

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.011.11

IDENTIFIKASI WILAYAH *UPWELLING* BERDASARKAN VORTISITAS dan DIVERGENSI di PERAIRAN SELATAN JAWA HINGGA NUSA TENGGARA BARAT

Lizalidiawati

Fisika FMIPA Universitas Bengkulu, Jl. W.R. Supratman Kandang Limun, Bengkulu 38371.

Email: lizallw07@gmail.com

Abstrak

Salah satu perairan di Indonesia yang telah teridentifikasi sebagai lokasi *upwelling* adalah perairan selatan Jawa hingga Nusa Tenggara Barat. Identifikasi daerah *upwelling* berdasarkan hasil model HAMSOM Baroklinik 3D menunjukkan bahwa *upwelling* paling kuat terjadi di perairan selatan Jawa Timur pada saat musim timur. Hasil model menunjukkan bahwa Arlindo yang melalui Selat Lombok berperan terhadap penguatan arus ke arah barat (arus zonal) di lepas pantai selatan Jawa Timur. Penguatan arus ke arah barat di lepas pantai menyebabkan kecepatan geser (*shear velocity*) ke arah pantai selatan Jawa Timur. Kecepatan geser ke arah pantai menimbulkan vortisitas negatif dan terjadinya zona divergensi sehingga mengakibatkan kekosongan massa air di permukaan yang dapat meningkatkan intensitas *upwelling* di pantai selatan Jawa Timur. Transpor Arlindo maksimum terjadi pada bulan Agustus sebesar 1,30 Sv. Analisis statistik menunjukkan bahwa transpor Arlindo memiliki korelasi yang kuat terhadap arus zonal di perairan selatan Jawa Timur dengan koefisien korelasi sebesar 0,78. Vortisitas maksimum terdapat pada bulan Agustus sebesar $-8,82 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ dan divergensi horizontal sebesar $+3,60 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

Kata-kata kunci: Arlindo, arus zonal, kecepatan geser, vortisitas, divergensi.

Abstract

One of the Indonesia waters that have been identified as the location of upwelling are southern waters of Java to West Nusa Tenggara. Identification of upwelling area based on the simulation results of the Hamburg Shelf Ocean Model (HAMSOM) 3D Baroclinic showed that a stronger intensity in the southern waters of East Java in the southeast monsoon. The results showed that the ITF through the Lombok Strait contributes to the strengthening of the westward flow (zonal flow) off the south coast of East Java. The Strengthening of westward flows off the coast caused a shear velocity towards the southern coast of East Java. Shear velocity towards onshore caused negative vorticity and occurred the horizontally divergence zone which resulted vacancy of water masses in the surface so as to increase the intensity of upwelling. The maximum ITF was occurred in August with value 1.30 Sv and which caused westward flows to be stronger. The statistical analysis showed that the ITF transport has a strong correlation with the zonal currents in the southern waters of East Java with a correlation coefficient 0.78. The maximum vorticity was found in August with value $-8.82 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ and the maximum horizontally divergence $+3.60 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

Keywords: ITF, zonal flow, shear velocity, vorticity, divergence.

1. PENDAHULUAN

Perairan Selatan Jawa hingga Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan perairan yang sangat dinamik, selain dipengaruhi oleh sirkulasi angin monsun juga oleh masukan massa air dari perairan Indonesia bagian timur dan merupakan kutub bagian timur dari *Indian Ocean Dipole*. Perairan selatan Jawa hingga NTB merupakan bagian dari kawasan Samudra Hindia yang diketahui sebagai daerah potensial untuk *fishing ground* ikan tuna dan Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP).

Beberapa peneliti telah melakukan identifikasi lokasi dan intensitas *upwelling* serta korelasinya terhadap monsun, *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) di perairan selatan Jawa hingga Nusa Tenggara Barat (NTB) dengan menggunakan data citra satelit berupa distribusi suhu permukaan laut dan nilai konsentrasi klorofil-a [1,2,3]. Analisis *upwelling* di perairan selatan Jawa juga telah dilakukan berdasarkan hasil model hidrodinamika 3D baroklinik *HAMBURG Shelf Ocean Model* (HAMSOM) meliputi kecepatan arus vertikal, anomali suhu dan salinitas yang dikaitkan dengan monsun, ENSO, dan IOD [4]. Kajian *upwelling* tersebut dilakukan di beberapa titik lokasi yaitu Selat Sunda, selatan Jawa Tengah, dan selatan Jawa Timur.

Fakta menunjukkan bahwa pada musim timur *upwelling* di selatan Jawa Timur lebih kuat daripada di selatan Jawa Barat, sedangkan angin pada musim timur sebagai pembangkit *upwelling* lebih kuat di selatan Jawa Barat. Sehingga perlu dilakukan kajian yang berkaitan dengan faktor penyebab lain, selain angin yang berperan terhadap intensitas dan durasi *upwelling* di selatan Jawa Timur. Penguatan *upwelling* secara spasial dan temporal memiliki hubungan dengan Arus lintas Indonesia (Arlindo) yang memasuki wilayah perairan Indonesia terutama sepanjang perairan selatan Jawa hingga NTB.

Kondisi dinamika arus dan kontribusi Arlindo terhadap perairan selatan Jawa hingga NTB menjadi dasar perlunya dilakukan kajian mengenai zona terjadinya vortisitas dan divergensi sebagai indikator terjadinya penguatan *upwelling*. Peranan vortisitas terhadap penguatan *upwelling* di perairan selatan Jawa hingga NTB dilakukan dengan menghitung nilai vortisitas relatif. Vortisitas relatif menyatakan kekuatan rotasi yang disebabkan oleh adanya kecepatan geser (*shear velocity*) arus laut di suatu perairan.

Daerah yang mengalami vortisitas negatif akan menyebabkan muka laut semakin rendah dan akibat gaya coriolis, vortisitas negatif di selatan ekuator menimbulkan divergensi. Daerah yang terjadi divergensi akan mengakibatkan terjadi kekosongan massa air di permukaan dan menyebabkan naiknya air dari lapisan dalam untuk mengisi kekosongan ini. Nilai divergensi menyatakan laju perubahan volume suatu fluida.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi zona terjadinya vortisitas dan divergensi di sepanjang perairan selatan Jawa hingga NTB yang berhubungan dengan terjadinya *upwelling* yang kuat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang berkaitan dengan perhitungan nilai vortisitas dan divergensi di wilayah perairan selatan Jawa hingga NTB menggunakan hasil simulasi model HAMSOM baroklinik 3D berupa data arus komponen horizontal (u dan v) rata-rata harian [14]. Metode yang digunakan untuk menganalisis hasil simulasi model selama 20 tahun (1990-2009), yaitu temperatur, dan arus secara spasial maupun temporal adalah metode deskriptif dan statistik. Daerah studi meliputi wilayah perairan selatan Jawa hingga NTB, yaitu antara $104^\circ - 126^\circ$ Bujur Timur (BT) dan $6^\circ - 10^\circ 30'$ Lintang Selatan (LS).

Vortisitas relatif dihitung dengan rumus [5]:

$$\zeta_z = \bar{\nabla} \times \bar{V} = \frac{dv}{dx} - \frac{du}{dy} \quad (1)$$

dengan ζ_z adalah vortisitas relatif komponen vertikal (s^{-1}), u dan v adalah komponen vektor kecepatan arus horizontal arah- x dan arah- y (m/s). Vortisitas positif menunjukkan arah rotasinya

berlawanan jarum jam (*counter-clockwise*) dan negatif menunjukkan rotasi searah jarum jam (*clockwise*).

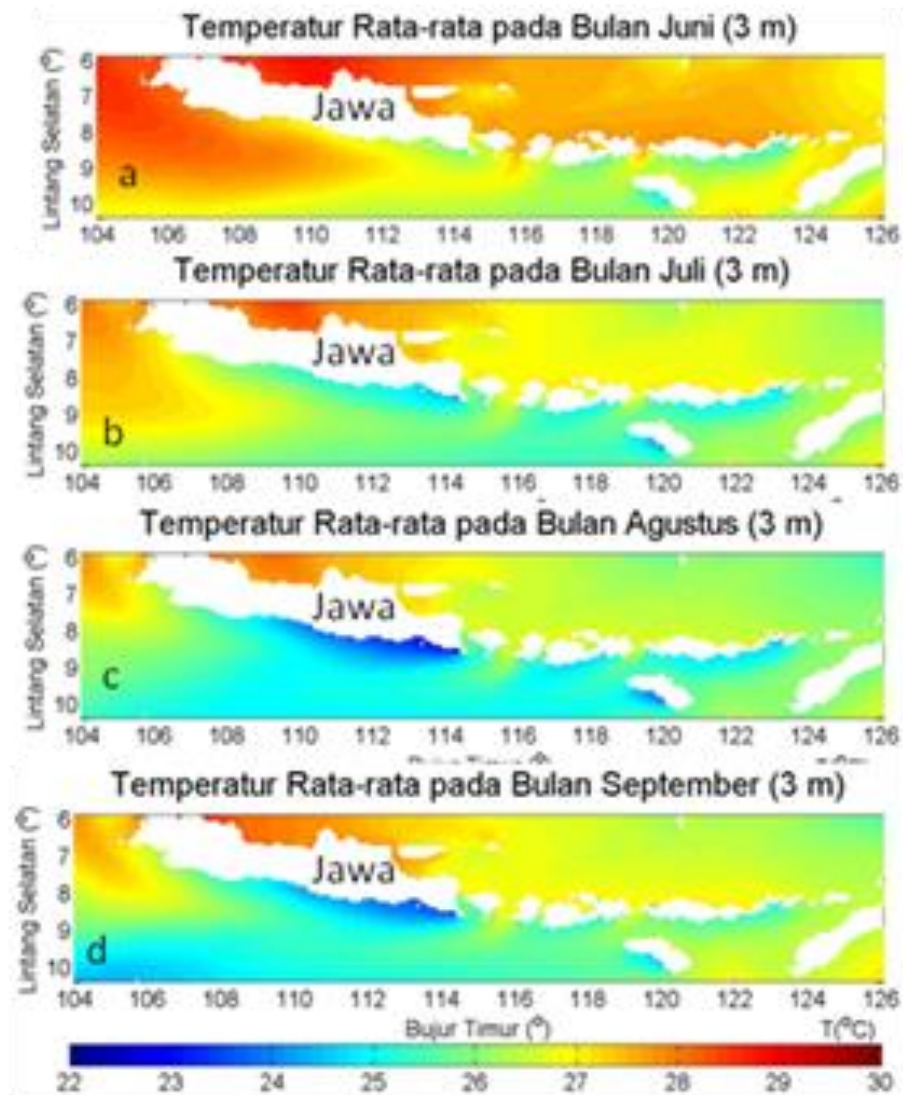
Perhitungan nilai divergensi di suatu perairan menggunakan rumus berikut [5]:

$$\text{Div}\vec{V}_H = \vec{\nabla}_H \cdot \vec{V} = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} \quad (2)$$

Divergensi positif (divergensi) menyatakan terjadinya kekosongan massa air atau penurunan muka air, sedangkan divergensi negatif (konvergensi) menunjukkan terjadinya penumpukan massa air atau kenaikan muka air dalam suatu kontrol volume fluida [6]. Divergensi positif yang menunjukkan kekosongan massa air di permukaan mengakibatkan naiknya massa air dari lapisan bawah ke permukaan (*upwelling*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

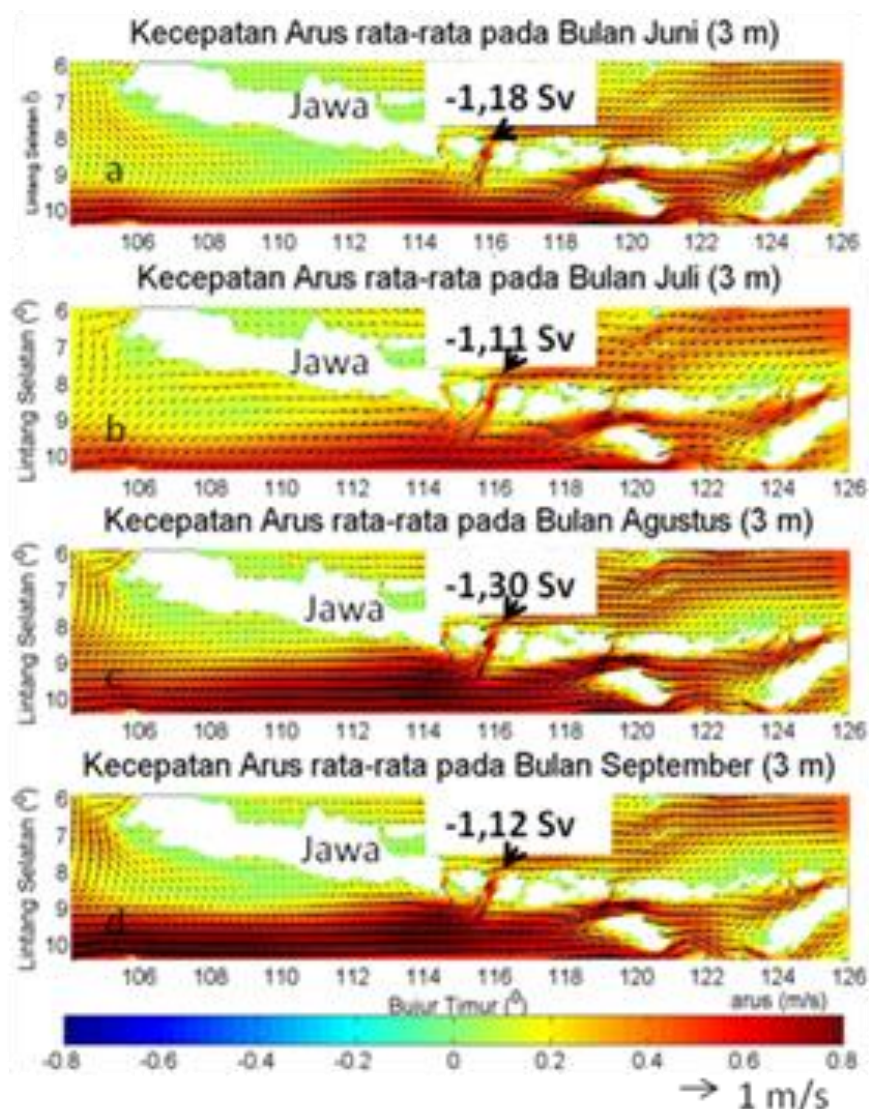
Distribusi temperatur rata-rata bulanan selama 20 tahun mengidentifikasi munculnya *upwelling* pada musim timur (Juni hingga September) di perairan selatan Jawa hingga NTB (Gambar 1).



GAMBAR 1. Distribusi temperatur permukaan laut (3 m) rata-rata bulanan di perairan selatan Jawa hingga NTB: (a) Juni, (b) Juli, (c) Agustus, (d) September.

Upwelling mulai terbentuk pada bulan Juni dan mencapai maksimum pada bulan Agustus [1,7,8]. Penurunan temperatur permukaan laut yang lebih rendah (23°C – 24°C) mengindikasikan bahwa *upwelling* lebih kuat di perairan selatan Jawa Timur dibandingkan di perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah, dan NTB.

Parameter indikator *upwelling* memperlihatkan adanya penguatan *upwelling* dan maksimum penguatan terjadi pada bulan Agustus di perairan selatan Jawa Timur. Secara teoritis, proses *upwelling* yang terjadi di lokasi perairan selatan Jawa hingga NTB dibangkitkan oleh angin monsun Tenggara pada bulan Juni hingga September. Angin tersebut berhembus intensif ke arah barat daya sejajar dengan garis pantai sepanjang deretan pulau-pulau Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat hingga selatan Jawa [1,4,9]. Faktor selain angin lokal yang berperan dalam penguatan *upwelling* di perairan selatan Jawa Timur sangat mempengaruhi dinamika arus di daerah tersebut. Salah satu faktor selain angin lokal yang berkontribusi terhadap penguatan *upwelling* di pantai selatan Jawa Timur adalah transpor Arlindo yang memasuki perairan selatan Jawa sebesar 55-65% [10]. Pengaruh Arlindo terhadap *upwelling* berperan tidak secara langsung karena transpor Arlindo menyebabkan penguatan arus ke arah barat di lepas pantai selatan Jawa Timur (Gambar 2).



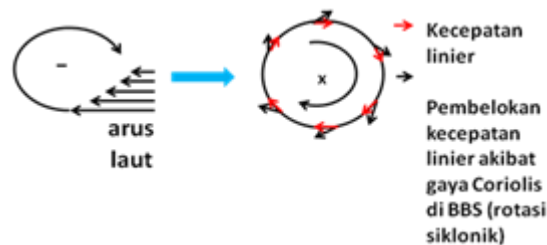
GAMBAR 2. Distribusi arus permukaan (3 m) rata-rata bulanan di perairan selatan Jawa hingga NTB pada bulan: (a) Juni, (b) Juli, (c) Agustus, dan (d) September.

Penguatan arus ke arah barat mempengaruhi dinamika arus di pantai selatan Jawa Timur sehingga dapat meningkatkan *upwelling* di wilayah tersebut. Kondisi dinamika arus menunjukkan terjadinya kecepatan geser (*shear velocity*) dari arah lepas pantai ke pantai selatan Jawa Timur (Gambar 3). Kecepatan geser dari arus terjadi akibat adanya kontribusi Arlindo yang menyebabkan penguatan arus ke arah barat di lepas pantai selatan Jawa Timur. Penguatan arus ke arah barat semakin berkurang mendekati pantai selatan Jawa Timur sehingga menyebabkan kecepatan geser yang menimbulkan vortisitas negatif (searah jarum jam). Sedangkan di perairan selatan Jawa Barat terlihat adanya kecepatan geser yang dominan menimbulkan vortisitas positif (berlawanan arah jarum jam). Perhitungan vortisitas komponen vertikal di perairan selatan Jawa hingga NTB menunjukkan bahwa vortisitas negatif cenderung terjadi di pantai selatan Jawa Timur dan vortisitas positif cenderung terjadi di pantai selatan Jawa Barat hingga Jawa Tengah pada bulan Juni hingga September (Gambar 4).

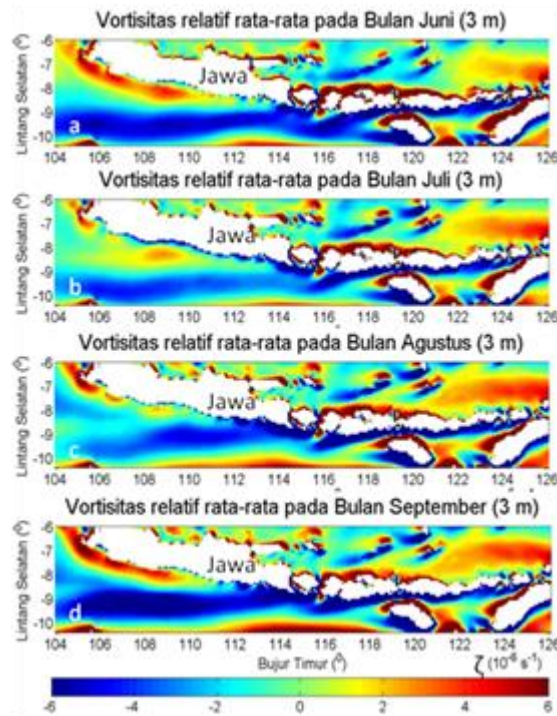
Vortisitas negatif terlihat menguat pada bulan Juni dengan nilai sebesar $-6,63 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ di pantai dan $-3,37 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ di lepas pantai selatan Jawa Timur. Pada bulan Juli, vortisitas negatif memiliki nilai sebesar $-6,36 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ di pantai selatan Jawa Timur. Sedangkan pada bulan Agustus, vortisitas negatif semakin meningkat sebesar $-8,82 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ di pantai. Pada bulan September, vortisitas negatif di pantai selatan Jawa Timur semakin kuat sebesar $-10,46 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ di pantai selatan Jawa Timur (Gambar 4. a-d). Vortisitas negatif terlihat semakin kuat pada bulan Agustus dan menyebar hingga ke perairan selatan Jawa Tengah. Vortisitas negatif yang lebih kuat pada bulan Agustus menunjukkan bahwa adanya kontribusi Arlindo yang memperkuat arus ke arah barat di lepas pantai selatan Jawa Timur. Arlindo memasuki perairan selatan Jawa maksimum pada bulan Agustus dan penguatan arus ke arah barat juga terjadi pada bulan yang sama.

Vortisitas negatif di pantai selatan Jawa Timur maksimum pada bulan Agustus. Vortisitas negatif mengakibatkan muka laut semakin rendah dan akibat bekerjanya gaya Coriolis di Bumi Belahan Selatan (BBS) menyebabkan arus dibelokkan ke kiri dari arah kecepatan linier. Pembelokkan arus ke kiri di BBS menimbulkan divergensi horizontal positif di wilayah tersebut (Gambar 3). Hasil perhitungan divergensi horizontal di perairan selatan Jawa hingga NTB yang merupakan kombinasi pengaruh rotasi siklonik dan penguatan arus ke arah barat menunjukkan nilai positif yang kuat di pantai selatan Jawa Timur pada bulan Juni hingga September (Gambar 5). Divergensi horizontal positif terlihat menguat memasuki musim timur (Juni-September) di perairan selatan Jawa Timur.

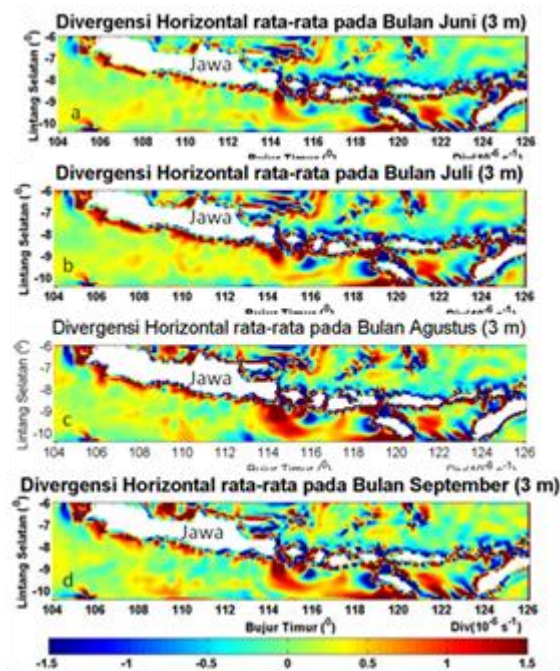
Divergensi horizontal positif di pantai pada bulan Juni memiliki nilai sebesar $1,47 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, bulan Juli sebesar $2,21 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, dan pada bulan Agustus semakin meningkat sebesar $3,60 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$. Sedangkan divergensi horizontal pada bulan September melemah sebesar $2,46 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$. Divergensi horizontal positif di pantai selatan Jawa Timur terlihat maksimum pada bulan Agustus dan bersesuaian dengan menguatnya Arlindo dari Selat Lombok pada bulan yang sama. Divergensi horizontal positif yang menguat pada musim timur (Juni hingga September) dan maksimum pada bulan Agustus menunjukkan bahwa muka laut di sisi pantai selatan Jawa Timur lebih rendah daripada bagian perairan selatan Jawa lainnya.



GAMBAR 3. Ilustrasi dinamika arus di perairan selatan Jawa Timur: (a) kecepatan geser (*shear velocity*) arus *zonal* menimbulkan vortisitas negatif, (b) vortisitas negatif menyebabkan muka laut rendah dan akibat gaya Coriolis di Bumi Belahan Selatan (BBS) arus dibelokkan ke kiri yang mengakibatkan divergensi.

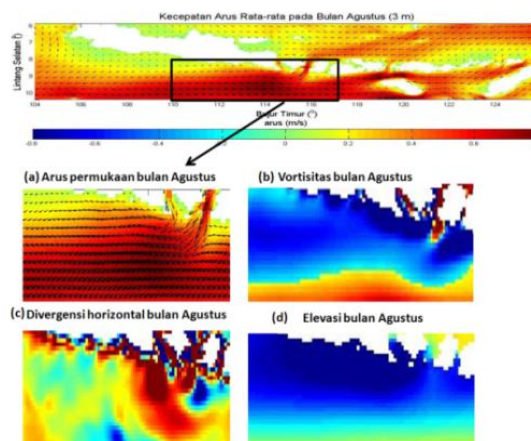


GAMBAR 4. Distribusi vortisitas komponen vertikal rata-rata bulanan di perairan selatan Jawa hingga NTB pada bulan: (a) Juni, (b) Juli, (c) Agustus, dan (d) September.



GAMBAR 5. Distribusi divergensi horizontal rata-rata bulanan di perairan selatan Jawa hingga NTB pada bulan: (a) Juni, (b) Juli, (c) Agustus, dan (d) September.

Kondisi maksimum penguatan *upwelling* di perairan selatan Jawa Timur terdapat pada bulan Agustus. Mekanisme Arlindo berperan terhadap menguatnya arus yang bergerak ke arah barat di lepas pantai selatan Jawa Timur sehingga menyebabkan terjadinya *shear velocity* yang menimbulkan vortisitas negatif (Gambar 6).



GAMBAR 6. Mekanisme Arlindo terhadap penguatan *upwelling* di pantai selatan Jawa Timur pada bulan Agustus. (a) distribusi arus permukaan yang menunjukkan *shear velocity*, (b) vortisitas komponen vertikal, (c) divergensi horizontal, dan (d) tinggi muka laut.

Vortisitas negatif menyebabkan divergensi horizontal positif sehingga terjadi kekosongan muka laut yang digantikan oleh massa air dari lapisan bawah yang menyebabkan terjadinya penguatan *upwelling* di perairan selatan Jawa Timur.

4. KESIMPULAN

Transpor Arlindo yang melalui Selat Lombok sebesar 1,3 Sv pada bulan Agustus berperan dalam penguatan arus ke arah barat di lepas pantai selatan Jawa Timur. Penguatan arus ke arah barat menyebabkan adanya perbedaan kecepatan (*shear velocity*) ke arah pantai dan menimbulkan vortisitas negatif di pantai selatan Jawa Timur. Vortisitas negatif yang kuat di perairan selatan Jawa Timur mengakibatkan terbentuknya divergensi positif yang kuat juga di daerah tersebut. Divergensi maksimum sebesar $3,60 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ memperkuat intensitas *upwelling* pada bulan Agustus di pantai selatan Jawa Timur.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr.rer.nat. Mutiara Rachmat Putri, S.Si, M.Si yang telah berkenan memberikan izin penggunaan Data dan Bayu Priono, S.Si, M.Si beserta teman-teman yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Susanto, R.D., A.L. Gordon, dan Q. Zheng (2001): *Upwelling Along the Coasts of Java and Sumatra and Its Relation to ENSO*. *Geophysical Research Letters* 28:1,559–1,602.
- [2] Susanto, R.D., dan J. Marra (2005): *Effect of the 1997/98 El Niño on Chlorophyll-a Variability Along the Southern Coasts of Java and Sumatra*, *Oceanography*, Journal of the Oceanography Society, Volume 18, Number 4.
- [3] Kunarso (2005): *Kajian Penentuan Lokasi-Lokasi Upwelling di Perairan Indonesia dan Sekitarnya serta Kaitannya dengan Fishing Ground Tuna*. Tesis, Program Studi Magister Oseanografi, Sains Atmosfir, dan Seismologi, Institut Teknologi Bandung.
- [4] Putri, M.R. (2005): *Study of Ocean Climate Variability (1959-2002) in the Eastern Indian Ocean, Java Sea and Sunda Strait Using the Hamburg Shelf Ocean Model*. Dissertation, Hamburg University.
- [5] Stewart, R.H., 2008. Introduction to Physical Oceanography. Department of Oceanography Texas A & M University.

- [6] [Schwind](#), J.J.V. (1980): *Geophysical Fluid Dynamics For Oceanographers*. Prentice-Hall, University of California.
- [7] Ningsih, N.S., N. Rakhmaputeri, dan A.B. Harto (2013): *Upwelling Variability along The Southern Coast of Bali and in Nusa Tenggara Waters*. Ocean Science Journal Vol. 48, No. 1 March 31.
- [8] Hendiarti, N. (2003): *Investigations on ocean color remote sensing in Indonesian waters using SeaWiFS*. CD Doct. Dissertation, Univ. Rostock, p. 93
- [9] Wyrтки, K., 1961. *Physical oceanography of the South East Asian waters*. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. Calif., San Diego, p.195.
- [10] Kuswardani, R.T.D. (2012): *The development of a wave-tide-circulation coupled model and its upwelling simulation application in the Indonesian Seas*. Dissertation, Ocean University of China.
- [11] Jackson, A 2007, 'New approaches to drug therapy', Psychology Today and Tomorrow, vol. 27, no. 1, pp. 54-9.
- [12] Kramer, E & Bloggs, T 2002, 'On quality in art and art therapy', *American Journal of Art Therapy*, vol. 40, pp. 218-31.
- [13] Wang, R.T. "Title of Chapter," in *Classic Physiques*, edited by R. B. Hamil (Publisher Name, Publisher City, 1999), pp. 212–213.