

DINAMIKA *UPWELLING* DAN *DOWN WELLING* DI LAUT ARAFURA DAN TIMOR

UPWELLING-DOWN WELLING DYNAMICS OF ARAFURA AND TIMOR SEAS

Widodo S. Pranowo

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir
Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan
Kementerian Kelautan dan Perikanan
Jln. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta 14430
pos-el: widodo.pranowo@kkp.go.id

ABSTRACT

Arafura and Timor Sea is territorial waters which surround three countries of Indonesia, Australia, and Timor Leste. Both seas have very strategic and transboundary conditions, such as for fisheries, sea-climate variability, marine pollutions and others. Therefore, we need studies to understand the characteristics of currents circulation. The most important physical parameters of these features is the dynamics of the upwelling and down welling. Hydrodynamics of 3-D modelling for currents circulation, using tides and wind as initial conditions, is employed to simulating scenarios of the Northwest monsoon, Southeast monsoon, and transition of both monsoons. The results are qualitatively verified. The dynamics of horizontally surface currents follows the monsoon system, and the vertical circulation is significantly exists. Upwelling in coastal waters south of the island of Timor, and between the Islands and the Tanimbar Aru islands appear in all the monsoon due to the influence of the bathymetry. The current circulation is potentially indirect contribution to the fisheries activities in the seas.

Keywords: *Upwelling, Down welling, Ocean currents, Monsoons, Transboundary, Arafura Sea, Timor Sea*

ABSTRAK

Laut Arafura dan Timor merupakan wilayah perairan yang melingkupi tiga administrasi negara, yakni Indonesia, Australia, dan Timor Leste. Keduanya memiliki kondisi yang sangat strategis di bidang perikanan, variabilitas iklim, pencemaran laut, dan sebagainya yang bersifat *transboundary*. Oleh sebab itu, diperlukan studi untuk memahami karakteristik arus laut tersebut. Parameter fisik penting dari karakteristik tersebut adalah dinamika *upwelling* dan *down welling*. Pemodelan 3-Dimensi Hidrodinamika dengan *input* pasang surut dan angin telah dilakukan, dengan skenario per bulan untuk mewakili monsun barat, monsun timur, dan dua monsun transisi. Daerah *upwelling* terverifikasi secara kualitatif. Pergerakan arus permukaan adalah mengikuti pola angin monsun, dan sirkulasi arus vertikalnya sangat dinamis. *Upwelling* di perairan pantai selatan Pulau Timor, dan di antara Kepulauan Tanimbar dan Kepulauan Aru muncul di segala monsun akibat pengaruh batimetri. Sirkulasi arus tersebut berpotensi berkontribusi secara tidak langsung kepada bidang perikanan di Laut Arafura dan Timor.

Kata kunci: *Upwelling, Down welling, Arus permukaan, Monsun, Transboundary, Laut Arafura, Laut Timor*

PENDAHULUAN

Hidrodinamika Laut Arafura dan Laut Timor sangat dipengaruhi oleh pasang surut, pola angin, dan laju massa air terangkut (*transport*)

dari perairan di sekitarnya. Profil batimetri yang kompleks juga sangat memengaruhi pola arus. Arus dan transpor massa air utama yang terbentuk dari permukaan hingga dasar laut sangat dinamis

dan mengontrol iklim regional di wilayah tersebut. Arus tersebut secara umum menyebabkan transpor secara horisontal dan sirkulasi vertikal. Parameter ini sangat penting untuk diketahui karena umumnya digunakan sebagai kendaraan untuk migrasi ikan pelagis besar dan mamalia laut seperti paus, dan juga spesies tertentu seperti penyu.^{1,2} Migrasi tersebut tentunya bersifat lintas batas administrasi (*transboundary*), seperti yang terjadi di Laut Arafura dan Timor yang berbatasan dengan wilayah Australia dan Timor Leste,^{3,4} lihat Gambar 1.

Fenomena *upwelling* terjadi ketika angin yang bertiup dari timur dan efek seretannya berbelok ke selatan karena di utara ada penghalang (daratan/pantai/*front* angin dominan yang lain, di bumi bagian selatan), kemudian menyebabkan seretan massa air lapisan permukaan laut terseret ke selatan menjauhi pantai sehingga massa air dari lapisan yang lebih dalam akan mengisi kekosongan di lapisan permukaan tersebut. Adapun *down welling* adalah proses yang terjadi ketika angin bertiup dengan arah sebaliknya. Pola *upwelling* dan *down welling* ini dimungkinkan sangat memengaruhi pola kesuburan perairan di wilayah tersebut. Perairan yang kaya dengan zat

hara dan berproduktivitas tinggi akan menjadi pilihan sebagai habitat ikan.⁵

Karakteristik arus sangat penting untuk diketahui, terutama untuk bidang perikanan (arus vertikal ke atas atau *upwelling*), dan untuk (perencanaan) penanggulangan pencemaran laut (arus horisontal permukaan). Sebagai contoh, kasus pencemaran tumpahan minyak di Laut Timor pada tahun 2009 atau dikenal sebagai Kasus Montara.⁶

METODE PENELITIAN

Untuk mengkaji dinamika *upwelling* dan *down welling* di Laut Arafura dan Timor, suatu pemodelan hidrodinamika 3-Dimensi telah digunakan.⁷ Data *input* yang digunakan adalah batimetri beresolusi spasial 30 arc-sec,⁸ gaya pembangkit hidrodinamika di wilayah batas terbuka model adalah berupa pasang surut,⁹ per 6 jam (*time resolution*) data kecepatan dan arah angin,¹⁰ lihat Gambar 3. Kedalaman di daerah model dibagi menjadi 10 lapisan menggunakan koordinat sigma,¹¹ di mana lapisan ke-10 adalah sebagai lapisan teratas atau permukaan laut. Wilayah studi pemodelan adalah seluruh perairan Indonesia meliputi Samudra Hindia Timur dan Tenggara,



Gambar 1. Toponimi Laut untuk wilayah Indonesia dan sekitarnya berdasarkan *International Hydrographic Organization* (IHO) Map Sheet 3.³ Laut Arafura di wilayah no. 48(h), sedangkan Laut Timor no. 48(i).

Samudra Pasific Barat, dan Laut China Selatan (84,43807°BT–145,6843°BT dan 24,6095°LS–22,48639°LU) dengan tujuan untuk melihat secara lebih luas pengaruh hidrodinamika dari Samudra dan laut sekitarnya. Model telah diverifikasi dan divalidasi terhadap data observasi dengan nilai *root mean square error* (RMSE) berkisar 5,854% hingga 11,735%,⁶ sehingga tingkat kepercayaan informasi yang dihasilkannya adalah sangat nyata (*significant*). Langkah selanjutnya adalah melakukan kropping hasil pemodelan untuk mendapatkan wilayah kajian yakni Laut Arafura dan Timor (119,946°BT–141,247°BT dan 0,041°LS– 20,0404°LS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

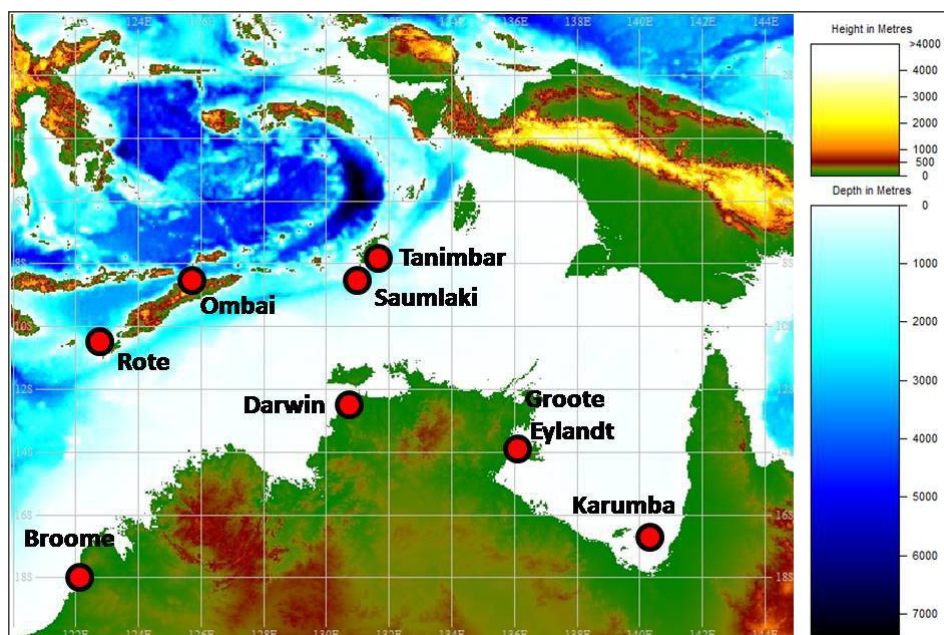
Secara umum kisaran kedalaman Laut Arafura adalah sama dengan Laut Timor, yakni maksimum sekitar ~5.000 m. Terdapat palung yang memiliki kedalaman maksimum di barat Kepulauan Aru (di Laut Arafura berbatasan dengan Laut Banda), dan selatan Pulau Timor (di Laut Timor), seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2. Kondisi profil batimetri yang kompleks ini dapat berperan sebagai salah satu faktor terbentuknya fenomena *upwelling* dan *down welling*.^{1,12}

Kondisi Pasang Surut di Laut Arafura dan Timor

Berdasarkan penelitian Pranowo dan Wirasantosa,¹³ informasi tentang kondisi pasang surut di Laut Arafura dan Timor, terdapat dua tipe pasang surut di Laut Timor dan tiga tipe di Laut Arafura.

Dua tipe pasang surut di Laut Timor adalah tipe campuran cenderung *semidiurnal* (*mixed semidiurnal*) yakni berdasarkan data Stasiun Timor, Rote, dan Darwin; dan tipe semidiurnal di wilayah selatan berdasarkan data Stasiun Broome (lihat Gambar 2).

Laut Arafura, yang wilayahnya lebih luas dari Laut Timor, tiga tipe yang teramati adalah tipe campuran cenderung *semidiurnal* (*mixed semidiurnal*) di wilayah bagian utara (Stasiun Tanimbar dan Saumlaki); tipe campuran cenderung diurnal (Stasiun Groote Eylandt) di bagian barat daya; tipe diurnal di bagian tenggara (Stasiun Karumba), lihat Gambar 2. Penelitian tersebut juga menginformasikan bahwa tunggang pasang surut di Laut Arafura dan Timor secara umum berturut-turut adalah 2,30 m dan 3,00 m. Untuk wilayah Laut Timor, tunggang maksimum 5,30 m ditemukan di Stasiun Darwin. Adapun untuk wilayah Laut Arafura, tunggang maksimum hasil estimasi sekitar 4,69 m di selatan Irian jaya.



Gambar 2. Batimetri Laut Arafura dan Laut Timor berdasarkan data GEBCO resolusi spasial 30 arcsec.⁸ Bulatan merah adalah stasiun pasang surut dari penelitian Pranowo dan Wirasantosa.¹³

Pola Angin di Laut Arafura dan Timor

Pada Gambar 3 ditampilkan pola angin 10 m di atas permukaan laut rata-rata. Pada monsun barat atau *Northwest monsoon* (Januari), angin kuat bergerak dari barat hingga barat laut di atas Samudra Hindia Tenggara, Laut Sawu, dan Laut Banda menuju dan melemah ketika mendekati pantai barat laut Australia melewati atmosfer Laut Timor. Selain itu, angin medium dari utara hingga timur laut yang bergerak menuju dan melemah ketika mendekati pantai utara Australia melewati atmosfer laut Arafura dan Teluk Carpentaria, lihat boks merah pada Gambar 3(a).

Pada masa transisi dari monsun barat menuju monsun timur (April), angin berkekuatan medium secara seragam bergerak dari timur menuju ke barat melewati seluruh wilayah studi, lihat boks merah pada Gambar 3(b).

Pada monsun timur atau *Southeast monsoon* (Agustus), angin kuat bergerak seragam dari tenggara menuju ke barat laut melewati seluruh wilayah studi, lihat boks merah pada Gambar 3(c).

Pada masa transisi dari monsun timur menuju monsun barat (Oktober), angin yang bergerak dari timur melemah kemudian berpisah menuju ke barat laut dan barat daya, lihat boks merah pada Gambar 3(d).

Secara umum pola angin di atas adalah sama dengan pola yang dikemukakan oleh Wyrski.¹⁴ Pola angin ini selanjutnya memengaruhi hidrodinamika arus dan transpor di permukaan laut hingga maksimum kedalaman *Ekman* yakni kedalaman di mana angin masih dimungkinkan berpengaruh normal (~60–100 m di bawah permukaan laut), kecuali jika kondisi ekstrim tertentu ada angin siklon yang penetrasinya dapat melebihi ~200 m.¹⁵

Pola Arus

Pola arus di Laut Arafura dan Timor ditampilkan pada Gambar 4.

Arus Horisontal Permukaan

Hasil kopling antara energi angin dan pasang surut membentuk pola arus horisontal permukaan (sesaat) yang cukup kompleks dan sangat menarik.

Gambar 4(a) merupakan pola arus permukaan pada monsun barat (Januari), di mana

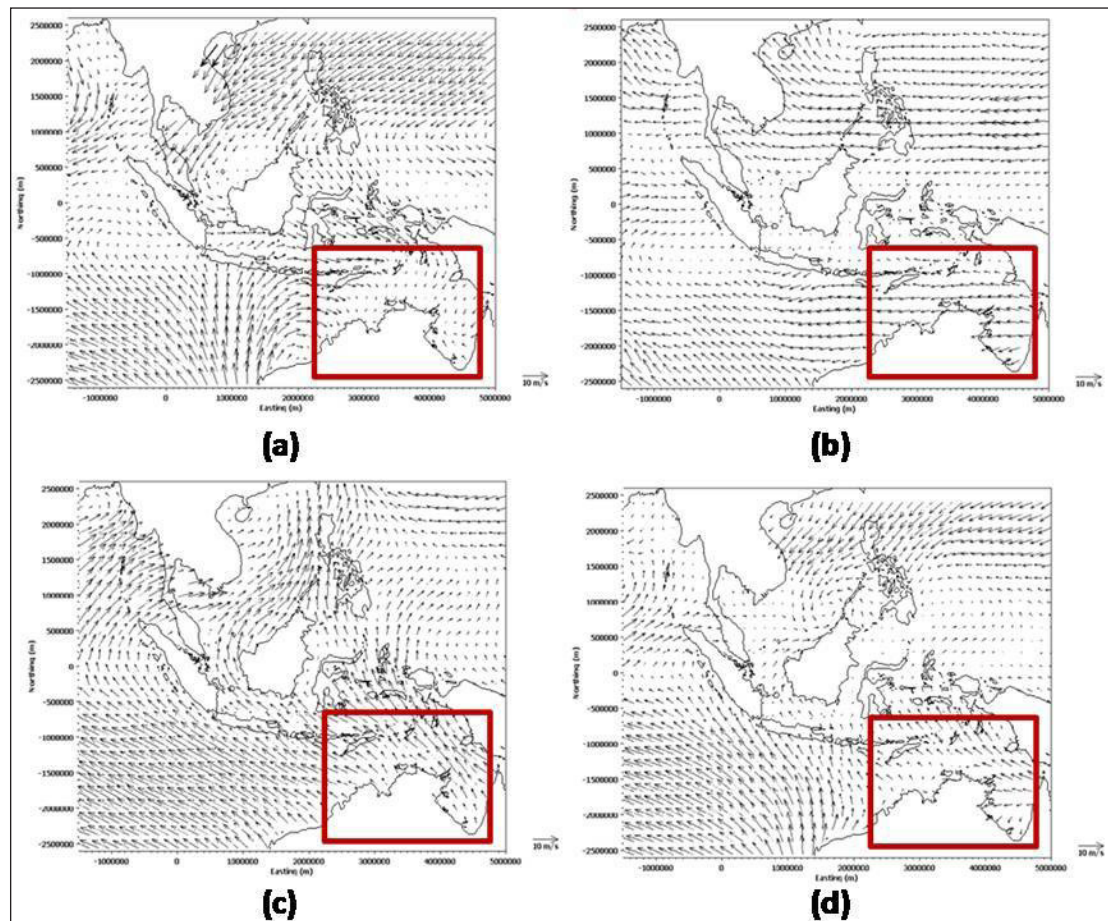
arus dari barat (Samudra Hindia Tenggara, Arus Selatan Jawa dan Laut Flores) bergerak menuju timur (Laut Timor & Laut Sawu) searah dengan pergerakan angin *Northwest monsoon*. Kemudian, akibat adanya gradien muka laut arus sebagian dibelokkan ke utara dan timur laut (menuju Laut Banda), sebagian lain dibelokkan menuju pantai barat daya Australia, ada yang kemudian berputar kembali ke barat daya menyusur pantai barat laut Australia, dan ada juga yang menuju tenggara memasuki Teluk Bonaparte di Australia. Sementara arus dari barat laut yang bergerak dari Halmahera menyusur pantai barat daya Papua memutar di Laut Arafura, dan sebagian lagi memutar di Teluk Carpentaria di Australia.

Pergerakan arus tersebut menyebabkan banyak pertemuan arus yang diindikasikan dengan adanya *randomly arus eddy (clockwise)*, seperti di selatan Kepulauan Seram, tenggara Kep. Tanimbar, dan mulut Teluk Carpentaria. Arus *eddy* tersebut dapat berperan sebagai pentranspor khlorofil dari daerah *upwelling* yang berproduktivitas primer tinggi menuju ke daerah lain yang mungkin sebagai habitat ikan.¹⁶

Secara khusus terlihat bahwa kemungkinan adanya *Madden Julian Oscillation* yang diinduksi oleh Arus Selatan Jawa (*South Java Current*) yang melawan jalur Arus Lintas Indonesia (Arlindo) atau secara internasional dikenal sebagai *Indonesia Through-flow*.^{17,18} Bergerak dari selatan Sumba masuk ke Laut Sawu dan melewati Selat Ombai menuju Laut Halmahera.¹⁵ Adanya aliran utama yang berupa percampuran (*mixing*) massa air oleh arus di Laut Arafura dan Laut Banda dapat dijadikan indikasi sebagai eksistensi dari Arlindo tersebut.¹⁹

Pada masa transisi dari monsun barat ke monsun timur (April), angin timur membangkitkan arus yang bergerak ke barat masuk ke Teluk Carpentaria dan Teluk Bonaparte tanpa menyebabkan arus *eddy*, sebagian besar menyusur pantai utara dan barat daya Australia. Arus terlihat mengikuti jalur Arlindo, terlihat dari pergerakan arus dari Terusan Lifamatola melewati Laut Banda dan Laut Arafura kemudian bercabang menuju Laut Timor, Selat Ombai, dan Laut Sawu,¹⁷ seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4(b).

Pada monsun timur (Agustus), arus yang dibangkitkan oleh angin tenggara terlihat jelas



Gambar 3. Pola angin 10 meter di atas permukaan laut rata-rata untuk Januari (a), April (b), Agustus (c), dan Oktober (d). Boks merah adalah wilayah studi yakni Laut Arafura dan Timor.

bergerak dari utara Teluk Carpentaria menuju barat laut. Kemudian, di Laut Arafura membelok ke barat daya, sebagian menuju Laut Timor, dan sebagian menuju Laut Sawu melewati Laut Banda dan Selat Ombai. Sementara ada sebagian kecil yang menyusur pantai barat daya Papua menuju ke barat laut ke Terusan Lifamatola,¹⁷ lihat Gambar 4(c).

Pada masa transisi dari monsun timur ke monsun barat (Oktober), secara umum pola arusnya sangat kompleks karena banyak pertemuan dan percabangan arus menghasilkan banyak arus *eddy* berkekuatan skala kecil, seperti di selatan Laut Sawu, Laut Timor, barat daya Pulau Buru, barat laut Teluk Carpentaria,¹⁹ lihat Gambar 4(d).

Terkait dengan daerah karakteristik arus permukaan di sekitar Kepulauan Aru, menurut Badrudin dan Sumiono,²⁰ tren laju penangkapan udang selama periode 1975–2000 adalah mendarat sebesar 77,1 ton/kapal/tahun. Ini berimplikasi

bahwa kelimpahan sumber daya udang sangat didukung oleh ketersediaan nutrisi yang kemungkinan dipasok dari muara-muara sungai di pantai barat Irian Jaya oleh arus permukaan dan *eddy* di Laut Arafura sehingga produktivitas primer sangat tinggi untuk menopang hidup populasi udang (0,29 ton/km²) dan ikan (3,5 ton/km²). Meskipun eksploitasi udang dan ikan telah dilakukan sejak tahun 1960, secara umum kegiatan penangkapan ternyata masih terbilang minim.²¹

Sirkulasi Arus Vertikal

Indikasi *Upwelling* dan *Down welling*

Salah satu parameter fisika yang terkait langsung dengan perikanan adalah arus vertikal yang digunakan sebagai indikator *upwelling* (arus vertikal, menuju ke atas, bernilai positif) dan *down welling* (arus vertikal, menuju ke bawah, bernilai negatif).²² Agar fenomena tersebut dapat terlihat nyata maka dilakukan perataan terhadap kedalaman

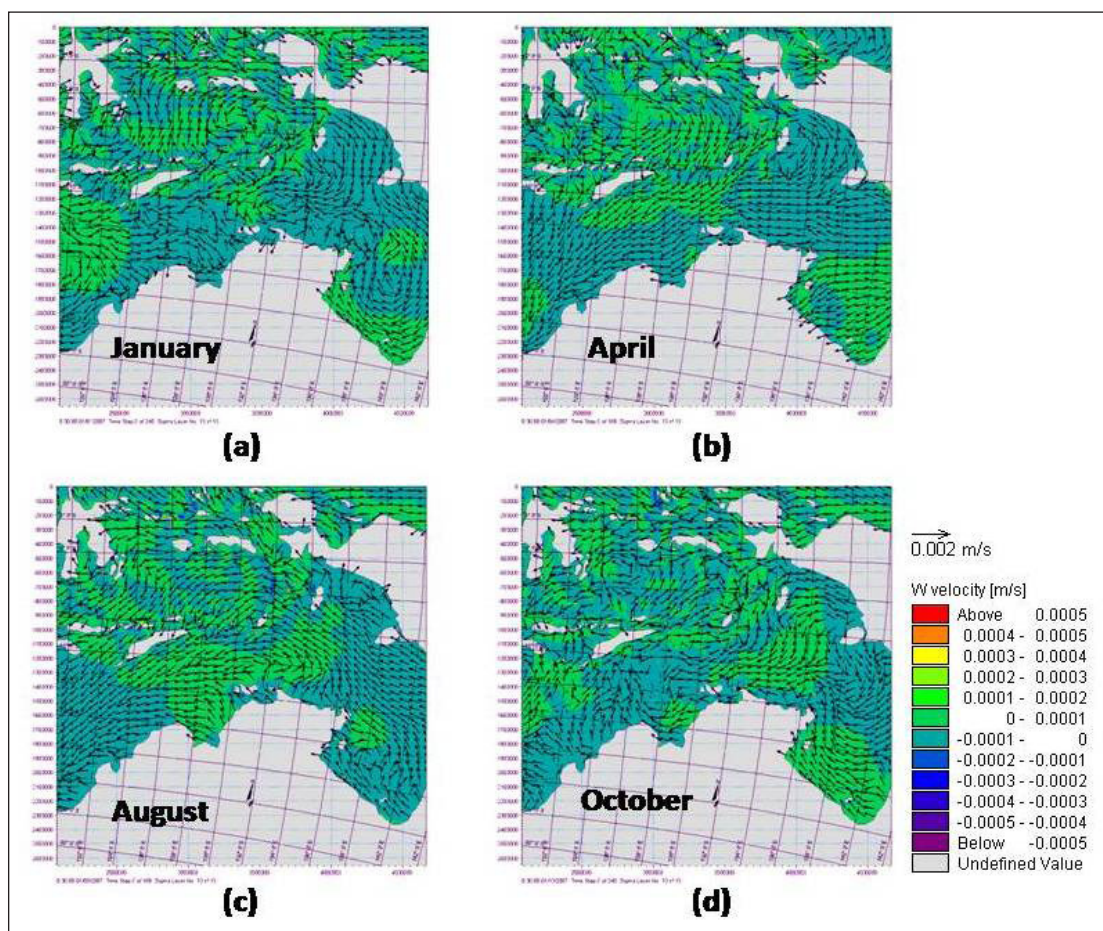
dan terhadap waktu sepanjang bulan simulasi. Secara teoritis *upwelling* dan *down welling* ini dibangkitkan oleh tiupan angin, dan dipengaruhi oleh profil batimetri yang kompleks, dan kadang kopling dengan *tidal pump*.²³ Hasil simulasi menunjukkan bahwa wilayah Laut Arafura dan Timor (Selat Ombai, Laut Sawu, Laut Timor, Laut Arafura, Teluk Bonaparte, dan Teluk Carpentaria) memiliki fenomena *upwelling* di sepanjang tahun dan mengalami variabilitas secara *monsoonal*. Narasi selanjutnya akan lebih difokuskan kepada *upwelling* karena terkait dengan nilai ekonomis informasi pendukung kegiatan perikanan.²⁴

Gambar 5(a) secara umum memperlihatkan bahwa pada monsun barat (Januari), *upwelling* berkekuatan skala kecil terjadi di sepanjang perairan pantai Pulau Timor, perairan pantai barat Kep. Tanimbar, pantai barat daya Irian

Jaya dekat Kep. Aru, pantai barat laut Australia, di utara dan sepanjang perairan pantai Teluk Carpentaria. *Upwelling* berkekuatan menengah ditemukan di pantai utara Timor di sekitar Selat Ombai. Ditemukan sedikit *down welling* kekuatan skala kecil di ujung timur P. Timor, utara Kep. Tanimbar, dan barat laut Kep. Aru.

Pada masa transisi dari monsun barat ke monsun timur (April), *upwelling* menghilang di pantai barat daya Australia. Intensitas luasan area berkurang di pantai barat daya Teluk Carpentaria. Area *upwelling* ada yang meluas di Selat Ombai dan Sawu, Laut Banda, perairan antara Kep. Tanimbar dan Kep. Aru. Peningkatan intensitas *upwelling* terjadi di Teluk Bonaparte dan pantai timur Teluk Carpentaria, lihat pada Gambar 5(b).

Pada monsun timur (Agustus), *upwelling* di pantai utara Timor masih eksis, sedangkan



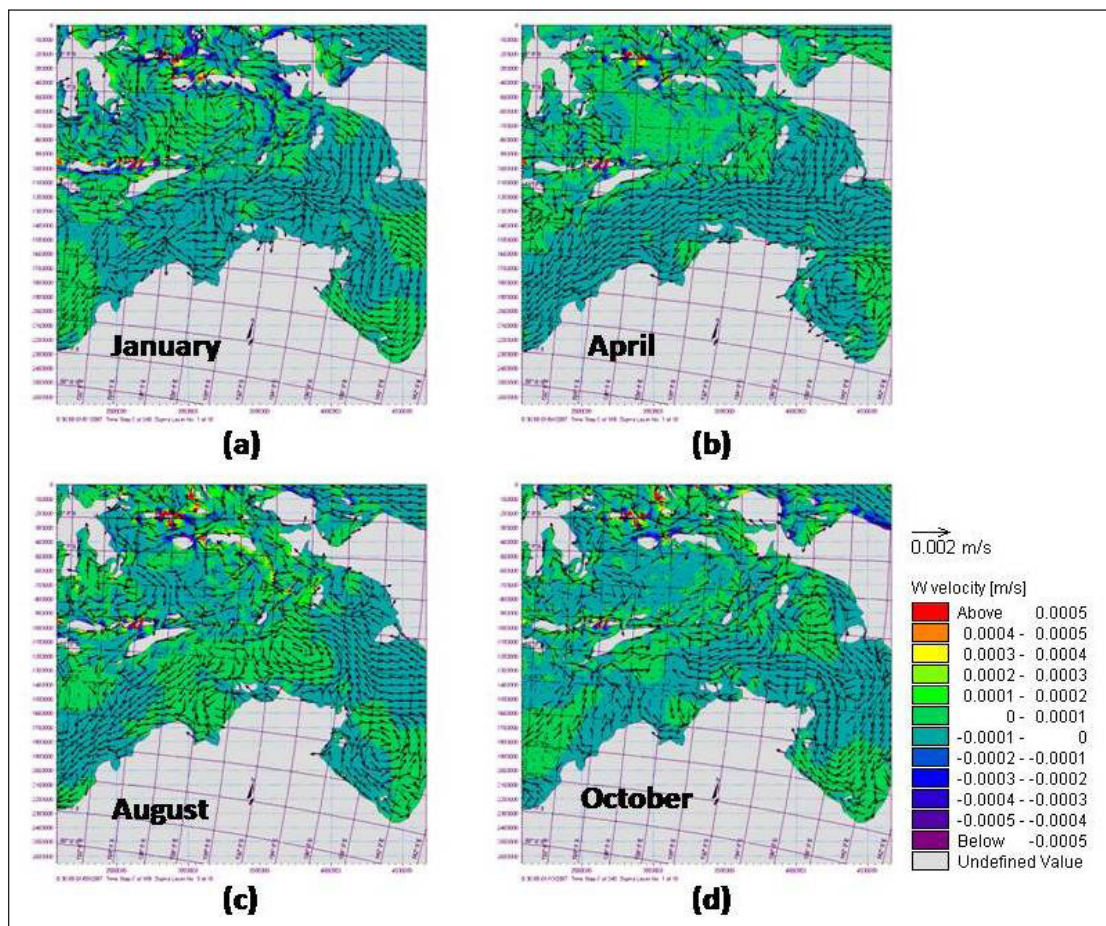
Gambar 4. Pola arus sesaat pada monsun barat (a), transisi menuju monsun timur (b), monsun timur (c), dan transisi menuju monsun barat (d). Ket.: Arus horizontal di permukaan digambarkan dengan anak panah, sedangkan sirkulasi arus vertikal diwakili oleh degradasi warna berkuantitas (nilai positif adalah arus vertikal menuju ke atas sebagai indikator *upwelling*, sedangkan nilai negatif adalah arus vertikal menuju ke bawah sebagai indikator *down welling*).

upwelling di Laut Timor meluas hingga Teluk Bonaparte dan Laut Arafura. Peningkatan intensitas kekuatan *upwelling* terjadi di selatan kepala burung, hingga barat Aru dan tenggara Kep. Seram. Intensitas *upwelling* di barat daya dan barat Teluk Carpentaria sudah tidak muncul, yang dimungkinkan karena terangkut ke mulut Teluk tersebut, lihat pada Gambar 5(b).

Pada transisi dari monsun timur ke monsun barat (Oktober), intensitas *upwelling* di selatan kepala burung hingga barat Kep. Aru dan timurlaut Kep. Tanimbar berkurang diduga karena tertransport ke tenggara (Laut Arafura). Adapun area *upwelling* di Laut Timor luasannya berkurang karena tertransport ke barat daya. Area *upwelling* di pantai timur Teluk Carpentaria kembali terangkut ke pantai selatan hingga barat teluk tersebut, lihat pada Gambar 5(d).

Daerah *upwelling* di perairan selatan Pulau Timor pada monsun timur hasil pemodelan, secara kualitatif terverifikasi oleh hasil penelitian Tubalawony,²⁵ yang diindikasikan dengan mendangkalnya lapisan termoklin di kedalaman sekitar ~75 m. Hasil penelitian Sapulete,²⁶ juga memverifikasi daerah *upwelling* hasil pemodelan, tetapi bukan di Laut Timor ataupun di Arafura, melainkan di perairan Seram yang menjadi bagian dari Laut Banda. Pendangkalan lapisan termoklin terjadi pada transisi dari monsun barat ke monsun timur (April), dan pada monsun timur (September).

Terkait dengan *upwelling* di Selat Ombai dan pantai utara Pulau Timor, fakta yang ditemukan (hasil pengamatan penulis selama 25–30 Maret 2011 di Dili, Timor Leste) adalah para nelayan di pantai utara ketika menangkap ikan (menebar



Gambar 5. Pola arus rerata pada monsun barat (a), transisi menuju monsun timur (b), monsun timur (c), dan transisi menuju monsun barat (d). Ket.: Arus horizontal di permukaan digambarkan dengan anak panah, sedangkan sirkulasi arus vertikal diwakili oleh degradasi warna berkuantitas (nilai positif adalah arus vertikal menuju ke atas sebagai indikator *upwelling*, sedangkan nilai negatif adalah arus vertikal menuju ke bawah sebagai indikator *down welling*).

jaring dan memancing), dari pagi hingga siang hari, tidak perlu jauh ke lepas pantai terluar. Pada sore hari ikan-ikan tersebut diijakan di sepanjang pinggir jalan dengan harga 1 USD (relatif tergantung tawar-menawar harga) untuk 6 ekor cakalang ukuran panjang ~30–40 cm.

KESIMPULAN

Secara umum karakteristik arus permukaan di Laut Arafura dan Timor adalah mengikuti pola angin monsun, dan sirkulasi arus vertikalnya sangat dinamis. *Upwelling* dan arus *eddy* di perairan pantai selatan Pulau Timor dan di antara Kepulauan Tanimbar dan Kepulauan Aru muncul dibentuk oleh angin monsun dan pengaruh batimetri. Karakteristik arus yang berperan mendukung ketersediaan produktivitas primer secara tidak langsung berkontribusi kepada sumber daya perikanan tangkap di Laut Arafura dan Timor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Manuskrip ini disusun dalam rangka penugasan individu pada Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Pertama Gelombang VIII Tahun 2011. Penulis sebagai peserta Diklat dibiayai oleh DIPA Tahun 2011 Badan Litbang Kelautan dan Perikanan; dan Pusat Litbang Sumber daya Laut dan Pesisir. Terima kasih diucapkan kepada Prof. Dr. Masno Ginting sebagai pembimbing penulisan. Terima kasih diucapkan juga kepada Lestari C. Dewi dan Eva Mustikasari untuk kompilasi dan visualisasi data, serta Salvienty Makarim sarannya tentang arus *eddy*.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹ATSEA. 2010. *ATSEA Cruise Report.*, ATSEA Program, Jakarta, 214 p.
- ²Dethmers, K., *et al.* 2009. *Marine Megafauna Surveys in Timor Leste. Tech. Report.* 33 pages.
- ³IHO Map Sheet 3. *International Hydrographic Organization.*
- ⁴Sihotang, J. 2010. Masalah Perbatasan Wilayah Laut Indonesia di Laut Arafura dan Laut Timor, *Jurnal Penelitian Politik*, 7 (1): 119–132.

- ⁵Susanto, R.D., and J. Marra. 2005. Effect of the 1997/98 El Nino on Chlorophyll a Variability Along the Southern Coasts of Java and Sumatra. Special issue: The Indonesian Seas. *Oceanography*, 18 (4): 124–127.
- ⁶Pranowo, W.S., L.C. Dewi, E. Mustikasari, B.A. Subki. 2010. Verification the model which using by the Government of Indonesia for oil spill model simulation—The claim document of October 2010. Suppl. *Technical Report*. Negotiation meeting between GoI and PTTEP AA (Montara), Singapore, December 17–19, 2010. 8 pages.
- ⁷DHI Water and Environment. 2006. MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM: *Hydrodynamic Module—Short Description*, Agern Allé 5, DK-2970 Hørsholm, Denmark, 36 p.
- ⁸GEBCO. 2003. General Bathymetric Chart of the Oceans. (<http://www.gebco.net>).
- ⁹Egbert, G.D., and S. Y. Erofeeva. 2002. Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. *Am. Met. Soc.*, 19: 183–204.
- ¹⁰NCEP. 2007. *The NCEP/NCAR Reanalysis Project. Earth System Research Laboratory*, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce.
- ¹¹Supangat, A., T. R. Adi, W. S. Pranowo, N. S. Ningsih. 2003. Aplikasi Model Kopel Hidrodinamika-Ekologi untuk Prediksi Kolam Air Hangat, *Front Salinitas & Zona Konvergensi di Samudera Pasifik Barat dan Perairan Indonesia*. Jakarta: Pertemuan Ilmiah Tahunan—Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (PIT - ISOI).
- ¹²Puti, C., S. Hadi, and W.S. Pranowo. 2006. Study Variability of Thermocline Layer and its Relationship with Sea Surface Chlorophyll-a Blooming Condition in Ombai Strait and Savu Sea. *Proceeding Workshop INSTANT*, 12 September 2006, Jakarta.
- ¹³Pranowo, W.S., and S. Wirasantosa. 2011. *Tidal Regime of Arafura and Timor Seas*. Manuskrip telah disubmisi ke Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan, ISSN: 0125-9849.
- ¹⁴Wyrski, K. 1961. Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters. *NAGA REPORT*, 2: 225
- ¹⁵Qiu, Y., L. Li and W. Yu. 2009. Behavior of the Wyrski Jet observed with surface drifting buoys and satellite altimeter. *Geophysical Research Letters*, 36.
- ¹⁶Iskandar, I., *et al.* 2010. A numerical investigation of eddy-induced chlorophyll bloom in the southeastern tropical Indian Ocean during Indian Ocean Dipole-2006. *Ocean Dynamics*, 60: 731–742.

- ¹⁷Gordon, A., *et al.* 2010. The Indonesian Through-flow during 2004–2006 as observed by the INSTANT program. *Dyn. Atmosph. Ocean*, 50 (2): 115–128.
- ¹⁸Pranowo, W.S., dkk. 2006. Menguak Arus Lintas Indonesia, in Supangat, A., I.S. Brodjonegoro, A.G. Ilahude, I. Jaya, T.R. Adi (Ed.). *Ekspedisi INSTANT 2003-3005*. Cetakan pertama Januari 2006. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumber daya Non-hayati, Badan Riset Kelautan dan Perikanan, Departemen Kelautan dan Perikanan.
- ¹⁹Masumoto, Y., *et al.* 2005. Intraseasonal Variability in the upper layer currents observed in the Eastern Equatorial Indian Ocean. *Geophysical Research Letters*, 32: 10267.
- ²⁰Badrudin, dan B. Sumiono. 2002. Indeks kelimpahan stok udang dalam komunitas sumberdaya demersal di perairan Kepulauan Aru, Laut Arafura. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 8 (1).
- ²¹Badrudin, B. Sumiono, dan N. Wirdaningsih. 2002. Laju tangkap, hasil tangkapan maksimum (MSY), dan upaya optimum perikanan udang di perairan Laut Arafura. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 8 (4).
- ²²Pranowo, W.S., dan B. Realino. 2006. Sirkulasi arus vertikal di Selat Bali pada Monsun Tenggara 2004. *Prosiding Forum Perikanan Umum Indonesia III, Palembang*, 27–28 November 2006.
- ²³Radjawane, I. M., dkk. Sirkulasi Arus Vertikal di Perairan Teluk Saleh Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. *J. Segara*, 2(1).
- ²⁴Pranowo, W. S., H. Phillips, S. Wijffels. Upwelling Event 2003 Along South Java Sea and The Sea of Lesser Sunda Islands. *J. Segara*, 1 (3).
- ²⁵Tubalawony, S. 2004. Karakteristik Fisik Massa Air Laut Timor pada Musim Timur. *Ichthyos*, 3 (2): 51–58.
- ²⁶Sapulete, D. 1996. Sebaran vertikal temperatur dan salinitas dalam kaitannya dengan kemungkinan terjadinya “*upwelling*” di Teluk Piru, Perairan Maluku dan Sekitarnya, 11: 139–148.

