

KARAKTERISTIK ANGIN ZONAL SELAMA UPWELLING DI PERAIRAN SELATAN JAWA PADA KONDISI NORMAL DAN ENSO

CHARACTRISTICS OF ZONAL WIND DURING UPWELLING IN THE SOUTHERN WATERS OF JAVA AT NORMAL AND ENSO CONDITIONS

Martono

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN, Jl. Dr. Djundjunaan 133 Bandung 40173

E-mail : mar_lapan@yahoo.com

Naskah masuk: 31 Juli 2016; Naskah diperbaiki: 3 September 2017; Naskah diterima: 22 Desember 2017

ABSTRAK

Perairan selatan Jawa dikenal sebagai salah satu lokasi upwelling di Indonesia. Penelitian upwelling di perairan ini sudah banyak dilakukan oleh para peneliti. Namun, penelitian tentang aspek-aspek atmosfer pada saat terjadi upwelling masih sedikit. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik angin zonal selama upwelling di perairan selatan Jawa pada kondisi normal dan ENSO. Data yang digunakan terdiri dari suhu permukaan laut dari tahun 1984-2013 dan angin zonal dari tahun 1988-2011 yang diperoleh dari *Physical Oceanography Distributed Active Center – National Aeronautics and Space Administration*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskripsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa angin zonal di perairan selatan Jawa dominan bergerak ke arah barat. Upwelling di perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur terjadi ketika angin zonal bergerak ke arah barat secara terus menerus lebih dari 2 bulan, kecepatan lebih besar dari 5 m/dt dan fluktuasi kecepatan kecil. Terdapat jeda waktu sekitar 1-1,5 bulan antara tiupan angin zonal sejajar pantai dengan proses upwelling. Intensitas upwelling paling kuat dan paling lama terjadi di atas perairan selatan Jawa Timur. Arus Lintas Indonesia mempunyai peranan penting terhadap peningkatan intensitas upwelling di selatan Jawa Timur. Intensitas upwelling selama periode El Niño lebih kuat, tetapi selama periode La Niña lebih lemah daripada kondisi normal.

Kata kunci : angin zonal, upwelling, Arus Lintas Indonesia, El Niño, La Niña

ABSTRACT

The southern waters of Java was known as one of upwelling locations in Indonesia. Research about of upwelling in this waters has been done by some researchers. However, research about of the atmospheric aspects during upwelling is still slightly. This research was conducted to understand the conditions of zonal wind during upwelling in the southern waters of Java at normal and ENSO conditios. The data consists of sea surface temperature from 1984-2013 and zonal wind from 1988-2011 obtained form Physical Oceanography Distributed Active Center – National Aeronautics and Space Administration. The method used in this research was description analysis. The results showed that zonal wind in the southern waters of Java was dominant move toward the west. Upwelling in the southern waters of West Java, Central Java and East Java occured when zonal wind moves westward continuously more than 2 months, greater speed of 5m/sec and small velocity fluctuations. There was lag time about 1-1.5 months between zonal wind blow parallel to the coast upwelling process. Upwelling intensity was strongest and longest occurred in the southern waters of East Java. Indonesian Throughflow has an important role on intensityincreasin of upwlling in the south of East Java. Intensity of upwelling during El Niño period more powerful, but during La Niña period is weaker than normal conditions.

Keywords : zonal wind, upwelling, Indonesian Throughflow, El Niño, La Niña

1. Pendahuluan

Upwelling didefinisikan sebagai proses pergerakan massa air dari kedalaman sekitar 100-300 meter ke lapisan permukaan [1]. Massa air yang naik ini mempunyai suhu yang dingin, salinitas tinggi dan kandungan zat-zat hara seperti fosfat, nitrat dan silikat yang tinggi. Proses upwelling dapat terjadi

baik di perairan laut lepas maupun di perairan pantai. Upwelling di perairan laut lepas berhubungan dengan adanya pola arus permukaan yang menyebar sehingga massa air dari lapisan bawah akan naik dan mengisi kekosongan di permukaan, sedang upwelling pantai berhubungan dengan transpor Ekman akibat tiupan angin sejajar pantai [2-3].

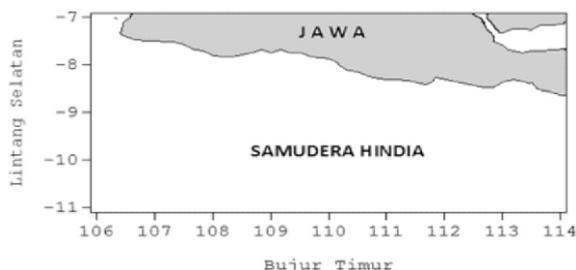
Proses upwelling mendapat perhatian besar dari para peneliti kelautan maupun peneliti atmosfer. Hal ini disebabkan upwelling terjadi akibat interaksi yang kuat antara laut dan atmosfer, sehingga tidak hanya berdampak pada aspek fisika, kimia dan biologi laut saja, tetapi juga berdampak terhadap aspek atmosfer di atasnya. Daerah upwelling mempunyai tingkat produktifitas primer yang tinggi sehingga berpengaruh terhadap tingkat kesuburan perairan [4-6].

Dampak terhadap aspek atmosfer, upwelling mempengaruhi variabilitas cuaca dan iklim dengan perubahan suhu permukaan laut [7-10]. Variabilitas iklim lokal berhubungan erat dengan perubahan suhu permukaan laut selama proses upwelling. Perubahan suhu permukaan laut akibat upwelling akan mempengaruhi suhu udara, selanjutnya suhu udara akan mempengaruhi tekanan udara dan perubahan tekanan udara ini akan mempengaruhi sirkulasi udara. Upwelling pantai mempunyai peranan penting dalam sirkulasi angin laut (*sea-breeze*), yaitu angin laut lebih kuat pada saat terjadi upwelling [11].

Perairan selatan Jawa dikenal sebagai salah satu lokasi upwelling intensif di Indonesia [12-13]. Upwelling di sepanjang pantai selatan Jawa berhubungan dengan angin sejajar pantai. Sampai saat ini, penelitian mengenai aspek-aspek atmosfer pada saat proses upwelling selama di perairan ini masih minim. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik angin zonal pada saat sebelum, selama dan sesudah proses upwelling di perairan selatan Jawa selama periode El Niño dan La Niña.

2. Metode Penelitian

Lokasi penelitian adalah perairan selatan Jawa antara 7° LS – 11° LS dan 106° BT – 114° BT seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Lokasi ini dibagi menjadi 3 wilayah yang meliputi perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur.



Gambar 1. Lokasi penelitian perairan selatan Jawa

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu permukaan laut dan angin zonal (komponen barat – timur). Data ini diperoleh dari *Physical Oceanography Distributed Active Center – National Aeronautics and Space Administration (PODAAC NASA)* dengan alamat website <http://podaac.nasa.gov>. Resolusi spasial dan temporal data suhu permukaan laut adalah 0,25° x 0,25° dan harian, serta angin zonal adalah 0,25° x 0,25° dan rata-rata 5 harian (disebut dengan istilah pentad). Rentang waktu data suhu permukaan laut dari tahun 1984-2013 dan angin zonal dari tahun 1988-2011. Data pentad angin zonal diolah menjadi rata-rata bulanan, sedangkan data harian suhu permukaan laut diolah menjadi pentad dan rata-rata bulanan dengan persamaan berikut :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Dimana :

\bar{x} = rata-rata

x_n = nilai ke-n

n = jumlah data

Indikasi upwelling berdasarkan nilai suhu permukaan laut. Upwelling terjadi ketika perbedaan suhu permukaan laut lebih besar dari 2 °C [14]. Waktu mulai, berapa lama, waktu akhir dan intensitas upwelling di perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur dianalisis berdasarkan nilai suhu permukaan laut pentad. Berdasarkan kriteria tersebut maka upwelling mulai terjadi ketika perbedaan nilai suhu permukaan laut lebih dari besar dari 2 °C dan upwelling berakhir ketika perbedaan nilai suhu permukaan laut mulai lebih kecil dari 2 °C. Intensitas upwelling ditentukan berdasarkan penurunan nilai suhu permukaan laut selama proses upwelling. Semakin besar penurunan nilai suhu permukaan laut maka semakin besar intensitas upwellingnya dan sebaliknya. Selanjutnya dianalisis arah, kecepatan, lama dan fluktuasi angin zonal sebelum, selama dan sesudah upwelling.

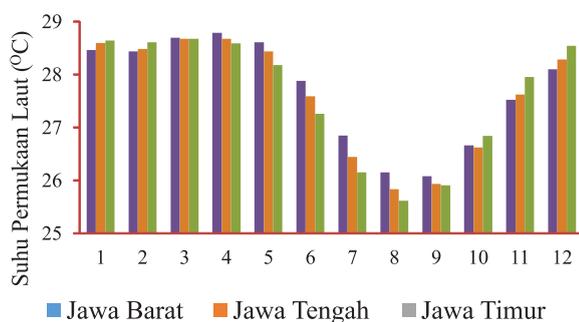
Selanjutnya dikaji kondisi suhu permukaan laut dan angin zonal selama periode El Niño dan La Niña. El Niño dan La Niña ditentukan berdasarkan nilai anomali suhu permukaan laut di daerah nino. Jika anomali suhu permukaan laut di daerah nino lebih besar dari 1 °C dari normalnya maka terjadi El Niño, tetapi sebaliknya jika lebih besar dari -1 °C maka terjadi La Niña [15]. Berdasarkan kriteria tersebut, maka dalam penelitian ini akan dikaji kondisi angin zonal pada periode El Niño tahun 1997 dan La Niña tahun 1998 dan 2010.

3. Hasil dan Pembahasan

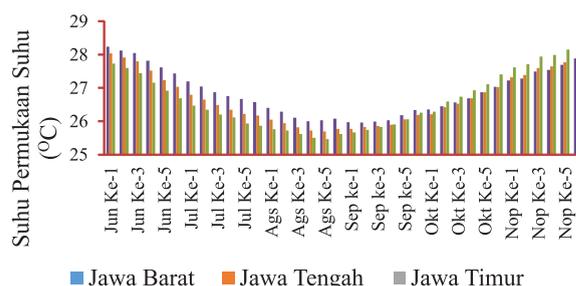
Variasi rata-rata bulanan suhu permukaan laut perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur dari tahun 1984-2013 diperlihatkan pada Gambar 2. Fluktuasi bulanan suhu permukaan laut ketiga perairan ini cukup besar dengan kisaran nilai antara 25,9–28,9 °C di selatan Jawa Barat, 25,6–28,7 °C di selatan Jawa Tengah dan 25,4– 28,7 °C di selatan Jawa Timur. Variasi bulanan suhu permukaan laut di perairan ini mempunyai satu puncak maksimum dan satu puncak minimum. Puncak maksimum dan puncak minimum suhu permukaan laut di perairan selatan Jawa Barat terjadi pada bulan April dan bulan September, sedangkan di perairan selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur terjadi pada bulan Maret dan bulan Agustus.

Proses upwelling ditandai dengan adanya penurunan suhu permukaan laut lebih besar dari 2 °C. Berdasarkan kriteria tersebut maka upwelling di perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur terjadi jika suhu permukaan laut lebih kecil dari 26,5 °C. Nilai 26,5 °C diperoleh dari selisih 2 °C terhadap nilai suhu permukaan laut tertinggi yaitu sekitar 28,5 °C. Dengan demikian, proses upwelling di ketiga perairan ini terjadi antara bulan Juli-Oktober dengan intensitas berbeda-beda. Intensitas upwelling paling kuat terjadi di perairan selatan Jawa Timur dengan rata suhu permukaan laut 25,9 °C dan paling lemah terjadi di perairan selatan Jawa Barat dengan rata suhu permukaan laut 26,2 °C.

Variasi pentad suhu permukaan laut perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur antara bulan Juni-Nopember diperlihatkan Gambar 3. Berdasarkan variasi pentad suhu permukaan laut diketahui bahwa awal mulai dan akhir upwelling serta lama kejadian upwelling di masing-masing perairan berbeda-beda. Proses upwelling di mulai dari perairan selatan Jawa Timur pada pentad ke-1 bulan Juli seperti diperlihatkan pada Tabel 1. Di perairan selatan Jawa Tengah pada pentad ke-3 bulan Juli dan di perairan selatan Jawa Barat pada pentad ke-1 bulan Agustus.



Gambar 2. Variasi bulanan suhu permukaan laut



Gambar 3. Variasi pentad suhu permukaan laut

Tabel 1. Awal mulai, akhir dan lama upwelling

Wilayah	Awal	Akhir	Lama
Jawa Barat	Pentad ke-1 Agustus	Pentad ke-2 Oktober	70 hari
Jawa Tengah	Pentad ke-3 bulan Juli	Pentad ke-2 Oktober	90 hari
Jawa Timur	Pentad ke-1 bulan Juli	Pentad ke-1 Oktober	95 hari

Upwelling di perairan selatan Jawa Timur berakhir pada pentad ke-1 bulan Oktober, di perairan selatan Jawa Tengah dan Jawa Barat berakhir pada waktu yang sama yaitu pada pentad ke-2 bulan Oktober. Lama kejadian upwelling di perairan selatan Jawa Timur sekitar 95 hari, di Jawa Tengah sekitar 90 hari dan Jawa Barat sekitar 70 hari. Dengan demikian, intensitas upwelling paling kuat dan waktu paling lama terjadi di perairan selatan Jawa Timur, sebaliknya paling lemah dan waktu paling pendek terjadi di perairan selatan Jawa Barat. Upwelling di perairan selatan Jawa Timur mempunyai durasi antara 3-4 bulan dan intensitas tinggi dengan anomali suhu permukaan mencapai lebih besar dari -2 °C [16].

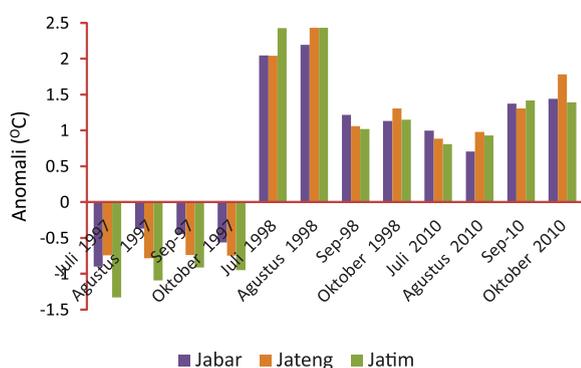
Anomali suhu permukaan laut di perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur bulan Juli-Oktober pada saat kejadian El Niño tahun 1997, La Niña tahun 1998 dan La Niña tahun 2010 diperlihatkan Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa pada saat El Niño terjadi penurunan suhu permukaan laut, tetapi sebaliknya pada saat terjadi La Niña terjadi kenaikan suhu permukaan laut dari kondisi normal. Kondisi ini menunjukkan bahwa kejadian El Niño akan meningkatkan intensitas upwelling, tetapi sebaliknya kejadian La Niña akan melemahkan intensitas upwelling di perairan ini. Intensitas distribusi fitoplankton dari bulan Juli hingga September tahun 1998 lebih rendah dari tahun normal [4].

Variasi bulanan angin zonal di atas perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur dari tahun 1988-2011 diperlihatkan pada Gambar 5. Angin zonal di atas ketiga perairan ini mempunyai pola yang

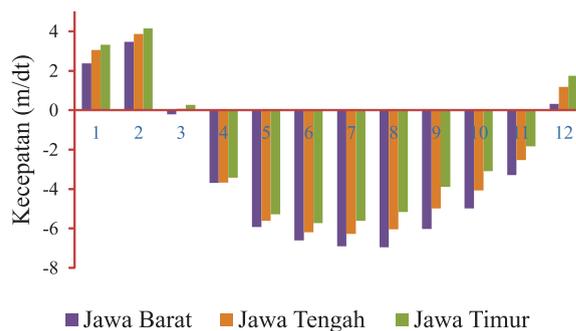
sama, tetapi kecepatannya berbeda-beda. Pada saat musim barat antara bulan Desember-Februari angin zonal di atas perairan selatan Jawa Barat bergerak ke arah timur (positif) dan antara bulan Maret-Nopember bergerak ke arah barat (negatif). Variasi angin zonal di atas perairan selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur mempunyai pola yang sama yaitu bergerak ke arah timur antara bulan Desember-Maret dan bergerak ke arah barat antara bulan April-Nopember. Angin zonal di perairan selatan Jawa dominan bergerak ke arah barat.

Pada saat bergerak ke arah timur kecepatan angin zonal di atas perairan selatan Jawa Barat lebih kecil daripada di selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur. Namun sebaliknya, pada saat bergerak ke arah barat kecepatan angin zonal di atas perairan selatan Jawa Barat lebih besar daripada di selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur. Kecepatan angin zonal lebih besar dari 5 m/dt di atas perairan selatan Jawa Barat dan Jawa Tengah terjadi antara bulan Mei-September, sedang di atas perairan Jawa Timur terjadi antara bulan Mei-Agustus. Intensitas kecepatan angin zonal pada saat bergerak ke arah barat lebih besar daripada ke arah timur.

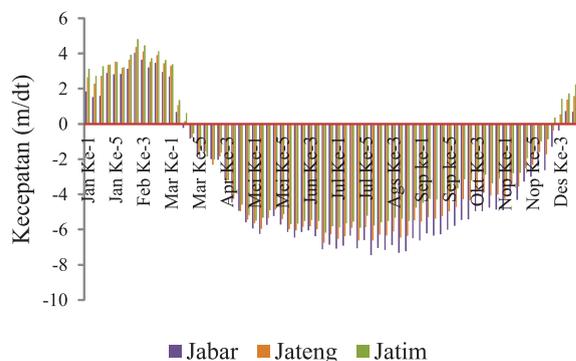
Berdasarkan data pentad diketahui bahwa pembalikan arah angin zonal di atas perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur terjadi pada waktu yang berbeda-beda seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Pembalikan arah angin zonal dari barat ke timur di atas perairan selatan Jawa Barat terjadi pada pentad ke-3 bulan Desember, di selatan Jawa Tengah pada pentad ke-2 bulan Desember dan di selatan Jawa Tengah pada pentad ke-1 bulan Desember seperti diperlihatkan pada Tabel 2. Angin zonal mulai balik arah dari timur ke barat di atas perairan selatan Jawa Barat terjadi pada pentad ke-3 bulan Maret dan pada pentad ke-4 bulan Maret di atas perairan selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur.



Gambar 4. Anomali suhu permukaan laut pada saat terjadi El Niño tahun 1997, La Niña tahun 1998 dan La Niña tahun 2010



Gambar 5. Variasi bulanan angin zonal (tanda negatif angin bergerak ke arah barat)



Gambar 6. Variasi pentad angin zonal (tanda negatif angin bergerak ke arah barat)

Tabel 2. Waktu pembalikan arah angin zonal

Wilayah	Ke Barat	Ke Timur
Selatan Jawa Barat	Pentad Ke-3 Maret	Pentad Ke -3 Desember
Selatan Jawa Tengah	Pentad Ke-4 Maret	Pentad Ke -2 Desember
Selatan Jawa Timur	Pentad Ke-4 Maret	Pentad Ke -1 Desember

Pola arah dan kecepatan angin zonal di atas perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur saat terjadi upwelling antara bulan Juli-Oktober diperlihatkan pada Gambar 7. Pada saat terjadi upwelling angin zonal bergerak ke barat. Intensitas angin zonal di atas perairan selatan Jawa Barat lebih besar daripada di selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur. Kisaran kecepatan angin permukaan masing-masing perairan yaitu antara 4,7-7,4 m/dt, 3,8-6,6 m/dt dan 2,7-5,9 m/dt di selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur. Kecepatan angin zonal besar (lebih dari 5 m/dt) dan fluktuasi kecepatan kecil terjadi antara bulan Mei-Agustus. Mulai bulan September kecepatan angin zonal mulai turun dan terus melemah.

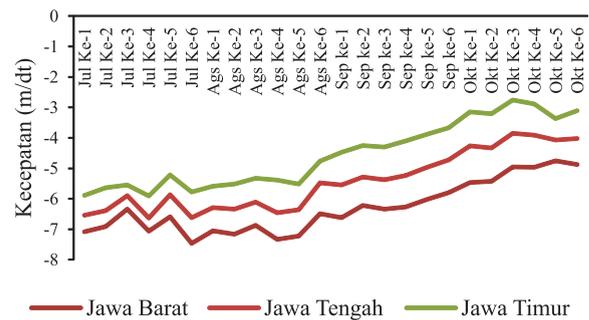
Berdasarkan data suhu permukaan laut diketahui bahwa upwelling di perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur terjadi dalam rentang waktu antara bulan Juli-Oktober (musim timur dan musim

peralihan kedua). Upwelling di sepanjang pantai selatan Jawa ini dibangkitkan oleh angin pasat tenggara di Samudera Hindia [17]. Gesekan angin pasat tenggara ini mendorong massa air permukaan ke arah yang sama. Karena adanya pengaruh gaya Coriolis, maka terbentuk Transpor *Ekman* yang bergerak menjauhi pantai selatan Jawa. Kondisi ini menyebabkan adanya kekosongan massa air permukaan pantai sehingga terjadi kenaikan massa dari bawah menuju permukaan.

Meski demikian, tidak berarti bahwa pada saat angin sejajar pantai selatan Jawa bergerak ke arah barat dapat menyebabkan terjadinya upwelling. Kondisi ini terlihat dengan jelas bahwa antara bulan Maret-Nopember angin permukaan di atas perairan selatan Jawa bergerak ke barat, tetapi upwelling hanya terjadi antara bulan Juli hingga Oktober. Oleh karena itu, proses upwelling ini tidak hanya ditentukan oleh arah gerakan angin saja, tetapi juga ditentukan oleh faktor-faktor lainnya seperti intensitas kecepatan, kontinuitas dan fluktuasinya.

Waktu mulai, waktu akhir, lama kejadian dan kekuatan upwelling di masing-masing perairan berbeda-beda. Upwelling mulai terbentuk dari perairan selatan Jawa Timur, kemudian melebar ke selatan Jawa Tengah dan selatan Jawa Barat. Hal serupa juga ditunjukkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Upwelling di pantai selatan Jawa hingga barat Sumatera dimulai dari pantai selatan Jawa Timur dan bergerak ke arah barat sampai 104° bujur timur [18]. Nilai suhu permukaan laut terendah ditemukan berkembang dari timur (Bali) pada bulan Juni bergerak ke barat hingga Jawa Barat di bulan Oktober [19].

Upwelling mulai terbentuk di selatan Jawa Timur padahal waktu pembalikan arah angin zonal dari timur ke barat lebih awal di selatan Jawa Barat daripada selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur. Mekanisme ini diduga karena pengaruh Arus Ekuator Selatan di Samudera Hindia. Antara bulan Juni-Oktober di perairan pantai selatan Bali dan Nusa Tenggara terjadi upwelling yang dibangkitkan oleh siklus monsun tenggara [20]. Dalam waktu yang bersamaan, massa air permukaan dengan suhu dingin di selatan Bali dan Nusa Tenggara ikut terbawa oleh Arus Ekuator Selatan yang bergerak ke arah barat. Karena letak selatan Jawa Timur lebih dekat dengan selatan Bali, maka proses upwelling di selatan Jawa Timur diperkuat oleh upwelling yang terjadi di selatan Bali dan Nusa Tenggara. Mekanisme ini diduga menjadi penyebab mengapa upwelling di selatan Jawa Timur lebih dulu dan mempunyai durasi lebih lama.



Gambar 7. Variasi pentad angin zonal (tanda negatif angin bergerak ke arah barat)

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa intensitas upwelling di selatan Jawa Timur lebih kuat daripada selatan Jawa Tengah dan Jawa Barat. Hal serupa ditunjukkan oleh peneliti-peneliti lainnya. Upwelling di pantai selatan Jawa Timur-Jawa Tengah lebih intensif daripada selatan Jawa Barat [21]. Upwelling lebih intensif terjadi di selatan Jawa Timur-Jawa Tengah, meskipun gesekan angin sejajar pantai mentransportkan massa air secara maksimal ke arah selatan terjadi di selatan Jawa barat [22]. Pada saat terjadi upwelling diperairan selatan Jawa, kecepatan vertikal di selatan Jawa Timur lebih kuat daripada selatan Jawa Tengah dan Jawa Barat [23].

Dengan intensitas angin zonal sejajar pantai lebih kuat terjadi di selatan Jawa Barat, maka upwelling paling kuat semestinya juga terjadi selatan Jawa Barat. Namun, kenyataannya terjadi hal sebaliknya yaitu upwelling paling kuat justru terjadi di selatan Jawa Timur. Oleh karena itu, mekanisme upwelling di perairan selatan Jawa tidak hanya ditentukan oleh faktor angin saja, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor lainnya. Mekanisme ini disebabkan akibat pengaruh dari Arus Ekuator Selatan di Samudera Hindia [24]. Selama musim timur posisi poros Arus Ekuator Selatan lebih dekat dengan pantai selatan Jawa Timur daripada Jawa Barat. Kondisi ini menyebabkan arus ke barat lebih kuat di selatan Jawa Timur daripada Jawa Barat, sehingga mengakibatkan transpor total massa air dari pantai ke laut lepas lebih kuat di pantai selatan Jawa Timur daripada Jawa Barat. Selain faktor Arus Ekuator Selatan, intensitas upwelling di selatan Jawa Timur juga dipengaruhi oleh Arus Lintas Indonesia, dimana hasil eksperimen numerik menunjukkan bahwa Arus Lintas Indonesia mempunyai peranan penting sekitar 55–65 % dalam pembentukan upwelling di selatan Jawa Timur [23].

Variasi pentad angin zonal di atas perairan selatan Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur pada waktu sebelum, saat dan sesudah upwelling antara bulan April hingga Nopember diperlihatkan pada Gambar 8. Intensitas kecepatan angin pada saat bergerak ke arah barat lebih besar daripada ke arah timur. Pada bulan Januari mewakili musim barat angin di atas

Pulau Jawa dan sekitarnya bergerak ke timur dengan kecepatan berkisar 5-15 knot, pada bulan Juli mewakili musim timur angin permukaan di atas Samudera Hindia bergerak ke arah barat dengan kecepatan mencapai 25 knot [25].

Dinamika perairan selatan Jawa dipengaruhi oleh angin musim [26]. Di perairan tropis antara 30° LS – 30° LU hampir sepanjang tahun berhembus angin pasat tenggara (bergerak dari arah tenggara) di selatan ekuator dan angin pasat timur laut (bergerak dari arah timur laut) di utara ekuator [27]. Pada saat musim barat, monsun Asia yang berkembang di atas perairan selatan Jawa diredam oleh angin pasat tenggara sehingga kekuatannya rendah. Sebaliknya pada saat musim timur, monsun Australia yang sedang berkembang di atas perairan selatan Jawa diperkuat oleh angin pasat tenggara sehingga kekuatannya lebih besar daripada saat musim barat.

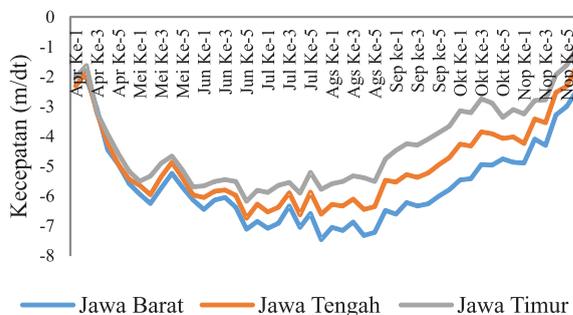
Anomali intensitas angin zonal selama periode El Niño tahun 1997 serta La Niña tahun 1998 dan tahun 2010 diperlihatkan pada Gambar 9. Gambar 9 menunjukkan bahwa pada saat kejadian El Niño, intensitas angin zonal di ketiga perairan ini cenderung melemah, sebaliknya pada saat kejadian La Niña intensitas angin zonal cenderung menguat. Pelemahan terkuat terjadi pada bulan Agustus 1997 yang mencapai sekitar -1,6 m/dt. Sementara itu penguatan terbesar terjadi pada bulan Agustus 1998 yang mencapai sekitar 1,3 m/dt.

Kecepatan angin di atas perairan selatan Jawa Timur, Jawa Tengah dan Jawa Barat mengalami kenaikan yang signifikan pada pentad ke-1 bulan Mei. Kecepatan angin antara bulan Mei-Agustus lebih besar dari 5 m/dt dengan fluktuasi kecil. Kecepatan angin permukaan di atas Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik 573 (selatan Jawa-Nusa Tenggara Timur) antara bulan Mei-Agustus lebih besar dari 5 m/dt [28]. Kondisi ini berhubungan dengan pergerakan semu posisi matahari. Akhir bulan Maret posisi matahari berada di atas ekuator, akhir bulan Juni berada sekitar 23,5° lintang utara dan akhir bulan September berada di atas ekuator. Dalam rentang waktu ini perbedaan tekanan udara tinggi di atas Benua Australia dengan tekanan udara rendah di atas Benua Australia mencapai maksimum. Dengan kekuatan maksimum dan diperkuat oleh angin pasat tenggara, maka kecepatan anginnya juga mencapai maksimum.

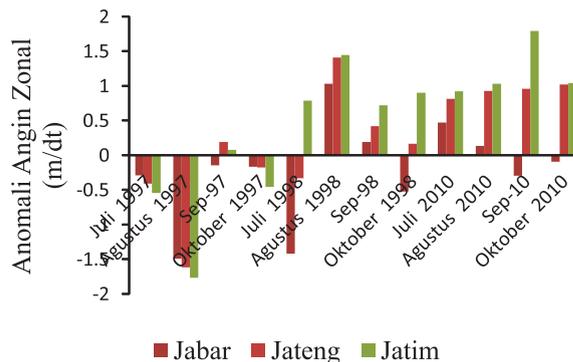
Intensitas kecepatan angin zonal besar, fluktuasi kecil dan terus menerus terjadi pada pentad ke-6 bulan Mei di atas perairan selatan Jawa Timur dan Jawa Tengah, sedangkan di selatan Jawa Barat terjadi pada pentad ke-1 Juni. Proses ini berlangsung secara terus menerus selama kurang lebih 3 sampai 3,5 bulan. Intensitas kecepatan angin permukaan di atas ketiga perairan ini mulai melemah pada pentad ke-5 Agustus. Mulai akhir

bulan Agustus atau awal bulan September kecepatan angin permukaan mulai kecil dan terus melemah. Upwelling terjadi jika angin zonal bergerak ke arah barat secara terus menerus dalam periode waktu lebih 2 bulan, kecepatan lebih besar dari 5,5 m/dt dan fluktuasi kecepatan kecil. Dengan demikian, dapat dikatakan ada waktu tunda (lag time) sekitar 1 sampai 1,5 bulan antara tiupan angin zonal sejajar pantai dengan kejadian upwelling di perairan ini.

Pelemahan dan penguatan intensitas angin zonal di perairan selatan Jawa ini dipengaruhi oleh pelemahan dan penguatan angin pasat di samudera Pasifik tropis. Pada saat El Niño terjadi pelemahan angin pasat di Samudera Pasifik tropis sehingga terjadi pergeseran kolom hangat dari Samudera Pasifik barat ke timur. Pergeseran kolom hangat tersebut menyebabkan penurunan tinggi muka laut di perairan Indonesia termasuk selatan Jawa. Penurunan tinggi muka laut ini menyebabkan perubahan lapisan termoklin yang menipis di wilayah barat samudera Pasifik [10]. Pengaruh dari pendangkalan lapisan termoklin di wilayah barat samudera Pasifik hingga sampai wilayah perairan Indonesia. Kondisi ini mengakibatkan massa air yang naik akibat upwelling berasal dari lapisan yang lebih dalam, sehingga suhu massa yang naik lebih dingin. Mekanisme ini yang menyebabkan pada saat El Niño intensitas upwelling lebih kuat daripada kondisi normal meskipun kecepatan angin zonalnya melemah. Kondisi sebaliknya terjadi pada saat terjadi La Niña.



Gambar 8. Variasi pentad angin zonal sebelum, pada saat dan sesudah upwelling



Gambar 9. Anomali angin zonal pada saat terjadi El Niño tahun 1997, La Niña tahun 1998 dan La Niña tahun 2010

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa pola angin zonal di atas perairan selatan Jawa dominan bergerak ke arah barat. Upwelling di mulai dari selatan Jawa Timur dan melebar ke arah barat. Intensitas upwelling di selatan Jawa Timur lebih kuat daripada Jawa Tengah dan Jawa Barat. Upwelling di perairan selatan Jawa terjadi ketika angin zonal bergerak ke barat dalam periode waktu lebih dari 2 bulan, kecepatan lebih besar dari 5,5 m/dt dan fluktuasi kecepatan kecil. Perlu jeda waktu sekitar 1-1,5 bulan antara tiupan angin zonal sejajar pantai dengan proses upwelling. Selain faktor angin, waktu dan intensitas upwelling di perairan selatan Jawa juga dipengaruhi oleh Arus Ekuator Selatan di Samudera Hindia dan Arus Lintas Indonesia. Anomali suhu permukaan laut pada saat El Niño negatif yang menunjukkan terjadi peningkatan intensitas upwelling, sebaliknya pada saat terjadi La Niña positif yang menunjukkan terjadi pelemahan intensitas upwelling di perairan selatan Jawa.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Nurzaman Adikusumah, M.Si yang telah banyak memberikan saran dan masukan serta kepada *Physical Oceanography Distributed Active Center - National Aeronautics and Space Administration (PODAAC NASA)* yang telah memberikan akses data sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

Daftar Pustaka

- [1] K.F. Bowden, *Physical Oceanography of Coastal Waters*. West Sussex: Ellis Horwood Limited, Publishers Chichester, 1983
- [2] R. Dahuri, J. Rais, S.P. Ginting, dan M.J. Sitepu, *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. Jakarta: Pradnya Paramita, 1996
- [3] K.H. Mann, and J.R.N. Lazier, *Dynamics of Marine Ecosystems*. Boston: Blackwell Scientific Publication, 1991.
- [4] N. Hendiarti, Suwarso, E. Aldrian, R.A. Ambarini, S.I. Sachoemar, I.B. Wahyono, K. Amri, "Seasonal Variation of Coastal Processes and Pelagic Fish Catch around the Java," *Oceanography*, vol. 18, no. 4, pp. 112-123, 2005
- [5] Edward dan M.S. Tarigan, "Pengaruh Musim Terhadap Fluktuasi Kadar Fosfat Dan Nitrat Di Laut Banda," *Makara Sains*, vol. 7, no. 2, pp. 82-89, 2003.
- [6] D. Surinati, "Upwelling dan Efeknya terhadap Perairan Laut," *Oseana*, vol. XXXIV, no. 4,

- pp. 35-42, 2009.
- [7] N Narayan, A. Paul, S. Mulitza, and M. Schulz, "Trends in Coastal Upwelling Intensity During the Late 20th Century," *Ocean Sci. Discuss*, vol. 7, pp. 335-360, 2010.
- [8] J. Boe, A. Hall, F. Colas, J.C. McWilliams, X. Qu, J. Kurian, and S.B. Kapnick, "What Shapes Mesoscale Wind Anomalies in Coastal Upwelling Zones?," *Clim Dyn*, vol. 36, pp. 2037-2049, 2011.
- [9] Ningsih, N.S. "Peranan Iklim pada Studi-studi Kelautan." *Prosiding Seminar dan Lokakarya Aspek Klimatologi dan Lingkungan serta Pemanfaatannya*, pp. 3-20, 2003.
- [10] E. Aldrian, *Meteorologi Laut Indonesia*, Puslitbang BMG, Jakarta, 2008.
- [11] S.H. Franchito, V.B. Rao, J.L. Stech, and J.A. Lorenzetti, "The Effect of Coastal Upwelling on the Sea-breeze Circulation at Cabo Frio, Brazil: a Numerical Experiment," *Ann. Geophysicae*, vol. 16, pp. 866-881, 1998.
- [12] K. Wyrski, "The Upwelling in the Region between Java and Australia during the Southeast Monsoon," *Aust. J. Mar. Freshw. Res*, vol. 13, no. 3, pp. 217-225, 1962.
- [13] T. Qu, Y. Du, J. Strachan, G. Meyers, and J. Slingo, "Sea Surface Temperature And Its Variability In The Indonesian Region," *Oceanography*, vol. 18, no. 4, pp. 50-61, 2005.
- [14] P.M.A. Miranda, J.M.R. Alves, and N. Serra, "Climate Change and Upwelling: Response of Iberian Upwelling to Atmospheric Forcing in a Regional Climate Scenario," *Clim Dyn*, vol. 40, pp. 2813-2824, 2013.
- [15] E. Aldrian, L.D. Gates, F.H. Widodo, *Variability of Indonesian Rainfall and the Influence of ENSO and Resolution in ECHAM4 simulations and in the Reanalyses*, MPI Report 346, 2003.
- [16] P. Kemili, dan M.R. Putri, "Pengaruh Durasi dan Intensitas Upwelling Berdasarkan Anomali Suhu Permukaan Laut terhadap Variabilitas Produktivitas Primer Di Perairan Indonesia," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 4, no. 1, pp. 66-79, 2012.
- [17] D. Susanto, and J. Marra, "Effect of the 1997/98 El Niño on Chlorophyll a Variability Along the Southern Coasts of Java and Sumatra," *Oceanography*, vol. 18, no. 4, pp. 124-127, 2005.
- [18] D. Susanto, A.L. Gordon, and Q. Zheng, "Upwelling along the coast of Java-Sumatra and Its Relation to ENSO," *Geophysical Research Letter*, vol. 28, no. 8, pp. 1599-1602, 2001.
- [19] S. Kurnarso, S. Hadi, N.S. Ningsih, dan M.S. Baskoro, "Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah Upwelling pada Variasi Kejadian

- ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor,” *ILMU KELAUTAN*, vol. 16, no. 3, pp. 171-180, 2011.
- [20] N.S. Ningsih, N. Rakhmaputeri, and A.B. Harto, “Upwelling Variability along the Southern Coast of Bali and in Nusa Tenggara Waters,” *Ocean Sci. J.*, vol. 48, no. 1, pp. 49-57, 2013.
- [21] S. Tubalawony, “Dinamika Massa Air Lapisan Ekman Perairan Selatan Jawa-Sumbawa Selama Muson Tenggara,” *Torani: Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, vol. 18, no. 2, pp. 148-159, 2008.
- [22] R.B.B. Yoga, H. Setyono, dan G. Harsono, “Dinamika Upwelling dan Downwelling Berdasarkan Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-A di Perairan Selatan Jawa,” *Jurnal Oseanografi*, vol. 3, no. 1, pp. 57-66, 2014.
- [23] R.T.D. Kuswardani, and F. Qiao, “Influence of the Indonesian Throughflow on the Upwelling off the east Coast of South Java,” *Chinese Science Bulletin*, vol. 59, no. 33, pp. 4516-4523, 2014.
- [24] M. Purba, “Dinamika perairan selatan P. Jawa-P. Sumbawa saat Muson Tenggara” *Torani: Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, vol. 17, no. 2, pp. 140-150, 2007.
- [25] Siswanto and Suratno, “Seasonal Pattern of Wind Induced Upwelling Over Java-Bali Sea Waters and Surrounding Area,” *International J. of Remote Sensing and Earth Sciences*, vol. 5, pp. 46-56, 2008.
- [26] K. Wrytki, *Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters. Naga Report Vol. 2*. California : Scripps Institution of Oceanography, 1961.
- [27] R.G. Barry, and R.J. Chorley, *Atmosphere, Weather and Climate*. London: Routledge, 2003.
- [28] A. Syafik, Kunarso, dan Hariadi, “Pengaruh Sebaran Dan Gesekan Angin Terhadap Sebaran Suhu Permukaan Laut Di Samudera Hindia (Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia 573),” *Jurnal Oseanografi*, vol. 2, no. 3, pp. 318-328, 2013.