

**ANALISIS POLA PERSEBARAN KLOOROFIL-A, SUHU PERMUKAAN LAUT,
DAN ARAH ANGIN UNTUK IDENTIFIKASI KAWASAN UPWELLING
SECARA TEMPORAL TAHUN 2003-2016
(Studi Kasus : Laut Halmahera)**

Indah Purwanti, Yudo Prasetyo, Arwan PutraWijaya^{*)}

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : indahpurwanti63@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan wilayah laut yang luas dan memiliki sumber daya laut yang sangat potensial salah satunya ialah sumber daya perikanan. Laut Halmahera yang berbatasan langsung dengan Samudera Pasifik memiliki kondisi perairan yang dinamis. Agar kegiatan penangkapan ikan lebih optimal diperlukan teknologi yang tepat untuk menentukan lokasi potensial tempat berkumpulnya ikan salah satunya dengan menggunakan citra satelit *Aqua* MODIS untuk menentukan parameter *upwelling* (klorofil-a, dan suhu permukaan laut (SPL)), serta citra *Quikscat* untuk mendapatkan data arah dan kecepatan angin.

Metode pengolahan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman *ENVI IDL* untuk mengolah data angin, SPL dan klorofil-a dari tahun 2003-2016 sehingga didapatkan nilai sebaran klorofil-a, SPL, dan angin secara klimatologi. Data klimatologi tersebut dianalisis secara spasial untuk melihat pola *upwelling* yang terjadi pada setiap musim. Selanjutnya dilakukan perhitungan kriteria *upwelling* untuk mengetahui kekuatan *upwelling* setiap bulannya. Selanjutnya dilakukan uji korelasi untuk mengetahui kekuatan hubungan antar parameter serta uji validasi untuk mendapatkan peta tematik sebaran klorofil-a dan SPL pada saat terjadi fenomena *upwelling*.

Fenomena *upwelling* di Laut Halmahera terjadi pada musim timur yakni pada bulan Juni hingga Agustus dimana puncak *upwelling* terjadi pada bulan Agustus. Pada bulan tersebut kandungan klorofil-a mencapai $0,440 \text{ mg/m}^3$, kecepatan angin sebesar $5,757 \text{ m/s}$ dan suhu permukaan turun hingga mencapai $29,014^\circ\text{C}$. Berdasarkan hasil uji korelasi diketahui bahwa antar parameter *upwelling* tersebut memiliki hubungan yang kuat. Klorofil-a dengan angin memiliki nilai korelasi sebesar $0,615$ dan klorofil-a dengan SPL memiliki nilai korelasi sebesar $-0,734$.

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

ABSTRACT

Indonesia is an archipelagic country with widely sea areas and has very potential fishery resources. The Halmahera sea which is directly connected with Pacific ocean has a dynamic waters condition. Therefore, in order to optimize fishing activities, appropriate technology is needed to determine the potential location of fish gathering. Aqua MODIS satellite imagery is used to determine the main upwelling parameters (chlorophyll-a and sea surface temperature (SST)). Whereas Quikscat imagery is used to get direction and wind speed data.

The processing method using ENVI IDL programming language to process wind data, SST and chlorophyll-a from 2003-2016 to get the climatologically value of upwelling parameters. Afterwards, the climatological data are analyzed spatially to see the pattern of upwelling that occurs in each seasons. And then do the calculation of upwelling criteria to get information about the strength of upwelling each months. Correlation test used to determine the strength relationship of upwelling parameters. And validation test used to create thematic map of distribution of chlorophyll-a and SST when upwelling occurs.

The upwelling phenomenon in the Halmahera Sea occurs in the east season from June to August where the upwelling peak occurs in August. In August 2003-2016, the content of chlorophyll-a reached 0.440 mg / m^3 , wind speed of 5.757 m / s and surface temperature decreased to 29.014°C . Based on the results of correlation test known that inter-correlation of upwelling parameters have a strong relationship. The correlation between chlorophyll-a and wind has a value of $0,615$. And correlation between chlorophyll-a and SST has a value of $-0,734$.

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

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumberdaya kelautan dengan luas wilayah laut kurang lebih 5,9 juta km². Salah satu perairan di Indonesia yang merupakan wilayah potensi perikanan ialah Laut Halmahera yang berada di Kepulauan Maluku Utara. Menurut Kepala Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Maluku Utara, Buyung Radjiolen, adanya kekayaan laut yang potensial di Provinsi Maluku Utara mulai menarik perhatian Kementerian Kelautan dan Perikanan. Menurut Buyung, kementerian yang dipimpin oleh Susi Pudjiastuti itu berencana mengembangkan potensi ikan tuna di Maluku Utara sebagai produk ikan terbesar di Indonesia (Liputan6, 2017).

Salah satu kendala dalam proses pemanfaatan sumberdaya perikanan ialah menentukan zona potensi tangkapan ikan yang dapat diidentifikasi melalui fenomena *upwelling*. *Upwelling* merupakan proses naiknya massa air dari lapisan yang lebih bawah ke lapisan di atasnya. Proses ini menyebabkan suhu permukaan laut lebih rendah dari sekitarnya, dan naiknya unsur zat hara yang dibutuhkan untuk makanan ikan ke permukaan laut (Hasyim, 2014). 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. Keberadaan *fitoplankton* dapat diketahui dari kandungan klorofil-a dan suhu permukaan laut (SPL) melalui teknologi penginderaan jauh, salah satunya dengan memanfaatkan citra *Aqua MODIS*.

Penelitian dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh ini diharapkan dapat membantu penyediaan informasi mengenai zona *upwelling* agar kegiatan penangkapan ikan lebih efektif dan efisien khususnya dari tahun 2003-2016. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui kriteria *upwelling* yang terjadi di Laut Halmahera serta mengkaji korelasi antar parameter *upwelling*.

I.2. Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis spasial pola *upwelling* berdasarkan parameter klorofil-a, angin serta SPL (suhu permukaan laut) secara musiman?
2. Bagaimana penetapan kriteria *upwelling* berdasarkan parameter SPL dan klorofil-a di laut Halmahera?
3. Bagaimana hasil uji statistik dan korelasi antar parameter *upwelling*?
4. Bagaimana hasil validasi pola *upwelling* terhadap daerah potensi tangkapan ikan di laut Halmahera?

I.3. Pembatasan Masalah

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

1. Penelitian ini menggunakan *software* pemrograman *ENVI IDL* untuk mendapatkan nilai sebaran konsentrasi klorofil-a, SPL, dan angin dengan merata-rata parameter tersebut secara harian selama 13 tahun.
2. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah klorofil-a, SPL dan angin dari tahun 2003-2016. Serta data validasi berupa data daerah potensi tangkapan ikan.
3. Melakukan analisis deskriptif untuk mengetahui karakteristik data yang digunakan serta uji korelasi untuk mengetahui ada tidaknya hubungan antar parameter.

I.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

A. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui fenomena *upwelling* yang terjadi secara musiman di Laut Halmahera dengan menggunakan parameter klorofil-a, SPL, dan angin.
2. Mengetahui serta mengidentifikasi kriteria *upwelling* yang terjadi di Laut Halmahera dilihat dari kandungan klorofil-a dan SPL.
3. Mengetahui karakteristik sebaran data dari parameter yang digunakan untuk mengidentifikasi fenomena *upwelling* serta mengetahui hubungan antar parameter *upwelling*.
4. Mengetahui pengaruh dari parameter utama *upwelling* yaitu SPL dan klorofil-a dengan sebaran ikan di Laut Halmahera.

B. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah :

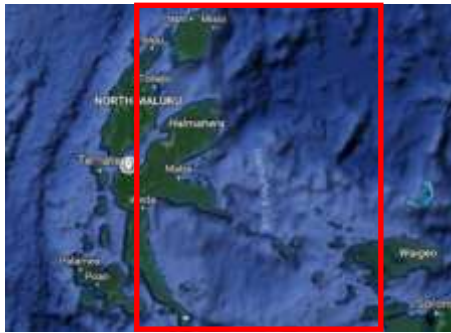
1. Bidang Keilmuan
 - a. Mengidentifikasi kawasan *upwelling* berdasarkan pola musiman berdasarkan variabilitas klorofil-a, SPL dan angin di perairan Halmahera.
 - b. Menentukan kriteria *upwelling* di perairan Halmahera berdasarkan sebaran SPL dan klorofil-a.
 - c. Memberikan informasi mengenai hubungan antara variabel klorofil-a, SPL dan angin sehingga dapat mengidentifikasi adanya *upwelling* berdasarkan variabilitas musiman.
2. Bidang Rekayasa
 - a. Memberikan peta tentang daerah potensi penangkapan ikan yang dapat dijadikan sebagai pedoman nelayan sehingga dapat meningkatkan produktivitas ikan.
 - b. Memberikan informasi mengenai kondisi pola sebaran klorofil-a, SPL dan arah angin sebagai data untuk membantu

memudahkan dalam *monitoring* perubahan dinamika perairan sehingga dapat digunakan untuk mengoptimalkan upaya pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya alam di perairan Halmahera.

I.5. Ruang Lingkup Penelitian

A. Wilayah Penelitian

Wilayah penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 1 yang merupakan Laut Halmahera dengan koordinat berkisar pada 128⁰ BT 2⁰ LU - 130⁰ BT 1⁰ LS.



Gambar 1 Wilayah Penelitian (Google Earth, 2017)

B. Perangkat yang dibutuhkan untuk penelitian

1. *Hardware*
 - a) Laptop Asus A451L – Intel core i3
 - b) Harddisk External
2. *Software*
 - a) Microsoft Word 2013
 - b) Microsoft Excel 2013
 - c) Microsoft Visio 2010
 - d) IBM SPSS Statistics 23
 - e) ArcGIS 10.4
 - f) WinSCP
 - g) IDL 8.3
 - h) ENVI 5.1

C. Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Penelitian

No	Jenis Data	Tahun Akuisisi	Sumber Data	Keterangan
1	Klorofil-a	2003-2016	WinSCP	Citra Aqua MODIS level 3
2	SPL	2003-2016	WinSCP	Citra Aqua MODIS level 3
3	Angin	2003-2016	WinSCP	Citra Quikscat level 3
4	Data bulanan daerah potensi tangkapan ikan	Juli dan Agustus 2016	BPOL	Peta Prakiraan Daerah Penangkapan Ikan (PPDPI)

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Klorofil-a

Fitoplankton merupakan tumbuhan sel tunggal berukuran mikroskopik yang berfungsi sebagai sumber makanan organisme perairan karena dapat melakukan fotosintesis (Syafi'i, 2006). Klorofil-a menurut (Prihartato, 2009) merupakan pigmen yang paling dominan yang terdapat pada *fitoplankton*. Oleh karena itu, konsentrasi klorofil-a dapat digunakan sebagai indikator dari kelimpahan *fitoplankton* dan potensi organik di suatu perairan.

II.2. Suhu Permukaan Laut (SPL)

Suhu di laut adalah salah satu faktor yang penting bagi kehidupan organisme di lautan karena suhu mempengaruhi baik aktivitas metabolisme maupun perkembangbiakan dari organisme-organisme tersebut. Menurut Kunarso (2014), informasi mengenai variabilitas spasial suhu dan klorofil-a dapat digunakan untuk mempermudah pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya perikanan yaitu sebagai dasar untuk menduga dan menentukan perairan yang potensial untuk *fishing ground*.

II.3. Angin

Pergerakan angin akan mempengaruhi karakteristik massa air di laut, salah satunya adalah terjadinya perubahan arah arus permukaan (Fadika, 2014). Sistem angin di dunia sangat kompleks karena berbagai macam faktor, antara lain distribusi daratan dan lautan yang tidak merata, distribusi pegunungan, radiasi matahari, siklus uap air di atmosfer serta kemiringan poros rotasi bumi. Di daerah tropis sendiri sistem angin semakin kompleks karena adanya sistem angin muson yang terjadi di sekitar Samudera Hindia. Indonesia mengenal dua angin muson yakni angin muson barat (MB) dan angin muson timur (MT) karena Indonesia terletak diantara benua Asia dan benua Australia.

II.4. Upwelling

Upwelling merupakan proses perpindahan massa air laut secara vertikal ke permukaan air laut. Angin yang berhembus di atas permukaan air mendorong massa air yang ada di permukaan sehingga mengakibatkan kekosongan massa air. Oleh karena itu, massa air yang berada di bawah lapisan permukaan akan mengisi kekosongan tersebut. Gerakan naik ini membawa serta massa air yang suhunya lebih dingin, salinitas yang lebih tinggi serta nutrient yang kaya ke permukaan (Sugiarto, 2015).

II.5. Citra Aqua MODIS

MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) merupakan sensor yang dipasang pada satelit *Terra* dan *Aqua*. Satelit *Terra* mengelilingi bumi dari utara ke selatan melewati ekuator pada pagi hari sedangkan satelit *Aqua* mengelilingi bumi dari selatan ke utara melewati ekuator pada sore hari. Kedua satelit ini merekam permukaan bumi sebanyak 4 kali dalam sehari, yaitu 2 kali pada pagi hari dan 2 kali pada malam hari (Kusuardini, 2011).

II.6. Citra Quickcat

Data *Quickcat* menyediakan resolusi spasial dan resolusi temporal yang tinggi, mendekati liputan global dan validasi yang luas. Kelebihan *Quickcat* salah satunya adalah akurasi yang tinggi dan ketidakpastian yang rendah untuk kecepatan dan arah angin (UCAR, 2017).

III. Metodologi Penelitian

Secara garis besar metodologi penelitian tugas akhir ini terdiri dari tahap persiapan data, pengolahan data, uji statistik dan uji validasi.

1. Tahap Persiapan Data

Kegiatan pada tahap ini meliputi studi literatur, perumusan masalah serta pengumpulan data. Data primer yang digunakan pada penelitian berupa citra *Aqua MODIS level 3* serta data sekunder berupa citra *Quickcat level 3*. Data tersebut diunduh menggunakan *software WinSCP*.

2. Tahap Pengolahan Data

Data citra yang telah diunduh diolah dengan *software ENVI IDL*. Diagram alir penelitian dijelaskan pada gambar 2. Tahap pengolahan terdiri dari:

a. Ekstraksi Data Harian

Tahap pertama pada pengolahan ini adalah mengekstrak dan menampilkan data yang diunduh secara harian.

b. Kompilasi Bulanan

Kompilasi diperlukan untuk menghindari daerah yang tidak terekam oleh citra karena daerah tersebut masih kosong. Proses ini dilakukan dengan cara melakukan rata-rata terhadap nilai *pixel* data harian. Pada proses kompilasi bulanan, dilakukan rata-rata secara bulanan dari tahun 2003-2016.

c. Kompilasi Klimatologi

Kompilasi klimatologi atau kompilasi tahunan pada dasarnya memiliki prinsip yang sama dengan kompilasi bulanan. Jika pada kompilasi bulanan data yang diolah adalah hasil ekstraksi harian, pada kompilasi klimatologi data yang diolah adalah hasil rata-rata bulanan untuk dilakukan proses rata-rata kembali dalam satu tahun.

d. Konversi Klimatologi Data *Aqua MODIS* dan Angin

Konversi dilakukan untuk mengkonversi data suhu, klorofil-a, dan angin menjadi format *.txt. Data masukan yang diolah adalah data hasil kompilasi klimatologi.

e. *Plotting* Data *Aqua MODIS* dan Angin

Plotting data dilakukan untuk melakukan penggambaran secara grafik untuk mengetahui hubungan antar ketiga parameter tersebut. Data masukan yang diolah adalah hasil konversi klimatologi

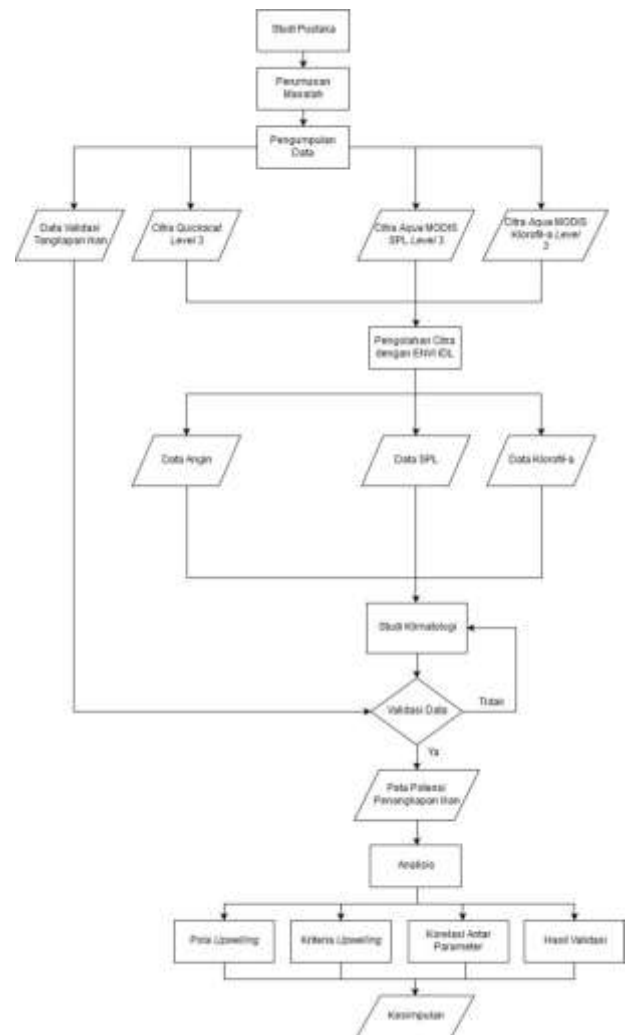
dengan hasil olahan berupa grafik klimatologi.

3. Uji Statistik

Uji statistik dilakukan untuk menguji parameter *upwelling* yang digunakan dalam penelitian ini. Tahapan uji statistik pada penelitian ini meliputi uji normalitas data dan uji korelasi antar 2 variabel.

4. Uji Validasi

Uji validasi dilakukan untuk membuktikan apakah parameter *upwelling* berpengaruh terhadap sebaran ikan. Uji validasi dilakukan dengan menggunakan metode komparatif atau perbandingan, yaitu membandingkan hasil spasial sebaran klorofil-a dan SPL dengan PPDPI. Hasil olahan SPL dan klorofil-a secara klimatologi di *overlay* dengan sebaran koordinat daerah potensi penangkapan ikan dari PPDPI menggunakan *software ArcGIS*.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Analisis Spasial *Upwelling* Secara Musiman

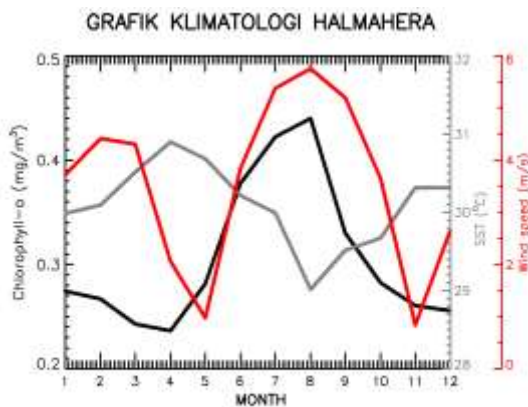
Fenomena *upwelling* dipengaruhi oleh parameter utama yakni klorofil-a dan SPL dengan angin sebagai data pendukung untuk mengetahui

kondisi klimatologi di Laut Halmahera. Analisis pada penelitian ini dilakukan berdasarkan musiman untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada musim tertentu.

Berdasarkan tabel 2, kandungan klorofil-a tertinggi sebesar 0,440 mg/m³ terjadi pada bulan Agustus dimana pada bulan tersebut suhu permukaan laut mencapai titik terendah sebesar 29,014°C dan kekuatan angin pada batas maksimum mencapai 5,757 m/s. Kandungan klorofil-a terendah terjadi pada bulan April sebesar 0,236 mg/m³ dan di bulan tersebut suhu permukaan mencapai titik tertinggi sebesar 30,902°C mengakibatkan suhu permukaan di Laut Halmahera panas. Hubungan antar ketiga parameter *upwelling* dijelaskan oleh grafik multitemporal pada gambar 3.

Tabel 2 Nilai Sebaran Rata-rata Klorofil-a, SPL, dan Angin secara Klimatologi Tahun 2003-2016

Bulan	Klorofil-a (mg/m ³)	Suhu (°C)	Angin (m/s)
Januari	0,274	29,986	3,723
Februari	0,267	30,090	4,414
Maret	0,243	30,513	4,311
April	0,236	30,902	2,059
Mei	0,281	30,686	0,971
Juni	0,378	30,211	3,850
Juli	0,422	29,992	5,375
Agustus	0,440	29,014	5,757
September	0,330	29,512	5,202
Oktober	0,282	29,672	3,653
November	0,261	30,315	0,839
Desember	0,256	30,314	2,668

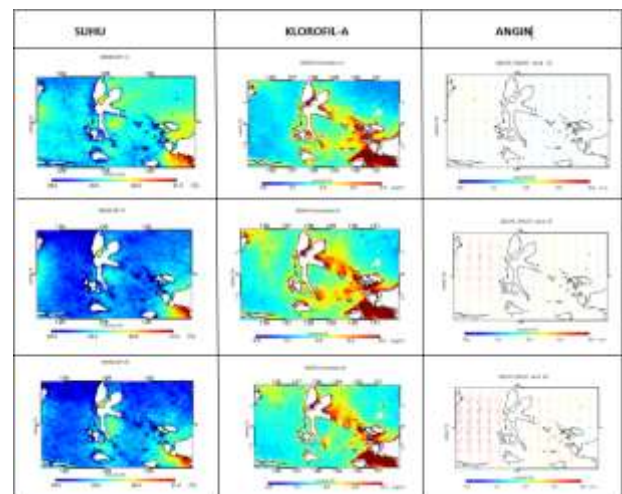


Gambar 3 Grafik Multitemporal Klorofil-a, SPL, dan Angin

Grafik warna hitam menunjukkan sebaran kandungan klorofil-a, grafik warna abu-abu menunjukkan sebaran kandungan suhu permukaan, dan grafik warna merah menunjukkan kecepatan angin. Dapat dilihat pada grafik tersebut bahwa hubungan antara klorofil-a dengan SPL berbanding terbalik, yang artinya jika suhu permukaan rendah maka kandungan klorofil di wilayah tersebut tinggi. Sedangkan klorofil-a dengan angin memiliki hubungan yang sebanding dimana jika di suatu wilayah perairan kandungan klorofilnya tinggi maka kecepatan anginnya juga besar.

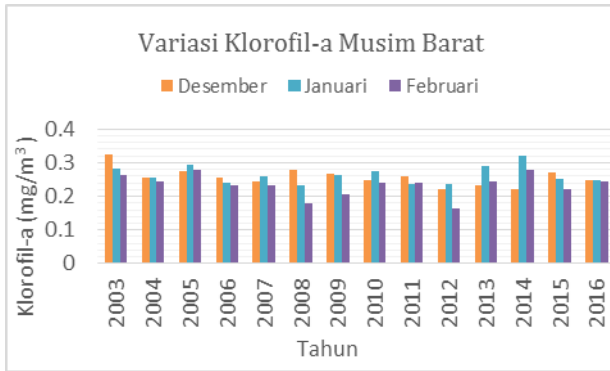
a. Musim Barat

Pada musim barat di bulan Desember angin bergerak dari arah utara menuju ke arah tenggara Laut Halmahera dengan rata-rata kecepatan 2,668 m/s. Di bulan Januari, kecepatan angin meningkat menjadi 3,723 m/s dan bergerak dari arah utara menuju ke arah tenggara. Lalu pada bulan Februari kecepatan angin kembali meningkat menjadi 4,414 m/s. Dimana pada bulan ini, angin bergerak dari arah timur laut menuju ke arah selatan dan tenggara Laut Halmahera. Sedangkan di sebelah barat pulau Maluku Utara, angin bergerak dari arah timur laut menuju ke arah selatan dan barat daya. Sebaran parameter terdapat pada gambar 4.



Gambar 4 Sebaran Spasial SPL, Klorofil-a, dan Angin pada Musim Barat

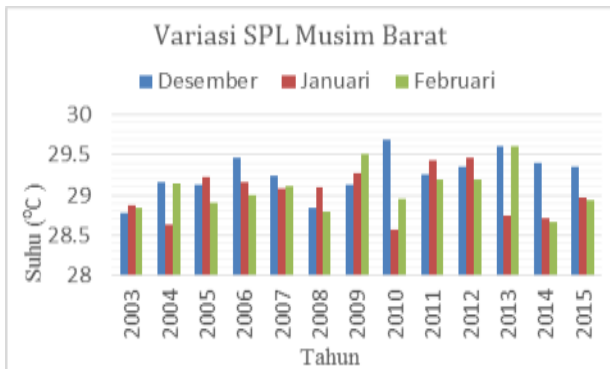
Grafik variasi nilai klorofil-a pada musim barat dapat dilihat pada gambar 5. Kandungan klorofil-a terendah terjadi pada bulan Februari 2012 yakni sebesar 0,163 mg/m³. Dan kandungan tertinggi terjadi pada bulan Desember 2003 sebesar 0,325 mg/m³. Rata-rata kandungan klorofil-a pada musim barat mencapai 0,251 mg/m³. Perubahan nilai klorofil-a tiap tahunnya tersebut tidak terlalu signifikan dikarenakan pada musim barat suhu di permukaan lautan cenderung tinggi.



Gambar 5 Variasi Klorofil-a Musim Barat

Grafik variasi suhu permukaan laut pada musim barat dapat dilihat pada gambar 6. Pada gambar diketahui bahwa suhu permukaan tertinggi terdapat pada bulan Desember 2010 dengan suhu sebesar 29,690°C. Dan suhu permukaan terendah terjadi pada bulan Januari 2010 mencapai 28,574°C. Rata-rata suhu permukaan laut pada musim barat sebesar 29,116°C.

Pada musim barat, rata-rata SPL lebih tinggi dikarenakan pada musim barat angin muson barat banyak membawa uap air lautan sehingga mengakibatkan tingginya curah hujan di wilayah perairan Halmahera. Adanya penumpukan massa air di permukaan laut, mengakibatkan terjadinya proses *downwelling*. Berdasarkan hasil perataan klorofil-a dan SPL tiap tahunnya, diketahui bahwa pada tahun 2012 rata-rata suhu pada musim barat mencapai 29,335oC dan rata-rata klorofil-a mencapai 0,207 mg/m3. Hal tersebut diduga terjadi fenomena *La Nina* (fase dingin) pada musim barat tahun 2012.



Gambar 6 Variasi SPL Musim Barat

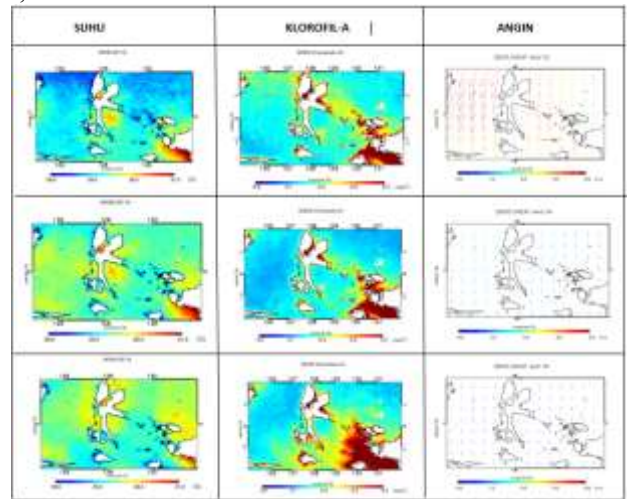
b. Musim Peralihan I

Pada musim peralihan 1 di bulan Maret dan April, angin bergerak dari arah utara dan timur laut melewati Laut Halmahera menuju ke arah selatan dan tenggara. Pada bulan Maret kecepatan rata-rata angin mencapai 4,311 m/s dan menurun menjadi 2,059 m/s pada bulan April. Namun pada bulan Mei yang mana mendekati awal musim timur, arah gerakan angin tidak menentu. Terdapat angin yang bergerak dari arah timur melalui Laut Maluku Utara menuju ke arah barat laut dan angin yang bertiup dari arah tenggara melewati Laut Halmahera menuju ke barat laut dan

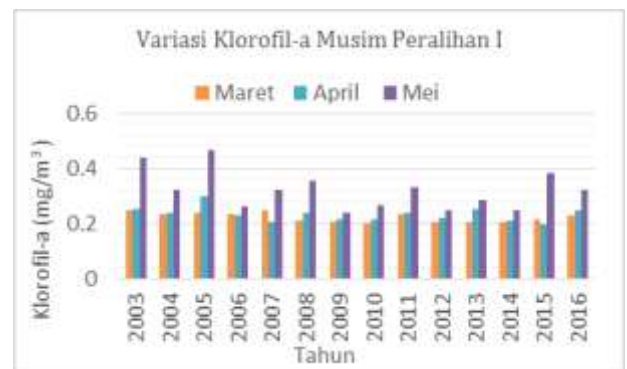
utara. Sebaran parameter *upwelling* pada musim peralihan 1 terdapat pada gambar 7.

Gambar 8 menunjukkan grafik variasi klorofil-a yang terjadi pada musim peralihan 1. Kandungan klorofil-a terendah terjadi pada bulan April 2015 sebesar 0,194 mg/m³. Sementara pada bulan Mei 2003 dan 2005 kandungan klorofil-a mencapai 0,437 mg/m³ dan 0,467 mg/m³ dikarenakan suhu permukaan laut yang semakin rendah pada bulan tersebut. Rata-rata kandungan klorofil-a pada musim ini sebesar 0,258 mg/m³.

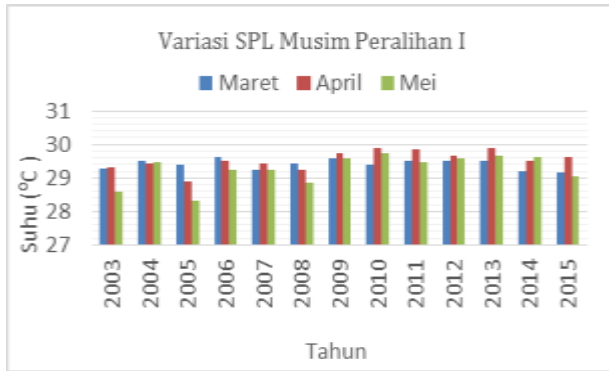
Gambar 9 menunjukkan grafik variasi suhu permukaan laut pada musim peralihan 1. Suhu permukaan terendah terjadi pada bulan Mei 2005 yaitu sebesar 28,329°C dan suhu permukaan tertinggi terjadi pada bulan April 2010 yaitu sebesar 29,892°C. Rata-rata suhu permukaan laut pada musim ini mencapai 29,403°C.



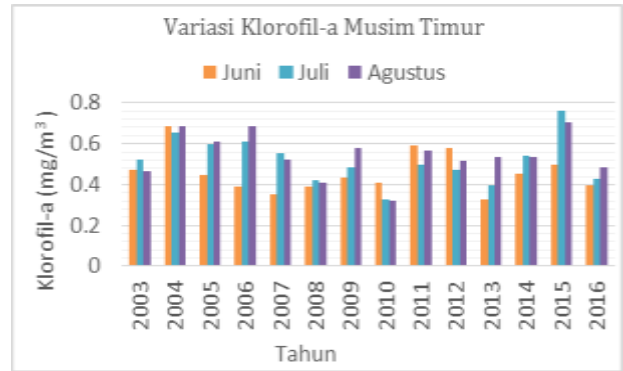
Gambar 7 Sebaran Spasial SPL, Klorofil-a, dan Angin pada Musim Peralihan I



Gambar 8 Variasi Klorofil-a Musim Peralihan I



Gambar 9 Variasi SPL Musim Peralihan I



Gambar 11 Variasi Klorofil-a Musim Timur

c. Musim Timur

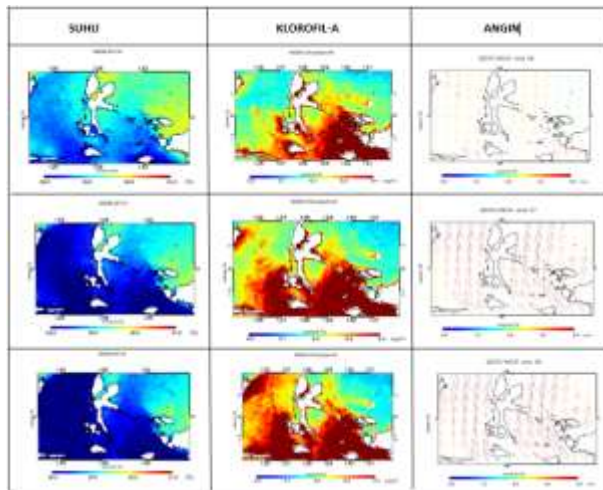
Pada musim timur, arah angin di wilayah perairan Halmahera kembali memperlihatkan pola yang tetap. Angin yang kuat bergerak dari arah tenggara melewati Laut Halmahera menuju ke arah Samudera Pasifik. Memasuki bulan Juli dan Agustus, kekuatan angin semakin besar. Peningkatan kekuatan angin menyebabkan energi pembangkit *upwelling* juga meningkat. Sebaran parameter *upwelling* pada musim timur terdapat pada gambar 10.

Gambar 11 menunjukkan grafik variasi klorofil-a pada musim timur. Rata-rata kandungan klorofil-a mencapai $0,508 \text{ mg/m}^3$. Nilai kandungan klorofil-a pada musim timur jauh lebih tinggi dibandingkan dengan musim lain. Dalam hal ini, angin berperan dalam peningkatan jumlah klorofil. Kekuatan angin menggerakkan arus yang mengangkut massa air yang bersuhu lebih rendah serta kaya akan nutrient.

Gambar 12 menunjukkan grafik suhu permukaan laut pada saat musim timur. Suhu permukaan laut pada musim ini lebih rendah dibandingkan pada musim lain dengan rata-rata suhu mencapai $27,948^\circ\text{C}$.



Gambar 12 Variasi SPL Musim Timur

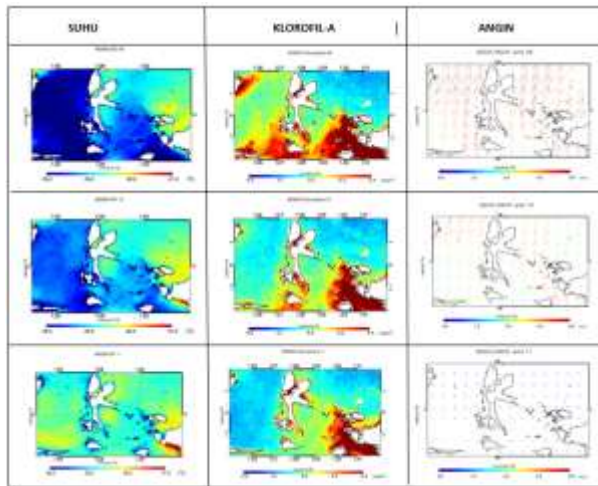


Gambar 10 Sebaran Spasial SPL, Klorofil-a, dan Angin pada Musim Timur

Pada bulan Juli dan Agustus 2015 diduga terjadi fenomena *El Nino* (fase panas) dikarenakan terjadi kenaikan klorofil-dan penurunan suhu yang cukup drastis di bulan tersebut.

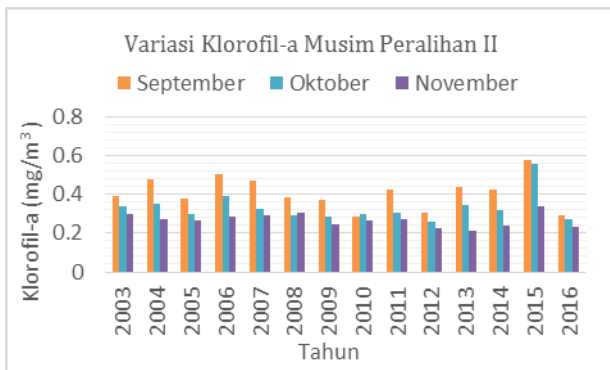
d. Musim Peralihan II

Pada masa transisi dari musim timur ke musim barat, angin yang bergerak dari tenggara menuju ke timur laut berangsur melemah. Pada bulan November, pergerakan angin menjadi tidak menentu. Ada yang bertiup dari arah utara menuju ke arah timur dan barat daya, dan ada yang bertiup dari selatan menuju ke arah timur. Kekuatan angin maksimum terjadi pada bulan September yaitu sebesar $5,202 \text{ m/s}$. Sebaran parameter *upwelling* pada musim timur terdapat pada gambar 13.



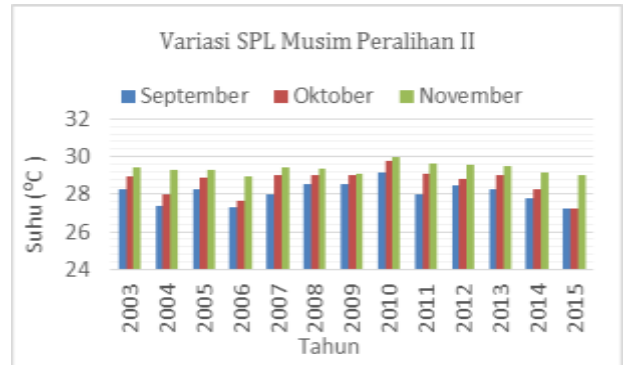
Gambar 13 Sebaran Spasial SPL, Klorofil-a, dan Angin pada Musim Peralihan II

Gambar 14 menunjukkan grafik variasi klorofil-a pada musim peralihan 2. Rata-rata kandungan klorofil-a pada musim ini sebesar $0,335 \text{ mg/m}^3$. Kandungan klorofil-a sendiri berangsur-angsur berkurang dari bulan September karena angin yang bertiup membawa serta massa air yang memiliki kandungan nutrient tinggi.



Gambar 14 Variasi Klorofil-a Musim Peralihan II

Gambar 15 menunjukkan grafik variasi suhu permukaan laut pada musim peralihan II. Rata-rata suhu pada musim ini sebesar $28,711^\circ\text{C}$ dengan suhu maksimum terjadi pada bulan November 2010 dan suhu terendah terjadi pada bulan September 2015. Nilai kandungan suhu cenderung panas pada bulan November.



Gambar 15 Variasi SPL Musim Peralihan II

IV.3 Analisis Kriteria *Upwelling*

a. Kriteria Berdasarkan Klorofil-a

Tabel 3 Kriteria Kekuatan *Upwelling* Berdasarkan Klorofil-a

<i>Upwelling</i> Lemah (UL)	$UL < 0,236 \text{ mg/m}^3$
<i>Upwelling</i> Medium (UM)	$0,236 \text{ mg/m}^3 \leq UM < 0,376 \text{ mg/m}^3$
<i>Upwelling</i> Kuat (UK)	$0,376 \text{ mg/m}^3 \leq UK < 0,517 \text{ mg/m}^3$
<i>Upwelling</i> Sangat Kuat (USK)	$USK > 0,517 \text{ mg/m}^3$

Berdasarkan tabel 3, *Upwelling* Lemah (UL) di perairan Halmahera terjadi pada saat nilai klorofil-a kurang dari $0,236 \text{ mg/m}^3$. *Upwelling* Medium (UM) terjadi pada saat nilai klorofil-a berada diantara $0,236 \text{ mg/m}^3$ dan $0,376 \text{ mg/m}^3$. Kriteria *Upwelling* Kuat (UK) terjadi pada saat nilai klorofil-a lebih besar dari sama dengan $0,376 \text{ mg/m}^3$ dan kurang dari $0,517 \text{ mg/m}^3$. Sedangkan *upwelling* sangat kuat terjadi apabila kandungan klorofil-a di Laut Halmahera melebihi $0,517 \text{ mg/m}^3$. Pada gambar 16, *upwelling* kuat terjadi pada bulan Juli dan Agustus. *Upwelling* Medium terjadi pada bulan Januari hingga Juni dan bulan September hingga Desember.



Gambar 16 Kriteria Kekuatan *Upwelling* Berdasarkan Klorofil-a

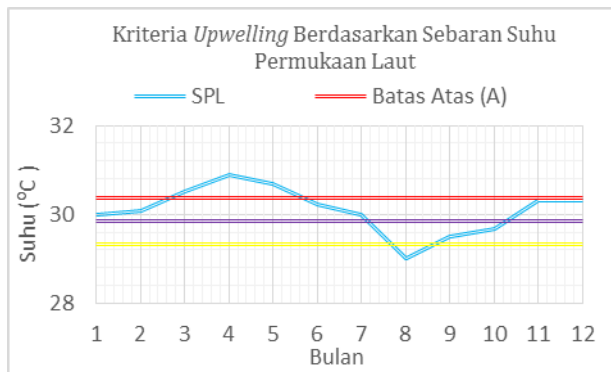
b. Kriteria Berdasarkan SPL

Berdasarkan tabel 4, *Upwelling* Lemah (UL) di perairan Halmahera terjadi pada saat nilai SPL lebih dari $30,362^\circ\text{C}$. Puncaknya ada pada bulan April dengan suhu sebesar $30,902^\circ\text{C}$. Nilai terendah SPL

terjadi pada bulan Agustus dengan nilai SPL sebesar 29,014°C yang termasuk pada kriteria *Upwelling* Sangat Kuat (USK). *Upwelling* Medium (UM) di perairan Halmahera terjadi pada Januari, Februari, Juni, dan Juli dengan kisaran suhu 29,840°C – 30,361°C. *Upwelling* kuat terjadi pada bulan September dan Oktober dimana suhu mencapai 29,512°C dan 29,672°C. Grafik kekuatan *upwelling* per bulannya dijelaskan pada gambar IV-15.

Tabel 4 Kriteria Kekuatan *Upwelling* Berdasarkan SPL

<i>Upwelling</i> Lemah (UL)	UL > 30,362°C
<i>Upwelling</i> Medium (UM)	29,8340°C ≤ UM < 30,362°C
<i>Upwelling</i> Kuat (UK)	29,318°C ≤ UK < 29,840°C
<i>Upwelling</i> Sangat Kuat (USK)	USK < 29,318°C



Gambar 17 Kriteria Kekuatan *Upwelling* Berdasar SPL

IV.4 Hasil dan Analisis Uji Statistik

a. Uji Normalitas

Kriteria yang digunakan pada uji normalitas ini apabila hasil signifikansi atau probabilitas lebih besar dari 0,05 maka data berdistribusi normal. Jika hasil signifikansi lebih kecil dari 0,05 maka untuk melakukan korelasi dilakukan dengan uji korelasi *spearman*. Hasil uji normalitas tiap parameter *upwelling* adalah dijelaskan pada tabel 5.

Tabel 5 Hasil Uji Normalitas

Parameter	Nilai Signifikansi	Kesimpulan
SPL	0,939	Normal
Klorofil-a	0,022	Tidak Normal
Angin	0,414	Normal

b. Uji Korelasi

1. SPL dengan Angin

Hasil uji korelasi SPL dengan angin didapatkan nilai korelasi sebesar -0,722 dengan signifikan atau probabilitas sebesar 0,008. Hal tersebut berarti terdapat hubungan antara variabel SPL dengan angin dengan arah yang berlawanan.

2. Klorofil dengan SPL

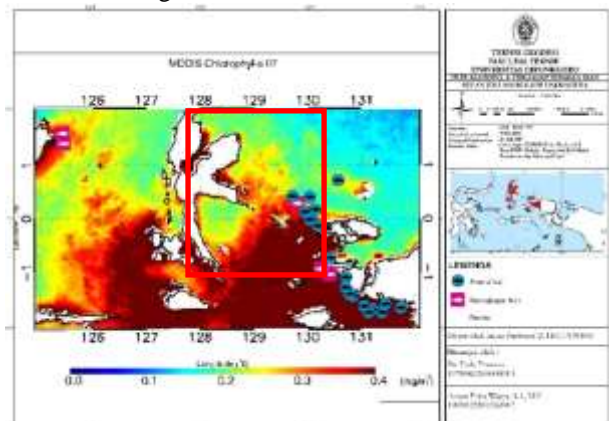
Hasil uji korelasi klorofil dengan SPL didapatkan nilai korelasi sebesar -0,734 dengan signifikan atau probabilitas sebesar 0,007. Hal tersebut berarti terdapat hubungan antara variabel SPL dengan klorofil dengan hubungan yang berlawanan arah.

3. Klorofil dengan Angin

Hasil uji korelasi klorofil dengan angin didapatkan nilai korelasi sebesar +0,615 dengan signifikan atau probabilitas sebesar 0,033. Hal tersebut berarti terdapat hubungan yang searah antar variabel klorofil-a dengan angin.

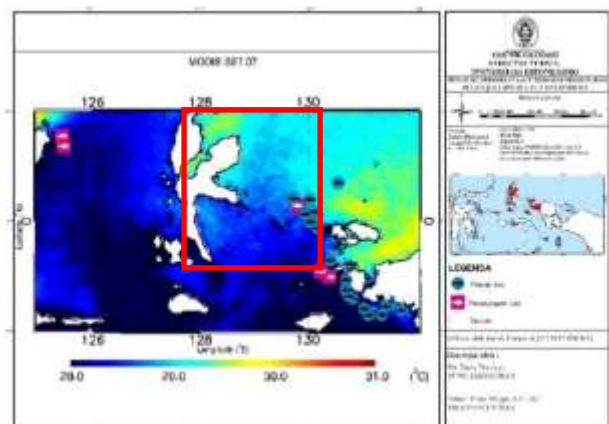
IV.5 Hasil dan Analisis Uji Validasi

Uji validasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter utama *upwelling*, yaitu klorofil-a dan SPL dengan sebaran ikan di Laut Halmahera.



Gambar 18 Sebaran Klorofil-a Terhadap Daerah Tangkapan Ikan Juli 2016

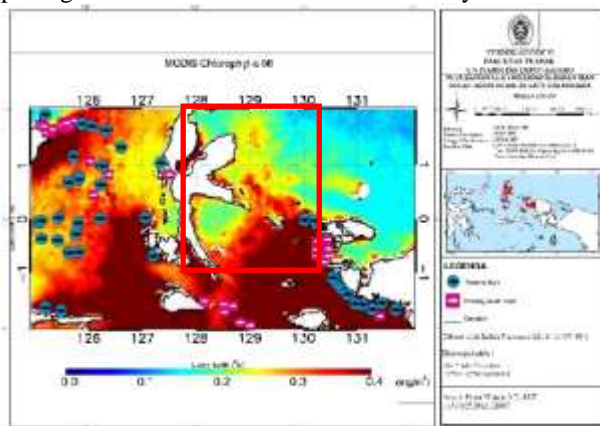
Gambar 18 menunjukkan sebaran klorofil-a terhadap daerah tangkapan ikan pada bulan Juli 2016. Pada sebaran ikan dapat dilihat, daerah potensi ikan banyak dijumpai di sebelah timur Halmahera dengan kandungan klorofil-a yang cenderung lebih tinggi ditandai dengan *colorbar* berwarna merah. Pada wilayah tersebut juga ditemukan satu daerah penangkapan ikan.



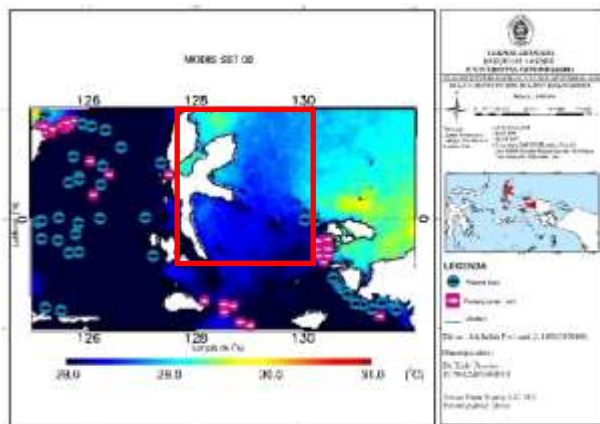
Gambar 19 Sebaran SPL Terhadap Daerah Tangkapan Ikan Juli 2016

Gambar 19 menampilkan sebaran SPL terhadap daerah tangkapan ikan bulan Juli 2016. Sebaran potensi dan tangkapan ikan ditemukan di daerah dengan kisaran suhu sekitar 29°C dengan *colorbar* berwarna biru. Pada wilayah di sebelah selatan Papua sebaran ikan lebih banyak ditemui karena di daerah tersebut memiliki suhu yang lebih dingin dibandingkan dengan Laut Halmahera.

Gambar 20 menampilkan sebaran klorofil-a terhadap daerah tangkapan ikan bulan Agustus 2016. Sebaran ikan dapat dijumpai pada sebelah timur Laut Halmahera dimana kandungan klorofil-a pada daerah tersebut lebih tinggi. Pada bulan ini karena terjadi *blooming* klorofil-a, sebaran ikan dapat ditemui hampir di seluruh lautan. Laut Maluku Utara pun nampak dijumpai sebaran ikan karena mengalami peningkatan klorofil-a dari bulan sebelumnya.



Gambar 20 Sebaran Klorofil-a Terhadap Daerah Tangkapan Ikan Agustus 2016



Gambar 21 Sebaran SPL Terhadap Daerah Tangkapan Ikan Agustus 2016

Gambar 21 menampilkan sebaran SPL terhadap daerah tangkapan ikan bulan Agustus 2016. Kisaran suhu di Laut Halmahera sendiri mencapai 28-29°C dimana lautan didominasi dengan warna biru dan hanya dijumpai sedikit warna biru terang serta hijau di sebelah utara. Sebaran ikan di Laut Halmahera dijumpai di wilayah yang memiliki suhu yang rendah, tepatnya di sebelah timur dekat dengan Papua.

V. Kesimpulan

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pola persebaran klorofil-a, suhu permukaan laut, dan angin untuk identifikasi fenomena *upwelling* secara temporal dengan menggunakan citra satelit *Aqua MODIS* dan *Quikscat* tahun 2003-2016 di Laut Halmahera dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis spasial dengan parameter klorofil-a, SPL, dan angin diketahui bahwa fenomena *upwelling* di Laut Halmahera terjadi pada musim timur yaitu pada bulan Juni hingga Agustus. Pada musim timur, rata-rata kandungan klorofil-a mencapai 0,508 mg/m³. Rata-rata kandungan SPL pada musim ini lebih rendah dibandingkan pada musim lain dengan rata-rata suhu mencapai 27,948°C. Sedangkan kecepatan rata-rata angin pada musim timur mencapai 4,994 m/s.
2. Berdasarkan sebaran klorofil-a, *upwelling* lemah terjadi jika nilai klorofil-a <0,236 mg/m³. *Upwelling* medium nilai klorofil-a berada pada rentang 0,236 mg/m³ ≤ UM < 0,376 mg/m³. *Upwelling* kuat nilai klorofil-a berada pada rentang 0,376 mg/m³ ≤ UK < 0,517 mg/m³. *Upwelling* sangat kuat nilai klorofil-a >0,517 mg/m³. Berdasarkan sebaran SPL, *upwelling* lemah terjadi jika nilai SPL >30,362 °C. *Upwelling* medium nilai SPL berada pada rentang 29,840°C ≤ UM < 30,362°C. *Upwelling* kuat nilai SPL berada pada rentang 29,318°C ≤ UK < 29,840°C. Dan *upwelling* sangat kuat nilai SPL < 29,318°C.
3. Berdasarkan hasil uji normalitas, didapatkan kesimpulan bahwa variabel angin dan SPL memiliki distribusi data yang normal sedangkan variabel klorofil-a memiliki distribusi data yang tidak normal. Berdasarkan uji korelasi *pearson*, diketahui angin dan SPL menunjukkan korelasi yang kuat dengan angka korelasi sebesar -0,722. Dan berdasarkan Halmahera ditemukan di tempat yang mengandung nilai klorofil-a yang tinggi serta suhu permukaan laut yang rendah.

V.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk peneliti selanjutnya sebagai berikut:

1. Penambahan parameter *upwelling* perlu dilakukan seperti arus, *El Nino*, *La Nina* agar analisis fenomena *upwelling* lebih detail. Khususnya untuk Laut Halmahera agar analisis mengenai *upwelling* yang lemah di wilayah tersebut lebih mendalam.
2. Penggunaan data validasi lainnya selain PPDPI (Peta Prakiraan Daerah Penangkapan Ikan). Dapat berupa data statistik hasil tangkapan ikan di wilayah tersebut.
3. Sebaiknya dalam penarikan batas laut dapat menggunakan peta batas laut. Agar

- penarikan batas laut tidak hanya sekedar asumsi saja.
4. Sebelum melakukan pengolahan ada baiknya pelajari literatur mengenai wilayah penelitian terlebih dahulu.
 5. Sebaiknya peneliti selanjutnya juga mempelajari topografi muka lautan.

DAFTAR PUSTAKA

- Fadika, U., Rifai, A., dan Baskoro. (2014). *Arah Dan Kecepatan Angin Musiman Serta Kaitannya Dengan Sebaran Suhu*.
- Hasyim, B. (2014). *Identifikasi Zona Potensi Penangkapan Ikan di Selat Madura Waktu Terjadi EL Nino Berdasarkan Data Penginderaan Jauh*.
- Hiar, H. (2017). *Ikan Tuna dari Maluku Utara yang Menarik Minat Menteri Susi*. Dipetik 2017, dari Liputan 6: <http://regional.liputan6.com/read/2881673/ikan-tuna-dari-maluku-utara-yang-menarik-minat-menteri-susi>
- Kunarso dan Ningsih, N.S. (2014). *Memahami Distribusi Temporal Upwelling Pada Variabilitas ENSO di Indonesia Untuk Memperkirakan Waktu Musim Ikan Tuna Big Eye*.
- Kusuardini, A. (2011). *Estimasi Konsentrasi Padatan Tersuspensi (TSS) dan Klorofil-a Dari Citra MODIS Hubungannya dengan Marak Alga di Perairan Teluk Jakarta*.
- Prihartato, P.K. (2009). *Studi Variabilitas Konsentrasi Klorofil-a Dengan Menggunakan Satelit Aqua MODIS Dan SeaWifs Serta Data In Situ di Teluk Jakarta*.
- Sugiarto, D. (2015). *Estimasi Lokasi Upwelling Menggunakan Citra Satelit di Selatan Jawa 2009-2010*.
- Syafi'i, M. (2006). *Sebaran Konsentrasi Klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut Menggunakan Citra Satelit Terra Modis di Perairan Natuna*.
- UCAR. (2017). *QUIKSCAT: NEAR SEA-SURFACE WIND SPEED AND DIRECTION*. Dipetik 2017, dari UCAR Climate Data Guide: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/quikscat-near-sea-surface-wind-speed-and-direction>