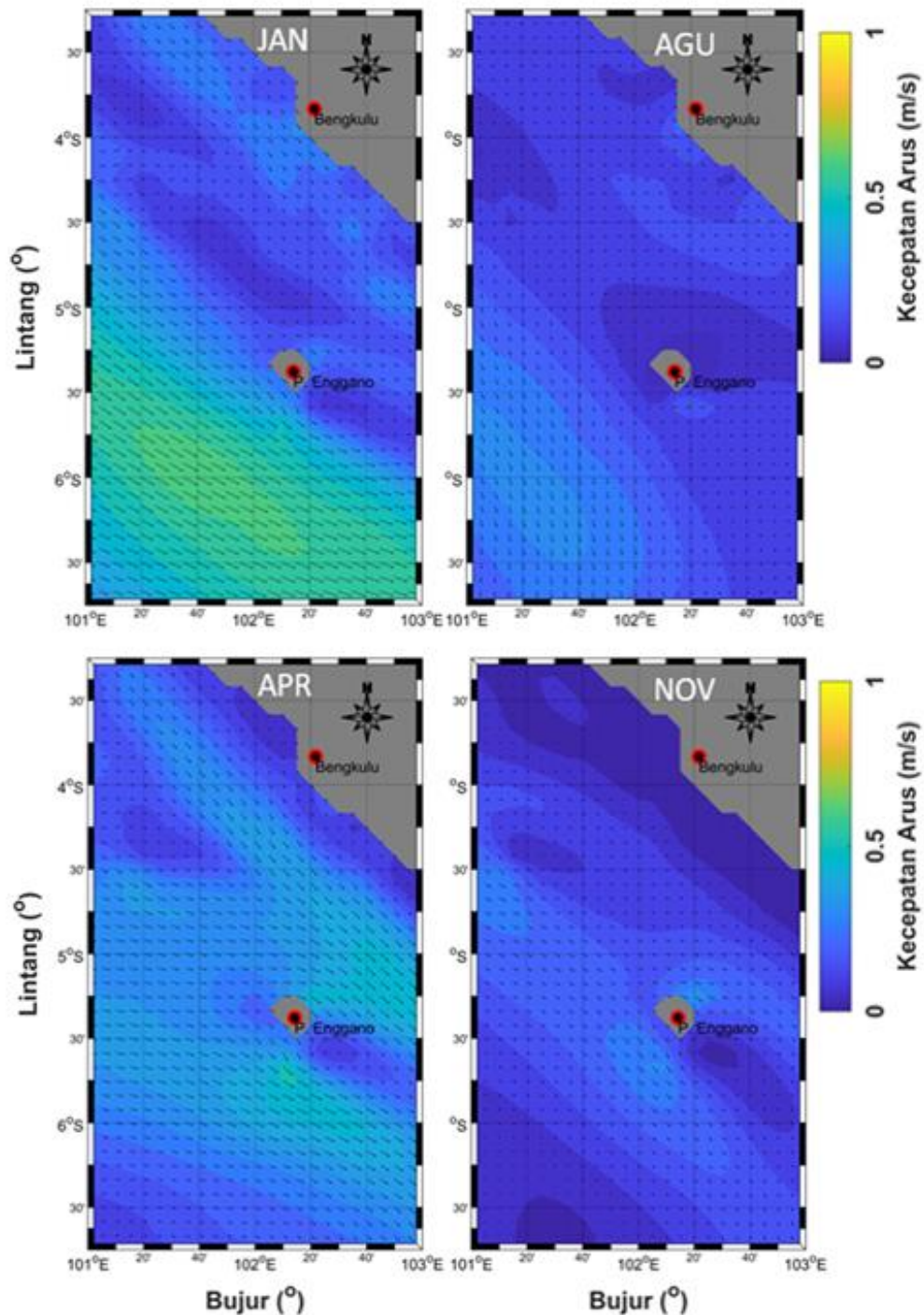
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Arus Spasial Permukaan dan Kedalaman

Pola arus permukaan rata-rata bulanan ditunjukkan secara spasial pada Gambar 2. Rata-rata arus permukaan pada bulan Januari mewakili musim barat laut, sementara bulan Agustus mewakili musim tenggara. Adapun bulan April dan November mewakili musim peralihan I dan II.

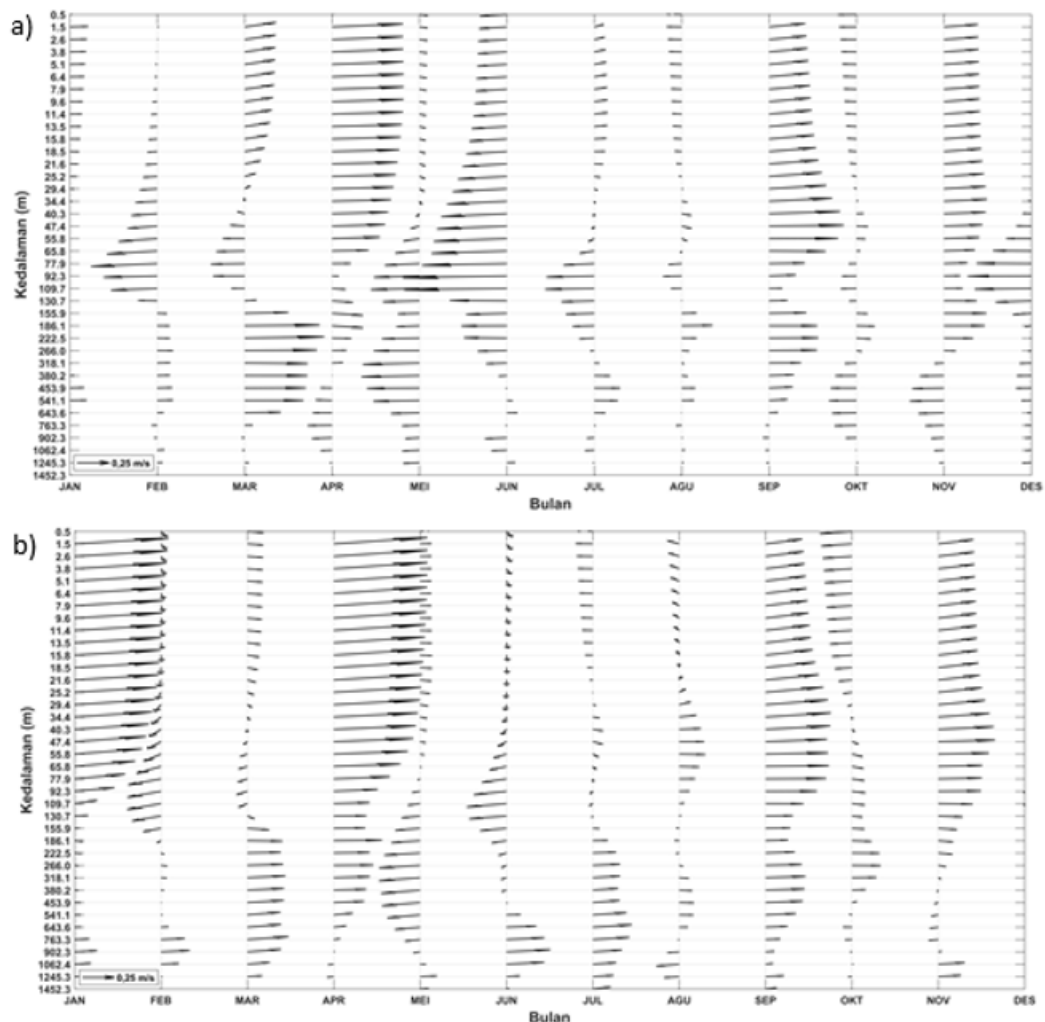
Pola arus permukaan selama bulan Januari cenderung bergerak dari barat laut ke tenggara. Sementara itu magnitude kecepatannya berkisar antara 0,8 m/detik di lepas pantai dan 0,5 m/detik di dekat pantai. Kecepatan arus rendah terlihat di sebelah utara Pulau Enggano, polanya memanjang sejajar pantai pulau Sumatra. Pola yang mirip juga terbentuk di Selatan Pulau Enggano. Kecepatannya berkisar antara 0-0,1 m/detik. Kemungkinan besar pola arus tersebut terbentuk karena pengaruh Samudra Hindia dan pengaruh pantai Barat Sumatra. Sementara itu, pola arus bulan Agustus arahnya tidak seragam terhadap ruang, dari pantai Sumatra hingga Pulau Enggano arahnya menuju ke barat laut dengan

kecepatan bervariasi antara 0,1-0,4 m/detik. Sedangkan arah arus di lepas pantai Pulau Enggano cenderung ke arah antara selatan dan tenggara dengan kecepatan hingga 0,5 m/detik.



Gambar 2. Pola arus permukaan rata-rata bulanan untuk bulan Januari (musim barat), April (musim peralihan I), Agustus (musim timur), November (musim peralihan II) di Perairan Pulau Enggano dan sekitarnya

Bulan April memiliki pola arus dengan kecenderungan secara spasial memiliki arah dan besar yang relatif sama dengan musim barat. Namun, hampir seluruhnya memiliki kecepatan hingga 0,8 m/detik. Wilayahnya termasuk daerah yang ketika musim barat memiliki kecepatan arus yang rendah, yaitu wilayah di utara Pulau Enggano memanjang searah pantai Sumatra. Daerah tenggara Pulau Enggano memiliki kecepatan arus yang rendah yaitu sekitar 0,1 m/detik dengan arah ke tenggara. Daerah dengan kecepatan arus rendah lainnya ditunjukkan oleh wilayah dekat pantai Sumatra dan lepas pantai Pulau Enggano. Sementara untuk bulan November pola arusnya hampir sama dengan musim tenggara. Namun kecepatan arusnya jauh lebih rendah yaitu berkisar antara 0-0,25 m/detik. Secara umum pola arus musiman di dekat Pulau Enggano sesuai dengan pola arah anginnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa arus permukaan dipengaruhi oleh kecepatan dan arah anginnya (Wyrky, 1961).



Gambar 3. Pola sebaran arus terhadap kedalaman rata-rata bulanan pada Stasiun-A (a) dan Stasiun-B (b) (lokasi stasiun pada Gambar 1)

Setelah melihat karakteristik yang cukup berbeda antara perairan Pulau Enggano dengan pantai Sumatra dan Pulau Enggano ke arah lepas pantai Samudra Hindia. Maka pada Gambar 3.a dan 3.b ditunjukkan pola

arus rata-rata bulanan terhadap kedalaman di Stasiun-A dan Stasiun-B. Pemilihan Stasiun-A dianggap mewakili pola arus di wilayah Pulau Enggano dengan pantai Sumatra sedangkan Stasiun-B mewakili daerah lepas pantai Pulau Enggano.

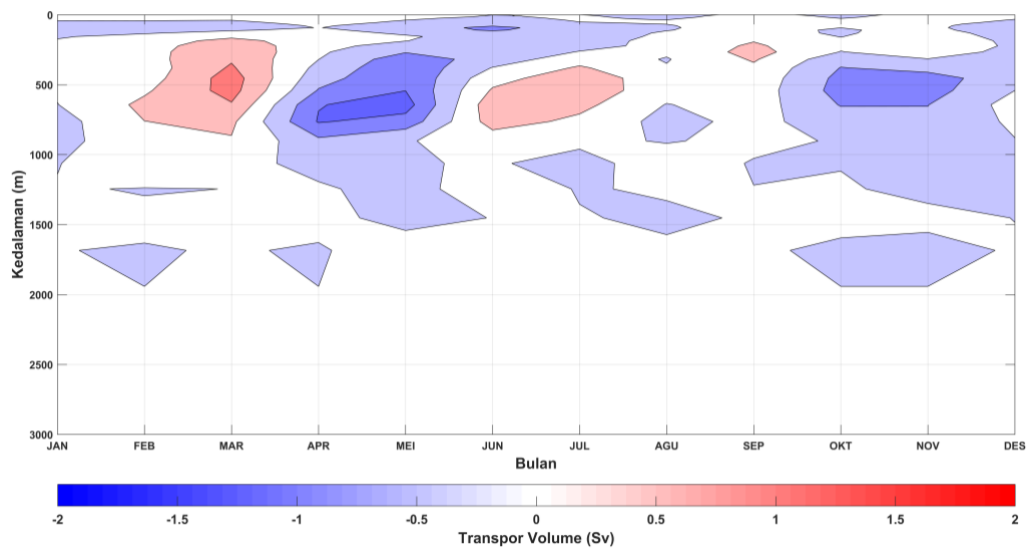
Pada Stasiun-A kecepatan dan arah arus terhadap kedalaman memperlihatkan pola yang berbeda. Hal tersebut terlihat perbedaan arah dan kedalamannya bervariasi tiap musim. Pada bulan Desember, Januari dan Februari yang merepresentasikan musim barat laut terlihat kecepatan arus di permukaan hingga 40 m menuju arah tenggara. Namun untuk kedalaman 40-130 m arah arusnya berlawanan yaitu menuju barat laut dengan kecepatan hampir dua kali lipat dari arus permukaan. Kemudian pada musim timur, perubahan arah arus terjadi pada kedalaman 65 m - 380 m, kecuali pada bulan Juni, arah arus dari permukaan hingga kedalaman searah yaitu menuju barat laut dengan kecepatan maksimum 1 m/detik pada kedalaman 90-100 m. Pola arus terhadap kedalaman pada bulan April sebagai puncak musim peralihan I menunjukkan perubahan arah pada kedalaman 541 m - dasar. Namun pola arus pada permukaan hingga kedalaman 90 m menunjukkan pola eksponensial negatif. Arus mengecil dari permukaan ke kedalaman dengan puncak terkecilnya pada kedalaman 90 m dengan kecepatan kurang dari 0,1 m/detik. Sementara untuk bulan November yang dianggap mewakili musim peralihan II memiliki karakteristik yang mirip dengan bulan April hanya saja arah arusnya menuju tenggara sedangkan bulan April menuju barat laut.

Baik di Stasiun-A atau Stasiun-B pola arus terhadap kedalamannya menunjukkan arah yang berbeda. Hal tersebut mengindikasikan adanya pengaruh arus bawah atau kemungkinan ekstensi dari Mentawai Jet pada kedalaman-kedalaman tertentu di perairan Pulau Enggano dan sekitarnya (Purawdana *et al.*, 2021).

Variasi Transpor Volume di antara Pulau Enggano dan Pulau Sumatra

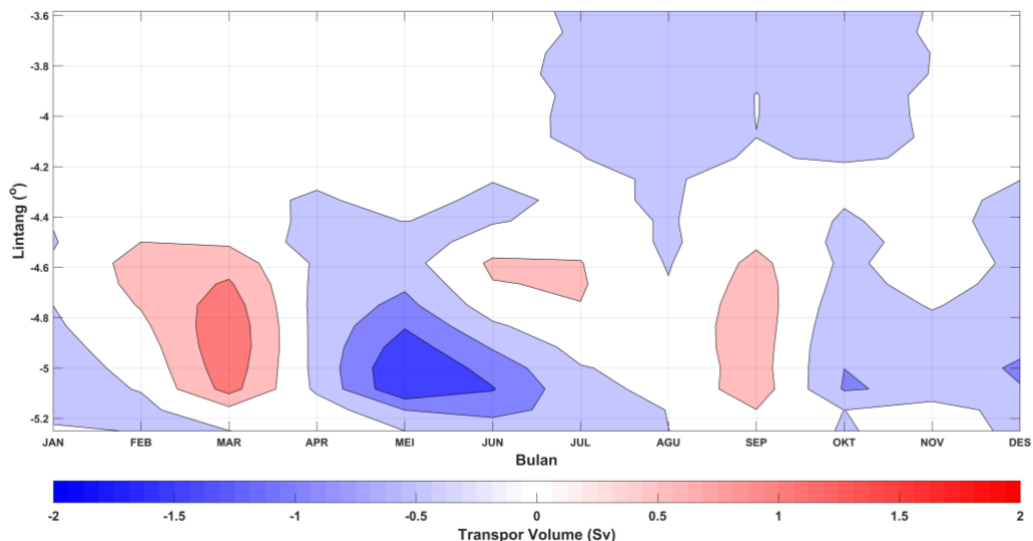
Secara teoritis transpor volume merupakan besaran skalar. Namun transpor volume dapat dilihat arah pergerakannya dengan mengacu pada vektor arusnya (Fang *et al.*, 2010; Anwar *et al.*, 2017; Anwar *et al.*, 2018). Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan transpor volume yang diambil pada transek/garis berwarna orange pada Gambar 1. Artinya besar volume massa air yang melalui transek orange tersebut dapat dilihat besar dan arahnya pada Gambar 4 atau Gambar 5. Kedua gambar tersebut disajikan berubah terhadap waktu (sumbu-x) untuk Gambar 4 sumbu-y nya adalah kedalaman, sedangkan Gambar 5 sumbu-y nya adalah lintang.

Transpor volume pada kedalaman permukaan hingga 40 m menunjukkan arah barat laut pada musim tenggara dan arah tenggara pada musim barat laut. Hal tersebut sejalan dengan arah angin dan arus permukaannya. Kemudian untuk kedalaman 40-120 m arah transpornya cenderung seragam menuju barat laut dengan besar -1 Sv. Hal tersebut tidak terlihat pada musim peralihan I dan II. Arah transpornya cenderung ke tenggara dengan besar transpor kurang dari 0,1 Sv.



Gambar 4. Transpor volume total terhadap kedalaman selama satu tahun di transek orange (Gambar 1). Nilai positif (negatif) menunjukkan besar aliran ke arah timur (barat) transek orange.

Besar transpor pada kedalaman 100 m-800 m menunjukkan besar transpor hingga 2 Sv pada musim barat laut dan tenggara. Sementara pada musim peralihan I dan II besarnya mencapai -2 Sv. Pada kedalaman tersebut mengindikasikan adanya arus yang kencang pada tebal layer tertentu.



Gambar 5. Transpor volume total terhadap lintang selama satu tahun di transek orange (Gambar 1). Nilai positif (negatif) menunjukkan besar aliran ke arah timur (barat) transek antara P. Enggano dan P. Sumatra.

Variasi transpor volume secara lintang yang telah ditotalkan terhadap kedalaman dapat dilihat pada Gambar 5. Besar dan arahnya bervariasi terhadap musim, sedangkan posisi besar transpor cenderung berada pada 5,2° LS – 4,2° LS dengan pengecualian pada bulan-bulan Peralihan II.

Transpor dominan terlihat berada pada lintang 4,2° LS – 3,6° LS. Transpor maksimum pada bulan Februari-Maret dan September mengalir ke arah tenggara sebesar 1,5 Sv hingga 2 Sv. Kemudian pada bulan April-Agustus dan Oktober-Desember transpor mengalir ke arah barat laut sebesar -1 Sv hingga -2 Sv. Secara umum transpor total terhadap kedalaman mengalir ke arah barat laut lebih besar dan lebih lama dibanding dengan ke arah tenggara. Hal tersebut akan menjadikan net transpornya ke arah barat laut.

Pengaruh kecepatan angin lokal yang berada di wilayah tersebut terhadap transpor di transek antara Pulau Enggano dan Pulau Sumatra dievaluasi dengan menggunakan koefisien korelasi. Tabel 2 menunjukkan korelasi kecepatan angin zonal (angin barat-timur) dengan transpor volume di transek antara Pulau Enggano dan Pulau Sumatra. Meskipun koefisien korelasi hanya menunjukkan hubungan suatu variabel terhadap variabel lain, bukan hubungan kausalitas. Namun berdasarkan penjelasan tentang profil arus permukaan dan terhadap kedalaman yang memiliki kesesuaian dengan musim (Wyrтки, 1961). Maka kemungkinan besar adanya hubungan antara transpor volume dengan kecepatan angin.

Tabel 2. Nilai koefisien korelasi antara kecepatan angin zonal dan transport volume untuk tiap kedalaman di transek orange.

Kedalaman (m)	Koefisien Korelasi (r)	Kedalaman (m)	Koefisien Korelasi (r)
0,5	0,6	77,9	-0,7
1,5	0,6	92,3	-0,7
2,6	0,6	109,7	-0,6
3,8	0,6	130,7	-0,5
5,1	0,5	155,9	-0,2
6,4	0,5	186,1	-0,3
7,9	0,5	222,5	-0,3
9,6	0,4	266,0	-0,2
11,4	0,4	318,1	-0,1
13,5	0,3	380,2	0,0
15,8	0,3	453,9	0,0
18,5	0,2	541,1	0,1
21,6	0,1	643,6	0,2
25,2	-0,1	763,3	0,1
29,4	-0,3	902,3	0,1
34,4	-0,4	1062,4	0,1
40,3	-0,5	1245,3	0,1
47,4	-0,6	1452,3	0,0
55,8	-0,7	1684,3	0,0
65,8	-0,7		

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa transpor volume yang searah dengan besar dan kecepatan anginnya hanya dari kedalaman permukaan hingga 20 m. Kemudian transpor volume pada kedalaman 20 m – 300 m berlawanan dengan arah kecepatan angin. Hal tersebut

diindikasikan bahwa kecepatan angin lokal berpengaruh terhadap arus di permukaan hingga kedalaman 20 m. Sementara itu, diduga ekstensi dari Mentawai Jet berperan mentransportkan volume massa air pada kedalaman 20 m – 300 m. Untuk transport volume pada kedalaman > 300 m arahnya sama dengan kecepatan angin. Namun nilai korelasinya kecil sehingga dapat disebut tidak berhubungan.

KESIMPULAN

Luaran model arus 3D GLORYS12V1 dapat digunakan untuk mengkaji variasi arus di perairan Pulau Enggano dan sekitarnya. Kecepatan arus permukaannya berkisar antara 0 -0,75 m/detik dengan variasi mengikuti angin lokal. Sementara itu, arus terhadap kedalaman baik di perairan antara Pulau Enggano dengan pantai Sumatra (Stasiun-A) atau di perairan Pulau Enggano ke arah lepas pantai (Stasiun-B) menunjukkan karakteristik perbedaan arah di permukaan dengan kedalaman. Perbedaan arah terlihat lebih jelas pada musim barat laut dan tenggara daripada pada musim peralihan I dan II. Kecepatan maksimum arus terhadap kedalaman yaitu 1 m/detik terhadap kedalaman antara 90 m – 100 m.

Transport volume di perairan antara Pulau Enggano dengan pantai Sumatra menunjukkan variasi musiman baik terhadap kedalaman atau pun lintang. Transport volume di permukaan hingga kedalaman 20 m dipengaruhi oleh kecepatan angin lokal. Sementara itu, transport volume pada kedalaman 20 m – 300 m banyak dipengaruhi oleh arus bawah yang arahnya berlawanan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Copernicus Marine Environment Monitoring Service Center* sebagai penyedia luaran model numerik arus laut 3D beresolusi 8 km x 8 km.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, I.P., Putri, M.R., dan Setiawan, A. 2017. Variation of Volume Transport and Variability of Current in Karimata and Gaspar Straits during 2010-2014 based on Numerical Modeling. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, **9**(2), 771-780. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i2.19309>
- Anwar, I.P., Putri, M.R., dan Setiawan, A. 2018. Ocean numerical model experiment on estimating the variation of volume and heat transport in Karimata strait. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **162** 012001
- Arndt, J.E., Schenke, H.W., Jakobsson, M., Nitsche, F., Buys, G., Goleby, B., Rebecco, M., Bohoyo, F., Hong, J.K., Black, J., Greku, R., Udintsev, G., Barrios, F., Reynoso-Peralta, W., Morishita, T., Wigley, R. 2013. The International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO) Version 1.0 - A new bathymetric

compilation covering circum Antarctic waters, *Geophysical Research Letters*, **40**, p. 3111-3117, doi: 10.1002/grl.50413

Auton, A. 2021. Red Blue Colormap (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25536-red-blue-colormap>), MATLAB Central File Exchange.

Bernawis, L.I., Anwar, I.P., Bayhaqi, A., Wahyudi, A.J., Putri, M.R., dan Fadli, M. 2019. Estimation of Sea-Air CO₂ Exchange at Simeulue Sea during Summer Asian Monsoon. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, **11**(3), 713-720. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v11i3.22662>

Cahyarini, S.Y., Pfeiffer, M., Reuning, L., Liebetrau, V., Dullo, W.-C., Takayanagi, H., Anwar, I.P., Utami, D.A., Garbe-Schönberg, D., Hendrizan, M., dan Eisenhauer, A. 2021. Modern and sub fossil corals suggest reduced temperature variability in the eastern pole of the Indian Ocean Dipole during the medieval climate anomaly. *Sci Rep* **11**, 14952. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94465-1>

Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Holm, E.V., Isaksen, L., Kallberg, P., Kohler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thepaut, J.-N., dan Vitart, F. 2011. The ERA Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **137**: 553–597. DOI:10.1002/qj.828

Duan, Y., Liu, L., Han, G., Liu, H., Yu, W., Yang, G., Wang, H., Wang, H., Liu, Y., Zahid, dan Waheed, H. 2016. Anomalous behaviors of Wyrтки Jets in the equatorial Indian Ocean during 2013. *Sci. Rep.*, **6**, 1–7.

Fang, G., Susanto, R.D., Wirasantosa, S., Qiao, F., Supangat, A., Fan, B., Wei, Z., Sulistiyo, B., dan Li, S. 2010. Volume, heat, and freshwater transports from the South China Sea to Indonesian seas in the boreal winter of 2007–2008, *J. Geophys. Res.*, **115**, C12020, doi:10.1029/2010JC006225.

Gurvan, M., Bourdallé-Badie, R., Chanut, J., Clementi, E., Coward, A., Ethé, C., Lovino, D., Lea, D., Lévy, C., Lovato, T., Martin, N., Masson, S., Mocavero, S., Rousset, C., Storkey, D., Vancoppenolle, M., Müeller, S., Nurser, G., Bell, M., dan Samson, G. 2019. NEMO ocean engine. In Notes du Pôle de modélisation de l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) (v4.0, Number 27). *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3878122>

- Lellouche, J.-M., Bourdalle-Badie, R., Greiner, E., Garric, G., Melet, A., Bricaud, C., Legalloudec, O., Hamon, M., Candela, T., Regnier, C., dan Drevillon, M. 2021. The Copernicus global 1/12° oceanic and sea ice reanalysis, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-14961, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-14961>.
- MATLAB. 2017. version 9.2 (R2017a). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- Ningsih, N. S., Sakina, S.L., Susanto, R.D., dan Hanifah, F. 2021. Simulated zonal current characteristics in the southeastern tropical Indian Ocean (SETIO), *Ocean Sci.*, **17**, 1115–1140, <https://doi.org/10.5194/os-17-1115-2021>.
- Pawlowicz, R., 2020. "M_Map: A mapping package for MATLAB", version 1.4m, [Computer software], available online at www.eoas.ubc.ca/~rich/map.html.
- Purwandana, A., Edikusmanto, Ismail, M.F.A., Surinati, D., Bayhaqi, A. Iskandar, M.R., Corvianawatie, C., Muhadjirin, Irianto, D. 2021. Current Structure and Preliminary Indication of Mentawai-Jet in the Southeastern Mentawai Waters, Indonesia. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **789** 012002.
- Schott, F.A., Xie, S.P., dan McCreary, J.P. 2009. Indian ocean circulation and climate variability. *Rev. Geophys.*, **47**, 1–46
- Timmermans, M.Z.M. 2015. Volume transports of the Wyrтки jets and their relationship to the Indian Ocean Dipole *J. Geophys. Res. Ocean.* 5302-5317.
- Tomczak, M. dan Godfrey, J.S. 1994. Regional Oceanography: An Introduction. Pergamon Press, Oxford.
- van der Mheen, M., van Sebille, E., dan Pattiaratchi, C. 2020. Beaching patterns of plastic debris along the Indian Ocean rim, *Ocean Sci.*, **16**, 1317–1336, <https://doi.org/10.5194/os-16-1317-2020>.
- Wyrтки, K. 1961. Physical Oceanography of the Southeast Asian waters. UC San Diego: Library – Scripps Digital Collection. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/49n9x3t4>.