

**IDENTIFIKASI KAWASAN *UPWELLING* BERDASARKAN
VARIABILITAS KLOOROFIL-A, SUHU PERMUKAAN LAUT DARI DATA
CITRA *AQUA MODIS* TAHUN 2003-2015 DAN ARUS
(Studi Kasus: Perairan Nusa Tenggara Timur)**

Hestningsih, Yudo Prasetyo, Bandi Sasmito, Anindya Wirasatriya^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
email: hestningsih5581@gmail.com

ABSTRAK

Keberadaan laut Indonesia yang luas dan posisi Indonesia yang strategis menjadikan Indonesia sebagai poros maritim dunia sehingga Indonesia memiliki sumber daya alam laut yang sangat potensial, salah satunya yaitu perairan Nusa Tenggara Timur (NTT) yang mempunyai potensi ikan yang melimpah. Banyaknya potensi ikan tidak lepas dari keberadaan fitoplankton yang dapat diketahui dari kandungan klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut (SPL) melalui teknologi penginderaan jauh dengan memanfaatkan citra aqua MODIS dan didukung dengan arah dan kecepatan angin citra *QuickScat* di perairan NTT.

Metode pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan bahasa pemrograman untuk mengolah data SPL, klorofil-a dan arus dari tahun 2003-2015 sehingga didapatkan pola spasial sebaran SPL, klorofil-a, arah dan kecepatan angin untuk mengidentifikasi fenomena *upwelling* di perairan NTT yang terbukti kaya akan nutrisi dan banyak mengandung fitoplankton sebagai pakan alami ikan sehingga memberikan banyak pengaruh dalam peningkatan produktivitas ikan di perairan NTT. Pengujian data dilakukan dengan menganalisis spasial sebaran data klorofil-a, SPL dan angin terhadap daerah potensi ikan di perairan NTT.

Hasil penelitian ini diperoleh peta sebaran SPL, klorofil-a dan arus secara klimatologi untuk mengetahui sebab akibat fenomena *upwelling* di perairan NTT. Fenomena *upwelling* di perairan NTT terjadi pada bulan Mei sampai bulan September. Pada waktu *upwelling*, nilai sebaran klorofil-a berkisar 0,223-0,413 mg/m³ dengan rata-rata 0,329 mg/m³, sebaran klorofil-a tertinggi pada bulan September. Nilai sebaran SPL berkisar 26,768-28,689 °C dengan rata-rata 27,548 °C, sebaran SPL terendah pada bulan Agustus dan kecepatan angin pada saat *upwelling* berkisar 3,654-5,351 m/s dengan rata-rata 4,715 m/s, kecepatan angin tertinggi pada bulan Juli. Oleh karena itu, terjadi keterlambatan waktu *upwelling* di perairan NTT.

Kata Kunci : *Aqua MODIS*, Klorofil-a, Penginderaan Jauh, Suhu Permukaan Laut (SPL), *Upwelling*.

ABSTRACT

The existence of Indonesian sea which is widely and strategic becoming Indonesia as the world maritime axis that is why Indonesia have potential sea natural resources, one of them is East Nusa Tenggara (NTT) where have great fish potential. A lot of fish potential is related to fitoplankton existence which can know from chlorophyll-a and sea surface temperature by remote sensing with using Aqua MODIS imagery and also complemented with the wind vector and wind velocity from QuickScat Imagery in NTT sea.

The data processing method in this research was used IDL to process sea surface temperature, chlorophyll-a and tide from 2013 until 2015, therefore sea surface temperature distribution spatial pattern, chlorophyll-a, vector and speed of wind to identify upwelling phenomenon in NTT sea which proven a lot of nutrition and a lot of fitoplankton as natural feed for fish therefore it can get impact for rising fish productivity in NTT sea. The test of data is required by analyzed distribution of chlorophyll-a, Sea Surface Temperature (SST) and wind to fish potential area in NTT sea.

This research product are sea surface temperature distribution map and tide map, based on climatology this is to know cause and effect of upwelling in NTT sea. Upwelling phenomenon in NTT sea is happened on May until december. When the upwelling happens, chlorophyll-a value is about 0,223 until 0,413 mg/m³ with the average is 0,329 mg/m³, the highest distribution of chlorophyll-a is on September. Sea surface temperature value distribution between 26,768-28,689 °C with the average is 27,548 °C, and The lowest distribution is on August and wid speed when upwelling happens is about 3,654-5,351 m/s with the average is 4,715 m/s, The highest wind speed is on July. Therefore, it makes upwelling time late in NTT sea.

Keywords : *Aqua MODIS*, Chlorophyll-a, Remote sensing, Sea Surface Temperature (SST), *Upwelling*.

^{*)} Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Keberadaan wilayah laut Indonesia yang luas, sehingga memiliki sumber daya alam laut yang sangat potensial dan posisi Indonesia yang strategis karena secara geografis letak Indonesia berada di antara dua samudra yaitu samudra Pasifik dan samudra Hindia serta dua benua yaitu benua Asia dan benua Australia yang menyebabkan negara Indonesia menjadi poros maritim dunia. Pelayaran dan perdagangan dunia selama ini melewati perairan Indonesia. Hal ini merupakan modal dasar negara Indonesia dalam bidang kemaritiman.

Salah satu perairan Indonesia yang memiliki keanekaragaman hayati dan menjadi “rebutan” berbagai kepentingan negara-negara di dunia adalah perairan Nusa Tenggara Timur terutama laut Sawu yang merupakan kawasan perairan yang luas di Nusa Tenggara Timur yang masuk dalam kawasan segitiga emas karang dunia (*the coral triangle*) karena perairan itu memiliki sebaran terumbu karang yang luas dan potensi ikan yang melimpah. Selain itu, laut Sawu menjadi kawasan utama jalur pelayaran nasional. Laut Sawu dikelilingi oleh gugusan kepulauan Flores, Sumba, Timor dan Alor (Flobamora) yang ditetapkan sebagai Taman Laut Nasional dan kawasan konservasi.

Banyaknya potensi ikan yang ada di laut Sawu tidak lepas dari keberadaan unsur zat hara yang tinggi di laut Sawu. 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 (Yuliana, 2007). Keberadaan fitoplankton dapat diketahui dari kandungan klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut (SPL) melalui teknologi penginderaan jauh. Salah satunya yaitu dengan memanfaatkan citra aqua MODIS.

Pemanfaatan satelit Aqua MODIS diharapkan dapat menggambarkan pola sebaran klorofil-a dan SPL untuk mengidentifikasi fenomena *upwelling* di perairan NTT yang terbukti kaya akan nutrisi dan banyak mengandung fitoplankton sebagai pakan alami ikan sehingga memberikan banyak pengaruh dalam peningkatan produktivitas ikan.

I.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis spasial antara klorofil-a, SPL dan arus berdasarkan klimatologi di Perairan NTT.
2. Mengetahui penetapan kriteria *upwelling* berdasarkan parameter klorofil-a dan SPL di Perairan NTT.
3. Menganalisis korelasi spasial dan uji statistik antar parameter berdasarkan klimatologi.
4. Mengetahui hasil validasi antara klorofil-a, SPL dan arus terhadap daerah potensi tangkapan ikan di perairan NTT.

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. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu deskriptif dan statistik yang ditujukan untuk menggambarkan fenomena *upwelling* yang berlangsung saat ini dan berlangsung sebelumnya untuk mendapatkan pola terjadinya *upwelling* di perairan NTT.
2. Penelitian ini menggunakan algoritma OC3M sebagai standar dalam pengolahan citra aqua MODIS untuk mendapatkan data klorofil-a dan algoritma (Minner dkk., 1999) untuk penentuan nilai SPL di perairan secara global.
3. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah klorofil-a, SPL dan arus.

I.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

A. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui, memahami dan menerapkan teknologi penginderaan jauh dalam permodelan *upwelling* berdasarkan data klorofil-a, SPL dan arus.

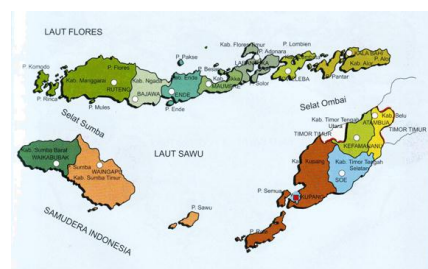
B. Manfaat

Manfaat yang didapat dari penelitian ini yaitu:

1. Bidang Keilmuan
 - a. Memberikan wawasan kepada mahasiswa mengenai aplikasi teknologi penginderaan jauh dalam bidang kelautan dan oseanografi.
 - b. Mengidentifikasi kawasan *upwelling* berdasarkan pola musiman dan *blooming* fitoplankton berdasarkan variabilitas klorofil-a, SPL dan arus di perairan NTT.
2. Bidang Rekayasa
 - a. Memberikan peta tentang daerah potensi pengangkapan ikan yang dapat dijadikan sebagai pedoman nelayan sehingga dapat meningkatkan produktivitas ikan.
 - b. Memberikan informasi mengenai daerah dengan jumlah produksi ikan tinggi berdasarkan polanya dengan teknik penginderaan jauh sehingga lebih efisien dalam segi biaya, waktu dan cakupan wilayahnya lebih luas.

I.5. Ruang Lingkup Penelitian

1. Wilayah Penelitian



Gambar I.1 Wilayah Penelitian

Wilayah penelitian tugas akhir ini adalah perairan NTT dengan koordinat 5⁰ LS sampai 10⁰ LS dan 117⁰ BT sampai 128⁰ BT, dapat dilihat pada gambar I.1

2. Perangkat

Perangkat yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel I.1

Tabel I.1 Perangkat Keras dan Lunak

No	Perangkat Keras dan Lunak	Fungsi
1.	Laptop Sony Vaio E Series Intel Core i7	Pembuatan seluruh kegiatan penelitian
2.	Printer Epson L210	Pencetakan data
3.	Hardisk Eksternal	Penyimpanan data
4.	WinSCP	Pengunduhan data
5.	IDL 8.3	Pembuatan skrip pemrograman
6.	ArcGIS 10.2	Pembuatan <i>layout</i> peta
7.	SPSS 17	Perhitungan statistik
8.	Microsoft Office Visio 2007	Pembuatan diagram alir
9.	Microsoft Word 2016	Pembuatan laporan
10.	Microsoft Excel 2016	Pembuatan tabel, diagram dan kurva

3. Data penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

Tabel I.2 Data Penelitian

No	Jenis Data	Tahun Akuisisi	Sumber Data	Keterangan
1.	Klorofil-a	2003-2015	WinSCP	Citra Aqua MODIS Level 3
2.	SPL	2003-2015	WinSCP	Citra Aqua MODIS Level 3
3.	Arus	2008-2015	P3SDLP	Permodelan Analisis HYCOM
4.	Angin	2003-2015	WinSCP	Citra <i>Quickscat</i> Level 3
5.	Daerah potensi tangkapan ikan	2011-2015	BPOL	<i>Shapefile</i> daerah potensi tangkapan ikan

I.6. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode deskriptif untuk mendeskripsikan hubungan antar variabel dan mengkaitkannya dengan fenomena yang ada serta mengkaji sebab akibatnya dan analisis statistik untuk mengetahui nilai sebaran klorofil-a, nilai sebaran SPL, kecepatan dan arah arus serta kecepatan dan arah angin baik secara klimatologi, musiman dan bulanan yang dikaitkan dengan fenomena *upwelling* yang diasumsikan sebagai lokasi tempat berkumpulnya ikan (*fishing ground*).

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Fitoplankton dan Klorofil-a

Fitoplankton merupakan tumbuhan mikroskopis yang pergerakannya sangat dipengaruhi oleh arus (Odum, 1971). Fitoplankton bebas melayang dan hanyut dalam laut serta memiliki klorofil-a untuk

melakukan fotosintesis dengan bantuan sinar matahari (Nybakken, 1992).

Sedangkan klorofil-a merupakan zat hijau daun yang terdapat pada semua tumbuhan berperan dalam proses perubahan energi cahaya menjadi energi kimia, proses ini dikenal dengan fotosintesis berkaitan erat dengan kelimpahan fitoplankton (Nybakken, 1992)

II.2. Suhu Permukaan Laut (SPL)

SPL merupakan faktor yang mempengaruhi kehidupan biota yang hidup di dalam laut terutama untuk kehidupan ikan. Perubahan suhu yang cukup drastis akan mempengaruhi bahkan menghilangkan kehidupan biota yang ada di suatu wilayah perairan. Pergerakan ikan juga sangat dipengaruhi dengan adanya perubahan suhu yang drastis dimana hal ini sangat berhubungan dengan kemampuan beradaptasi dari suatu makhluk hidup (Hutabarat dan Evans, 1986).

II.3. Arus

Arus air laut adalah pergerakan massa air secara vertikal dan horizontal sehingga menuju keseimbangannya, atau gerakan air yang sangat luas yang terjadi di seluruh lautan dunia. Arus juga merupakan gerakan mengalir suatu massa air yang dikarenakan tiupan angin atau perbedaan densitas atau pergerakan gelombang panjang. Pergerakan arus dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain arah angin, perbedaan tekanan air, perbedaan densitas air, gaya *Coriolis* dan arus *ekman*, topografi dasar laut, arus permukaan, *upwelling* dan *downwelling*. *Ekman* spiral merujuk ke struktur arus atau angin di dekat garis batas horizontal yang arah alirannya berputar dan bergerak menjauh (ekspedisi Fram 1893-1896).

II.4. Angin

Menurut (Ballot, 1857) angin adalah udara yang bergerak akibat rotasi bumi dan perbedaan tekanan udara di sekitarnya, angin bertiup dari daerah yang bertekanan maksimum ke daerah bertekanan minimum, di belahan bumi utara angin berbelok ke kanan sedangkan di belahan bumi selatan angin berbelok ke kiri. Adanya letak geografis, menyebabkan terjadinya gerakan angin muson yang melalui Indonesia. Ada dua ciri utama iklim Monsun, yakni adanya perbedaan yang tegas antara musim basah (*wet season*) dan musim kering (*dry season*) yang umumnya terjadi pada periode Desember, Januari, dan february dan Juni, Juli dan Agustus.

II.5. Teori *Upwelling*

Menurut (Nontji, 1993) *Upwelling* adalah penaikan massa air laut dari suatu lapisan dalam ke lapisan permukaan. Gerakan naik ini membawa serta air yang suhunya lebih dingin, salinitas tinggi dan zat-zat hara yang kaya ke permukaan. Fenomena *upwelling* merupakan suatu kejadian yang penting untuk mengetahui tingkat kesuburan suatu perairan. Hal ini dikarenakan, fenomena *upwelling* membawa zat-zat hara yang kaya akan nutrisi ke permukaan dan banyak mengandung *fitoplankton* sebagai pakan alami ikan sehingga memberikan banyak pengaruh dalam peningkatan produktivitas ikan.

II.6. Citra Aqua MODIS

Sensor MODIS yang terpasang pada satelit Terra dan Aqua dapat digunakan untuk mengetahui kondisi permukaan bumi baik darat, laut dan atmosfer dalam skala global, seperti perubahan penutupan awan, jumlah radiasi identifikasi titik panas, Suhu Permukaan Laut konsentrasi klorofil-a, padatan tersuspensi dan produktivitas primer (Hendra B.P, 2010)

II.7. Satelit QuickScat

Merupakan satelit milik NASA dengan misi khusus untuk mengukur arah dan kecepatan angin pada semua kondisi cuaca dan awan di atas lautan bumi (NASA, 2016).

QuickScat juga bekerja untuk memonitor kondisi iklim abnormal dari El Nino dan La Nina. Perubahan kondisi angin pada Samudera Pasifik merupakan komponen penting terhadap fenomena El Nino dan La Nina. QuickScat sebagai pendeteksi terjadinya badai, karena radar QuickScat mampu menentukan lokasi, struktur dan kekuatan badai yang sedang terjadi di laut. Badai laut keras - topan di Samudera Atlantik, topan dekat Asia dapat dideteksi oleh radar QuickScat (Suardi, 2009)

III. Pelaksanaan Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai jalannya pelaksanaan penelitian, mulai dari tahapan persiapan, tahapan pengolahan dan tahapan analisis. Tahapan pelaksanaan secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar III.1

Secara garis besar, penelitian ini dibagi menjadi empat tahapan pelaksanaan dapat dilihat pada gambar III.1, yaitu:

1. Tahapan persiapan

Menyiapkan data citra aqua MODIS yang terdiri dari data klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut (SPL) sebagai data utama. Data arus dan data potensi daerah tangkapan ikan sebagai data pendukung.

2. Tahapan pengolahan data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *perangkat lunak* IDL (*Interactive Data Language*) dengan membuat skrip bahasa pemrograman. Proses pengolahan data dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

1. Ekstrak data citra

Bertujuan untuk menampilkan sebaran data SPL, klorofil-a dan angin secara harian secara spasial.

2. Kompilasi citra

Tujuan dilakukan kompilasi citra yaitu untuk menguatkan sinyal dari variabel hasil pengolahan ekstrak data citra yang masih terdapat *blank* atau kosong.

Kompilasi citra terdapat dua tahapan, yaitu:

1) Kompilasi bulanan

Tahapan ini dilakukan dengan merata-rata data spasial harian ke bulanan pada rentang waktu tahun 2003-2015.

2) Kompilasi klimatologi

Pada tahap ini data spasial bulanan dilakukan rata-rata setiap bulannya dalam rentang waktu

2003-2015. Tujuan dilakukan kompilasi citra secara klimatologi yaitu untuk menemukan pola sebaran klorofil-a, SPL dan arus yang lebih halus dan akurat.

3. Konversi data klimatologi SPL, klorofil-a dan arus

Selain secara spasial, data SPL, klorofil-a dan arus hasil pengolahan juga ditampilkan nilai sebarannya dengan cara melakukan konversi. Hasilnya berupa nilai sebaran dan grafik multitemporal klimatologi tiap variabel.

4. Tahapan Verifikasi Data

Verifikasi data dilakukan untuk mengetahui apakah data tersebut dapat dilakukan pemrosesan selanjutnya atau tidak. Parameter yang digunakan dalam melakukan verifikasi data, meliputi:

a. Kesesuaian interval grid

Garis yang membagi piksel secara horizontal maupun vertikal dengan jarak antar grid sama. Jumlah dan jarak dari garis grid dalam interval grid dapat diubah dengan membagi interval.

b. Kesesuaian pemotongan area

Pemotongan area sebaran data SPL, klorofil-a dan arus harus mempunyai koordinat yang sama karena hal ini mempengaruhi nilai spasial sebaran data SPL, klorofil-a dan arus.

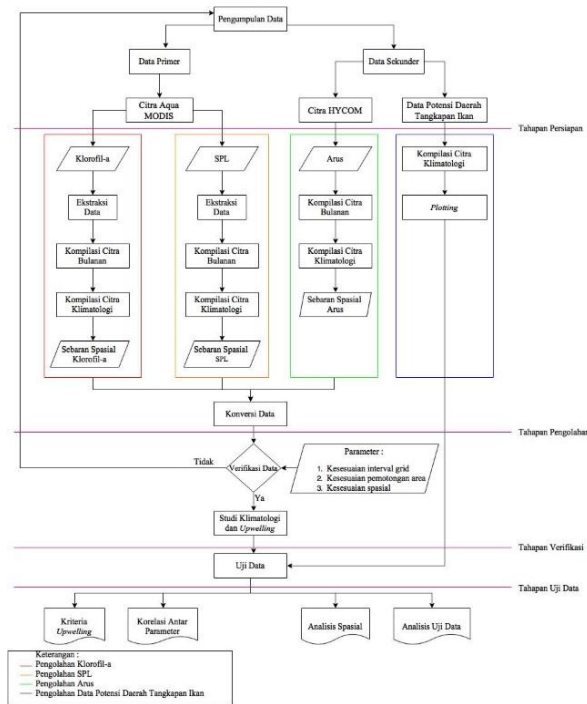
c. Kesesuaian spasial

Data hasil pengolahan harus sesuai dengan keruangan yang berorientasi geografis baik bentuk, ukuran, pola, bayangan dan tekstur.

Pada tahapan ini, diperoleh hasil data arus yang tidak memenuhi syarat verifikasi data. Oleh karena itu, data arus digantikan dengan data angin yang cara pengolahannya sama dengan data arus.

d. Tahapan Uji Data

Pada tahap ini dilakukan proses analisis data sebaran klorofil-a, SPL dan angin dengan data tangkapan ikan kemudian dilakukan studi klimatologi dan bulanan untuk mengetahui secara detail fenomena yang ada serta mengkaji sebab akibatnya. Dari hasil studi klimatologi dilakukan analisis fenomena *upwelling* mengkaitkannya dengan karakteristik terjadinya *upwelling* dan uji statistik untuk mengetahui hubungan antar variabel.



Gambar III.1 Tahapan Pelaksanaan

IV. Hasil dan Pembahasan

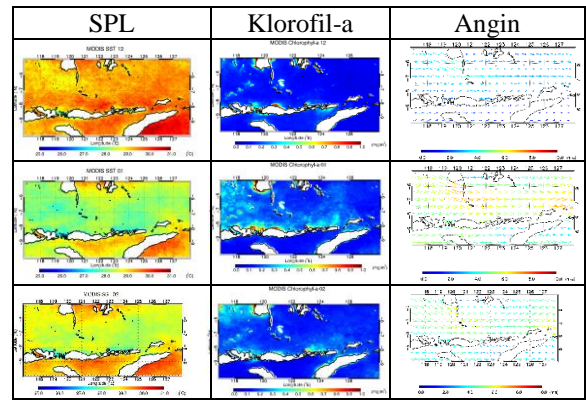
IV.1. Variabilitas Suhu Permukaan Laut (SPL), Klorofil-a dan Angin

Pengkajian variabilitas SPL, klorofil-a dan angin dilakukan dengan dua cara yaitu secara klimatologi bertujuan untuk mengetahui pola sebaran dalam rentang tahun 2003 sampai 2015 baik secara spasial maupun statistik dan berdasarkan bulanan bertujuan untuk mengetahui fenomena yang detail pada bulan dan musim tertentu.

a. Berdasarkan Klimatologi

Berdasarkan perhitungan standar deviasi SPL klimatologi diperoleh nilai rata-rata SPL terendah yaitu pada bulan Agustus yakni 26,76⁰C dan rata-rata SPL tertinggi 29,52⁰C pada bulan Desember.

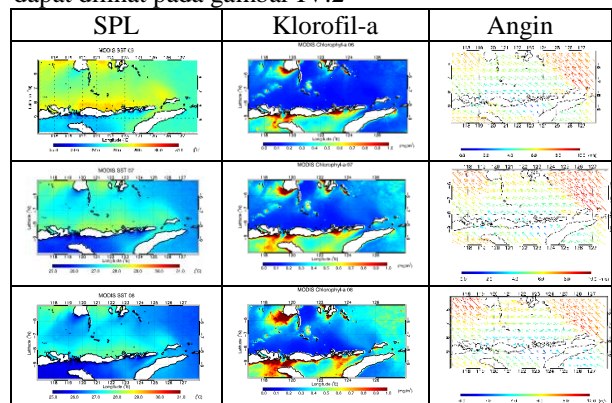
Pada musim Barat, kedudukan semu matahari berada di belahan bumi selatan sehingga panas matahari yang diterima oleh perairan NTT lebih besar dibandingkan pada saat musim Timur. Hal ini yang menyebabkan SPL di musim Barat cenderung lebih tinggi. Gerakan angin juga dipengaruhi oleh gaya *coriolis* yang mampu membelokkan arah arus yang berasal dari tenaga rotasi bumi. Arus yang disebabkan oleh angin muson barat menyimpang 45⁰ ke kiri menuju benua Australia. Penyimpangan tersebut mengakibatkan massa air bergerak menuju perairan NTT sehingga tidak ditemukan adanya kekosongan massa air. Kecepatan angin yang berhembus pada saat musim Barat ini berkisar 2,3-5,1 m/s dengan kecepatan rata-rata sebesar 3,9 m/s lebih lambat jika dibandingkan dengan kecepatan angin pada saat musim Timur. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel IV.1. Sedangkan sebaran spasial SPL, klorofil-a dan angin dapat dilihat pada gambar IV.1.



Gambar IV.1 Sebaran Spasial SPL, Klorofil-a dan Angin Secara Klimatologi Pada Musim Barat

Pada saat musim Timur, kecepatan angin di perairan NTT pada musim Timur berkisar 4,83-5,35 m/s dengan rata-rata kecepatan angin sebesar 5,14 m/s, lebih cepat daripada musim lain. Kuatnya angin muson timur yang bertiup menyebabkan pergerakan massa air permukaan cenderung bergerak ke arah barat. Keadaan tersebut mengakibatkan massa air di sepanjang pantai NTT bergerak menjauhi pantai sehingga suhu permukaan laut menjadi lebih dingin sebagai akibat dari adanya transpor Ekman.

Pada saat massa air bergerak menjauhi pantai, disaat itulah terjadi kekosongan massa air di sekitar pantai NTT sehingga terjadi kenaikan massa air dari dasar laut yang mempunyai suhu lebih dingin dan bermassa jenis lebih besar ke permukaan laut akibat dari angin di atasnya. Hal ini disebut dengan fenomena *upwelling*. Naiknya massa air dari dasar laut ke permukaan laut membutuhkan waktu (*time lag*) untuk mengisi kekosongan massa air di permukaan laut. Adanya *time lag* ini menyebabkan SPL yang lebih rendah. Penelitian ini menunjukkan SPL terendah terjadi di bulan Agustus. Sebaran spasial SPL, klorofil-a dan angin secara klimatologi pada musim Timur dapat dilihat pada gambar IV.2



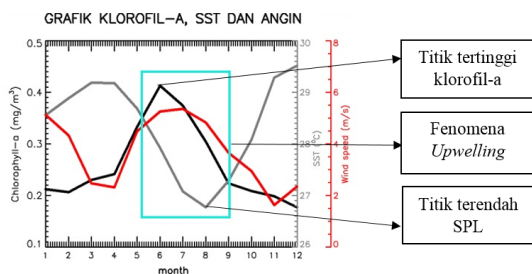
Gambar IV.2 Sebaran Spasial SPL, Klorofil-a dan Angin Secara Klimatologi Pada Musim Timur

Nilai sebaran spasial SPL, klorofil-a dan angin secara dapat dilihat pada tabel IV.1.

Tabel IV.1 Nilai Sebaran Klorofil-a, SPL dan Angin Secara Klimatologi

Bulan	Klorofil-a (mg/m ³)	Suhu Permukaan Laut (Celcius)	Angin (m/s)
Januari	0,21183	28,55729	5,13376
Februari	0,20615	28,88500	4,32902
Maret	0,22985	29,18476	2,46930
April	0,24124	29,17557	2,30736
Mei	0,33311	28,68917	4,47937
Juni	0,41301	27,91989	5,25769
Juli	0,37439	27,07974	5,35116
Agustus	0,30406	26,76891	4,83373
September	0,22339	27,28648	3,65491
Oktober	0,20876	28,08729	2,94892
November	0,19890	29,28348	1,62323
Desember	0,17691	29,52218	2,35810

Secara visual, grafik multitemporal antara variabel SPL, klorofil-a dan angin dapat dilihat pada gambar IV.3. Grafik multitemporal tersebut dapat menunjukkan hubungan antar parameter di setiap bulannya berdasarkan klimatologi.



Gambar IV.3 Grafik Multitemporal Klorofil-a, SST dan Angin

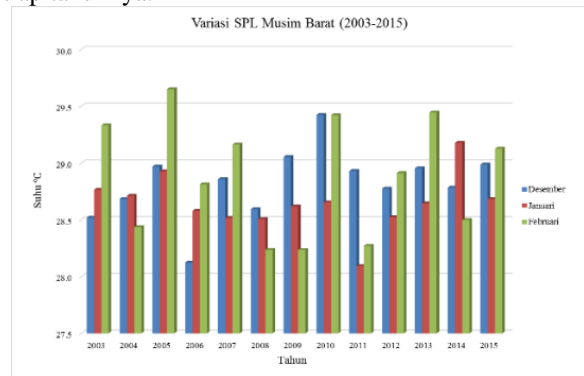
Sedangkan rata-rata klimatologi nilai sebaran klorofil-a pada kurun waktu tahun 2003 sampai 2015 membentuk pola sebaran yang mengalami kenaikan secara signifikan hingga puncak tertinggi sebaran klorofil-a terjadi pada musim Timur tepatnya pada bulan Juni mencapai 0,413 mg/m³ dan mulai mengalami penurunan kembali secara signifikan pada bulan Juli sebesar 0,374 mg/m³ dapat dilihat pada gambar IV.3. Nilai sebaran klorofil-a mulai normal kembali pada bulan September dengan nilai sebaran klorofil-a sebesar 0,233 mg/m³. Sebaran spasial klorofil-a secara klimatologi pada musim Timur dapat dilihat pada gambar IV.2. Adanya variasi ini kemungkinan disebabkan oleh pengaruh musim pergerakan massa air, angin dan fenomena yang terjadi seperti fenomena IOD dan ENSO serta Arlindo yang mempengaruhi perairan NTT.

Pada saat nilai sebaran klorofil-a mengalami kenaikan, kecepatan angin mencapai 5 m/s dan ketika nilai sebaran angin mulai mengalami penurunan kecepatan angin juga ikut menurun hingga mencapai 1,62 m/s. Sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya hubungan searah antara nilai sebaran klorofil-a dengan kecepatan angin secara klimatologi.

b. Berdasarkan Bulanan

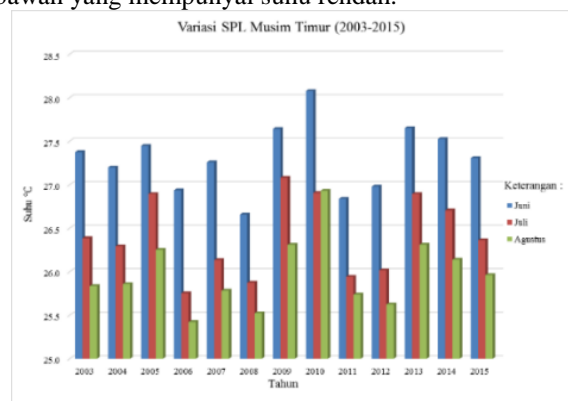
Statistik variasi nilai rata-rata SPL di musim Barat pada tahun 2003-2015 dapat dilihat pada gambar IV.4. Rata-rata SPL tahun 2003 hingga 2015 yaitu

28,78 °C. SPL terendah terjadi pada bulan Januari tahun 2011 yaitu 28,09 °C dan nilai SPL tertinggi pada bulan Februari tahun 2005 yaitu 29,64°C. Variasi nilai SPL setiap bulannya pada musim yang sama cenderung fluktuatif, tidak menunjukkan pola yang sama pada setiap tahunnya, perbedaan ini diduga karena adanya fenomena IOD dan ENSO terhadap perairan tersebut tiap tahunnya.



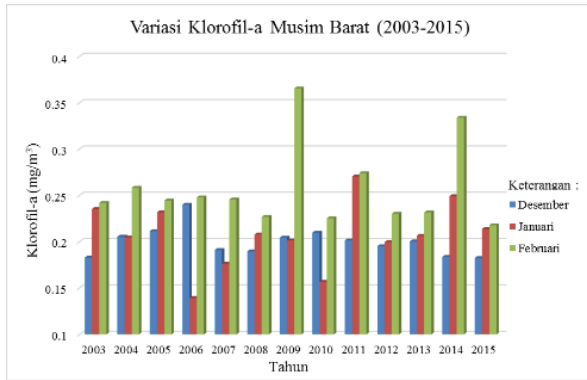
Gambar IV.4 Variasi SPL pada Musim Barat

Variasi nilai sebaran SPL pada musim Timur pada tahun 2003 sampai tahun 2005 lebih rendah daripada variasi nilai sebaran SPL di musim Barat. Nilai rata-rata sebaran SPL pada musim Timur sebesar 26,550°C dengan kisaran 25,423°C–26,93°C. Hal ini dapat dilihat pada gambar IV.5. Dinginnya SPL mengindikasikan adanya pengangkatan massa air dari bawah yang mempunyai suhu rendah.



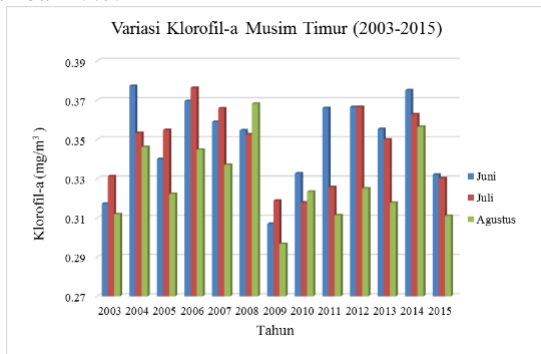
Gambar IV.5 Variasi SPL pada Musim Timur

Variasi statistik nilai sebaran klorofil-a pada musim Barat dapat dilihat pada gambar IV.6. Ada anomali klorofil-a yang terjadi pada bulan Februari tahun 2009 dan bulan Februari tahun 2014 disebabkan karena adanya fenomena *El-Nino* yang kuat pada tahun tersebut. Pada bulan Februari tahun 2009 nilai sebaran klorofil-a mencapai 0,365 mg/m³ dan pada bulan Februari tahun 2014 mencapai 0,334 mg/m³.



Gambar IV.6 Variasi Klorofil-a Musim Barat

Nilai sebaran klorofil-a pada musim Timur meningkat dapat dilihat dari nilai rata-ratanya yaitu $0,341 \text{ mg/m}^3$ pada kisaran $0,296$ sampai $0,377 \text{ mg/m}^3$. Pada musim Timur nilai sebaran klorofil-a lebih tinggi jika dibandingkan dengan musim lain. Pada saat musim Timur terjadi kekosongan massa air di sekitar pantai NTT sehingga terjadi kenaikan massa air dari dasar laut (*upwelling*). Naiknya massa air tersebut membawa kadar nutrien yang lebih tinggi, sehingga memicu pertumbuhan fitoplankton menjadi lebih cepat dan kadar klorofil-a juga meningkat hal ini dibuktikan pada gambar IV.7.



Gambar IV.7 Variasi Klorofil-a Pada Musim Timur

IV.2. Kriteria *Upwelling* di Perairan NTT

a. Kriteria *Upwelling* berdasarkan SPL

Rata-rata, standar deviasi, nilai tertinggi, nilai terendah dan garis batas SPL sebagai dasar untuk menentukan kriteria *upwelling* yang dapat dilihat pada tabel IV.2.

Tabel IV.2 Kriteria *Upwelling* Berdasarkan SPL

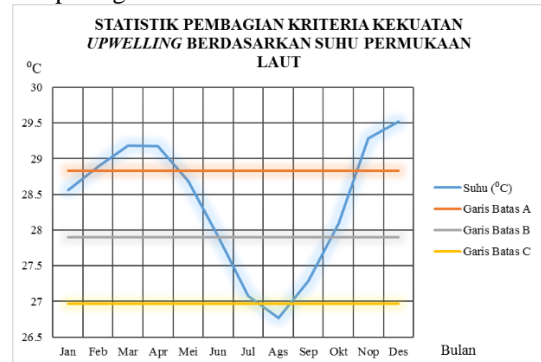
Kriteria <i>Upwelling</i> Berdasarkan SPL	
<i>Upwelling</i> Lemah (UL)	$UL > 28,836^{\circ}\text{C}$
<i>Upwelling</i> Medium (UM)	$27,903^{\circ}\text{C} \leq UM \leq 28,836^{\circ}\text{C}$
<i>Upwelling</i> Kuat (UK)	$26,971^{\circ}\text{C} \leq UK < 27,903^{\circ}\text{C}$
<i>Upwelling</i> Sangat Kuat (USK)	$USK < 26,971^{\circ}\text{C}$

Berdasarkan tabel IV.2 *Upwelling* Lemah (UL) di perairan NTT terjadi pada saat nilai SPL lebih dari $28,836^{\circ}\text{C}$, di atas garis batas A (Gambar IV.11). Puncaknya ada pada pertengahan bulan Maret hingga April sebesar $29,184^{\circ}\text{C}$ sampai $29,175^{\circ}\text{C}$ dan puncak SPL tertinggi pada pertengahan bulan Nopember hingga bulan Desember sebesar $29,283^{\circ}\text{C}$ sampai $29,522^{\circ}\text{C}$. Nilai terendah SPL terjadi pada bulan Agustus dengan nilai SPL sebesar $26,768^{\circ}\text{C}$ yang

termasuk pada kriteria *Upwelling* Sangat Kuat (USK) karena nilai SPL pada bulan Agustus lebih rendah dari garis batas C $26,971^{\circ}\text{C}$.

Upwelling Medium (UM) di perairan NTT terjadi pada saat nilai SPL berada diantara batas A dan B. Nilai garis batas A dan B dapat dilihat pada tabel IV.3. *Upwelling* Medium terjadi pada awal bulan Mei sebesar $28,689^{\circ}\text{C}$ dan turun pada bulan Juni sebesar $27,919^{\circ}\text{C}$. Selain itu, *Upwelling* Medium juga terjadi pada bulan Oktober dengan nilai SPL sebesar $28,087^{\circ}\text{C}$ naik hingga awal Nopember sebesar $29,283^{\circ}\text{C}$.

Kriteria *Upwelling* Kuat (UK) terjadi pada saat nilai SPL lebih besar dari sama dengan $26,971^{\circ}\text{C}$ (Garis Batas C) dan kurang dari $27,903^{\circ}\text{C}$ (Garis batas B) terjadi bulan Juni sebesar $27,919^{\circ}\text{C}$ sampai bulan Juli $27,079^{\circ}\text{C}$ dan akhir bulan Agustus sebesar $26,76^{\circ}\text{C}$ hingga akhir bulan Oktober mencapai $28,087^{\circ}\text{C}$. Sedangkan secara grafik kriteria *upwelling* dapat dilihat pada gambar IV.8.



Gambar IV.8 Statistik Pembagian Kriteria *Upwelling* berdasarkan SPL

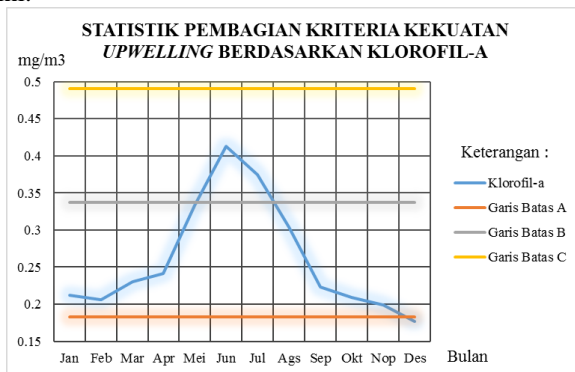
b. Kriteria *Upwelling* berdasarkan Klorofil-a

Sama halnya dengan dasar penentuan kriteria *upwelling* berdasarkan SPL, klorofil-a juga didasarkan pada nilai rata-rata, standar deviasi, nilai tertinggi, nilai terendah dan garis batas klorofil-a untuk menentukan kriteria *upwelling* berdasarkan klorofil-a pada tabel IV.3. Tabel IV. 3 Kriteria *Upwelling* berdasarkan Klorofil-a

Kriteria <i>Upwelling</i>	
<i>Upwelling</i> Lemah (UL)	$UL < 0,183 \text{ mg/m}^3$
<i>Upwelling</i> Medium (UM)	$0,183 \text{ mg/m}^3 \leq UM < 0,336 \text{ mg/m}^3$
<i>Upwelling</i> Kuat (UK)	$0,336 \text{ mg/m}^3 \leq UK \leq 0,490 \text{ mg/m}^3$
<i>Upwelling</i> Sangat Kuat (USK)	$USK > 0,490 \text{ mg/m}^3$

Secara garis besar, terjadinya fenomena *upwelling* di perairan NTT terkuat ketika nilai sebaran klorofil-a berada nilai tertinggi dan nilai sebaran SPL berada pada nilai terendah pada bulan yang sama. Tetapi pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar IV.3 diperoleh puncak nilai sebaran klorofil-a terjadi pada bulan Juni dan nilai sebaran SPL terendah terjadi pada bulan Agustus. Salah satu penyebabnya yaitu karena pola angin baik arah maupun kecepatannya tetapi juga diduga karena adanya faktor lain yang menyebabkan keterlambatan terjadinya *upwelling* sehingga fenomena *upwelling* tidak dapat terjadi secara

maksimal. Perlu pengkajian lebih lanjut mengenai hal ini.



Gambar IV.9 Statistik Pembagian Kriteria Upwelling berdasarkan Klorofil-a

Pada gambar IV.9 dapat dilihat puncak tertinggi nilai sebaran klorofil-a terjadi pada bulan Juni dengan jumlah klorofil-a sebesar 0,413 mg/m³ tergolong kriteria *Upwelling* Kuat (UK) yaitu berada diantara garis batas B yaitu 0,366 mg/m³ dan garis batas A yaitu 0,490 mg/m³. Kriteria *upwelling* berdasarkan klorofil-a di perairan NTT sebagian besar termasuk dalam kriteria *Upwelling* Medium (UM) dengan jumlah klorofil-a berkisar 0,198 mg/m³ sampai 0,333 mg/m³. *Upwelling* Lemah (UL) terjadi pada bulan Desember dengan nilai klorofil-a sebesar 0,176 mg/m³. Tidak terdapat jumlah nilai sebaran klorofil-a yang termasuk dalam *Upwelling* Sangat Kuat (USK).

IV.3. Uji Statistik

1. Distribusi Data

Sebaran data variabel Suhu Permukaan Laut (SPL) dapat dilihat pada tabel IV.6.

Tabel IV.4 Distribusi Data Variabel SPL Berdasarkan Beberapa Parameter Penilaian

No.	Parameter	Hasil	Kriteria normal	Kesimpulan
1.	Koefisien varian	3,2 %	< 30%	Normal
2.	Rasio <i>swekness</i>	-0,86	-2 s.d 2	Normal
3.	Rasio <i>kurtosis</i>	- 0,87	-2 s.d 2	Normal
4.	Histogram	Miring ke kanan	Simetris	Tidak normal
5.	<i>Box plot</i>	Tidak simetris dan terdapat outlier	Simetris	Tidak normal
6.	<i>Normal q-q plot</i>	Beberapa scatter menyebar jauh dari garis	Scatter berada pada garis	Tidak normal
7.	<i>Detrended q-q plot</i>	Beberapa scatter menyebar di luar dari garis	Scatter berada pada garis	Tidak normal
8.	<i>Kolmogorov-Smirnov</i>	0,200	Nilai p> 0,05	Normal
9.	<i>Shapiro-Wilk</i>	0,269	Nilai p> 0,05	Normal

Berdasarkan tabel IV.4 dapat disimpulkan bahwa variabel SPL mempunyai distribusi data normal. Secara analisis untuk mengetahui sebaran data berdistribusi normal atau tidak normal dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* atau *Shapiro Wilk*. data). Distribusi data juga dilakukan

pada variabel klorofil-a dan angin. Berdasarkan perhitungan distribusi data klorofil-a disimpulkan bahwa variabel klorofil-a mempunyai sebaran data yang tidak normal. Secara analitis dapat dilihat dari nilai signifikansi *Shapiro-Wilk* yang kurang dari 0,05 yaitu 0,042 sehingga dapat dikatakan bahwa variabel klorofil-a mempunyai sebaran data yang tidak normal.

Sama halnya dengan distribusi data variabel SPL, distribusi data angin juga mempunyai sebaran data normal meskipun sebagian besar mempunyai sebaran data tidak normal, tetapi yang lebih utama yaitu dilihat secara analitis melalui nilai signifikansi *Shapiro-Wilk* yang lebih besar dari 0,05 yaitu 0,176 dapat dikatakan bahwa variabel data angin mempunyai sebaran data yang normal.

2. Korelasi Pearson

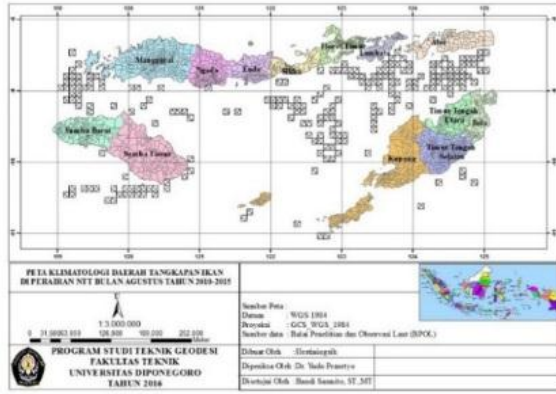
Berdasarkan Uji korelasi *pearson* pada penelitian ini diperoleh hasil korelasi antara variabel SPL dan Angin menunjukkan kekuatan korelasi antara SPL dan angin sebesar -0,665. Nilai tersebut termasuk dalam kategori korelasi yang kuat. Sedangkan tanda negatif pada nilai korelasi menunjukkan arah korelasi yang berlawanan antara kedua variabel. Semakin Tinggi nilai SPL maka semakin rendah nilai angin. Nilai Signifikansi antara kedua variabel yaitu 0,018 menunjukkan adanya korelasi bermakna.

3. Korelasi Spearman

Hasil dari korelasi *spearman* diperoleh hubungan antara SPL dan klorofil didapatkan hasil korelasi *spearman* antara SPL dan klorofil-a, kekuatan korelasi antara SPL dan klorofil-a secara statistik memiliki nilai -0,629 yang artinya memiliki korelasi yang kuat sedangkan arah korelasi ditandai dengan tanda negatif pada nilai koefisien korelasi. Jadi, semakin tinggi nilai SPL maka semakin rendah nilai klorofil-a. Nilai signifikansi antara SPL dan klorofil-a adalah 0,028 yang menunjukkan adanya korelasi bermakna antara kedua variabel tersebut. Selain itu hasil korelasi *spearman* juga menunjukkan koefisien korelasi antara angin dan klorofil-a, sebesar 0,657. Koefisien korelasi bernilai positif artinya jika nilai angin semakin besar maka nilai klorofil-a juga semakin besar dan sebaliknya. Nilai signifikansi sebesar 0,02 artinya korelasi antara kedua variabel tersebut bermakna, karena nilai signifikansinya kurang dari 0,05.

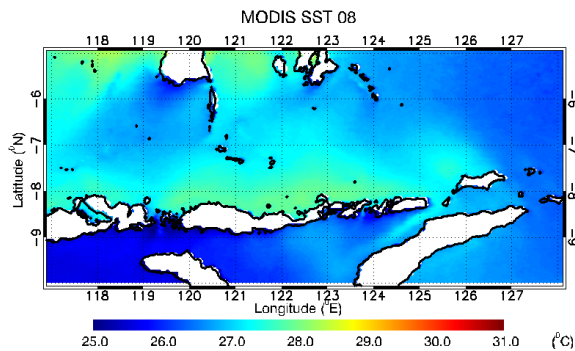
IV.1. Pengujian data SPL dan Klorofil-a terhadap Data Produksi Perikanan Tangkap

Pengujian data dilakukan dengan membandingkan data sebaran SPL dan klorofil-a yang terhadap produksi perikanan tangkap pada saat fenomena *upwelling* yaitu pada bulan Mei sampai bulan September.



Gambar IV.10 Peta Klimatologi Daerah Tangkapan Ikan di Perairan NTT Bulan Agustus Tahun 2010-2015

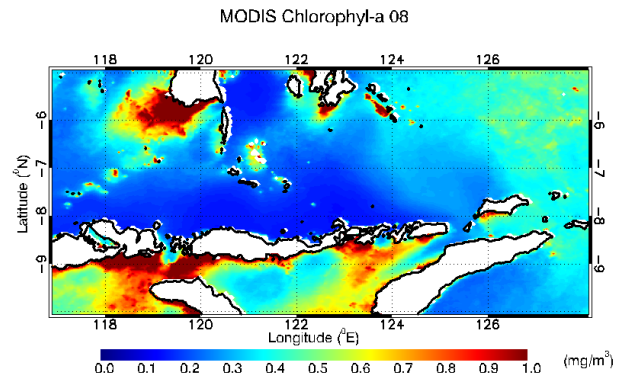
Pada gambar IV.10 menunjukkan daerah tangkapan ikan pada bulan Agustus, daerah tangkapan ikan berpusat di selat Ombai, dibagian barat laut kabupaten Timur Tengah Utara, Laut Sawu bagian timur, barat daya kabupaten Manggarai dan di bagian selatan kabupaten Sumba Timur.



Gambar IV.11 Sebaran Suhu Permukaan Laut (SPL) Secara Klimatologi Bulan Agustus Tahun 2003-2015

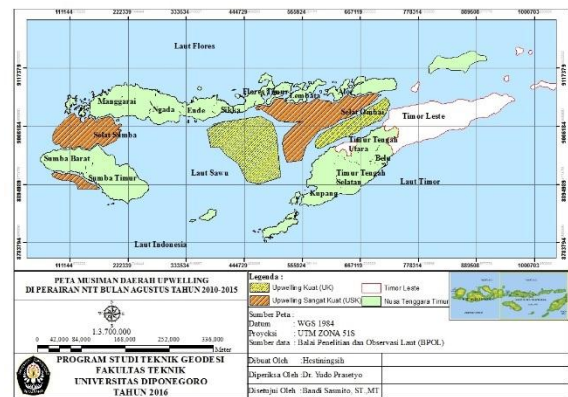
Pada bulan Agustus, sebaran spasial SPL tidak menunjukkan gradasi yang mencolok. Hal ini dapat dilihat pada gambar IV.11, hampir di seluruh perairan NTT mempunyai suhu rendah yaitu berkisar 25,5°C sampai 26,5°C, adanya sedikit kenaikan SPL pada bagian selat Ombai yaitu mencapai suhu 27,5°C tetapi masih tergolong suhu rendah.

Pada gambar IV.12 terdapat sebaran spasial klorofil-a pada bulan Agustus. Berdasarkan tabel IV.1 klorofil-a mencapai nilai sebaran tertinggi yaitu pada bulan Agustus, sebaran klorofil-a banyak ditemukan di bagian Selat Sumba, yaitu antara kabupaten Manggarai dan Sumba Barat. Selain itu di sepanjang pesisir kabupaten Kupang, Sikka, Ende, Flores Timur dan Sumba Timur juga terdapat klorofil-a yang tinggi daripada daerah lainnya yang cenderung lebih rendah.



Gambar IV.12 Sebaran Klorofil-a Secara Klimatologi Bulan Agustus Tahun 2003-2015

Berdasarkan gambar IV.10, gambar IV.11 dan gambar IV.12 dapat diperoleh peta musiman daerah *upwelling* pada bulan Agustus tahun 2010-2015 yang dapat dilihat pada gambar IV.13.



Gambar IV.13 Peta Musiman Daerah *Upwelling* Pada Bulan Agustus Tahun 2010-2015

Berdasarkan hasil analisis penelitian tugas akhir ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis spasial antara klorofil-a, SPL dan angin didapatkan fenomena terjadinya *upwelling* di perairan NTT pada saat musim Timur tepatnya pada bulan Mei sampai bulan September. Pada waktu *upwelling*, nilai sebaran klorofil-a berkisar 0,223-0,413 mg/m³ dengan rata-rata 0,329 mg/m³, sebaran klorofil-a tertinggi pada bulan September. Nilai sebaran SPL berkisar 26,768-28,689 °C dengan rata-rata 27,548 °C, sebaran SPL terendah pada bulan Agustus dan kecepatan angin pada saat *upwelling* berkisar 3,654-5,351 m/s dengan rata-rata 4,715 m/s, kecepatan angin tertinggi pada bulan Juli dapat disimpulkan bahwa terjadi keterlambatan waktu *upwelling* di perairan NTT.
2. Kriteria *Upwelling* di perairan NTT berdasarkan nilai Suhu Permukaan Laut dan SPL dibagi menjadi empat kelas, yaitu *Upwelling* Lemah (UL) terjadi pada saat nilai sebaran SPL lebih dari 28,836°C dan nilai sebaran klorofil-a kurang dari 0,183 mg/m³, *Upwelling* Medium (UM) terjadi pada saat nilai sebaran SPL pada rentang

$27,903^{\circ}\text{C} \leq \text{UM} \leq 28,836^{\circ}\text{C}$ dan nilai sebaran klorofil-a pada rentang $0,183 \text{ mg/m}^3 \leq \text{UM} < 0,336 \text{ mg/m}^3$. *Upwelling* Kuat (UK) terjadi pada saat nilai sebaran SPL berada pada rentang $26,971^{\circ}\text{C} \leq \text{UK} < 27,903^{\circ}\text{C}$ dan nilai sebaran klorofil-a terjadi pada rentang $0,336 \text{ mg/m}^3 \leq \text{UK} \leq 0,490 \text{ mg/m}^3$. *Upwelling* Sangat Kuat (USK) terjadi pada saat nilai sebaran SPL kurang dari $26,971^{\circ}\text{C}$ dan pada nilai sebaran SPL lebih dari $0,490 \text{ mg/m}^3$.

3. Berdasarkan analisis korelasi spasial dan statistik antara sebaran data klorofil-a dan Suhu Permukaan Laut (SPL) terdapat hubungan yang berlawanan arah. Artinya jika nilai sebaran SPL tinggi maka konsentrasi klorofil-a rendah. Sedangkan korelasi spasial antara klorofil-a dan angin searah. Artinya jika konsentrasi klorofil-a tinggi maka kecepatan anginnya juga tinggi. Tetapi kecepatan angin berbanding terbalik terhadap nilai sebaran SPL, Jika SPL mengalami kenaikan maka angin mengalami penurunan walaupun tidak secara signifikan setiap bulannya.
4. Berdasarkan hasil validasi antara data sebaran klorofil-a, SPL dan angin terhadap data daerah potensi ikan secara keseluruhan mempunyai nilai sebaran yang sama. Ditemukan daerah tangkapan ikan di Selat Ombai yaitu di selatan kabupaten Alor dan barat daya kabupaten Manggarai dan pada saat *Upwelling* bulan Agustus daerah potensi ikan juga terdapat di sebelah barat kabupaten Sumba Timur.

Daftar Pustaka

- Hendra B P. (2010). Modifikasi Algoritma AVHRR Untuk Estimasi Suhu Permukaan Laut (SPL) Citra Aqua Modis. Surabaya: ITS
- Hutabarat & Evans.(1986). *Kunci Identifikasi Plankton*. Jakarta: UI
- Nontji, A. (1993). Laut Nusantara. Penerbit Djambatan. Jakarta.
- Nybakken, J.W.(1992). *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. Alih Bahasa: M.Eidman, Koesoebiono, D.G. Bengen dan M. Hutomo. Gramedia, Jakarta.
- Odum, E. P.(1971). *Fundamentals of Ecology*. W.B. Saunders Company Ltd. Philadelphia.
- BPOL. <http://www.bpol.litbang.kkp.go.id/peta-pdpi>. Diakses pada tanggal 2 April 2016.
- NASA. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/>. Diakses pada tanggal 20 Mei 2016.
- NASA. <https://podaac.jpl.nasa.gov/>. Diakses pada tanggal 22 Mei 2016
- P3SDLP. <http://p3sdlp.litbang.kkp.go.id/index.php/data/perairan-indonesia>. Diakses pada tanggal 3 Juni 2016.