

Studi Numerik *Upwelling* di Daerah Perairan Kalimantan Timur

¹Restu Agesta Dwi Maulana, ²Mustaid Yusuf*, ¹Devina Rayzy P.S.P

¹Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman
²Laboratorium Oseanografi, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

*Corresponding Author: mustaid@gmail.com

ABSTRACT

The aim of this study is to predict the potential upwelling areas around East Kalimantan Waters, based on vertical current velocity, temperature, and salinity information through the COHERENS (A Coupled Hydrodynamical-Ecological Model for Regional and Shelf Seas) simulation, a three-dimensional hydrodynamic model. The model was performed simulation for one year period (1st January – 31th December 2016). Four major tidal constituents (M_2 , S_2 , K_1 , O_1) and wind speed have used as generating force. The simulation results showed the upwelling areas as well as downwelling. The upwelling area located mostly in the southern parts of the Makassar Strait while only a few areas located in the vicinity of the East Kalimantan coastline.

Keywords: *upwelling, vertical flow, Ekman transport, wind, salinity, temperature.*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi daerah-daerah potensial *upwelling* di sekitar perairan Kalimantan Timur berdasarkan informasi kecepatan arus vertikal melalui Model Hidrodinamika 3-dimensi COHERENS (A Coupled Hydrodynamical-Ecological Model for Regional and Shelf Seas). Simulasi model dilaksanakan selama 1 tahun (01 Januari – 31 Desember 2016). Empat komponen utama pasang surut (M_2 , S_2 , K_1 , O_1) dan kecepatan angin digunakan sebagai gaya pembangkit. Hasil simulasi menunjukkan daerah *upwelling* serta *downwelling*. Daerah *upwelling* sebagian besar terletak di bagian selatan Selat Makassar sementara hanya beberapa daerah yang terletak di sekitar garis pantai Kalimantan Timur.

Kata Kunci : *upwelling, Arus vertikal, Transpor Ekman, Angin, Salinitas, Suhu.*

1. PENDAHULUAN

Upwelling adalah sebuah fenomena yang mana air laut di permukaan memiliki temperatur lebih rendah dan salinitasnya lebih besar dari lapisan bawah yang bergerak ke permukaan. *Upwelling* yang terjadi di pinggir pantai timbul akibat adanya transpor Ekman yang terjadi di laut, berdasarkan buku Arus laut yang ditulis oleh Ivonne (2011), transpor Ekman ini terjadi akibat adanya arus Ekman yang membawa total massa air tegak lurus ke arah kanan di BBU (Belahan Bumi Utara) dan tegak lurus ke arah kiri di BBS (Belahan Bumi Selatan).

Peristiwa *upwelling* banyak memberikan manfaat di bidang industri kelautan, khususnya bidang perikanan, karena

daerah *upwelling* merupakan daerah yang strategis bagi hewan laut seperti ikan untuk bertahan hidup mencari nutrisi dari makanan yang berlimpah. Makanan berlimpah yang terdapat pada daerah *upwelling* tercipta akibat produktivitas primer yang terdapat pada daerah *upwelling* meningkat dan membuat banyak ikan tertarik untuk mencari makanan di daerah tersebut. Kondisi tersebut memudahkan para nelayan untuk menangkap ikan dalam jumlah yang banyak. Daerah *upwelling* ini juga dinamakan sebagai *fishing ground*. Selain itu, juga menyatakan manfaat lain dari *upwelling* juga berpengaruh pada cuaca lokal yang membuat daerah pantai yang mengalami *upwelling* mempunyai kondisi berkabut, awan stratus rendah, lapisan atmosfer yang stabil,

sedikit konveksi, dan sedikit hujan (Stewart, 2008).

Lokasi *upwelling* yang telah ditemukan keberadaannya oleh para peneliti berada pada 3 lokasi, yaitu Selatan Jawa hingga Sumbawa, Laut Banda dan Arafura, dan Selat Makassar bagian Selatan. Peristiwa *upwelling* di 3 lokasi ini terjadi berkisar pada bulan Mei hingga September, sedangkan untuk lokasi *upwelling* di daerah lain masih memerlukan penelitian lebih lanjut (Yusuf, 2002).

Berdasarkan hal tersebut, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai *upwelling* dengan mencari daerah potensial *upwelling* di sekitar perairan Kalimantan Timur. Agar dapat mengkajinya, peneliti akan menentukan daerah *upwelling* dengan menggunakan model hidrodinamika 3 dimensi barotropik, untuk mensimulasikan pola *upwelling* dengan menggunakan pendekatan numerik.

2. TEORI

Pada kondisi normal wilayah Indonesia dipengaruhi oleh empat musim utama, yaitu:

1. Monsun barat (*west monsoon*), yang terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari.
2. Transisi dari monsun barat ke monsun timur yang terjadi pada bulan Maret, April dan Mei
3. Monsun timur (*east monsoon*), yang terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus.
4. Transisi dari monsun timur ke barat, yang terjadi pada bulan September, Oktober dan November (Ningsih, 2000).

Wilayah perairan Indonesia mengalir dua sistem arus utama, yaitu: Arus Monsun Indonesia (ARMONDO) dan Arus Lintas Indonesia (ARLINDO). ARMONDO berada di wilayah barat, sedangkan ARLINDO berada di wilayah tengah dan timur perairan Indonesia (Yusuf, 2002).

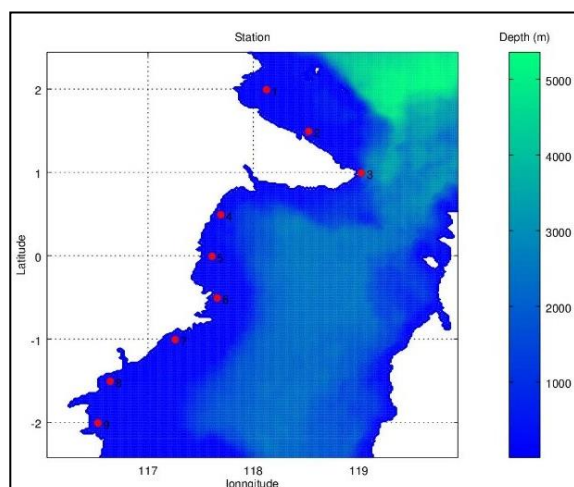
Dari hasil pemodelan arus laut laut permukaan perairan Indonesia dari data satelit Altimetri Jason-2 pada tahun 2010-2014, didapatkan 3 kecenderungan arah arus laut permukaan, yaitu dari arah Benua Asia menuju Benua Australia, dari arah Benua Australia menuju Benua Asia, dan arah arus tidak teratur. Hal ini tak terlepas dari peran angin yang melewati permukaan air laut di Indonesia.

Berdasarkan pergerakan angin, pola arus laut permukaan perairan Indonesia saat

terjadi angin muson barat, yaitu pada bulan Desember-Februari angin bertiup dari barat menuju timur, sehingga arus juga bergerak dari arah Benua Asia menuju ke Benua Australia. Pada saat terjadi angin muson timur yaitu pada bulan Juni-Agustus angin bertiup dari arah timur menuju barat, sehingga arus juga bergerak dari arah Benua Australia menuju ke Benua Asia. Sedangkan saat terjadi musim peralihan baik saat peralihan dari muson barat ke muson timur yaitu pada bulan Maret-Mei maupun saat peralihan dari muson timur ke muson barat yaitu pada bulan September-November pergerakan arus tidak teratur dan cenderung terbagi menjadi dua arah yakni dari Benua Asia menuju Benua Australia dan dari Benua Australia menuju Benua Asia namun kecepatan arusnya rata-rata adalah lemah di hampir seluruh perairan di Indonesia (Daruwedho, 2016).

Model hidrodinamika yang digunakan dalam penelitian ini adalah model COHERENS (*Coupled Hydrodynamical Ecological model for Regional and Shelf Seas*). COHERENS merupakan model numerik tiga dimensi multiguna untuk perairan pantai dan lepas pantai yang digandengkan dengan modul biologi, resuspensi dan kontaminan, dan dapat memecahkan proses-proses skala menengah (*mesoscale*) sampai skala musiman (*seasonal scale*). Model COHERENS tersedia untuk komunitas sains dan dapat dianggap sebagai alat bantu untuk lebih memahami proses-proses fisis dan ekologi, dan untuk memprediksi serta memantau material sisa di perairan pantai, lepas pantai dan estuari. Program ini telah dikembangkan selama periode 1990 sampai 1998 oleh sebuah kelompok multinasional Eropa sebagai bagian dari proyek MAST (*Marine Science and Technology Programme*) yaitu PROFILE (*Processes in Regions of Fresh Water Influence*), NOMADS (*North Sea Model Advection Dispersion Study*) dan COHERENS yang didanai oleh Uni Eropa (Luyten, 2012).

3. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Peta Batimetri Domain Model

Daerah *upwelling* disimulasi menggunakan Model Hidrodinamika 3-dimensi COHERENS (*A Coupled Hydrodynamical-Ecological Model for Regional and Shelf Seas*). Lokasi penelitian yang diambil dalam studi ini terletak pada perairan Selat Makassar dengan koordinat lokasi penelitian berada pada $2^{\circ} 26' 30''$ LU hingga $2^{\circ} 25' 30''$ LS dan $116^{\circ} 02' 24''$ Bujur Timur hingga $119^{\circ} 56' 24''$ BT. Sedangkan titik verifikasi pasang surut berada pada koordinat $0^{\circ} 13' 29''$ LS dan $117^{\circ} 25' 00''$ BT. Data batimetri di perairan Selat Makassar diperoleh dari data satelit ETOPO1 (*National Geophysical Data Center, NOAA, U.S. Department of Commerce*) dengan spasi grid $\Delta x = \Delta y = 1'$ atau $\Delta x = \Delta y = \pm 1.885,37$ m. Data pasang surut yang digunakan sebagai nilai awal dalam pemodelan diperoleh dari NAO99b, yaitu model untuk memprediksi pasang surut yang dikembangkan oleh *National Astronomical Observatory* Jepang tahun 1999 berdasarkan data muka air laut dari satelit altimetri Topex-Poseidon (Matsumoto dkk., 2000). Data pasang surut ini digunakan dalam batas terbuka, yang kemudian digunakan untuk menentukan nilai konstanta harmonik dari empat konstanta pasang surut (M_2 , S_2 , K_1 dan O_1) sebagai gaya pembangkit untuk melakukan simulasi arus pasang surut dalam domain model.

Data angin sebagai gaya pembangkit arus vertikal *upwelling* diperoleh dari *website* ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*) yang berupa nilai vektor kecepatan. Data salinitas dan suhu permukaan laut diperoleh dari *website* HYCOM (*HYbrid Coordinate Ocean Model*)

sebagai nilai awal.

RMSE adalah metode untuk mengetahui tingkat akurasi model yang banyak digunakan oleh banyak peneliti, rumus dari RMSE adalah sebagai berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2} \quad (1)$$

Keterangan :
 n = Jumlah Data
 y_i = Data Observasi
 y_i^* = Data Simulasi

4. INTERPRETASI

Transpor Arus Lintas Indonesia (Arlindo) terjadi dari barat ekuator Pasifik ke Samudera Hindia. Sistem arus tersebut bergerak sepanjang batas barat (*western boundary*) dan dikenal juga dengan nama *Western Boundary Current* (WBC) di selatan Samudera Pasifik kemudian melintasi ekuator menjadi Arlindo. Perpindahan massa air tersebut dikenal dengan nama *low latitude western boundary current* (LLWBCs). Arus LLWBCs masuk ke Indonesia melalui Selat Makassar berasal dari Arus Mindanao di tepi timur Filipina, yang membawa massa air *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) dan *North Pacific subtropical Water* (NPSW) (Du dan Qu, 2010).

Massa air NPSW menyebar dengan ciri salinitas maksimum pada lapisan termoklin (Wyrtki, 1961). Massa air ini dibawa arus *North Equatorial Current* dari Pasifik ke arah barat, kemudian NEC mengalami percabangan, ke arah utara menjadi sumber Arus Kuroshio, dan ke arah selatan menjadi Arus Jet Mindanao, di mana sebagian cabang arus ini bergerak ke arah selatan dan masuk ke Laut Sulawesi dan berlanjut ke Selat Makassar.

Ketika memasuki Selat Makassar, terdapat suatu celah antara Tanjung Mangkalihat dan Tanjung Dondo dengan lebar sekitar 60 km. Celah tersebut menyebabkan aliran massa air (arus) pada jalur masuk Arlindo menjadi lebih kuat (Horhoruw, 2015).

Pada daerah permukaan, ketika terjadi angin muson barat pada bulan Januari dan Februari, arus mengalir dari arah Laut Sulawesi menuju selatan Selat Makassar. Sebagian kecil arus mengalir ke arah utara dan kecepatan arus yang tinggi berada pada pinggiran Kalimantan. Pada saat masa peralihan muson barat ke muson timur, arah arus tidak begitu berbeda daripada musim

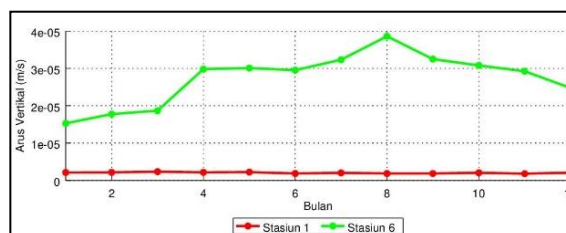
muson Barat, perbedaannya terletak pada arus yang perlahan melemah di bulan Maret, April dan Mei hingga pada saat angin muson timur di bulan Juni, Juli dan puncak tercepat dari arus ada pada bulan Agustus di mana arah aliran arus terlihat jelas menunjukkan bahwa arus mengalir ke arah utara, arah arus berbalik dari selatan Selat Makassar menuju ke Laut Sulawesi dan perlahan melemah pada saat masa peralihan dari muson timur ke muson barat di bulan September, Oktober dan November tanpa ada terlihat perubahan signifikan yang terjadi pada musim peralihan ini.

Peta sebaran kecepatan arus vertikal yang bernilai positif bisa disebut sebagai indikasi daerah *upwelling* yang terlihat berbeda-beda setiap bulannya, namun ada beberapa daerah *upwelling* yang selalu muncul di setiap bulan. *Upwelling* di Selat Makassar berdasarkan hasil simulasi ini banyak terjadi di daerah lepas pantai. *Upwelling* terbesar terjadi pada bulan Agustus di sepanjang pinggir Kalimantan dengan kecepatan tertinggi 0,002 m/s.

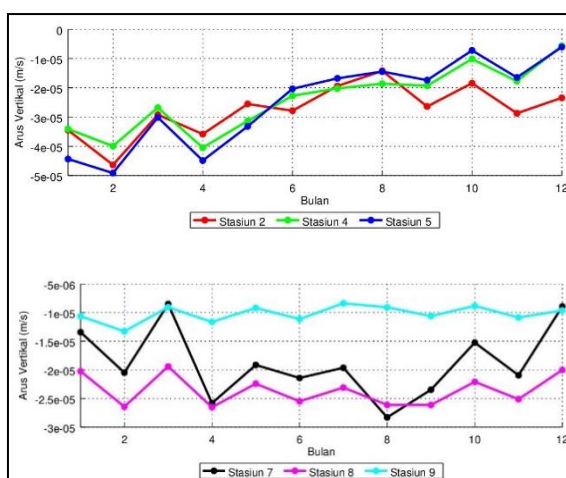
Gambar 2 menunjukkan titik cuplik yang mengalami *upwelling* sepanjang tahun 2016 berdasarkan hasil simulasi. Titik cuplik 1 menunjukkan kecepatan arus *upwelling* yang tidak jauh berbeda di setiap bulan, sedangkan untuk titik cuplik 6 mengalami kenaikan kecepatan arus hingga bulan Agustus dan kembali menurun sampai akhir tahun.

Gambar 3 adalah titik cuplik yang mengalami *downwelling* di sepanjang tahun berdasarkan hasil simulasi. Berdasarkan gambar untuk titik cuplik 2, 4 dan 6 mempunyai pola grafik kecepatan arus yang hampir sama di sepanjang tahun, kecepatan arus yang terjadi pada ketiga titik cuplik ini mengalami kenaikan dari awal hingga akhir tahun. Sedangkan untuk titik cuplik 7, 8 dan 9 mempunyai pola grafik yang berbeda dengan 3 titik cuplik sebelumnya serta nilai rata-rata kecepatan arus yang lebih besar.

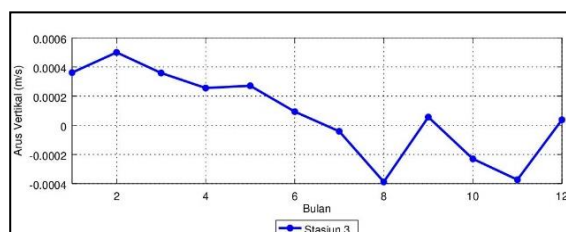
Pada salah satu titik cuplik yang diambil terjadi siklus *upwelling* dan *downwelling* dalam setahun. *Upwelling* terjadi pada bulan Januari – Juni dan pada bulan September serta Desember. Seperti pada **Gambar 4**, dapat terlihat bahwa intensitas terjadinya fenomena *upwelling* lebih sering terjadi dibandingkan fenomena *downwelling*.



Gambar 2. Titik Cuplik yang Mengalami Siklus *Upwelling* dalam Setahun



Gambar 3. Titik Cuplik yang Mengalami Siklus *Downwelling* dalam Setahun



Gambar 4. Titik Cuplik yang Mengalami Siklus *Upwelling* dan *Downwelling* dalam Setahun

Berdasarkan peta distribusi daerah *upwelling* cukup sesuai apabila dibandingkan dengan peta sebaran arus vertikal. Pada salinitas daerah yang mengalami *upwelling* mempunyai intensitas salinitas lebih tinggi dibandingkan daerah yang tidak terjadi *upwelling*, sedangkan untuk temperatur daerah *upwelling* mempunyai suhu yang lebih rendah dibandingkan sekitarnya. Berdasarkan hasil variasi kedalaman peta sebaran salinitas dan suhu air laut ini, salinitas dan suhu air laut mempunyai intensitas yang bervariasi di setiap kedalaman.

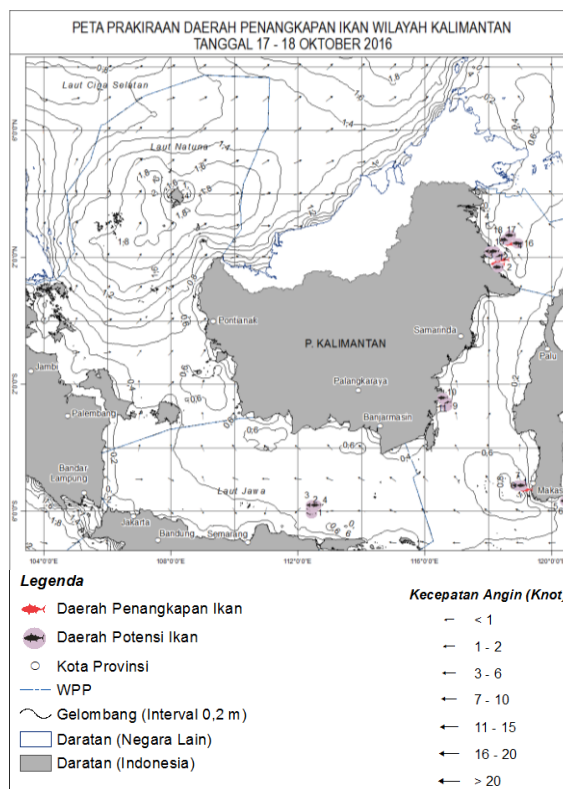
Daerah *upwelling* juga dapat dilihat dari peta sebaran salinitas dan suhu permukaan laut pada model. Daerah *upwelling* dapat ditinjau berdasarkan salinitas dan suhu permukaan air laut. Untuk salinitas, suatu daerah dapat dikatakan *upwelling* jika terdapat

intensitas salinitas lebih tinggi dibanding daerah sekitarnya. Sedangkan untuk suhu, daerah tersebut dapat dikatakan terjadi *upwelling* apabila daerah tersebut mempunyai suhu yang lebih rendah dibandingkan daerah sekitarnya (Hadi, 2009).

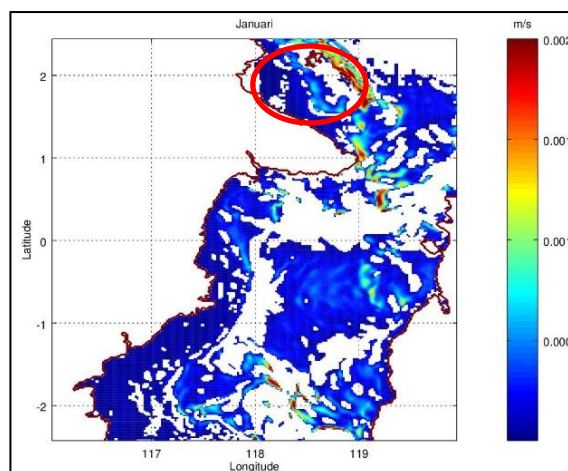
Berdasarkan hasil variasi kedalaman peta sebaran salinitas dan suhu air laut ini, salinitas dan suhu air laut mempunyai intensitas yang bervariasi di setiap kedalaman. Namun perbedaan ini tidak terlihat cukup signifikan, diakibatkan oleh terbatasnya *initial data* salinitas dan suhu air laut pada saat proses pemodelan. Apabila ditinjau per kedalaman, pada salinitas, daerah yang mengalami *upwelling* akan mempunyai salinitas yang semakin naik bila ditinjau dari kedalaman terbawah menuju ke permukaan, sedangkan pada daerah *downwelling* akan terjadi penurunan intensitas salinitas dari permukaan ke bawah.

Arah arus permukaan sangat dipengaruhi oleh arah angin muson di Indonesia. Pada saat terjadi muson barat arah angin berhembus dari timur laut ke selatan, hal itu membuat arus permukaan yang terjadi pada saat muson timur mengalir melalui Laut Sulawesi menuju Selat Makassar. Pada saat masa peralihan, angin yang berhembus dari timur laut ke selatan perlahan berubah ke arah sebaliknya, hal ini mengakibatkan kecepatan arus yang terjadi pada permukaan melemah. Pada muson timur, arah angin berhembus dari selatan menuju ke utara, sehingga menimbulkan arus yang mengalir dari Selat Makassar menuju Laut Sulawesi dan kemudian aliran arus kembali melemah pada musim peralihan.

Upwelling di sepanjang pantai terjadi akibat adanya arus yang meninggalkan pantai sehingga terjadi daerah kekosongan massa air (divergensi) yang kemudian diisi oleh lapisan bawah massa air. Arus yang meninggalkan pantai pada permukaan dapat terlihat jelas sepanjang musim muson barat yang terjadi pada bulan Januari dan Februari, di daerah Kaliurang hingga Seberang terdapat arus permukaan yang mengalir menjauhi daratan hingga pada masa muson timur aliran yang meninggalkan pantai ini tidak terdeteksi lagi, sehingga arus vertikal yang terjadi di daerah ini melemah.

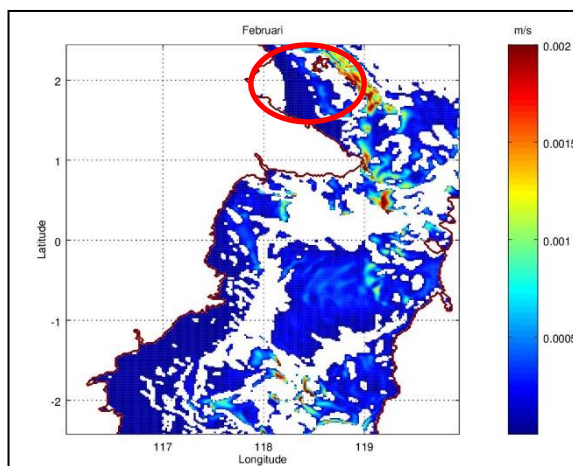


Gambar 5. Peta Prakiraan Daerah Penangkapan Ikan Wilayah Kalimantan Tanggal 17 – 18 Oktober (Sumber : <http://bpol.litbang.kkp.go.id/>)



Gambar 6. Peta Distribusi Kecepatan Arus Vertikal dengan Model 3 Dimensi pada Tanggal 17

Berdasarkan peta prakiraan penangkapan ikan yang didapat dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (**Gambar 5**), daerah penangkapan ikan yang terjadi adalah daerah nutrien yang berlimpah akibat adanya fenomena *upwelling* di daerah tersebut, jika dibandingkan dengan **Gambar 6** dan **Gambar 7**, daerah prakiraan penangkapan ikan merupakan daerah yang mempunyai kecepatan arus vertikal yang tinggi dari hasil model 3 dimensi.



Gambar 7. Peta Distribusi Kecepatan Arus Vertikal dengan Model 3 Dimensi pada Tanggal 18

5. KESIMPULAN

Hasil menunjukkan titik-titik *upwelling* yang nilai kecepatannya bervariasi dengan kecepatan tertinggi 0,002 m/s. Kecepatan *upwelling* ini secara rata-rata dilihat dari bulan Januari meningkat hingga puncaknya pada bulan Agustus dan kembali menurun hingga akhir tahun. Daerah potensial *upwelling* di Selat Makassar terjadi di sepanjang pesisir Kalimantan Timur. Tetapi daerah terbesar terjadi pada bagian selatan Selat Makassar. Dari 9 titik cuplik yang diambil sepanjang perairan Kalimantan Timur, 2 titik cuplik yaitu titik cuplik 1 dan 6 mengalami siklus *upwelling* sepanjang tahun, 6 titik cuplik yaitu titik cuplik 2, 4, 5, 7, 8 dan 9 mengalami siklus *downwelling* sepanjang tahun, sedangkan untuk titik cuplik 3 mengalami siklus *upwelling* dan *downwelling* sepanjang tahun.

6. REFERENSI

- Daruwedho, Haryo., Sasmito, Bandi., Janu A, Fauzi. 2016. *Analisis Pola Arus Laut Permukaan Perairan Indonesia dengan Menggunakan Satelit Altimetri Jason-2 Tahun 2010-2014*, Jurnal Geodesi.
- Du Y. & T. Qu. 2010. *Three inflow pathways of the Indonesian throughflow as seen from the simple ocean data assimilation*. *Dynam. Atmos. Ocean.* 50:233–256. DOI:10.1016/j.dynatm oce.2010.04.001
- Hadi, S dan Radjawane, I. M. 2009. *Arus Laut*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Horhoruw, S. M, Atmadipoera, A. S, Purba, M, Purwandana, A. 2015. *Struktur Arus dan Variasi Sopsial Arlindo di Selat*

Makassar dari EWIN 2013. Juni 2015 Vol 20 (2) : 87 – 100.

- Luyten, P. 2012. *COHERENS – A Coupled Hydrodynamical-Ecological Model fo Regional and Shelf Seas: User Documentation, Version 2.4*. Royal Belgian Institute of Natural Sciences (RBINS-MUMM). Gulledele 100, 1200 Brussels, Belgium.
- Ningsih, N.S. 2000. *Three-dimensional model for coastal ocean circulation and sea floor topography changes: application to the Java Sea*. Doctoral Thesis in Engineering, Civil Engineering, Kyoto University, Japan.
- Stewart, Robert. 2008. *Introduction to Physical Oceanography*. Texas A & M University. <https://www.colorado.edu>.
- Tubalawony, S., Kusmanto, E., Muhadjirin. 2012. *Suhu dan Salinitas Permukaan Merupakan Indikator Upwelling Sebagai Respon Terhadap Angin Muson Tenggara di Perairan Bagian Utara Laut Sawu*. *Jurnal ISSN Vol. 17 (4): 226-239*.
- Yusuf, Mustaid. 2002. *Simulasi Numerik Upwelling Perairan Indonesia Wilayah Tengah dan Barat*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.