

# ANALISIS VARIABILITAS SPASIAL DAN TEMPORAL KONSENTRASI NITRAT DI LAUT HALMAHERA DAN LAUT BANDA MENGGUNAKAN METODE *EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION (EOF)*.

<sup>1\*</sup>Zetsaona Sihotang, <sup>1</sup>Idris Mandang, dan <sup>2</sup>Rahmawati Munir

<sup>1</sup>Laboratorium Fisika Komputasi dan Pemodelan

<sup>2</sup>Jurusan Fisika Fakultas dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman  
Jl. Barong Tongkok No. 4 Kampus Gunung Kelua Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

\*Email: zetaa.sihotang@gmail.com

## ABSTRACT

The East Indonesian ocean water is highly complex waters where it has become the passage of water masses from Pacific Ocean to Indian Ocean. Halmahera Sea and Banda Sea has an important role as one of the global ocean current trajectory from Pacific Ocean to Indian Ocean. The movement of water masses that occurring in this region has affect the condition and its fertility. One of the nutrients that affect the process of the growth of the pythoplankton and other microorganism is nitrate and it has become one of the indicators of waters fertility. This research aims to find out the effect of temperature and salinity on the change of nitrate concentration using Empirical Orthogonal Function (EOF) method. This method is used to separate the spatial and temporal data linkage in order to obtain the dominant spatial and temporal patterns. The data that used for the analysis was obtained from the output of the HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) model + NCODA Global 1/12° Reanalysis. The result of the analysis showing that the nitrate concentration was highly sensitive on the change of temperature in the ocean specifically in the Banda Sea region. The nitrate concentration increased during the East Monsoon where the sea surface temperatures dropped to 25°C. In the West Monsoon, the sea surface temperature is warmer than usual so that the Banda Sea has a low nitrate concentration. In other hand, salinity did not show a significant effect on changes of nitrate concentration in the region of the Banda Sea and Halmahera Sea.

**Keywords:** Indonesia Throughflow, nitrate concentration, sea surface temperature, salinity.

## 1. PENDAHULUAN

Letak perairan Indonesia Timur merupakan wilayah perairan yang sangat kompleks dimana Selat Makassar merupakan lintasan utama pergerakan massa air dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia. Massa air dari Pasifik utara memasuki laut Sulawesi lewat sebelah selatan Mindanao, untuk kemudian masuk ke jantung perairan Indonesia lewat Selat Makassar. Di ujung akhir Selat Makassar, jalur ini bercabang menjadi dua, sebagian langsung menuju

Samudera Hindia melewati Selat Lombok, dan yang sebagian lagi berbelok ke Timur melewati Laut Flores menuju ke Laut Banda. Di Laut Banda massa air ini mengalami pencampuran dengan massa air Pasifik yang masuk lewat Laut Halmahera, Laut Maluku, dan Laut Seram (Hasanudin, 1998). Terjadinya pergerakan massa air di lautan memberikan pengaruh terhadap kondisi dan tingkat kesuburannya.

Tingkat kesuburan yang terjadi dapat diidentifikasi berdasarkan tingkat

produktivitas primernya dimana tingkat produktivitas suatu perairan dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu ketersediaan nutrisi, cahaya dan suhu (Kemili, 2012). Dan salah satu kandungan nutrisi yang diperlukan karena berpengaruh terhadap proses pertumbuhan dan perkembangan dari fitoplankton serta mikroorganisme lainnya sebagai sumber bahan makanan adalah konsentrasi nitrat dalam suatu perairan sehingga konsentrasi nitrat menjadi indikator kesuburan perairan dalam penelitian ini.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi serta tinggi rendahnya konsentrasi nitrat di Laut Halmahera dan Laut Banda. Kemudian, hal apa saja yang mempengaruhi distribusi konsentrasi nitrat di Laut Halmahera dan Laut Banda menggunakan metode *empirical orthogonal function* (eof).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2014 hingga Mei 2015 di Laboratorium Fisika Komputasi dan Pemodelan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman (Unmul).

### 2.2 Data Analisis

#### 2.2.1 Suhu dan Salinitas

Data suhu dan salinitas permukaan laut pada wilayah studi diperoleh dari hasil output model HYCOM (*Hybrid Coordinate Ocean Model*) + NCODA Global 1/12° Reanalysis (www.hycom.org) dalam bentuk spasio – temporal. Data suhu dan salinitas dicuplik dalam kurun waktu 4 tahun yaitu pada tahun 2007-2010.

#### 2.2.2 Konsentrasi Nitrat

Berdasarkan penelitian Sarangi (2011) terdapat hubungan antara konsentrasi nitrat dan suhu permukaan laut (SPL), sehingga nilai SPL yang diperoleh dari data model HYCOM (*Hybrid Coordinate Ocean Model*)

+ NCODA Global 1/12° *Reanalysis* dikonversi menjadi konsentrasi nitrat menggunakan persamaan (1) berikut ini: (1)

$$\text{Nitrate}(NO_3) = \frac{23.924}{(1 + e^{\{(SST-23.793)/0.662\}})}$$

### 2.2 Wilayah Studi

Wilayah studi yang digunakan pada penelitian ini meliputi Laut Halmahera dan Laut Banda yang terletak di perairan Indonesia Timur. Secara astronomis wilayah ini terletak pada koordinat 3° Lintang Utara hingga 9° Lintang Selatan dan 120°-132° Bujur Timur (**Gambar 1**).

### 2.4 Metode

#### 2.4.1 Empirical Orthogonal Function - (EOF)

Tujuan utama dari analisis EOF adalah untuk mengurangi sejumlah besar variabel data menjadi hanya beberapa variabel tanpa mengubah sebagian besar varians yang akan dijelaskan dan kemudian ditentukan dengan persamaan (2): (2)

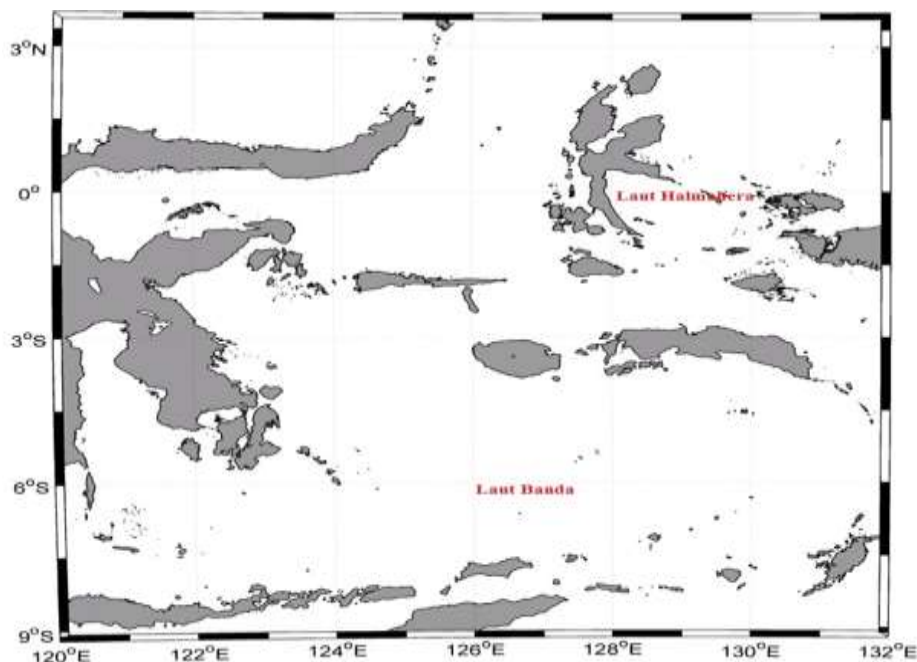
$$\sum = \frac{1}{n-1} X'X$$

$X$  merupakan matriks dari variabel yang dicari. Sedangkan  $X'$  merupakan matriks invers dari  $X$  dan  $n$  merupakan jumlah data. Setelah kovarian dari matriks ditentukan maka selanjutnya menggunakan *Eigen Value Problem* (EVP) untuk mendapatkan *eigen value* dan *eigen vector* dengan menggunakan persamaan (3) berikut ini: (3)

$$\sum a = \lambda a$$

$a$  adalah *eigen vector* dari matriks  $\Sigma$  dengan  $\lambda$  merupakan *eigen value*. *Eigen value* umumnya digunakan untuk menulis perbedaan yang dapat dijelaskan dalam persamaan (4), dimana  $k$  ialah mode dalam EOF ( $k= 1,2,3,\dots,p$ ) (Oliver, 2005):

$$\frac{100\lambda_k}{\sum_k^p \lambda_k} \% \quad (4)$$



**Gambar 1.** Wilayah Studi

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Variabilitas Spasial Suhu Permukaan Laut (SPL)

Variabilitas spasial suhu permukaan laut (SPL) di Laut Halmahera dan Laut Banda secara umum menunjukkan fluktuasi yang relatif kecil pada saat Musim Barat sedangkan pada saat Musim Timur ditandai dengan fluktuasi nilai suhu permukaan laut yang berbeda jauh antara Laut Halmahera dan Laut Banda (**Gambar 2**). Nilai suhu permukaan laut pada Musim Timur di Laut Banda berkisar  $25^{\circ}\text{C} - 28,5^{\circ}\text{C}$  dan nilai suhu permukaan di Laut Halmahera berkisar  $27^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan pada Musim Barat nilai suhu permukaan di Laut Banda berkisar dari  $27^{\circ}\text{C} - 29^{\circ}\text{C}$  dan nilai suhu permukaan laut di Laut Halmahera berkisar  $28^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ . Distribusi SPL saat Musim Barat di Laut Banda sebagian besar dipengaruhi oleh massa air yang datang dari Laut Flores, sedangkan distribusi SPL di Laut Halmahera

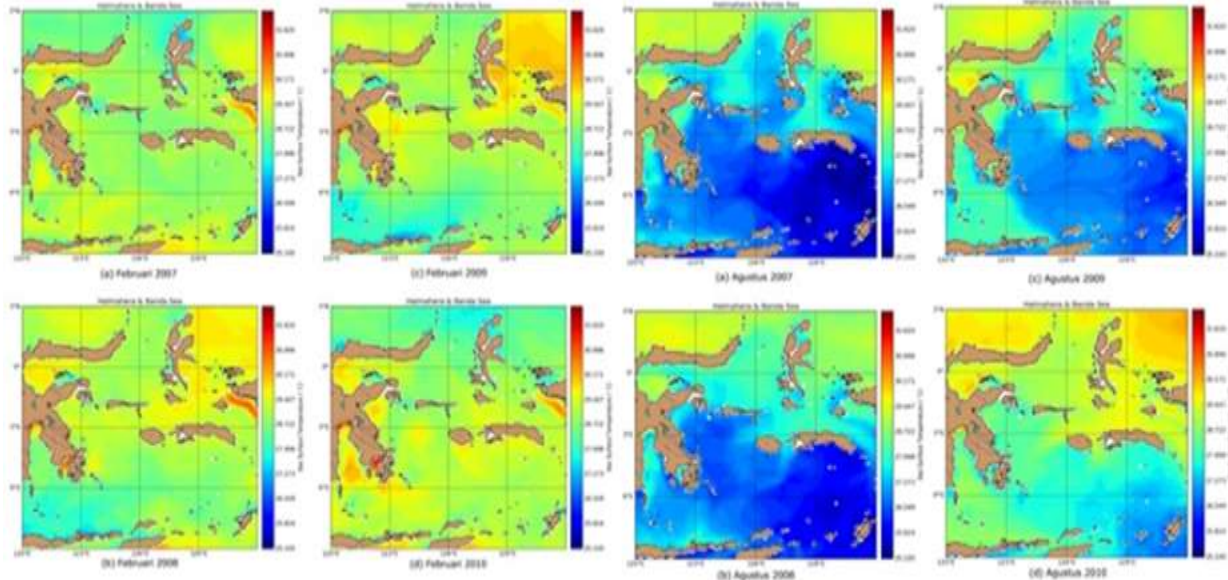
mendapatkan pengaruh langsung dari Samudera Pasifik bagian barat yang merupakan jalur arus ekuatorial selatan (*South Equatorial Current/SEC*) mempunyai SPL yang lebih hangat akibat terbawanya massa air hangat dari Pasifik tengah dan bertiupnya angin pasat (*trade wind*) (Habibie, dkk. 2014; Gordon, 2005). Saat Musim Timur, distribusi SPL di Laut Banda lebih dingin dibandingkan Laut Halmahera, menurut Habibie, dkk. 2014 pada bulan Juni - Juli - Agustus (JJA) bertepatan dengan periode monsun Australia, sehingga wilayah Belahan Bumi Selatan (BBS) lebih dingin dibandingkan Belahan Bumi Utara (BBU). Hal ini terjadi sepanjang tahun pengamatan, yaitu mulai tahun 2007 hingga 2010. Rendahnya SPL di Laut Banda dapat mencapai  $25^{\circ}\text{C}$  pada tahun 2007, SPL pada tahun tersebut adalah yang paling terendah.

### 3.2 Variabilitas Spasial Salinitas Permukaan Laut (SSS)

Variabilitas spasial untuk salinitas permukaan laut (SSS) di Laut Banda dan Laut Halmahera pada saat musim Barat dan musim Timur dapat dilihat pada **Gambar 3**, nilai SSS di Laut Banda berkisar 33 – 34 psu dan Laut Halmahera berkisar dari 34 – 34,5 psu sedangkan pada saat musim Timur, nilai

Halmahera tidak terjadi perubahan nilai yang signifikan, nilai SSS berkisar 34 psu.

Distribusi spasial SSS saat musim Barat menunjukkan bahwa nilai SSS yang rendah di Laut Banda berasal Laut Flores, sedangkan distribusi spasial SSS saat Musim Timur memperlihatkan massa air Samudera Pasifik masuk ke wilayah Laut Halmahera dan menjangkau luas ke seluruh wilayah Laut



SSS di Laut Banda 33,7 – 34,2 dan di Laut

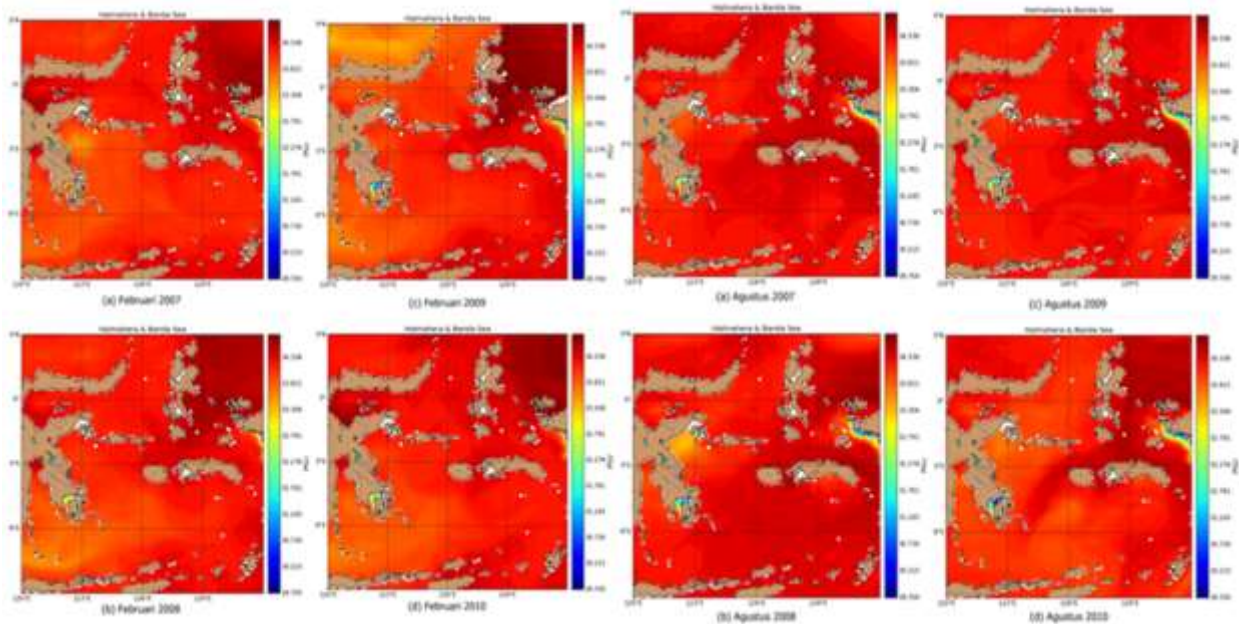
Seram hingga mencapai Laut Banda.

**Gambar 2.** Distribusi Spasial Suhu Permukaan Laut saat musim Barat (Februari) dan musim Timur (Agustus) tahun 2007 – 2010.

### 3.3 Variabilitas Spasial dan Temporal Konsentrasi Nitrat Menggunakan EOF.

Hasil analisis EOF mode pertama menunjukkan bahwa pada mode ini memiliki pengaruh yang paling dominan. Hasil analisis spasial EOF Mode-1 memiliki total variansi 70.86% seperti yang terlihat di **Gambar 4** (kiri). Distribusi konsentrasi nitrat terlihat di wilayah Laut Banda dan tinggi di wilayah pesisir Pulau Seram sampai ke wilayah Pulau Jamdena. Pada grafik temporal mode-1, disajikan pada **Gambar 5** (atas) mengalami puncak di bulan Agustus sepanjang tahun

pengamatan, yaitu tahun 2007 - 2010 dengan intensitas puncak yang semakin melemah. Diduga setiap puncak yang dihasilkan oleh grafik temporal menunjukkan bahwa distribusi konsentrasi nitrat terjadi karena pengaruh *upwelling*. Menurut Nontji, 2005 lokasi dimana terjadinya *upwelling alternating type* biasanya terjadi di Laut Banda dan Laut Arafura, SPL bisa turun sampai 25°C disebabkan karena air yang dingin dari lapisan bawah terangkat ke permukaan. Oleh sebab itu, grafik temporal pada mode-1 intensitas puncaknya setiap tahun semakin menurun.



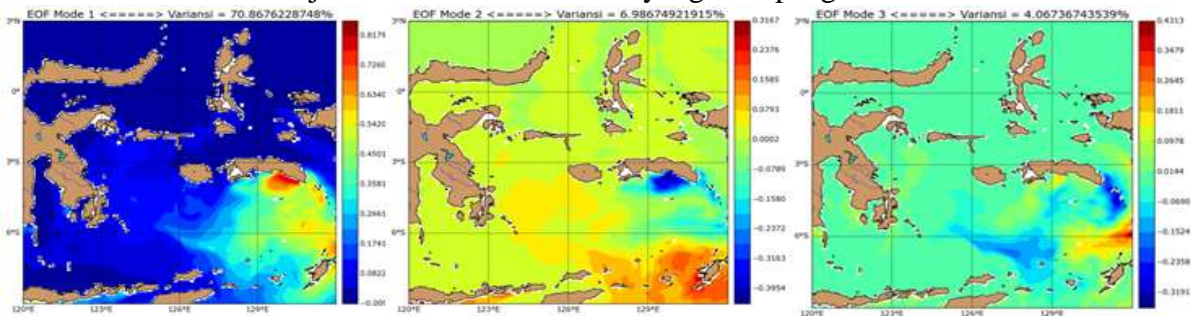
**Gambar 3.** Distribusi Spasial Salinitas Permukaan Laut saat musim Barat (Februari) dan musim Timur (Agustus) tahun 2007 – 2010.

Hasil analisis spasial EOF Mode-2 yang disajikan pada **Gambar 4** (tengah) dengan total variansi 6,98%. Pada mode ini distribusi konsentrasi nitrat terlihat mencolok karena beberapa bagian di Laut Banda khususnya pesisir Pulau Seram menunjukkan nilai konsentrasi nitrat yang rendah sedangkan di dekat Pulau Jamdena nilai konsentrasi nitrat tinggi. Pada grafik temporal mode-2 ini (**Gambar 5** - tengah) terdapat pola yang sama di tahun 2007 dan 2009 kemudian pola yang sama juga terjadi di tahun 2008 dan 2010. Diduga distribusi konsentrasi nitrat pada mode ini dipengaruhi oleh fenomena ENSO. Diketahui bahwa pada tahun 2007 dan 2010 terjadi fenomena La

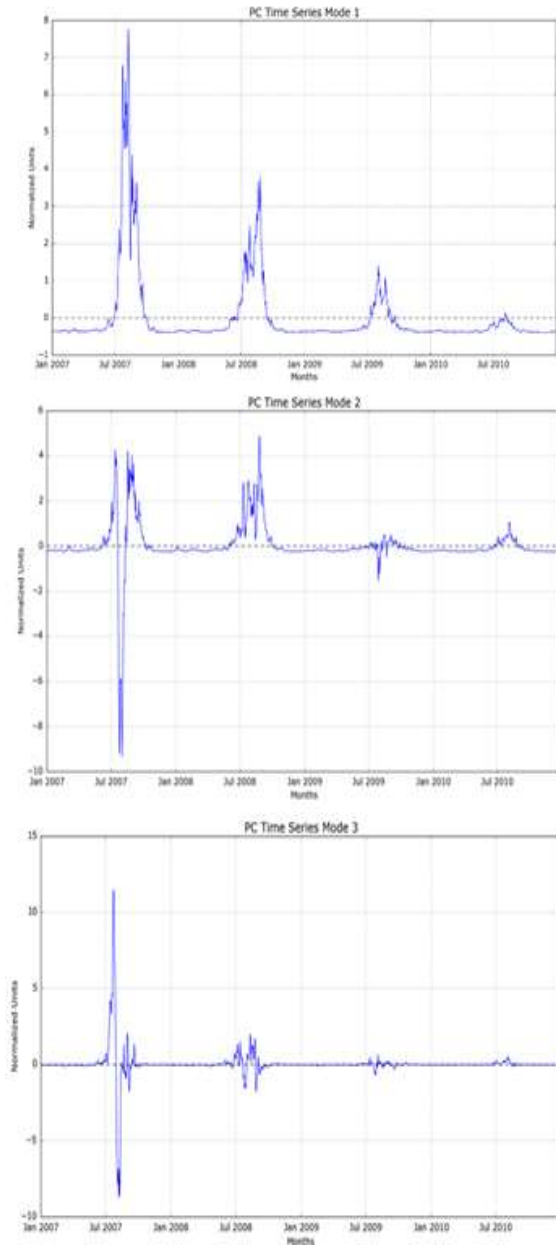
Nina sedangkan tahun 2008 adalah tahun normal dan tahun 2009 terdapat kejadian El Nino (<http://ggweather.com/enso/oni.htm>).

Hasil analisis EOF Mode-3 yang ditampilkan pada **Gambar 4** (kanan) menghasilkan total variansi sebesar 4,06%. Pada mode ini distribusi konsentrasi nitrat lebih sedikit dibandingkan dengan dua mode sebelumnya. Grafik temporal mode 3 pada **Gambar 5** (bawah) juga memiliki pola yang sama dengan intensitas yang semakin menurun setiap tahunnya.

Distribusi konsentrasi nitrat di Laut Halmahera baik pada mode-1, mode-2, dan mode-3 tidak memperlihatkan perubahan yang cukup signifikan.



**Gambar 4.** Distribusi Spasial Konsentrasi Nitrat Menggunakan Metode EOF.



**Gambar 5.** Grafik Temporal Konsentrasi Nitrat Menggunakan Metode EOF

#### 4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa:

- a. Distribusi konsentrasi nitrat sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu yang terjadi di lautan. Pada bulan Agustus, SPL lebih dingin dibandingkan bulan Februari di wilayah Laut Banda sehingga distribusi konsentrasi nitrat paling tinggi di daerah tersebut mencapai  $3,45 \mu\text{mol/L}$  terjadi di tahun 2007 dengan nilai suhu paling rendah  $25^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan pada bulan Februari, dimana SPL lebih hangat dengan nilai suhu  $27^{\circ}\text{C} - 29^{\circ}\text{C}$  maka nilai konsentrasi nitrat bulan Februari paling tinggi hanya mencapai  $0,62 \mu\text{mol/L}$  pada tahun 2009.
- b. Di Laut Halmahera tidak terdapat perubahan nilai konsentrasi nitrat yang cukup signifikan karena SPL di wilayah tersebut lebih hangat. Hal ini terjadi karena di Samudera Pasifik bagian barat yang merupakan jalur arus ekuatorial selatan (*South Equatorial Current – SEC*) mempunyai SPL yang lebih hangat akibat terbawanya massa air hangat dari Pasifik Tengah dan bertiupnya angin pasat (*trade wind*).
- c. Tiga mode yang dihasilkan oleh analisis EOF menunjukkan hal apa saja yang mempengaruhi distribusi dan tinggi rendahnya konsentrasi nitrat di wilayah studi. Mode-1 memperlihatkan bahwa pengaruh *upwelling* sangat dominan dengan total variansi  $70,86\%$ . Kemudian diikuti dengan Mode-2 karena fenomena ENSO dengan nilai variansi  $6,98\%$ . Dan Mode-3 dengan variansi sebesar  $4,06\%$ .

## **5. DAFTAR PUSTAKA**

- Bendat, J.S and Piersol, A.G., (1971), *Random Data: analysis and measurement procedures*, New York: Wiley, 1971. 407 p.
- Hannachi, A. (2004), *A Primer for EOF Analysis of Climate Data*. Department of Meteorology, University of Reading.
- Gordon, A. L., (2005), *Oceanography of the Indonesian Seas and their Throughflow*. *J. Of the Oceanography Society*. 18, 14 -27.
- Habibie, M. N dan Nuraini, T. A., (2014), *Karakteristik dan Tren Perubahan Suhu Permukaan Laut di Indonesia Periode 1982-2009*, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol. 15 No. 1 Tahun 2014: 37-49.
- Hasanudin, M., (1998), *Arus Lintas Indonesia (ARLINDO)*, Oseana, Volume XXIII Nomor 2, 1998: 1-9. ISSN 0216 1877.
- Kemili dan Putri., (2012), *Pengaruh Durasi dan Intensitas Upwelling Berdasarkan Anomali Suhu Permukaan Laut Terhadap Variabilitas Produktivitas Primer di Perairan Indonesia*, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 4, No. 1, Hlm. 66-79, Juni 2012.
- Oliver, E.J., (2005), *Encyclopedia of World Climatology*, New York: Springer Press.
- Sarangi, R.K., (2001), *Remote Sensing Based Estimation of Surface Nitrate and Its Variability in the Southern Peninsular Indian Waters*, Hindawi Publishing Corporation *International Journal of Oceanography* Volume 2011, Article ID 172731, 16 Pages doi: 10.1155/2011/172731.
- Sulaiman, Albert (2000), *Turbulensi Laut Banda*, P3 TISDA, Jakarta.