

Eksistensi *Upwelling* Pada Fase Netral di Perairan Selatan Jawa

Muhammad Hafiz¹, Supriyatno Widagdo², Viv Djanat Prasita³

Program Studi Oseanografi, Universitas Hang Tuah

Korespondensi: hafiz2001701@gmail.com

Abstrak

Kondisi Perairan Selatan Jawa sangat dipengaruhi oleh perubahan parameter oseanografi permukaan dan atmosfer, termasuk *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD). Anomali ini mempengaruhi berbagai parameter oseanografi, seperti terjadinya *upwelling* yang intensif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis eksistensi *upwelling* pada musim timur saat fase netral (saat ENSO dan IOD tidak terjadi) di perairan selatan Jawa. Data yang digunakan terdiri atas angin, arus, temperatur, salinitas, klorofil-a ketika fase netral bulan Juni 2017 dan Juni 2018. Data tersebut adalah representasi periode delapan tahun fase netral (2016–2023) yang diperoleh dari situs web *Copernicus*. Data diolah menggunakan ArcGIS 10.8 dan ODV 5.7.1 untuk mendapatkan peta distribusi setiap parameter. Penentuan *upwelling* dianalisis dengan membandingkan secara visual terjadinya transpor Ekman (sebagai kopling arus-angin) dan konsekuensinya yang berkaitan dengan distribusi horizontal temperatur, salinitas, dan klorofil-a permukaan. Untuk mendukung hal tersebut dilakukan analisis distribusi temperatur dan salinitas secara vertikal. Selain itu, analisis statistik deskriptif juga dilakukan untuk melengkapi hasil penelitian. Hasil penelitian menunjukkan *upwelling* terjadi selama musim timur pada fase netral, terutama di Pesisir Kebumen dan Lumajang. Transpor Ekman hasil kopel angin-arus: tenggara-baratdaya menaikkan massa air ke permukaan dengan karakteristik bawah-permukaannya. Dibandingkan dengan perairan sekitarnya, temperatur permukaan di area kajian menjadi lebih dingin 0,2–0,8 °C, salinitas permukaan menjadi lebih tinggi 0,1–0,4 PSU dan klorofil permukaan meningkat 0,20–0,63 mg/m³. Profil vertikal temperatur dan salinitas di Pesisir Kebumen dan Lumajang juga menegaskan terjadinya *upwelling* di kedua wilayah. Berdasarkan distribusi permukaan temperatur, salinitas dan klorofil-a, Pesisir Kebumen mengalami *upwelling* yang lebih kuat dibandingkan dengan pesisir Lumajang.

Kata kunci: *upwelling*, Selatan Jawa, fase netral, ENSO, tranpor Ekman, temperatur permukaan laut (TPL).

Abstract

Southern Java waters are strongly influenced by changes in surface and atmospheric oceanographic parameters, including the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and Indian Ocean Dipole (IOD). These anomalies affect various oceanographic parameters, such as the occurrence of intensive upwelling. This study aims to analyze the existence of upwelling in the eastern season during the neutral phase (when ENSO and IOD do not occur) in the Southern Java waters. The data used consists of wind, current, temperature, salinity, chlorophyll-a during the neutral phase in June 2017 and June 2018. The data is a representation of the eight-year period of the neutral phase (2016-2023) obtained from the Copernicus website. The data were processed using ArcGIS 10.8 and ODV 5.7.1 to obtain distribution maps for each parameter. The determination of upwelling was analyzed by visually comparing the occurrence of Ekman transport (as wind-current coupling) and its consequences related to the horizontal distribution of surface temperature, salinity, and chlorophyll-a. To support this, the vertical distribution of temperature and salinity was analyzed. In addition, descriptive statistical analysis was also conducted to complement the research results. The results showed that upwelling occurred during the eastern season in the neutral phase, especially in the coastal areas of Kebumen and Lumajang. Ekman transport resulting from wind-current coupling:

southeast-southwest raised the water mass to the surface with its subsurface characteristics. Compared to the surrounding waters, the surface temperature in the study area became cooler by 0,2-0,8 °C, the surface salinity became higher by 0,1-0,4 PSU and the surface chlorophyll increased by 0,20-0,63 mg/m³. The vertical profiles of temperature and salinity on the Kebumen and Lumajang coasts also confirmed the occurrence of upwelling in both areas. Based on the surface distribution of temperature, salinity and chlorophyll-a, the Kebumen coast experienced stronger upwelling than the Lumajang coast.

Key words: upwelling, southern Java, neutral phase, ENSO, Ekman transport, sea surface temperature (SST).

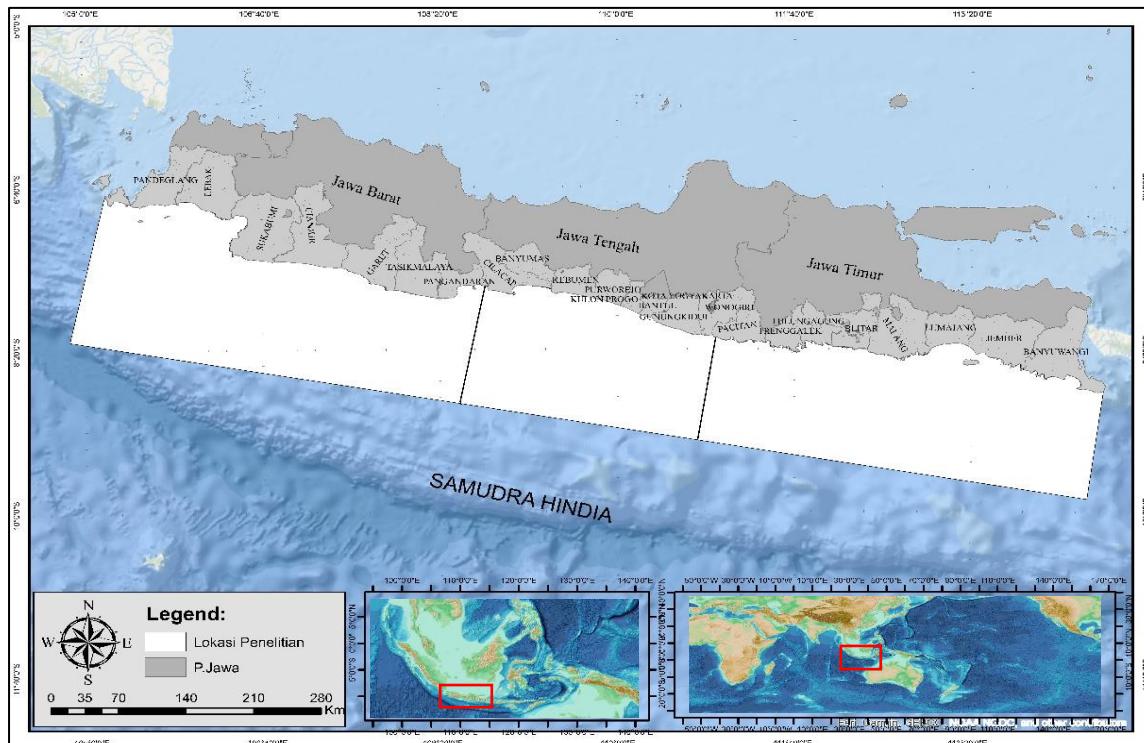
PENDAHULUAN

Perairan Selatan Jawa yang termasuk dalam WPP-NRI 573 masih memiliki daya dukung sumber daya ikan yang potensial dan mewakili kondisi karakteristik sumber daya perikanan yang memerlukan pengelolaan secara spesifik (Nurani dkk, 2007; Kurniawan, 2019). Selain masalah teknis pengelolaan, faktor yang tidak kalah penting adalah kondisi alam menyangkut meteorologi dan oseanografi (meteo-oseanografi). Faktor meteo-oseanografi sangat menentukan aktivitas di laut dan keberadaan ikan-ikan komersil. Penelitian Rahman dkk. (2019) di Perairan Selatan Jawa Barat sebagai 2okasi, menunjukkan bahwa tangkapan ikan cakalang berfluktuasi secara musiman. Hasil tangkapan ikan cakalang tertinggi t sebesar 325,77 ton diperoleh pada saat musim timur (2015) pada saat 2okasi2ture optimum 28,00–28,30 °C dan klorofil-a optimum 0,20–0,25 mg/m³. Sementara itu tangkapan terendah terjadi saat musim barat (2016) sebesar 15,81 ton 2okasi2ture optimum 27,00–29,00 °C dengan nilai klorofil-a yang tidak optimum sebesar 0,00–0,20 mg/m³.

Posisi geografis Indonesia yang berbatasan dengan pusat terjadinya ENSO di Samudera Pasifik dan IOD di Samudera Hindia menjadikan 2okasi2 Indonesia sangat dipengaruhi oleh kedua fenomena iklimatik tersebut. Kecenderungan perubahan iklim di 2okasi2 Indonesia menyebabkan sejumlah dampak seperti penurunan curah dan periode hujan yang lebih pendek di wilayah Indonesia 2okasi2; sedangkan peningkatan curah hujan di wilayah utara. Perubahan pola hujan tersebut menyebabkan berubahnya awal dan panjang musim hujan (Julismin, 2013). Pada gilirannya kondisi semacam itu akan mempengaruhi karakteristik oseanografi dan berimbas pada aktivitas kelautan dan tangkapan hasil perikanan, termasuk di Perairan Selatan Jawa. Oleh karena itu, dalam rangka untuk memahami dampak ekologi dan sosial ekonominya, menjadi penting untuk memantau eksistensi *upwelling*, baik pada saat ENSO dan IOD berlangsung, maupun pada fase netral saat kedua variasi iklim tersebut sedang tidak terjadi.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di wilayah Perairan Selatan Jawa yang terletak pada $5-10^{\circ}$ LS dan $106-115^{\circ}$ BT dengan pembagian tiga zona provinsi (Gambar 1). Data yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari laman *Copernicus*. Data terdiri atas angin, arus, temperatur, salinitas, klorofil-a ketika fase netral bulan Juni 2017 dan Juni 2018. Data tersebut adalah representasi periode delapan tahun fase netral (2016–2023). Data kemudian diolah menggunakan ArcGIS 10.8 dan ODV 5.7.1 untuk mendapatkan peta distribusi setiap parameter. Analisis penentuan *upwelling* dilakukan dengan membandingkan secara visual terjadinya transpor Ekman (sebagai kopling arus-angin) yang menyebabkan perubahan distribusi horizontal temperatur, salinitas, dan klorofil-a permukaan. Analisis distribusi menegak temperatur dan salinitas juga dilakukan untuk mendukung hal tersebut.



Gambar 1 Lokasi penelitian di Perairan Selatan Jawa yang dikelompokkan menjadi tiga zona provinsi: Jawa Timur, Jawa Tengah dan Jawa Barat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transpor Ekman

Hasil visualisasi angin dominan di Perairan Selatan Jawa menunjukkan pergerakan angin tenggara menuju ke arah barat laut dengan kecepatan rerata 6,87 m/s, kecepatan

minimum 1,04 m/s, dan kecepatan maksimum 7,56 m/s. Dibandingkan dengan Juni 2017, kecepatan angin pada Juni 2017 lebih tinggi. Hal ini ditandai dengan dominannya warna merah (Gambar 2A dan Gambar 3A), terutama di Pesisir Kebumen, Jawa Tengah dan Lumajang, Jawa Timur. Di kedua pesisir di selatan Jawa tersebut kecepatan maksimum arus permukaan bangkitan angin terekam sebesar 0,57 m/s dengan rataan kecepatan 0,27 m/s dan kecepatan minimum 0,02 m/s (Gambar 2B dan Gambar 3B).

Transpor Ekman diindikasikan terjadi melalui kopel angin angin–arus yang menyolok. Angin tenggara yang dominan dibelokkan menjauhi daratan pesisir oleh gaya Coriolis menuju barat daya. Akibatnya terjadi kekosongan massa air permukaan yang diseret menjauhi pantai. Gerakan arus ini menyebabkan proses pergerakan massa air bawah-permukaan ke permukaan hingga membangkitkan percampuran horizontal (*horizontal mixing*) untuk mengisi kekosongan massa air permukaan. Effe yang terjadi adalah terjadinya perubahan nilai temperatur, salinitas dan khlorofil-a di lapisan permukaan dari sebelumnya yang berbeda dengan nilai-nilai temperatur, salinitas dan khlorofil-a di sekitarnya.

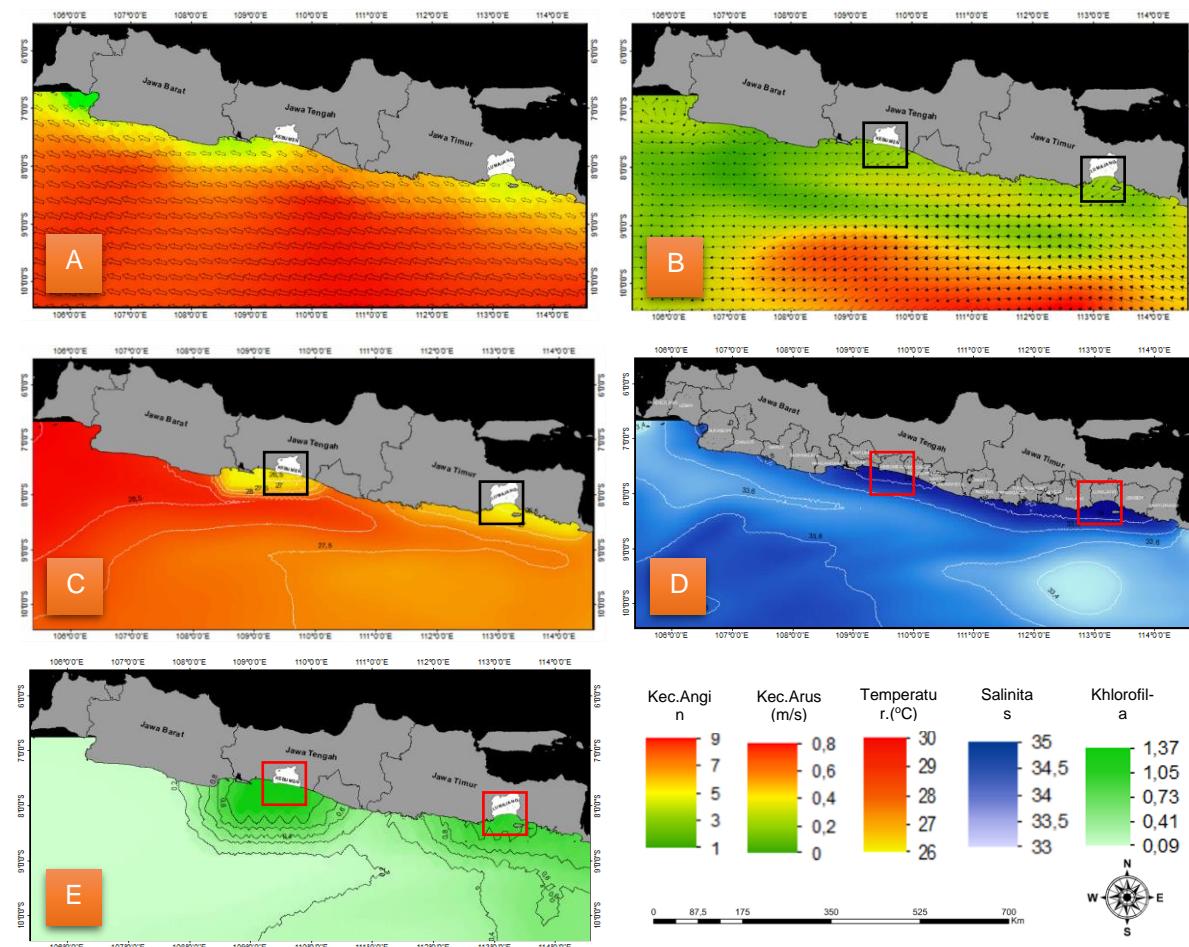
Distribusi Permukaan Temperatur, Salinitas dan Khlorofil-a

Effe 4okasi4tu Ekman yang memengaruhi pola distribusi 4okasi4ture permukaan laut (TPL), salinitas permukaan (SPL) maupun khlorofil-a (K_a PL) diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pada musim timur saat fase netral Juni 2017 dan Juni 2018 TPL di Perairan Selatan Jawa bervariasi antara 26,14–29,14 °C (Gambar 2C dan Gambar 3C; Tabel 1).

Pada fase netral 2017–2018, distribusi TPL di Perairan Selatan Jawa menunjukkan nilai yang bervariasi antara 26,14–29,14 °C. Di perairan Pesisir Kebumen TPL lokus (area pusat kajian) pada Juni 2017 terekam sebesar 27,20 °C sedangkan di sekitarnya 27,40 – 27,80 °C; sementara pada Juni 2018 TPL lokus sebesar 27,00 °C dengan rentangan TPL 27,20 – 27,80 °C. Kondisi ini TPL ini sebagai salah satu komponen indikator *upwelling* menunjukkan lebih kuatnya *upwelling* pada Juni 2018 dibandingkan Juni 2017. Dengan variasi TPL yang lebih rendah, kondisi serupa juga ditemukan di Perairan Pesisir Lumajang.

Eksistensi *upwelling* di Perairan Selatan Jawa juga diindikasikan oleh distribusi SPL, terutama di perairan Pesisir Kebumen dan Lumajang. Pada Juni 2017 dan 2018, SPL lokus di perairan Pesisir Kebumen masing-masing terekam sebesar 34,00 PSU dan 34,20 PSU dengan rentang SPL sekitarnya masing-masing 33,60–33,80 PSU dan 34,00–34,10 PSU. Kondisi SPL lokus dan sekitarnya yang sama juga ditemukan di Perairan Pesisir Lumajang

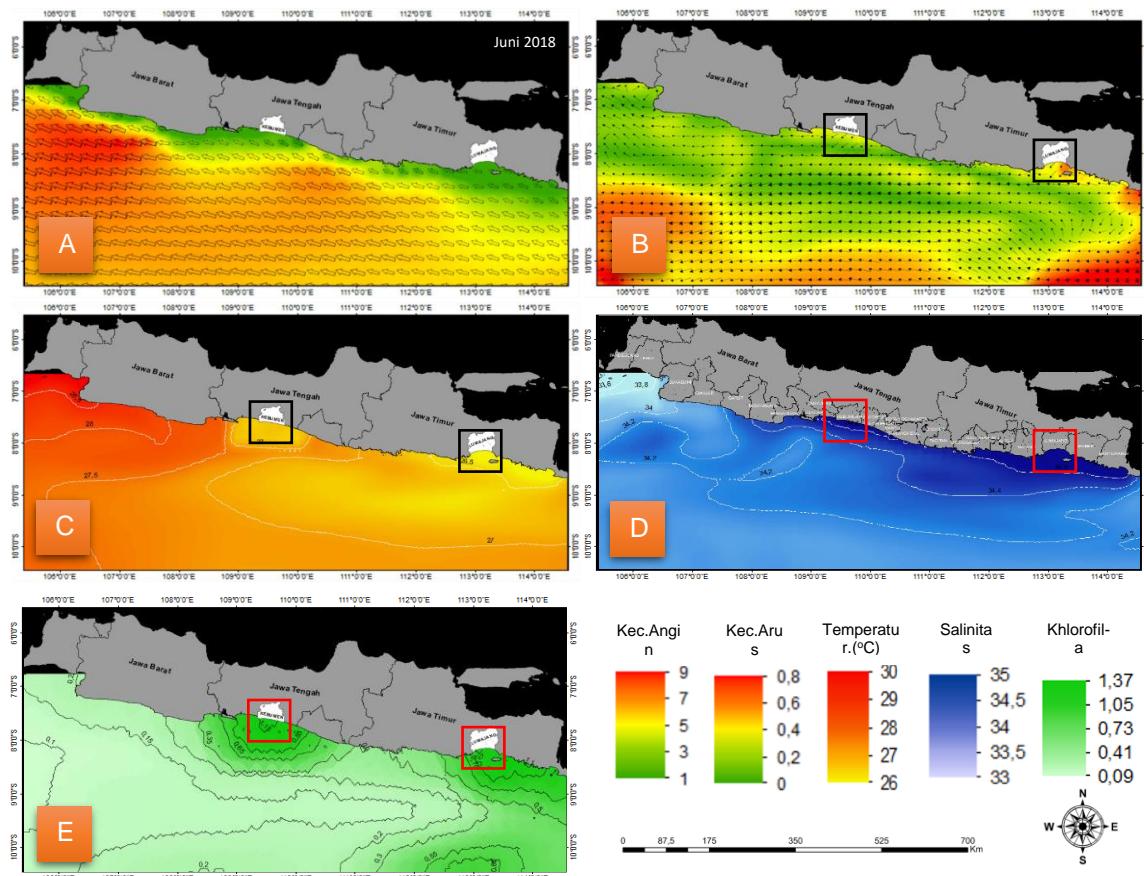
(Gambar 2D dan Gambar 3D; Tabel 1). Lebih tingginya SPL pada Juni 2018 mengindikasikan lebih kuatnya *upwelling* di area penelitian dibandingkan dengan Juni 2017. Distribusi KaPL lokus di perairan Pesisir Kebumen dan Lumajang pada Juni 2017 masing-masing senilai $1,10 \text{ mg/m}^3$ dan $1,00 \text{ mg/m}^3$ dengan KaPL $0,60\text{--}0,80 \text{ mg/m}^3$. Setahun kemudian pada Juni 2018 nilai KaPL lokus dan sekitarnya lebih tinggi. Di perairan Pesisir Kebumen KaPL lokus dan sekitarnya masing-masing sebesar $1,15 \text{ mg/m}^3$ dan $0,70\text{--}0,90 \text{ mg/m}^3$; sedangkan di Perairan Pesisir Lumajang terekam senilai $1,13 \text{ mg/m}^3$ dan $0,50\text{--}0,70 \text{ mg/m}^3$ (Gambar 2E dan Gambar 3E; Tabel 1).



Gambar 2. Distribusi permukaan parameter meteo-oseanografi yang mengindikasikan terjadinya *upwelling* fase netral di Perairan Selatan Jawa pada Juni 2017: pola angin (A) pola arus (B), temperatur (C), salinitas (D) dan khlorofil-a (E).

Tabel 1. Perbandingan lokasi6ture, salinitas dan khlorofil-a selama Juni 2017 dan Juni 2018

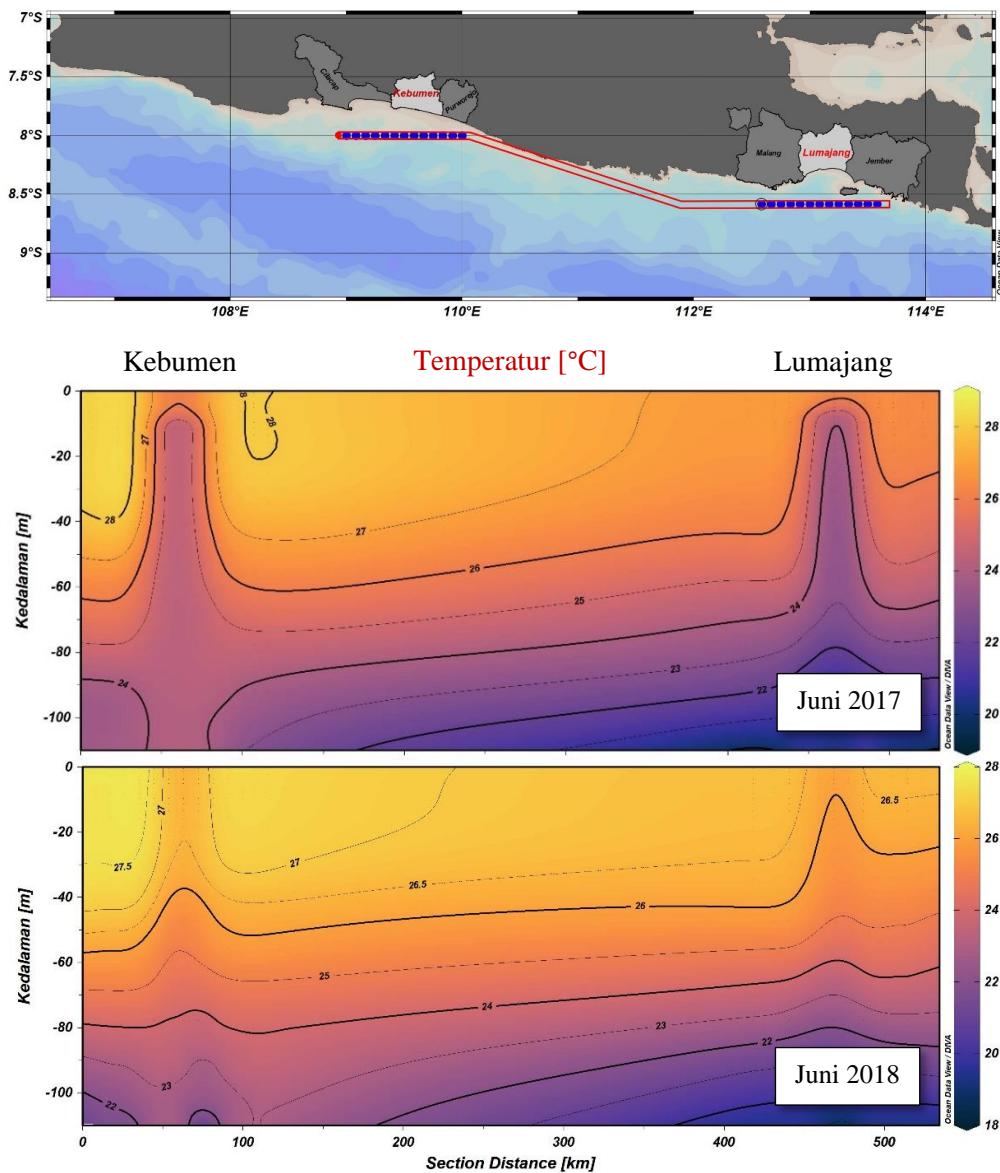
Periode	Wilayah		Arah		Ekman	TPL (°C)		SPL (PSU)		KaPL (mg/m ³)	
	Provinsi	Kabupaten	Angin	Arus		Locus	Sekitar	Locus	Sekitar	Locus	Sekitar
Juni 2017	Jateng	Kebumen	Tenggara	Barat daya	√	27,2	27,40-27,80	34,0	33,60-33,80	1,10	0,60-0,80
	Jatim	Lumajang	Tenggara	Barat daya		26,6	26,70-26,80	34,0	33,60-33,80	1,00	0,60-0,80
Juni 2018	Jateng	Kebumen	Tenggara	Barat daya	√	27,0	27,20-27,80	34,2	34,00-34,10	1,15	0,70-0,90
	Jatim	Lumajang	Tenggara	Barat daya		26,0	26,20-26,50	34,2	34,00-34,10	1,13	0,50-0,70

Gambar 3. Distribusi permukaan parameter meteo-oseanografi pada fase netral Juni 2018 di Perairan Selatan Jawa yang mengindikasikan terjadinya *upwelling*: pola angin (A) pola arus (B), temperatur (C), salinitas (D) dan khlorofil-a (E).

Profil Vertikal Temperatur dan Salinitas

Menyoloknya distribusi TPL, SPL dan KaPL di perairan Pesisir Kebumen dan Lumajang dibandingkan dengan perairan pesisir lain di sepanjang Selatan Jawa, selanjutnya diperkuat dengan analisis profil 6okasi6ture (PVT) dan salinitas (PVS)

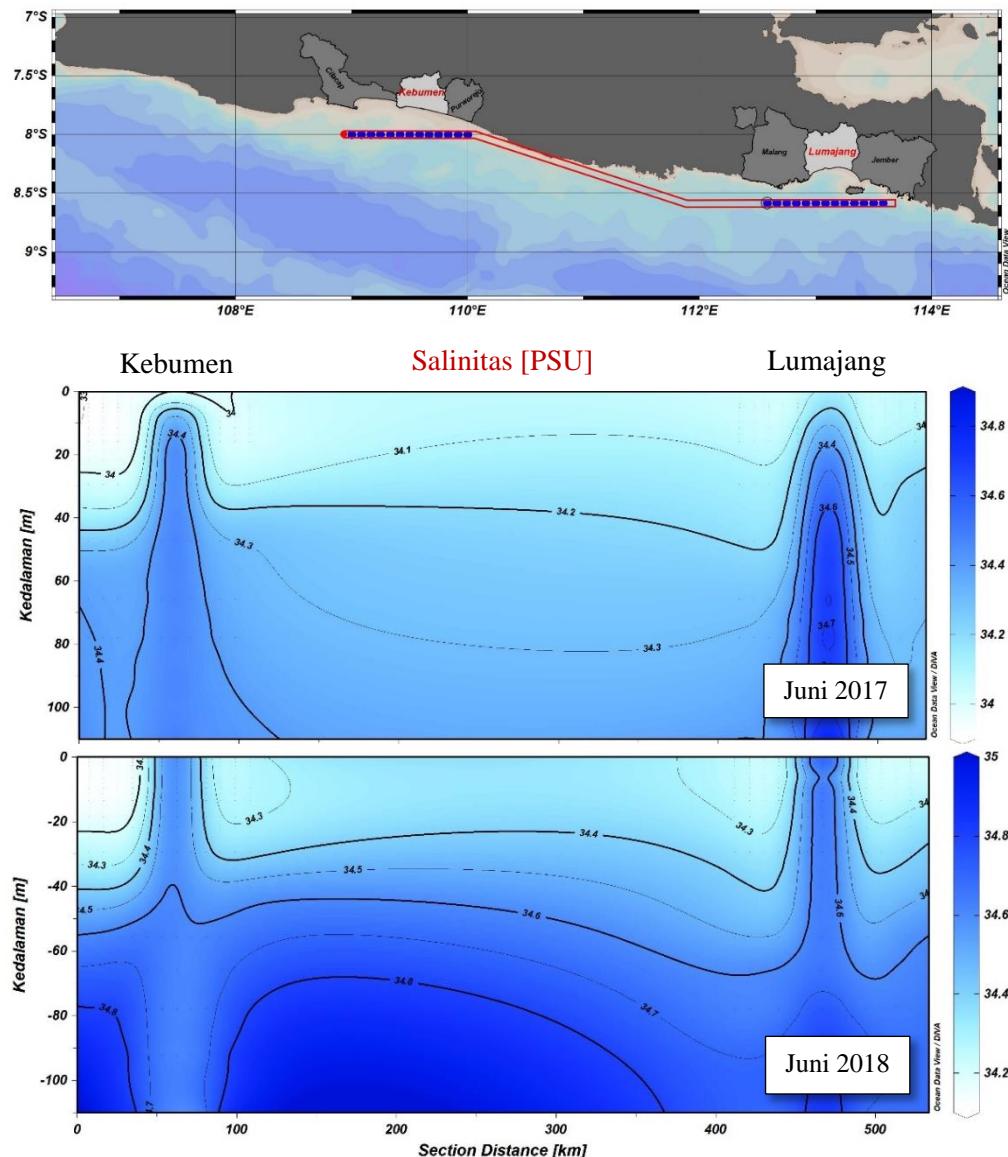
di kedua area dan sekitarnya. PVT dan PVS di perairan Pesisir Kebumen dan Lumajang terlihat secara menyolok menunjukkan naiknya massa air yang lebih dingin (Gambar 4) dan lebih asin (Gambar 5) di kedua 7okasi, baik pada Juni 2017 dan Juni 2018.



Gambar 4. Profil vertikal temperatur di Perairan Selatan Jawa periode netral pada Juni 2017 dan 2018 yang menunjukkan penaikan profil isoterm di Pesisir Kebumen dan Lumajang.

Naiknya massa air permukaan tersebut menyebabkan nilai-nilai TPL, SPL dan K_aPL lokus yang berbeda dibandingkan sekitarnya sebagaimana telah dibahas sebelumnya dan dilustrasikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Profil PVT dan PVS melengkapi distribusi

permukaan temperatur, salinitas dan klorofil-a yang menegaskan terjadinya *upwelling* pada musim timur fase netral Juni 2017 dan Juni 2018 Perairan Selatan Jawa, terutama di Kebumen dan Lumajang.



Gambar 5. Profil vertikal salinitas yang menunjukkan penaikan profil isohalin di Pesisir Kebumen dan Lumajang di Perairan Selatan Jawa periode netral pada Juni 2017 dan 2018.

Posisi strategis Selatan Jawa secara alami memungkinkan terjadinya *upwelling*, baik pada periode ENSO dan IOD, maupun pada fase netral. Penelitian Susanto dkk. (2001), sebagai misal, menunjukkan bahwa *upwelling* yang terjadi di sepanjang Jawa-Sumatera pesisir Samudera Hindia merupakan respon terhadap angin regional yang berkaitan dengan

iklim monsun. Pusat *upwelling* dengan TPL rendah berpindah ke barat menuju ke equator selama muson tenggara (Juni–Oktober). Penelitian Atmadipoera dkk. (2020) menunjukkan adanya *upwelling* pantai musiman di Perairan Selatan Jawa yang dimodulasi oleh variabilitas antar tahunan laut-atmosfer ENSO. Terkait luas area *upwelling*, penelitian Rahayu dkk. (2023) menemukan bahwa pada fase netral dan El Niño (September 1999) daerah *upwelling* seluas 4.432 km² dengan kecepatan rerata angin bulanan sebesar 6,55 m/s. Sementara hasil korelasi kecepatan angin dengan luasan *upwelling* menunjukkan korelasi yang cukup tinggi pada kondisi La Niña dan netral (0,58 dan 0,54). Kecepatan angin tidak terlalu mempengaruhi luasan *upwelling* pada kondisi El Niño dengan nilai korelasi yang sangat rendah (0,06). Melengkapi hal tersebut, penelitian Sukresno dkk (2018) ENSO mempengaruhi intensitas *upwelling* di Perairan Selatan Jawa. Pada periode El Niño intensitas *upwelling* mengalami peningkatan yang diikuti oleh penurunan TPL dan naiknya konsentrasi klorofil-a, sebaliknya pada periode La Niña terjadi penurunan intensitas *upwelling* yang diikuti naiknya TPL dan turunnya konsentrasi klorofil-a. Peningkatan intensitas *upwelling* juga terdeteksi pada saat terjadi periode IOD positif, sedangkan penurunan intensitas *upwelling* terjadi pada periode IOD negatif.

KESIMPULAN

Upwelling pada fase netral tanpa efek iklimatik global (ENSO dan IOD) tetap terjadi selama musim timur (Juni 2017 dan Juni 2018), khususnya di Pesisir Kebumen dan Lumajang. Kondisi ini diindikasikan oleh masifnya transpor Ekman yang bergerak menjauhi pantai menuju tenggara dan mengakibatkan naiknya massa air ke permukaan dengan karakteristik massa air bawah-permukaan: temperatur permukaan yang menjadi lebih dingin 0,2–0,8 °C, salinitas permukaan lebih tinggi 0,1–0,4 PSU dan klorofil permukaan yang meningkat 0,20–0,63 mg/m³ dibandingkan dengan perairan sekitarnya. Naiknya massa air bawah-permukaan ke permukaan juga dikuatkan oleh profil vertikal temperatur dan salinitas di Pesisir Kebumen dan Lumajang. Selain itu, berdasarkan distribusi permukaan parameter-parameter kajian ditemukan bahwa Pesisir Kebumen mengalami *upwelling* yang lebih kuat dibandingkan dengan pesisir Lumajang.

REFERENSI

- Atmadipoera, A.S., A.S. Jasmine, M. Purba dan A.R.T.D. Kuswardani. 2020. Karakteristik *Upwelling* di Perairan Selatan Jawa pada Tahun Strong La Niña 2010 dan Super El Niño 2015. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 12 (1), Hal. 257–276.

- Julismin, J. 2013. Dampak dan Perubahan Iklim di Indonesia. *Jurnal Geografi*. 5 (1), Hal. 39–46.
- Kurniawan, D.R. 2019. Pemetaan Daerah Penangkapan Ikan di Perairan Selatan Jawa yang Berbasis di Kabupaten Pacitan dan Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur.
- Nurani, T.W., J. Haluan, S. Saad dan E. Lubis. 2007. Model Pengembangan Perikanan di Perairan Selatan Jawa. *Buletin PSP*. XVI (2), Hal. 317–344.
- Rahayu, S.D., H. Setiyono, and E. Indrayanti. 2023. "Hubungan Kecepatan Angin dengan Luasan *Upwelling* Intensitas Kuat di Perairan Selatan Jawa pada Kejadian La Nina, El Nino dan Normal," *Indonesian Journal of Oceanography*. 5 (1), Hal. 7 – 17.
- Rahman, M.A., L.S. Mega, M.U.K. Agung, dan Sunarto. 2019. Pengaruh Musim terhadap Kondisi Oseanografi dalam Penentuan Daerah Penangkapan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Perairan Selatan Jawa Barat. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. X (1), Hal. 92–02.
- Sukresno, B., D. Jatisworo dan D.W. Kusuma. 2018. Analisis Multilayer Variabilitas *Upwelling* di Perairan Selatan Jawa. *Jurnal Kelautan Nasional*. 13 (1), Hal.15–25.
- Susanto, R. D., A.L. Gordon and Q. Zheng. 2001. *Upwelling Along The Coasts of Java and Sumatra and Its Relation to ENSO*. *Geophysical Research Letters*. 28 (8), Hal. 1599–1602.