

## Studi Pengaruh Siklon Tropis Flamboyan Terhadap Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-a Di Perairan Samudra Hindia Barat Daya Sumatra

Warisatul Anbiya Selkofa. M\*, Anindya Wirasatriya, Kunarso

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia  
Email: arisns001@students.undip.ac.id

### Abstrak

Siklon tropis flamboyan merupakan siklon tropis yang terjadi di perairan Samudra Hindia Barat Daya Sumatera tanggal 28 April-3 Mei 2018. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari siklon tropis flamboyan berdasarkan data kecepatan angin, *curl*, dan *Ekman Pumping* berupa data komponen angin permukaan dan hubungannya dengan pola persebaran Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a. Data komponen angin akan digunakan sebagai data yang mengidentifikasi pola kecepatan dan arah pergerakan dari siklon tropis flamboyan. Data *curl* digunakan untuk menunjang identifikasi pola rotasi siklon tropis dan *ekman pumping* digunakan untuk mengidentifikasi adanya *upwelling*. Data Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a akan di *overlay* dengan parameter angin permukaan yang kemudian dianalisis hubungannya. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa ketika terjadi siklon tropis Flamboyan, kecepatan angin akan meningkat mencapai 21 m/s dan menunjukkan pola pergerakan dari arah Timur Laut ke Barat Daya, kemudian berbelok cenderung ke arah Selatan. Hubungan ketika terjadi siklon tropis Flamboyan antara pola arus dengan Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a ditunjukkan dengan kecepatan angin yang meningkat dan pola rotasi *curl* bernilai positif kuat, konsentrasi Suhu Permukaan Laut akan menurun dan konsentrasi Klorofil-a akan meningkat karena adanya *upwelling* akibat mekanisme *ekman Pumping* kuat.

**Kata kunci:** Siklon Tropis, Upwelling, Ekman Pumping, Suhu Permukaan Laut, Klorofil-a

### Abstract

#### *Study of the Influence of Tropical Cyclone Flamboyan on Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a in the Southwest Indian Ocean Waters of Sumatra*

*The flamboyant tropical cyclone is a tropical cyclone that occurs in the Indian Ocean of Southwest Sumatra waters on 28 April-3 May 2018. This study aims to determine the characteristics of a flamboyant tropical cyclone based on the wind speed, curl, and Ekman Pumping data in the form of surface wind component data and their connection between the pattern of distribution of sea surface temperature and chlorophyll-a. Wind component data will be used to identify the pattern of speed and the movement of the flamboyant tropical cyclone direction. This study used Curl data to support the identification of tropical cyclone rotation patterns and Ekman Pumping data was used to identify the presence of upwelling. Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a data will be used for the overlay method with surface wind parameters which are then analyzed for their connection. Resulting that we indicate if the Flamboyan tropical cyclone occurs the wind speed will increase to 21 m/s and represent a movement pattern from the Northeast to the Southwest tending to the South. The connection of the Flamboyan tropical cyclone that occurs between the current sea pattern, Sea Surface Temperature, and Chlorophyll-a represent by the increasing value of wind velocity and a strong positive value of rotation pattern, the concentration of Sea Surface Temperature will decrease and the concentration of chlorophyll-a will increase due to upwelling as the effect of the strong ekman mechanism pumping.*

**Keywords:** Tropical Cyclone, Upwelling, Ekman Pumping, Sea Surface Temperature, Chlorophyll-a

### PENDAHULUAN

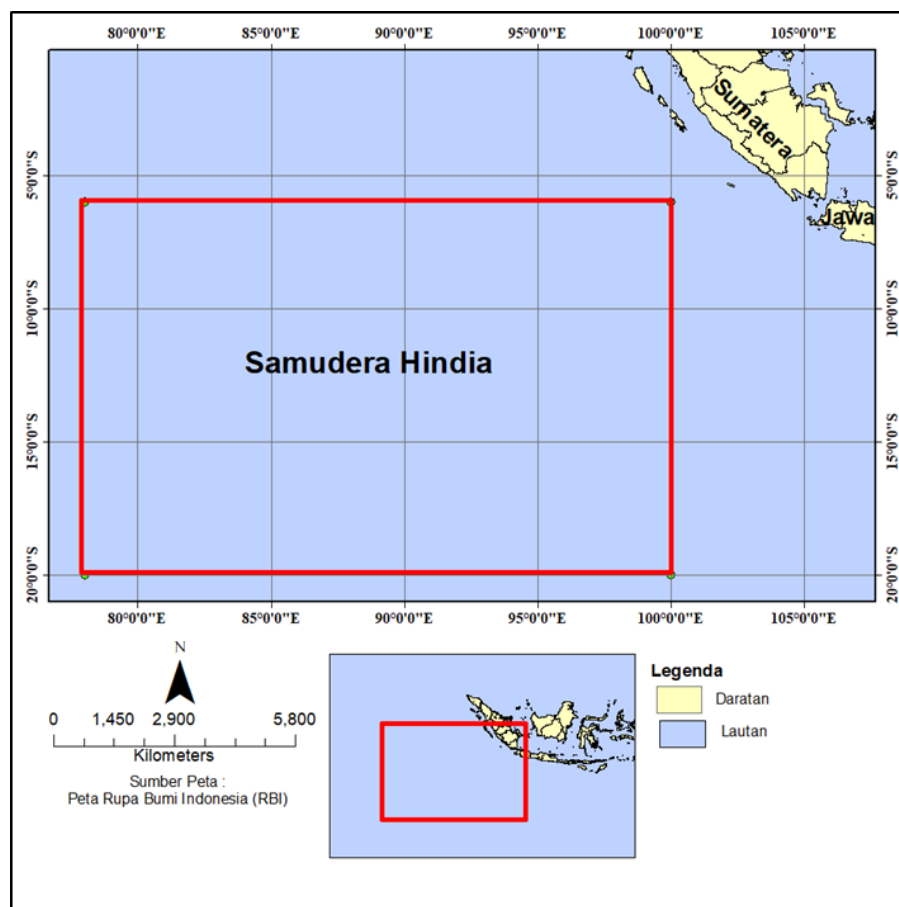
Samudra Hindia merupakan samudra yang berbatasan langsung dengan Pulau Sumatra dan Pulau Jawa. Perairan Samudra Hindia di bagian Barat Daya Pulau Sumatra memiliki kondisi perairan yang sangat kompleks yang disebabkan oleh dinamika di Samudra Hindia. Dinamika di Samudra Hindia ini dipengaruhi oleh angin pasat dan angin musim, tidak seperti dinamika di Samudra Pasifik yang hanya dipengaruhi oleh angin pasat saja (Setiawan *et al.*, 2019). Ada beberapa fenomena oseanografi di Samudra Hindia memiliki pengaruh yang besar dalam memengaruhi dinamika perairan, antara lain adalah *kelvin wave*, *upwelling*, *eddies*, dan siklon tropis (Kartadikaria *et al.*, 2012; Iskandar *et al.*, 2022; Wirasatriya *et al.*, 2020).

Siklon tropis adalah peristiwa yang terjadi di atmosfer yang ditandai munculnya tekanan udara rendah yang menghasilkan angin yang kencang dikarenakan perpindahan panas dari lautan (Surinati & Dwi, 2018). Siklon tropis adalah salah satu peristiwa yang terjadi di samudra tropis dan memiliki skala regional. Siklon terbentuk di atas lautan dengan Suhu Permukaan Laut lebih tinggi dari 26°C dan membutuhkan lautan tropis yang hangat dan lembab. Hal ini menyebabkan adanya pusat tekanan rendah yang berputar secara siklonik dengan bergerak berlawanan arah jarum jam pada belahan bumi utara (BBU) dan searah jarum jam pada belahan bumi selatan (BBS) (Ismail *et al.*, 2017).

Suhu lapisan atas di perairan Indonesia berkisar antara 28° – 31°C. Penyebaran suhu permukaan laut bisa digunakan sebagai indikator penting untuk mengidentifikasi *upwelling*, yaitu proses ketika massa air laut naik dari suatu lapisan lebih dalam ke lapisan permukaan sehingga menyebabkan suhu permukaan laut di perairan di wilayah perairan tersebut lebih rendah dibandingkan sekitarnya (Munandar *et al.*, 2023). Tingginya nilai suhu permukaan laut di perairan Indonesia disebabkan oleh letak geografisnya di wilayah ekuator yang merupakan daerah dengan penerimaan panas matahari terbanyak (Hasyim *et al.*, 2010; Tresnawati *et al.*, 2023).

Jumlah klorofil-a yang terkandung dalam fitoplankton sampel air menggambarkan jumlah fitoplankton dalam suatu perairan (Yun *et al.*, 2019). Klorofil-a adalah pigmen yang selalu ditemukan dalam fitoplankton dan semua organisme autotrof, serta berperan sebagai pigmen aktif dalam proses fotosintesis, jumlah klorofil-a pada setiap individu fitoplankton bervariasi tergantung pada jenis fitoplankton (Nufus *et al.*, 2017)

Siklon Flamboyan terjadi di sebelah barat daya Pulau Sumatera pada tanggal 28 April-3 Mei 2018. Siklon tropis Flamboyan ini memberikan dampak pada peningkatan tinggi gelombang 1.25-2.5 m di Perairan Bengkulu hingga barat Lampung, Selat Sunda bagian selatan, dan Perairan Enggano. Bahkan, gelombang laut dengan tinggi 2,5-4 m di wilayah Perairan selatan Jawa, Samudera Hindia barat Lampung hingga selatan Jawa. Penelitian ini ditujukan untuk mengkaji karakteristik siklon tropis Flamboyan berdasarkan data kecepatan angin serta mengetahui hubungan pola angin siklon tropis Flamboyan terhadap pengaruh perubahan klorofil-a dan suhu permukaan laut (Ariyanti *et al.*, 2019).



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian

## MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan pada penelitian ini meliputi data primer. Data primer yang digunakan adalah data angin yang diperoleh dari satelit *The Cross-Calibrated Multi-Platform* (CCMP) dengan resolusi spasial 25 km untuk mengidentifikasi kriteria pembentukan siklon tropis (Atlas *et al.* 2011; Munandar *et al.*, 2021). Data CCMP memiliki interval perekaman data per enam jam dan dapat di download dari <https://www.remss.com/measurements/ccmp/>. Data suhu permukaan laut (SPL) yang diperoleh dari data *High-Resolution Sea Surface Temperature* (GHRSSST) level 4 *Multiscale Ultrahigh Resolution* (MUR) dengan resolusi spasial  $0,01^\circ$  (Wirasatriya *et al.*, 2021) dan dapat di download dari <https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MUR-JPL-L4-GLOB-v4.1>. Klorofil-a diperoleh dari data *Ocean Color-Climate Change Initiative* (OC-CI) dengan resolusi spasial  $0,04^\circ$  (Sathyendranath *et al.*, 2019) dan dapat di download dari <https://marine.copernicus.eu/>. Data SPL dan klorofil-a tersebut diambil dengan periode mulai dari April hingga Mei 2018 dengan interval perekaman harian.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Menurut Priyono (2016), metode kuantitatif merupakan pendekatan yang memenuhi kaidah ilmiah yaitu konkret, objektif, terukur, dan sistematis serta memberikan hasil data dalam bentuk angka, grafik dan tabel. Metode kuantitatif digunakan dalam proses pengolahan data untuk menganalisis hubungan antar variabel yang diteliti dan menghasilkan kesimpulan mengenai objek penelitian. Pada penelitian ini, metode kuantitatif digunakan karena fokus penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan antara angin pada siklon tropis yang dilihat dari variabel *curl* dan *ekman pumping* terhadap perubahan variabel suhu permukaan laut dan klorofil-a.

Data angin, SPL dan klorofil-a di ekstrak untuk mendapatkan nilainya. Hasil ekstrak data angin meliputi komponen  $u$  (zonal) dan  $v$  (meredional) dan kemudian diubah menjadi data kecepatan dan arah angin (Ar *et al.*, 2018). Data angin, SPL dan klorofil-a yang diperoleh dilakukan *plotting* dan *layouting* sehingga pola sebaran diketahui secara temporal dan spasial pada saat siklon tropis terjadi dan daerah sekitar siklon. Untuk mendapatkan nilai *wind curl velocity* dan *ekman pumping* dilakukan perhitungan data angin yang telah diolah.

Identifikasi siklon tropis dapat diketahui dari hasil pengolahan data angin menjadi data *wind curl velocity* dan *ekman pumping* (Setiawan *et al.*, 2021). Nilai *wind stress* didapat dengan mencari besarnya gesekan angin dengan menggunakan rumus berikut ini (Wirasatriya *et al.*, 2020).

$$\tau = \rho_a C_d U_{10}^2$$

dimana  $\rho_a$  merupakan densitas udara ( $1,25 \text{ kg m}^{-3}$ ),  $C_d$  merupakan nilai koefisien gesek berdasarkan Wamdi, 1988, dan  $U_{10}$  merupakan kecepatan angin 10 m di atas permukaan laut. Data *wind stress* di olah kembali untuk menjadi data *wind curl* dan *ekman pumping*. Perhitungan *wind curl* dan *ekman pumping* menggunakan rumus berikut (Wang & Tang, 2014).

$$\text{Curl} = \frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y}$$

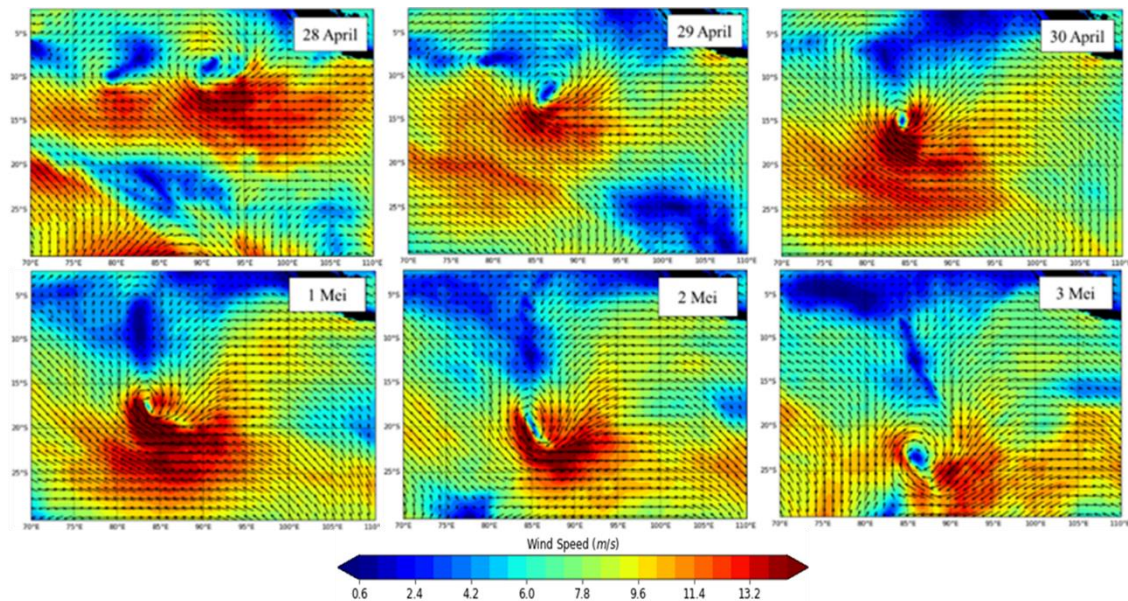
$$\text{EPV} = -\frac{\text{curl}}{\rho_w f}$$

dimana  $\rho_w$  merupakan densitas air laut ( $1,025 \text{ kg m}^{-3}$ ),  $f$  merupakan nilai *coriolis* (Stewart, 2008). Konvergensi pada permukaan menggerakkan massa air laut menuju permukaan laut menunjukkan bahwa nilai *ekman pumping* bertanda positif (EPV>0). Divergensi pada permukaan menggerakkan massa air laut menunjukkan bahwa nilai *Ekman Pumping* bertanda negatif (EPV<0). Hasil pengolahan nilai *wind curl* dan *ekman pumping* akan dibandingkan dengan arah, kecepatan angin permukaan, karakteristik dan pertumbuhan siklon tropis Flamboyan, serta akan dihubungkan dengan pengaruh siklon tropis Flamboyan terhadap suhu permukaan laut dan klorofil-a.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sirkulasi Angin Ketika Siklon Tropis Flamboyan

Dinamika angin pada siklon tropis Flamboyan (Gambar 2) yang ada di lokasi penelitian tampak berubah tiap waktu harian, hal ini ditunjukkan pada *vector plot* angin permukaan yang tidak pernah sama. Namun demikian, siklon tropis flamboyan masih dapat diidentifikasi melalui pola angin. Bergesernya titik pusat pada siklon tropis Flamboyan diduga disebabkan oleh perbedaan kekuatan angin antar waktu harian selama terjadinya siklon tropis.



**Gambar 2.** Pola Kecepatan Angin Ketika Siklon Tropis Flamboyant (28 April Hingga 3 Mei 2018)

Kemunculan siklon tropis flamboyant selama periode penelitian tercatat memiliki umur 6 hari. Kemunculan siklon tropis flamboyant disebabkan oleh adanya tekanan rendah yang ditandai dengan suhu permukaan laut yang cukup tinggi di lokasi kejadian yang dimana suhu saat terjadinya siklon tropis flamboyant  $>27^{\circ}\text{C}$ . Hal ini sesuai dengan penelitian Hastuti *et al.* (2018), dimana dalam penelitiannya mengemukakan kondisi penting siklon tropis dapat berkembang yaitu terdapat air laut yang hangat dengan temperatur lebih dari  $26,5^{\circ}\text{C}$  yang dimana air hangat inilah yang berperan sebagai bahan bakar bagi mesin pembangkit energi panas siklon tropis.

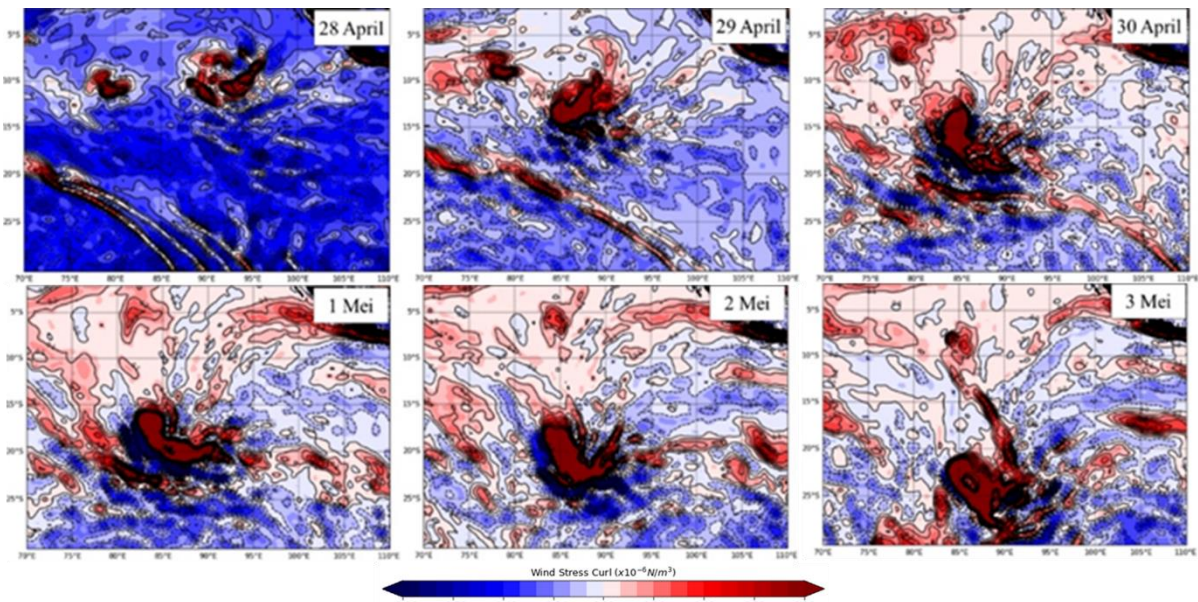
Pada saat pertumbuhan awal siklon tropis flamboyant ditunjukkan kecepatan angin terlihat tinggi. Selanjutnya siklon tropis mulai membentuk pola melingkar siklonik karena adanya tekanan yang rendah dan suhu yang tinggi. Pada saat puncak pertumbuhan siklon tropis, kecepatan angin menunjukkan peningkatan hingga mencapai 21 m/s dan pola siklonik yang semakin kuat yang dikarenakan adanya gradien suhu permukaan laut yang tinggi. Pertumbuhan siklon tropis mulai mengalami pelemahan yang ditandai dengan menurunnya kecepatan angin dan melemahnya pola siklonik. Menurut Syaifullah (2015), pelemahan pertumbuhan siklon tropis dikarenakan energi siklon tropis yang didapat dari lautan hangat, sehingga siklon tropis akan melemah atau punah ketika bergerak dan memasuki wilayah perairan yang dingin atau memasuki daratan.

Hasil dari visualisasi pola pergerakan siklon tropis Flamboyant berawal dari timur laut ke barat daya, kemudian cenderung arahnya belok menuju selatan. Hal ini sesuai dengan penelitian Syaifullah (2015), yang menjelaskan bahwa lintasan siklon tropis umumnya bergerak dari Timur ke Barat dan karena pengaruh efek *coriolis*, maka lintasan siklon tropis selalu menjauhi garis khatulistiwa. Pola arah pergerakan siklon tropis Flamboyant juga diduga memiliki keterkaitan dengan angin muson timur. Hal ini dikarenakan siklon tropis flamboyant terjadi dalam kurun waktu bulan April hingga bulan Mei ketika angin muson timur terjadi. Hal ini didukung oleh Daruwedho *et al.* (2016), musim timur (muson timur) terjadi pada bulan Maret hingga September, pada periode ini angin bertiup dari arah timur menuju barat dan bergerak dari Benua Australia Menuju ke Benua Asia.

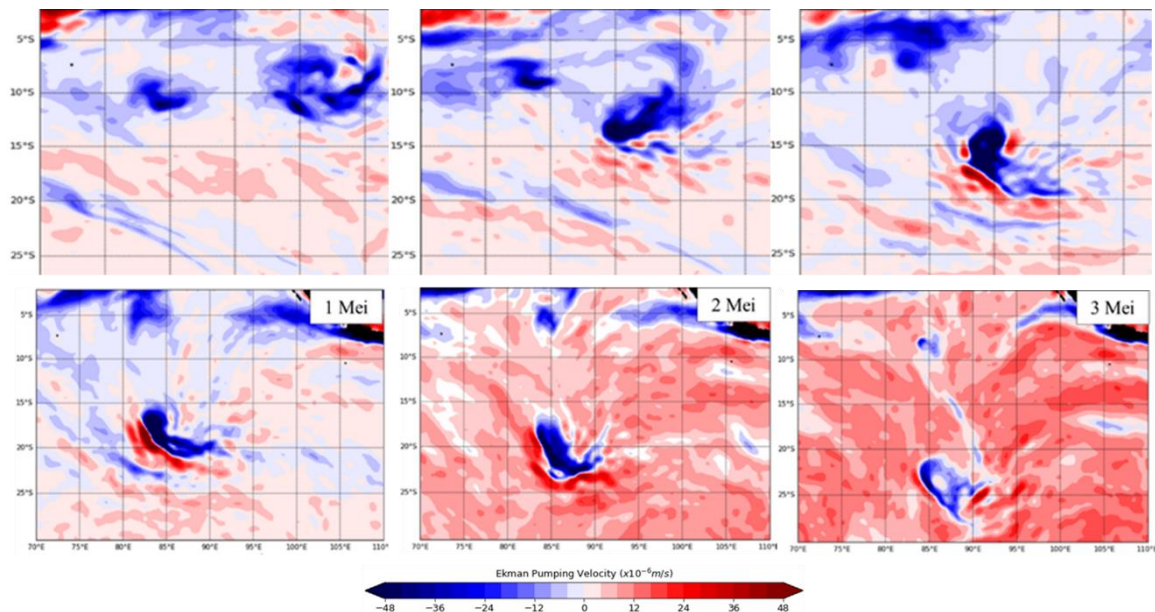
### **Variabilitas Stress Wind Curl dan Ekman Pumping Ketika Siklon Tropis Flamboyant**

Karakteristik siklon tropis juga dapat ditinjau melalui angin yang dikonversi menjadi *Wind Stress Curl*. Ketika Siklon tropis Flamboyant (Gambar 3) terjadi, nilai *curl* menunjukkan nilai positif kuat yang merupakan rotasi searah jarum jam di bumi bagian selatan dan membuat angin berbelok ke kiri. Begitu juga dengan *curl*, *Ekman Pumping* juga dapat mengidentifikasi siklon tropis. Pada Siklon Tropis Flamboyant nilai *Ekman Pumping* (Gambar 4) bernilai Negatif yang mana ini mengindikasikan bahwa terjadi *upwelling* di sekitar lokasi terjadinya siklon tropis. Hal ini sesuai dalam penelitian Ratnawati *et al* (2016) yang menyatakan bahwa

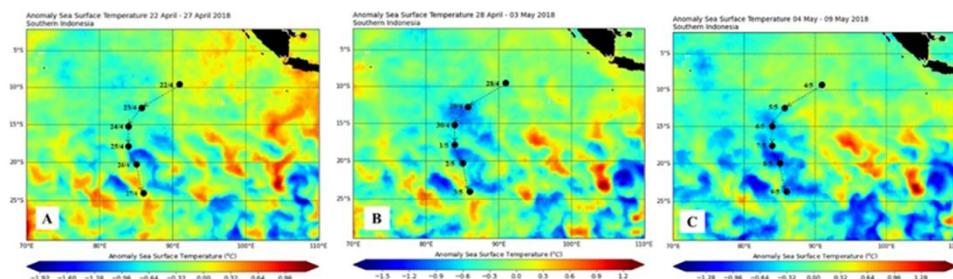
pergerakan massa air menuju permukaan laut yang disebut sebagai *upwelling*, ditunjukkan oleh nilai kecepatan *ekman pumping* negatif. Sebaliknya, pergerakan massa air menjauhi permukaan laut yang disebut sebagai *downwelling*, ditunjukkan oleh nilai kecepatan *ekman pumping* yang positif.



**Gambar 3.** Variabilitas Wind Stress Curl pada Siklon Tropis Flamboyan (April-Mei 2018)



**Gambar 4.** Variabilitas Ekman Pumping Velocity pada siklon tropis Flamboyan (April-Mei 2018)

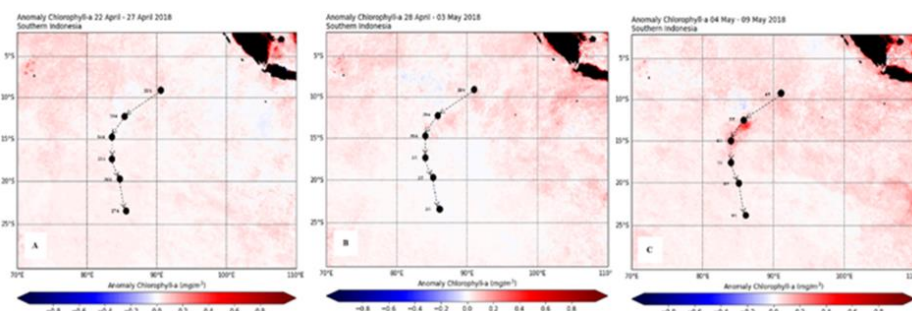


**Gambar 5.** Pola Anomali Sebaran SPL Sebelum (A), Ketika (B), dan Setelah (C) Siklon Tropis Flamboyan

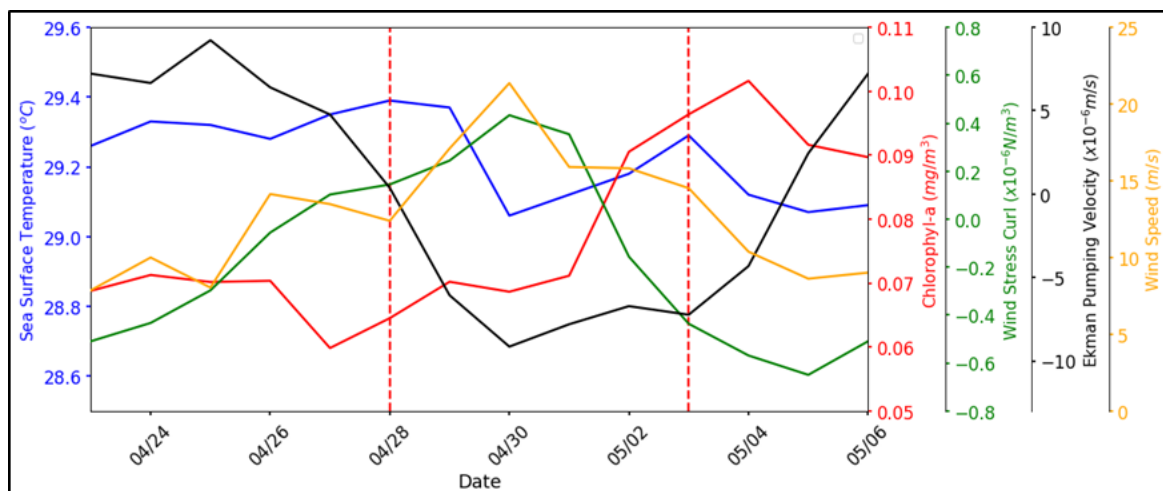
### Pengaruh Angin Terhadap Variabilitas SPL dan Klorofil-a Ketika Siklon Tropis Flamboyan

Siklon tropis Flamboyan, nilai penurunan maksimum Suhu Permukaan Laut (Gambar 5) terjadi ketika puncak siklon terjadi. Nilai konsentrasi klorofil-a (Gambar 6) menunjukkan nilai maksimum setelah puncak siklon terjadi. Begitu juga dengan nilai *ekman pumping* yang menunjukkan nilai minimum ketika puncak siklon terjadi, dengan nilai yang rendah diduga menyebabkan *upwelling* pada perairan. Pada siklon tropis flamboyan diindikasikan terjadinya *upwelling* yang ditandai dengan suhu permukaan laut yang rendah dan konsentrasi klorofil-a meningkat. Nilai konsentrasi klorofil-a meningkat setelah terjadinya siklon tropis Flamboyan ini dikarenakan klorofil-a yang ada di fitoplankton membutuhkan waktu untuk tumbuh. Hal ini didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Setiawan *et al.* (2021), anomali *ekman pumping velocity* negatif menunjukkan terjadinya *upwelling* sehingga nilai anomali konsentrasi pada klorofil-a menjadi meningkat dan nilai anomali suhu permukaan laut menjadi menurun. *Upwelling* kuat secara substansial dapat mengangkat lapisan nutriklin dan termoklin sehingga menyebabkan peningkatan klorofil-a setelah lewatnya siklon tropis.

Nilai *curl* juga memperkuat analisis pada peningkatan klorofil-a karena adanya *upwelling* (Gambar3). Sebelum terjadinya siklon tropis flamboyan, nilai *curl* menunjukkan nilai negatif dimana terjadi konvergensi massa air yang akan menyebabkan terjadinya *downwelling* dan ketika puncak terjadinya siklon tropis flamboyan, nilai *curl* menunjukkan nilai positif dimana terjadi divergensi massa air yang akan menyebabkan terjadinya *upwelling*. Sedangkan setelah terjadinya siklon tropis berlangsung, nilai *curl* menurun normal hingga negatif. Hal ini berpengaruh pada suhu permukaan laut yang menurun dan nilai konsentrasi klorofil yang meningkat. Sesuai dengan penelitian Jun *et al.* (2018), *wind curl* umumnya menunjukkan pola yang mirip dengan kecepatan angin dan pola yang berlawanan dengan Suhu Permukaan Laut dimana kecepatan angin yang kuat sering disertai dengan *wind curl* yang kuat sehingga lautan kehilangan panas melalui penguapan.



**Gambar 6.** Pola Anomali Sebaran Klorofil-a Sebelum (A), Ketika (B), dan Setelah (C) Siklon Tropis Flamboyan



**Gambar 7.** Time Series Variabilitas Kecepatan Angin, Ekman Pumping, SPL dan Klorofil-a ketika Kejadian Siklon Tropis Flamboyan

Berdasarkan hasil plot (Gambar 7) terlihat bahwa sebelum terjadinya siklon tropis flamboyon, angin berada pada kecepatan sekitar 7-14 m/s, suhu permukaan laut berkisar 29,35-29,39°C, dan klorofil-a berkisar 0,06-0,07 mg/m<sup>3</sup>. Ketika siklon tropis flamboyon terjadi kecepatan angin meningkat hingga 21,3621 m/s, suhu permukaan laut mengalami penurunan hingga berada 29,07°C dan klorofil-a mengalami peningkatan sebesar 0,071 mg/m<sup>3</sup> karena dipengaruhi oleh Ekman Pumping mencapai -9,148 m/s. Sedangkan setelah terjadinya siklon tropis Flamboyon, kecepatan angin kembali menurun hingga mencapai 8,6138 m/s dengan suhu permukaan laut stabil antara 28,9-29,1°C dan konsentrasi klorofil mengalami kenaikan hingga 0,101 mg/m<sup>3</sup>. Namun demikian ada perbedaan respon klorofil dan SPL terhadap kejadian siklon tropis flamboyon, yaitu adanya kenaikan klorofil terjadi setelah puncak siklon sedangkan penurunan SPL terjadi saat puncak siklon. Keterlambatan respon klorofil terhadap kejadian siklon flamboyon mengindikasikan bahwa nutrient yang terangkat ke permukaan saat terjadi siklon membutuhkan waktu untuk dimanfaatkan oleh fitoplankton sehingga blooming klorofil terjadi setelah puncak siklon (Setiawan *et al.* 2021).

## KESIMPULAN

Siklon tropis flamboyon mengalami penguatan dan perlemahan dalam skala harian dan tercatat memiliki umur selama 6 hari yang diindikasikan adanya tekanan rendah dengan ditandai dengan suhu tinggi >26.5°C di lokasi penelitian. Kecepatan angin ketika puncak terjadinya siklon tropis mencapai 21 m/s yang menggambarkan penguatan siklon tropis dan dengan arah pergerakan siklon tropis flamboyon menunjukkan pola pergeseran dari arah Timur Laut ke Barat Daya, kemudian berbelok cenderung ke arah selatan. Kemudian variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a ketika puncak siklon tropis menunjukkan Suhu Permukaan Laut mengalami penurunan dengan anomali sekitar 0,1°C hingga 0,3°C dan terjadi peningkatan Klorofil-a dengan anomali sekitar 0,05 mg/m<sup>3</sup> hingga 0,1 mg/m<sup>3</sup>. Pengaruh *Ekman Pumping* terhadap Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a ini menyebabkan terbentuknya *upwelling* di daerah ketika terjadinya siklon tropis Flamboyon.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ar, I. R. U., Jumarang, M. I. & Apriansyah. 2018. Perhitungan Potensi Energi Angin di Kalimantan Barat. *Prisma Fisika*, 6(1): 65-69. <https://dx.doi.org/10.26418/pf.v6i1.23617>.
- Ariyanti, R. D., Sugihartati, F. M., Retharanita, W. & Winarso, P. A. 2019. Uji Keakuratan Data GFS menggunakan Model WRF-ARW pada Siklon Tropis Flamboyon. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 3(2): 62 – 74. <https://doi.org/10.24198/jiif.v3i2.23149>.
- Atlas, R., Hoffman, R. N., Ardizzone, J., Leidner, S. M., Jusem, J. C., Smith, D. K. & Gombos, D. 2011. A cross-calibrated, multiplatform ocean surface wind velocity product for meteorological and oceanographic applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(2): 157-174. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS2946.1>.
- Daruwedho, H., Sasmito, B. & Amarrohman, F. J. 2016. Analisis Pola Arus Laut Permukaan Perairan Indonesia Dengan Menggunakan Satelit Altimetri JASON-2 Tahun 2010-2014. *Jurnal Geodesi Undip* 5(2): 145-158. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2016.11531>.
- Hastuti, D., Firdianto, P. U. & Henry, Y. 2018. Penentuan Variabilitas Awan Menggunakan Satelit Himawari-8 di Bandara Tunggulwulung Sebagai Dampak Fenomena Siklon Tropis Cempaka. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 2(2) :117-126. <https://doi.org/10.24198/jiif.v2i2.19715>.
- Hasyim, B., Sulma, S. & Hartuti, M. 2010. Kajian Dinamika Suhu Permukaan Laut Global Menggunakan Data Penginderaan Jauh Microwave. *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, 5(4): 130-143.
- Iskandar, I., Lestari, D. O., Saputra, A. D., Setiawan, R. Y., Wirasatriya, A., Susanto, R. D., Mardiansyah, W., Irfan, M., Rozirwan, Setiawan, J. D. & Kunarso. 2022. Extreme Positive Indian Ocean Dipole in 2019 and Its Impact on Indonesia. *Sustainability*, 14(22): p.15155. <https://doi.org/10.3390/su142215155>.
- Ismail, P., Hidayat, N. M. & Siadari, E. L. 2017. Analisis Siklon Tropis NOCK-TEN Berbasis Data Satelit Himawari. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 4(3): 16-25.
- Jun, W., Xin, L. & Guoqing, J. 2018. Parameterizing Sea Surface Temperature Cooling Induced by Tropical Cyclones Using a Multivariate Linear Regression Model. *Acta Oceanologica Sinica*, 37(1): 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13131-018-1153-0>.

- Kartadikaria, A. R. Miyazawa, Y., Nadaoka, K. & Watanabe, A. 2012. Existence of eddies at crossroad of the Indonesian seas. *Ocean Dynamics*, 62(1): 31-44. <http://doi.org/10.1007/s10236-011-0489-1>.
- Munandar, B., Wirasatriya, A., Sugianto, D. N., Ambariyanto & Sunaryo. 2021. Respon Kecepatan Angin Terhadap Variabilitas Klorofil-a di Laut Filipina dan Maluku bagian utara. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(3): 269-276. <https://doi.org/10.14710/buloma.v10i3.38273>.
- Munandar, B., Wirasatriya, A., Sugianto, D. N., Susanto, R. D., Purwandana, A. & Kunarso. 2023. Distinct mechanisms of Chlorophyll-a blooms occur in the Northern Maluku Sea and Sulu Sill revealed by satellite data. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 102(4): 101360. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2023.101360>.
- Nufus, H., Karina, S. & Agustina, S. 2017. Analisis Sebaran Klorofil-a dan Kualitas Air di Sungai Krueg Raba Lhoknga, Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 2(1): 58-65.
- Priyono, M. 2016. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Zifatama Publishing, Sidoarjo.
- Ratnawati, H. I., Hidayat, R., Bey, A. & June, T. 2016. Upwelling di Laut Banda dan Pesisir Selatan Jawa serta Hubungannya dengan ENSO dan IOD. *Omni-Akuatika*, 12(3):119–130. <http://doi.org/10.20884/1.oa.2016.12.3.134>.
- Sathyendranath, S., Brewin, R. J. W., Brockmann, C., Brotas, V., Calton, B., Chuprin, A., Cipollini, P., Couto, A. B., Dingle, J., Doerffer, R., Donlon, C., Dowell, M., Farman, A., Grant, M., Groom, S., Horseman, A., Jackson, T., Krasemann, H., Lavender, S., Martinez-Vicente, V., Mazeran, C., Mélin, F., Moore, T. S., Müller, D., Regner, P., Roy, S., Steele, C. J., Steinmetz, F., Swinton, J., Taberner, M., Thompson, A., Valente, A., Zühlke, M., Brando, V. E., Feng, H., Feldman, G., Franz, B. A., Frouin, R., Gould Jr, R. W., Hooker, S. B., Kahru, M., Kratzer, S., Mitchell, B. G., Muller-Karger, F. E., Sosik, H. M., Voss, K. J., Werdell, J. & Platt, T. 2019. An Ocean-Colour Time Series for Use in Climate Studies: The Experience of the Ocean-Colour Climate Change Initiative (OC-CCI). *Sensors*, 19(19): p.4285. <https://doi.org/10.3390/s19194285>.
- Setiawan, R. Y., Wirasatriya, A., Hernawan, U., Leung, S. & Iskandar, I. 2019. Spatio-Temporal Variability of Surface Chlorophyll-a in the Halmahera Sea and its Relation to ENSO and the Indian Ocean Dipole. *International Journal of Remote Sensing*, 41(1): 284-299. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1641244>.
- Setiawan, R. Y., Susanto, R. D., Wirasatriya, A., Alifdini, I., Puryajati, A. D., Maslukah, L. & Nurdin, N. 2021. Impacts of Tropical Cyclone Seroja on the Phytoplankton Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the Savu Sea, Indonesia. *IEEE Access*, 9: 152938–152944. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3125605>.
- Stewart, R. H. 2008. *Introduction to Physical Oceanography*. Texas A & M University, Texas.
- Surinati, D. & Kusuma, D. A. 2018. Karakteristik dan Dampak Siklon Tropis yang Tumbuh di Sekitar Wilayah Indonesia. *Oseana*, 43(2): 1-12. <http://dx.doi.org/10.14203/oseana.2018.Vol.43No.2.16>.
- Syaifullah, M. D. 2015. Siklon Tropis, Karakteristik dan Pengaruhnya di Wilayah Indonesia pada Tahun 2012. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 16(2): 61-71. <http://doi.org/10.29122/jstmc.v16i2.1048>.
- Tresnawati, R., Wirasatriya, A., Wibowo, A., Susanto, R. D., Widiaratih, R., Setiawan, J. D., Maro, J. F., Dollu, E. A., Fitriana, S. & Kurang, R. Y. 2023. Long term of sea surface temperature prediction for Indonesia seas using multi time-series satellite data for upwelling dynamics projection. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 33: p.101117. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101117>.
- Wang, J. J. & Tang, D. L. 2014. Phytoplankton Patchiness during Spring Intermonsoon in Western Coast of South China Sea. *Deep-Sea Research II*, 101: 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.09.020>.
- Wirasatriya, A., Setiawan, J. D., Sugianto, D. N., Rosyadi, I. A., Haryadi, Winarso, G., Setiawan, R. Y. & Susanto, R.D. 2020. Ekman Dynamics Variability along the Southern Coast of Java Revealed by Satellite Data. *International Journal of Remote Sensing*, 41(21): 8475-8496. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1797215>.
- Wirasatriya, A., Susanto, R. D., Kunarso, Jalil, A. R., Ramdani, F. & Puryajati, A. D. 2021. Northwest Monsoon Upwelling within the Indonesian Seas. *International Journal of Remote Sensing*, 42(14): 5433-5454. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1918790>.



Yun, C., Hwang, K., Han, S. & Ri, H. 2019. The Effect of Salinity Stress on the Biofuel Production Potential of Freshwater Microalgae *Chlorella Vulgaris* YH703. *Biomass and Bioenergy*, 127: p.105277. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105277>.