

**ANALISIS POLA SEBARAN AREA UPWELLING MENGGUNAKAN
PARAMETER SUHU PERMUKAAN LAUT, KLOOROFIL-A, ANGIN DAN
ARUS SECARA TEMPORAL TAHUN 2003-2016
(Studi Kasus : Laut Banda)**

Ikhlas Ika Putra, Abdi Sukmono, Arwan Putra Wijaya. ^{*)}

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : Ikhlas.ikaputra8@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki wilayah laut terluas di dunia, dengan luas laut mencapai 5,8 juta km². Laut Indonesia memiliki banyak potensi dan sumber daya alam laut yang sangat beragam. Laut Banda merupakan salah satu perairan yang memiliki kekayaan tersebut yang memiliki muatan unsur hara yang melimpah. Sebaran unsur hara tersebut dapat diketahui dengan adanya fenomena *upwelling* di laut Banda. Salah satu cara untuk menganalisis *upwelling* tersebut menggunakan citra *Aqua MODIS* (klorofil-a dan suhu permukaan laut) sebagai parameter *upwelling*, citra *Quicksat* untuk arah dan kecepatan angin, serta data permodelan Aviso untuk pola arus.

Metode pengolahan pada penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman ENVI-IDL untuk mengolah data dari citra *Aqua MODIS* dan citra *Quicksat* dari tahun 2003-2016, serta pengolahan untuk data arus menggunakan SeaDAS dari tahun 2010-2015. Hasil dari pengolahan tersebut nantinya akan didapatkan nilai sebaran dari klorofil-a, suhu permukaan laut, dan angin serta pola arah arus untuk mengidentifikasi *upwelling* dan kriteria *upwelling* yang terjadi setiap musim dalam 14 tahun maupun setiap tahunnya dari tahun 2003-2016. Kemudian dilakukan uji korelasi terhadap parameter klorofil-a, suhu permukaan laut, dan angin untuk mengetahui kekuatan hubungan parameter *upwelling*.

Fenomena *upwelling* yang terjadi di laut Banda terjadi pada musim timur, dimana puncak tertinggi terjadi pada bulan Agustus. Kandungan klorofil-a pada bulan ini mencapai 0,446 mg/m³ seiring dengan meningkatnya kecepatan angin mencapai 6,626 m/s dan suhu permukaan laut menurun sampai nilai 26,818°C dan fenomena *upwelling* di laut Banda ini terjadi setiap tahun dengan pola yang sama. Fenomena *upwelling* yang terjadi di laut Banda dapat diketahui dengan adanya arus eddy di sekitar area tempat terjadinya fenomena ini. Berdasarkan hasil uji korelasi diketahui parameter *upwelling* klorofil-a, suhu permukaan laut, dan angin memiliki hubungan yang kuat dengan nilai korelasi klorofil-a dengan suhu permukaan laut sebesar -0,993 dan klorofil-a dengan angin sebesar 0,951

Kata Kunci : Angin, *Aqua MODIS*, Klorofil-a, Suhu Permukaan Laut, *Upwelling*,

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries with the largest marine area in the world. With a sea area reaches 5.8 million km². Indonesia Sea has many potential and marine natural resources are very diverse. Banda Sea is one of the waters that have such wealth that has abundant nutrient content. The distribution of nutrients can be known by the phenomenon of upwelling at Banda sea. One way to analyze the upwelling uses Aqua MODIS imagery (chlorophyll-a and sea surface temperature) as upwelling parameters, Quicksat image for wind direction and speed, and Aviso modeling data for current patterns.

The method of this research uses ENVI-IDL programming language to process data from Aqua MODIS image and Quicksat image from 2003-2016, and processing for current data using SeaDAS from 2010-2015. From the treatment will be obtained the value of the distribution of chlorophyll-a, sea surface temperature, and wind and flow pattern direction to identify upwelling and upwelling criteria that occur each season in 14 years or every year from 2003-2016. Correlation test of chlorophyll-a, sea surface, and wind to determine the strength of upwelling parameter relationship.

Upwelling phenomenon that occurs in the Banda Sea occurs in the east season, where the highest peak occurs in August. The content of chlorophyll-a this month reached 0.446 mg/m³ as the wind speed reached 6.626 m/s and the sea surface temperature decreased to 26.818 °C and the upwelling phenomenon in Banda sea occurred every year with the same pattern. Then upwelling that occurs in Banda sea can be known by the eddy current around the area where the occurrence of this phenomenon. Based on the correlation test results, the upwelling parameters of chlorophyll-a, sea surface temperature and wind have a strong correlation with correlation value of chlorophyll-a with sea-surface temperature of -0.993 and chlorophyll-a with wind of 0.951

Keywords: *Aqua MODIS, Chlorophyll-a, Sea Surface Temperature, Upwelling, Wind*

^{*)}Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki wilayah laut terluas di dunia. Hal ini menyebabkan Indonesia menjadi negara dengan poros maritim terkuat. Dengan luas laut mencapai 5,8 juta km² dalam UNCLOS 1982, laut Indonesia memiliki banyak keberagaman di masing-masing wilayahnya. Laut Indonesia memiliki banyak potensi dan sumber daya alam laut yang sangat beragam. Hal ini dikarenakan posisi Indonesia yang secara geografis berada antara dua samudra, yaitu samudra Pasifik dan Hindia serta dua benua, yaitu benua Asia dan Australia.

Salah satu potensi di laut Indonesia yaitu banyaknya persebaran keberagaman hayati dan hewani di masing-masing wilayah. Keberagaman tersebut diakibatkan oleh banyaknya muatan unsur hara yang terdapat di wilayah laut. Laut Banda merupakan salah satu perairan yang memiliki kekayaan tersebut. Menurut Edwar dan MS.Tarigan (2003), muatan unsur hara seperti fosfor dan nitrat yang terdapat di laut Banda mencapai 1.492 $\mu\text{g.at/l}$ pada bulan Agustus. Muatan unsur hara yang tinggi dapat merangsang pertumbuhan fitoplankton sebagai pakan alami ikan dengan cepat dan berlimpah sehingga dapat mempengaruhi fluktuasi dan kelimpahan fitoplankton yang ada di perairan. Dengan adanya kelimpahan fitoplankton di laut Banda, kita dapat mengetahui kandungan klorofil yang terdapat di laut tersebut karena pertumbuhan fitoplankton dipengaruhi oleh jumlah kandungan klorofil yang ada di suatu wilayah. Kandungan klorofil ini juga bisa dimanfaatkan untuk menganalisa suatu fenomena di wilayah laut, salah satunya fenomena *upwelling*.

Di berbagai wilayah laut di Indonesia terutama di laut Banda, diperkirakan setiap tahunnya terjadi fenomena *upwelling* dengan berbagai karakteristik dan pola persebarannya. Untuk membuktikan hal tersebut dalam penelitian ini akan di analisa perkembangan dan karakteristik fenomena *upwelling* setiap tahunnya secara bulanan dan rata-rata dalam 14 tahun dari tahun 2003-2016. Untuk mengetahui wilayah *upwelling* di wilayah ini, kita dapat menggunakan metode penginderaan jauh. Salah satunya memanfaatkan citra *Aqua MODIS*.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana nilai sebaran klorofil-a, suhu permukaan laut, dan angin di kawasan laut Banda berdasarkan musiman selama 14 tahun dan musiman setiap tahun ?
2. Bagaimana penetapan kriteria *upwelling* berdasarkan parameter klorofil-a dan SPL di laut Banda secara musiman selama 14 tahun dan musiman setiap tahun?

3. Bagaimana analisa kolerasi spasial dan uji statistik antar parameter suhu permukaan laut, klorofil-a, dan angin berdasarkan musiman 14 tahun?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

A. Tujuan

1. Mengetahui nilai sebaran parameter suhu permukaan laut, klorofil-a, dan angin secara musiman selama 14 tahun dan secara musiman setiap tahun untuk mengidentifikasi area atau kawasan *upwelling* di laut Banda.
2. Mengetahui kriteria *upwelling* yang terjadi di laut Banda baik secara musiman selama 14 tahun dan secara musiman setiap tahunnya.
3. Mengetahui hubungan atau korelasi antar parameter suhu permukaan laut, klorofil-a, dan angin dengan uji statistik maupun secara deskriptif dari visual nilai sebaran parameter tersebut selama 14 tahun.

B. Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Bidang Keilmuan

- a. Memberikan wawasan kepada mahasiswa mengenai aplikasi teknologi penginderaan jauh
- b. Menentukan kriteria *upwelling* di laut Banda berdasarkan konsentrasi klorofil-a dan SPL
- c. Mengidentifikasi kawasan *upwelling* berdasarkan pola musiman 14 tahun dan bulanan setiap tahun berdasarkan variabelitas klorofil-a, SPL, arus, dan angin di perairan laut Banda
- d. Memberikan informasi mengenai hubungan antara variabel klorofil-a, SPL, arus, dan angin sehingga dapat mengidentifikasi adanya *upwelling* berdasarkan variabelitas bulanan dan musiman.
- e. Memberikan informasi analisa mengenai area *upwelling* di laut Banda

2. Bidang Rekayasa

Memberikan informasi mengenai kondisi pola SPL, kecepatan arus, kecepatan angin sebagai data untuk membantu memudahkan dalam *monitoring* perubahan dinamika perairan, sehingga digunakan untuk mengoptimalkan upaya pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya alam di laut Banda.

I.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang akan dibahas tidak terlalu jauh dari kajian masalah, maka dalam penelitian ini terdapat batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan dalam analisa penelitian ini yaitu deskriptif dan statistik yang ditunjukkan untuk menggambarkan fenomena *upwelling* yang berlangsung saat ini dan berlangsung sebelumnya

untuk mendapatkan pola terjadinya *upwelling* di laut Banda

2. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah klorofil-a, SPL, arus, dan angin harian dalam kurun waktu 14 tahun
3. Penelitian ini menganalisa kriteria *upwelling*, pola sabaran area *upwelling*, serta melakukan uji statistik antar parameter berdasarkan bulanan setiap tahunnya dan rata-rata bulanan selama 14 tahun
4. Analisa fenomena *upwelling* hanya dilakukan di sepanjang pinggir pantai di area pulau-pulau yang ada di laut Banda

I.5 Ruang Lingkup Penelitian

1.5.1 Lokasi Penelitian

Wilayah penelitian tugas akhir ini adalah perairan laut Banda dengan koordinat 2° LS sampai 8° LS dan 120° BT sampai 133° BT dapat dilihat pada gambar I-1



Gambar I-1 Wilayah Penelitian, Laut Banda (Peta RBI, 2012)

Peralatan yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah:

1. Perangkat Keras
 - a) Laptop Asus A46C-Intel Core-I3
 - b) Printer Canon IP2800 Series
 - c) Hardisk Eksternal
2. Perangkat Lunak.
 - a) WinSCP
 - b) IDL 8.3
 - c) SeaDAS
 - d) ArcGis 10.2
 - e) SPSS 17
 - f) Microsoft Office Visio 2007
 - g) Microsoft Word 2016
 - h) Microsoft Excel 2016.
3. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini :

Tabel I-1 Data Penelitian

No	Jenis Data	Tahun Akuisisi	Sumber Data	Keterangan
1.	Klorofil-a	2003-2016	podaac.jpl.nasa.gov	Citra Aqua MODIS Level 3
2.	SPL	2003-2016	podaac.jpl.nasa.gov	Citra Aqua MODIS Level 3
3.	Arus	2010-2015	http://motu.aviso.altimetri.fr	Permodelan Analisis AVISO
4.	Angin	2003-2016	podaac.jpl.nasa.gov	Citra Quikscat Level 3
5.	Titik Sebaran ikan dan tangkapan ikan	Bulan Juli-Agustus 2017	PPDPI BPOL online	Peta sebaran tangkapan ikan dan titik sebaran ikan di Maluku dan Sulawesi

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Upwelling

Upwelling merupakan suatu proses naiknya massa air laut dari lapisan dalam laut ke permukaan. Adanya angin yang mendorong lapisan air pada permukaan mengakibatkan kekosongan massa air di bagian atas, akibatnya air yang berasal dari bawah menggantikan kekosongan yang berada di atas. Gerakan naik ini membawa serta air yang suhunya lebih dingin, salinitas tinggi, dan zat-zat hara yang kaya ke permukaan (Nontji, 1993 dalam Putra, 2012). Kejadian *upwelling* pada suatu perairan dapat diidentifikasi dengan melihat berbagai indikator seperti suhu yang lebih rendah dari sekitarnya, salinitas, nutrien, dan klorofil-a yang secara umum lebih tinggi dari daerah sekitarnya (Nontji, 2005)

II.2 Klorofil-a dan Fitoplankton

Klorofil-a merupakan komponen paling penting yang didukung fitoplankton dan tumbuhan air yang mana keduanya merupakan sumber makanan alami bagi ikan. Klorofil-a adalah suatu pigmen aktif dalam sel tumbuhan yang mempunyai peran penting terhadap berlangsungnya proses fotosintesis. Menurut Krismono (2010), klorofil-a suatu perairan dapat digunakan sebagai ukuran produktifitas primer fitoplankton karena pada umumnya dapat dijumpai pada semua jenis fitoplankton.

Dari persebaran konsentrasi klorofil-a di perairan Indonesia diperoleh bahwa konsentrasi klorofil-a tertinggi di jumpai pada muson timur, dimana pada saat tersebut terjadi *upwelling* di beberapa perairan Indonesia di bagian timur. Sedangkan klorofil-a terendah di jumpai pada muson barat laut. Pada saat ini di perairan Indonesia tidak terjadi *upwelling* dalam skala yang besar sehingga nilai konsentrasi nutrien di perairan lebih kecil. Nontji (2005) menyatakan bahwa konsentrasi klorofil-a di perairan Indonesia rata-rata 0,19 (mg/m³) selama musim barat sedangkan 0,21 (mg/m³) selama musim timur

II.3 Suhu Permukaan Laut

Suhu perairan merupakan suatu faktor lingkungan yang paling mudah dipelajari dari faktor lainnya, sebab suhu merupakan suatu petunjuk yang berguna dari perubahan kondisi lingkungan. Suhu air laut, terutama lapisan permukaan/ atas ditentukan oleh intensitas penyinaran matahari yang berubah tiap waktu. Perubahan suhu ini dapat terjadi secara, harian, musiman, tahunan, dan jangka panjang (Sidjabat, 1978). Perubahan suhu yang cukup drastis akan mempengaruhi bahkan menghilangkan kehidupan biota yang ada di suatu wilayah perairan

II.4 Pola Arus dan Angin

Hutabarat dan Evans (1985) menyatakan bahwa secara umum gerakan arus permukaan laut terutama disebabkan oleh adanya angin yang bertiup di atasnya. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi arus permukaan laut antara lain: Bentuk topografi dasar laut dan pulau-pulau yang ada disekitarnya, gaya Coriolis dan Arus Ekman, perbedaan tekanan air, arus musiman, *upwelling* dan *sinking*, serta perbedaan densitas

Ada pun Variabilitas musiman maupun tahunan di Indonesia diakibatkan oleh arah angin yang berubah mengikuti sistem muson Australia-Asia (Australasia). Transpor maksimum pada berbagai lokasi seperti Selat Makassar, Selat Lombok, Selat Ombai, Laut Sawu dan dari Laut Banda ke Samudera Hindia terjadi pada saat bertiupnya angin muson tenggara antara Juli–September dan minimum saat muson barat laut antara November–Februari (Meyers *et al.*, 1995; Gordon *et al.*, 1999; Hautala *et al.*, 2001).

II.5 Arus Geostropik dan Fenomena Arus Eddy

Nybakken (1992) dalam Dony Latief P (2017) menyatakan bahwa arus adalah gerakan air yang mengakibatkan perpindahan horizontal massa air. Angin mendorong Bergeraknya air permukaan, menghasilkan suatu gerakan arus horizontal massa air. Arus geostropik dapat digunakan untuk mendeteksi dan memahami fenomena yang terjadi di perairan seperti arus Eddy, *upwelling* dan *downwelling* dan analisis selanjutnya dapat diarahkan untuk mendeteksi zona berpotensi untuk daerah tangkapan ikan.

Menurut Martono (2009) gerakan arus eddy ada dua jenis, yaitu secara siklonik (searah jarum jam) dan antisiklonik (berlawanan arah jarum jam) di belahan bumi selatan. Arus eddy ini sendiri dapat menyebabkan terjadinya *upwelling* dan *downwelling* sesuai arah putarannya (Martono, 2009). Arah gerakan arus eddy memiliki dampak berbeda di belahan bumi selatan dan belahan bumi utara. Di belahan bumi utara, arus eddy akan menyebabkan *upwelling* jika memiliki arah berlawanan arah jarum jam, dan menyebabkan *downwelling* jika searah arah jarum jam. Sebaliknya di belahan bumi selatan jika arus eddy bergerak searah jarum jam akan menyebabkan *upwelling* dan jika

bergerak berlawanan arah arum jamakan menyebabkan *downwelling* (Stewart, 2002).

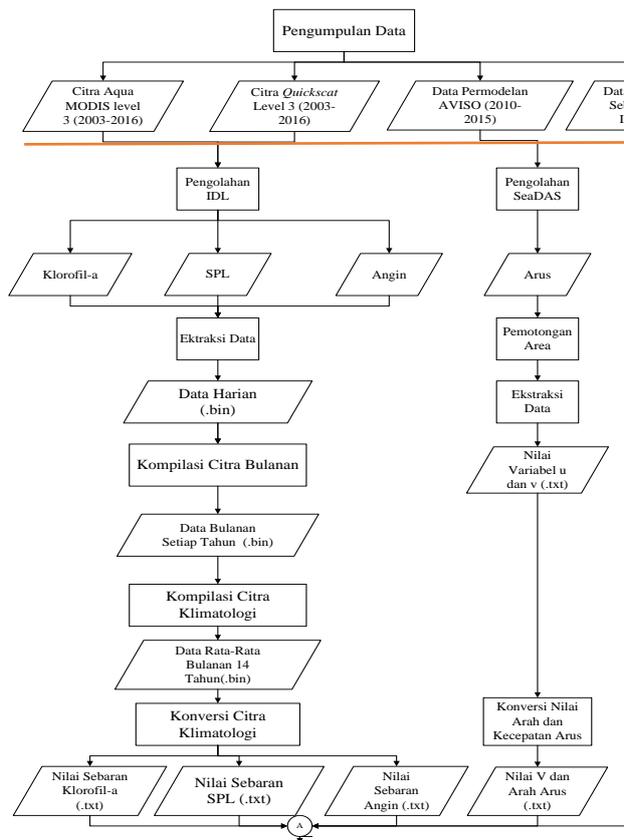
II.6 Citra Aqua MODIS

Aqua yang dalam bahasa latin berarti air, adalah salah satu satelit ilmu pengetahuan tentang bumi kepunyaan NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), yang mempunyai misi mengumpulkan informasi tentang siklus air bumi, termasuk penguapan dari samudra, uap air di atmosfer, awan, presipitasi, kelembaban tanah, es yang ada di laut dan darat, serta salju yang menutupi daratan. Variabel yang juga diukur oleh Aqua antara lain aerosol, tumbuhan yang menutupi daratan, fitoplankton dan bahan organik terlarut di lautan, serta suhu udara, daratan dan air (Graham, 2005).

III. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan, secara garis besar tahapan pelaksanaan terdiri dari tahapan persiapan tahapan pengolahan data dan tahapan analisis dan pengujian data

1. Tahapan persiapan
Pada tahapan ini dipersiapkan semua data yang akan menjadi bahan dan parameter yang digunakan dalam penelitian. Data-data yang digunakan yaitu Citra Aqua Modis level 3 tahun 2003-2016 yang terdiri dari data klorofil-a dan suhu permukaan laut, citra Quikscat level 3 tahun 2003-2016 untuk data angin, data arus Aviso tahun 2010-2015 untuk melihat pola arus di saat fenomena *upwelling*.
2. Tahapan pengolahan
Pada tahapan ini, data-data yang telah dikumpulkan sebelumnya diolah dengan *software* yang telah disiapkan. Untuk pengolahan data klorofil-a, suhu permukaan laut, dan angin menggunakan *software* Envi-IDL yang mana pengolahannya menggunakan prinsip bahasa pemrograman atau *skript* bahasa pemrograman. Untuk data arus geostropik diolah menggunakan *software* SeaDAS. Sementara itu data titik sebaran ikan diolah menggunakan arcGIS, data tangkapan ikan ini akan menjadi data pembanding untuk analisa fenomena yang dikaji.
3. Tahapan analisis dan pengujian data
Pada tahapan ini, data yang sudah diolah sebelumnya dianalisis dengan metoda deskriptif dan statistik. Dari analisis yang dilakukan akan diperoleh nilai sebaran klorofil-a, suhu permukaan laut, dan angin, kriteria *upwelling* di laut Banda, korelasi hubungan antar parameter yang dipakai, analisis polah arah arus permukaan, serta kajian uji data yang mana menjelaskan sebab akibat dari parameter yang digunakan terhadap fenomen *upwelling* yang terjadi



Pola pergerakan suhu permukaan laut di laut Banda, mengikuti pola musim angin yang terjadi di laut tersebut, yaitu musim barat, timur, dan peralihan. Suhu permukaan laut berdasarkan sebaran spasial citra Aqua MODIS berkisar antara 26°C sampai dengan 29°C. Hal ini tidak berbeda jauh dengan suhu permukaan laut Indonesia menurut Nontji (2005), yaitu berkisar antara 28°C sampai dengan 31°C.

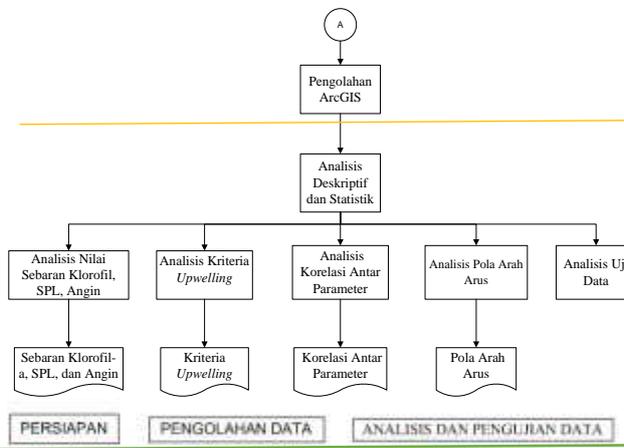
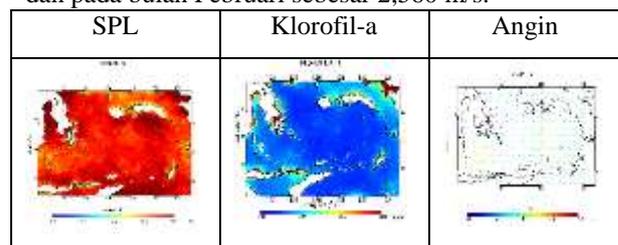
Tabel IV-1 Nilai Sebaran Variabel SPL, Klorofil-a, dan Angin Secara Musiman 14 tahun

Bulan	Suhu Permukaan Laut (°C)	Klorofil-a (mg/m ³)	Angin (m/s)
Januari	28,876	0,191	3,470
Februari	29,082	0,180	4,165
Maret	29,292	0,176	3,021
April	29,323	0,166	2,368
Mei	28,859	0,205	4,280
Juni	27,960	0,304	6,388
Juli	27,141	0,417	6,725
Agustus	26,818	0,446	6,626
September	27,426	0,347	5,369
Oktober	28,300	0,239	4,586
November	29,476	0,171	1,950
Desember	29,698	0,154	2,560

1. Musim Barat

Berdasarkan tabel IV-1, dapat dilihat bahwa nilai sebaran suhu permukaan laut di laut Banda berkisar 28,876 °C sampai 29,698 °C yang merupakan suhu paling tinggi dari musim lainnya. Tingginya suhu permukaan laut pada musim ini berdampak pada jumlah kandungan klorofil-a yang ada. Pada musim barat kandungan klorofil-a hanya berkisar 0,154 (mg/m³) sampai 0,191 (mg/m³). Suhu permukaan yang tinggi mengakibatkan jumlah nutrisi di permukaan menjadi sulit berkembang.

Kemudian tingginya suhu permukaan laut yang terjadi di musim barat terjadi karena kecepatan angin yang rendah, sehingga massa air permukaan akan sulit berpindah dan sehingga kekosongan massa air di permukaan tidak optimal dan massa air yang berada di dasar yang mempunyai suhu yang lebih dingin tidak naik ke permukaan. Dapat dilihat pada tabel IV.1 variasi nilai sebaran angin pada bulan Desember hanya sebesar 1,962 m/s, bulan Januari sebesar 2,271 m/s, dan pada bulan Februari sebesar 2,560 m/s.



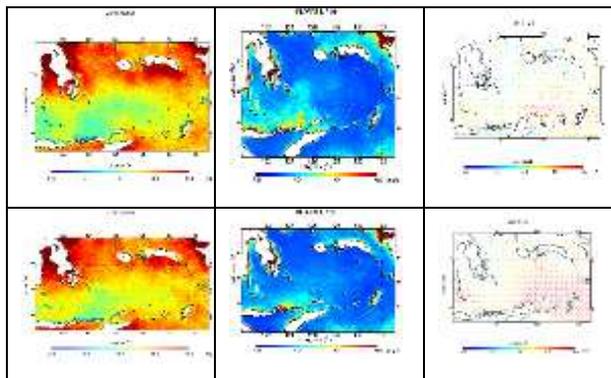
Gambar III-1. Diagram Alir Penelitian

IV. Hasil dan Analisis

IV.1 Analisis Variabel Klorofil-a, Suhu Permukaan Laut, dan Angin

Pada penelitian ini analisis variabel suhu permukaan laut dan klorofil-a dilakukan dengan dua cara, yaitu analisis secara musiman untuk mengetahui pola sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a dari tahun 2003 sampai tahun 2016 dan analisis secara bulanan setiap tahunannya yang bertujuan untuk mengetahui fenomena detail yang terjadi pada setiap tahunnya baik secara spasial maupun temporal.

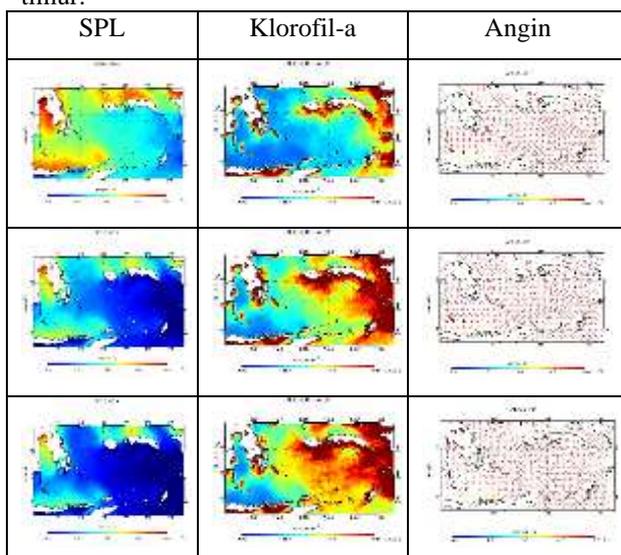
IV.1.1 Berdasarkan Musiman Rata-Rata 14 Tahun



Gambar IV-1 Sebaran SPL, Klorofil-a, dan Angin Pada Musim Barat

2. Musim Timur

Nilai sebaran kecepatan angin pada musim timur merupakan nilai puncak tertinggi dari musim-musim lainnya. Berdasarkan pada tabel IV.1, bahwa kecepatan angin mulai meningkat pada bulan Juni menjadi 6,388 m/s. Pada bulan Juli, kecepatan angin tersebut semakin meningkat menjadi 6,725 m/s, sedangkan di bulan Agustus kecepatan angin tersebut berada di dengan kecepatan sebesar 6,626 m/s. Kecepatan angin yang tinggi tersebut berdampak pada meningkatnya kandungan klorofil-a yang mana mempunyai nilai sebesar 0,304 (mg/m³) sampai 0,446 (mg/m³) dan terjadi penurunan suhu permukaan laut yang mempunyai nilai berkisar 26,818 °C sampai 27,960 °C. Angin yang terjadi pada musim ini akan memindahkan massa air di permukaan sehingga terjadi kekosongan dan digantikan oleh massa air dari dasar yang mempunyai nilai suhu yang dingin dan kandungan klorofil-a yang banyak Berikut variasi sebaran klorofil-a yang dilihat secara spasial pada musim timur.

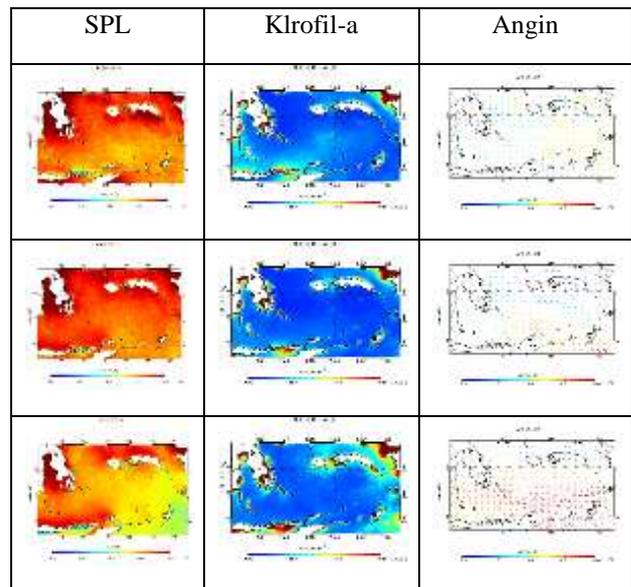


Gambar IV-2 Sebaran SPL, Klorofil-a, dan Angin Pada Musim Timur

3. Musim Peralihan I

Pada musim peralihan I, nilai klorofil-a lebih tinggi dari musim barat, hal ini juga di tandai dengan suhu permukaan laut yang mengalami penurunan dan kecepatan angin yang bertambah. Tingginya nilai klorofil-a tersebut seiring masuknya musim timur, dimana terjadinya fenomena *upwelling*.

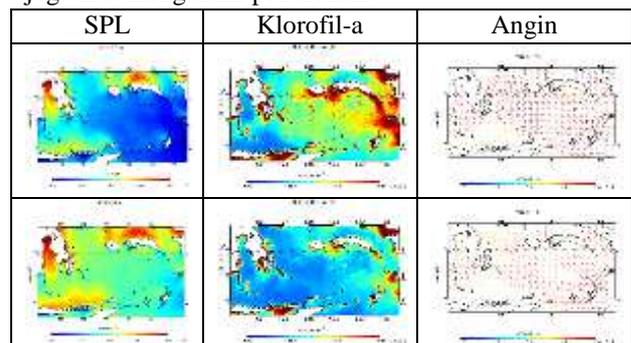
Berdasarkan tabel IV-1, nilai sebaran klorofil-a berkisar 0,166 (mg/m³) sampai 0,205 (mg/m³), nilai suhu permukaan laut berkisar dari 28,859 °C sampai 29,323 °C dan nilai kecepatan angin berkisar 2,368 m/s sampai 4,280 m/s

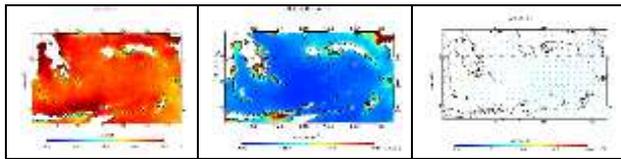


Gambar IV-3 Sebaran SPL, Klorofil-a, dan Angin Pada Musim Peralihan I

4. Musim Peralihan II

Pada musim peralihan II, kecepatan angin cenderung menurun. Pada bulan September kecepatan angin sebesar 5,369 m/s, dan bulan Oktober 4,586 m/s, terjadi penurunan pada bulan November menjadi 1,950 m/s. Rendahnya kecepatan angin yang terjadi pada musim peralihan II ini mengakibatkan jumlah klorofil-a di permukaan menjadi sedikit. Seperti yang di tampilkan pada tabel IV-1, kecepatan angin yang menurun mengakibatkan jumlah sebaran klorofil-a juga ikut mengalami penurunan.





Gambar IV-4 Sebaran SPL, Klorofil-a, dan Angin Pada Musim Peralihan II

IV.1.2 Berdasarkan Bulanan Setiap Tahun

1. Musim Barat

a. Suhu Permukaan Laut

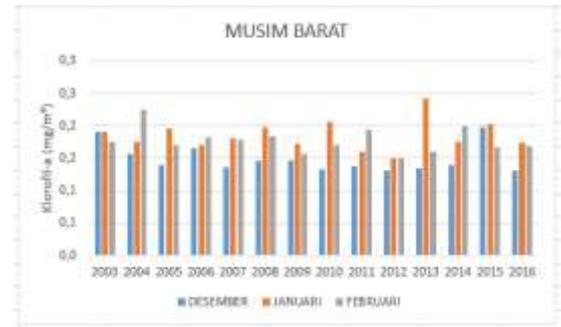
Variasi nilai suhu permukaan laut dari tahun 2003-2016 dapat dilihat pada gambar IV-5. dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai suhu permukaan laut tertinggi terjadi pada bulan Desember tahun 2016 yaitu sebesar 29,965 °C. Kemudian suhu terendah terjadi pada tahun 2008 di bulan Februari yaitu sebesar 27,989 °C atau hampir mendekati 28 °C. Variasi nilai bulanan yang terlihat pada gambar IV-5 tersebut cenderung berbeda, hal ini diakibatkan karena berbagai fenomena yang terjadi di laut Banda pada setiap tahunnya. Salah satu fenomena yang mengakibatkan perbedaan yaitu fenomena IOD, ENSO dan Lanina yang terjadi di setiap tahunnya.



Gambar IV-5 Variasi Nilai Suhu Permukaan Laut Bulanan Musim Barat

b. Klorofil-a

Variasi nilai klorofil-a pada musim barat setiap bulannya dari tahun 2003-2016 berada anatara nilai 0,1 (mg/m^3) sampai dengan 0,25 (mg/m^3). Untuk nilai tertinggi, sebaran klorofil-a terbanyak terdapat pada tahun 2013 di bulan Januari yaitu sebesar 0,242 (mg/m^3) dan terendah terjadi pada tahun 2012 di bulan Desember yaitu sebesar 0,131 (mg/m^3). Meskipun adanya kandungan klorofil-a pada musim barat dari tahun 2003-2016, tidak menjamin adanya fenomena *upwelling* yang kuat, karena suhu permukaan laut pada musim ini cenderung masih panas dan jumlah klorofil-a yang terkandung hanya sedikit. Hal ini juga terjadi karena kecepatan angin yang masih lemah dan tidak terjadinya perpindahan massa jenis air yang begitu berarti

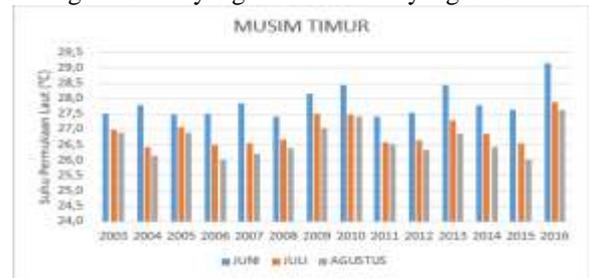


Gambar IV-6 Variasi Nilai Klorofil-a Bulanan Musim Barat

2. Musim Timur

a. Suhu Permukaan Laut

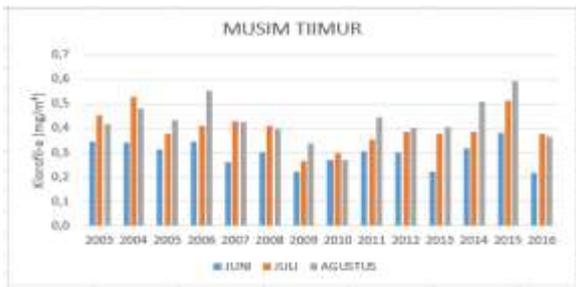
Berdasarkan gambar IV-7, dapat dilihat bahwa nilai sebaran suhu permukaan laut pada musim timur lebih rendah dari pada musim barat. Nilai sebaran suhu permukaan laut pada musim timur berada antara 26°C - 29 °C. Untuk nilai terendah terjadi pada tahun 2006 di bulan Agustus yaitu sebesar 26,009°C dan yang tertinggi pada tahun 2016 di bulan Juni yaitu sebesar 29,161 °C. Untuk suhu pada bulan Juni tahun 2016 ini terjadi sedikit anomali, terlihat pada gambar IV-7 dimana nilai tersebut terlihat sangat tinggi dibandingkan bulan yang sama di tahun yang berbeda.



Gambar IV-7 Variasi Nilai Suhu Permukaan Laut Bulanan Musim Timur

b. Klorofil-a

Variasi nilai klorofil-a pada musim timur rata-rata memiliki nilai yang tinggi di setiap tahunnya. Pada gambar IV-8 dapat dilihat bahwa nilai klorofil-a tertinggi terjadi pada bulan Agustus tahun 2015 yaitu sebesar 0,593 (mg/m^3) dan nilai terendah terjadi di bulan Juni tahun 2016 yaitu sebesar 0,219 (mg/m^3). Tingginya jumlah sebaran klorofil-a pada musim timur di setiap tahunnya memungkinkan terjadinya fenomena *upwelling* setiap tahunnya, tentunya dengan tingkat kekuatan yang berbeda-beda. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, tingginya kadar klorofil-a di permukaan laut di musim timur di akibatkan karena adanya kenaikan massa air dari dasar laut yang banyak mengandung nutrisi dan klorofil-a ke permukaan, dimana di permukaan sudah terjadi kekosongan massa air.



Gambar IV-8 Variasi Nilai Klorofil-a Bulanan Musim Timur

IV.2 Analisis Kriteria Upwelling

a. Berdasarkan Suhu Permukaan Laut

Berdasarkan tabel IV-2, *upwelling* lemah terjadi pada saat nilai suhu permukaan laut berada pada angka 29,008 °C, *upwelling medium* terjadi pada saat nilai suhu permukaan laut berada di antara 28,033 °C sampai 29,008 °C dan *upwelling kuat* terjadi pada saat suhu 27,058 °C sampai 28,033 °C. Kemudian *upwelling* sangat kuat terjadi jika suhu kecil dari 27,058°C

Tabel IV-2 Kriteria *Upwelling* Berdasarkan Suhu Permukaan Laut

<i>Upwelling</i> Lemah (UL)	$UL > 29,008 \text{ }^\circ\text{C}$
<i>Upwelling</i> Medium (UM)	$28,033 \text{ }^\circ\text{C} \leq UM \leq 29,008 \text{ }^\circ\text{C}$
<i>Upwelling</i> Kuat (UK)	$28,033 \text{ }^\circ\text{C} \leq UK \leq 27,058 \text{ }^\circ\text{C}$
<i>Upwelling</i> Sangat Kuat (USK)	$USK < 27,058 \text{ }^\circ\text{C}$



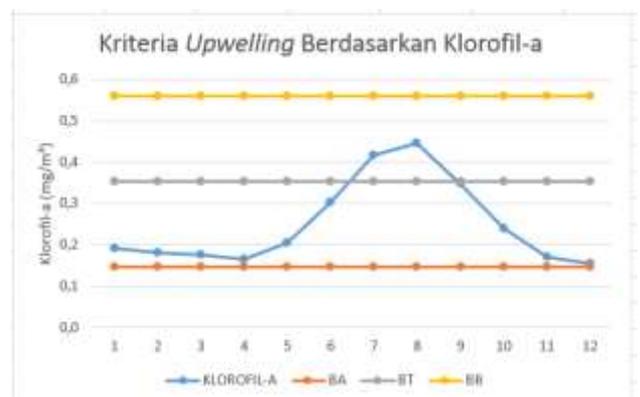
Gambar IV-9 Grafik Kriteria *Upwelling* Berdasarkan Suhu Permukaan Laut

b. Berdasarkan klorofil-a

Berdasarkan tabel IV-3, *Upwelling* lemah di laut Banda terjadi ketika jumlah kandungan klorofil-a sebesar 0,353 (mg/m³) sampai 0,560 (mg/m³). Sedangkan *upwelling medium* terjadi apabila nilai klorofil-a 0,147 (mg/m³) sampai 0,353 (mg/m³) dan *upwelling* lemah jika nilai klorofil-a kecil dari 0,147 (mg/m³). Dan berdasarkan grafik pada gambar IV-10, tidak terdapat *upwelling* sangat kuat.

Tabel IV-3 Kriteria *Upwelling* Berdasarkan Klorofil-a

<i>Upwelling</i> Lemah (UL)	$UL < 0,147 \text{ (mg/m}^3\text{)}$
<i>Upwelling</i> Medium (UM)	$0,147 \text{ (mg/m}^3\text{)} \leq UM \leq 0,353 \text{ (mg/m}^3\text{)}$
<i>Upwelling</i> Kuat (UK)	$0,353 \text{ (mg/m}^3\text{)} \leq UK \leq 0,560 \text{ (mg/m}^3\text{)}$
<i>Upwelling</i> Sangat Kuat (USK)	$USK > 0,560 \text{ (mg/m}^3\text{)}$



Gambar IV-10 Grafik Kriteria *Upwelling* Berdasarkan Klorofil-a

IV.3 Keberadaan Lokasi *Upwelling* di Laut Banda

Hasil analisis sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat 5 lokasi ditemuinya lokasi fenomena *upwelling* terjadi, yaitu meliputi pulau Seram, pulau Buru, pulau Yamdena, pulau Wetar, dan bagian sebelah barat laut Banda yakni sebagian pulau Sulawesi. Dari kelima lokasi ini, masing-masing memiliki variasi nilai klorofil-a, angin, dan suhu permukaan laut yang berbeda, tapi memiliki pola yang sama, yakni fenomena *upwelling* terjadi pada musim timur dan *downwelling* pada musim barat. Selain itu, di sebagian lokasi tersebut juga ditemukan lokasi terjadinya arus edy, seperti yang terlihat pada gambar IV-12.

Berikut rata-rata nilai sebaran klorofil-a, suhu permukaan laut, dan angin yang terdapat di pulau Seram, pulau Buru, pulau Yamdena, Pulau Wetar, dan sebagian pulau Sulawesi

Tabel IV-4 Sebaran Nilai Klorofil-a

Sebaran Klorofil-a (mg/m ³)					
Bulan	Pulau Buru	Pulau Seram	Pulau Yamdena	Pulau Wetar	Sebagian Sulawesi
Januari	0.174	0.142	0.223	0.164	0.257
Februari	0.171	0.154	0.183	0.167	0.227
Maret	0.174	0.158	0.169	0.148	0.211
April	0.126	0.124	0.147	0.130	0.202
Mei	0.140	0.149	0.236	0.136	0.216
Juni	0.202	0.259	0.339	0.198	0.273
Juli	0.323	0.436	0.398	0.297	0.355
Agustus	0.433	0.506	0.377	0.279	0.360
September	0.367	0.384	0.234	0.189	0.321
Oktober	0.165	0.227	0.189	0.159	0.257
November	0.116	0.136	0.155	0.129	0.208
Desember	0.115	0.114	0.158	0.120	0.198

Tabel IV-5 Sebaran Nilai SPL

Sebaran Suhu Permukaan Laut (°C)					
Bulan	Pulau Buru	Pulau Seram	Pulau Yamdena	Pulau Wetar	Sebagian Sulawesi
Januari	28.336	28.635	28.767	29.217	28.880
Februari	28.695	28.771	29.042	29.512	28.861
Maret	29.064	29.067	29.097	29.762	29.345
April	29.156	29.196	29.042	29.425	29.480
Mei	28.784	28.644	28.450	28.673	29.109
Juni	27.768	27.558	27.522	27.836	28.380
Juli	26.862	26.421	26.556	26.933	28.048
Agustus	26.440	26.113	26.238	26.802	27.239
September	27.126	26.889	26.801	27.610	27.867
Oktober	28.103	27.978	27.839	28.600	28.523
November	29.367	29.344	29.254	29.931	29.453
Desember	29.556	29.635	29.869	30.358	29.513

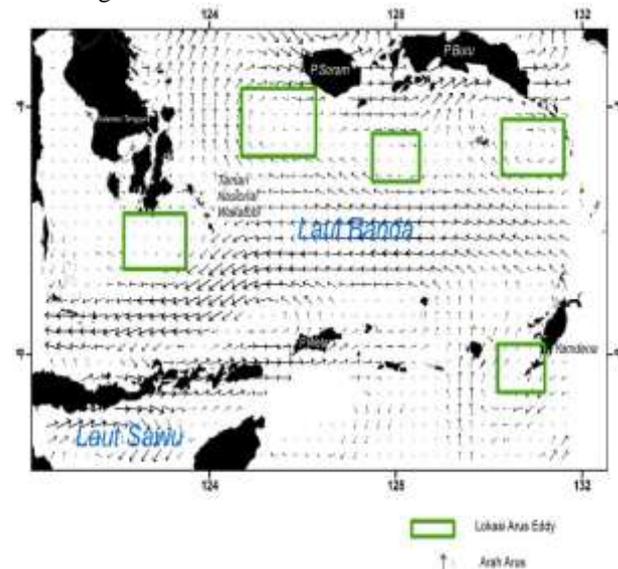
Tabel IV-6 Sebaran Nilai Angin

Sebaran Nilai Angin (m/s)					
Bulan	Pulau Buru	Pulau Seram	Pulau Yamdena	Pulau Wetar	Sebagian Sulawesi
Januari	3.157	3.063	4.017	4.858	2.374
Februari	3.919	3.425	5.278	4.027	2.893
Maret	2.486	2.914	3.395	2.283	2.308
April	1.665	0.720	4.117	3.949	1.965
Mei	4.023	3.197	6.285	4.528	3.741
Juni	6.933	5.125	8.260	6.412	5.741
Juli	7.411	5.911	8.037	6.992	6.222
Agustus	7.367	5.873	7.596	5.396	6.239
September	6.273	4.302	6.088	5.767	4.738
Oktober	5.016	3.533	5.712	3.043	3.952
November	2.192	1.364	2.274	1.554	2.065
Desember	2.079	2.405	2.557	2.432	1.957

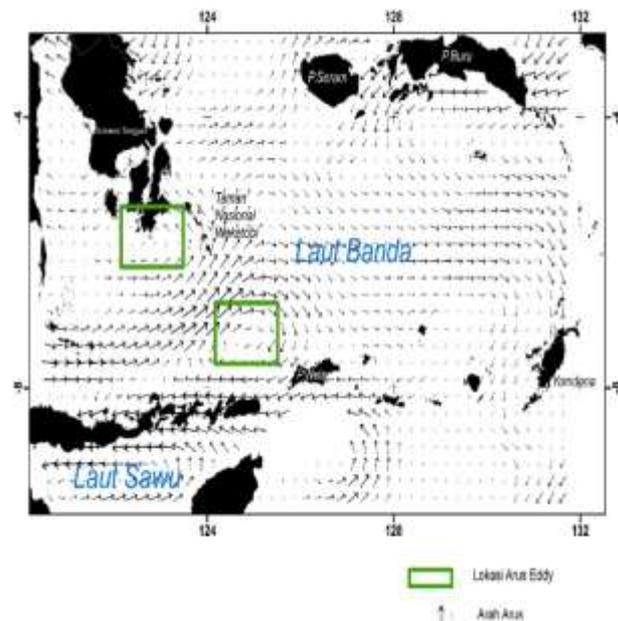
IV.4 Pola Arus Geostropik Terhadap Fenomena Upwelling

Hasil pengolahan data arus geostropik, didapatkan adanya lima lokasi ditemukannya arus eddy. Arus eddy yang didapat terjadi pada musim timur, yaitu musim terjadinya fenomena *upwelling*. Lokasi yang terdapat arus eddy ini berada di sekitar pulau Seram, pulau Buru, pualau Yamdena, dan di sebagian pulau Sulawesi. Lokasi-lokasi terdapatnya arus eddy ini merupakan bagian dari lokasi ditemukannya fenomena *upwelling* dengan tingkat sebaran klorofil-a yang tinggi dan suhu permukaan laut yang rendah. Dilihat dari arah arusnya, arah arus di yang terjadi di musim timur ini sama dengan datangnya arah angin, yaitu dari arah benua Australia menuju ke arah benua Asia dan sebaliknya pada musim barat. Untuk arah arus eddy di sekitar lokasi

upwelling di laut Banda, menunjukkan arus eddy tersebut bersifat siklonik, yaitu searah dengan arah jarum jam. Sesuai dengan pernyataan Stewart (2002) bahwa arus eddy siklonik ini merupakan penunjuk keberadaan *upwelling*. Sementara untuk pola arus di musim barat ditemukannya arus eddy antisiklonik di lokasi sebagian Sulawesi yang menandakan terjadinya *downwelling*. Pola arus dapat dilihat pada gambar IV-11 dan gambar IV-12



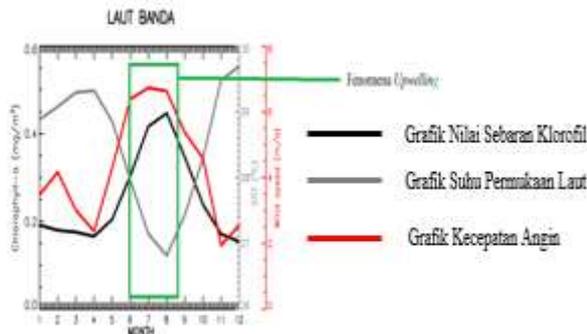
Gambar IV-11 Pola Arus Musim Timur



Gambar IV-12 Pola Arus Musim Timur

Dari analisis kriteria *upwelling* yang telah dilakukan didapat bahwa jenis *upwelling* laut Banda termasuk kedalam jenis tipe berganti. Sesuai dengan pernyataan Wyrcki (1961) bahwa *upwelling* dan *sinking (downwelling)* terjadi bergantian dalam satu tahun. Pada satu musim (misalnya musim timur di

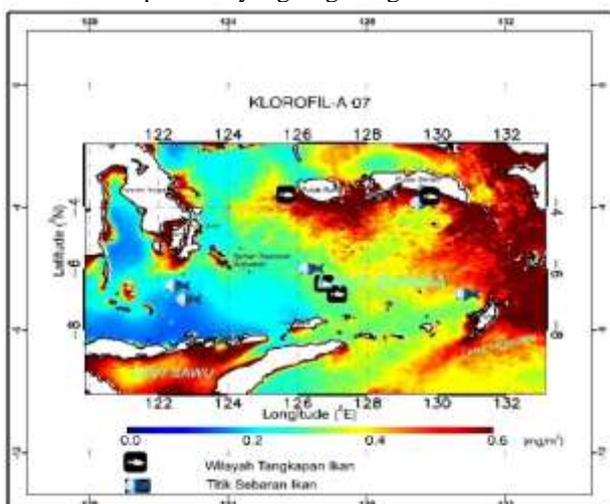
Indonesia) terjadi *upwelling* dan musim berikutnya (musim barat) terjadi *sinking*. Tipe seperti ini terjadi di Laut Banda dan laut Arafura dan tipe *upwelling*. Tipe *upwelling* di laut Banda ini juga termasuk kedalam tipe *coastal upwelling* (*upwelling* di pesisir pantai). Hal ini terlihat tingginya konsentrasi klorofil-a di sepanjang pesisir pantai pulau-pulau yang ada di laut Banda.



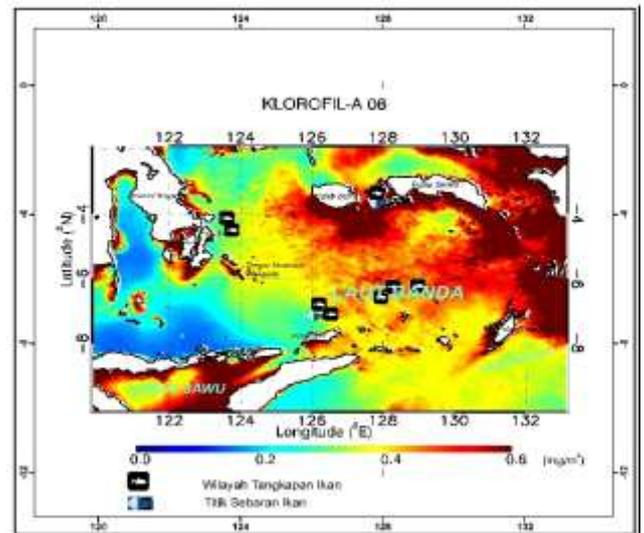
Gambar IV-13 Grafik Multitemporal

IV.6 Analisis Perbandingan Daerah Titik Sebaran Ikan dan Kawasan *Upwelling*

Berdasarkan gambar IV-14, terlihat bahwa persebaran titik ikan dan titik tangkapan ikan rata-rata berada pada wilayah yang memiliki nilai sebaran klorofil-a yang tinggi. Sebaran titik ikan dan titik tangkapan tersebut terjadi di beberapa wilayah, yaitu di pulau Buru, Seram, Yamdena dan di dekat tepian pulau Wakatobi, Meskipun di pulau Wetar terdapat kandungan klorofil-a, tapi jumlah yang terdapat di pulau ini tidak terlalu tinggi, sehingga tidak ditemukannya ikan, pernyataan ini sesuai dengan analisis pada sub bab sebelumnya bahwa di diantara lima lokasi yang memiliki kandungan klorofil-a terendah yaitu di pulau Wetar. Tingginya nilai sebaran klorofil-a yang ada di wilayah-wilayah tersebut menandakan perairan yang tergolong subur.



Gambar IV-14 Peta Sebaran Titik Ikan Bulan Juli



Gambar IV-15 Peta Sebaran Titik Ikan Bulan Agustus

IV.7 Hasil dan Analisis Uji Statistik

1. Uji normalitas

Kriteria yang digunakan pada uji normalitas ini yaitu apabila hasil signifikan lebih besar dari 0,05 maka distribusi data bersifat normal. Jika hasil signifikan kecil dari 0,05 maka distribusi data bersifat tidak normal dan uji korelasi dilakukan dengan metode *spearman*. Berikut hasil dari uji normalitas setiap parameter

Tabel IV-7 Uji Normalitas *Kolmogorov-Smirnov*^a

Parameter	Nilai Signifikan	Kesimpulan
SPL	0,117	Normal
Klorofil-a	0,036	Tidak Normal
Angin	0,200	Normal

2. Uji Korelasi

a. SPL dengan Angin

Hasil uji korelasi SPL dengan angin didapatkan nilai korelasi sebesar -0,932 dengan probabilitas 0,000 yang berarti hubungan antara SPL dan angin sangat kuat dan bersifat berlawanan arah

Tabel IV-8 Uji Korelasi *Pearson*

Correlations			
		SPL	ANGIN
SPL	Pearson Correlation	1	-.932**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	12	12
ANGIN	Pearson Correlation	-.932**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	12	12

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

b. SPL dengan Klorofil-a

Hasil dari uji korelasi SPL dan klorofil-a diperoleh nilai korelasi sebesar -0,933 dengan probabilitas 0,000 yang berarti memiliki hubungan yang sangat kuat dan bersifat berlawanan arah.

Tabel IV-9 Uji Korelasi *Spearman*

Correlations				
			SPL	KLOROFIL
Spearman's rho	SPL	Correlation Coefficient	1.000	-.933
		Sig. (2-tailed)		.000
		N	12	12
	KLOROFIL	Correlation Coefficient	-.933	1.000
		Sig. (2-tailed)	.000	
		N	12	12

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

c. Klorofil-a dengan angin

Hasil dari uji korelasi klorofil-a dan angin diperoleh nilai korelasi sebesar 0,951 dengan nilai probabilitas 0,000 yang berarti memiliki hubungan yang sangat kuat dan bersifat searah

Tabel IV-10 Uji Korelasi *Spearman*

Correlations				
			KLOROFIL	ANGIN
Spearman's rho	KLOROFIL	Correlation Coefficient	1.000	.951
		Sig. (2-tailed)		.000
		N	12	12
	ANGIN	Correlation Coefficient	.951	1.000
		Sig. (2-tailed)	.000	
		N	12	12

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan antara klorofil-a, suhu permukaan laut dan angin didapatkan terjadinya fenomena *upwelling* di laut Banda, pada saat musim timur, tepatnya pada bulan Juni sampai bulan Agustus. Pada saat fenomena *upwelling* terjadi, nilai sebaran klorofil-a berkisar antara 0,304 (mg/m^3) sampai 0,446 (mg/m^3). Kemudian nilai sebaran suhu permukaan laut berkisar antara 26,818°C sampai 27,960°C, dan kecepatan angin pada saat musim timur (*upwelling*) berkisar antara 6,388 m/s sampai 6,725 m/s dan fenomena *upwelling* di laut Banda terjadi setiap tahun dengan nilai klorofil-a, suhu permukaan laut, dan angin yang bervariasi
- Berdasarkan sebaran klorofil-a dan suhu permukaan laut, didapatkan kriteria *upwelling* di laut Banda. Kriteria *upwelling* tersebut dibagi menjadi empat tingkat yaitu *upwelling* lemah, jika nilai klorofil-a $< 0,147 (\text{mg}/\text{m}^3)$, *upwelling* medium jika nilai klorofil-a berkisar $0,143 (\text{mg}/\text{m}^3) \leq \text{UM} \leq 0,353 (\text{mg}/\text{m}^3)$, *upwelling* kuat nilai klorofil-a berada pada rentang $0,353 (\text{mg}/\text{m}^3) \leq \text{UK} \leq 0,560 (\text{mg}/\text{m}^3)$, dan *upwelling* sangat kuat berada pada nilai $\text{USK} > 0,560 (\text{mg}/\text{m}^3)$. Berdasarkan nilai sebaran suhu permukaan laut, *upwelling* lemah berada pada nilai $\text{UL} > 29,008 \text{ }^\circ\text{C}$, *upwelling* medium berada pada nilai $28,033 \text{ }^\circ\text{C} \leq \text{UM} \leq 29,008 \text{ }^\circ\text{C}$, *upwelling* \kuat berada pada nilai $28,033 \text{ }^\circ\text{C} \leq \text{UK} \leq 27,058 \text{ }^\circ\text{C}$, dan *upwelling* sangat kuat berada pada nilai $\text{USK} < 27,058 \text{ }^\circ\text{C}$. Kemudian kriteria *upwelling* yang terjadi di wilayah ini cenderung sama, dimana dari tahun 2003 sampai tahun 2016 terjadi *upwelling* dengan kriteria lemah hingga kuat.
- Berdasarkan hasil uji normalitas dan uji korelasi, didapatkan bahwa variabel angin dan suhu permukaan laut memiliki distribusi data yang normal sedangkan distribusi data klorofil-a memiliki data yang tidak normal. Kemudian berdasarkan hasil uji korelasi didapatkan bahwa terdapat hubungan yang berlawanan arah antara klorofil-a dan suhu permukaan laut serta suhu permukaan laut dan angin.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa saran agar penelitian berikutnya bisa lebih baik, yaitu:

- Bagi peneliti selanjutnya sebaiknya melakukan survey langsung ke lapangan untuk pengambilan sampel air di wilayah ini, agar bisa didapatkan kandungan klorofil-a secara lebih akurat, serta

mengetahui kondisi kecepatan angin yang terjadi di wilayah ini.

2. Menambahkan parameter seperti salinitas, densitas serta fenomena lain yang mempengaruhi fenomena *upwelling* yang terjadi di suatu wilayah.
3. Bagi peneliti selanjutnya sebaiknya melakukan analisis perbandingan fenomena *upwelling* di wilayah pinggir pantai dengan laut lepas.

DAFTAR PUSTAKA

- Edward and M.S. Tarigan. 2003. *Pengaruh Musim Terhadap Fluktuasi Kadar Fosfat dan Nitrat di Laut Banda*. Balai Dinamika Laut, Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta
- Gordon, Arnold R., Susanto, R. Dwi. 2001. *Banda Sea Surface-Layer Divergence*. PDF Jurnal
- Gordon, A.L. and R.D. Susanto. 2001. Banda sea surface-layer divergence. *Ocean Dynamics J.*: 52:2-10.
- Graham, S. 2005. Aqua Project Science. Retrived October 2005. From Web aqua.nasa.gov
- Hutabarat, S. dan S. M Evans. 1985. *Pengantar Oseanography*. Universitas Indonesia Press. Jakarta. 159 hal.
- Krismono. 2010. *Hubungan Antara Kualitas Air dengan Klorofil-a dan Pengaruhnya Terhadap Populasi Ikan di Perairan Danau Limboto*. LIMNOTEK. 17 (2) : 171-180
- Martono. (2009). Karakteristik dan Variabilitas Bulanan Angin Permukaan di Perairan Samudera Hindia. *Jurnal LAPAN Bandung*. November 2009: 157-162
- Nontji, A. 2005. *Laut Nusantara*. Djambatan. Jakarta
- Nybakken, J.w, 1998: *Biologi Laut : Suatu Pendekatan Ekologis*. Diterjemahkan oleh H.m. Eidman, Koesoebiono, D.G. Bengen, M. Hutomo dan S.Sukardjo. PT. Gramedia. Jakarta. Hal. 36-83
- Prasetyo, Dony L. 2017. *Penentuan Lokasi Upwelling Ditinjau Dari Parameter Oseanografi di Kabupaten Maluku Barat Daya*. Skripsi. Undip
- Putra, Ega. 2012. *Variabilitas Konsentrasi Klorofil-A dan Suhu Permukaan Laut dari Citra Satelit Modis serta Hubungannya dengan Hasil Tangkapan Ikan Pelagis Di Perairan Laut Jawa*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Stewart, R.H. 2002. *Introduction to Physical Oceanography*. Departement of Oceanography, Texas A & M University. Texas