

ANALISIS SEBARAN SUHU PERMUKAAN LAUT, KLOOROFIL-A, DAN ANGIN TERHADAP FENOMENA *UPWELLING* DI PERAIRAN PULAU BURU DAN SERAM

Theresia Niken Kurnianingsih, Bandi Sasmito, Yudo Prasetyo, Anindya Wirasatriya^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
 email : theresianikenk@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan karena wilayah lautnya lebih luas dibanding darat, sehingga berpotensi sebagai daerah penghasil sumber daya ikan laut. Kondisi permukaan laut selalu berubah setiap waktu sehingga membutuhkan data citra *Aqua MODIS* dan *Quicksat* untuk memberikan informasi secara temporal. Sensor MODIS dapat mengukur kandungan klorofil-a dan suhu permukaan laut (SPL) sebagai parameter utama *upwelling*. Sensor *QuickScat* dapat mengukur arah dan kecepatan angin sebagai parameter pendukung *upwelling* dan data sebaran ikan untuk membuktikan parameter *upwelling* mempengaruhi potensi dan tangkapan ikan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hasil analisis sebaran suhu permukaan laut, klorofil-a dan angin terhadap fenomena *upwelling* di perairan Pulau Buru dan Seram. Metode pengolahan data citra *Aqua MODIS* dan *QuickScat* menggunakan bahasa pemrograman yang dibangun untuk mendapatkan nilai secara klimatologi dari tahun 2003-2015 dari parameter *upwelling* yaitu SPL, klorofil-a dan angin. Data hasil klimatologi selanjutnya dianalisis secara spasial dan statistika sehingga dapat mengetahui hubungan antar parameter *upwelling* untuk mendapatkan peta tematik sebaran SPL dan klorofil-a pada saat terjadi fenomena *upwelling*.

Hasil hubungan antar parameter SPL dan klorofil-a mempunyai korelasi sempurna mengikuti pola yang tidak searah artinya SPL tinggi maka klorofil-a rendah. Kecepatan angin mengikuti pola klorofil-a yang searah artinya klorofil-a tinggi maka kecepatan angin tinggi. Hubungan yang sempurna setiap parameter di perairan Pulau Buru dan Seram mendapatkan titik puncak *upwelling* di bulan Agustus. Bulan Agustus terjadi *upwelling* yang sangat kuat dengan SPL 26,703°C, kandungan klorofil-a 0,474 mg/m³ dan kecepatan angin 6,680 m/s.

Kata Kunci : *Aqua MODIS, Quicksat, suhu permukaan laut (SPL), klorofil-a, upwelling*

ABSTRACT

Indonesia is known as an archipelago country due to its ocean is larger than the land. So that Indonesia become a potential producer of marine fish resources. The condition of the sea surface can be changeable anytime and requires imagery data *Aqua Modis* and *Quicksat* to provide information temporally. MODIS sensor can measure the concentration of chlorophyll-a and the sea surface temperature as the main *upwelling* parameter. While *QuickScat* sensor can measure the wind speed and direction as a support *upwelling* parameter and fish distribution data. This can be a prove of *upwelling* parameters affecting the potential and catch of fish.

This research is conduct to determine the analysis of the distribution sea surface temperature, chlorophyll-a and the wind towards the *upwelling* phenomena in the sea of Buru and Seram island. The method imagery data processing of *Aqua Modis* and *Quicksat* used programming language which is based on *upwelling* parameters there are sea surface temperature, chlorophyll-a, and the wind, to get the value in climatology from 2003 until 2015. Then the result of climatology is being analyzed in spatial and statistical, so that can be determine the relations from each *upwelling* parameters to get the thematic maps of sea surface temperature and chlorophyll-a in the moment of *upwelling* phenomenon.

The result from each parameters of sea surface temperature and chlorophyll-a have perfect correlations following pattern that is not unidirectional if the sea surface temperature is high then chlorophyll-a will be low. Whereas the wind speed is following unidirectional pattern of chlorophyll-a, which mean if chlorophyll-a is high, the wind speed will be high too. A perfect relations from each parameters in Buru and Seram island's sea get the highpoint of *upwelling* in August. Due to the strong *upwelling* occurred in August with sea surface temperature is 26,703°C, chlorophyll-a 0,474 mg/m³, and the wind speed is 6,680 m/s.

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

^{*)}Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan karena wilayah lautan lebih luas dibanding darat. Luas lautan dibandingkan luas daratan Indonesia mencapai kurang lebih 70 berbanding 30 (metrotvnews,2014). Sehingga menjadi tantangan bagi Indonesia untuk memajukan maritimnya terutama di kepulauan Maluku. Kepulauan Maluku berpotensi besar sebagai daerah penghasil ikan laut, yang perlu dioptimalkan untuk menunjang kesejahteraan masyarakat khususnya nelayan dan untuk pemenuh kebutuhan pangan terutama ikan laut.

Potensi sumber daya ikan laut yang besar di wilayah Maluku terutama di perairan Pulau Buru dan Seram belum dimanfaatkan dengan optimal sehingga perlu dikaji dengan melakukan penelitian. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengukuran yang dapat diperoleh secara langsung dan tidak langsung (penginderaan jauh). Pengukuran untuk mendapatkan data langsung ke lapangan (*in situ*) dinilai kurang efektif dalam menganalisis daerah potensi ikan karena data yang didapatkan tidak *continue* dan membutuhkan biaya yang besar.

Kondisi permukaan laut yang selalu berubah setiap waktu membutuhkan data penginderaan jauh dari citra *Aqua MODIS* dan *Quickscat* untuk memberikan informasi secara temporal. *Aqua MODIS* mempunyai selang panjang gelombang yang dirancang cukup sempit untuk menghasilkan data penginderaan jauh yang lebih akurat. Kanal-kanal tersebut bekerja pada kisaran panjang gelombang sinar tampak dan infra merah. Kanal-kanal dengan resolusi spasial 4 km yang menghasilkan karakteristik *ocean colour* dengan format data level 3.

Keunggulan dari data level 3 citra satelit lebih sedikit awan sehingga tidak perlu adanya koreksi apapun baik koreksi radiometrik maupun koreksi geometrik. *Quickscat* digunakan untuk pengukuran kecepatan dan arah angin pada kedalaman 10 meter di atas permukaan laut dengan resolusi spasial 25 km. Citra angin *Quickscat* menggambarkan pola angin secara umum dengan arah dan kecepatan angin (m/s) yang dapat menjadi data pendukung untuk mengetahui kondisi fisik dari wilayah perairan penelitian.

Sensor MODIS pada satelit *Aqua* dapat mengukur hampir semua parameter laut yang berupa data klorofil-a dan suhu permukaan laut. Sensor *Quickscat* dapat mengukur arah dan kecepatan angin. Suhu permukaan laut dan klorofil-a merupakan parameter utama untuk mengidentifikasi daerah *upwelling*. *Upwelling* merupakan peristiwa naiknya massa air dari dasar laut ke permukaan laut yang membawa unsur hara yang tinggi dengan kandungan klorofil-a tinggi (Nontji,2005). Pergerakan massa air membawa suhu yang lebih dingin di perairan laut. Metode pengolahan data citra dengan membuat skrip bahasa pemrograman untuk

mengeksktrak, menggambar dan melakukan kompilasi data citra sehingga dapat dianalisis secara spasial dan statistik.

Analisis sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a memberikan informasi untuk mengidentifikasi daerah *upwelling* di perairan Pulau Buru dan Seram dengan suhu yang dingin dan kandungan klorofil-a yang tinggi. Sebaran suhu permukaan laut, klorofil-a dan angin dari tahun 2003-2015 untuk mendapatkan nilai secara klimatologi dari parameter *upwelling*. Parameter *upwelling* mengidentifikasi daerah *upwelling* yang memiliki kondisi perairan laut yang subur sehingga kaya akan ikan. Analisis spasial dari data temporal dapat memberikan informasi mengenai potensi ikan di perairan Pulau Buru dan Seram.

Penelitian menghasilkan peta sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a berdasarkan pola musim secara klimatologi dari data angin. Sehingga dapat menjadi acuan bagi nelayan perairan Pulau Buru dan Seram mengenai potensi ikan yang ada berdasarkan pola musim.

I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis spasial antara suhu permukaan laut (SPL), klorofil-a dan angin berdasar pola musim di perairan Pulau Buru dan Seram?
2. Bagaimana penetapan kriteria *upwelling* berdasar parameter suhu permukaan laut (SPL), klorofil-a dan angin di perairan Pulau Buru dan Seram?
3. Bagaimana analisis korelasi spasial dan uji statistika antar parameter berdasarkan pola musim terhadap kriteria *upwelling* di perairan Pulau Buru dan Seram?
4. Bagaimana validasi sebaran suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a terhadap data tangkap ikan di perairan Pulau Buru dan Seram?

I.3. Pembatasan Masalah

Penulisan tugas akhir ini memiliki batasan agar penelitian yang akan dibahas tidak terlalu jauh dari kajian penelitian, maka penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Metode yang digunakan dengan membuat bahasa pemrograman untuk menampilkan dan merata-rata nilai piksel (kompilasi) sehingga mendapatkan nilai kandungan klorofil-a dan suhu permukaan laut selama 13 tahun. Skrip pemrograman dibangun dan diolah dengan *software* pemrograman yang selanjutnya dilakukan analisis secara spasial dari data temporal.
2. Algoritma yang digunakan sebagai standar dalam pengolahan citra satelit *Aqua MODIS* untuk mendapatkan data klorofil-a diperairan

secara global yaitu algoritma OC3M (Meliani,2006).

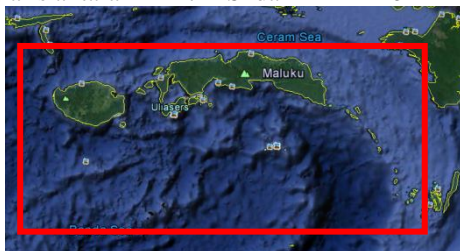
3. Algoritma untuk penentuan nilai suhu permukaan laut pada pengolahan data citra satelit *Aqua MODIS* adalah algoritma Minnet (Brown dan Minnet,1999).
4. Parameter untuk mengidentifikasi *upwelling* yaitu klorofil-a, suhu permukaan laut dan angin.
5. Teori yang mendasari penentuan daerah *upwelling* yaitu suhu permukaan laut yang dingin dan zat-zat hara yang kaya (klorofil-a tinggi) di laut (Nontji, 2005)

I.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan dari penelitian ini adalah :
 - 1) Menganalisis sebaran klorofil-a dan suhu permukaan laut untuk identifikasi daerah *upwelling*.
 - 2) Memperkuat identifikasi daerah *upwelling* dengan data angin dan tangkap ikan.
 - 3) Menganalisis korelasi spasial dan statistika antar parameter yang mempengaruhi *upwelling*.
 - 4) Membuat peta tematik dari parameter *upwelling* saat terjadi musim *upwelling* di perairan Pulau Buru dan Seram.
2. Manfaat dari penelitian ini adalah :
 - 1) Menganalisis sebaran klorofil-a dan suhu permukaan laut untuk mengidentifikasi daerah *upwelling* secara spasial dan temporal.
 - 2) Mengetahui hubungan antar parameter *upwelling* yaitu suhu permukaan laut, klorofil-a dan angin di perairan Pulau Buru dan Seram.
 - 3) Mendapatkan peta pola musim *upwelling* yang diharapkan bisa menjadi acuan untuk daerah potensi ikan untuk meningkatkan kesejahteraan nelayan di perairan Pulau Buru dan Seram.

I.5. Ruang Lingkup Penelitian

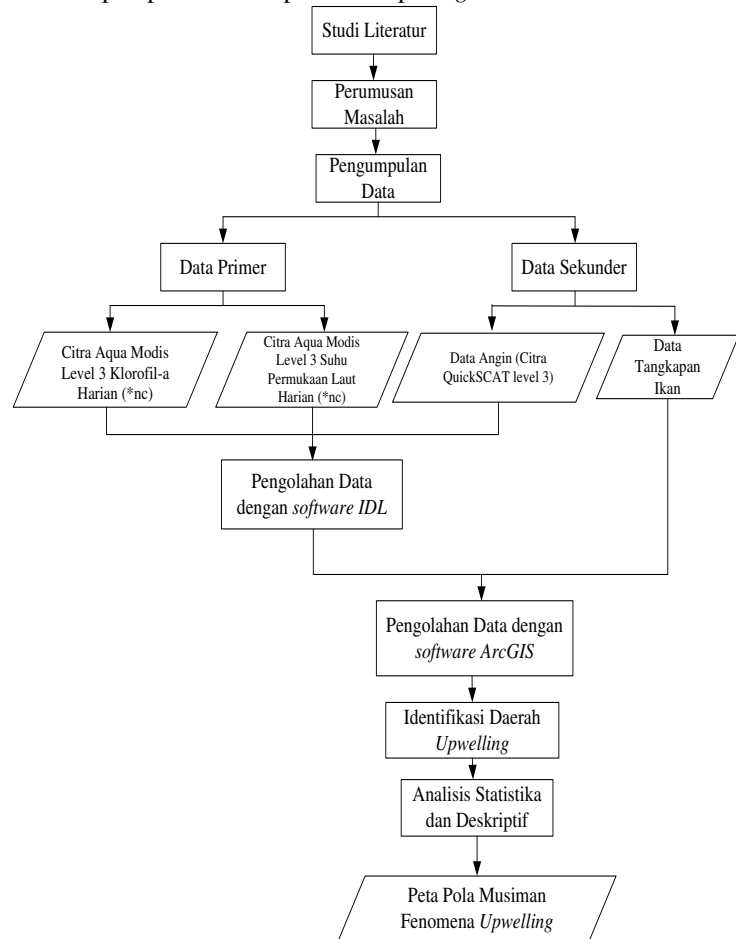
Daerah penelitian dibatasi di perairan Pulau Buru dan Seram. Perairan Pulau Seram dan Pulau Buru berada di Kepulauan Maluku. Letak wilayah penelitian pada *gambar I.1* yang dibatasi pada posisi geografis antara 1° - 7°LS dan 124° - 132° BT.



Gambar I.1 Studi Kasus Lokasi Perairan Pulau Buru dan Seram (*Google Earth*, 2016)

I.6. Metodologi Penelitian

Penelitian ini berbentuk kajian eksperimen penerapan kompilasi data citra *Aqua MODIS* dan *QuickScat* menggunakan skrip bahasa pemrograman. Tahapan penelitian dapat dilihat pada *gambar.I.2*.



Gambar I.2 Diagram Alir Penelitian Secara Umum

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Upwelling

Upwelling merupakan pergerakan massa air dari dasar laut ke atas permukaan laut sehingga banyak membawa unsur hara dan memiliki tingkat kesuburan primer yang tinggi. Gerakan naik ini membawa serta air yang suhunya lebih dingin, salinitas yang tinggi dan zat-zat hara yang tinggi naik ke permukaan laut (Nontji,2005).

II.2. Teori Klorofil-a

Kandungan klorofil-a dalam perairan merupakan salah satu indikator tinggi rendahnya kelimpahan fitoplankton atau tingkat kesuburan suatu perairan (Yamaji, 1966). Klorofil-a suatu pigmen aktif dalam sel tumbuhan di dalam perairan yang mempunyai peran penting terhadap berlangsungnya proses fotosintesis (Prezelin, 1981 dalam Krismono, 2010).

II.3. Teori Suhu Permukaan Laut

Suhu permukaan laut menjadi indikator penentuan lokasi *upwelling* karena lokasi terjadinya

upwelling merupakan daerah yang bersuhu rendah, perairan dikatakan terjadi *upwelling* ditandai dengan nilai SPL yang kurang dari 27°C (Birowo dan Arief, 1983).

II.4. Konsep Dasar Angin

Angin yang bertiup dan mendorong massa air sehingga bergerak sejajar mendekati garis pantai akan dibelokkan arahnya menjauhi garis pantai dengan arah tegak lurus angin ke laut lepas. Peristiwa tersebut menyebabkan terbentuknya “ruang kosong” di daerah pantai yang kemudian diisi oleh massa air di bawahnya dengan cara bergerak vertikal ke permukaan (Wyrтки, 1961).

II.5. Teori Ocean Color

Data penginderaan jauh mempunyai keunggulan yang dapat dimanfaatkan dalam survey pemetaan wilayah laut, yaitu dapat merekam kondisi laut pada wilayah dengan cakupan sempit maupun luas secara bersamaan (sinoptik); pendataan dapat dilakukan secara periodik dan memiliki deret waktu (*time series*) tanpa membedakan medan yang mudah atau sulit; merekam apa adanya sehingga dapat berguna untuk berbagai keperluan dan dapat digunakan oleh berbagai lapisan pengguna data dan bersifat dokumentatif.

II.6. Aqua MODIS

Data citra yang merupakan produk MODIS untuk perairan mencakup tiga hal yakni warna perairan, suhu permukaan laut dan produksi primer perairan melalui pendeteksian kandungan klorofil. Citra MODIS level 3 merupakan produk data yang sudah diproses. Citra tersebut sudah dikoreksi atmosferik, yang dilakukan untuk menghilangkan hamburan cahaya yang sangat tinggi yang disebabkan oleh komponen atmosfer. Komponen yang dikoreksi yaitu hamburan *Rayleigh* dan hamburan aerosol. Selain itu, citra MODIS level 3 digunakan untuk data klimatologi dan data ozon yang merupakan data lingkungan untuk mempertajam hasil keluaran citra (Meliani, 2006).

Kelebihan citra *Aqua MODIS* memiliki spektral panjang gelombang (resolusi radiometrik), cakupan lahan yang lebih teliti (resolusi spasial), dan lebih seringnya frekuensi pengamatan (resolusi temporal). Penelitian mengenai dinamika suhu permukaan laut dan produktivitas primer klorofil-a menggunakan data satelit *Aqua MODIS*, memberikan hasil yang lebih baik dalam menggambarkan keadaan lapangan, dibuktikan berdasarkan penelitian pemanfaatan SPL didapatkan bahwa data citra satelit memiliki hubungan yang kuat dengan data *in situ* (Prayitno, 2008).

II.7. QuickScat

QuickScat digunakan untuk pengukuran kecepatan dan arah angin pada kedalaman 10 meter di atas permukaan laut dengan resolusi spasial 25 km. Citra angin *QuickScat* menggambarkan pola

angin secara umum dengan arah dan kecepatan angin (m/s) yang dapat menjadi data pendukung untuk mengetahui kondisi fisik dari wilayah perairan penelitian. Data angin yang didapat dari citra *QuickScat* membantu memahami mekanisme perubahan iklim dan cuaca pola global.

III. Metodologi Penelitian

III.1. Tahapan Persiapan

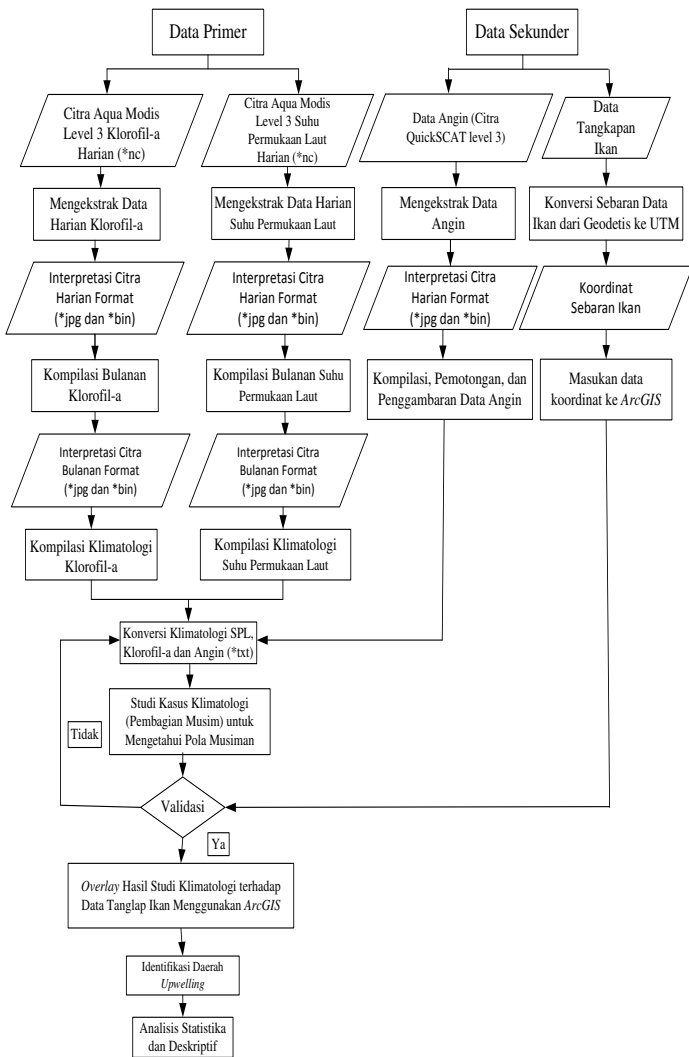
Secara garis besar tahapan persiapan dari penelitian dimulai dari tahapan identifikasi, pengumpulan data, pengolahan data dan terakhir tahapan analisis.

III.2. Persiapan Data

Persiapan data dilakukan sebelum melakukan tahapan pengolahan. Pada penelitian ini persiapan data sangat penting, karena pemilihan data terbagi menjadi dua yaitu data citra (*Aqua MODIS* dan *QuickScat*) dan data tangkap ikan. Data Citra *Aqua MODIS* dan *QuickScat* diperoleh dari NASA yang diunduh di *software winscp*. Data tangkap ikan diperoleh dari BPOL berdasarkan sebaran koordinat potensi dan banyaknya tangkap ikan di perairan Pulau Buru dan Seram.

III.3. Penyusunan Metodologi Pengolahan Data

Pada studi penelitian, dilakukan beberapa tahapan mulai dari persiapan citra, pengolahan data untuk mendapatkan peta pola musiman fenomena *upwelling* dari tahapan analisis. Tahapan pengolahan penelitian dimulai dari pengumpulan data primer dan sekunder dapat dijelaskan pada diagram *gambar III.1*.



Gambar III.1 Diagram Alir Pengolahan Penelitian

III.4. Tahapan Pengolahan

Pengolahan data citra dilakukan untuk menampilkan interpretasi dari citra yang memberikan informasi mengenai data yang dipilih. Pengolahan data citra menggunakan software pemrograman dengan membuat skrip bahasa pemrograman untuk menganalisis data yang berbentuk vektor, numerik, dan interaktif data. Tahap awal dari pengolahan ini adalah membuat skrip untuk mengekstrak atau menampilkan data yang diunduh dalam format (*nc). Skrip bahasa pemrograman digunakan agar dapat mendeteksi dan membuka data dalam format (*nc) dengan membuat subfunction variabel dan attribute. Attribute dibangun dari variabel data tersebut. Variabel merupakan data yang terkandung dalam citra Aqua MODIS seperti klorofil-a memiliki variabel chlor_a dan suhu permukaan laut (SPL) memiliki variabel SST.

III.5. Kompilasi Citra

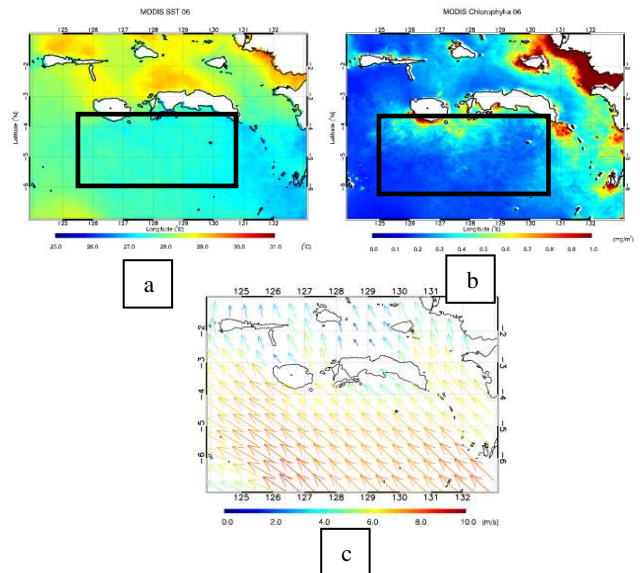
Data citra harian masih menunjukkan spektral data yang masih kosong atau berwarna putih

sehingga perlu dilakukan kompilasi. Kompilasi citra dilakukan untuk memperkuat sinyal warna dari data harian dikuatkan dengan merata-rata nilai piksel agar mengetahui pola musiman upwelling tahunan secara klimatologi. Data citra multitemporal yang dipilih merupakan data harian dalam kurun waktu empat belas tahun dari tahun 2003 - 2015. Kondisi morfologi laut yang selalu dinamis mengalami perubahan dengan cepat setiap waktunya maka diperlukan data multitemporal.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Analisis SPL, Klorofil-a, dan Angin Terhadap Fluktuasi Upwelling

Citra Aqua MODIS level 3 dalam format *nc berupa data harian dari tahun 2003 -2015 dengan resolusi spasial 4 km. Data harian selama dikompilasi untuk mendapatkan gambaran tentang pola sebaran SPL, klorofil-a dan angin di Perairan Pulau Buru dan Seram. Secara spasial pola sebaran kandungan SPL dan klorofil-a terlihat berbeda setiap bulannya. Peningkatan kandungan klorofil-a dan SPL yang mengalami penurunan setiap bulan mengindikasikan adanya upwelling pada daerah tersebut. Kandungan SPL dan klorofil-a yang berbeda tiap bulannya dapat membentuk pola upwelling secara klimatologi. Fluktuasi upwelling terjadi pada musim timur di bulan Juni- Agustus. Puncak Upwelling terjadi pada bulan Agustus di bagian selatan perairan Pulau Buru dan Seram dengan SPL yang lebih rendah dari daerah sekitar, klorofil-a yang lebih tinggi dan kecepatan angin yang tinggi.



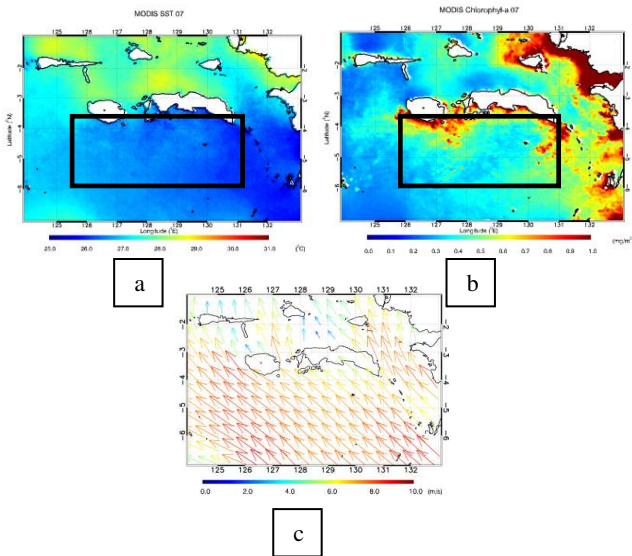
Gambar IV.1 Pola Sebaran Bulan Juni (a) SPL, (b) Klorofil-a, dan angin

Gambar IV.1 (a) menjelaskan sebaran SPL bulan Juni di bagian utara berwarna kuning dan merah menunjukkan suhu yang lebih panas. Sedangkan di bagian selatan berwarna hijau dan biru muda dengan suhu dingin. Fenomena upwelling diawali pada bulan Juni dengan suhu dingin di

bagian selatan perairan Pulau Buru dan Seram. Memasuki bulan Juni SPL berkisar antara 27-29°C.

Gambar IV.1 (b) menjelaskan sebaran klorofil-a bulan Juni di bagian utara menunjukkan kandungan yang rendah dibanding bagian selatan yang berwarna merah dan hijau dengan kandungan klorofil-a tinggi. Kenaikan kandungan klorofil-a mengakibatkan terjadi *upwelling* di bulan Juni. Memasuki bulan Juni kandungan klorofil-a berkisar antara 0,4-0,5 mg/m³.

Gambar IV.1 (c) menejlsakan pola arah angin pada bulan Juni di bagian selatan perairan Pulau Buru dan Seram arah angin bergerak dari tenggara menuju barat laut mendekati pulau, sedangkan di bagian utara arah angin bergerak tidak menentu bertiup dari tenggara ke barat laut menjauhi arah pulau.



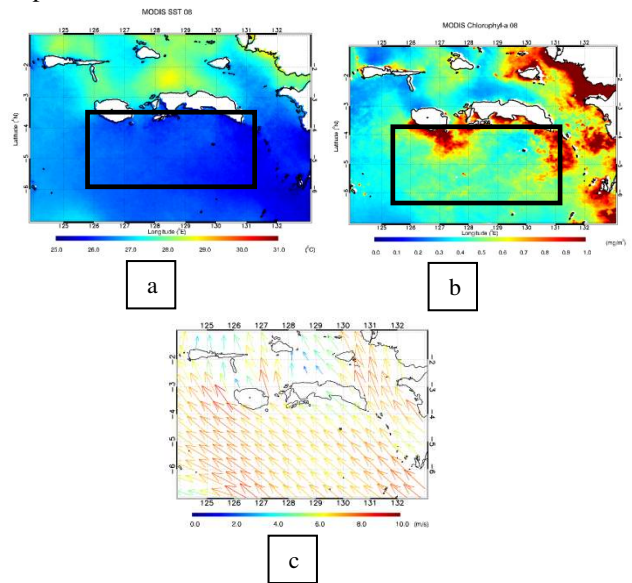
Gambar IV.2 Pola Sebaran Bulan Juli (a) SPL, (b) Klorofil-a, dan angin

Gambar IV.2 (a) menjelaskan tentang fenomena *upwelling* bulan Juli terlihat jelas melalui sebaran suhu dingin yang berwarna biru tua di bagian selatan perairan Pulau Buru dan Seram. Sedangkan dibagian utara berwarna hijau muda ada penurunan suhu dibanding bulan Juni tetapi bagian selatan mendominasi suhu yang lebih dingin dibanding bagian utara. SPL dengan kisaran 27-29°C. Indikasi *upwelling* kuat bulan Juli di bagian selatan perairan Pulau Buru dan Seram karena pengaruh suhu dingin.

Gambar IV.2 (b) menjelaskan sebaran kandungan klorofil-a yang tinggi berwarna merah di bagian selatan Perairan Pulau Buru dan Seram sehingga pada bulan Juli *upwelling* terlihat. Kisaran kandungan klorofil-a sebesar 0,4-0,5 mg/m³.

Gambar IV.2 (c) menjelaskan pola arah angin pada bulan Juli di bagian selatan perairan Pulau Buru dan Seram arah angin bergerak dari tenggara menuju barat laut mendekati pulau, sedangkan di bagian utara arah angin bergerak tidak menentu

bertiup dari tenggara ke barat laut menjauhi arah pulau.



Gambar IV.3 Pola Sebaran Bulan Agustus (a) SPL, (b) Klorofil-a, dan angin

Gambar IV.3 (a) menjelaskan pola sebaran SPL bulan Agustus dengan suhu dingin berwarna biru tua di bagian selatan Perairan Pulau Buru dan Seram dan hijau di bagian utara. Suhu lebih dingin di bagian selatan di banding bagian utara. SPL bulan Agustus pada wilayah ini sebesar 26-29°C. Fenomena *upwelling* paling kuat terjadi pada bulan Agustus karena secara spasial daerah yang paling dingin terlihat di bagian selatan Perairan Pulau Buru dan Seram.

Gambar IV.3 (b) menjelaskan kandungan klorofil-a tinggi dengan warna merah dan hijau dibagian selatan perairan Pulau Buru dan Seram dibandingkan bagian utara. Pada bulan Agustus terjadi *upwelling* kuat dengan kandungan klorofil-a yang tinggi. Kandungan klorofil-a berkisar 0,4-0,5 mg/m³.

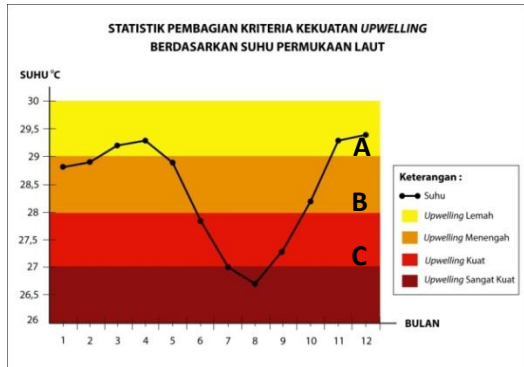
Gambar IV.3 (c) menjelaskan pola arah angin pada bulan Agustus di bagian selatan perairan Pulau Buru dan Seram arah angin bergerak dari tenggara menuju barat laut mendekati pulau, sedangkan di bagian utara arah angin bergerak tidak menentu bertiup dari tenggara ke barat laut menjauhi arah pulau.

IV.2. Kriteria *Upwelling* Berdasarkan Parameter *Upwelling*

Hasil kompilasi dari tahun 2003-2015 selama 13 tahun mendapatkan nilai rata-rata kandungan suhu permukaan laut sehingga terbentuk pola musim (klimatologi). Dari hasil pola musim dapat digolongkan kriteria kekuatan *upwelling* berdasar indikator suhu permukaan laut (Kunarno, 2014) seperti berikut:

Kriteria Kekuatan *Upwelling*:

1. *Upwelling* lemah (UL) : $UL > 28,937$
2. *Upwelling* medium (UM): $27,965 \leq UM < 28,937$
3. *Upwelling* kuat (UK) : $26,993 \leq UK < 27,965$
4. *Upwelling* sangat kuat (USK) : $USK < 26,993$



Gambar IV. 4 Grafik Statistik Kriteria *Upwelling* Berdasarkan SPL

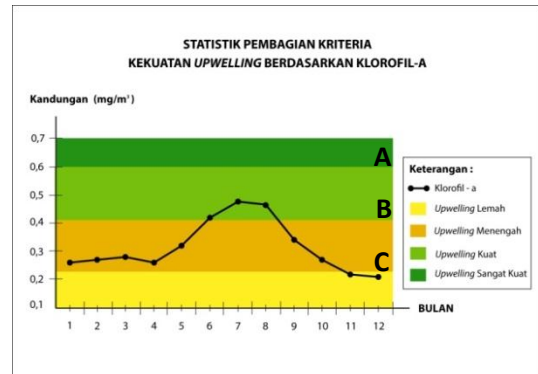
Gambar IV.4 grafik hasil pembagian kriteria kekuatan *upwelling* berdasarkan suhu permukaan laut di perairan Pulau Buru dan Seram dapat memperlihatkan pola musim *upwelling* setiap bulannya. Pada bulan Januari masuk kriteria *upwelling* menengah, bulan Februari- April masuk kriteria *upwelling* lemah, bulan Mei dan Juni masuk kriteria *upwelling* menengah, bulan Juli masuk kriteria *upwelling* kuat, bulan Agustus masuk kriteria *upwelling* sangat kuat, bulan september masuk kriteria *upwelling* kuat, bulan Oktober masuk kriteria *upwelling* menengah, bulan November dan Desember masuk kriteria *upwelling* lemah. *Upwelling* sangat kuat mengindikasikan adanya fluktuasi *upwelling* pada bulan Agustus yang bertepatan dengan musim timur (musim kemarau). Suhu air permukaan di perairan Pulau Buru dan Seram umumnya berkisar 28-30 °C dengan suhu dekat pantai biasanya sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan suhu lepas pantai, tingginya suhu permukaan laut di perairan Pulau Buru dan Seram disebabkan oleh posisi geografis yang terletak di wilayah ekuator yang merupakan daerah penerima panas matahari yang terbanyak. Suhu tertinggi dengan kisaran 29°C umumnya terjadi pada bulan November – April, sedangkan suhu terendah dengan kisaran 27°C terjadi pada bulan Juni – September dapat dilihat pada gambar IV.4. Pada daerah perairan pulau Buru dan Seram, penurunan SPL ini dimulai bulan Mei, kemudian turun hingga Agustus dimana angin muson timur bertiup.

Hasil kompilasi dari tahun 2002-2015 selama 14 tahun mendapatkan nilai rata-rata kandungan klorofil-a sehingga terbentuk pola musim (klimatologi). Daerah perairan yang mengandung klorofil-a tinggi merupakan perairan yang subur sehingga banyak fitoplankton yang mengindikasikan adanya daerah potensi ikan. Menurut kunarso 2014,

kriteria kekuatan *upwelling* berdasar indikator klorofil-a seperti di bawah :

Kriteria Kekuatan *Upwelling*:

1. *Upwelling* lemah (UL) : $UL < 0,230$
2. *Upwelling* medium (UM): $0,230 \leq UM < 0,414$
3. *Upwelling* kuat (UK) : $0,414 \leq UK < 0,597$
4. *Upwelling* sangat kuat (USK) : $USK > 0,597$



Gambar IV.5 Statistik Kriteria *Upwelling* Berdasarkan Klorofil-a

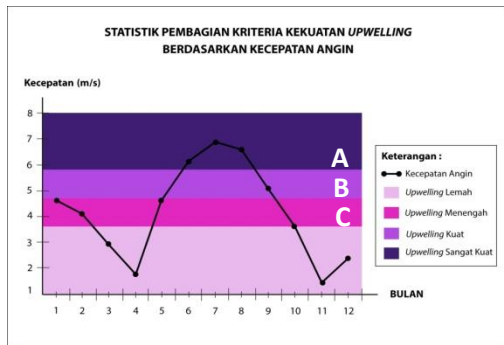
Konsentrasi klorofil-a di perairan Pulau Buru dan Seram melebihi 0,2 mg/m³ tergolong dalam perairan subur. Data klorofil-a dari satelit Aqua MODIS dapat menganalisis pola *upwelling* secara klimatologi dari pola sebaran konsentrasi klorofil-a periode Januari-Desember. Gambar IV.5 kriteria *upwelling* berdasarkan indikator klorofil-a pada bulan Januari-Mei masuk kriteria *upwelling* menengah, bulan Juni-Agustus masuk kriteria *upwelling* kuat, bulan September-Oktober masuk kriteria *upwelling* menengah, bulan November-Desember masuk kriteria *upwelling* lemah. Tingkat konsentrasi klorofil-a yang ditemukan untuk keseluruhan bulan berada pada kisaran 0,209- 0,482 mg/m³. Kandungan klorofil-a tertinggi dengan kisaran 0,4 mg/m³ umumnya terjadi pada bulan Juni-Agustus, sedangkan kandungan klorofil terendah dengan kisaran 0,2 mg/m³ terjadi pada bulan November-April.

Berdasarkan analisis kecepatan angin secara temporal di bagian selatan bagian selatan Perairan Pulau Buru dan Seram dari tahun 2003 sampai 2015 selama 13 tahun yang dikompilasi secara klimatologi sehingga membentuk pola musim dari arah dan kecepatan angin. Data angin dapat menganalisis pola *upwelling* secara klimatologi di perairan Pulau Buru dan Seram. Kriteria kekuatan *upwelling* berdasar pengaruh kecepatan angin belum menjadi dasar karena data angin merupakan data pendukung sehingga perlu dilakukan pengujian lebih lanjut, berikut kriteria *upwelling* yang dihitung secara statistika.

Kriteria Kekuatan *Upwelling*:

1. *Upwelling* lemah (UL) : $UL < 3,653$
2. *Upwelling* medium (UM): $3,653 \leq UM < 4,752$
3. *Upwelling* kuat (UK) : $4,752 \leq UK < 5,850$

4. *Upwelling* sangat kuat (USK) : $USK > 5,850$



Gambar IV. 6 Statistik Kriteria *Upwelling* Berdasar Kecepatan Angin

Gambar IV.6 berdasarkan kriteria *upwelling* secara klimatologi dari indikator angin bulan Januari dan Februari masuk kriteria *upwelling* menengah, bulan Maret dan April masuk kriteria *upwelling* lemah, bulan Mei masuk kriteria *upwelling* menengah, bulan Juni- September masuk kriteria *upwelling* sangat kuat, bulan Oktober *upwelling* menengah, bulan November dan Desember masuk kriteria *upwelling* lemah. Fluktuasi *upwelling* terjadi pada musim timur dengan kecepatan angin yang tinggi mengakibatkan massa air bergerak dan terjadi fenomena *upwelling* pada bulan Juni-Agustus. Pada bulan Maret-Mei dan bulan September-November mengalami penurunan kecepatan angin yang signifikan sehingga bulan ini disebut musim peralihan dapat dilihat. Bulan Desember- Februari masuk ke dalam musim barat di perairan Pulau Buru dan Seram sehingga membuat angin berhembus dari barat laut menuju tenggara dengan kisaran kecepatan angin 2-5 m/s. Pada bulan Maret dan Mei dikategorikan sebagai musim peralihan I atau muson pancaroba awal tahun pada musim peralihan ini matahari bergerak melintasi khatulistiwa, sehingga angin melemah dan memiliki arah yang tidak tentu kecepatan angin berkisar 2-4 m/s. Musim Timur terjadi pada bulan Juni-Agustus menyebabkan angin berhembus dari barat daya menuju timur laut dengan kisaran kecepatan angin 6 m/s. Periode bulan September dan November disebut musim peralihan II sebagai muson pancaroba akhir tahun. Angin mulai melemah dan memiliki arah yang tidak tentu kecepatan angin berkisar 1-5 m/s.

IV.3. Hubungan antar Parameter *Upwelling* Secara Klimatologi

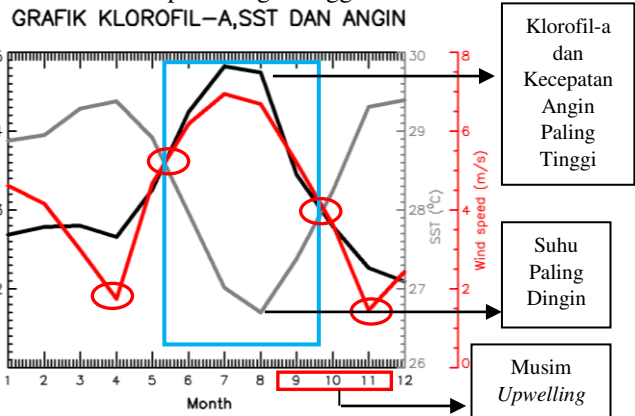
Analisis pola sebaran kandungan suhu permukaan laut, klorofil-a, dan angin secara klimatologi dari tahun 2003-2015 ditunjukkan pada tabel IV.1.

Tabel IV. 1 Data Klimatologi Secara Temporal

Bulan	Klorofil-a (mg/m ³)	Suhu (°C)	Angin (m/s)
Januari	0,269	28,879	4,613
Februari	0,278	28,949	4,158
Maret	0,280	29,283	2,988
April	0,265	29,377	1,743
Mei	0,326	28,911	4,671
Juni	0,424	27,956	6,186
Juli	0,482	27,015	6,949
Agustus	0,474	26,703	6,680
September	0,345	27,381	5,198
Oktober	0,279	28,242	3,630
November	0,226	29,310	1,456
Desember	0,209	29,403	2,457

Hasil analisis pola sebaran kandungan suhu permukaan laut, klorofil-a, dan angin menunjukkan bahwa hubungan suhu permukaan laut, klorofil-a, dan angin setiap bulannya membentuk pola dengan kandungan yang berbeda-beda setiap bulannya

Analisis grafik *time series* SST adalah SPL, klorofil-a, dan angin dari tahun 2003 sampai 2015 di daerah perairan Pulau Buru dan Seram menunjukan pola yang berbeda pada tiap bulannya. Grafik warna hitam menunjukan kandungan klorofil-a, warna abu-abu menunjukan kandungan suhu permukaan laut (SST) dan warna merah menunjukan kecepatan angin. Gambar IV.7 pada grafik menunjukan suhu permukaan laut dan klorofil-a berbanding terbalik apabila suhu permukaan laut dingin maka kandungan klorofil tinggi yang mengindikasikan adanya *upwelling*. Kecepatan angin mengikuti pola klorofil-a yang sebanding apabila kandungan klorofil-a naik maka kecepatan angin tinggi.



Gambar IV.7 Multi Temporal SPL, Klorofil-a dan Angin

Gambar IV.7 grafik bulan Desember - Februari (musim barat) di perairan Pulau Buru dan Seram belum mengidentifikasi *upwelling* karena grafik menunjukan kandungan suhu permukaan laut yang tinggi dan klorofil-a yang rendah pada musim barat didukung dengan kecepatan angin yang rendah yang membawa angin yang membawa hujan. Pada bulan Maret -Mei (musim peralihan I) di perairan Pulau Buru dan Seram belum mengidentifikasi *upwelling* karena grafik menunjukan kandungan suhu permukaan laut yang tinggi dan klorofil-a yang

rendah pada musim peralihan ini matahari bergerak melintasi khatulistiwa, sehingga angin melemah dan memiliki arah yang tidak tentu terutama pada bulan April mengalami perubahan kecepatan angin yang rendah. Grafik bulan Juni-Agustus (musim timur) di selatan perairan Pulau Buru dan Seram diidentifikasi potensi *upwelling* karena grafik menunjukkan kandungan suhu permukaan laut yang rendah dan klorofil-a yang tinggi pada musim timur didukung dengan kecepatan angin yang tinggi yang membawa angin kering. Grafik bulan September-November (musim peralihan II) di perairan Pulau Buru dan Seram belum mengidentifikasi *upwelling* karena grafik menunjukkan kandungan suhu permukaan laut yang tinggi dan klorofil-a yang rendah pada musim peralihan sehingga angin melemah dan memiliki arah yang tidak tentu terutama pada bulan November mengalami perubahan kecepatan angin yang rendah.

IV.4. Hasil dan Uji Statistika

Kesimpulan Uji Korelasi *Spearman* SPL, Klorofil-a dan Angin. Kriteria tingkatan hubungan (koefisien korelasi) antar variabel berkisar antara ± 0 sampai ± 1 tanda + adalah *positive* bearti hubungan antar data sebanding dan tanda - adalah *negatif* bearti hubungan antar data berbanding terbalik (Konsistensi,2015).

Pada tabel IV.2 hubungan hasil korelasi uji *spearman* berdasarkan kriteria penafsiran korelasi dapat dilihat pada *correlation coefficient* antar parameter pada hasil uji *spearman*.

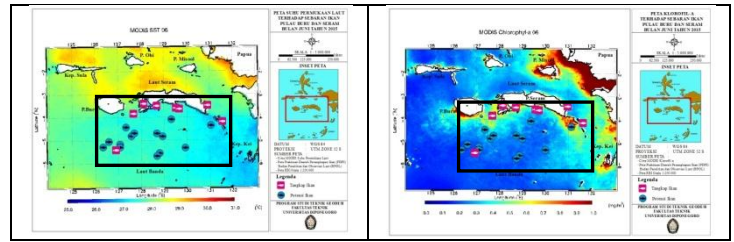
Tabel IV. 2 Hasil Uji Korelasi *Spearman* Suhu, Klorofil-a dan Angin

Korelasi	Suhu	Klorofil-a	Angin
Suhu	1	-0,888	-0,909
Klorofil-a	-0,888	1	0,909
Angin	-0,909	0,909	1

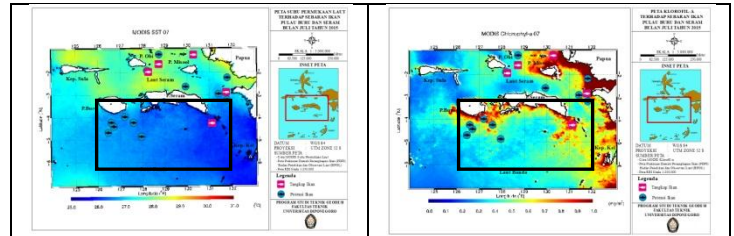
Hasil dari uji korelasi *spearman* pada tabel IV.2 dapat disimpulkan hubungan antara suhu dan klorofil-a dengan nilai -0,888 artinya mempunyai korelasi sempurna yang berbanding terbalik apabila suhu tinggi maka klorofil-a rendah dan sebaliknya. Hubungan antara suhu dengan angin dengan nilai -0,909 artinya mempunyai korelasi sempurna yang berbanding terbalik apabila suhu tinggi maka kecepatan angin rendah dan sebaliknya. Hubungan antara klorofil-a dengan angin dengan nilai 0,909 artinya mempunyai korelasi sempurna yang sebanding apabila klorofil-a tinggi maka kecepatan angin tinggi dan sebaliknya.

IV.5. Validasi Parameter *Upwelling* Terhadap Peta PDPI

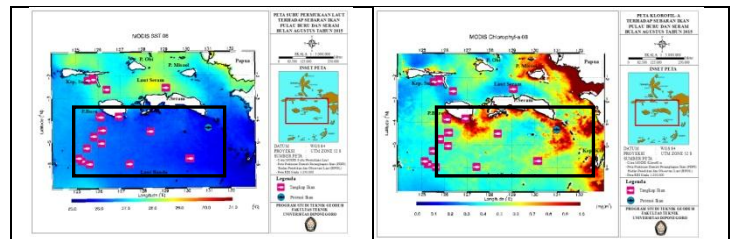
Validasi dilakukan untuk membuktikan parameter *upwelling* berpengaruh terhadap sebaran ikan. Peta PDPI yang dipakai tahun 2015 di bulan Juni-Agustus.



Gambar IV. 8 Potensi Ikan Bulan Juni (a) SPL, (b) Klorofil-a



Gambar IV. 9 Potensi Ikan Bulan Juli (a) SPL, (b) Klorofil-a



Gambar IV. 10 Potensi Ikan Bulan Agustus (a) SPL, (b) Klorofil-a

Hasil *overlay* pada bulan Juni- Agustus antara SPL dan klorofil-a dengan sebaran ikan secara kualitatif. Potensi ikan lebih dominan berada di selatan Pulau Buru dibandingkan Pulau Seram tetapi jumlah tangkapan lebih banyak dilakukan di selatan pesisir pantai Pulau Buru. *Overlay* SPL dan klorofil-a dengan sebaran ikan membuktikan adanya pengaruh parameter *upwelling* terhadap sebaran ikan pada bulan Juni-Agustus karena memiliki potensi dan tangkapan ikan sehingga perlu dimanfaatkan secara optimal.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil Analisis Pola Sebaran Suhu Permukaan Laut, Klorofil-a, dan Angin terhadap Fenomena *Upwelling* di Perairan Pulau Buru dan Seram Dengan Menggunakan Satelit *Aqua MODIS* dan *QuickScat* Tahun 2003-2015, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis sebaran suhu permukaan laut, klorofil-a dan angin didapatkan pola sebaran yang khas dari parameter *upwelling* di perairan Pulau Buru dan Seram. Pada musim peralihan I terjadi di bulan Maret-Mei kecepatan angin mengalami penurunan yang signifikan dengan arah angin yang tidak beraturan. Musim timur terjadi di bulan Juni-Agustus pada musim ini terjadi puncak *upwelling*. Fluktuasi *upwelling* terjadi pada musim timur. Bulan Juni mengawali terjadinya

upwelling di selatan perairan Pulau Buru dan Seram dengan SPL 27,956°C, kandungan klorofil-a 0,424 mg/m³ kecepatan angin 6,186 m/s. Bulan Juli di bagian selatan perairan Pulau Buru dan Seram daerah *upwelling* semakin meluas dengan SPL 27,015°C, kandungan klorofil-a 0,482 mg/m³ dan kecepatan angin 6,949 m/s. Bulan Agustus merupakan puncak yang mengakibatkan *upwelling* kuat dengan SPL 26,703 °C, kandungan klorofil-a 0,474 mg/m³ dan kecepatan angin 6,680 m/s. Musim peralihan II terjadi pada bulan September - November dengan kecepatan angin yang mengalami penurunan yang signifikan dan arah angin yang tidak beraturan. Musim barat terjadi pada bulan Desember-Februari dengan kecepatan angin dan SPL yang mulai mengalami kenaikan tetapi kandungan klorofil mengalami penurunan.

2. Berdasarkan parameter *upwelling* terdapat 4 kriteria yaitu *upwelling* lemah, medium, kuat dan sangat kuat. Kriteria *upwelling* berdasarkan parameter utama yaitu SPL dan klorofil-a (Kunarno,2014). Kriteria *upwelling* berdasarkan kecepatan angin didapatkan dari perhitungan statistika dan belum diuji oleh para ahli sebelumnya. Berdasarkan kriteria *upwelling* pada musim peralihan I terjadi *upwelling* menengah. Musim timur terjadi *upwelling* kuat, *upwelling* sangat kuat terjadi di bulan Agustus. Musim peralihan II terjadi *upwelling* menengah dan musim barat terjadi *upwelling* lemah. *Upwelling* kuat mengindikasikan adanya fenomena *upwelling* di selatan perairan Buru dan Seram. Pada musim timur (Juni-Agustus) mengalami *upwelling* kuat yang mengindikasikan adanya fenomena *upwelling* dengan rata-rata kandungan SPL yang lebih dingin dibandingkan daerah sekitar dengan nilai 27,224 °C, klorofil-a yang tinggi sebesar 0,46 mg/m³ dan kecepatan angin tinggi 6,604 m/s.
3. Korelasi spasial antar parameter *upwelling* dari hasil klimatologi menunjukan setiap parameter saling berhubungan. Hubungan antara SPL dan klorofil-a mempunyai korelasi yang berbanding terbalik apabila SPL tinggi maka klorofil-a rendah dan sebaliknya. Hubungan antara SPL dengan kecepatan angin mempunyai korelasi yang berbanding terbalik apabila SPL tinggi maka kecepatan angin rendah dan sebaliknya. Hubungan antara klorofil-a dan kecepatan angin mempunyai korelasi yang sebanding apabila klorofil-a tinggi maka kecepatan angin ikut tinggi. Uji statistika dilakukan untuk membuktikan hubungan antar parameter *upwelling* dengan uji *bivariate spearman* dan uji *multivariate*. Hasil uji *bivariate spearman* membuktikan setiap parameter *upwelling* saling berhubungan. Hasil uji *multivariate*

untuk pengujian bertingkat antar kriteria *upwelling* saling berhubungan satu sama lain terhadap parameter *upwelling*. Sehingga dapat disimpulkan setiap parameter *upwelling* saling berhubungan untuk mengidentifikasi daerah *upwelling*.

4. Fenomena *upwelling* terjadi pada musim timur (Juni-Agustus) dibuktikan dengan sebaran titik koordinat potensi dan banyaknya ikan. Adanya daerah tangkapan ikan di selatan perairan Pulau Buru dan Seram membuktikan parameter *upwelling* mempengaruhi potensi ikan. Potensi ikan di wilayah perairan Pulau Buru dan Seram perlu digali secara optimal kerana perairan tersebut merupakan daerah yang subur dan kaya akan ikan. Secara spasial daerah penangkapan ikan bulan Juni-Agustus tersebar di selatan perairan Pulau Buru dan Seram. Pada daerah tersebut masih kurang aktivitas penangkapan ikan sehingga perlu dimanfaatkan secara optimal oleh nelayan.

V.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diajukan antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penambahan parameter untuk menganalisis fenomena *upwelling* lebih dalam dan detail.
2. Untuk data validasi *upwelling* sebaiknya menggunakan data tangkap ikan yang didapat dari pelabuhan perikanan sehingga didapatkan titik sebaran yang lebih akurat dan lebih banyak.
3. Dengan adanya peta sebaran SPL dan klorofil-a di musim timur diharapkan para nelayan dapat mengoptimalkan aktivitas penangkapan ikan di selatan perairan Pulau Buru dan Seram.
4. Pola sebaran SPL, klorofil-a dan angin selama 13 tahun dapat mewakili dalam mengidentifikasi daerah *upwelling* di selatan perairan Pulau Buru dan Seram untuk melakukan penelitian lebih lanjut dan mengeksplorasi kesuburan wilayah perairan tersebut.

Daftar Pustaka

- Birowo dan Arief. (1983). *Upwelling* atau Penaikan Air Massa Air. Jurnal Pewarta Oceana. Jakarta : LON-LPPI.
- Brown OB dan Minnet PJ. (1999). *MODIS Infrared Sea Surface Temperature Algorithm. Algorithm Theoretical Basis Document (MOD25). Edisi 2.* Miami : University of Miami.
- BPOL. (2016). Potensi Ikan Kepulauan Maluku Tahun 2015. www.bpol.litbang.kkp.go.id/peta-pdpi-nasional, diakses pada 14 Juni 2016.

- Google Earth*. (2016). Peta Buru dan Seram. www.googleearth.com, diakses pada tanggal 9 Maret 2016.
- Konsistensi. (2015). Uji Koefisien Korelasi *Spearman*. <http://www.konsistensi.com>, diakses pada tanggal 14 Juni 2016.
- Krismono. (2010). Hubungan Antara Kualitas Air Dengan Klorofil-a Dan Pengaruhnya Terhadap Populasi Ikan Di Perairan Danau Limboto. *Jurnal Limnotek*.
- Kunarso. (2014). Pengaruh Monsun, El-Nino *Southern Oscillation* dan *Indian Ocean Dipole*. Terhadap Waktu dan Daerah Penangkapan Ikan Tuna di Samudra India Bagian Timur. Disertasi. Program Studi Sains Kebumihan. Bandung : ITB.
- Meliani. (2006). Kajian Konsentrasi Dan Sebaran Spasial Klorofil-a di Perairan Teluk Jakarta Menggunakan Citra Satelit *Aqua MODIS*. Bogor : Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Metrotv News. (2014). Potensi Indonesia Sebagai Negara Maritim. <http://ekonomi.metrotvnews.com/read/2014/10/22/308561/potensi-indonesia-sebagai-negara-maritim>, diakses pada tanggal 14 Juni 2016.
- Nontji. (2005). Laut Nusantara (Edisi Keempat). Jakarta : Djambatan.
- Ocean Color*. (2016). Aqua MODIS SPL dan Klorofil-a. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>, diakses pada 9 Maret 2016.
- Prayitno. (2008). Studi Variabilitas Suhu dan Klorofil-a Permukaan Laut pada Musim Timur di Selatan Jawa-Bali Berdasarkan Analisa Data MODIS. Skripsi.PS. Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Semarang : UNDIP.
- QuickScat*. (2016). Citra *QuickScat*. <ftp://ftp.ssmi.com/qsat/>, diakses pada tanggal 14 Juni 2016.
- Wyrтки. (1961). *Physical Oceanography of South East Asia Waters*. Naga Report. Vol 2. Scripps Institution of Oceanography La Jolla California. California : The University of California.
- Yamaji. (1966). *Illustrations Of The Marine Plankton Of Japan Hoikusha*. Japan: Osaka.