

ANALISIS POLA ARUS GEOSTROPIK PERAIRAN SAMUDERA HINDIA UNTUK IDENTIFIKASI *UPWELLING* MENGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI

Esa Agustin Alawiyah, Bandi Sasmito, Nurhadi Bashit^{*)}

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : esaundipgeodesi@gmail.com

ABSTRAK

Arus geostropik merupakan salah satu fenomena fisik kelautan yang mencakup area yang relatif luas. Arus geostropik dipengaruhi oleh gradien tekanan horizontal serta gaya *coriolis*. Akuisisi data untuk analisis arus geostropik dapat menggunakan teknologi satelit altimetri. Penelitian ini menggunakan data satelit altimetri berupa anomali tinggi muka laut (*Sea Level Anomaly*) yang telah diolah dari beberapa misi satelit altimetri. Jangka waktu penelitian arus geostropik ini mencakup tahun 1993-2015, untuk menganalisa pola stabil musiman arus geostropik yang terjadi. Studi kasus diambil di wilayah Samudera Hindia, melingkupi perairan Selatan Jawa hingga Sumatera. Metode pengolahan data yang digunakan yakni bahasa pemrograman untuk mengolah data SLA dan perhitungan manual untuk mengolah data arus AVISO. Hasil dari pengolahan data berupa pola arus geostropik berdasarkan hitungan SLA dan pola arus geostropik dari AVISO. Pola arus ini kemudian dibandingkan secara visual serta dilakukan uji statistik untuk mengetahui tingkat signifikansi kedua data. Pola arus geostropik hasil hitungan SLA digunakan untuk identifikasi *upwelling* dan dianalisis menurut musim timur dan musim barat. Pola arus pada musim timur dominan bergerak dari Benua Australia menuju Benua Asia, sedangkan pada musim barat arus bergerak dari Benua Asia menuju Benua Australia. Fenomena *upwelling* pada musim timur terjadi sebanyak 231 dengan intensitas 3-5 fenomena setiap bulan. Lokasi *upwelling* yang pertama di perairan selatan Jawa Timur, dengan 11 fenomena berada di bujur 112°-114° BT lintang 8,5°- 9,5° LS, kemudian perairan selatan Jawa Barat dengan 11 fenomena berada pada koordinat 105° -106° BT dan lintang 6°-8° LS. Musim barat terjadi sebanyak 97 total kejadian dengan intensitas 0-3 fenomena setiap bulan. Analisis wilayah terjadinya *upwelling* di musim barat terlihat tidak membentuk pola, *upwelling* terletak menyebar di seluruh wilayah, namun posisi *upwelling* lebih dominan berada di perairan barat Sumatera dengan rentang koordinat 95,5°-106° BT dan 4°-10° LS.

Kata kunci: Arus Geostropik, AVISO, SLA, Samudera Hindia, *Upwelling*

ABSTRACT

Geostrophic current is one of the marine physical phenomenon that covers relatives wide area. The geostrophic current is affected by horizontal pressure gradient and coriolis force. Data acquisition for analyzing geostrophic current pattern can used altimetry satellite technology. This research using satellite data altimetri form sea level anomalies data that had been processed from several satellite altimetri missions. Range of this research covers the years 1993-2015, the length of time is to analyze the stable seasonal pattern. Case studies were taken in the Indian Ocean region, specifically in south of Java sea until Sumatra. Method of processing data in this research used programming languages to processed SLA data and manual calculation to processed AVISO current data . The result of the processing of data in the form of geostrophic current patterns based on SLA calculation, geostropik current patterns based on AVISO. The currents pattern result from SLA and AVISO then compared with visually method with a AVISO data considered true and do statistical tests to find out the significance between two kind of data. Geostrophic current patterns results from SLA calculation is used for the identification of the upwelling based on eddy current formed in several area. Pattern on the East season's dominant is moving from the continent of Australia towards the continent of Asia, while the West season's flow moves from the Asian continent towards the continent of Australia. The upwelling phenomenon in the East season occurs as many as 231 total events with the intensity 3-5 phenomenon in every month. The location of the first appearance of upwelling in the southern waters of East Java, with 11 phenomenon was at coordinates longitude 112°-114° latitude 8,5°- 9,5°, then South West Java sea approaching the Sunda Strait with 11 phenomenon is at coordinates 105° -106° and latitude 6°-8°. Analysis of the area of upwelling in the West do not form visible patterns, upwelling is set to spread across the region, but the position of upwelling are more dominant in the west sea of Sumatra with range coordinate longitude 95,5°-106° and latitude 4°-10° .

Keywords: *Geostrophic current, AVISO, SLA, Indian Ocean, Upwelling*

^{*)}Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

II.1 Latar Belakang

Indonesia terkenal sebagai negara maritim dengan wilayah perairan lebih besar dibanding wilayah daratannya. Luas wilayah yang tergolong besar ini menyimpan berbagai potensi Sumber Daya Alam (SDA) dalam berbagai bidang, baik itu bidang pangan, pariwisata, jasa, dan lain sebagainya. Menurut Pasal 33 UUD (1945) yang berbunyi “Bumi, air dan kekayaan alam yang terkandung didalamnya dikuasai oleh Negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat”.

Pengelolaan sumber daya laut di Indonesia membutuhkan data yang terbaru dan akurat, mengenai kondisi wilayah perairan di Indonesia. Data area lepas pantai masih sulit diperoleh untuk keperluan pengolahan sumber daya laut karena tidak mungkin dilakukan pengukuran secara langsung. Alasan permasalahan keterbatasan data ini mendorong para ahli melakukan pengembangan metode pengukuran beserta alat yang semakin menunjang untuk akuisisi data lepas pantai, salah satu hasil pengembangan teknologi tersebut yakni satelit altimetri. Satelit altimetri merupakan satelit yang didesain khusus untuk mempelajari dinamika lautan (Abidin, 2001).

Sejak kemunculannya, satelit altimetri telah meluncurkan beberapa misi, ERS1, TOPEX/Poseidon, Jason-1, dan juga Jason-2. Secara umum sistem altimetri mempunyai tiga obyektif ilmiah jangka panjang, yaitu:

1. Mengamati sirkulasi lautan global
2. Memantau volume dari lempengan es kutub, dan
3. Mengamati perubahan muka laut rata-rata (MSL) global.

Satelit altimetri bermanfaat untuk aplikasi geodetik dan oseanografi, seperti pengamatan topografi permukaan laut, topografi permukaan es, penentuan karakteristik arus *eddy*, studi pasang surut lepas pantai, studi fenomena *El Nino* dan *La Nina* dan lain sebagainya (Abidin, 2001). Berdasarkan manfaat tersebut, data hasil pengamatan satelit altimetri dapat digunakan untuk pemodelan dan analisis arus geostropik yang merupakan arus yang dipengaruhi oleh gradien tekanan horizontal dan gaya *coriolis* (Brown J dkk, 1989).

Arus geostropik dapat digunakan untuk mendeteksi dan menganalisis munculnya beberapa fenomena di laut lepas, antara lain arus *eddy*, *upwelling* dan *downwelling*. Pemanfaatan arus geostropik lebih lanjut dapat dimaksimalkan di sektor perikanan, yakni mendeteksi zona yang berpotensi dalam penangkapan ikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola arus geostropik yang dibentuk melalui perhitungan SLA. Pola arus geostropik yang telah

terbentuk nantinya akan digunakan untuk identifikasi area yang terjadi *upwelling*.

I.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Bagaimanakah analisa hasil pola arus geostropik di perairan Samudera Hindia pada tahun 1993-2015?
2. Bagaimanakah keterkaitan antara fenomena arus geostropik di perairan Samudera Hindia dengan fenomena *upwelling* ?
3. Bagaimanakah identifikasi area *upwelling* di perairan Samudera Hindia?

I.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

I.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Pola arus geostropik bulanan di wilayah perairan Samudera Hindia menggunakan data SLA dan arus AVISO pada tahun 1993-2015, menggunakan bahasa pemrograman IDL untuk pengolahan data SLA dan SeaDAS untuk pengolahan data arus AVISO.
2. Keterkaitan antara pola arus geostropik berdasarkan perhitungan SLA dan pola arus yang terbentuk dari data AVISO dengan melihat kesesuaian pola arus secara visual serta dibuktikan dengan uji statistik.
3. Identifikasi area yang mengalami fenomena *upwelling* di perairan Samudera Hindia dengan melihat pola arus yang terbentuk dari perhitungan data SLA.

I.3.2 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi fenomena *upwelling* menggunakan pola arus geostropik yang dibentuk dari data satelit altimetri di perairan Samudera Hindia pada tahun 1993-2015.

I.4. Ruang Lingkup Penelitian

Penulisan tugas akhir ini memiliki ruang lingkup sebagai berikut:

1. Daerah penelitian meliputi perairan Samudera Hindia bagian selatan Jawa hingga selatan Sumatera dengan letak geografis terletak diantara 3° LS - 10° LS dan 95° BT- 115° BT.
2. Pola arus laut yang dianalisa adalah arus geostropik di perairan Samudera Hindia bagian selatan Jawa.
3. Hasil pola arus geostropik ini nantinya digunakan untuk menganalisa fenomena *upwelling* di perairan Samudera Hindia bagian selatan Jawa.
4. Data yang digunakan adalah data *Sea level Anomaly* satelit Altimetri periode 1993-2015. Data yang digunakan untuk validasi nantinya adalah data arus geostropik dari AVISO.

I.5. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan bahasa pemrograman IDL dan analisis hasil pengolahan tersebut. Analisis yang diteliti yakni kesesuaian pola arus geostropik yang terbentuk dari pengolahan data SLA (*Sea Level Anomaly*) dengan pola arus geostropik dari AVISO. Pola arus geostropik yang telah terbentuk nantinya akan digunakan untuk identifikasi fenomena *upwelling* yang terjadi di Samudera Hindia. Kegiatan rencana penelitian melalui sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pelaksanaan penelitian yang pertama yakni mengumpulkan literatur yang berkaitan dengan tema penelitian untuk dijadikan sebagai referensi dan sumber informasi terhadap penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya

2. Pengolahan data

Tahapan pengolahan data ini terbagi lagi menjadi beberapa tahapan, yakni tahap unduh data, perhitungan kecepatan arus, *compositing* data yang dilakukan dengan bahasa pemrograman IDL dengan membuat skrip bahasa pemrograman. *Compositing* yang dilakukan untuk menguatkan sinyal data-data harian kemudian rata-rata terhadap data tersebut menggabungkan data dari tahun 1993-2015 menjadi data bulanan dan musiman untuk nantinya dibuat pola arus geostropik yang terjadi di area penelitian.

Data arus yang berasal dari AVISO juga dilakukan *compositing* data menjadi data bulanan dan tahunan. Proses *compositing* data arus ini menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dengan sebelumnya dilakukan ekstrak data di *SeaDAS* terlebih dahulu.

Data yang telah selesai diolah menggunakan bahasa pemrograman IDL, akan menghasilkan nilai kecepatan u dan v , nilai ini selanjutnya akan ditampilkan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.4 yang akan membentuk pola arus geostropik. Pola arus geostropik telah terbentuk, dilakukan analisa secara kualitatif setiap musim timur dan musim barat. Berdasarkan analisa tiap musim ini dapat diketahui pada musim apa fenomena *upwelling* paling dominan terjadi.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian arus geostropik untuk identifikasi *upwelling* ini, lokasi yang diambil yakni mengacu pada studi literatur yang mengindikasikan besarnya kemungkinan terjadi fenomena *upwelling*. Studi kasus lokasi penelitian di perairan selatan Pulau Jawa hingga dengan letak geografis terletak diantara 3° LS - 10° LS dan 95° BT- 112° BT.



Gambar 1 Area cakupan penelitian (Google Earth, 2017)

Wilayah perairan barat Sumatera dan selatan Jawa merupakan perairan yang unik karena letak geografisnya yang terletak di antara benua Asia dan Australia. Di wilayah ini terjadi suatu sistem pola angin yang disebut sistem angin muson Australia-Asia. Terjadinya angin muson ini karena terjadi perbedaan tekanan udara antara massa Benua Asia dan Australia (Wilopo, 2005).

Letak geografis perairan selatan Jawa dan barat Sumatera yang berada pada sistem angin muson menyebabkan kondisi oseanografis perairan ini dipengaruhi sistem angin muson (Purba, Natih, dan Naulita 1997), serta dipengaruhi oleh perubahan iklim global seperti *El Nino* dan *Indian Ocean Dipole Mode*. Selain itu perairan selatan Jawa juga dipengaruhi oleh aliran massa air yang masuk dari Samudera Pasifik Tropis Barat (5° LU) melalui perairan Indonesia ke Samudera Hindia (12° LS) yang dikenal dengan *Indonesian Throughflow* (ITF) atau Arus Lintas Indonesia (ARLINDO).

II.2 Satelit Altimetri

Satelit altimetri merupakan suatu teknologi penginderaan jauh dalam pemantauan fenomena dan dinamika lautan secara global. Kajian mengenai satelit altimetri telah banyak dilakukan dalam penelitian, seperti arus, *mean sea level*, *sea level change*, *eddy*, *El Nino* dan kajian lainnya (Handoko, 2004).

Satelit altimetri dilengkapi dengan pemancar pulsa radar (*transmitter*/penerima pulsa radar yang sensitif (*receiver*), serta jam berakurasi tinggi. Pada sistem ini, altimeter radar yang dibawa oleh satelit memancarkan pulsa-pulsa gelombang elektromagnetik (radar) ke permukaan laut. Pulsa-pulsa tersebut dipantulkan balik oleh permukaan laut dan diterima kembali oleh satelit.



Gambar 2 Prinsip satelit altimetri (Abidin, 2001)

Informasi utama yang ingin ditentukan dengan satelit altimetri adalah topografi dari muka laut. Hal ini dilakukan dengan mengukur ketinggian satelit di atas permukaan laut (a) dengan

menggunakan waktu tempuh (Δt) dari pulsa radar yang dikirimkan ke permukaan laut dan dipantulkan balik ke satelit.

$$a = c \cdot \Delta t / 2$$

II.3 Sea Surface Height, Sea Surface Topography, dan Sea Surface Anomaly

Sea surface height merupakan tinggi muka laut yang tereferensi pada bidang ellipsoid. Pada saat dilakukan pengukuran yang mengkonversi data tempuh gelombang elektromagnetik menjadi data jarak, akan dihasilkan tinggi satelit di atas permukaan laut. Ketinggian satelit yang telah diketahui diatas bidang ellipsoid maka ketinggian permukaan laut diatas bidang ellipsoid dapat dihitung. Rumus hitungannya secara sederhana dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SSH = H - h$$

Keterangan:

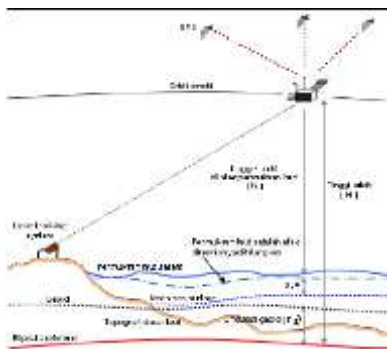
$$SSH = \text{Sea Surface Height}$$

$$H = \text{tinggi satelit diatas bidang ellipsoid}$$

$$h = \text{jarak satelit dengan permukaan laut sesaat}$$

Sea Surface Topography merupakan tinggi muka laut yang tereferensi pada bidang geoid atau muka laut rata-rata. Data jarak dari hasil pengukuran satelit altimetri maka selanjutnya topografi muka laut dapat ditentukan.

Sea Level Anomaly atau anomali tinggi muka laut adalah besarnya penyimpangan yang terjadi terhadap kondisi rata-rata tinggi muka laut dimana efek seperti pasang surut dan pengaruh tekanan atmosfer sudah dihilangkan (Marpaung dan Harsanugraha W, 2014). Penentuan SLA menggunakan satelit altimetri dapat diilustrasikan seperti berikut:



Gambar 3 Penentuan SLA menggunakan satelit altimetri

Gambar 3 menunjukkan pengambilan data SST. Hasil dari pengukuran tersebut dikurangi dengan kesalahan dan bias komponen dinamik sehingga menghasilkan nilai Sea Level Anomaly (SLA) yang hanya mengandung komponen statik saja.

Perairan Jawa bagian selatan memiliki karakteristik dalam penyebaran anomali tinggi muka laut. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sartono marpaung dan Wawan Harsanugraha

variabilitas anomali tinggi muka laut menunjukkan bahwa pada bulan Januari, Februari, Maret, November dan Desember anomali di perairan selatan jawa yang mendekati pantai lebih tinggi nilainya dibanding area lepas pantai. Pada bulan Juni hingga Oktober nilai anomali lebih tinggi justru terjadi di wilayah perairan lepas dibandingkan area dekat pantai.

Terbentuknya siklus perubahan anomali ini berkaitan dengan fenomena *upwelling* dan *downwelling*. Fenomena ini lebih kuat di perairan bagian selatan Jawa dibandingkan di bagian utara Jawa. Hal ini diduga akibat pengaruh dari posisi geografis kedua perairan. Perairan bagian selatan terdapat di laut terbuka dengan pengaruh sirkulasi dari samudera Hindia sedangkan perairan bagian utara terletak di laut tertutup.

II.4 Arus Geostropik

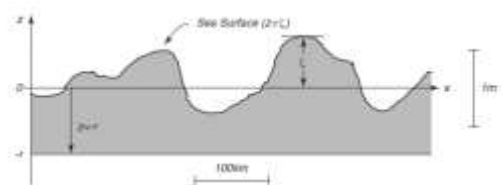
Wibisono (2005) menyatakan bahwa arus geostropik timbul akibat perbedaan densitas. Arus ini merupakan salah satu komponen utama dari arus permukaan laut dan merupakan fungsi dari tekanan angin, tekanan pasang surut, gravitasi, dan rotasi bumi. Di wilayah ekuator, efek gaya *coriolis* menghilang dan tidak ada keseimbangan geostropik. Arus geostropik berkaitan dengan kelerengan (*slope*) paras laut, arus ini tidak dipengaruhi oleh pergerakan angin (gesekan antara angin dan udara), sehingga arus geostropik digolongkan ke dalam arus tanpa gesekan (Pick dan Picard, 1983).

Didalam kolom air/lapisan lautan yang jauh dari permukaan dan dasar laut, untuk jarak horizontal yang melebihi beberapa puluh kilometer, gradien tekanan horizontal hampir mencapai keseimbangan dengan gaya *coriolis*. Keseimbangan ini sering disebut dengan keseimbangan geostropik.

Gaya dominan yang berperan pada arah vertikal adalah gradien tekanan vertikal dan massa air. Tekanan pada setiap titik di kolom air disebabkan oleh pengaruh seluruh berat air laut pada kolom air tersebut. Gaya dominan pada arah horizontal merupakan gradien tekanan dan gaya *Coriolis* (Stewart, 2008)

II.5 Arus Geostropik pada Altimetri

Pendekatan geostropik pada $z = 0$ mengarah ke hubungan yang sangat sederhana, permukaan arus geostropik sebanding dengan permukaan kelerengan. Pertimbangan permukaan tepat di bawah permukaan laut, misalkan dua meter dibawah permukaan laut, pada $z = -r$



Gambar 4 Ilustrasi untuk menghitung tekanan di bawah laut (Stewart 2008)

Tekanan yang terbentuk pada suatu *level surface* tertentu dirumuskan menjadi:

$$p = \rho g (\xi + r)$$

Diasumsikan bahwa ρ dan g memiliki nilai yang konstan pada beberapa meter dari permukaan laut. Selanjutnya substitusikan rumus diatas ke persamaan berikut:

$$u = -\frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \quad v = \frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

Komponen u_s dan v_s dari permukaan arus geostropik juga dipertimbangkan, maka persamaan menjadi:

$$u_s = -\frac{g}{f} \frac{\partial \xi}{\partial y}, \quad v_s = \frac{g}{f} \frac{\partial \xi}{\partial x}$$

Dimana g adalah gravitasi, f adalah parameter *coriolis*, dan ξ merupakan tinggi permukaan laut diatas *level surface* (Stewart, 2008)

II.6 Arus Eddy

Eddy adalah pusaran massa air di laut yang dapat terbentuk di wilayah arus samudera. *Eddy* muncul akibat adanya dorongan arus yang terhalang oleh topografi pulau sehingga terbentuk suatu pusaran besar massa air.

Menurut Martono (2008a), gerakan *eddy* ada dua macam yaitu secara siklonik (searah jarum jam di belahan bumi selatan) maupun antisiklonik (berlawanan arah jarum jam di belahan bumi selatan). Arus *eddy* dapat menyebabkan *upwelling* maupun *downwelling* sesuai dengan arah putarannya (Martono dkk, 2009).

Arah gerakan arus *eddy* memiliki dampak yang berbeda antara di belahan bumi utara dan belahan bumi selatan. Di belahan bumi utara, *eddy* akan menyebabkan *upwelling* jika bergerak berlawanan arah jarum jam, dan menyebabkan *downwelling* jika bergerak searah jarum jam. Sebaliknya, di belahan bumi selatan, jika *eddy* bergerak searah jarum jam maka akan menyebabkan *upwelling*, dan jika bergerak berlawanan arah jarum jam maka akan menyebabkan *downwelling* (Stewart, 2008).

II.7 Upwelling

Upwelling didefinisikan sebagai fenomena naiknya massa air yang dingin dan berat serta kaya zat hara dari lapisan yang lebih dalam ke lapisan atas atau menuju permukaan. Massa air yang berasal dari lapisan dalam akan menggantikan kekosongan tempat aliran lapisan permukaan air yang menjauhi pantai (Hutabarat dan Evans, 2008).

Upwelling yang terjadi di laut lepas sering kali terjadi di area khatulistiwa, dimana angin pasat bertiup sepanjang tahun. Kondisi tersebut menyebabkan area divergen menjadi semakin kuat, sehingga lapisan dibawahnya menjadi naik ke permukaan. Keadaan pada daerah divergen tersebut menimbulkan kekosongan dan hal ini akan mengakibatkan lapisan air yang dibawahnya akan naik ke permukaan.

III. Metode Penelitian

III.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

a. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Data anomali tinggi muka laut

Data anomali tinggi muka laut yang didapat dari seluruh misi satelit altimetri yang disediakan oleh *Web Copernicus* dengan lama pengamatan tahun 1993-2015. Data ini diproses dari seluruh misi satelit altimetri, sistem ini menghasilkan 2 komponen data yakni *Near Real Time* (NRT) dan *Delayed Time* (DT).

Penelitian ini menggunakan jenis data DT karena mempertimbangkan kualitas produk SLA (Mertz dkk, 2016). Jenis data DT lebih presisi dibanding dengan data NRT karena pemrosesan data DT dapat dilakukan komputasi secara optimal dengan jangka waktu 6 minggu sebelum dan sesudah waktu perekaman data. Sedangkan pada data NRT, tidak tersedia data 6 minggu setelah perekaman data, sehingga proses komputasi tidak berjalan secara optimal.

2. Data arus geostropik AVISO

Data arus geostropik dari AVISO dengan lama pengamatan tahun 1993-2015 yang digunakan untuk data pembandingan pola arus yang terbentuk dari perhitungan SLA.

Produk SLA dan arus ini tersedia dalam format NetCDF. Format NetCDF menampilkan data dalam bentuk *array* dan penyimpanan data yang praktis. Penyimpanan data dalam format NetCDF juga merupakan salah satu format yang independen dalam merepresentasikan data sains

b. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 2 aspek, yakni perangkat keras dan perangkat lunak.

1. Perangkat keras

Laptop Asus, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Processor : Intel® Core™ i3

Kapasitas RAM : 4.00 GB

System Type : 64 bit

Sistem Operasi : Microsoft Windows 8 Enterprise

2. Perangkat lunak

a. Bahasa pemrograman IDL 8.3 digunakan untuk mengolah data SLA menjadi tampilan pola arus geostropik bulanan.

b. Perangkat lunak SeaDAS digunakan untuk mengekstrak data arus AVISO menjadi data harian sebelum dilakukan perhitungan di Microsoft Excel.

c. Perangkat lunak ArcGIS 10.4 digunakan untuk proses *layout* peta serta menampilkan pola arus geostropik dari AVISO.

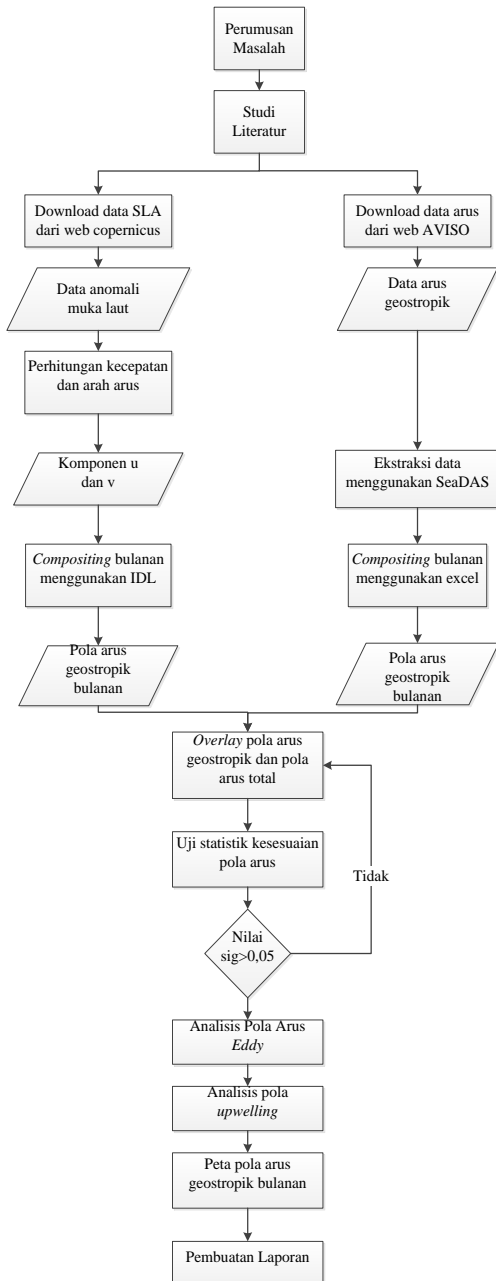
d. Microsoft Office 2013 yang meliputi Microsoft word untuk proses pembuatan

laporan tugas akhir dan Microsoft excel untuk melakukan perhitungan rata-rata arus AVISO menjadi nilai u dan v bulanan.

- e. Microsoft Visio 2010 digunakan untuk membuat digram alir

III.2. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian dari perumusan masalah hingga menjadi peta pola arus geostropik dapat dilihat pada Gambar 5 berikut:



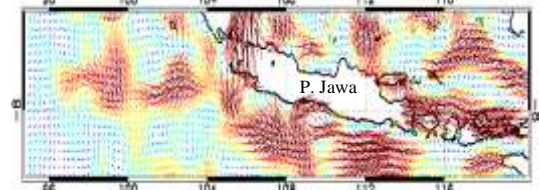
Gambar 5 Diagram alir Penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

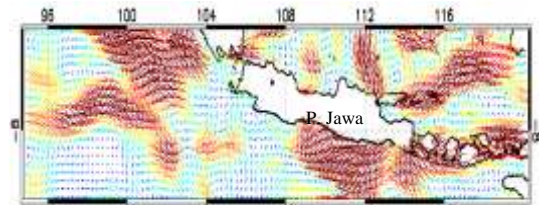
IV.1. Hasil Pola Arus Perhitungan SLA

Pola arus geostropik yang terbentuk dibuat tiap bulan selama jangka waktu penelitian, berdasarkan pola arus yang terbentuk ini akan terlihat

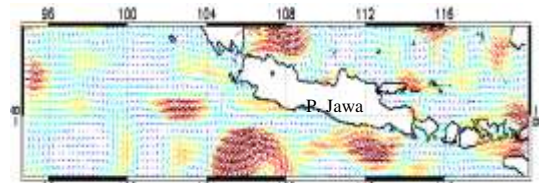
adanya atau tidak arus *eddy* yang berpengaruh dengan fenomena *upwelling* dan *downwelling*.



Gambar 6 Pola Arus Desember 2015



Gambar 7 Pola Arus Januari 2015



Gambar 8 Pola Arus Februari 2015

Vektor arus yang terbentuk memiliki nilai dan arah, pada musim barat arah arus bergerak dari Benua Asia menuju Benua Australia, dengan nilai kecepatan arus berkisar dari 0-0,5 m/s dengan dibuat rentang warna seperti berikut.



Gambar 9 Skala bar kecepatan arus.

Hasil kecepatan arus harian juga didapatkan dari perhitungan SLA menggunakan bahasa pemrograman IDL, dari data harian ini dilakukan rata-rata untuk mendapat nilai kecepatan bulanan serta arah vektor.

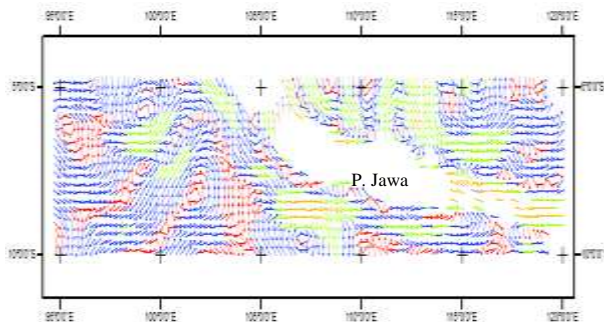
Tabel 1 Kecepatan dan arah arus perhitungan SLA 2015

Bulan	V (m/s)	sudut olah (°)
1	0,411599	206,5494
2	0,353121	175,7009
3	0,32734	196,9635
4	0,329161	100,1366
5	0,316529	287,1497
6	0,297368	33,49474
7	0,326346	297,3198
8	0,328646	331,0035
9	0,350577	296,1577
10	0,317556	6,771962
11	0,277923	66,08709
12	0,363377	96,23727

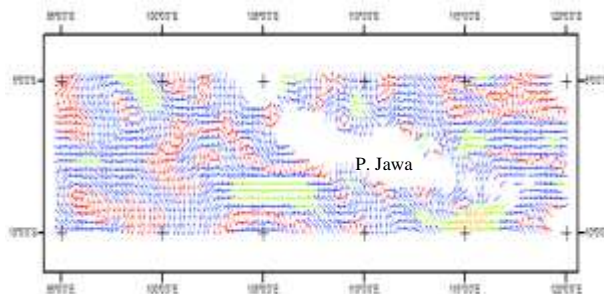
Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui jika nilai kecepatan arus rata rata tertinggi terjadi di bulan Januari sebesar 0,411599 m/s dan diikuti dengan bulan Desember sebesar 0,363377 m/s. Kecepatan arus ini nilainya juga dipengaruhi oleh fenomena angin yang terjadi. McPhaden dan Hayes (1991) menyatakan bahwa pergerakan angin akan mempengaruhi karakteristik massa air di laut, salah satunya adalah terjadinya perubahan arah arus permukaan.

IV.2. Hasil pola Arus AVISO

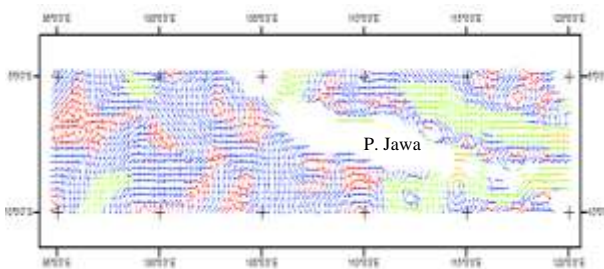
Pola arus gesotropik hasil dari data AVISO digunakan sebagai bahan validasi dari pemodelan arus geostropik yang berasal dari data SLA. Pola arus yang terbentuk berupa tampilan bulanan seperti Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 10 Bulan Desember 2015



Gambar 11 Bulan Januari 2015



Gambar 12 Bulan Februari 2015

Pola arus geostropik dari data AVISO tersebut terbagi menjadi 5 kelas berdasarkan kecepatan arusnya, berikut merupakan range kecepatan yang dibuat.

- 0-0,1 m/s
- 0,100001-0,3 m/s
- 0,300001-0,5 m/s
- 0,500001-0,7 m/s
- 0,700001-1 m/s

Gambar 13 Rentang kecepatan arus

Pengkelasan ini mengacu pada pembagian kelas pada hasil pengolahan IDL. Nilai kecepatan data harian u dan v dilakukan perhitungan rata-rata untuk mendapat kecepatan arus bulanan. Nilai kecepatan arus yang telah dirata-rata setiap bulan dapat dilihat pada Tabel 2.

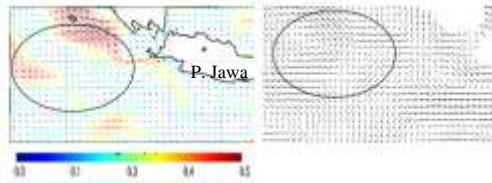
Tabel 2 Kecepatan dan arah arus AVISO 2015

Bulan	V (m/s)	sudut olah (°)
1	0,28856	218,4283
2	0,228372	172,0455
3	0,194548	232,858
4	0,184663	129,1109
5	0,188859	97,79377
6	0,195578	285,8847
7	0,191398	298,4481
8	0,23033	286,1842
9	0,23343	283,2313
10	0,190027	96,30608
11	0,154745	108,5899
12	0,236384	116,7364

Nilai kecepatan rata-rata tertinggi terjadi di bulan Januari dengan kecepatan 0,28856 m/s dan nilai kecepatan terendah terjadi di bulan November yakni sebesar 0,0154745 m/s. Data kecepatan arus dari data SLA dan AVISO dilakukan uji statistik untuk mengetahui seberapa besar kesesuaian pola yang terbentuk, selain dilakukan uji T dilakukan pula analisis secara visual dengan melihat pola arah vektor yang terbentuk.

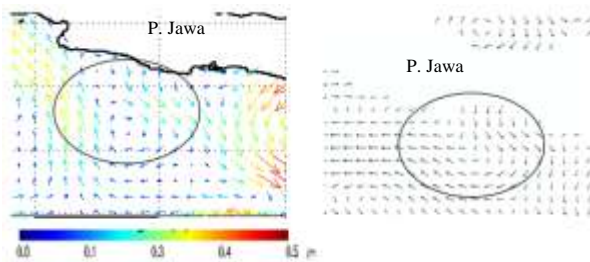
IV.3. Analisis Pola Arus SLA dan AVISO

Pola arus berdasarkan perhitungan SLA yang telah terbentuk kemudian dilakukan analisis kesesuaian dengan pola arus geostropik dari AVISO yang telah dianggap benar. Analisis kesesuaian ini dilakukan secara visual maupun statistik. Analisis secara visual dapat dilakukan dengan melihat pola vektor arus yang terbentuk pada wilayah tertentu, apakah bisa dikatakan serupa/ memiliki pola yang mirip. Secara keseluruhan wilayah pola yang terbentuk tidak 100% sama namun pada area tertentu akan terbentuk arah/ pola vektor yang mirip/sama. Wilayah perairan barat selat sunda terjadi pusaran arus eddy yang berlawanan arah jarum jam pada pola arus perhitungan SLA, kemudian di pola arus geostropik AVISO jika dilihat juga terjadi pusaran arus eddy di wilayah yang sama, arah vektor yang terbentuk juga searah.



Gambar 14 Pusaran arus eddy di kedua pola arus

Pola arus yang serupa juga terjadi di wilayah selatan Jawa bagian barat. Pola arus geostropik SLA di wilayah tersebut terjadi pusaran arus *eddy* dengan arah vektor searah jarum jam namun pada pola arus geostropik AVISO tidak menggambarkan adanya pusaran arus *eddy*, namun arah vektor yang terbentuk sama.



Gambar 15 Arah vektor antara kedua pola arus

Uji statistik juga dilakukan pada kedua pola arus disamping analisis kesesuaian secara visual, sehingga dapat diketahui nilai hubungan yang terjadi antara kedua pola arus dalam angka. Uji statistik ini mengambil dua sampel tahun yang berbeda dengan jarak tahun yang terbilang jauh, yakni tahun 1993 dengan tahun 2015. Uji statistik yang dilakukan yakni uji normalitas dan uji T sampel tidak berpasangan, pemilihan uji T sampel tidak berpasangan ini dipilih karena antara kedua pola arus tidak saling bergantung/tidak saling berhubungan.

Tabel 3 Hasil uji normalitas bulan Januari 1993

grup1		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Januari	arus sla	0,095	31	0,200 [*]	0,938	31	0,074
	arus aviso	0,155	31	0,055	0,948	31	0,138

Berdasarkan hasil yang didapat nilai signifikansi sebesar 0,074 untuk arus perhitungan SLA dan 0,138 untuk arus hasil dari AVISO. Nilai signifikansi ini dianggap telah memenuhi ketentuan untuk lanjut ke proses uji T dimana nilai minimal yang didapat harus lebih besar dari 0,05 agar hipotesis H_0 diterima.

Nilai signifikansi tersebut menunjukkan jika data penelitian dianggap telah tersebar secara normal jika dibandingkan dengan data normal baku. Nilai df merupakan derajat kebebasan menunjukkan jumlah data yang diamati, dimana dalam uji normalitas pada Tabel 3 berjumlah 31 karena jumlah hari dalam bulan Januari sebesar 31.

Tabel 4 Hasil uji normalitas bulan Januari 2015

grup1		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Januari	arus aviso	0,108	31	0,200 [*]	0,979	31	0,794
	arus sla	0,164	31	0,032	0,927	31	0,036

Tabel 4 menunjukkan hasil uji normalitas pada bulan Januari tahun 2015, nilai signifikansi yang dihasilkan telah memenuhi syarat untuk lanjut ke uji T yakni 0,794 untuk arus AVISO dan 0,036 untuk arus perhitungan SLA nilai signifikansi ini didapat lebih dari 0,05 yang artinya data yang diteliti terdistribusi normal dimana tidak ada nilai yang melonjak naik ataupun turun secara tiba tiba. Hasil data yang telah dilakukan uji normalitas ini selanjutnya dilakukan uji T untuk mengetahui apakah ada atau tidak perbedaan nilai arus perhitungan SLA dengan arus AVISO.

IV.4 Uji T Sampel Bebas

Kelompok data yang dibandingkan dalam uji statistik yakni nilai kecepatan arus u dan v dari perhitungan SLA dengan nilai arus u dan v dari data AVISO. Berdasarkan hasil uji T didapatkan hasil seperti berikut.

Tabel 5 Uji T Bulan Januari 1993

		Januari	
		Equal variances assumed	Equal variances not assumed
Levene's Test for Equality of Variances	F	1,761	
	Sig.	0,189	
t-test for Equality of Means	T	-18,974	-18,974
	Df	60	57,295
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000

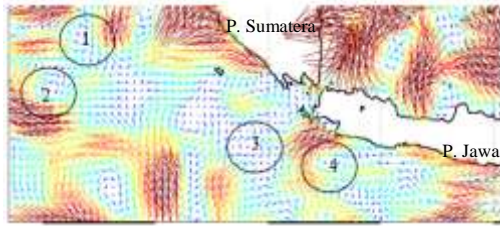
Berdasarkan tabel didapatkan hasil signifikansi sebesar 0,189 dimana nilai ini memiliki nilai lebih besar dari 0,05 sehingga disimpulkan tidak terdapat perbedaan varians antara kedua buah data. Nilai T tabel didapatkan sebesar 1,67065 sedangkan T hitung didapatkan sebesar -18,974, sehingga $T_{hitung} < T_{tabel}$. Hasil ini menunjukkan jika tidak ada perbedaan yang signifikan antara data arus perhitungan SLA dengan data arus AVISO atau dapat dikatakan jika pola arus geostropik dari hitungan SLA dapat dikatakan benar dan bisa digunakan untuk analisis *upwelling*.

IV.5. Analisis Upwelling

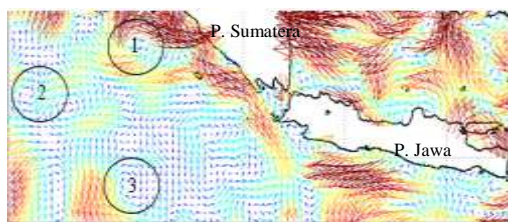
Analisis *upwelling* ini dibedakan menjadi analisis pada musim timur dan musim barat, hal ini didasarkan pada sirkulasi massa air perairan Indonesia yang berbeda antara musim barat dan musim timur. Perairan Indonesia merupakan perairan di mana terjadi lintasan arus yang membawa massa air dari Lautan Pasifik ke Lautan Hindia yang biasanya disebut Arus Lintas Indonesia/Arlindo (Fieux, Molcard, dan Ilahude 1996).

Arus lintas Indonesia selama musim timur (Juni-Agustus) umumnya lebih kuat dari pada di musim barat (Desember-Februari). Berdasarkan pendapat para ahli, munculnya fenomena arlindo dapat memicu munculnya arus *eddy* yang digunakan

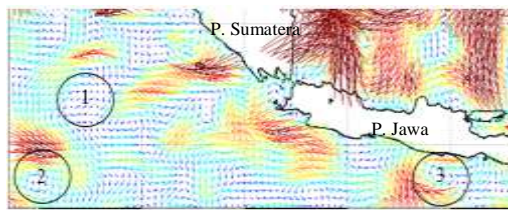
untuk identifikasi *upwelling*. Periode Juni-Agustus yang merupakan musim timur dianggap paling berpotensi memunculkan fenomena *upwelling*, berdasarkan hasil pola arus geostropik perhitungan SLA didapatkan:



Gambar 16 Pola arus Juni 2000



Gambar 17 Pola arus Juni 2001



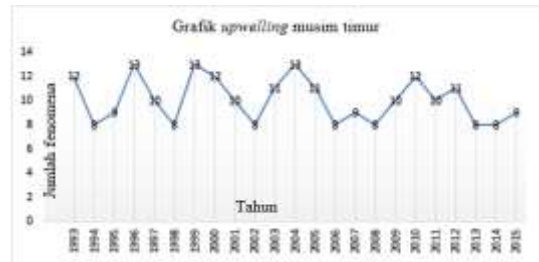
Gambar 18 Pola arus Juni 2002

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui pusaran arus *eddy* pada musim timur yang terbentuk, jumlah fenomena *upwelling* pada musim timur terhitung lebih banyak dibanding dengan bulan/musim lainnya. *Upwelling* terjadi berjumlah 3-4 fenomena dalam area kajian penelitian. Tabel 6 menunjukkan jumlah fenomena *upwelling* yang terjadi selama 22 tahun pengamatan.

Tabel 6 Jumlah fenomena *upwelling* musim timur

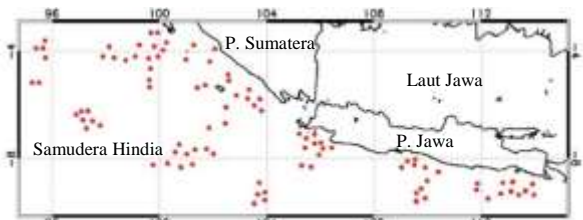
Tahun	Upwelling Juni	Upwelling Juli	Upwelling Agustus
1993	4	5	3
1994	3	3	2
1995	4	2	3
1996	3	4	6
1997	3	4	3
1998	3	3	2
1999	5	3	5
2000	4	4	4
2001	3	4	3
2002	3	2	3
2003	3	4	4
2004	4	5	4
2005	3	5	3
2006	3	3	2
2007	3	3	3
2008	2	3	3
2009	3	3	4
2010	4	5	3
2011	2	4	4
2012	4	4	3
2013	2	3	3
2014	2	3	3
2015	3	3	3

Gambar 19 menunjukkan grafik kejadian *upwelling* selama 23 tahun pengamatan. Fenomena *upwelling* terbanyak terjadi pada tahun 1996, 1999 dan tahun 2004 dengan total *upwelling* sebanyak 13 kejadian. Fenomena *upwelling* terbanyak terjadi di bulan Juli, dimana bulan ini merupakan puncak dari musim timur dengan total kejadian sebanyak 82 fenomena. Pada bulan Juni tercatat terjadi *upwelling* sebanyak 73 kejadian dan bulan Agustus sebanyak 76 kejadian, jumlah ini lebih sedikit dibanding bulan Juli karena bulan tersebut telah mendekati musim peralihan.



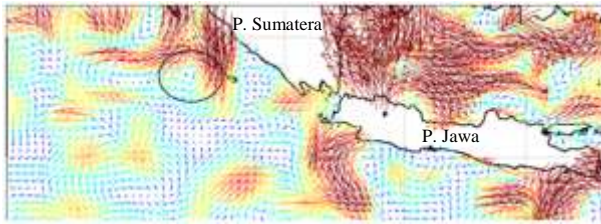
Gambar 19 Grafik *upwelling* musim timur

Analisis wilayah terjadinya fenomena *upwelling* dilakukan pada musim timur sejak tahun 1993-2002 seperti pada Gambar 20. Terlihat jika fenomena *upwelling* terjadi secara berulang di wilayah tertentu. Lokasi munculnya *upwelling* yang pertama yakni di perairan selatan Jawa Timur, dengan 11 fenomena berada di koordinat bujur 112°-114° BT lintang 8,5°-9,5° LS. Perairan selatan Jawa Barat mendekati Selat Sunda dengan 11 fenomena berada pada koordinat 105°-106° BT dan lintang 6°-8° LS. Wilayah perairan barat Sumatera terjadi banyak fenomena *upwelling* namun, posisi pusaran terlihat lebih menyebar dibanding dengan perairan selatan Jawa. Salah satu posisi pusaran yang tetap terletak di koordinat 97° BT dan 7°LS, terjadi 7 fenomena di wilayah yang berdekatan.

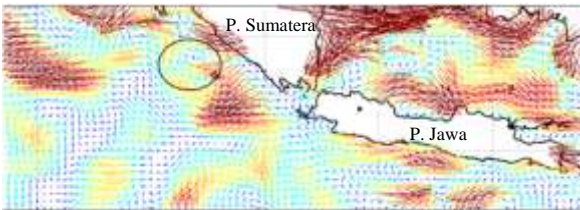


Gambar 20 Titik lokasi terjadinya *upwelling* pada musim timur

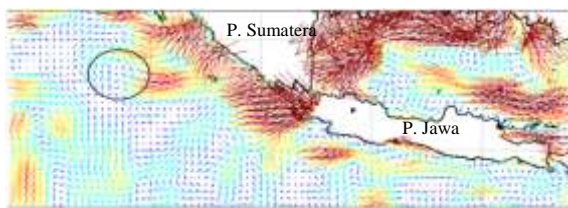
Fenomena *upwelling* yang terjadi di musim barat terhitung lebih lemah dibanding dengan musim timur, karena secara keseluruhan *upwelling* merupakan respon terhadap bertiupnya angin muson tenggara (Susanto, 2001). Pola arus yang terbentuk selama musim barat dapat dilihat pada Gambar 21, Gambar 22, dan Gambar 23.



Gambar 21 Pola arus Desember 2000



Gambar 22 Pola arus Desember 2001



Gambar 23 Pola arus Desember 2002

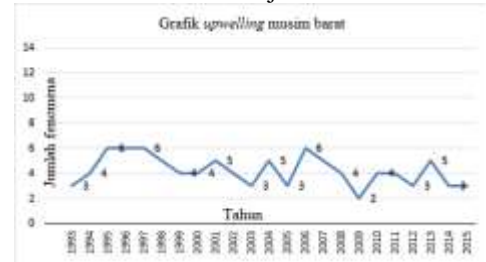
Fenomena yang terjadi berkisar dari 0-2 kejadian. Lokasi *upwelling* didominasi terjadi di kawasan perairan barat Sumatra bagian bawah. Tabel menunjukkan jumlah fenomena *upwelling* yang terjadi di musim barat selama 22 tahun pengamatan.

Tabel 7 Jumlah fenomena *upwelling* musim barat

Tahun	<i>Upwelling</i> Desember	<i>Upwelling</i> Januari	<i>Upwelling</i> Februari
1993	0	2	1
1994	1	2	1
1995	1	3	2
1996	1	2	3
1997	1	3	2
1998	1	2	2
1999	1	2	1
2000	1	1	2
2001	1	3	1
2002	1	1	2
2003	1	0	2
2004	2	0	3
2005	1	1	1
2006	2	2	2
2007	1	2	2
2008	2	1	1
2009	1	0	1
2010	0	2	2
2011	1	1	2
2012	1	0	2
2013	2	1	2
2014	0	2	1
2015	1	1	1

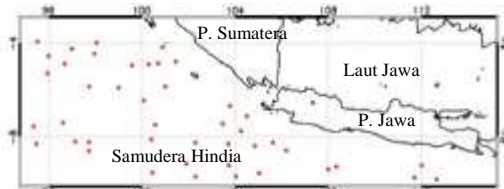
Total kejadian *upwelling* yang terukur sejak tahun 1993 pada musim barat tertinggi terjadi di bulan Februari dengan jumlah 39 kejadian, diikuti bulan Januari sebanyak 34 kejadian, dan terendah pada bulan Desember dengan total kejadian 24. Tahun terendah fenomena *upwelling* terjadi di tahun 2009

dengan 2 kejadian dan tertinggi di tahun 1995, 1996, 1997 dan 2006 sebanyak 6 kejadian. Rentang kejadian berkisar dari 2-6 kejadian.



Gambar 24 Grafik *upwelling* musim barat

Analisis wilayah terjadinya *upwelling* selama 10 tahun di musim barat terlihat tidak terlalu membentuk pola, titik merah yang melambangkan *upwelling* terletak menyebar di seluruh wilayah, namun posisi *upwelling* lebih dominan berada di perairan barat Sumatera dengan rentang koordinat 95,5°-106° BT dan 4°-10° LS.



Gambar 25 Titik lokasi terjadinya *upwelling* pada musim barat

V Penutup

V.I Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian analisis pola arus geostropik menggunakan data satelit altimetri untuk identifikasi *upwelling* sebagai berikut:

1. Pola arus geostropik yang terbentuk dianalisa menurut musim timur dan musim barat. Berdasarkan pola yang terbentuk pada musim timur, arah vektor dominan mengarah dari benua Australia menuju Benua Asia, hal ini dipengaruhi oleh efek angin muson timur. Arah vektor pada musim barat dominan bergerak dari Benua Asia menuju Benua Australia, hal ini dipengaruhi oleh angin muson barat. Hasil uji statistik pola arus geostropik hasil perhitungan SLA dibandingkan dengan pola arus hasil dari AVISO, dengan uji statistik T didapat jika nilai signifikansi antara kedua data kecepatan arus sebesar 0,813 dan 0,189 dengan nilai $T_{hitung} < T_{tabel}$ yang menunjukkan jika tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua data tersebut.
2. Berdasarkan hasil analisis pola arus geostropik hasil perhitungan SLA diketahui jika pusaran arus *eddy* yang terbentuk mayoritas terlihat pada musim timur dengan frekuensi 3-5 kejadian arus *eddy* setiap bulan, sedangkan pada musim barat terlihat arus *eddy* yang terbentuk sekitar 0-3 kejadian setiap bulan. Intensitas fenomena *upwelling*

terjadi dipengaruhi oleh kecepatan angin yang berhembus pada tiap musim.

- Analisis *upwelling* dibagi menjadi analisis pada musim timur dan barat, pada musim timur tercatat terjadi 231 fenomena selama 23 tahun pengamatan dengan rincian 82 fenomena terlihat di bulan Juli, 73 fenomena terjadi di bulan Juni dan 76 fenomena terjadi di bulan Agustus. Analisis pada musim barat (Desember, Januari, Februari) tercatat terjadi 97 fenomena selama 23 tahun pengamatan dengan rincian 24 fenomena terjadi di bulan Desember, 34 fenomena terjadi di bulan Januari dan 39 fenomena terjadi di bulan Februari. *Upwelling* yang terukur dominan terjadi di wilayah perairan selatan Sumatera pada koordinat 96° - $101,5^{\circ}$ BT dan 5° - 8° LS.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

- Penelitian selanjutnya diharapkan memperkuat studi literatur atau kajian terhadap penelitian sebelumnya untuk memperkuat hipotesis dan tahapan penelitian.
- Mempertimbangkan kembali jangka waktu penelitian untuk mempercepat proses pengolahan data.
- Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menambahkan data dan parameter lainnya agar didapatkan hasil penelitian yang valid.
- Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan anomali kejadian alam yang mungkin terjadi di area kajian penelitian, seperti halnya fenomena El Nino dan La Nina yang dapat mempengaruhi hasil penelitian.

Daftar Pustaka

- Abidin, Hasanuddin. 2001. *Geodesi Satelit*. vol.1. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Brown J. 1989. *Ocean Circulation*. New York: Pergamon Press.
- Fieux, M, R Molcard, and A.G. Ilahude. 1996. *Geostrophic Transport of the Pacific-Indian Oceans Throughflow*. J. Geophys
- Google. Earth. 2017 *Selatan Jawa*. earth.google.com, accessed January 7, 2017
- Handoko, Eko Y. 2004. *Satelit Altimetri Dan Aplikasinya Dalam Bidang Kelautan*
- Hidayat, Anwar. 2012. *Jenis Data Dan Pemilihan Analisis Statistik*. *Statistikian*. statistikian.com/2012/07/jenis-data-dan-pemilihan-analisis-statistik.html, diakses pada 5 Juli 2017.
- Hutabarat, dan Evans. 2008. *Pengantar Oseanografi*. Jakarta: UI Press

Lilesand, T.M., and Kiefer R.W. 1985. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John

Marpaung, dan Harsanugraha W. 2014. *Karakteristik Sebaran Anomali Tinggi Muka Laut Di Perairan Bagian Selatan Dan Utara Pulau Jawa*. Jakarta: Seminar Nasional Penginderaan Jauh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Martono, Halimurrahman, R Komarudin, dkk.2009. *Karakteristik Dan Variabilitas Bulanan Angin Permukaan Di Perairan Samudera Hindia*. Makara Sains.

Pick, dan Picard. 1983. *Introductory Dynamical Oceanography*. Oxford: Pergamon Press.

Purba, I M Natih, dan Yuli Naulita. 1997. *Karakteristik dan Sirkulasi Massa Air di Perairan Selatan Jawa-Sumbawa*. Bogor: Fakultas Perikanan IPB.

Stewart. 2008. *Introduction to Physical Oceanography*. Texas A & M University: Departement of oceanography

Susanto dkk 2001. *Upwelling along the Coast Java and Sumatera and its Relation to ENSO*. *Geophysical Research Letter*. 28(8) : 1599 - 1602

Sutanto.1987. *Penginderaan Jauh jilid II*. Yogyakarta:Gadjah Mada University Press

Wilopo. 2005. *Karakteristik Fisik Oseanografi Di Perairan Barat Sumatera Dan Selatan Jawa-Sumbawa Dari Data Satelit Multi Sensor*. IPB: Fakultas Ilmu Perikanan dan Ilmu Kelautan.