

**IDENTIFIKASI FENOMENA UPWELLING DI SELATAN PULAU SUMBA
MENGUNAKAN DATA MULTI SENSOR SATELIT DAN ARGO DRIFTER**
**UPWELLING PHENOMENON OFF SOUTHERN SUMBA ISLAND USING MULTI
SENSOR SATELLITE AND ARGO DRIFTER DATA**

Harold Joppie Davido Waas^{1*}, Jacobus Latumeten¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan
Fakultas Perikanan dan Ilmu kelautan Universitas Pattimura
*e-mail : harold.waas@fpik.unpatti.ac.id

ABSTRAK

Fenomena upwelling di selatan Pulau Sumba selama El Nino kuat diawali pada musim peralihan I dan melemah selama musim peralihan II. Upwelling disebabkan oleh ledakan angin timur yang berhembus selama 5,5 bulan menyebabkan transport ekman menggerakkan massa air menjauhi pantai dan mendominasi lintang 10-12°LS selama musim timur. Hasil perhitungan kedalaman ekman secara teoritis mengindikasikan bahwa air upwelling berasal dari kedalaman 31 – 75 meter dengan temperatur berkiasan antara 26 - 27°C. Indikasi ini bersesuaian dengan SPL hasil rekaman citra satelit dan distribusi suhu vertikal yang diukur oleh Argo Drifter. Upwelling juga dikarakteristikan oleh suhu permukaan perairan yang rendah dan tingginya konsentrasi klorofil-a. Kontribusi upwelling dalam meningkatkan produktivitas primer perairan dikategorikan tinggi (44%) selama musim timur dibandingkan dengan musim lainnya.

Kata kunci : taikan, ledakan angin timur, multi sensor satelita, argo drifter

ABSTRACT

The upwelling phenomenon off southern of Sumba Island during Strong El Nino 2015 year begins in the transitional season I and weakenes in the transitional season II. Upwelling caused by an *easterly wind burst* that blows for 5,5 months causes the transport of Ekman to move away from the coast and dominates at latitudes 10-12°S during the east monsoon. The results of an Ekman depth calculation theoretically indicates that upwelling is derived at the depths of the water 31 – 75 m with temperatures ranging from 26 - 27° C. This indication corresponds to the Sea Surface Temperature (SST) satellite imaging and vertical distribution of water temperature measured by Argo Drifter. Upwelling is also characterized by low Sea surface temperature and high chlorophyll-a concentrations. The contribution of upwelling is to increase primary productivity is higher (44%) during the east season compared to other seasons.

Keyword : taikan, easterly wind burst, multi sensor satellite, argo drifter

PENDAHULUAN

Upwelling (taikan) mengacu pada pergerakan naik persel air dalam kolom air yang dipertahankan selama periode yang cukup lama untuk mengangkat paket air pada jarak vertikal~100 m atau lebih. Faktor utama penggerak taikan di perairan adalah angin dan gaya coriolis (Kämpf dan Chapman, 2016). Pengangkatan massa air dari kedalaman membawa nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan fitoplankton di permukaan perairan sehingga memperkaya biomassa di kawasan tersebut (Mann dan Lazier, 2006). Area taikan dicirikan oleh rendahnya suhu permukaan perairan dan tingginya kandungan biomassa. Peningkatan biomassa ini berkontribusi signifikan terhadap tingginya hasil perikanan tangkap di kawasan tersebut. Diperkirakan 25 % hasil tangkapan perairan dunia berasal dari kawasan yang hanya seluas 5% dari lautan dunia.

Studi tentang taikan di perairan Indonesia sejauh ini telah dilakukan di selatan Pulau Sumbawa dan Selatan NTT (Kunarso *et al.*, 2015), perairan Barat Sumatera dan Selatan Jawa–Sumbawa (Tubalowony, 2007), Laut Banda (Ratnawati *et al.*, 2016; Baars *et al.*,1990), Selat Makassar (Inaku, 2016) dan Laut Halmahera (Purwanti *et al.*, 2017) dan peranan utara

kontinen Papua (Waas *et la.*,2012). Berdasarkan sintesa hasil penelitian di atas ternyata informasi kejadian taikan di selatan Pulau Sumba sejauh ini belum tersedia.

Seiring dengan kemajuan teknologi pencitraan satelit untuk perolehan data oseanografi permukaan perairan dan Argo Drifter yang mampu mengoleksi data oseanografi dalam kolom perairan maka fenomena taikan di selatan Pulau Sumba dapat dikaji. Tulisan ini bertujuan untuk mengidentifikasi fenomena taikan di selatan Pulau Sumba menggunakan citra satelit oseanografi dan Argo Drifter.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

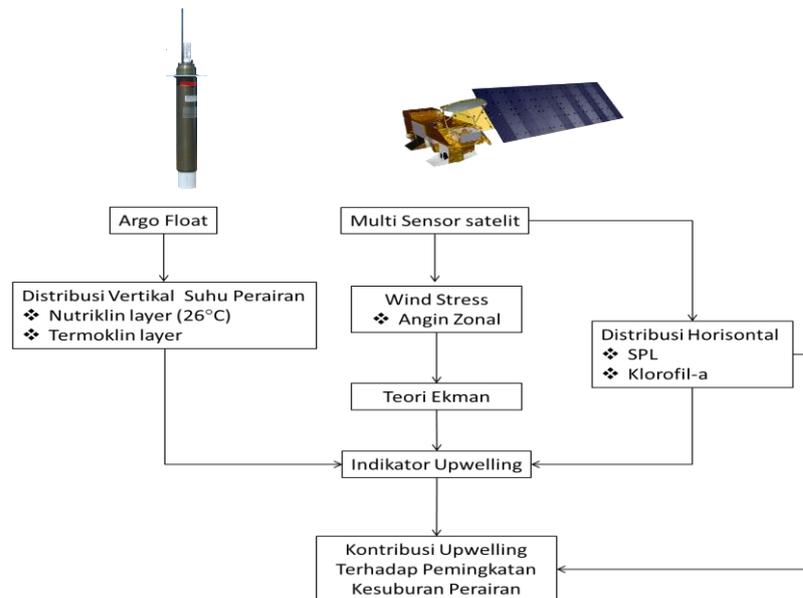
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi (1) suhu *in situ* perairan menurut kedalaman yang diperoleh melalui ARGO float yang di update sesuai waktu yang dibutuhkan melalui perangkat lunak Marine Argo Atlas, (2) suhu permukaan laut (SPL) hasil deteksi satelit Aqua Modis, (3) konsentrasi klorofil-a yang dideteksi oleh satelit Aqua Modis pada selang kedalaman *optical depth zone*,(4) angin (*wind stress*). 2, 3, dan 4 diunduh melalui website Erddap (<https://upwell.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>). (5) Laptop, (6) software (Surfer 15, ODV 4.0, ArcGIS 10.3, Google Earth Pro, dan Panolpy).

Pengumpulan Data

Analisis data angin pembangkit *taikan* dilakukan menggunakan diagram Hovmuller plot yaitu memplotkan seri data angin komponen zonal selama satu tahun dengan waktu (Y) dan bujur (X). Anomali angin jika kecepatan zonal angin ≥ 4 m/s dan berlangsung dalam tenggang waktu tertentu setidaknya berlangsung beberapa hari (McPhaden, 2004). Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Panolpi for windows. Analisis data untuk menjejaki kejadian *taikan* dilakukan melalui analisis gesekan angin (Kutsuwada, 1998), transport ekman, ekman pumping dan kedalaman ekman merujuk pada (Pond dan Pickard,1983). Sementara besarnya kontribusi fitur oseanografi tersebut terhadap peningkatan produktivitas primer perairan yang dihitung melalui peningkatan konsentrasi klorofil-a permukaan perairan mengacu pada Cipollini *et al.* (2001). Lokasi penelitian dan diagram alir penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1 & 2.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian
Figure 1 Map of Study area



Gambar 2 Alur Penelitian
Figure 2 Research flowchart

HASIL DAN PEMBAHASAN

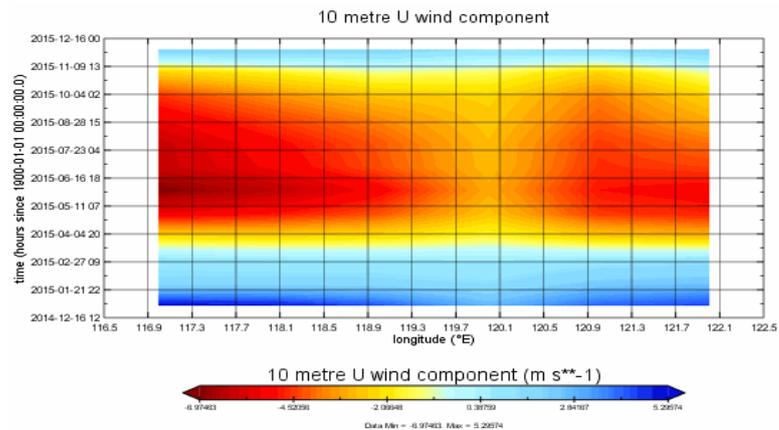
Komponen Angin Zonal

Angin zonal merupakan komponen angin yang telah digunakan untuk menganalisis *shoaling* termoklin yang mempengaruhi SPL. McPhaden (2004) ; Seiki dan Takabayu (2006) ; Tziperman dan Yu (2006) menunjukkan bahwa angin zonal dengan kecepatan ≥ 4 m/s selama musim barat (anomali angin barat/WWBs) mampu menghasilkan taikan di barat Pasifik dan El Nino di sentral dan timur Pasifik. Demikian pula dengan anomali angin timur mampu memicu perkembangan La Nina yang intensif di sentral dan timur Pasifik.

Hasil analisis pola distribusi komponen angin zonal di perairan selatan Pulau Sumba (Gambar 3) menunjukkan bahwa komponen angin zonal yang mengarah ke barat selama musim timur berkembang sejak Maret-November 2015 (9 bulan). Anomali angin timur (EWBs) terjadi selama 5,5 bulan dengan kecepatan bervariasi antara 4–6,97 m/s sehingga diduga dapat menyebabkan *shoaling* termoklin yang berdampak pada rendahnya nilai SPL dan rendahnya *Sea level*. Isolasi termoklin dan rendahnya *Sea level* disebabkan oleh internal wave (McPhaden dan Yu, 1999 ; Tomczak dan Godfrey, 2001).

Ini artinya bahwa kemungkinan kejadian taikan selain dihasilkan melalui Transport Ekman yang menjauhi pantai tetapi taikan dapat terjadi karena gangguan internal wave yang memainkan peran penting dalam meningkatkan kesuburan perairan di laut terbuka. Indikasi yang sama juga ditemukan oleh Waas (2014) di mana anomali angin barat dapat memicu terjadinya taikan di utara kontinen Papua dengan SPL yang lebih rendah dari kondisi normal (26 – 27 °C) selama *strong* El Nino dan bersesuaian dengan fase kedatangan gelombang internal Rossby.

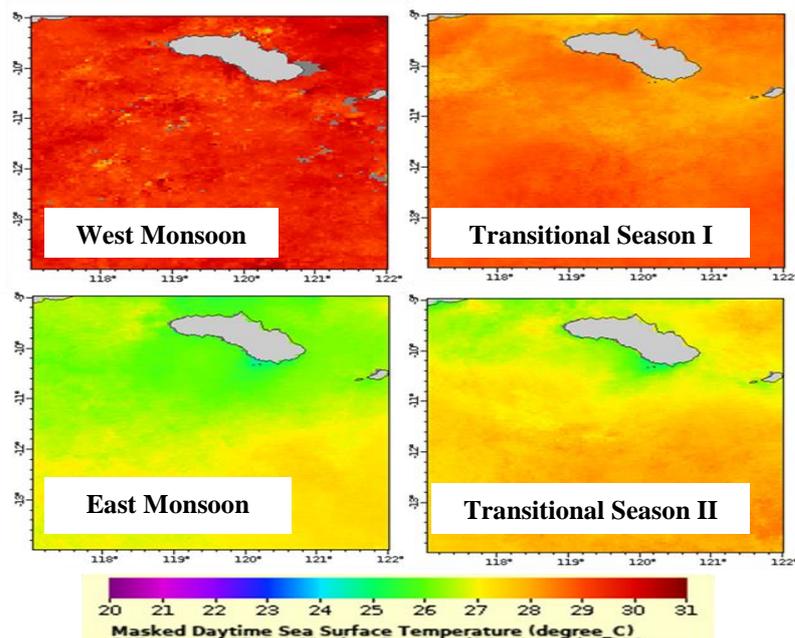
Selain mekanisme taikan yang dihasilkan oleh kejadian di atas, secara teori dengan menerapkan prinsip ekman maka perairan selatan Pulau Sumba selama musim timur didominasi oleh angin tenggara yang berlangsung dalam tenggang waktu lama (9 bulan) mampu memicu perkembangan taikan di selatan Pulau Sumba dengan intensitas yang kuat.



Gambar 3 Diagram plot Hovmuller kecepatan angin zonal selatan Pulau Sumba
Figure 3 Hovmuller plot diagram zonal wind speed south of Sumba Island

Sebaran Horizontal SPL dan Klorofil-a

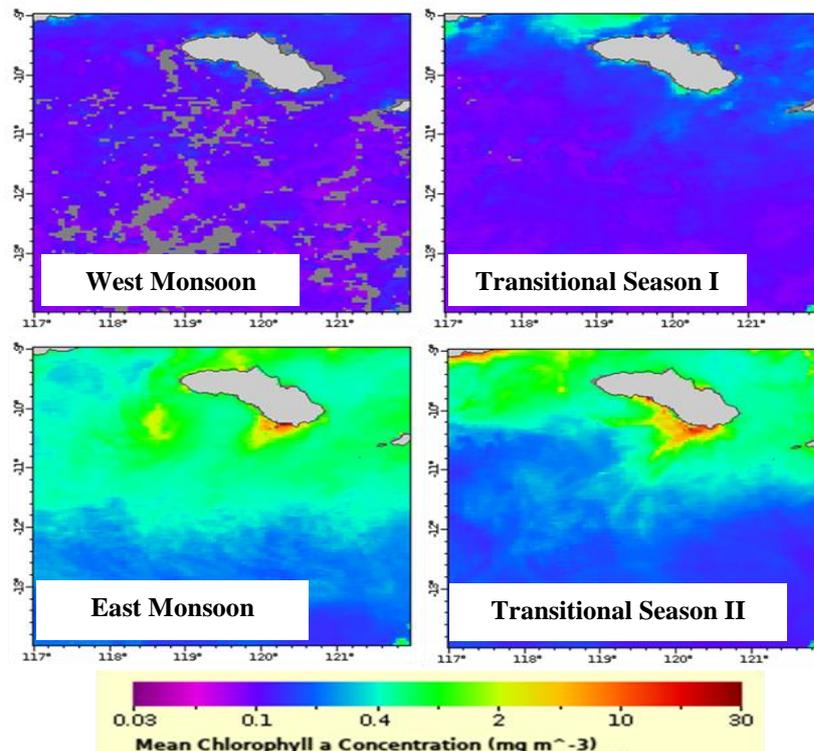
Indikasi taikan dibawah pengaruh anomali angin musim timur bersesuaian dengan hasil analisis pola distribusi SPL dan konsentrasi klorofil-a permukaan perairan (Gambar 4 & 5).



Gambar 4 Suhu permukaan laut (SPL)
Figure 4 Sea surface temperature (SST)

Dari gambar tampak bahwa indikasi penurunan SPL mulai kelihatan pada musim peralihan I dengan SPL bervariasi antara 27 – 28 °C. Penurunan SPL signifikan terjadi selama musim timur di mana SPL bervariasi antara 25 – 27 °C. Daerah dengan nilai suhu yang rendah cenderung terkonsentrasi pada wilayah yang mendekati pantai selatan pulau. Daerah utama konsentrasi upwelling berada pada lintang 10 – 12 °LS. Semakin menjauh pantai intensitas taikan cenderung semakin melemah.

Intensitas taikan di perairan selatan Pulau Sumba kelihatan mulai melemah selama periode musim peralihan II seiring dengan melemah angin musim timur di mana SPL yang rendah ($25-26\text{ }^{\circ}\text{C}$) terkonsentrasi pada lintang $10-10.8\text{ }^{\circ}\text{LS}$. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kekuatan angin untuk menghasilkan taikan makin melemah dan sebagai konsekuensinya massa air yang dipindahkan menjauhi pantai tidak sekuat kondisi musim timur.



Gambar 5 Distribusi klorofil-a
Figure 5 Chlorophyll-a distribution

Hasil analisis sebaran konsentrasi klorofil-a permukaan perairan pada periode musim yang sama (Gambar 5) menunjukkan bahwa peningkatan nilai konsentrasi klorofil-a selama taikan signifikan berasosiasi dengan pola distribusi air dingin di permukaan perairan. Seperti yang ditunjukkan selama musim peralihan I, musim timur dan peralihan II di mana konsentrasi klorofil-a fitoplankton yang tinggi menyebar identik dengan distribusi SPL yang rendah. Konsentrasi klorofil-a yang tinggi identik dengan SPL yang rendah di mana intensitas upwelling kuat terjadi seperti di pesisir pantai selatan mengarah ke tenggara pulau Sumba.

Nilai konsentrasi klorofil-a kelihatan meningkat selama musim peralihan I dengan konsentrasi klorofil-a $>0,4$ di pesisir tenggara pulau di mana upwelling berkembang. Selama musim timur peningkatan signifikan terjadi dari pesisir pulau sampai lintang $12\text{ }^{\circ}\text{LS}$. Konsentrasi klorofil-a $> 2\text{ mg/m}^3$ sementara pada musim peralihan II konsentrasi klorofil-a yang tinggi bergeser mendekati pesisir dengan konsentrasin yang relatif sama dengan musim timur.

Meningkatnya konsentrasi klorofil-a di lapisan permukaan perairan dapat dimaklumi karena adanya suplai hara yang tinggi dari kedalaman taikan yang berasosiasi dengan intrusi kedalaman klorofil-a maksimum yang terangkat langsung ke permukaan perairan dan dijangkau oleh zona kedalaman satelit ocean color.

Mengacu dari sintesa hasil penelitian sebelumnya bahwa nilai konsentrasi klorofil-a $>0,2\text{ mg/m}^3$ di permukaan perairan memperlihatkan bahwa perairan mampu

menopang dan mempertahankan keberlangsungan perikanan komersil. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa kondisi klorofil-a perairan selatan Pulau Sumba selama proses perkembangan taikan mampu menyediakan tropik level yang sempurna sehingga perairan melimpah dengan sumber daya pelagis ekonomis penting seperti ikan tuna yang ditunjukkan oleh aktiitas penangkapan tuna yang intensif di perairan seperti yang diperlihatkan oleh aktivitas penangkapan armada penangkapan tuna selama tahun 2015 yang diamati melalui situs global fishing watch.

Transport Ekman

Parameter penting dalam menganalisis kejadian taikan adalah transport ekman. Hasil analisis menunjukkan bahwa selama musim barat air permukaan cenderung ditransport mengarah ke pantai diindikasikan oleh nilai transport positif. Sementara pada musim peralihan I mengindikasikan transport ekman negatif di mana air permukaan dipindahkan menjauhi pantai. Jumlah massa air yang dipindahkan berkisar antara $10^{-4} - 27 \times 10^{-4}$ SV dengan nilai rerata transport 10^{-4} SV.

Taikan semakin intensif pada musim timur di mana massa air permukaan yang dipindahkan menjauhi pantai relatif lebih besar berkisar antara $6 \times 10^{-5} - 34 \times 10^{-4}$ SV dengan rerata transport 20×10^{-4} SV. Transport massa air melemah selama musim peralihan II dan kelihatan mengarah ke pantai pada perairan lepas dengan nilai transport massa air permukaan berkisar antara $7 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-5}$ SV.

Kedalaman Lapisan Ekman

Kedalaman ekman adalah kedalaman di laut yang dipengaruhi oleh gerakan air permukaan yang disebabkan oleh angin permukaan. Hasil analisis kedalaman ekman pada Tabel 1, menunjukkan bahwa pengaruh angin musim timur lebih kuat mempengaruhi kolom perairan. Pengaruhnya dapat mencapai kedalaman bervariasi antara 31 – 75 m (rerata 56 m). Kedalaman ini jauh lebih dalam dari kedalaman ekman yang dihasilkan pada musim lainnya.

Tabel 1 Variasi kedalaman Ekman secara musiman di Selatan Pulau Sumba
Table 1 Seasonal variation of the Ekman depth in south Sumba island

Season	Ekman Depth (m)		
	Minimum	Maximum	Average
West	30	63	44
Transition I	29	63	42
East	31	75	56
Transition II	24	66	38

Hasil analisis kedalaman lapisan ekman menunjukkan bahwa kedalaman tersebut cenderung lebih dalam di perairan pesisir. Hal menarik dijumpai pada Grid 4 yang berada dekat pantai kedalaman ekman lebih dangkal karena kecepatan angin pada lokasi tersebut lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan angin pada lokasi lainnya di daerah pesisir. Fenomena ini terlihat jelas pada distribusi komponen angin zonal di mana kecepatan lebih lemah dibandingkan dengan grid lainnya.

Ekman Pumping

Hasil analisis ekman pumping atau transport vertikal massa memperlihatkan bahwa tidak semua bagian perairan mengalami taikan namun pada bagian perairan yang lain terjadi keadaan sebaliknya. Wilayah perairan pada lintang 10 - 13° LS yang merupakan area taikan dominan memiliki kecepatan pengangkatan massa air yang lebih besar jika dibandingkan dengan area lainnya di perairan. Ekman pumping pada area tersebut berkisar antara 0,01 – 0,08 m³/hari dengan nilai rerata 0,04 m³/hari (4,63 x 10⁻⁵ cm³/s). Sementara itu, pada wilayah perairan pada lintang lebih tinggi wilayah perairan cenderung mengalami downwelling dengan kecepatan penenggelaman massa air berkisar antara 0,01 – 0,07 m³/hari dengan nilai rerata 0,03 m³/hari (3,47 x 10⁻⁵ cm³/s).

Taikan yang terjadi di perairan bagian selatan Pulau Sumba jika dibandingkan dengan lokasi lainnya pada Tabel 2 tampak bahwa kecepatan upwelling di lokasi penelitian cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan perairan selatan Pulau Sumbawa dan Laut Banda. Diduga kecepatan taikan tersebut tidak jauh berbeda dengan kecepatan taikan pada perairan selatan NTT pada kondisi Strong El Nino 1997.

Tabel 3 Perbandingan kecepatan *upwelling*
Table 3 A comparison of upwelling speed

Peneliti	Lokasi	Musim	Kec. Transport (m ³ /s)
Taufikurahman (2016)	South Sumbawa Island	East	5x10 ⁻⁶ – 1.75x10 ⁻⁵
Ratnawati <i>et al.</i> (2016)	Banda sea	East	1x10 ⁻⁶ – 4x10 ⁻⁶
Kurnarso <i>et al.</i> (2005)	South NTT	East and Transitional II (1997)	Strong intensity
Reasearch	South Sumba Island	East	4,63 x 10 ⁻⁵

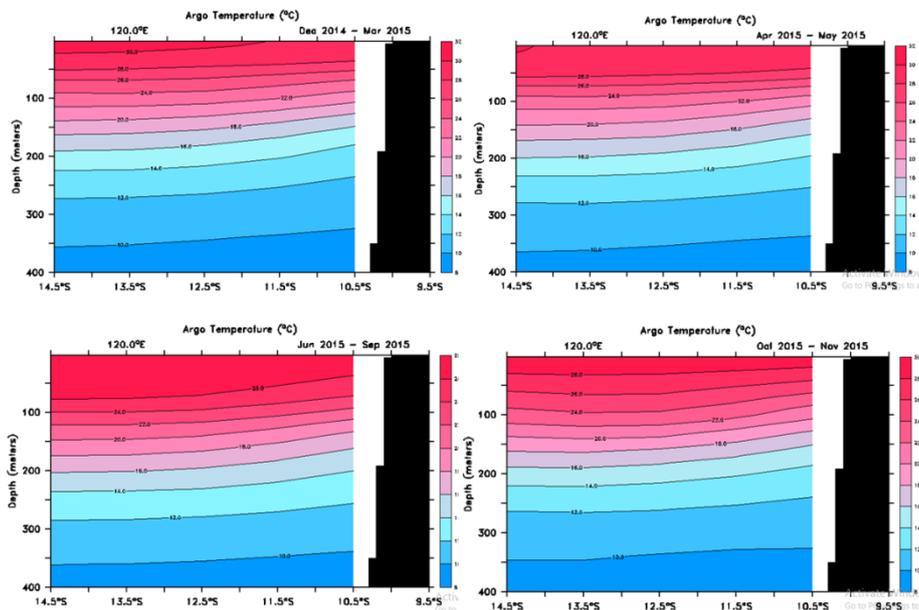
Observasi Argo Drifter

Taikan yang awalnya terjadi pada periode musim peralihan I dan maksimum selama musim timur yang dikaji berdasarkan teori ekman dan pencitraan satelit Aqua Modis dalam bentuk citra SPL dan klorofil-a harus diuji kebenarannya dengan menggunakan data survei lapangan pada saat yang bersamaan. Dalam penelitian ini telah digunakan data rekaman Argo drifter pada periode waktu yang sama.

Hasil analisis sebaran vertikal suhu perairan pada transek tegak lurus garis pantai pada 10,5- 14°LS ; 120°BT (Gambar 6) memperlihatkan bahwa selama musim barat suhu perairan cenderung hangat di mana SPL 28 – 30 °C kelihatan di perairan pesisir sementara suhu yang lebih tinggi >30°C cenderung ditemukan pada perairan lepas. Lapisan nutriklin yang diindikasikan oleh isotherm 26°C cenderung berada di kedalaman 50 – 75 m.

Pengaruh angin musim timur mulai kelihatan di mana taikan lemah mulai kelihatan selama periode musim peralihan I di mana suhu 28 – 30 °C mendominasi perairan sementara suhu >30°C hanya dijumpai pada perairan lepas pantai. Kedalaman lapisan nutriklin cenderung stabil. Selama musim barat, suhu permukaan perairan menurun signifikan berkisar antara 26-28°C (D= 6-4°C). Taikan kuat terjadi pada wilayah pesisir diindikasikan melalui peningkatan isotherm 26°C dari kedalaman 75 m ke kedalaman perairan 30 - 50 m (D = 25 - 45 m). Dengan melemahnya anomali angin musim timur pada periode musim peralihan II maka intensitas taikan melemah di mana suhu permukaan perairan makin menghangat (28 - 30°C) sementara berkas taikan masih kelihatan di mana kedalaman nutriklin berada pada kedalaman 50 m .

SPL hasil pengukuran Argo Driter selama musim timur dapat dikatakan relatif tidak berbeda secara signifikan dengan hasil observasi satelit Aqua Modis. Namun perlu dijelaskan bahwa SPL 25 °C yang ditemukan pada bagian tenggara Pulau Sumba dekat dengan pantai diduga tidak terekam Argo Drifter karena instrumen tersebut tidak dapat menjangkau ke wilayah perairan yang dangkal.

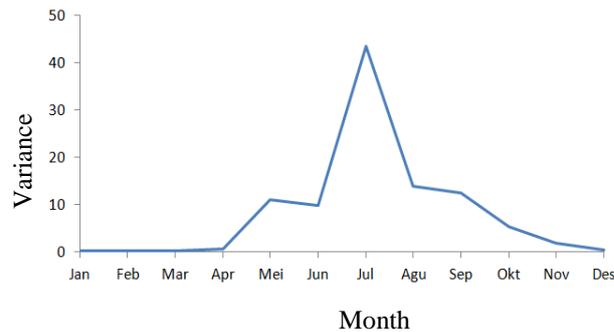


Gambar 6 Sebaran vertikal dari suhu pada transek 10,5 - 14°LS ; 120°BT
Figure 6 Vertical distribution of temperature in transect 10,5 - 14 °LS ; 120 °BT

Kontribusi Upwelling Terhadap Peningkatan Produktivitas Primer Perairan

Klorofil-a merupakan indikator kelimpahan fitoplankton di perairan yang berperan dalam proses fotosintesis (Zhang dan Han, 2015). Produksi karbon organik selama proses fotosintesis didefinisikan sebagai produktivitas primer atau produktivitas primer bersih (Lee *et al.* 2014). Klorofil-a dan produktivitas primer memiliki hubungan linier di mana peningkatan konsentrasi klorofil-a berbanding lurus dengan peningkatan produktivitas primer perairan.

Hasil perhitungan besarnya kontribusi taikan terhadap peningkatan kesuburan perairan Selatan Pulau Sumba yang diukur pada kedalaman integrasi kedalaman optik satelit ocean color tertera pada Gambar 7. Hasil analisis menunjukkan bahwa kontribusi taikan terhadap peningkatan produktivitas primer kelihatan mulai meningkat selama musim peralihan I. Peningkatan signifikan terjadi selama musim timur berasosiasi dengan intensitas taikan yang kuat dengan nilai varians sebesar 44 %. Kontribusi taikan cenderung menurun seiring dengan melemahnya angin musim timur pada musim peralihan II.



Gambar 7 Kontribusi upwelling pada peningkatan produktivitas primer di permukaan perairan

Figure 7 Contribution of upwelling to increase produktivitas primer in the surface waters

Kontribusi sebesar 44% dikatakan tinggi mengacu pada penjelasan Carria *et al.* (2008) dan Sakamoto *et al.* (2004) bahwa nilai kontribusi < 25% dikategorikan rendah. Nilai kontribusi maksimum taikan di perairan selatan Pulau Sumba selama Strong El Nino 2015 jika dibandingkan dengan kontribusi maksimum taikan di perairan utara kontinen Papua pada kondisi El Nino yang berbeda (Tabel 4) tampak bahwa kontribusi taikan di selatan Pulau sumba lebih tinggi dari perairan utara kontinen Papua selama Strong El Nino 1998 dan Weak El Nino 2006. Sebaliknya, kontribusi jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan taikan di perairan utara kontinen Papua selama Moderate El Nino 2000 dan Weak El Nino 2007.

Tabel 4 Perbandingan kontribusi upwelling pada productivitas primer di permukaan perairan

Table 4 Comparison of upwelling contribution to primary productivity in surface waters

No	Research	Location	Time	Varians (%)
1	Waas (2014)	Pacific West Water	SE 1998	29
			ME 2002	73
			ME 2003	53
			WE 2006	11
			WE 2007	68
2	Research	Southern waters of Sumba Island	SE 2015	43

SE = Strong Elnino ME = Moderate El Nino; WE = Weak El Nino

KESIMPULAN

Fenomena taikan di perairan selatan Pulau Sumba NTT selama strong El Nino 2015 terjadi dibawah pengaruh anomali angin timur dan intensif selama musim timur dicirikan oleh SPL yang rendah dan konsentrasi klorofil-a yang tinggi. Air upwelling diduga berasal dari kedalaman klorofil-a maksimum yang berasosiasi dengan lapisan nutriklin yang langsung meningkatkan kesuburan permukaan perairan. Ekman pumping perairan selatan Pulau Sumba cenderung lebih tinggi dari beberapa kawasan taikanyang telah diteliti sebelumnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan penulis sampaikan kepada NASA – GFCS Aqua MODIS, NOAA – ERDDAP, Blom Watch 360, ECMWF – advancing global NWP through international

collaboration, Global Marine ARGO Atlas yang telah menyediakan data melalui website dan aplikasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Baars, M.A., Sutomo, A.B., Oosterhuis, S.S., & Arinardi, O.H. 1990. Zooplankton abundance in the eastern Banda Sea and northern Arafura Sea during and after the upwelling season, August 1984-February 1985. *Netherlands Journal of Sea*.
- Charria, G., Dadou, I., Ciphollini, P., Drevillon, M., & Garcon, V. 2008. Influence of Rossby waves on primary production from a coupled physical-biogeochemical model in the North Atlantic Ocean. *Ocean Sci.*(4):199 – 213.
- Cipollini, P., Cromwell D., Challenor P.G., & Raffaglio S. 2001. Rossby wave detected in global ocean colour data. *Geophysical research Letters*.
- Inaku, D. F. 2016. Analisis Pola Sebaran Dan Perkembangan Area Upwelling Di Bagian Selatan Selat Makassar. Torani: *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*. Vol.25 (2) Agustus 2015: 67-74.
- K.H. Mann., & J.R.N. Lazie. 2006. Dynamics of Marine Ecosystems. Blackwell Publishing Ltd. ISBN:9781118687901 |DOI:10.1002/9781118687901
- Kamph, J., & Chapman, P. 2016. Upwelling systems of the world: a scientific journey to the most productive marine Pacific Ocean circulation rebounds. *Geophysical Research Letters*
- Kunarso. K., Hadi. S., Ningsih. N S., & Baskoro. M S., 2015. Variabilitas suhu dan klorofil-a di daerah upwelling pada variasi kejadian ENSO dan IOD di perairan selatan Jawa sampai Timor. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*. Volume 16.
- Kutsuwada K. 1998. Impact of wind/wind-stress field in the North Pacific constructed by ADEOS/NSCAT data. *J. Oceanogr.*, 54, 443-456
- Lee, Z. P., Maraa, J., Perry, M. J., & Kahru, M., 2014. Estimating Oceanic Primary Productivity From Ocean Color Remote Sensing: A Strategy Assessment. *Journal of Marine Primary Productivity From Satellite-Derived Phytoplankton Absorption Data*. IEE J Select Topics Appl Earth Observ Remote Sens.
- Mann, K. H., J.R. Lazier. 2006. Dynamics of marine ecosystems : Biological physical interactions in the oceans, 3rd ed. Blackwell Publishing.
- McPhaden. M J., & Yu. X., 1999. Equatorial waves and the 1997–98 El Niño. doi: 10.1029/1999GL004901
- McPhaden, M.J. 2004. Evolution of the 2002 – 03 El Niño, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*(85) : 677- 695.
- Pond, S., & GL Pickard. 1983. *Introductory dynamical Oceanography*. Second edition. Pergamon Press. New York
- Purwanti. I., Prasetyo. Y., & Wijaya. A. P., 2017. Analisis Pola Persebaran Klorofil-A, Suhu Permukaan Laut, Dan Arah Angin Untuk Identifikasi Kawasan Upwelling Secara Temporal Tahun 2003-2016 (Studi Kasus : Laut Halmahera). *Jurnal Undip*. Vol 6 (4).
- Ratnawati & Herlina. I. 2017. Upwelling di Laut Banda dan Pesisir Selatan Jawa serta Hubungannya dengan ENSO dan IOD. IPB.
- Sakamoto, C.M., D.M. Karl, H.W. Jannasch, R.R. Bidigare, R.M. Letelier, P.M. Walz, J.P. Ryan, P.S. Polito, K.S. & Johnson. 2004. Influence of Rossby waves on nutrient dynamics and the plankton community structure in the North Pacific subtropical gyre. *Journal of Geophysical Research*. (109) : 1-12

- Seiki, A., & Y.N. Takayabu. 2006. Westerly Wind Bursts and Their Relationship with Intraseasonal Variations and ENSO. Part II: Energetics over the Western and Central Pacific. *Monthly Weather Review*. (135) : 3346 – 3361.
- Tomczak, M., & J.S. Godfrey. 2001. *Regional Oceanography* : An introduction. This edition published online.
- Tubalawony. S. 2007. Kajian Klorofil-a dan Nutrien Serta Interelasinya dengan Dinamika Massa Air di Perairan Barat Sumatera dan Selatan Jawa–Sumbawa. Institut Pertanian Bogor.
- Tziperman E & Yu Lisan. 2006. Quantifying The Dependence Of Westerly Wind Bursts On The Large-Scale Tropical. *JOURNAL OF CLIMATE*. Volume 26.
- Waas, H.J.D., V.P, Seregar., Indera Jaya, & J.Lumban Gaol. 2012. Coastal Upwelling Under The Influence of Westerly Wind Burst in The North of Papua Continent, Western Pacific *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences* Vol 9(2): 128-139.
- Waas, H.J.D. 2014. Pengaruh Coastal Upwelling Di Utara Kontinen Papua Dan Gelombang Ekuatorial Rossby Terhadap Produktivitas Perairan Dan Perikanan Tuna Di Barat Pasifik Warm Pool. IPB.
- Zhang, C., & Han M. 2015 Mapping Chlorophyll-a Concentration in Laizou Bay Using Landsat 8 Oli data. Proceedings of the 36th LAR World Congress, Netherland.