



# KAJIAN ARUS PUSAR HALMAHERA MENGGUNAKAN DATA SATELIT MULTISENSOR DAN HIDROGRAFI SERTA KAITANNYA DENGAN PRODUKTIVITAS CAKALANG

*(Katsuwonus pelamis)*

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University



SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2014

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA\*

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi berjudul Kajian Arus Pusar Halmahera Menggunakan Data Satelit Multisensor dan Hidrografi Serta Kaitannya Dengan Produktivitas Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2014

Gentio Harsono  
NRP C562090051



## RINGKASAN

**GENTIO HARSONO.** Kajian Arus Pusar Halmahera Menggunakan Data Satelit Multisensor dan Hidrografi Serta Kaitannya Dengan Produktivitas Cakalang (*Katsuwonus pelamis*). **DJISMAN MANURUNG, AGUS S. ATMADIPOERA, MULYONO S. BASKORO, FADLI SYAMSUDIN.**

Wilayah perairan ekuator Pasifik barat dikenal mempunyai karakter oseanografi yang sangat dinamis. Perairan wilayah ini merupakan tempat persilangan (*cross road*) massa air yang berasal dari bumi belahan selatan dan belahan utara Samudera Pasifik serta tempat pembentukan massa air Arlindo dan Arus Sakal Katulistiwa Utara. Perairan ini juga dikenal mempunyai suhu permukaan laut paling hangat di dunia (rata-rata sepanjang tahunnya  $\geq 29^{\circ}\text{C}$ ), tingkat presipitasi yang tinggi dibanding evaporasinya. Lapisan permukaannya terisolasi oleh lapisan penghalang (*barrier layer*) yang menahan naiknya massa air bawahnya (*upwelling*) menjadikan perairan ini miskin akan klorofil pada lapisan permukaannya (*oligotropik*). Meskipun produktivitas primernya rendah, pada kenyataannya perairan ini banyak mendukung berbagai habitat jenis ikan tuna. Wilayah yang dikenal dengan Kolam Hangat ini bahkan menyuplai bagian terbesar produksi tuna dunia ( $> 1.5$  juta ton pertahun) di Samudera Pasifik atau sekitar 40% jumlah tangkapan tuna dunia dihasilkan dari wilayah perairan ini. Dua spesies tuna yang ditangkap didominasi oleh Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dan Madidihang (*Thunnus albacores*).

Salah satu fenomena yang menarik dikaji adalah arus pusar Halmahera (*Halmahera Eddy/HE*) yang terbentuk akibat tubrukan antara dua arus berlawanan arah yaitu Arus Mindanao dari bumi belahan utara dan Arus Pantai Utara Papua (*New Guinea Coastal Current* dan *New Guinea Coastal Under Current*) dari bumi belahan selatan. Halmahera Eddy juga sebagai pembentuk sumber massa air Arlindo (*Indonesia Through Flow*) di gerbang timur yang merupakan bagian dari sirkulasi arus termohaline global. Pertemuan massa air dari dua belahan bumi ini membentuk front lautan tempat dimana sumber massa air Arus Sakal Katulistiwa Utara (*North Equatorial Counter Current*) dibentuk. Terbentuknya Halmahera Eddy (dan juga Mindanao Eddy) akan menjadi sumber utama variabilitas dalam proses biologi dan biogeokimia di perairan ini.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengkaji karakteristik HE berdasarkan citra klorofil Aqua MODIS, data altimteri dan data hidrografi; (2) Mengkaji pertumbuhan dan pergeseran HE secara skala waktu dan ruang; (3) Mengkaji hubungan pergeseran HE dengan produktivitas cakalang di sekitar perairan studi.

Penelitian ini mengambil lokasi di perairan antara Mindanao dengan Papua dimana HE terbentuk, selama satu dasawarsa mulai Juli 2002 sampai Desember 2012. Data yang digunakan meliputi sebaran klorofil-a permukaan dan Suhu Permukaan Laut dari citra satelit Aqua MODIS, data hidrografi berupa vektor arus dari *Shipboard ADCP* dan raut suhu dan salinitas dari XCTD/CTD dari Survei *Tropical Ocean Climate Study* (TOCS), data anomali muka laut dari satelit Jason-1 *passingtrack* #164 dan *passingtrack* #253. Sedangkan data tangkapan cakalang diperoleh data log book kapal purse-seine yang berlabuh di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bitung Sulawesi Utara, *Western Central Pacific Fisheries Commission* (WCPFC) dalam kategori data *public domain*, dan Dinas Perikanan Kelautan Kabupaten Halmahera Utara. Halmahera Eddy diidentifikasi berdasarkan rona klorofil-a permukaan tinggi yang membentuk jejak pada sirkulasi pusaran arus HE. Verifikasi dilakukan secara

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

kualitatif terhadap karakter umum eddy antisiklonik seperti raut klorofil-a permukaan dan suhu permukaan laut, vektor arus serta sebaran melintang suhu dan salinitas di bawah lapisan permukaannya. Metode sensus digunakan dalam pengambilan data statistik meliputi posisi pusat pusaran, besar diameter pusaran, bentuk rona dan nilai konsentrasi klorofil-a permukaan selama periode penelitian, sehingga diperoleh data deret waktu karakter HE. Analisis dilakukan untuk melihat perkembangan dan pergeseran HE berdasarkan skala waktu dan ruang melalui analisis deret waktu meliputi analisis harmonik dan analisis penapis lintasan jalur. Untuk melihat dinamika permukaan HE dari citra altimetri dilakukan melalui diagram Hovmoller.

Hasil penelitian menunjukkan identifikasi struktur permukaan HE menggunakan citra klorofil-a permukaan memperlihatkan timbulnya rona klorofil-a yang terbentuk akibat sirkulasi aliran HE, konsentrasi klorofil-a permukaan tinggi terjadi pada bagian tepi pusaran membentuk sabuk klorofil-a permukaan tinggi, sedangkan bagian dalamnya konsentrasi klorofil-a permukaan lebih rendah. Dalam parameter Suhu Permukaan Laut, karakter Halmahera Eddy ditandai dengan raut suhu permukaan laut yang lebih hangat dibagian tengah pusaran dibandingkan pada bagian tepinya. Hasil verifikasi data klorofil dengan hidrografi menunjukkan bahwa sebaran klorofil-a permukaan tinggi konsisten dengan vektor arus SADCP yang membawa konsentrasi klorofil-a tinggi, vektor arus di sisi utara mengarah ke timur laut dan di sisi selatannya mengarah ke barat laut menandakan adanya sirkulasi antisiklonik eddy. Sebaran melintang suhu pada data CTD/XCTD, Halmahera Eddy ditandai adanya isoterm yang tertekan ke bawah dan bergeser ke utara seiring bertambahnya kedalaman, sedangkan pada sebaran salinitas terlihat massa air *South Pacific Tropical Water*, *North Pacific Tropical Water* dan *North Pacific Intermediate Water*. Hasil pengamatan dan pengukuran karakter Halmahera Eddy dikatahui diameter HE dalam arah zonal berkisar 338-731 km sedangkan arah meridionalnya berkisar 297-725 km. Halmahera Eddy mengalami pergeseran dimana posisi paling utara pusatnya berada di 5.43°N/129.31 E pada Desember 2008 dan paling selatan pusatnya berada di 1.85°N/130.13°E pada September 2009.

Halmahera Eddy mempunyai wilayah pergeseran yang membentuk sumbu tenggara – barat laut dengan jarak antar titik pusat terjauh 446 km. Diameter rata-rata Halmahera Eddy diketahui sekitar 520 km. Dalam skala musiman, Halmahera Eddy bergeser ke barat laut selama musim tenggara dan bergeser ke tenggara selama musim barat laut. Pola bulanan pergerakan titik pusat Halmahera Eddy memperlihatkan arah pergerakan yang berlawanan jarum jam. Pada skala antar-tahunan, Halmahera Eddy bergeser ke barat laut selama even La Niña dan ke tenggara selama even El Niño. Pengaruh musiman dan antar-tahunan sangat kuat mempengaruhi pergeseran Halmahera Eddy. Faktor musiman sedikit lebih kuat mempengaruhi pergeseran meridional dibandingkan antar-tahunannya, sedangkan pengaruh antar-tahunannya sedikit lebih kuat pengaruhnya terhadap pergeseran arah zonal dibandingkan musimannya. Terdapat pengaruh *South Oscillation Indeks* (SOI) terhadap pergerakan Halmahera Eddy terkait relaksasi Kolam Hangat ke Pasifik tengah. Analisis pada data altimetri Jason-1 passing track # 253 menujukkan karakteristik pergerakan Halmahera Eddy yang ditandai dengan anomali muka laut tinggi pada pusat pusaran Halmahera Eddy dan pergeseran Halmahera Eddy.

Kapal-kapal purse-seine yang beroperasi di wilayah studi cenderung terkonsentrasi di wilayah bagian dalam dan tepi dari pusaran Halmahera Eddy sekitar timur laut Halmahera dan utara kepala burung Papua. Produktivitas cakalang di wilayah



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

studi mempunyai korelasi kuat terhadap pergeseran meridional Halmahera Eddy dibandingkan dengan pergeseran zonalnya.

Demikian pula halnya dengan produksi cakalang yang didaratkan (*landing fishing*) di pelabuhan sekitar pantai Morotai menunjukkan adanya pengaruh yang kuat dengan pergeseran meridional Halmahera Eddy.

Kata Kunci: Kolam Hangat, Halmahera Eddy, klorofil-a permukaan, pergeseran meridional, pergeseran zonal, El Niño, La Niña, Indeks SOI, produktivitas cakalang



Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## SUMMARY

**GENTIO HARSONO.** Study of Halmahera Eddy Using Multisensor Satellite and Hydrographyc Data and Relation to the Productivity of Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*). D. MANURUNG, AGUS S. ATMADIPERA, MULYONO S. BASKORO, FADLI SYAMSUDIN.

Region of the Equatorial Western Pacific water has very dynamic oceanography characters. The region is a gathering place, a cross road and the meeting point of water masses from the southern and northern hemisphere of Pacific Ocean. In addition, the region has the warmest seas surface temperature in the world with average throughout the year 29°C, high precipitation level than its evaporation. Surface water is isolated by barrier layer that blocks water mass from sub-surface and as a consequence this region is poor from chlorophyll in the surface layer (oligotrophic).

Even though known as the water with less primary productivity (oligotrophic), but in fact the region supports a variety of ecological environment where many aquatic system such as pelagic fish living. that supports a wide range of habitat types of ocean pelagic fish. The region is known as “Warm Pool” where supplies most the world's tuna production (> 1.5 million tonnes per year) in the Pacific Ocean or around 40% of the world's tuna catches in territorial waters. Two most species of tuna that caught in this region are dominated by Skipjack (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacores*)

One of the interesting dominant features in this region is Halmahera Eddy which is formed by the collision between two main stream currents of Mindanao Eddy from the northern hemisphere and generates anticyclonic eddy. HE is also a common source water mass of Indonesia Through Flow in the eastern entrance gate as part of global termohaline circulation. The generated anticyclonic HE is the main source of variability in biological processes and biogeokimia of the open ocean.

The objectives of this research were to (1) asses characteristics of HE based on Aqua MODIS satellite imagery, altimetry data and hydrographic data; (2) study growth and shift of HE shifts in scale of time and space; (3) examine relationship between HE shifts and skipjack productivity around the waters of the study area.

The location of this research was the water between Mindanao and Papua in which HE formed, during one decade from July 2002 to December 2012. Data used consist of surface chlorophyll-a distribution derived from Aqua MODIS satellite images, hydrographic data in the current vector form from ADCP shipboard, temperature profile and salinity of XCTD/CTD data taken from *Tropical Ocean Climate Study* (TOCS) survey, and Sea Level Anomaly data from Jason-1 altimetry satellite *passingtrack* #164 dan #253. While the skipjack fishery data were obtained from log book data of purse-seine ship that anchored in Samudera fishery port in Bitung North Sulawesi, Western Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC) in public domain data categories, and fishery and marine duty of North Halmahera sub-province.

Halmahera Eddy was identified according to the high sea surface chlorophyll-a that formed footprint in the circulation of HE vortex. Verification was done qualitatively on

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

general character of anti-cyclonic eddy such as the sea surface chlorophyll-a, sea surface temperature, current vector and horizontal distribution of temperature and salinity profiles below the surface layer. The census method was used in taking statistic data of Halmahera Eddy, such as center position, the width of the diameter, hue shape and surface chlorophyll-a concentration. Analysis was done to view the variation pattern in several times through harmonic and band pass filter analysis of direction route. To view surface dynamics of Halmahera Eddy from altimetry satellite was done through Hovmoller diagram.

The results showed that HE surface structure identification used thesea surface chlorophyll images, which described chlorophyll-a profile existence formed as the result of its flow circulation, the high sea surface chlorophyll-a concentration occurred in the edge and its formed the high chlorophyll-a belt, while in its interior the surface chlorophyll-a was low. Sea surface temperature parameter was warmer in the center of vortex than in the edge. Verification results of sea surface chlorophyll-a and hydrographic data showed that the high sea surface chlorophyll-a was consistent with the results of current vector SADCP which carried the high sea chlorophyll-a concentration, current vector in northern part to northeastward and southern part to northwestward which indicated eddy anti-cyclonic circulation. Transverse distribution of the temperature in the CTD / XCTD data, Halmahera Eddy was characterized with existence of isotherms depressed down and shifted to the north with increasing depth, whereas the salinity distribution showed water mass of the South Pacific Tropical Water, North Pacific Tropical Water and North Pacific Intermediate Water. The results of observations and measurements of Halmahera Eddy character using census method known diameter in the zonal direction ranged from 338 to 731 km while the meridional direction ranged from 297 to 725 km. Halmahera Eddy experienced a shift the northernmost position of its center was at 5.43°N /129.31 E in December 2008 and the southernmost of its center was 1.85°N/130.13°E in September 2009.

Halmahera Eddy had a shifting area that formed the southeast - northwest axis with distance among the farthest center of Halmahera Eddy was 446 km. Halmahera Eddy diameter was known about 520 km. In the seasonal, Halmahera Eddy moved to the northwest during the southeast season and shifted to the southeast during the northwest season. At the inter-annual, Halmahera Eddy moved to the northwest during the La Niña event and its to the southeast during El Niño. The seasonal monsoon was more dominant to influence the meridional Halmahera Eddy, while inter-annual was dominant to affect zonal shift direction. The movement of the center of Halmahera Eddy showed anti-clockwise movement direction. Halmahera Eddy movement patterns were influenced by The South Oscillation Index (SOI) associated with relaxation Warm Pool to the Central Pasific. Altimetry data analysis of Jason - 1 passing track #253 showed the movement characteristic of Halmahera Eddy was characterized by high sea level anomaly in center of Halmahera Eddy.

Purse-seine ships that were operated in the study area tended to be concentrated in the inner region and the edge of the vortex Halmahera Eddy around northeast Halmahera and northern part of bird's head of Papua. Skipjack productivity in the study area had a strong correlation to the Halmahera Eddy meridional shift compared with its zonal shift.



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



## © Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2014 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB*

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

**Bogor Agricultural University**

**© Hak Cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



**KAJIAN ARUS PUSAR HALMAHERA MENGGUNAKAN DATA  
SATELIT MULTISENSOR DAN HIDROGRAFI SERTA  
KAITANNYA DENGAN PRODUKTIVITAS CAKALANG**  
*(Katsuwonus pelamis)*

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

**GENTIO HARSONO**

Disertasi  
sebagai syarat untuk memperoleh gelar Doktor  
pada  
Mayor Teknologi Kelautan

**SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2014**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Judul Desertasi	:	Kajian Arus Pusar Halmahera Menggunakan Data Satelit Multisensor dan Hidrografi serta Kaitannya Dengan Produktivitas Cakalang ( <i>Katsuwonus pelamis</i> )
Nama	:	Gentio Harsono
NIM	:	C.562090051
Mayor	:	Teknologi Kelautan (TEK)
Komisi Pembimbing	:	Dr. Ir. Djisman Manurung MSc Dr. Ir. Agus Saleh Atmadipoera DESS Prof. Dr.Ir. Mulyono Sumitro Baskoro MSc Dr. Ir. Fadli Syamudin MSc
Penguji Ujian Tertutup	:	Prof. Dr. Ali Suman (Kepala Balai Penelitian Perikanan Laut KKP) Dr. Ir. I Wayan Nurjaya MSc (Kepala Departemen ITK FPIK IPB)
Ujian Tertutup	:	Jumat, 09 Mei 2014 Pukul: 09.00-11.30 WIB Ruang Pertemuan Jurusan Departemen ITK FPIK IPB
Penguji Ujian Terbuka	:	Prof. Dr. Ir. Dietrich G. Bengen DEA (Guru Besar FPIK IPB) Dr. Ir. Soepratono MM (Kepala Dinas Pendidikan TNI-AL)
Ujian Terbuka	:	Selasa, 17 Juni 2014 Pukul: 10.00 – selesai Ruang Diskusi Fakultas FPIK IPB

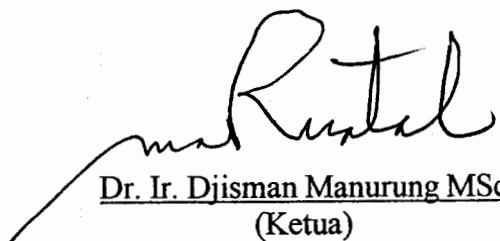
## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Disertasi : Kajian Pusaran Arus Halmahera (Halmahera Eddy) Menggunakan Data Satelit Multisensor dan Data Hidrografi Serta Kaitannya Dengan Produktivitas Cakalang (*Katsuwonus pelamis*)

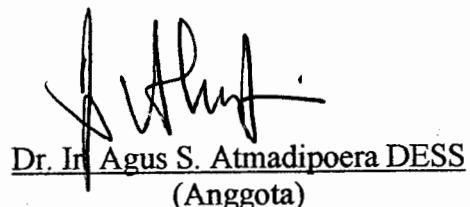
Nama Mahasiswa : Gentio Harsono  
NRP : C562090051  
Mayor : Teknologi Kelautan / TEK

Menyetujui:

Komisi Pembimbing



Dr. Ir. Djisman Manurung MSc  
(Ketua)



Dr. Ir. Agus S. Atmadipoera DESS  
(Anggota)



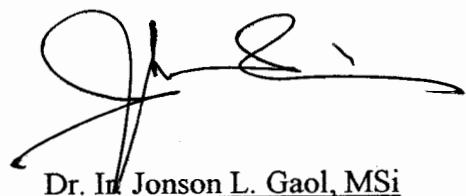
Dr. Ir. Fadli Syamsuddin MSc  
(Anggota)



Prof. Dr. Ir Mulyono S Baskoro MSc  
(Anggota)

Diketahui oleh

Ketua  
Mayor Teknologi Kelautan



Dr. Ir. Jonson L. Gaol, MSc



Tanggal Ujian:

Tanggal Lulus: **04 JUL 2014**



## PRAKATA

Buji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan berkahNya, saya dapat menyelesaikan draft disertasi yang berjudul: "Kajian Arus Pusar Halmahera Menggunakan Data Satelit Multisensor dan Hidrografi Serta Kaitannya Dengan Produktivitas Perikanan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*)", dengan segala keterbatasan, kelebihan dan kekurangannya.

Selama dalam perjalanan studi dan proses penyelesaian disertasi ini, saya telah banyak dibantu oleh berbagai pihak, baik bantuan moril maupun material, pencerahan ilmu, penguatan hati dan mental, doa dan perhatian serta berbagai kemudahan fasilitas terkait dengan penyelesaian studi.

Rasa hormat dan terimakasih sedalam-dalamnya saya sampaikan kepada para Komisi pembimbing disertasi: Bapak Dr. Ir. Djisman Manurung M.Sc sebagai Ketua Komisi Pembimbing, Bapak Dr. Ir. Agus Saleh Atmadipoera DESS, Bapak Prof. Dr. Ir. Mulyono Sumitro Baskoro MSc dan Bapak Dr. Ir. Fadli Syamsudin MSc, selaku anggota komisi pembimbing dengan dedikasi dan kesabarannya dalam mencerahkan segala pemikiran dan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan bobot akademis dalam disertasi ini.

Ucapan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya saya sampaikan kepada Prof. Dr. Ali Suman MSc dan Dr. Ir. I Wayan Nurjaya MSc selaku penguji luar komisi pada ujian tertutup dan Prof. Dr. Ir. Dietrich G. Bengen DEA dan Laksamana Pertama TNI Dr. Ir. Supartono MM yang telah menyediakan waktu dan pikirannya untuk memberikan banyak masukan serta arahan dalam menyempurnakan disertasi ini sehingga memiliki makna yang makin berarti.

Rasa terimakasih yang mendalam dan penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada Pengelola Mayor Teknologi Kelautan Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor yang telah banyak memberi bekal ilmu selama dalam proses perkuliahan. Bekal ilmu berupa teori, metodologi dan telaahan kasus-kasus terkini sangat besar manfaatnya dalam mewarnai disertasi ini. Terimakasih yang sangat dalam saya haturkan kepada Dr. Ir. Jonson Lumban Gaol, MSi selaku Ketua Mayor Teknologi Kelautan (TEK) yang tak henti-hentinya mendorong dan menyemangati saya agar segera menyelesaikan tugas akhir disertasi ini.

Ucapan terimakasih sedalam-dalamnya juga saya sampaikan kepada Bapak Kepala Staf Angkatan Laut (KASAL) Republik Indonesia, yang telah memberikan ijin dan mempercayakan kepada saya untuk belajar hingga sampai tingkat doktoral di Institut Pertanian Bogor. Rasa terimakasih juga saya haturkan kepada Kepala Dinas Hidro-Oseanografi (Kadishidros) yang telah mempercayakan kepada saya untuk menimba ilmu di Institut Pertanian Bogor serta rekan-rekan perwira di TNI-AL yang banyak mendukung saya baik moril maupun materiil selama saya melaksanakan tugas sebagai perwira mahasiswa.

Rasa hormat dan terimakasih yang tak terhingga saya dedikasikan kepada orang tua saya yang selalu mendoakan saya serta memberikan nasihat ketika saya menemui kebuntuan dalam mengambil keputusan. Ucapan terimakasih teristimewa untuk istri tercinta Rina Alrianti Kusumawati serta kedua anak saya Mohammad Rafif Rabbani dan Nishrina Tuffahati Harsono Putri atas segala dukungan serta pengorbanan yang luar biasa selama saya melaksanakan pendidikan di IPB.

Akhir kata, penulis berharap bahwa disertasi saya ini bisa memberikan rangsangan akademik untuk melaksanakan penelitian lebih lanjut proses-proses

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



dinamika yang terjadi pada Halmahera Eddy serta kaitannya dengan produktivitas perikanannya.

Bogor, Juli 2014

Gentio Harsono

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



## DAFTAR ISI

		Hal
1.	<b>RINGKASAN</b>	1
	<b>PENDAHULUAN</b>	1
	Latar Belakang	4
	Perumusan Masalah	5
	Tujuan Penelitian	5
	Hipotesis	5
	Pembatasan Masalah	5
	Asumsi Asumsi	5
	Manfaat Penelitian	5
	Kerangka Pemikiran	6
	Kebaruan	7
2.	<b>TELAAH STUDI HALMAHERA EDDY</b>	9
	Halmahera Eddy Pada Penelitian Sebelumnya	9
	Perikanan Cakalang Di Sekitar Wilayah Kajian	23
	Kondisi Perikanan Tangkap di Wilayah Samudera Pasifik Barat	23
	dan Tengah	
	Variabilitas Iklim dan Pengaruhnya Terhadap Dinamika	25
	Penangkapan Cakalang	
3.	<b>PENDEKATAN STUDI</b>	29
	Problematik Fisik Halmahera Eddy	29
	Variabilitas Halmahera Eddy	31
	Variabilitas Temporal	31
	Variabilitas Spasial	31
	Pendekatan Studi	32
	Sumber Data dan Analisis	34
	Citra Klorofil-a Permukaan	34
	Citra Suhu Permukaan Laut	35
	Data Anomali Muka Laut	35
	Data Hidrografi Pelayaran <i>Tropical Ocean Climate Study</i>	36
	(TOCS)	
	<i>Triangle Trans-Ocean Buoy Network (TRTON)</i>	37
	Data Perikanan Tangkap Cakalang	38
	Proses Verifikasi	39
	Metode Sensus	40
	Halmahera Eddy dan Produktivitas Cakalang di Sekitar Wilayah	40
	Kajian	
	Sistematika Penulisan Pembahasan	40

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
- Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



	Hal
4 <b>IDENTIFIKASI STRUKTUR PERMUKAAN HALMAHERA EDDY</b>	41
Abstraksi	41
Pengamatan Lingkungan Perairan dan Identifikasi Halmahera Eddy	42
Sebaran Klorofil-a Permukaan	42
Sebaran Suhu Permukaan Laut	46
Varifikasi Rona Halmahera Eddy dari Klorofil-a Permukaan	49
Sebaran Klorofil-a Permukaan – Arus Permukaan SADCP	49
Sebaran Melintang Suhu dan Salinitas	51
Sebaran Suhu	51
Sebaran Salinitas	54
Statistik Halmahera Eddy	55
5 <b>ANALISIS PERKEMBANGAN DAN PERGESERAN HALMAHERA EDDY</b>	57
Abstraksi	57
Peta Sebaran Pusat Halmahera Eddy dari Citra Klorofil-a Permukaan	58
Perkembangan dan Pergeseran Halmahera Eddy	59
Perkembangan Halmahera Eddy	59
Pergeseran Halmahera Eddy	63
Pola Pergeseran Titik Pusat Halmahera Eddy dalam Skala Ruang	69
Hubungan Pergeseran Halmahera Eddy dengan <i>South Oscillation Index</i> (SOI)	70
Sosok ( <i>Feature</i> ) Halmahera Eddy Berdasarkan Anomali Muka Laut Satelit Jason-1	72
6 <b>KONDISI PERIKANAN TANGKAP SEKITAR WILAYAH PUSARAN HALMAHERA EDDY</b>	77
Abstraksi	77
Perikanan Purse-Seine di Perairan Utara Papua	77
Hubungan Pergeseran Halmahera Eddy dengan Produktivitas Cakalang	81
7 <b>SIMPULAN DAN SARAN</b>	87
Simpulan	87
Saran	88
<b>PUSTAKA ACUAN</b>	89



## DAFTAR TABEL

	Hal
3.1 Pelayaran RV Mirai Dalam Akuisisi Data SADCP, CTD, XCTD	36
4.1 Ringkasan Statistik Data Hasil Metode Sensus	55

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
1.1 Bagan Alir Kerangka Pemikiran Penelitian	7
2.1 Peta Topografi Dinamik lapisan a) permukaan, b) 150 dBar, c) 300 dBar dan d) 800 dBar relatif terhadap 1250 dBar	10
2.2 Peta Jejak Pelarapat dan Vektor Arus Pada Data Klimatologi	13
2.3 Antisiklonik Halmahera Eddy Berdasarkan Analisis Data Pelarapat dan SADCP	13
2.4 Sistim Arus LLWBC Berdasarkan Hasil Pelayaran WEPOCS III	14
2.5 Skematika Sistim Arus Antara indanao dan New Guinea	14
2.6 Vektor Arus SADCP Selama Pelayaran TOCS 1995 dan WOCE IV	16
2.7 Ukuran Eddy Sebagai Fungsi Rasio Ketebalan	17
2.8 Vektor Arus Utara di Ekuator Pasifik Barat	18
2.9 Ilustrasi Low Latitude Western Boundary Current (LLWBC) di Ekuator Pasifik Barat	19
2.10 Water Leaving Radiance dan Sebaran Klorofil-a Permukaan Citra SEA WiFS	21
2.11 Front Klorofil-a Permukaan dari Citra SEA WiFS dan Posisi Kapal Penangkap Ikan Skipjack dan Yellow Fin Tuna	22
2.12 Diskripsi Tangkapan Empat Spesies Tuna di Pasifik Barat dan Tengah (WCPO)	24
2.13 Pengaruh ENSO Terhadap Distribusi Penangkapan Cakalang dan Pergerakannya di Pasifik Barat dan Tengah	26
3.1 Raut Melintang Eddy Antisiklonik	32
3.2 Passingtrack Satelit Jason-1 dan Posisi TRITON-16	35
3.3 Peta Sebaran Stasiun CTD/XCTD Pelayaran Mirai Periode 2002-2011	37
3.4 Konfigurasi Pelarapat Tambat TRITON	38
4.1 Sebaran Klorofil-a Permukaan Sekitar Wilayah Kajian	41
4.2 Sebaran Suhu Permukaan Laut Sekitar Wilayah Kajian	46
4.3 Peta Tumpangsusun Sebaran Klorofil-a Permukaan-Vektor Arus ADCP	50
4.4 Sebaran Stasiun CTD/XCTD dan Sebaran Melintang Suhu dan Salinitas	52

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajib IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

<b>Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang</b>	5.1	Sebaran Titik Pusat Halmahera Eddy Bulanan Periode Juli 2002-Desember 2012	58
	5.2	Grafik Luas Pusaran Halmahera Eddy Terhadap Waktu	59
	5.3	Pola Bulanan Perkembangan Halmahera Eddy Berdasarkan Luasan Pusaran	60
	5.4	Variasi Dalam-tahunan dan Antar-tahunan Perkembangan Halmahera Eddy	61
	5.5	Grafik Pergeseran Halmahera Eddy Bulanan dan Rataan Bulanan	62
	5.6	Variasi Dalam-tahunan Pergeseran Halmahera Eddy	63
	5.7	Grafik Tumpangsusun Pergeseran Meridional Pusat Halmahera Eddy Bulanan dan Musiman	64
	5.8	Variasi Antar-tahunan Pergeseran Meridional Halmahera Eddy	64
	5.9	Grafik Tumpangsusun Pergeseran Meridional Halmahera Eddy Bulanan dan Antar-tahunan	65
	5.10	Variasi Dalam-tahunan Pergeseran Zonal Halmahera Eddy	66
	5.11	Grafik Tumpangsusun Pergeseran Zonal Pusat Halmahera Eddy Bulanan dan Musiman	67
	5.12	Variasi Antar-tahunan Pergeseran Zonal Halmahera Eddy	67
	5.13	Grafik Tumpangsusun Pergeseran Zonal Pusat Halmahera Eddy Bulanan dan Antar-tahunan	68
	5.14	Sebaran Pusat Halmahera Eddy Pola Bulanan Berdasarkan Citra Klorofil-a Permukaan	69
	5.15	Sebaran Pusat Halmahera Eddy Pada Event Normal dan ENSO	70
5.16	Grafik Tumpangsusun Data Deret Waktu Pusat Halmahera Eddy dengan Indeks SOI	71	
5.17	Grafik Tumpangsusun Tinggi Dinamik Permukaan TRITON-16 dengan Anomali Muka Laut Data Jason-1	73	
5.18	Diagram Hovmoller Anomali Muka Laut Satelit Jason-1	74	
6.1	Peta Tumpangsusun Klorofil Permukaan Dengan Posisi Purse-Seine saat Melakukan Penangkapan Ikan di Sekitar Pusaran Halmahera Eddy	78	
6.2	Data Sebaran Kapal Purse-seine Saat Melakukan Penangkapan Cakalang di Wilayah Studi	80	
6.3	Peta Lokasi Sampling Data Cakalang dan Sebaran Titik Pusat Halmahera Eddy	81	
6.4	Jumlah CPUE Cakalang yang Ditangkap Kapal Purse-Seine	81	
6.5	Variasi Musiman CPUE Cakalang dalam Wilayah Sampling	82	
6.6	Variasi Antar-tahunan CPUE Cakalang dalam Wilayah Sampling	83	
6.7	Grafik Tumpangsusun Jumlah Tangkapan per Unit Usaha (CPUE) dengan Pergeseran Halmahera Eddy	83	
6.8	Tumpangsusun Grafik Pergeseran Meridional Halmahera Eddy dengan Diagram Batang Produksi Cakalang di Pelabuhan Morotai	85	
6.9	Sirkulasi Halmahera Eddy Dilihat Berdasarkan Rona Klorofil-a Permukaan	85	



## DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
1. Peta Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Klorofil-a Permukaan	97
2. Manuskrip Jurnal di Jurnal Segara	120
3. Manuskrip Jurnal di Asian Journal of Scientific Reserach	137
4. Riwayat Hidup Penulis	154



Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Wilayah perairan ekuator Pasifik Barat dikenal mempunyai karakter oceanografi yang sangat dinamis. Perairan wilayah ini merupakan tempat berkumpulnya massa air yang datang dari Belahan Bumi Selatan (BBS) dan Belahan Bumi Utara (BBU) di Samudera Pasifik. Bercampurnya kedua massa air yang berbeda karakteristiknya ini sangat mempengaruhi keragaman bahan *heat* dan salinitas terutama di lapisan termoklin dan lapisan pertengahan perairan ini. Oleh karena itu, dalam konteks kajian oceanografi, wilayah putarbalik (*retroreflect*) arus tepi barat ekuator Pasifik ini menjadi sangat penting.

Wilayah perairannya mempunyai suhu permukaan laut paling hangat di dunia, rata-rata sepanjang tahunnya  $> 29^{\circ}\text{C}$  sehingga dikenal dengan Welahar Panas (*Warm Pool/WP*) sebagai hasil angkutan air hangat tropika oleh Arus Katulistiwa Selatan (AKS) Pasifik dan Arus Katulistiwa Utara (AKU) Pasifik (Kashino *et al.*, 2007). Tingkat presipitasi yang lebih tinggi dibanding evaporasinya menjadikan lapisan permukaan lautnya mempunyai salinitas lebih rendah ( $\pm 33.0$  PSU), kontras dengan lapisan termoklinnya yang mempunyai salinitas tinggi 35.0 PSU yang merupakan karakter massa air *South Pacific Tropical Water* (SPTW). Diantara kedua lapisan ini terbentuk lapisan gendala (*barrier layer*) yang menghalangi naiknya nutrien dari lapisan bawah ke permukaan (*up welling*), akibatnya perairan ini juga dicirikan dengan karakter *oligotropik* dimana konsentrasi klorofil  $< 0.1 \text{ mg/m}^3$  (Sprintall and Tomczack, 1992).

Salah satu fenomena yang menarik untuk dipelajari di perairan ini adalah munculnya dua pusaran massa air (*eddy*) yang dikenal dengan nama arus pusar Mindanao selanjutnya disebut dengan Mindanao Eddy (ME) bersifat siklonik dan arus pusar Halmahera yang selanjutnya disebut dengan Halmahera Eddy (HE) yang bersifat antisiklonik. Kedua eddy ini ada di wilayah retrofleksi dalam sistem arus tepi barat Samudera Pasifik yang dikenal dengan nama *Low Latitude Western Boundary Current* (LLWBC) dimana massa air dari Samudera Pasifik utara dibawa oleh Arus Mindanao dan massa air Samudera Pasifik selatan dibawa oleh *New Guinea Coastal Current* (NGCC) pada lapisan di atas 100 m dan *New Guinea Coastal Under Current* (NGCUC) di bawah lapisan 100 m bertemu (*collision*) dan selanjutnya berbelok ke timur membentuk sumbu Arus Sakal Katulistiwa Utara (*North Equatorial Counter Current*). Halmahera Eddy merupakan salah satu pembentuk massa air Arlindo (*Indonesia Throughflow*) di gerbang timur dimana Arlindo merupakan bagian dari sirkulasi arus termohalina global (Kashino *et al.*, 1998).

Pertemuan massa air dari dua belahan bumi selatan dan utara ini membentuk front lautan di dimana sumber massa air NECC dibentuk (Kashino *et al.*, 2007). Terbentuknya front lautan membawa pengaruh bagi aktivitas biologinya (Christian *et al.*, 2004), dimana front pertemuan arus umumnya menjadi wilayah yang potensial bagi perikanan pelagis (Kang *et al.*, 2004).

Eddy atau arus pusar telah lama dikenal menjadi sumber utama variabilitas dalam proses biologi dan biogeokimia di lautan terbuka (Siegel *et al.*, 2008). Adanya eddy akan mengaduk massa air menjadi kaya nutrien yang selanjutnya dapat memicu melimpahnya tumbuhan renik lautan (*blooming*) yang menjadi dasar pembentukan rantai makanan di laut. Sumber pakan ikan ini

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

umumnya terakumulasi di zona pertemuan arus (*convergent*) dan zona pemisahan arus (*divergent*). Berbagai jenis ikan pelagis di hampir seluruh perairan berkorelasi erat dengan wilayah-wilayah perairan dimana eddy terbentuk dengan Energi Kinetik Eddy yang relatif tinggi. Eddy juga berperan besar dalam transportasi massa air dan bahan di sejumlah samudera (Kurogano and Kamachi, 2003).

Selama ini sistem arus tepi barat atau lebih dikenal dengan nama *Low Latitude Western Boundary Current* (LLWBC) di Samudera Pasifik belum banyak mendapat perhatian terkait perannya dalam dinamika biologi perairan sekitarnya. Fokus penelitian wilayah utara Papua New Guinea misalnya lebih banyak di bahas peneliti terkait dengan rumitnya sirkulasi massa air tepi barat wilayah tropis samudera Pasifik serta perannya dalam penentuan iklim global seperti *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dan *Pacific Decadal Oscillation* (PDO). Meskipun dikenal sebagai perairan dengan produktivitas primernya yang rendah (oligotropik), namun kenyataannya lingkungan perairan ini banyak mendukung berbagai lingkungan ekologis berbagai habitat jenis ikan pelagis samudera. Wilayah yang dikenal dengan Warm Pool menyulai bagian terbesar produksi tuna dunia ( $> 1.5$  juta ton pertahun) di Samudera Pasifik atau sekitar 40% jumlah tangkapan tuna dunia ada di wilayah perairan ini. Dua spesies tuna yang ditangkap didominasi oleh cakalang yang dikenal di pasaran dengan nama Skipjack (*Katsuwonus pelamis*) dan Madidihang atau dikenal dengan nama Yellow Fin Tuna (*Thunnus albacores*) (Lehodey, 2001).

Perairan antara Mindanao dan Papua terlihat begitu dinamis yang dapat dilihat dari keunikan pada aktivitas biologi permukaannya seperti dari sebaran klorofil permukaannya. Jika perairan oseaniknya dikenal miskin klorofilnya, kondisi sangat berbeda terjadi di sepanjang pantai utara Papua hingga Halmahera. Lingkungan perairan tepi barat ekuator barat Pasifik berbatas langsung dengan wilayah perairan yang dikenal sebagai segitiga pertumbuhan karang dunia yang merupakan lingkungan perairan dengan produktivitas primer paling tinggi. Kawasan perairan ini meliputi ekosistem terumbu karang besar sepanjang pantai utara Papua, Raja Ampat, Halmahera hingga Morotai. Perairan ini juga tidak lepas dari pengaruh Laut Maluku terutama ketika periode *upwelling* intensif.

Selain hamparan terumbu karang, interaksi gelombang pasang surut dalam (*internal tide*) dengan punggung laut (*sill*) di selat Halmahera serta pengaruh sungai-sungai besar seperti S. Sepik, S. Membramo dan S. Mataabori membawa sejumlah besar nutrien masuk kedalam perairan oseanik Pasifik barat. Burns *et al.* (2007) memperkirakan pasokan nutrien yang masuk ke laut dari sungai Sepik  $1.1 \times 10^{10}$  mol/tahun untuk nitrogen dan  $4.6 \times 10^8$  mol/tahun untuk unsur fosfat. Sedangkan Muchtar (2004) menyebut sekitar 0.05-1.02  $\mu\text{g At/l}$  kandungan fosfat an-organik dan 0.12-1.78  $\mu\text{g At/l}$  nitrat terdeteksi di permukaan perairan muara Sungai Membramo.

Arus permukaan pantai utara Papua yang dikenal dengan *New Guinea Coastal Current* (NGCC) mengalir sepanjang pantai pulau-pulau ini diduga membawa sejumlah konsentrasi zat hara ini yang kemudian masuk kedalam sistem pusaran arus Halmahera untuk kemudian disebarluaskan ke timur melalui aliran NECC. Peran yang dibawa oleh HE ini belum banyak diungkap oleh peneliti sebelumnya. Peran ini juga tidak lepas dari *New Guinea Coastal Under Current* (NGCUC) yang membawa massa air *South Pacific Tropical Waters*

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

(SPTW) yang kaya nutrien dan diperkaya unsur besi (*Fe*) dari aktivitas *geothermal* atau sedimen *fluvial* di lereng benua pantai utara Papua (Mackey *et al.*, 2002; Christian *et al.*, 2004)

Perkembangan yang sangat pesat terhadap teknologi satelit inderaja seperti halnya *Ocean Color* dan *Thermal* telah banyak membantu dalam menginvestigasi variabilitas klorofil permukaan dan suhu permukaan laut dengan resolusi yang semakin meningkat, baik dalam skala spasial maupun temporalnya. Skala liputanya (*coverage*) pun dapat meningkat secara dramatis hingga memperoleh resolusi temporal harian dan spasial ~ 1 km. Citra satelit *Ocean Color* dan *Ocean Thermal* telah menyediakan gambaran secara sinoptik proses-proses biologi dan biogeokimia lautan (Siegel *et al.*, 2008).

Keberadaan citra satelit *Aqua MODIS* berupa sebaran klorofil-a memberikan peluang untuk mengenali pola sebaran klorofil-a sebagai salah satu parameter produktivitas perairan dari dua lingkungan yang berbeda di wilayah bagian barat *Warm Pool* (WP) ini, lingkungan oseanik yang bersifat oligotropik dengan lingkungan laut disekitar perairan Indonesia yang ekosistem pantainya mempunyai produktivitas primer tinggi. Jejak klorofil yang terbawa arus dan masuk dalam sistem pusaran arus HE dapat terlacak, dengan demikian pola pergeseran Halmahera Eddy dapat dikenali melalui rona (*feature*) sebaran klorofil permukaan ini dari citra yang dibuat.

Identifikasi HE menggunakan parameter Suhu Permukaan Laut (SPL) mempunyai beberapa kendala seperti lingkungan perairan sangat hangat akibat kuatnya pengaruh WP disebelah timurnya serta sirkulasi arus permukaan wilayah kajian yang rumit (*complicate*) menyebabkan kesulitan dalam memperoleh garis tegas (nilai kontras) dalam mengenali sirkulasi HE saat berdasarkan parameter SPL.

Walaupun investigasi dengan menggunakan citra *Ocean Color* dan *Thermal* mempunyai keterbatasan dalam menjelaskan proses-proses fisik yang terjadi, keterbatasan tersebut dapat dilengkapi dengan memanfaatan produk citra lain seperti satelit altimetri dan data hidrografi dari pelayaran penelitian yang pernah dilakukan.

Terbatasnya penjelasan variabilitas spasial dan temporal HE secara deret waktu serta belum adanya penelitian yang mengaitkan HE dengan produktivitas perairan terutama hubungannya dengan tuna cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di wilayah barat kolam air hangat ini memberikan alasan kami melakukan penelitian ini. Cakalang merupakan spesies tuna yang menyukai air hangat, disamping itu wilayah kajian sebagai salah satu wilayah potensial perikanan cakalang. Cakalang juga merupakan komoditas perikanan penting yang menyokong sumber pendapatan negara-negara di sekitar perairan ini. Oleh karena itu penelitian tentang HE dengan menggunakan citra satelit multi-sensor dan data hidrografi merupakan terobosan baru dalam memperjelas dinamika HE serta kaitannya dengan produktivitas cakalang diwilayah ini. Keuntungan lainnya adalah, jika HE dan *front* yang dibentuknya dapat dipetakan secara akurat, maka informasi ini dapat membantu dalam menentukan daerah penangkapan ikan (*fishing ground*) yang potensial seperti halnya perikanan tuna yang sangat bermanfaat bagi kesejahteraan rakyat Indonesia.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## Perumusan Masalah

Penjelasan terbaru tentang Halmahera Eddy dikupas oleh Kashino *et al.* (2013) telah banyak mengungkap berbagai informasi detail struktur HE secara vertikal maupun horizontal, juga pola pergeseran HE berkaitan pengaruh muson dan *El Niño Southern Oscillation* (ENSO). Analisis mereka didasarkan pada data hidrografi pelayaran *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE) dan *Tropical Ocean Climate Study* (TOCS) serta data pelarat tambat (*mooring buoy*) *TRIangle Trans-Ocean buoy Network* (TRITON), sehingga penjelasannya hanya mampu menerangkan kondisi saat penelitian berlangsung saja.

Beberapa peneliti menggunakan model numerik dan model analitik untuk melengkapi keterbatasan jumlah data berasal dari penelitian di lapangan (Arruda and Nof, 2003; Heron *et al.*, 2006). Namun sangat disayangkan, penelitian tersebut ternyata lebih banyak mengungkap aspek fisika pada permukaan perairannya saja, sedang peran biologinya belum dibahas terutama kaitannya dengan aspek perikanannya.

Penggunaan citra klorofil untuk mengenali dan mendeteksi karakteristik permukaan HE meliputi perkembangan dan pergeserannya hingga saat ini belum pernah diteliti. Padahal penggunaan citra klorofil seperti pada Aqua MODIS sudah banyak digunakan diperairan lain dalam mendeteksi keberadaan arus eddy. Souza *et al.* (2002) dengan menggunakan satelit multisensor dan penguluran hidrografi *in-situ* berhasil mendeteksi aktivitas eddy di selatan wilayah pertemuan Brazil-Malvinas meliputi siklus hidup (*life cycle*), dimensi, suhu permukaan laut, konsentrasi klorofil permukaan, anomali tinggi muka laut serta pergeseran eddy. Sedangkan Goni *et al.* (1997) menggunakan data altimeter dari TOPEX/Poseidon untuk mengamati dinamika *Agulhas Ring* di sisi tenggara benua Afrika. Penelitian yang pernah membahas dinamika klorofil permukaan perairan WP dilakukan oleh Christian *et al.* (2004) menerangkan fenomena munculnya blooming phtoplankton seperti pita gelap disepanjang sumbu Arus Sakal Katulistiwa Utara ketika El Niño berlangsung, sayangnya mereka tidak secara khusus membahas tentang aktivitas dan peran HE.

Berkaitan sedikitnya penjelasan peran HE dalam membawa perubahan terhadap lingkungan biologi wilayah bagian barat *warm pool* ini, serta pengaruhnya terhadap distribusi dan fluktuasi produktivitas cakalan dimana spesies tuna ini mendominasi jumlah tangkapan utama hampir semua armada perikanan tradisional maupun modern di wilayah ini maka permasalahan yang ingin dijawab dalam penelitian ini adalah:

- a. Dengan menggunakan citra klorofil-a permukaan Aqua MODIS, apakah pusaran arus Halmahera (HE) dapat diidentifikasi dari rona klorofil-a permukaan yang terbentuk?, Apakah rona tersebut mempunyai karakteristik yang konsisten dengan citra satelit lain dan dari data hidrografi?
- b. Bagaimana pertumbuhan dan pergeseran HE dalam skala waktu dan ruang?
- c. Bagaimana hubungan pergeseran HE dengan produktivitas cakalang di perairan sekitar wilayah kajian?

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan permasalahan tersebut diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

- a. Identifikasi HE berdasarkan citra klorofil-a permukaan dari data satelit Aqua MODIS, citra altimetri dan data hidrografi
- b. Mengkaji perkembangan dan pergeseran HE dalam skala waktu dan ruang
- c. Mengkaji hubungan pergeseran HE dengan produktivitas cakalang di sekitar perairan wilayah studi.

## Hipotesis

Hipotesis yang dibangun dalam penelitian ini adalah:

- a. Antisiklonik HE dapat dikenali dari rona klorofil-a dengan bentuk lingkaran dimana konsentrasi klorofil-a permukaan tinggi berada di tepi pusaran dan konsentrasi rendah dibagian tengahnya dan isoterm tertekan membentuk lendutan di bagian tengahnya.
- b. Dinamika laut dan atmosfir mempengaruhi variabilitas spasial dan temporal HE.
- c. Pergeseran HE mempengaruhi produktivitas cakalang di sekitar wilayah kajian.

## Pembatasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada penggunaan citra klorofil-a permukaan dalam mengidentifikasi HE, data statistik karakter HE yang dikumpulkan dari metode sensus digunakan sebagai data deret waktu. Data in situ hidrografi digunakan untuk validasi dan mengetahui struktur menegak HE.

## Asumsi-Asumsi

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Sirkulasi HE menyebabkan konsentrasi klorofil-a permukaan tinggi membentuk rona yang merupakan struktur permukaan HE. Klorofil-a permukaan ini disuplai dari perairan sekitarnya.
- b. Struktur permukaan HE yang digambarkan dalam rona klorofil-a permukaan adalah berbentuk lingkaran.
- c. Wilayah perairan yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah wilayah butala penangkapan (*fishig ground*) cakalang.

## Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat :

- a. Dalam aspek ilmu pengetahuan, penelitian ini memberikan fakta baru dalam bidang oseanografi regional serta kaitannya dengan aspek perikanan berupa penjelasan variabilitas HE secara deret waktu serta kaitannya dengan produktivitas cakalang di wilayah kajian. Selama ini fenomena HE masih terbatas hanya diketahui saat penelitian berlangsung saja (*snapshot*) serta hanya berdasarkan data hidrografi saja. Penelitian ini juga memberikan penjelasan biologi tentang pentingnya perairan Indonesia sekitar

wilayah kajian sebagai pemasok kesuburan perairan ke wilayah ekuator Pasifik barat.

- b. Dalam bidang perikanan, memberikan informasi dalam skala spasial dan temporal kepada pemangku kepentingan (*stakeholder*) dalam mengelola sumberdaya perikanan terutama cakalang secara bijak.
- c. Dalam bidang navigasi pelayaran, memberikan informasi kepada pelaut yang kapalnya berlayar melintasi perairan antara Mindanao dan Papua untuk merencanakan lintasan pelayaran (*track*) yang cepat dan aman dengan memperhatikan pola sirkulasi arus HE.

### Kerangka Pemikiran

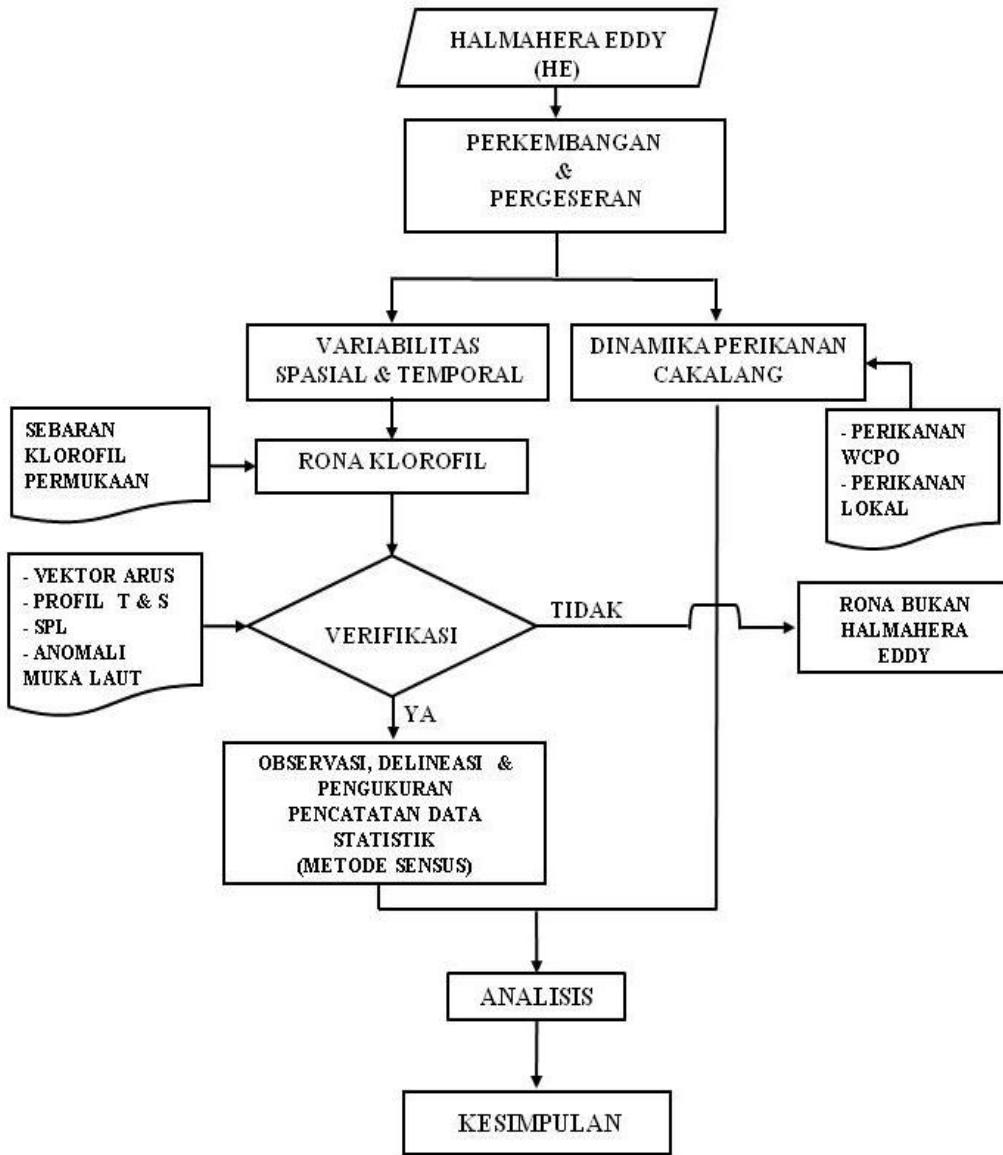
Halmahera Eddy merupakan eddy semi permanen yang selalu ada (hadir) di sepanjang tahunnya. Halmahera Eddy mengalami masa pelelahan dan perkembangan yang sangat terkait dengan pola musim di wilayah ini, umumnya lemah selama musim barat laut dan mengalami perkembangan penuh selama musim tenggara. Halmahera Eddy juga mengalami pergeseran (shifting) sebagai akibat pengaruh dinamika atmosfer di atasnya seperti muson dan ENSO. Sehingga dapat dikatakan bahwa HE mempunyai variabilitas spasial dan temporal.

Halmahera Eddy sebagai suatu arus pusar merupakan salah satu sumber a variabilitas dalam proses biologi dan biogeokimia di lautan terbuka. Adanya eddy akan membawa massa air menjadi lebih kaya nutrien yang dapat memicu melimpahnya tumbuhan renik lautan (*blooming*) yang merupakan dasar dalam pembentukan rantai makanan di laut. Sumber pakan ikan ini umumnya terakumulasi di zona pertemuan arus (*convergent*) dan zona pemisahan arus (*divergent*). Produktivitas cakalang sebagai spesies tuna permukaan diduga terkait erat dengan dinamika oseanografi HE ini.

Citra klorofil-a permukaan satelit Aqua MODIS telah banyak digunakan dalam mengidentifikasi struktur suatu eddy. Dengan menggunakan metode yang sama, struktur HE diidentifikasi berdasarkan rona klorofil-a permukaan yang dibentuk oleh sirkulasi pusaran arusnya. Identifikasi harus melalui verifikasi kualitatif terlebih dahulu dengan data altimetri dan data hidrografinya sehingga memperoleh hasil yang konsisten. Dengan menggunakan metode sensus dan analisis deret waktu, variabilitas spasial dan temporal HE dapat diketahui dan dinamika HE serta pengaruhnya terhadap produktivitas cakalang juga dapat diketahui. Secara skematis, kerangka pemikiran terkait dengan penelitian ini disajikan pada Gambar 1.1.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 1.1 Bagan Alir Kerangka Pemikiran Penelitian

### Kebaruan

Kebaruan dalam disertasi ini adalah:

- a. Identifikasi HE menggunakan citra klorofil-a permukaan dari Aqua MODIS.
- b. Informasi ilmiah terbaru tentang variabilitas spasial dan temporal HE berdasarkan data deret waktu dari suatu metode sensus.
- c. Penjelasan HE dan responnya terhadap produktivitas cakalang di sekitar wilayah kajian.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## 2. TELAAH STUDI HALMAHERA EDDY

### Halmahera Eddy Pada Penelitian Sebelumnya

Halmahera Eddy pertamakali muncul dalam peta topografi dinamik yang dibuat oleh Takahashi (1959) dalam Arruda and Nof (2003). Berdasarkan atlas yang dibuat dari data berbagai laporan bibliografi yang biasa digunakan para pelaut dalam berlayar, Wyrtki (1961) menunjukkan rona (*feature*) HE dalam pada peta vektor arus bulanan skala  $1^\circ \times 1^\circ$ . Sebagai data tambahan, pada setiap spasi  $10^\circ$  ( $\pm 1100$  km) sampai  $25^\circ$  ( $\pm 2750$  km) dikombinasikan dan direkonstruksi kembali kedalam mawar arus (*current rose*) yang menggambarkan variasi frekuensi kecepatan dan arah arusnya. Menurut Wyrtki (1961) cara tersebut tidak sesuai dengan keinginan peneliti karena informasi yang diberikan tidak lengkap dalam menggambarkan sirkulasi lautannya. Resolusi peta juga terlalu kecil dibandingkan wilayah kajiannya yang luas sementara jumlah sebaran datanya hanya dari beberapa hasil pengamatan saja. Vektor arus yang dibuatnya sering terlihat menyilang ataupun berlawanan arah dengan arus utamanya. Hal ini bukan berarti pengamatan tidak akurat, namun karena data yang dikumpulkan tidak mencukupi guna membuang pengaruh eddy-eddy dan arus sakal (*counter current*) dari arus utama. Oleh karena itu, untuk keperluan kajian ilmiah, vektor tersebut diinterpolasi dengan cara penghalusan (*smoothing*) guna meningkatkan ketepatan karakter utama sirkulasi arusnya.

Dalam kasus sirkulasi arus di timur Filipina dan utara New Guinea, Wyrtki (1961) membandingkannya dengan Atlas yang dibuat oleh *US Navy Hydrography Office* (1944, 1950) dan *Netherlands Meteorological Institute* (1936, 1949 dan 1952). Namun karena kerapatan data pengamatannya terlalu kecil dari dua atlas tersebut, maka sebagian besar peta yang dibuat Schott (1939) menjadi referensi utama karena ilustrasi yang dibuat lebih jelas, panah arus yang dibuat juga mudah dibedakan dalam bulan yang bebeda pula. Dari atlas arus-arus permukaan di wilayah barat daya Samudera Pasifik ini, Wyrtki (1961) menyebut adanya dua eddy kuat dibentuk yaitu siklonik Mindanao Eddy (ME) dan antisiklonik HE. Disebutkan bahwa HE berkembang hanya dari Mei hingga Oktober, eddy ini berada dimana massa air Arus Katulistiwa Selatan (*South Equatorial Current/SEC*) berbelok ke timur di ujung Pulau Halmahera kemudian masuk kedalam Arus Sakal Katulistiwa Utara (*North Equatorial Counter Current /NECC*).

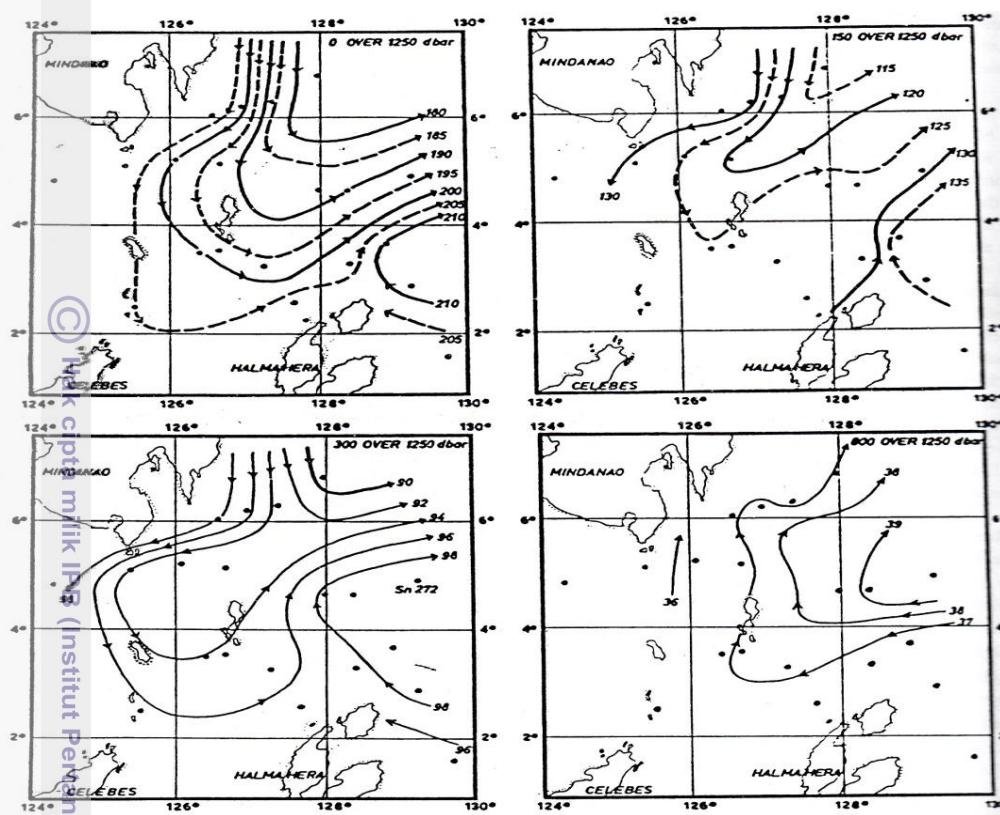
Dengan menggunakan data Pelayaran SNELLIUS dan survei yang dilakukan kapal Jepang Nos. 35, 40, 42, 68 dan 102 antara Mindanao dan Papua New Guinea, peta topografi dinamik yang dibuat Wyrtki (1961) menyebut adanya suatu *stationary feature* pada tinggi dinamik 40 dyn cm (*Figure. 7.12*, tidak diperlihatkan dalam disertasi ini) yang berada di wilayah tenggara ujung paling utara pulau Mindanao sekitar  $4^\circ\text{N}$ . Kemunculan eddy ini juga konsisten dengan hasil investigasi pelayaran DANA dimana eddy ini terlihat pada bulan Agustus. Dengan mengacu pada penelitian Schott (1939) dan Wyrtki (1956) disebutkan pula bahwa keberadaan eddy ini terkait dengan arus-arus permukaan tersebut dan peranannya sebagai pengatur dalam penyebaran massa air *Subtropical Lower Water* (Gambar 2.1).

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 2.1 Peta Topografi Dinamik lapisan a) permukaan, b) 150 dBar, c) 300 dBar dan d) 800 dBar relatif terhadap 1250 dBar (Wytrki, 1961)

Sistem arus di utara New Guinea menurut Wytrki (1961) ditandai dengan kuatnya fluktuasi skala musiman. Wilayah ini sangat responsif terhadap angin, antara Mei sampai Oktober saat angin tenggara berlaku dan dari Nopember hingga April saat angin yang berlaku dari baratdaya. Selama Juni sampai Agustus, SEC berkembang sangat kuat dan aliran ke barat sepanjang pantai New Guinea dengan kecepatan tinggi hingga sejauh di ujung pulau Halmahera. Aliran ini kemudian berbelok ke utara bergabung bersama dengan massa air yang datang dari Laut Sulawesi, Laut Maluku dan dari Arus Mindanao (*Mindanao Current*) membentuk aliran hingga jauh ke timur sebagai Arus Sakal Katulistiwa Utara (ASKU). Selama musim ini ASKU mencapai kekuatan maksimum dan mengendalikan sebagian besar massa air dari Pasifik selatan. Selama bulan Oktober kekuatan Arus Katulistiwa Selatan (AKS) dan ASKU menurun tanpa ada perubahan pada pola arusnya.

Pada bulan Nopember terjadi perubahan aliran AKS akibat meningkatnya angin barat daya. Pada saat itu, ASKU membawa massa air ekslusif dari utara yang dibawa Arus Mindanao meskipun kekuatan arusnya lemah. Aliran massa air sekarang mengalir ke tenggara disepanjang pantai utara New Guinea dibawah pengaruh angin barat daya, kecil namun kekuatan arusnya cukup nyata hingga berakhir pada Februari. Selanjutnya kekuatan angin pasat mulai pulih dan berlaku kembali pada April hingga Oktober.

Diskripsi massa air di ujung paling selatan Mindanao, juga dijelaskan oleh Wytrki (1961) dengan menggunakan hasil pelayaran kapal-kapal Jepang

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

yang diterangkan oleh Koenuma (1937-38-39), Pelayaran DANA dan Pelayaran SPENCER F.BAIRD. Dikatakan bahwa massa air *Subtropical Lower Water* selalu ditemukan pada bagian atas dari lapisan pegat (*discontinuity layer*) sekitar diatas isoterm 20°C. Topografi lapisan gumbar dengan salinitas maksimum posisi terdalam berada diantara Arus Katulistiwa Utara/AKU (*North Euatorial Current*) dan AKS , namun akan naik hingga pada kedalaman kurang dari 100 meter dikisaran ASKU. Posisi tertinggi ditemukan di siklonik Mindanao Eddy (ME) dan terendah di antisiklonik HE dimana AKS berbelok ke ASKU.

Selama periode tersebut, Wyrtki (1961) menggabungkan beberapa hasil penelitian sebelumnya untuk menggambarkan sirkulasi massa air di wilayah yang sekarang dikenal dengan nama *Low Latitude Western Pacific Boundary Current* (LLWBC) serta topografi dinamik massa air bawahnya. Untuk pertamakalinya juga disebut nama antisiklonik HE yang belum disebutkan peneliti sebelumnya. Meskipun disinggung keberadaan HE dan sistem arus-arus disekitarnya yang kuat dipengaruhi rezim muson, Wyrtki (1961) tidak menyebut apakah eddy ini bersifat permanen, semi permanen ataupun *transient*.

Variabilitas HE meliputi perkembangan dan pelemahan serta bagaimana pola pergeserannya juga tidak disebutkan. Analisis dinamika bawah permukaanya HE tidak dijelaskan secara spesifik. Ini diperkuat oleh pernyataan Wyrtki (1961) sendiri bahwa analisisnya tidak dapat menggambarkan secara menyeluruh sistem arus di bagian barat dari Pasifik utara akibat data yang ia digunakan dalam analisisnya terlalu sedikit.

Penelitian di wilayah paling barat ekuatorial Pasifik ini dilanjutkan dalam pelayaran WEPOCS III (*Western Equatorial Pacific Ocean Circulation Study*) oleh pihak Amerika Serikat pada 18 Juni – 31 Juli 1988, dengan kajian di sekitar wilayah paling barat Pasifik tropis antara 124°E-143°E, mulai dari NEC, Mindanao Current dan *North Equatorial Counter Current* (NECC). Seperti dijelaskan oleh Lukas *et al.* (1991), pelayaran U.S WEPOCS III merupakan kelanjutan dari WEPOCS I (Juli – Agustus 1985) dan WEPOCS II (Januari – Februari 1986) hasil kerjasama pemerintah Amerika Serikat-Australia yang saat itu fokus pada penelitian sumber massa air *Equatorial Under Current* (EUC) serta studi respon lautan terhadap muson di wilayah tropis Pasifik barat sepanjang 143°E-155°E.

Pelayaran WEPOCS III didasarkan kenyataan bahwa pada saat itu stasiun data yang ada masih kasar/jarang (*sparse*) sehingga kurang sesuai dalam memecahkan sirkulasi dan variabilitasnya dan sampling vertikalnya juga masih kurang rapat. Data histori pengukuran arus terdiri dari pengamatan pendek seperti dilakukan oleh peneliti Rusia dan arus dengan resolusi relative rendah seperti penggunaan current meter diturunkan dari kapal oleh peneliti Jepang. Beberapa keterbatasan yang dilakukan dalam penelitian sebelumnya diungkap Lukas *et al.* (1991) berupa permasalahan pada data historis yang selama ini digunakan dalam studi Mindanao Current sebelumnya berupa tidak adanya pemetaan *quasi-synoptic* sepanjang arus ini dan juga tidak dilakukan sampling massa airnya. Terpisahnya arus dari pantai yang tidak diamati serta sumber massa air yang membentuk karakter Arlindo (*Indonesian Through Flow*) juga tidak dijelaskan dengan baik terutama jejak perubahan pada properti massa airnya. Demikian pula halnya dengan nasib perjalanan massa air yang dibawa AKS dan NGCUC tidak ditentukan.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Fokus pengamatan pada WEPOCS III terutama observasi terhadap *Low Latitude Western Boundary Current* (LLWBC) dan interaksinya dengan sirkulasi massa air ekuatorial lainnya serta menentukan properti massa air dalam sirkulasi sistem arus tersebut (Lukas *et al.*, 1991). Dalam pelayaran ini, dilaksanakan berbagai pengukuran seperti peluncuran *satellite tracked drifter* yang dilengkapi dengan sensor temperature, penggunaan *continuous ADCP* yang mampu merekam vektor arus dari permukaan kedalaman 20 meter hingga 350 meter dan data hidrografi lainnya seperti CTD-O<sub>2</sub> yang dilengkapi Niskin Bottle dengan analisis meliputi salinitas, oksigen terlarut (dissolved oxygen /DO) dan nutrien an-organik (fosfat, nitrat, nitrit dan silikat). Menurut Lukas *et al.* (1991), pelayaran WEPOCS III merupakan yang pertamakalinya dilakukan di perairan barat ekuatorial Pasifik secara *quasi-synoptic*.

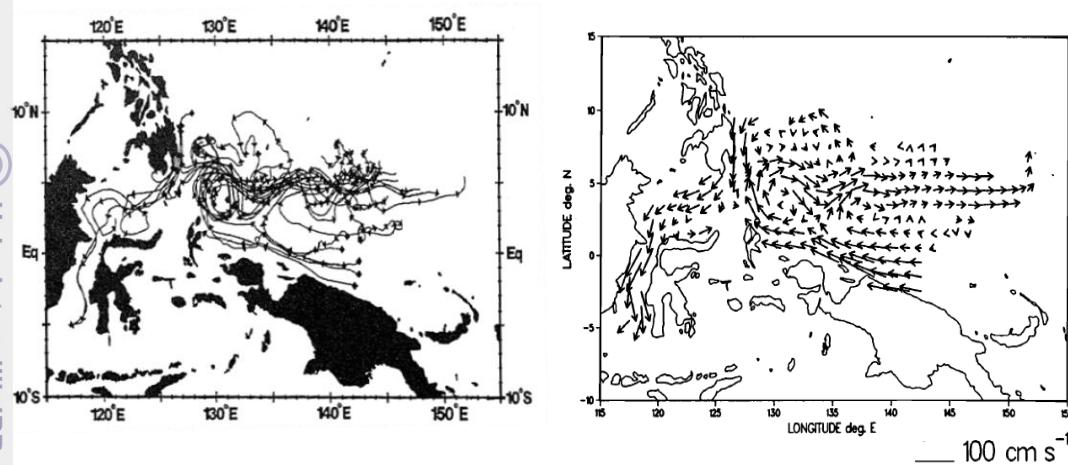
Sebanyak 35 buah pelampung hanyut (*drifter*) diluncurkan pada pelayaran tersebut dan selama 3 bulan peluncuran (Juli-September). Berdasarkan jejak drifter tersebut dapat diamati sistem arus terkait dengan berbagai sirkulasi arus dan eddy diantaranya Mindanao Current (MC), ME (dekat 7°N 128°E), AKS, HE (dekat 4°N 130°E), sumber AKU, pola aliran di Laut Sulawesi dan aliran massa air Pasifik ke Selat Makassar. Halmahera Eddy dapat terlihat jelas dari jejak drifter yang membentuk *loops* tertutup dengan besar diameter sekitar 300 km dan ukuran keseluruhan mencapai 470 km. Empat drifter yang diluncurkan terlihat bergerak mengitari sisi luar pusaran eddy dan satu drifter lainnya bergerak perlahan menuju dekat pusar pusaran. Kecepatan drifter dalam Halmahera Eddy sekitar 50 cm/detik dan waktu untuk mengelilingi satu putaran Halmahera Eddy adalah sekitar 20 hari (Gambar 2.2)..

Data lintasan drifter selama tiga bulan pengukuran oleh Lukas *et al.* (1991) dirata-ratakan menjadi data klimatologi. Hasilnya menunjukkan adanya kemiripan dengan data klimatologi dari rata-rata pergeseran kapal yang melintas di perairan tersebut. Namun demikian mereka tidak melihat adanya sirkulasi (*loops*) tertutup Halmahera Eddy pada data klimatologi seperti dalam gambar jejak drifter Juli 1988. Sirkulasi pada sisi timur HE terlihat ada cekungan (lembah) vektor arus ke selatan pada sistem ASKU di sekitar 135°E, namun mereka tidak menjelaskan sebab dan alasannya (Gambar 2.2).

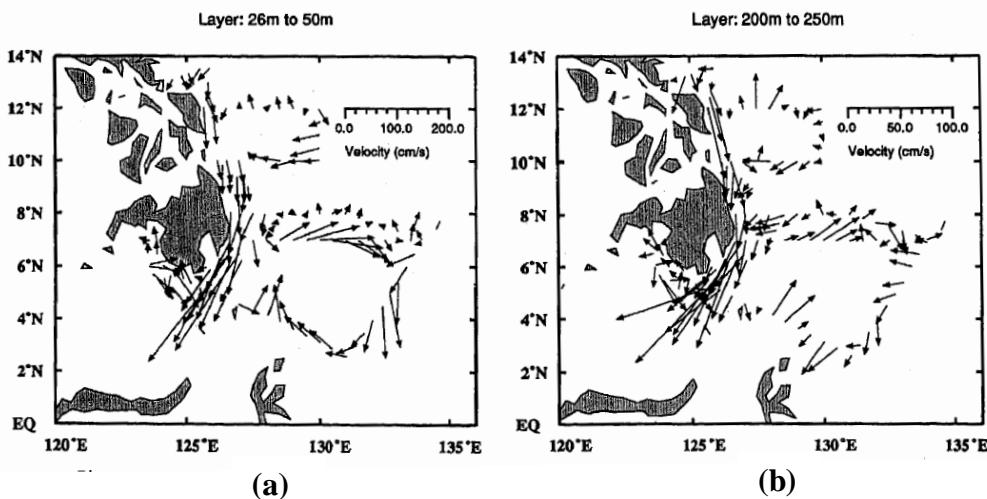
Salah satu penemuan penting dari penelitian ini adalah sebaran vektor arus dari *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) dimana HE dapat diindikasi meski terlihat kurang jelas dari aliran arus ke timur pada sistem ASKU. Halmahera Eddy diindikasikan dengan sirkulasi antisiklonik pada bidang arus dekat permukaan (lapisan 26 m-60 m), tetapi pada kedalaman 200-250 m Halmahera Eddy menjadi tidak dapat dikenali lagi. Terlihat adanya massa air masuk dalam sirkulasi eddy dari utara pulau Halmahera dan keluar kearah selatan dekat bujur 133°E di sisi timur dari HE (Gambar 2.3).

Pola sirkulasi massa air tersebut sangat mirip dengan jajak pelampung pelarut (*drifter*) pada bulan Juli 1988. Lintasan utama aliran air yang masuk dalam ASKU seperti *New Guinea Coastal Current* (NGCC) dan *New Guinea Coastal Under Current* (NGCUC) dari selatan, massa air *North Pacific Tropical Water* (NPTW) dan *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) yang dibawa Arus Mindanao (*Mindanao Current*), Arus Mindanao via Laut Sulawesi dan massa air dari Laut Maluku tidak terdiskripsikan secara jelas baik dari data ADCP maupun dari jejak drifter. Lukas *et al.* (1991) juga melihat adanya ketidaksinkronan antara eddy yang terbentuk di permukaan (26 m -50 m)

dengan eddy yang ada di bidang kedalaman 200 m – 250 m pada data ADCP-nya.



Gambar 2.2. Peta jejak pelarat dan vektor arus pada data klimatologi (Lukas *et al.*, 1991)



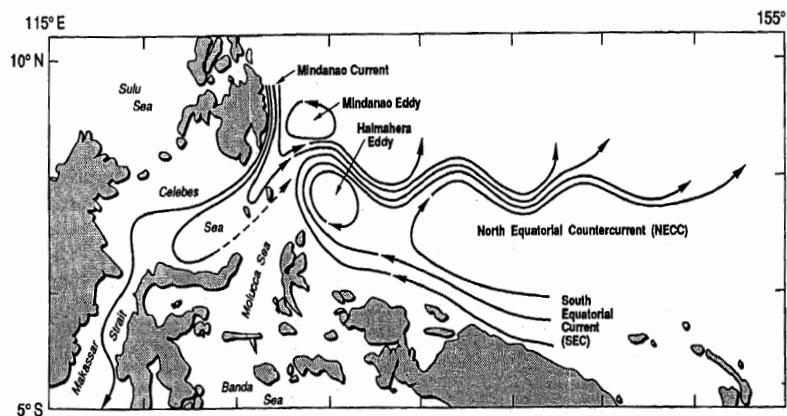
Gambar 2.3 Antisiklonik Halmahera Eddy berdasarkan hasil analisis (a) pelarat (b) ADCP (Lukas *et al.*, 1991)

Pada pelayaran tersebut juga dilakukan transek Hantaran, Suhu dan Jelukan (CTD/conductivity, temperature, depth) sepanjang bujur 126°E - 133°E pada lintang 7°N, 8°N, 10°N dan 12°N untuk melihat distribusi massa air terutama massa air yang dibawa oleh Mindanao Current. Pengambilan transek ini sesuai dengan tujuan penelitian pada WEPOCS III yaitu untuk mengenali properti massa air yang dibawa oleh Arus Mindanao (*Mindanao Current*).

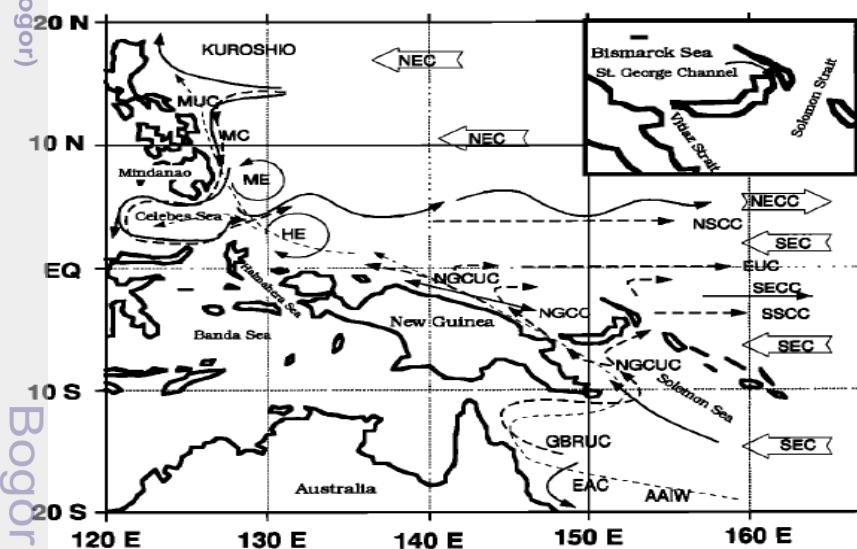
Fine *et al.* (1994) memperlihatkan deskripsi lengkap aliran massa air antara Mindanao dan New Guinea. Menurut mereka bahwa akibat adanya aliran

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

ini massa air Pasifik utara dan massa air Pasifik selatan mencapai wilayah ekuator Pasifik barat kemudian membentuk front properti baru (salinitas), sehingga wilayah ini juga dinamakan dengan persilangan massa air samudera atau “*the water mass crossroad*”. Mereka juga memperbaiki ilustrasi sistem aliran arus utama dalam LLWBC yang sebelumnya telah dilakukan oleh Wyrtki (1961) dan Lukas *et al.* (1991) seperti terlihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.



Gambar 2.4. Sistem arus LLWBC berdasarkan hasil Pelayaran WEPOCS III (Lukas *et al.*, 1991)



Gambar 2.5. Skematik sistem arus antara Mindanao dan New Guinea (Fine *et al.*, 1994). Keterangan: NEC= North Equatorial Current, MC=Mindanao Current, NECC=North Equatorial Counter Current, HE=Halmahera Eddy, SEC=South Equatorial Current, NGCC=New Guinea Coastal Current, NGCUC=New Guinea Coastal Under Current, EUC= Equatorial Counter Current, GBRUC= Great Barrier Under Current, EAC=East Australian Current.

Dengan menggunakan data pada pelayaran *World Circulation Experiment* (WOCE) III pada Januari 1995 dan WOCE IV pada bulan Juni 1999

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

serta *Tropical Ocean Climate Study* (TOCS) pada Juli 1995, Kashino *et al.* (1999) membuat investigasi terhadap variabilitas lautan periode panjang antara Mindanao dan New Guinea. Hal ini didasarkan kenyataan bahwa kebanyakan penelitian yang sudah ada lokasinya terbatas di wilayah ekuator Pasifik barat saja terutama di wilayah Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia (ZEEI) dan Zona Ekonomi Eksklusif Filipina.

Dikatakan oleh Kashino *et al.* (1999) bahwa apa yang telah diterangkan dalam model numerik oleh Masumoto and Yamagata (1991) menghasilkan rekomendasi bahwa untuk mempelajari sistem arus di wilayah ekuator Pasifik barat tidak cukup hanya menjelaskan secara diskritif saja, namun juga harus melihat variabilitas dan mekanisme sirkulasi di ekuatorial Pasifik barat dan perairan Indonesia yang artinya bahwa wilayah perairan Indonesia tidak bisa dipisahkan dalam kajian tersebut.

Berbagai penelitian yang sudah dilakukan pada kenyataannya belum lengkap dan terbatas pada deskripsi ordo nol (*zero-order description*). Apa yang telah terangkan mengenai pola-pola arus oleh Lukas *et al.* (1991) dan Fine *et al.* (1994), membuktikan bahwa variabilitas dan mekanisme yang diturunkan dari hasil model numerik belum cukup untuk menjelaskan struktur Halmahera Eddy secara lengkap. Menurut Kashino *et al.* (1999) diperlukan adanya pengamatan yang terus menerus (*time series*) seperti pengamatan hidrografi guna memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang sirkulasi arus di wilayah ini.

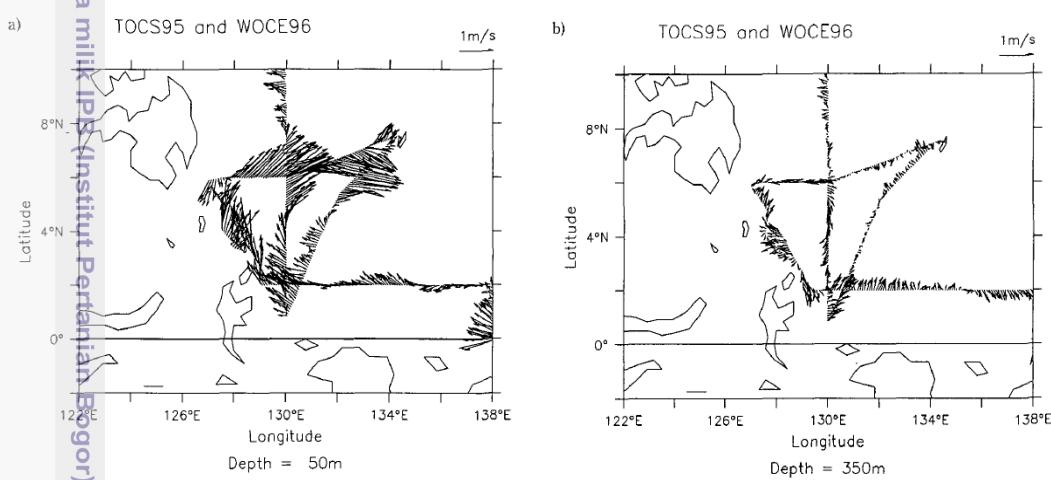
Dengan mengacu pada kenyataan tersebut, Kashino *et al.* (1999) melakukan penambatan (*deployment*) dua stasiun pelampung tambat (*mooring buoy*) antara Pulau Talaud dan Pulau Morotai mulai Februari 1994-Juni 1995. Investigasi ini dilakukan guna melihat variabilitas arus dengan melakukan pengukuran langsung arus dan pengamatan hidrografi antara Mindanao dan New Guinea tepatnya di pintu masuk dimana massa air Pasifik masuk ke aliran Arus Lintas Indonesia/Arlindo (*Indonesian Through Flow*).

Berdasarkan hasil pengamatannya, Kashino *et al.* (1999) menunjukkan bahwa eddy disekitar ASKU (HE dan ME) adalah bergerak aktif, sebagai akibat posisinya berada di front pertemuan massa air Pasifik utara dan massa air Pasifik selatan. Halmahera Eddy terlihat tidak stabil namun aktif bergerak disekitar Laut Filipina paling selatan. Dengan merujuk model pemecahan eddy global dari data klimatologi bulanan yang dikembangkan *Japan Agency of Earth Marine Science and Technology* (JAMSTEC), dikatakan HE dan ME mengalami pertumbuhan dan pelembahan dan bergerak disekitar area dengan periode 40 harian terkait dengan ketidakstabilan front di ASKU. Dengan mentumpangsusunkan hasil rekaman vektor arus data ADCP pada dua pelayaran berbeda TOCS95 dan WOCE96, Kashino *et al.* (1999) memperlihatkan struktur HE lebih jelas dibandingkan hasil yang pernah diterangkan oleh Lukas *et al.* (1991). Kashino *et al.* (1999) juga melihat bahwa HE bergerak ke selatan ketika musim barat laut (*boreal winter*), seiring berkembangnya Mindanao Dome dan bergesernya sumbu ASKU ke selatan. Sumbu ASKU terlihat berada di 6°N saat musim tenggara, namun tidak terlihat di lintang tersebut saat musim barat laut (Gambar 2.6)

Ditambahkan oleh Kashino *et al.* (1999) variabilitas angin lokal berpengaruh terhadap sirkulasi di ekuator Pasifik barat, seperti halnya gelombang atmosfer Madden Julian Oscillation (MJO) dalam periode waktu 40-50 hari. Faktor lain yang mungkin berpengaruh dalam variabilitas aliran massa

air di gerbang masuk Arlindo ini adalah pengaruh gelombang Kelvin sepanjang pantai Mindanao atau gelombang Rossby dari tempat dimana aliran AKU terpisah menjadi dua (*bifurcate*), Arus Mindanao dan Arus Kuroshio (*Kuroshio Current*).

Peran HE dijelaskan oleh Kashino *et al.* (1999) berlaku sebagai agen pengekstrak massa air Arlindo dari sumber massa air Pasifik utara dan massa air Pasifik selatan yang membentuk front di sumber ASKU. Massa air Pasifik utara terlihat mengelilingi HE ketika melewati stasiun mooring tersebut, hal yang menunjukkan adanya percampuran massa air dari kedua belahan bumi ini oleh HE. Ditegaskan bahwa HE menjadi kunci masuknya massa air Pasifik ke perairan Indonesia melalui Laut Maluku sebagai rute timur Arlindo (ITF) dan juga terhadap variabilitasnya.



Gambar 2.6. Vektor arus dari Shipboard ADCP selama Pelayaran TOCS 1995 dan WOCE IV (Kashino *et al.*, 1999)

Apa yang telah dicapai oleh Kashino *et al.* (1999) belum menghasilkan informasi yang lengkap tentang perilaku mekanisme yang terjadi dalam HE dan ME pada kenyataannya belum memuaskan para peneliti. Chu and Fan (2004) membuat model numerik guna mengkaji mekanisme perkembangan dan pelemahan HE akibat tebentur minimnya data hidrografi yang ada. Mereka menghitung variabilitas musiman sirkulasi tiga dimensi dan struktur thermohaline ME dan HE menggunakan metode *P-vektor*. Dari model tersebut dapat diidentifikasi bahwa HE mengalami perkembangan selama Juni-Agustus dan akan melemah pada Desember. Dari model tersebut juga diketahui bahwa kecepatan arus di sisi selatan HE mencapai 0.2 m/s pada Juni dan Juli dan 0.1 m/s pada Februari dan Maret.

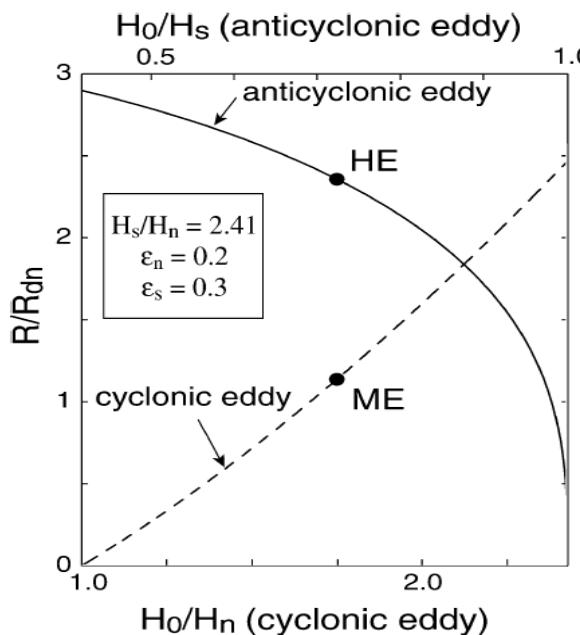
Arruda and Nof (2003) ingin mematahkan pendapat lama tentang alasan terbentuknya HE dan ME di ekuator Pasifik barat. Salah satunya didasarkan intuisi bahwa kedua eddy tersebut terbangun akibat adanya friksi yang menimbulkan pemblokiran massa fluida akibat tertahan geometri dinding daratan pulau-pulau disekitar wilayah tersebut. Kemungkinan lainnya adalah eddy terbentuk sebagai hasil dari adanya ketidakstabilan aliran ke timur ASKU dan ketidakstabilan lain yang menjalar ke barat. Berdasarkan hasil perhitungan

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

analitiknya, mereka berkeyakinan bahwa kedua eddy terbentuk akibat tubrukan non linear aliran massa air dari utara (dalam hal ini Arus Mindanao) dan dari arus dari selatan (dalam hal ini NGCC/NGCUC) pada bidang  $\beta$  (bheta). Untuk itu, model numerik reduksi gravitasi digunakan sebagai validasi hasil analitiknya.

Model dan latar belakang teori ini dikatakan oleh Arruda and Nof (2003) bahwa Arlindo (ITF) adalah kondisi kritis akibat tubrukan dua arus dari arah berlawanan yang menyebabkan terbentuknya kedua eddy tersebut. Dengan mengacu pada penelitiannya sebelumnya, Arruda (2002) menunjukkan bahwa jika tidak ada Arlindo (ITF) maka tidak akan ada tubrukan dan juga tidak akan munculnya kedua eddy ini. Menurutnya, pada basin yang tertutup transport dalam arus tepian benua di Pasifik barat (*Western Boundary Current*) adalah seimbang dan berlawanan terhadap transport pada interiornya (pada kasus ini resultannya menjadi nol).



Gambar 2.7. Ukuran eddy sebagai fungsi rasio ketebalan (Arruda and Nof, 2003).

Keterangan dalam gambar:

$H_0$  = ketebalan lapisan atas pada dinding zonal  $x = \sim$

$H_n$  = ketebalan lapisan atas pada sisi utara NECC

$H_s$  = ketebalan lapisan atas pada sisi selatan NECC

$R$  = radius eddy

$R_{dn}$  = deformasi radius Rossby

$\epsilon_n/\epsilon_s$  = parameter kecil setara dengan  $\beta R d / f_0$

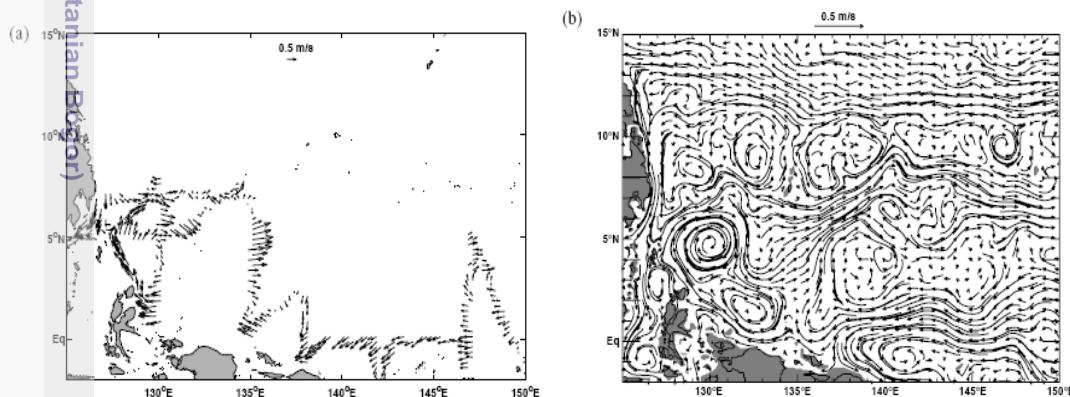
Arruda and Nof (2003) menunjukkan bahwa besarnya fluks momentum kedua aliran dan besarnya perbedaan ketebalan antara utara dan selatan dari ASKU akan menentukan ukuran relatif dari kedua eddy tersebut, sehingga dikatakan ukuran eddy ini sebagai fungsi dari ketebalan eddy sendiri. Hasil

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

model analitiknya, diperoleh skema hubungan antara kedua eddy ini seperti pada Gambar 2.7.

Dijelaskan secara lengkap dari gambar diatas bahwa ukuran kedua eddy akan mencapai nol ketika amplitude ( $H_0/H_n=1$  dan  $H_0/H_s = 1$ ). Sebagai catatan secara rata-rata ukuran Halmahera Eddy sekitar dua kali ukuran Mindanao Eddy, sebagai akibat dari perbedaan ketidaklinearan. Jika  $H_0/H_n > 2$ , besar ukuran HE membuat ukuran ME mengecil dan sebaliknya. Hal yang sama, jika NGCC ( $H_0/H_s \rightarrow 1$ ) berarti tidak ada HE tapi ME besar. Lemahnya MC ( $H_0/H_n \rightarrow 1$ ) berimplikasi ME kecil dan HE besar.

Heron *et al.* (2006) membuat babak baru penelitian tentang sistem aliran massa air di wilayah *Low Latitude Western Boundary Current* (LLWBC) dengan menggunakan perpaduan antara data hidrografi *in-situ* yang diperoleh dari the *Joint Archive for Shipboard ADCP* (JASADCP), data TRITON ( $8^{\circ}\text{N}$ ,  $137^{\circ}\text{E}$ ) dan TRITON ( $5^{\circ}\text{N}$ ,  $137^{\circ}\text{E}$ ) serta produk turunan altimetri berupa arus permukaan dari *The Ocean Surface Current Analysis-Real time* (OSCAR), juga menggunakan model numerik dari *Naval Research Laboratory Layered Ocean Model* (NLOM) akibat keterbatasan resolusi spasial dan temporal data oseanografi (Gambar 2.8). Penelitiannya ditujukan untuk investigasi karakteristik musiman terhadap sirkulasi permukaan lautan disekitar Palau, sehingga tidak banyak membahas secara khusus tentang HE.



Gambar 2.8. Vektor arus utama di ekuator Pasifik barat (a) Data JAS ADCP (b) Model NLOM (Heron *et al.*, 2006)

Hasil investigasi dari model NLOM menunjukkan bahwa HE sangat dipengaruhi oleh influsus NGCC, intensif dan meningkat ukurannya ketika bergerak ke utara selama periode Mei hingga September. Aliran massa air dari HE mendominasi di barat daya Palau selama periode tersebut. Halmahera Eddy mulai menurun kekuatannya (*diminishment*) Oktober dan Nopember, periode yang sama ketika ME mulai menguat. Halmahera Eddy kemudian melemah secara cepat pada Desember dengan seiring dengan pembalikan arah arus NGCC akibat perubahan sistem angin muson. Siklus perkembangan HE terkait dengan pergerakan zonal dari ekor sumbu dari ASKU.

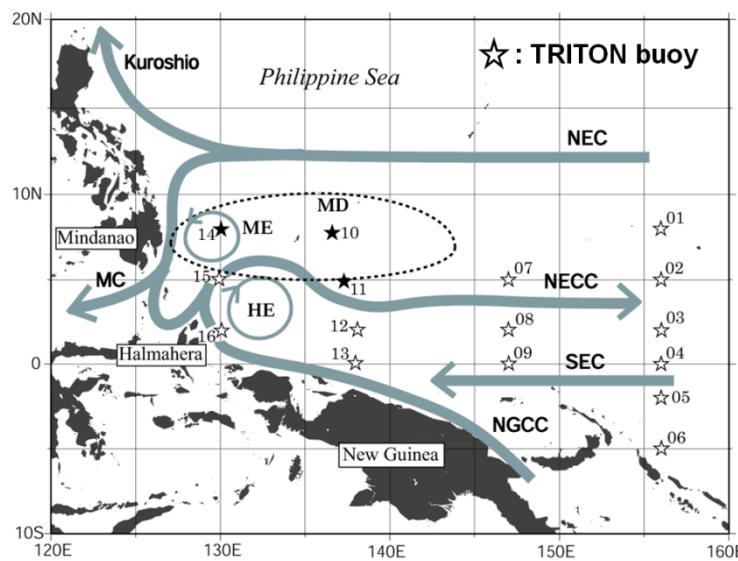
Kajian terbaru tentang HE dan ME dilakukan oleh Kashino *et al.* (2013) dengan menggunakan seri data pelayaran yang pernah dilaksanakan oleh JAMSTEC yaitu Kapal Riset (KR) Kaiyo, KR Mirai dan KR Yokosuka.

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

Berdasarkan 43 pelayaran tersebut, 11 diantaranya digunakan dalam investigasi ini yang meliputi akuisisi data pada transek sepanjang bujur  $130^{\circ}\text{E}$  dan sepanjang lintang  $7^{\circ}\text{N}$ . Investigasi meliputi berbagai periode kondisi waktu yang terjadi di ekuator Pasifik, seperti pada pelayaran KR Mirai MR06-05 leg. 1 (Desember 2006- Januari 2007) dan pelayaran KR Mirai MR07-07 Leg. 1 (Desember 2007- Januari 2008) dilaksanakan pada musim yang sama namun dibawah pengaruh kondisi fase hangat (El Niño) dan fase dingin (La Niña). Sedangkan untuk mewakili musim yang berbeda mereka menggunakan data pelayaran KR Mirai MR11-06 (Agustus-September 2011) untuk representasi musim tenggara dan KR Mirai MR13-01 (Februari – Maret 2013) untuk musim barat laut. Kashino et.al.(2013) juga telah memperbaiki skematik arus-arus yang ada di LLWBC (Gambar 2.9).



Gambar 2.9. Ilustrasi Low Latitude Western Boundary Currents (LLWBCs) di ekuator Pasifik barat (Kashino *et al.*, 2013)

Hasil penting dari investigasi dari pelayaran tersebut adalah fenomena tentang HE dan ME yang belum pernah dijelaskan di waktu lampau. Penemuan pertamanya adalah bahwa ME hanya merupakan resirkulasi dari Arus Mindanao ke ASKU dekat permukaan dibandingkan sebagai eddy tetap yang semu (quasi-stationary eddy), bahkan disebutkan bahwa dalam hubungannya dengan Arlindo, pembelokan Arus Mindanao di Laut Sulawesi/Laut Maluku lebih penting dibandingkan ME. Sedangkan HE terlihat mempunyai struktur yang jelas, membentuk mangkuk terkait dengan massa air hangat pada HE yang terlihat dari potongan melintang data CTD sepanjang  $130^{\circ}\text{E}$ . Struktur antisikonik arusnya mencapai kedalaman 800 m selama pelayaran KR Mirai MR11-06 (Agustus-September 2011). Struktur HE juga terlihat ke barat laut dengan meningkatnya kedalaman dan mampu mencapai  $7^{\circ}\text{N}$  namun dengan aliran yang lemah.

Kashino *et al.* (2013) juga memperlihatkan peranan HE sebagai agen pencampur massa air dari Pasifik utara dan massa air Pasifik selatan yang dilihat dari diagram suhu-salinitas (TS-Diagram) pada data TRITON 13 sebagai

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

representasi massa air Pasifik selatan, TRITON 14 merepresentasi massa air Pasifik utara dan TRITON 16 merepresentasi percampuran massa air keduanya. Ditambahkan oleh Kashino *et al.* (2013) akibat HE berada di pintu masuk aliran Arlindo maka percampuran massa air yang terbentuk menjadi sumber massa air Arlindo, sebagai rute timur jalur masuk Arlindo melalui Laut Halmahera.

Variabilitas antar tahunan dijelaskan bahwa pusat HE berada kurang lebih di sekitar  $3^{\circ}\text{N}$ - $131^{\circ}\text{E}$  selama fase El Niño 2006/2007 (pelayaran KR Mirai MR06-05) dan bergeser ke utara disekitar  $5^{\circ}\text{N}$  $129^{\circ}\text{E}$  saat fase La Niña 2007/2008 (pelayaran KR Mirai MR07-07) pada kedalaman 150 meter. Mereka meyakini bahwa pergeseran HE terkait beberapa mekanisme seperti pada sistem AKU-Arus Kuroshio-Arus Mindanao.

Dalam skala musiman dijelaskan bahwa pusat pusaran HE berada disekitar  $5^{\circ}\text{N}$  $129^{\circ}\text{E}$  selama musim tenggara (KR Mirai MR11-06) dan bergeser ke selatan di  $3^{\circ}\text{N}$  $131^{\circ}\text{E}$  selama musim barat laut (KR Mirai MR13-01). Ditekankan juga bahwa mekanisme pergeseran musiman barat laut – tenggara HE tidak mungkin sama seperti pergeseran dari akibat perubahan antar-tahunan seperti halnya akibat pengaruh *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) sebab perubahan angin lokal terkait angin muson cukup besar di wilayah ini, sehingga peranan angin lokal tidak bisa diabaikan.

Berbagai kajian tentang HE telah dilakukan banyak peneliti mulai dengan peralatan hidrografi sederhana sampai dengan teknologi modern peralatan survei lautan serta penggunaan citra satelit dalam identifikasi struktur HE. Kashino *et al.* (2013) telah menjelaskan secara lengkap struktur eddy dan pola pergerakan eddy terhadap variabilitas waktunya. Namun kemajuan yang sudah dicapai ini masih mempunyai keterbatasan baik dalam resolusi spasial maupun resolusi temporalnya.

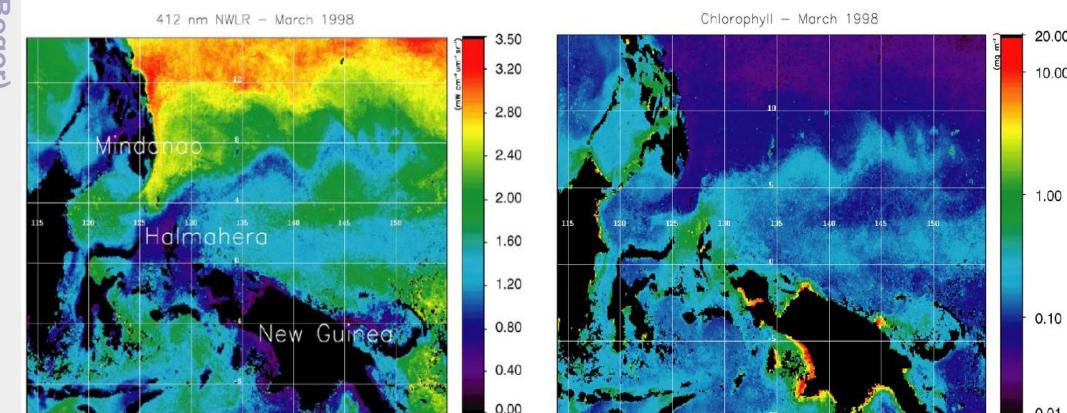
Dalam skala spasial, Kashino *et al.* (2013) hanya menjelaskan kedudukan Halmahera Eddy pada saat event waktu tertentu saja seperti ketika fase dingin (La Niña) dan fase hangat (El Niño) atau kedudukan pusat HE saat musim tenggara atau musim barat laut saja tanpa menjelaskan kedudukan HE diluar waktu tersebut. Tahapan pergerakan HE yang mengalami pergeseran dengan sumbu barat laut – tenggara juga tidak dapat digambarkan secara jelas, padahal telah dikatakan oleh Kashino *et al.* (2013) sendiri bahwa pola pergerakannya dipengaruhi oleh sistem muson dan ENSO.

Perkembangan teknologi satelit observasi kelautan telah membawa banyak perubahan dalam memenuhi kebutuhan data time series dalam penelitian lautan dengan resolusi spasial yang mencukupi. Seperti misalnya, sistem aliran massa permukaan di suatu wilayah perairan diidentifikasi melalui pendekatan geostropik permukaan berdasarkan perbedaan tinggi muka lautnya pada data altimetri dan produk turunannya seperti model arus permukaan pada *Ocean Surface Current Analysis Real-time* (OSCAR).

Produk citra satelit lain yang digunakan dalam investigasi eddy di lautan adalah klorofil permukaan, di banyak tempat digunakan untuk mengenali keberadaan struktur permukaan eddy, sifat eddy (permanen, semipermanen atau hanya transient), perkembangan dan pelemahan serta pola pergerakannya. Untuk meningkatkan presisi dan penjelasan dinamika fisik dan biologinya, beberapa peneliti telah menggabungkan kedua produk citra ini untuk penelitian tentang eddy di berbagai perairan tepi barat samudera.

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



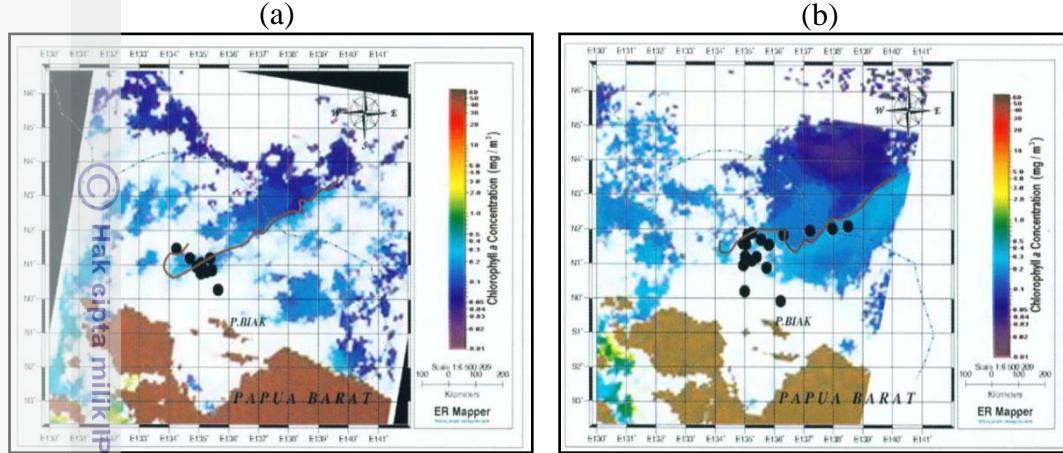
Gambar 2.10. a) Water Leaving Radiance 412 nm b) Sebaran klorofil-a permukaan citra Sea WiFS pada Maret 1998 (Christian *et al.*, 2004)

Penelitian lainnya dilakukan oleh Siregar dan Waas (2006) yang mengkaji wilayah potensial perikanan berdasarkan data tangkapan cakalang dan madidihang di perairan utara Papua menggunakan satelit multisensor (NOAA/AVHRR, SeaWiFS dan TOPEX/Poseidon) (Gambar 2.11). Mereka menyimpulkan bahwa wilayah front seperti ditunjukkan dalam gabungan citra satelit tersebut, yang terbentuk oleh massa air yang dibawa AKS (dalam hal ini mungkin yang dimaksud NGCC) merupakan wilayah perikanan laut potensial ditunjukkan dengan banyaknya kapal yang berhasil menangkap ikan dengan hasil yang paling banyak. Siregar and Waas (2006) juga menyinggung tentang

Penelitian tentang kondisi lingkungan biologi di perairan dalam sistem LLWBC dilakukan oleh Christian *et al.* (2004). Dengan menggunakan citra klorofil-a permukaan pada data Sea WiFS, mereka melihat dengan jelas sirkulasi arus di wilayah tropis Pasifik barat selama blooming phytoplankton ditengah lingkungan sangat oligotropik saat even El Niño 1997/1998 (Gambar 2.10). Analisis citra Sea WiFS pada *Normalized Water Leaving Radiance*, gelombang 412 nm (Lwn(412)) terlihat jelas jejak AKU (dengan Lwn tinggi) yang terbagi dua di pantai Filipina pada 12°N 127°E, dan di Arus Mindanao (dengan Lwn tinggi) sedangkan di wilayah retrofleksi ASKU terlihat nilai Lwn rendah terutama antara Mindanao dan Halmahera. *Mindanao Dome* juga dapat diperkirakan posisi dan besarnya dari aliran arus yang terbentuk di selatannya. Dalam analisisnya Christian *et al.* (2004) menggunakan model numerik untuk melihat mekanisme bawah permukaannya.

Dikatakan oleh Christian *et al.* (2004) proses-proses yang berkontribusi dalam pengkayaan klorofil permukaan di sumber massa air ASKU antara lain *up welling* lokal berkaitan dengan arus *meander*, naiknya termoklin terkait variasi *wind stress curl* dan akibat gaya penggerak jauh oleh gelombang planetary, hadirnya massa air kaya nutrien dari sisi selatan ASKU serta aliran nutrient dan konsntrasi phytoplankton tinggi yang datang dari wilayah baratnya dimana *up welling* terjadi akibat perubahan topografi dasar lautannya. Namun sangat disayangkan, penelitian yang dilakukan Christian *et al.* (2004) hanya terfokus pada pembahasan peran ASKU terkait kejadian blooming phytoplankton, sedangkan aspek perikanannya tidak dijelaskan sama sekali.

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.



Gambar 2.11. Front Klorofil-a Permukaan dari Citra Sea WiFS dan Posisi Kapal Penangkap Ikan Skipjack dan YFT a) 2 September 2003 b) 11 September 2003 (Siregar and Waas, 2006).

Lehodey (2006) dengan menggunakan model SEPODYM menjelaskan pola ruaya cakalang di wilayah front lautan yang dikenal dengan *cold tongue* antara Warm Pool (WP) dan wilayah *up welling* ekuator Pasifik dengan menggunakan data ketersediaan pakan tuna dan habitat ekologi tuna tersebut. Wilayah pertemuan massa air yang berbeda ini dikenal sebagai front perairan disebutkan sangat disukai oleh cakalang, wilayah front ini juga berpindah dalam arah zonal terkait dengan pergeserakan WP dengan *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dan karena wilayah kajiannya di wilayah timur WP, maka tidak ada penjelasan tentang peran HE dalam penelitiannya tersebut.

Perairan antara Mindanao-Papua New Guinea (PNG) merupakan bagian dari wilayah WP yang selama ini selain dikenal dengan suhu permukaan lautnya terhangat di dunia ( $> 29^{\circ}\text{C}$ ) juga merupakan perairan yang miskin akan produktivitas primernya (*oligotropik*) dimana konsentrasi klorofil-a permukaannya  $< 0.1 \text{ mg/m}^3$  (Messie and Radenac, 2006). Sprintall and Tomczak (1992) mengatakan perairan WP mempunyai salinitas pada lapisan permukaan yang rendah (umumnya  $< 33.5 \text{ PSU}$ ) sebagai akibat presipitasi yang lebih besar dibanding evorasinya. Akibat kuatnya *haloklin* di atas lapisan termoklin terbentuk lapisan gendala (*barrier layer*) yang menghalangi massa air lapisan bawahnya melakukan intrusi ke lapisan atasnya yang berakibat kandungan unsur nitrat di lapisan permukaannya rendah. Lapisan termoklin umumnya lebih dalam berada dibawah kedalaman 100 m.

## Perikanan Cakalang di Sekitar Wilayah Kajian

### Kondisi Perikanan di Wilayah Samudera Pasifik Barat dan Pasifik Tengah

Wilayah pusaran arus Halmahera (HE) berada di perairan ekuator Pasifik barat paling barat. Sebagai bagian perairan yang mempunyai suhu terhangat di dunia, perairan ini juga dikenal dengan produktivitas primer rendah (*oligotropik*), dikarakteristikkan dengan salinitas permukaan yang lebih rendah, konsentrasi nitrat rendah dan lapisan termoklin yang dalam (Longhurst, 1995). Kondisi ini sangat kontras dengan produktivitas perikanannya (Messie and Radenac, 2006), dimana perairan yang dikenal dengan sebutan WP ini mampu menyokong lebih dari 40% produksi tuna dunia yang sebagian besar didominasi spesies tuna yang hidup di perairan permukaan dengan suhu hangat seperti cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dan madidihang (*Thunnus albacares*) (Lehodey, 2006).

Perairan bagian barat dan tengah Pasifik (*Western Central Pacific Ocean/WCPO*) merupakan wilayah yang memiliki arti penting dalam aspek ekonomi, budaya dan keanekaragaman hayatinya dan berkontribusi besar baik dalam skala regional maupun internasional. Perikanan tuna di wilayah ini meliputi hampir separuh perikanan dunia, menjadi ekonomi andalan bagi negara-negara kepulauan dengan wilayah teritorial perairannya. Total tangkapan spesies tuna utama untuk cakalang (*Katsuwonus pelamis*), madidihang (*Thunnus albacares*), tuna mata besar (*T. obesus*) dan Albacore (*T. Alalunga*) mencapai sekitar 2 juta ton per tahun (William and Terawasi, 2008).

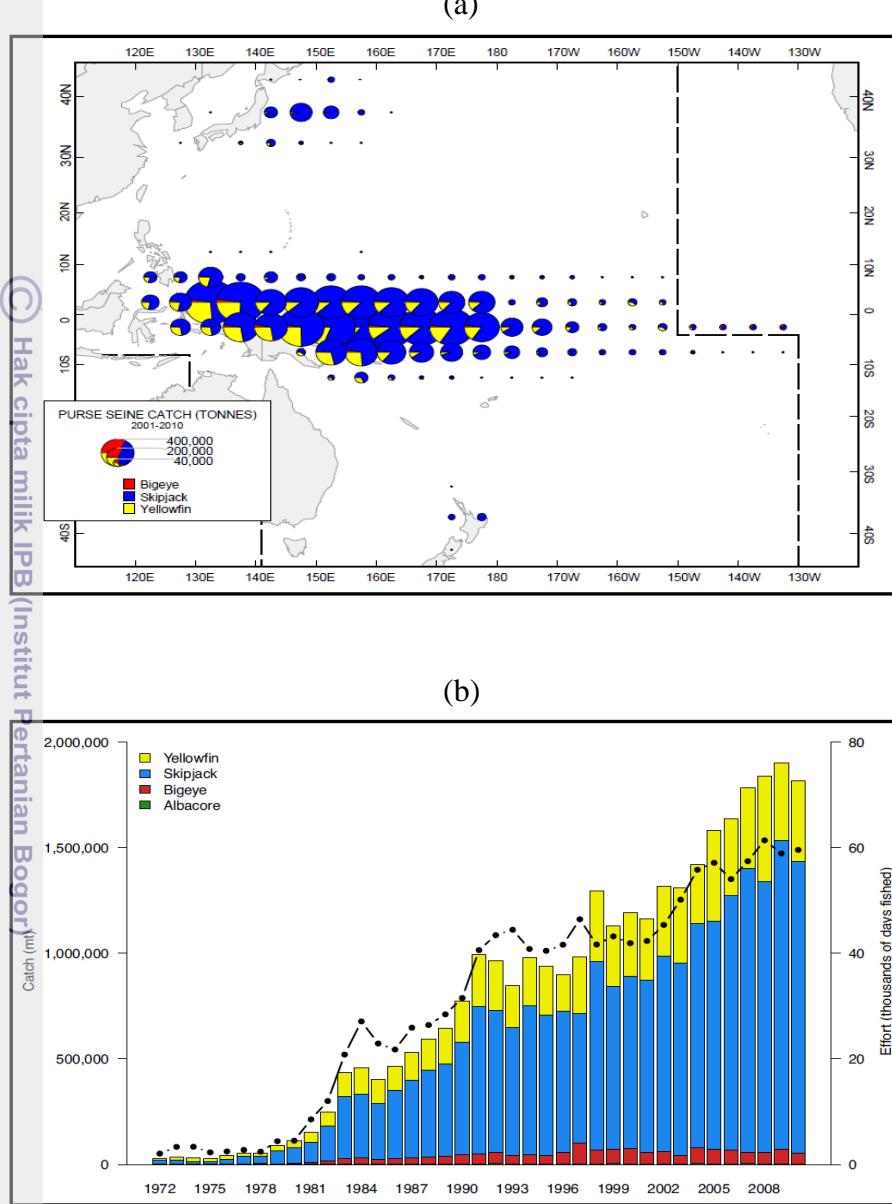
Tuna merupakan spesies ikan dengan kemampuan migrasi yang luas, mulai dari ekuator hingga lintang  $40^{\circ}$ , namun penangkapan terbesar terjadi di perairan ekuator antara  $10^{\circ}\text{N}$  dan  $10^{\circ}\text{S}$  (Nicol *et al.*, 2009). Penangkapan tuna juga melibatkan banyak negara termasuk negar-negara diluar wilayah WCPO (*distant water fishing nations*). Oleh karena itu diperlukan kerjasama antar negara yang berkepentingan dalam penanganan dan pengelolaan sumberdaya alam yang baik dari munculnya potensi konflik kepentingan guna tetap melestarikan nilai ekonomi, budaya dan keanekaragaman hayatinya (Williams & Reid, 2006; Allain *et al.*, 2007).

Selama lebih dari tujuh tahun terakhir terdapat kecenderungan kenaikan jumlah tangkapan tuna sebagai akibat meningkatnya penangkapan oleh armada kapal jenis purse-seine (Gambar 2.12). Pada tahun 2010, diperkirakan 2.421.113 metrik ton produksi tuna dihasilkan, lebih rendah 71.673 metrik ton dari angka tertinggi pada tahun 2009 dengan produksi 2.492.786 metrik ton. Pada tahun yang sama produksi perikanan dari armada jenis purse-seine diperkirakan 1.818.255 metrik ton atau sekitar 75% dari total keseluruhan penangkapan, dibandingkan 3 armada perikanan lainnya seperti pole and line yang menghasilkan sekitar 171.597 metrik ton (7%), long-line sekitar 248.589 metrik ton (10%) dan sisanya sebesar 7% berasal dari alat tangkap lain yang kebanyakan beroperasi di Indonesia timur dan Filipina. Secara keseluruhan, jumlah tangkapan tuna yang dihasilkan di wilayah WCPO adalah 2.421.113 metrik ton pada tahun 2010, mewakili sekitar 83% total penangkapan di seluruh Pasifik dan 60% total tangkapan dunia yang mencapai 4.017.600 metrik ton pada tahun 2010 (Harley *et al.*, 2010).

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 2.12 Diskripsi tangkapan empat spesies tuna di Pasifik Barat dan Tengah (WCPO) a) Penyebaran penangkapan tuna berdasarkan spesies tahun 2009, b) deret waktu total tangkapan spesies tuna (Lehodey *et al.*, 2011).

Gambaran perikanan tuna di utara Papua dijelaskan oleh Nicol *et al.* (2009) yang menyebutkan bahwa perairan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Papua New Guinea merupakan wilayah yang produksi perikanan tunanya mencapai peningkatan sangat ekstrim pada akhir-akhir ini. Selama sepuluh tahun terakhir, produksi perikanan tunanya mencapai sekitar 250.000 ton per tahun dengan puncak produksi pada tahun 2007 dengan jumlah produksi sekitar 466.000 ton. Perikanan purse-seine yang beroperasi di perairan PNG merupakan terbesar di wilayah WCPO, mewakili sekitar 20% purse-seine yang beroperasi di

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

wilayah WCPO. Perikana purse-seine di PNG sangat tergantung pada obyek terapung seperti gelondongan kayu, rumpon (baik sifat tetap maupun bergerak).

Secara umum, tipe purse-seine yang biasa digunakan di wilayah ini mempunyai dua cara pengoperasionalnya, yaitu purse seine dengan teknik jaring untuk ruaya cakalang dan madidihang yang mempunyai ukuran tubuh medium serta berasosiasi dengan obyek terapung seperti pada gelondongan kayu, rumpon tetap (*anchored Fish Aggregation Device/FADs*) dan rumpon hanyut (*drifting FADs*) serta teknik jaring untuk ruaya ikan tuna yang bergerak bebas atau tidak tergantung adanya obyek/benda mengambang di permukaan seperti pada teknik *drift gillnet*. Sebagian besar penangkapan yang dilakukan dalam industri skala kecil menggunakan berbagai variasi metode penangkapan seperti dilakukan kebanyakan nelayan yang beroperasi di perairan yang menghubungkan Filipina dan Indonesia.

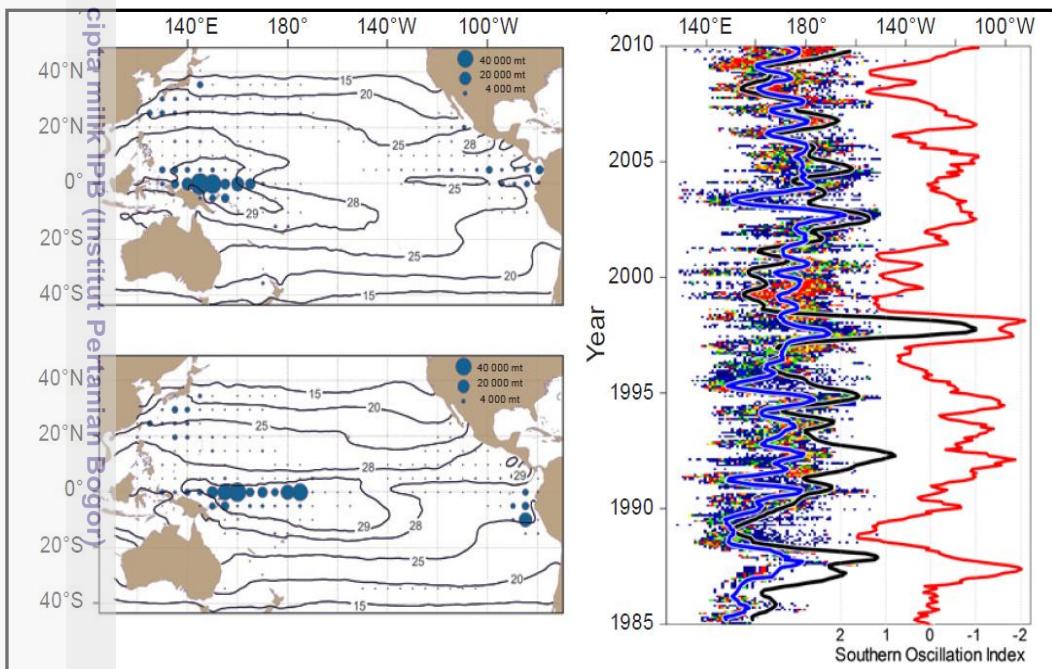
Pengelolaan sumberdaya tuna perikanan di wilayah Samudera Pasifik barat dan Samudera Pasifik tengah (*Western Central Pacific Ocean*) dibentuk oleh institusi *Western and Central Pacific Fisheries Commission* (WCPFC) yang didukung *Forum Fisheries Agency* (FFA), the Parties to the Nauru Agreement (PNA) dan anggota-anggota dari Te Vaka Moana Arrangement (Lehodey *et al.*, 2007).

### Variabilitas Iklim dan Pengaruhnya Terhadap Dinamika Penangkapan Cakalang

Wilayah Pasifik barat merupakan subyek muson musiman yang berasosiasi dengan penghangatan massa daratan Asia saat musim panas (di wilayah kajian berlaku musim tenggara) dan pendinginan saat musim dingin (di wilayah kajian berlaku musim barat laut). Pengaruh utama adanya muson ini adalah dapat melemahkan rejim angin pasat (*trade wind*) sepanjang ekuator dan mengantarkan pengaruh kuatnya rejim musiman di wilayah ini. Angin pasat tenggara menguat di sekitar ekuator dan di bumi belahan selatan saat musim dingin di Australia (Austral Winter) pada sekitar Mei – Nopember dan kemudian melamah atau digantikan dengan muson barat laut saat daratan Australia mengalami musim panas (Austral Summer). Faktor muson membawa pengaruh terhadap penyebaran dan intensitas zona konvergensi atmosfir yang mengontrol curah hujan di wilayah ini (Briand, 2007).

Arus samudera di Pasifik barat dan tengah utamanya digerakkan oleh angin pasat dan angin muson barat laut. Sistem arus utama Samudera Pasifik terdiri dari dua aliran utama yang mengalir ke barat yang disebut dengan AKS (*South Equatorial Current*) dan AKU (*North Equatorial Current*). Dalam perjalannya, suhu permukaan dari arus tersebut meningkat hingga terbentuk lapisan tebal massa air hangat di permukaan ( $>29^{\circ}\text{C}$ ) di sisi barat basin Pasifik yang dikenal dengan nama WP. Sementara di wilayah Pasifik timur dan tengah, dalam aliran AKS dan AKU, rotasi bumi menciptakan wilayah divergensi di ekuator yang menyebabkan lapisan termoklin mendangkal. Wilayah ini kaya akan nutrien dan meningkatkan produktivitas primer di permukaan samudera dan dikenal dengan nama *Pacific Equatorial Divergence* (PEQD) (Lehodey *et al.*, 2011).

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 2.13 Pengaruh ENSO terhadap distribusi penangkapan Cakalang dan pergerakan di Pasifik barat dan Pasifik tengah: a) selama episode La Niña 1998 (kiri atas) dan episode El Niño 1992 (kiri bawah), b) Rata-rata bulanan CPUE Cakalang dari armada purse-seine di Pasifik barat. Garis biru adalah titik berat CPUE, garis hitam adalah isolerm 29C dan garis merah adalah Indeks SOI (South Oscillation Index) (Lehodey *et al.*,2011)

Relaksasi WP dari Pasifik barat ke Pasifik tengah dan sebaliknya membawa ketertarikan (preferensi) cakalang untuk bermigrasi ke timur selama episode El Niño yang menghasilkan jumlah tangkapan lebih besar di wilayah antara WP dan PEQD. Wilayah pempungan (konvergensi) antara kedua massa air berbeda ini terlihat membangkitkan agregasi *macrozooplankton* dan micronekton yang merupakan pakan dari cakalang. Pergerakan migrasi cakalang terkait dengan kejadian *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) yang terjadi antara Pasifik barat dan Pasifik tengah. Selama kejadian El Niño, jumlah tangkapan tuna meningkat oleh kapal-kapal purse-seine di negara-negara kepulauan di Pasifik tengah seperti Kiribati. Sebaliknya selama kejadian La Niña, terjadi

pendangkalan termoklin di Pasifik barat, tekanan angin yang kuat dibanding biasanya, memicu meningkatnya produktivitas primer lautan di ekuatorial Pasifik barat yang menghasilkan jumlah tangkapan cakalang di Solomon dan utara Papua New Guinea meningkat beberapa bulan pasca matangnya episode El Niño seperti terlihat pada Gambar 2.13 (Lehodey *et al.*, 2011).

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

### 3. PENDEKATAN STUDI

#### Problematik Fisik Halmahera Eddy

Arruda and Noff (2003) menyebutkan bahwa terbentuknya antisiklonik Halmahera Eddy dan siklonik Mindanao Eddy adalah akibat dari tubukan non-linear antar aliran pada *Western Boundary Currents* (WBC) yaitu antara Arus Mindanao (*Mindanao Current/MC*) dari Belahan Bumi Utara (BBU) dan Arus Pantai Utara Papua (*New Guinea Coastal Current/NGCC* dan *New Guinea Coastal Under Current/NGCUC*) dari Belahan Bumi Selatan (BBS). Halmahera Eddy dan Mindanao Eddy ini harus ada guna menyeimbangkan fluks momentum non-linear yang diakibatkan akibat tubukan kedua arus utama tersebut. Sedangkan Kashino (komunikasi pribadi, 2011) menjelaskan bahwa kedua eddy (HE dan ME) ini terbentuk karena adanya kebocoran aliran, dimana sebagian aliran dari Arus Mindanao ini masuk ke Laut Sulawesi yang sebagian mengisi massa air Arlindo (*Indonesian Through Flow*) dan sebagian lagi berbelok ke timur selanjutnya bergabung bersama massa air dari Arus Mindanao yang mengalir langsung dari utaranya dan massa air NGCC/NGCUC dari selatan membentuk massa air ASKU. Jika tidak ada kebocoran (dalam hal ini tidak ada Arlindo), maka tidak akan ada kedua eddy (HE dan ME) ini dan hanya akan terbentuk pertemuan arus secara lineardimana poros pertemuan arusnya akan bergerak secara meridional tergantung pada kekuatan kedua aliran arus utama dalam WBC tersebut.

Penelitian yang menyangkut struktur fisik HE telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti diungkap Wyrtki (1961), Lukas *et al.* (1991), Fine *et al.* (1994) dan Kashino *et al.* (1999). Investigasi meliputi struktur dan pergeseran HE berdasarkan data hidrografi pelayaran dan beberapa pelampung tambat disekitar wilayah pergerakan HE. Penjelasan yang belum dapat diterangkan dari penelitian *quasi-synoptic* ini juga telah dilengkapi melalui model numerik dan analistik seperti dilakukan oleh Arruda and Nof (2003), Chu and Fan (2004) dan Heron *et al.* (2004). Namun dalam penelitian yang telah disebutkan, penjelasan HE tidak mendapatkan porsi yang cukup, karena penelitian lebih banyak membahas tentang sirkulasi arus dan dinamika ekuator Pasifik barat terkait sistem arus *Low Latitude Boundary Currents* (LLWBCs), sehingga informasi tentang sifat-sifat fisik HE sendiri belum banyak terungkap.

Penelitian yang benar-benar membahas tentang HE baru dimulai oleh Kashino *et al.* (2013). Dengan menggunakan data hidrografi pada pelayaran *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE) dan pelayaran *Tropical Ocean Climate Study* (TOCS) yang telah dilakukan oleh JAMSTEC, mereka menguraikan cukup lengkap diskripsi struktur horizontal dan vertikal HE serta perannya dalam mengatur komposisi massa air Arlindo di gerbang timur. Perkembangan dan pelemahan terkait pengaruh variasi skala waktu juga telah dijelaskan baik dalam skala waktu dalam musiman (*intra-seasonal*), musiman (*seasonal*) maupun antar-tahunan (*inter-annual*).

Namun pada kenyataannya penelitian yang telah dilakukan tersebut, juga belum menjelaskan secara lengkap tentang HE baik dalam skala spasial maupun temporal. Sumber data yang dipakai terbatas diperoleh hanya pada saat misi pelayaran dilakukan saja. Dengan demikian status HE juga tidak dapat dijelaskan dalam satu siklus secara lengkap. Berbagai penelitian telah banyak dilakukan untuk mengenali karakteristik eddy ataupun *ring* yang umum

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

terbentuk di sistem arus tepi barat samudera (Goni, 1997; Field, 2005; Veldhoven, 2005; Kai and Marsac, 2010). Mereka melakukan identifikasi eddy ataupun ring yang terbentuk melalui pendekatan citra satelit tunggal maupun multisensor dan juga dilengkapi data hidrografi untuk melihat struktur bawah permukaannya, sehingga karakter eddy dapat dikenali secara lengkap.

Terkait dengan penelitian HE, metode tersebut dapat diterapkan meskipun salah satu parameternya seperti suhu permukaan laut untuk wilayah perairan kolam hangat (*Warm Pool/WP*) menemui banyak kesulitan, karena sifat lingkungan permukaan perairan yang umumnya sangat hangat ( $> 29^{\circ}\text{C}$ ) menjadikan karakter fisik permukaan HE lebih sulit untuk dikenali dari nilai kontras suhunya. Kondisi ini tentu sangat berbeda jika identifikasi dilakukan pada lingkungan perairan di lintang pertengahan, dimana eddy antisklonik lebih jelas dan mudah dikenali dari nilai kontras suhu permukaan lautnya.

Pengamatan HE dengan menggunakan citra altimeter memiliki beberapa keterbatasan meskipun rekaman data dapat diperoleh secara sinoptik. Perairan ekuator Pasifik barat memiliki sistem aliran massa air yang kompleks dan rumit (Fine *et al.* (1994); Kashino *et al.* (1998)). Karakter fisik permukaan antisklonik eddy pada HE dimana paras muka lautnya yang lebih tinggi dibanding lingkungan sekitarnya terganggu oleh fenomena lautan lain yang lebih kuat dan dominan seperti gelombang Rossby, gelombang Kelvin dan gelombang pantulannya.

Dua lingkungan yang sangat berbeda di sekitar pusaran arus Halmahera, dimana perairan dengan konsentrasi klorofil tinggi di lingkungan dekat daratan sekitarnya serta Laut Maluku yang mempunyai intensitas *up welling* tinggi dengan lingkungan oseanik yang *oligotropik*, membuat citra klorofil permukaan pada Aqua MODIS dapat mengenali bentuk pusaran HE dengan baik. Dengan demikian pengamatan karakteristik permukaan HE seperti melalui rona klorofil-a permukaan yang dibentuknya dapat lebih mudah diidentifikasi. Melalui delineasi pada tepi sabuk rona yang terbentuk dapat diketahui bentuk pusaran eddy, panjang diameter HE, tipe sebaran klorofil-a permukaannya serta konsentrasi klorofil-a permukaan di bagian dalam pusarannya.

Pengamatan rona klorofil-a permukaan ini berlangsung selama hampir satu dasawarsa, sehingga diperoleh data statistik yang kemudian dijadikan sebagai data deret waktu. Melalui analisis data deret waktu (*time series analysis*) variabilitas spasial dan temporal HE serta keterkaitannya dengan fenomena lainnya dapat dihitung. Seperti halnya keterkaitan variabilitas HE terhadap respon produktivitas cakalang yang hingga saat ini masih belum mendapat informasi yang jelas, padahal produksi tuna cakalang yang dihasilkan dari perairan ini cukup tinggi. Ekosistem yang oligotropik yang sering dikaitkan dengan WP serta kompleksnya wilayah ini baik dari aspek biologi maupun dinamika fisiknya menjadi motivasi untuk melakukan penelitian ini. Peran eddy telah lama diketahui menjadi sumber utama variabilitas dalam proses biologi dan biogeokimia di lautan terbuka (Siegel *et al.*, 2008).

Beberapa pertanyaan yang belum dijelaskan dalam penelitian terdahulu terkait dengan penelitian HE, diharapkan mampu memberikan penjelasan dan informasi terbaru baru yang dihasilkan dari penelitian ini. Pertanyaan tersebut antara lain:

- Bagaimanakah karakteristik HE dapat diidentifikasi dari citra klorofil-a permukaan satelit Aqua MODIS?

- b. Bagaimakah perkembangan dan pergeseran HE dilihat berdasarkan skala waktu dan ruang dengan menggunakan data deret waktu hasil identifikasi dari citra klorofil-a permukaan tersebut?
- c. Bagaimana hubungan antara pergeseran HE terhadap respon produktivitas cakalang di wilayah sekitar pusaran arus HE?

## Variabilitas Halmahera Eddy

### Variabilitas Temporal

Variabilitas Halmahera Eddy sangat dipengaruhi oleh berbagai variasi skala waktu, meliputi variasi dalam musiman (*intra-seasonal*) yang berasal dari pengaruh *intrinsic* eddy sendiri atau *Madden Julian Oscillation* (MJO) pada osilasi sekitar 40 harian, variasi dalam tahunan (*seasonal* dan *semi-annual*) serta variasi antar-tahunan (*inter-annual*) seperti halnya akibat pengaruh ENSO. (Kashino *et al.*, 1999; Kashino *et al.*, 2013).

Menurut Wyrtki (1962) dan Matsumoto and Yamagata (1991), perairan utara New Guinea sangat kuat dipengaruhi oleh fluktuasi musiman. Halmahera Eddy hanya berkembang selama di Belahan Bumi Utara (BBU) berlaku musim panas (munas) yaitu pada bulan Mei hingga Oktober (Wyrtki, 1962; Arruda and Nof, 2003).

Lukas *et al.* (1991) berdasarkan penelitian *Western Equatorial Pacific Ocean Circulation Study* (WEPOCS) III menyebut HE dapat diidentifikasi dengan jelas dari pusaran yang dibentuk (*loop tertutup*) oleh pelampung hanyut (*drifter*) yang diluncurkan selama Juli - September. Sementara Kashino *et al.* (1999) dengan menggunakan data WOCE III Januari 1995 dan WOCE IV Juni 1999 serta data TOCS Juli 1995 menyebutkan bahwa HE bergerak ke selatan selama musim barat laut seiring berkembangnya Kubah Mindanao (*Mindanao Dome*) dan bergesernya sumbu ASKU ke selatan dari lintang 6°N.

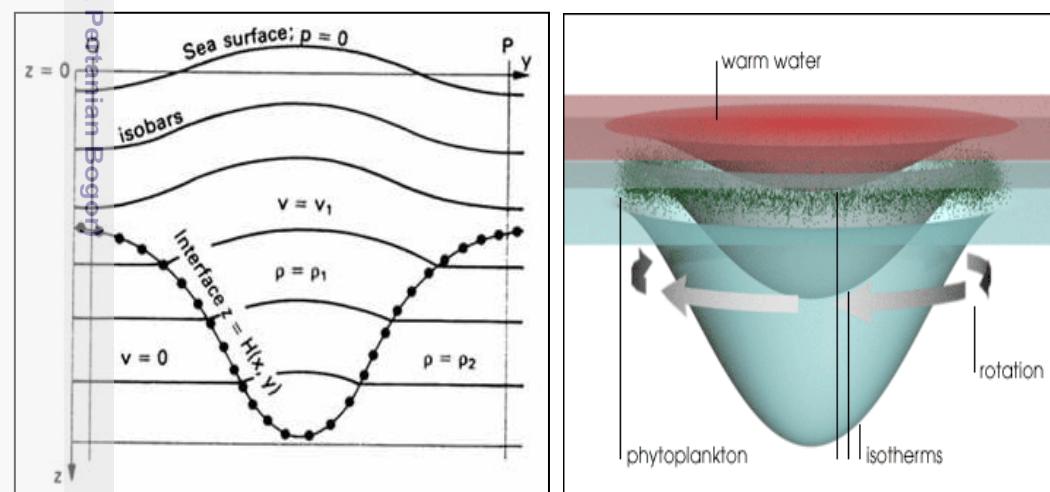
Dengan menggunakan model analitik Arruda and Nof (2003) menyebut bahwa selama Desember-Februari hampir tidak ada HE, sedangkan selama musim peralihan kedua (sekitar Oktober-Nopember) HE terbentuk cukup kuat. Chu and Fan (2004) mengidentifikasi HE dengan menggunakan model numerik menyatakan bahwa HE mengalami penguatan selama Juni-Agustus dan melemah pada bulan Desember.

### Variabilitas Spasial

Menurut Arruda and Nof (2003) dengan menggunakan model analitiknya variabilitas spasial HE sangat tergantung dengan fluktuasi kuat aliran antara Arus Mindanao dan Arus Pantai Utara Papua (NGCC/NGCC). Ketika aliran Arus Pantai Utara Papua menguat dan Arus Mindanao lemah, maka HE akan bergerak ke barat laut. Sebaliknya saat Arus Mindanao kuat dan Arus Pantai Utara Papua melemah maka HE akan bergeser ke tenggara.

Kashino *et al.* (2013) dengan menggunakan seri data SADCP pelayaran TOCS tahun 2006 (mewakili musim barat laut-tahun El Niño), TOCS 2007 (mewakili musim barat laut- tahun La Niña), TOCS 2011 (musim tenggara-tahun Normal) dan TOCS 2013 (mewakili musim barat laut-tahun Nomal) menyebutkan bahwa selama tahun El Niño, HE bergeser ke selatan di sekitar

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 3.1. Raut melintang eddy antisiklonik. Akumulasi massa air menyebabkan muka laut naik disekitar pusat pusaran dan menekan ke lapisan bawahnya (kiri). Pitoplankton sebagai parameter kesubuan perairan terakumulasi di tepi pusaran (kanan) (Gambar dikutip dari Tomczak and Godfrey, 1993; NASA, 2014).

Seperti disebutkan oleh Fine *et al.* (1994) dan Kashino *et al.* (1999), HE merupakan agen yang terlibat dalam proses percampuran massa air yang berasal dari kedua belahan bumi. Terbentuknya HE dan ME sebagai akibat dari tubrukan non-linear antar aliran dari dua belahan Samudera Pasifik (Arruda and Nof, 2003) serta peran Arlindo (ITF) sebagai kunci terbentuknya kedua eddy tersebut (Kashino, 2011, komunikasi pribadi) menjadikan front lautan yang terbentuk akibat pertemuan dua massa air menjadi lebih dinamis (Christian *et al.*, 2004). Eddy selama ini dikenal sebagai sumber utama variabilitas dalam

### Pendekatan Studi

Halmahera Eddy termasuk dalam tipe eddy skala menengah (*mesoscale eddy*, diameter 100-1000 km) yang bersifat antisiklonik (arus pusaran searah jarum jam). Akibat terbentuknya konvergensi, akumulasi massa air lebih hangat terjadi di pusarannya dengan puncak di pusatnya dan terjadi pembentukan bukit paras muka laut sehingga massa air pada bagian pusarannya menekan ke lapisan bawah (Pond and Pickard, 1983; Tomczak and Godfrey, 1993). Karakteristik antisikloniknya, membuat konsentrasi klorofil dipindahkan dari bagian tengah ke bagian tepi dari eddy, pengayaan zat hara berada di tepi dari eddy sebagai akibat dari tingginya turbulensi di sepanjang *isopicnal slope* (Kang *et al.*, 2004). Raut melintang struktur antisiklonik eddy secara umum disajikan pada Gambar 3.1.

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

proses biologi dan biogeokimia di lautan terbuka (Siegel *et al.*, 2008). Berbagai jenis ikan pelagis di perairan seluruh dunia berkorelasi erat dengan wilayah-wilayah perairan dimana eddy terbentuk ini terbentuk (Zainuddin *et al.* (2006). Meskipun perairannya termasuk dalam kategori *oligotropik*, namun kondisinya sangat kontras dengan produktivitas perikanannya (Lehodey *et al.*, 1997; Messie and Radenac, 2006). Selain peran eddy sendiri yang sudah dikenal dalam transportasi massa air, salinitas dan bahang di sejumlah samudera (Kurogano and Kamachi, 2003; Kashino *et al.*, 1999).

Perairan antara Mindanao- Papua New Guinea (PNG) merupakan bagian dari wilayah WP yang selama ini selain dikenal dengan suhu permukaan lautnya terhangat di dunia ( $> 29^{\circ}\text{C}$ ) juga merupakan perairan yang miskin akan produktivitas primernya (*oligotropik*) dimana konsentrasi klorofil-a permukaannya  $< 0.1 \text{ mg/m}^3$  (Messie and Radenac, 2006). Ditambahkan oleh Sprintall and Tomczak (1992) dan Allain *et al.* (2007), perairan WP mempunyai ciri pada lapisan permukaannya berupa salinitas permukaan yang rendah (umumnya  $< 33.5 \text{ PSU}$ ), akibat presipitasi lebih tinggi dibandingkan evaporasinya, adanya lapisan gendala (*barrier layer*) yang menghalangi massa air lapisan bawahnya melakukan intrusi ke lapisan atasnya yang berakibat kandungan unsur nitratnya rendah.

Wilayah daratan sekitar HE merupakan perairan yang masuk dalam segitiga pertumbuhan karang dunia mulai dari pantai sekitar Jayapura, perairan Raja Ampat hingga Pulau Morotai di utara Halmahera. Wilayah terumbu karang ini dikenal mempunyai tingkat produktivitas perairan tinggi. Hal ini dapat terlihat dengan jelas citra SeaWiFS maupun Aqua MODIS. Interaksi *internal tide* dengan *sill* di selat Halmahera serta sungai-sungai besar seperti Membramo dan Matabori juga membawa sejumlah besar nutrien masuk dalam aliran arus permukaan NGCC ini (Burns *et al.*, 2007); Muchtar, 2004). Demikian pula halnya dengan pengaruh Laut Maluku yang mempunyai intensitas *up welling* cukup tinggi terutama saat musim tenggara. Kondisi yang sangat kontras dengan wilayah perairan oseaniknya yang bersifat oligotropik

Arus permukaan yang dibawa NGCC (Lukas *et al.*, 1991; Fine *et al.*, 1994; Kashino *et al.*, 2013) membawa massa air permukaan kaya klorofil ini masuk dalam front pertemuan massa air yang dibawa NGCC/NGCUC, Mindanao Current dan Mindanao Current yang berasal dari Laut Sulawesi serta massa air konsentrasi klorofil tinggi yang berasal dari Laut Maluku yang selanjutnya masuk dan terbawa dalam pusaran arus HE. Tipologi lingkungan perairan yang demikian memudahkan dalam mengenali dan mengidentifikasi karakteristik HE dan dinamikanya yang dapat dilakukan pengamatan secara sinoptik pada rona klorofil di tengah karakter perairan *oligotropik*.

Rona klorofil yang terbentuk ini selanjutnya diverifikasi dengan data pembandingan data lain seperti vektor arus *Shipboard ADCP* pada lintasan pelayaran yang pernah dilakukan, sedangkan karakteristik bagian bawah permukaannya dilakukan dengan melihat profil suhu dan salinitasnya pada data Hantaran, Suhu dan Jelukan-ny (*Conductivity, Temperature, Depth/Expandable CTD*)

Pemanfaatan citra klorofil permukaan untuk identifikasi suatu eddy maupun ring telah dilakukan beberapa peneliti. Souza *et al.* (2002) dengan menggunakan satelit SeaWiFS, altimetri dan pengukuran hidrografi *in-situ* berhasil mendeteksi aktivitas eddy di selatan wilayah pertemuan Brazil-

Demikian pula halnya Veldoven (2005) mengidentifikasi eddy/ring di perairan Agulhas dengan citra altimeteri yang sebelumnya belum dipublikasikan yang kemudian menamakan eddy/ring tersebut dengan nama dirinya. Penelitian yang paling mendekati dalam menjelaskan biologi di sekitar pusaran arus Halmanera dilakukan oleh Christian *et al.* (2004). Mereka melihat fenomena munculnya *blooming phytoplankton* yang membentuk seperti pita gelap (*ribbon of dark*) disepanjang sumbu ASKU ketika episode El Niño berlangsung. Namun demikian, Christian *et al.* (2004) tidak menjelaskan keterkaitan fenomena tersebut dengan peran HE.

Pola perkembangan dan pergeseran HE diduga terkait dengan pola ruaya dan produktivitas cakalang sebagai ikan permukaan yang menyukai suhu permukaan laut yang hangat. Spesies cakalang yang merupakan tuna dengan ukuran rata-rata dewasa lebih kecil dibandingkan dengan spesies tuna lainnya dan pemakan utama macrozooplankton dan mikronekton. Spesies diet cakalang ini diduga berkorelasi erat dengan dinamika oseanografi akibat pergeseran HE.

Dengan menggunakan citra satelit multisensor yaitu Aqua MODIS dan Jason-1 selanjutnya diverifikasi dengan data hidrografi pelayaran KR. Mirai dari JAMSTEC Jepang, data pelampung tambat TRITON serta data penangkapan cakalang di sekitar wilayah pusaran arus Halmahera, maka akan memberikan penjelasan terbaru dalam melengkapi informasi yang telah ada sebelumnya.

## Sumber Data dan Analisis

## Citra Klorofil-a Permukaan

Data sebaran konsentrasi *chl-a* permukaan yang digunakan merupakan seri data citra satelit Aqua-MODIS Level-3 komposit bulanan resolusi spasial 0.05° (4 km x 4 km) selama rentang waktu bulan Juli 2002 sampai dengan bulan Desember 2012. Data diperoleh dari *Environment Research Division NOAA* yang diunduh pada situs: <http://oceanwatch.pfeg.noaa.gov> berupa data dalam bentuk nc file.

Menurut Walton *et al.*(1998), perkiraan konsentrasi klorofil-a pada tipe data ini dihasilkan dari suatu perhitungan berdasarkan algoritma OC3M yang merupakan produk empiris standar NASA untuk citra Level-3 *Standard Mapped Image* (SMI) yang umum digunakan untuk memproses formula konsentrasi *chlorophyll-a*.

Algoritma OC3M termasuk algoritma empirik (*empirical algorithm*), dimana hubungan antara rasio band dan klorofil menggunakan fungsi polynomial. Menurut O'Reilly *et al.* (2000) persamaan algoritma OC3M, nilai konsentrasi klorofil-a permukaan adalah:

$$\log_{10}(\text{Ca}) = 0.283 - 2.753R + 1.457R^2 + 0.659R^3 - 1.404R^4 \quad \dots \dots \dots (1)$$

dengan

$$R = \log_{10}[\max(R_{rs}(443), R_{rs}(488)/R_{rs}(551))]$$

dimana:

$$\begin{aligned} Ca &= \text{konsentrasi klorofil-a (mg/m}^3\text{)} \\ R &= \text{Rasio reflektansi} \\ R_{rs} &= \text{Remote Sensing Reflectance} \end{aligned}$$

Citra klorofil ini merupakan sumber utama dalam pengamatan dan pencatatan data statistik yang akan diambil untuk analisis deret waktu (*time series*). Proses pengolahan data klorofil-a permukaan Aqua MODIS menjadi citra dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Arch GIS Ver. 10.1, sedangkan analisis deret waktu menggunakan perangkat lunak Matlab Ver. 7.0 dan Ferret Ver. 6.072.

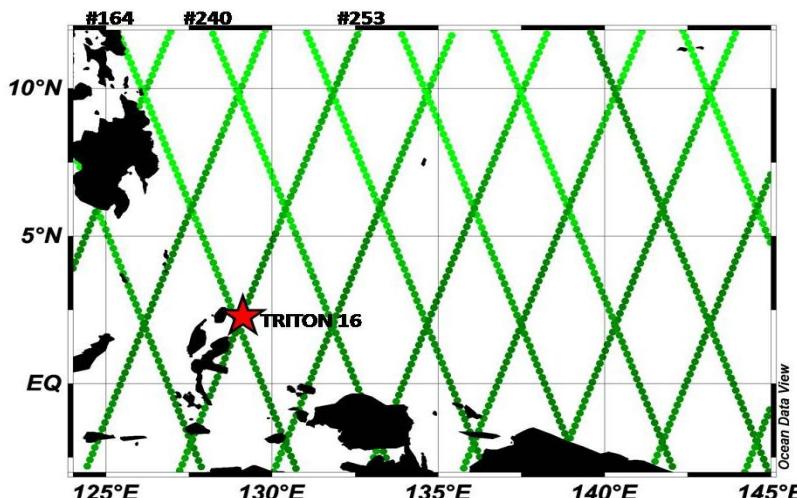
### Suhu Permukaan Laut (SPL)

Citra Suhu Permukaan Laut (SPL) digunakan untuk melihat kondisi lingkungan wilayah kajian dan juga untuk melihat raut suhu permukaan laut dalam proses verifikasi karakteristik umum HE sebagai eddy antisiklonik. Dalam penelitian ini, parameter SPL tidak digunakan untuk mengidentifikasi HE dari rona suhu yang dibentuknya seperti halnya pada data klorofil-a permukaan.

Citra suhu permukaan laut berasal dari data satelit Aqua MODIS Level-3 komposit bulanan resolusi spasial  $0.05^{\circ}$  ( $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ ). Pengambilan data SPL dilakukan hanya dilakukan pada saat pelayaran RV Mirai dilakukan selama periode penelitian yaitu Juli 2002, Juni 2003, Juni 2004, Juli 2005, Januari 2007, Januari 2008 dan September 2011. Data diunduh dari website: <http://oceanwatch.pfeg.noaa.gov> berupa data dalam bentuk nc file. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak Arch GIS Ver.10.1 dan Ferret Ver. 6.072

### Data Anomali Muka Laut (Sea Level Anomaly) JASON-1

Data along-track Jason-1 diperoleh dari *Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Data in Oceanography* (AVISO) tipe *Sea Level Anomaly Monomission* produksi dari *Collecte Localisation Satellites* (CLS) (Ducet *et al.*, 2000), lintasan satelit Jason-1 terlihat seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Passingtrack* satelit Jason-1 dan Posisi TRITON 16 (simbol bintang).

Lintasan yang diambil adalah *passing track* #164 dan # 253, karena berada paling dekat dengan wilayah pergeseran HE dan pelampung-tambat TRITON-16, diharapkan dapat menjelaskan dinamika permukaan sekitar wilayah kajian (Gambar 3.2). Data altimetri diunduh dari <http://www.aviso.oceanobs.com/en/data/products>. Proses pengolahan data altimetri Jason-1 menggunakan perangkat lunak Ferret Ver. 6.072 dan Matlab Ver. 7.0

### Data Hidrografi Pelayaran *Tropical Ocean Climate Study (TOCS)*

Data hidrografi selama pelayaran *Tropical Ocean Climate Study (TOCS)* yang dilakukan oleh *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)* Jepang dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) RI digunakan untuk proses-proses fisika yang terjadi dibawah permukaan yang terkait dengan HE secara *in situ*. Data tersebut berupa rekaman *Shipboard ADCP*(RDI 75 kHz Model), CTD (SBE 911) , XCTD (Tsurumi Seiki XCTD-1 profilers) yang diperoleh dari pelayaran KR. Mirai. Data diunduh dari website: [http://www.pmel.noaa.gov/tao/data\\_deliv](http://www.pmel.noaa.gov/tao/data_deliv). Adapun periode pelayaran yang terkait dengan penelitian ini tersaji pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Pelayaran R.V. Mirai Dalam Akuisisi Data SADCP, CTD dan XCTD

ID Cruise	Periode Perekaman	Musim	Tahun ENSO
MR02-K04	10 Juli - 10 Agus 2002	Tenggara	El Niño
MR03-K03 Leg.1	18 - 25 Juni 2003	Tenggara	Normal
MR04-03 Leg.1	22 – 28 Juni 2004	Tenggara	Normal
MR05-03 Leg.1	05 – 22 Juli 2005	Tenggara	Normal
MR06-05 Leg.3	24 Des 2006 - 09 Jan 2007	Barat Laut	El Niño
MR07-07 Leg.1	06 – 20 Jan 2008	Barat Laut	La Niña
MR11-06	31 Agus – 12 Sept 2011	Peralihan II	Normal

Sumber: JAMSTEC (2011)

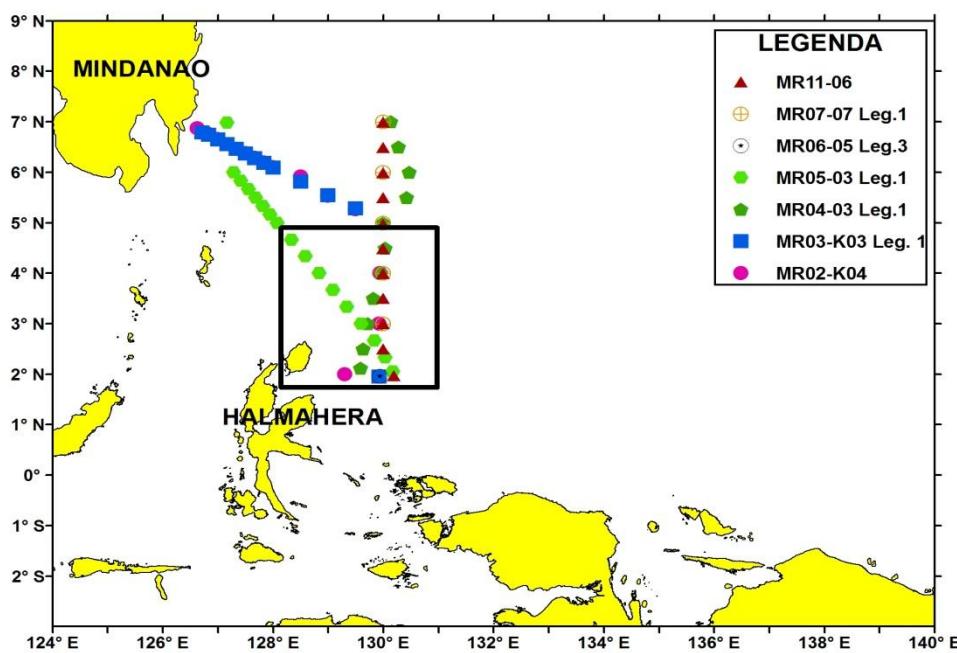
Data tersebut telah mengalami *quality control* berupa kalibrasi, koreksi dan filter serta kesalahannya telah diestimasi. Pekerjaan ini dilakukan oleh tim peneliti di *Data Management Office (DMO) Yokohama Institute for Marine Science JAMSTEC* Jepang ([dmo@jamstec.go.jp](mailto:dmo@jamstec.go.jp)).

Data *Shipboard ADCP* digunakan dalam verifikasi kualitatif arus permukaan (pada kedalaman 50 meter) dengan rona *klorofil* pada citra Aqua Modis melalui metode tumpangsusun (*overlay*). Sedangkan data CTD/XCTD dianalisis guna melihat proses-proses yang terjadi dibawah permukaan berkaitan dengan struktur fisik HE yang telah diterangkan oleh Kashino *et al.* (1999) dan Kashino *et al.* (2013). Proses analisinya dibantu menggunakan perangkat lunak Arch GIS Ver.10.1, Matlab Ver. 7.0, Surfer Ver. 8.0 dan Ferret Ver. 6.072.

Adapun lintasan pelayaran KR Mirai dan posisi penurunan CTD/XCTD tersaji pada Gambar 3.3.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 3.3 Peta lokasi Stasiun CTD/XCTD pada Pelayaran RV Mirai Periode 2002-2011. Tanda kotak hitam tebal merupakan stasiun CTD/XCTD yang digunakan/dianalisis.

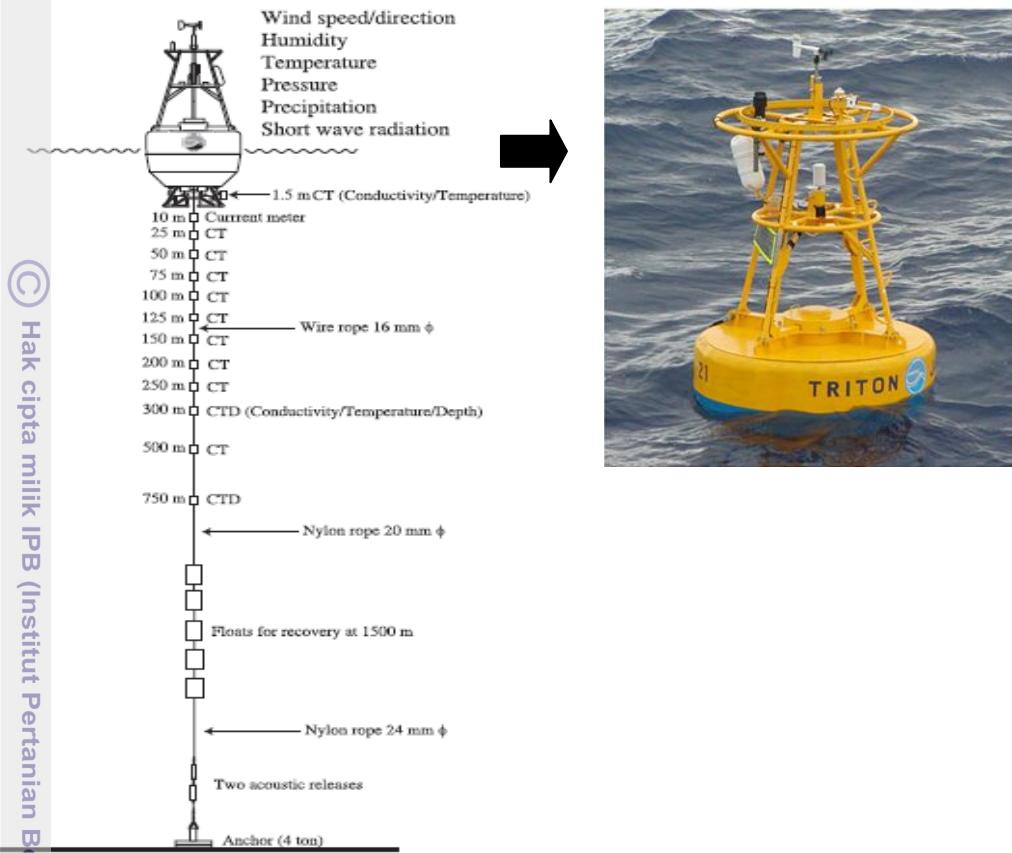
#### Triangle Trans-Ocean Buoy Network (TRITON)

Selain data hidrografi pelayaran tersebut di atas, juga digunakan data deret waktu rekaman pelampung tambat *Triangle Trans-Ocean Buoy Network* (TRITON) nomor 16 ( $2^{\circ}\text{N}, 130^{\circ}\text{E}$ ). Seperti telah dijelaskan sebelumnya, data deret waktu pada TRITON ini digunakan untuk validasi data altimeteri.

Menurut Kashino *et al.* (2007), pelampung tambat TRITON merupakan bagian dari TAO (*Tropical Atmosphere Ocean*) Project yang ditujukan untuk mengobservasi arus-arus ekuatorial di Pasifik Barat yang berperanan dalam transport bahan dan garam antar belahan samudera. Pelampung tambat TRITON adalah sistem pelampung permukaan yang ditambatkan di dasar laut (*mooring*), memiliki 12 sensor CT (*conductivity, temperature*) yang dipasang pada kedalaman 1.5 m, 25 m, 50 m, 75 m, 100 m, 125 m, 150 m, 200 m, 250 m, 300 m, 500 m dan CTD pada 750 m, 1 alat pengukur arus (*Current Meter*) pada kedalaman 10 m dan sensor meteorologi di permukaannya seperti terlihat pada Gambar 3.4 (Ando and Kuroda, 2002; Ando *et al.*, 2005).

Data tersebut telah mengalami *quality control* berupa kalibrasi, koreksi dan filter serta kesalahannya telah diestimasi. Pekerjaan ini dilakukan oleh tim peneliti di *Data Management Office* (*DMO*) *Yokohama Institute for Marine Science* JAMSTEC Jepang ([dmo@jamstec.go.jp](mailto:dmo@jamstec.go.jp)). Data TRITON-16 diunduh dari website: [http://www.pmel.noaa.gov/tao/data\\_deliv](http://www.pmel.noaa.gov/tao/data_deliv).

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan,
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.



Gambar 3.4. Konfigurasi pelarat tambat TRITON (Kashino *et al.*, 2011)

### Data Perikanan Tangkap Cakalang (*Katsuwonus pelamis*)

Data perikanan tuna cakalang yang digunakan berasal dari wilayah penangkapan tuna sekitar wilayah utara Papua-Halmahera, yang diharapkan dipengaruhi langsung oleh variabilitas HE. Kami mengalami kesulitan memperoleh arsip data statistik perikanan tangkap di Indonesia yang benar-benar sesuai dengan tujuan penelitian ini. Dalam penelitian ini kami menggunakan data statistik perikanan tuna cakalang didasarkan pada alat tangkap jenis *purse sein* hasil pencatatan *enumerator* di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bitung Propinsi Sulawesi Utara, dengan rentang data mulai Januari 2011 sampai dengan Desember 2012.

Data perikanan tangkap lainnya adalah produktivitas cakalang yang diperoleh dari *Western Central Pacific Fisheries Commission* (WCPFC) dalam klasifikasi *public domain*. Data produktivitas cakalang yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil tangkapan kapal *purse seine* dimana cakalang yang ditangkap adalah yang beruaya bebas (*free schooling*) dan bukan berasal dari hasil tangkapan disekitar gelondongan kayu yang mengapung atau dari penangkapan sekitar rumpon. Resolusi spasial data penangkapan cakalang yang bisa diperoleh adalah  $5^\circ \times 5^\circ$ . Data yang ini di unduh dari website: <http://www.wcpfc.int/doc>.

Selain kedua data tangkapan cakalang di atas, data produksi tangkapan cakalang oleh nelayan lokal yang didaratkan di pelabuhan-pelabuhan sekitar

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Pulau Morotai Kabupaten Halmahera Utara juga digunakan. Data tersebut meliputi produksi cakalang yang didaratkan di pelabuhan pendaratan ikan di Kecamatan Kao, Kecamatan Kao Utara, Kecamatan Tobelo, Kecamatan Tobelo Tengah dan Kecamatan Tobelo Selatan. Produksi perikanan tuna cakalang ini berasal dari hasil tangkapan nelayan menggunakan alat tangkap purse-seine, *hand-line*, *gill net* dan *funa* dengan bobot kapal penangkap ikan antara 5-10 GT. Data statistik tangkapan cakalang ini diperoleh dari Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Halmahera Utara.

### Proses Verifikasi

Tahap verifikasi digunakan untuk mengetahui apakah rona klorofil-a yang dibentuk oleh pusaran arus Halmahera benar-benar memperlihatkan pola yang konsisten dengan struktur HE dari hasil observasi pada data lain yang telah dibahas oleh penelitian sebelumnya, jika proses verifikasi secara kualitatif menunjukkan hasil yang konsisten maka proses pengolahan data lanjutannya dapat diteruskan.

#### a. Raut Klorofil-a Permukaan dan Suhu Permukaan Laut (SPL)

Raut klorofil-a permukaan dan SPL dianalisis guna melihat karakter umum HE sebagai eddy antisiklonik. Raut umum yang terjadi dalam eddy antisiklonik dalam parameter klorofil-a permukaan adalah konsentrasi tinggi pada bagian tepid dan konsentrasi rendah pada bagian tengahnya. Sedangkan dalam parameter SPL, suhu permukaannya laut lebih hangat dibagian tengah pusarannya dibandingkan suhu sekelilingnya. Pengambilan area rautan ini mengikuti lajur pengambilan data CTD/XCTD.

#### b. Citra klorofil-a permukaan – vektor arus permukaan data *Shipboard ADCP*

Pada tahap ini dilakukan pembuatan peta tumpangsusun (*overlay*) sebaran klorofil-a permukaan dengan vektor arus permukaan (pada kedalaman 50 m) dari data *Shipboard ADCP* untuk melihat konsistensi antara kedua citra yang dibandingkan. Keterangan vektor arus yang tidak diperoleh dari rona klorofil dapat dijelaskan berdasarkan vektor arus pada SADCP.

#### c. Citra klorofil-a permukaan – sebaran melintang suhu dan salinitas pada data CTD/XCTD

Halmahera Eddy mempunyai karakteristik massa air bawah permukaan yang unik. Disebutkan oleh Kashino *et al.*(1999), HE mempunyai peran sebagai pencampur massa air dari kedua belahan bumi yaitu *South Pacific Tropical Water* (SPTW) dan *Antarctic Intermediate Water* (AAIW) dari belahan Samudera Pasifik selatan dan *North Pacific Tropical Water* (NPTW) dan *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) dari belahan Samudera Pasifik utara.

Struktur antisiklonik HE juga diketahui membentuk kerucut terbalik yang masih dikenali hingga kedalaman 800 meter dengan dengan diameter yang semakin mengecil dan bergeser ke arah barat laut

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

seiring dengan bertambahnya kedalaman. Struktur yang demikian akan membentuk profil suhu dan salinitas yang berbeda dengan perairan sekitarnya.

### Metode Sensus

Metode Sensus dalam penelitian ini terdiri dari berbagai tahapan yang dilakukan secara berurutan meliputi langkah-langkah: investigasi/pengamatan secara cermat satu demi satu terhadap keseluruhan peta sebaran klorofil yang telah dibuat selama periode penelitian dan secara simultan juga dilakukan delineasi terhadap rona klorofil tinggi yang membentuk sirkulasi pusaran HE kemudian dilanjutkan pengukuran dan pencatatan data statistik HE seperti posisi geografis berupa lintang dan bujur titik pusat eddy, diameter eddy, bentuk rona klorofil dan konsentrasi *chl-a* permukaan pada sabuk eddy. Dengan demikian data yang diperoleh selama periode penelitian adalah data deret waktu tentang karakter HE.

Pencatatan data statistik merupakan langkah terpenting dalam penelitian ini, dilakukan jika proses verifikasi kualitatif menghasilkan hasil analisis yang konsisten dengan data pembanding. Data statistik karakter HE yang telah diambil ini dijadikan sebagai dasar dalam analisis deret waktu (*time series analysis*).

### Halmahera Eddy dan Produktivitas Cakalang di Perairan Sekitar Wilayah Kajian

Analisis ini dilakukan guna melihat pola sebaran ruaya kapal purse seine di wilayah sekitar pusaran HE dan pengaruh pergeseran HE terhadap respon produktivitas cakalang di wilayah kajian. Untuk data perikanan yang diperoleh dari PPS Bitung Propinsi Sulawesi Utara dilakukan pembuatan peta tumpangsusun sebaran klorofil-a permukaan dengan posisi kapal purse-seine saat melakukan penangkapan ikan. Sedangkan data tangkapan cakalang yang berasal dari WCPFC dilakukan analisis deret waktu terhadap pergeseran meridional dan zonal HE. Demikian pula halnya dengan data produksi perikanan yang didaratkan (*landing fishing*) di pelabuhan-pelabuhan sekitar Pulau Morotai juga dilakukan analisis deret waktu.

### Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam disertasi ini secara garis besar terbagi dalam 3 (tiga) bab meliputi:

- a. Identifikasi Halmahera Eddy menggunakan citra klorofil-a permukaan data Aqua MODIS akan dijelaskan pada Bab IV
- b. Analisis perkembangan dan pergeseran Halmahera Eddy berdasarkan skala waktu dan ruang akan dijelaskan pada Bab V.
- c. Analisis pergeseran HE kaitannya dengan respon terhadap produktivitas cakalang di sekitar wilayah kajian akan dijelaskan pada Bab VI.

#### 4. IDENTIFIKASI HALMAHERA EDDY MENGGUNAKAN CITRA KLOROFIL-A PERMUKAAN AQUA MODIS

##### Abstraksi

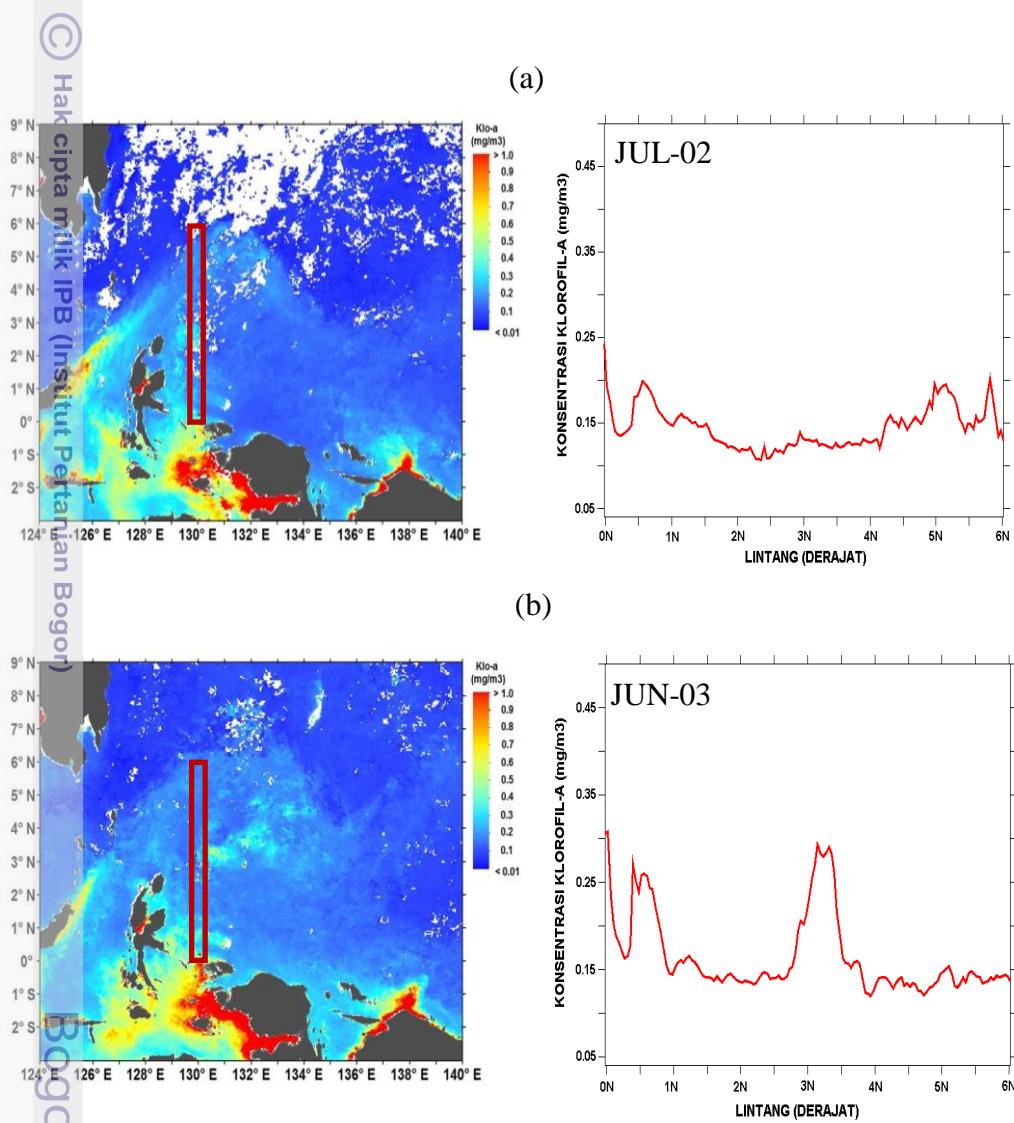
Babak baru penelitian dalam mengidentifikasi antisiklonik Halmahera Eddy di ekuatorial Pasifik barat dilakukan dengan menggunakan citra klorofil-a permukaan data Aqua MODIS selama satu dasawarsa pada periode 2002-2012. Sirkulasi Halmahera Eddy yang membentuk rona klorofil-a permukaan diverifikasi dengan raut Suhu Permukaan Laut, data hidrografi dari *Shipboard ADCP* dan *CTD/XCTD* pelayaran KR Mirai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Halmahera Eddy dapat diidentifikasi berdasarkan rona klorofil-a permukaan yang terbentuk akibat sirkulasi alirannya, dimana konsentrasi klorofil-a permukaan tinggi terjadi pada bagian tepi dengan membentuk sabuk klorofil-a permukaan tinggi, sedangkan pada bagian dalamnya konsentrasi klorofil-a permukaan lebih rendah. Pengamatan terhadap parameter Suhu Permukaan Laut, karakteristik Halmahera Eddy ditandai dengan raut suhu permukaan laut yang lebih hangat dibagian tengah pusaran dibandingkan pada bagian tepinya. Hasil verifikasi data hidrografi menunjukkan bahwa sebaran klorofil-a permukaan tinggi konsisten dengan vektor arus SADCP yang membawa konsentrasi klorofil-a tinggi, vektor arus di sisi utara mengarah ke timur laut dan di sisi selatannya mengarah ke barat laut menandakan adanya sirkulasi antisiklonik eddy. Sebaran melintang suhu pada data CTD/XCTD, Halmahera Eddy ditandai adanya isolir yang tertekan ke bawah dan bergeser ke utara seiring bertambahnya kedalaman, sedangkan pada sebaran salinitas terlihat massa air *South Pacific Tropical Water*, *North Pacific Tropical Water* dan *North Pacific Intermediate Water*. Hasil pengamatan dan pengukuran karakter Halmahera Eddy menggunakan metode sensus dikatahui diameter dalam arah zonal berkisar 338-731 km sedangkan arah meridionalnya berkisar 297-725 km. Halmahera Eddy mengalami pergeseran dimana posisi paling utara pusatnya berada di  $5.43^{\circ}\text{N}/129.31^{\circ}\text{E}$  pada Desember 2008 dan paling selatan pusatnya berada di  $1.85^{\circ}\text{N}/130.13^{\circ}\text{E}$  pada September 2009.

Kata kunci: Halmahera Eddy, rona klorofil-a, Suhu Permukaan Laut, data hidrografi, isolir, massa air, metode sensus

## Pengamatan Lingkungan Perairan dan Identifikasi Halmahera Eddy

### Sebaran Klorofil-a Permukaan

Pengamatan lingkungan perairan sekitar Halmahera Eddy selama periode penelitian ditunjukkan dalam peta sebaran klorofil-a permukaan data Aqua MODIS dan disajikan pada Lampiran 1, sedang citra sebaran klorofil-a permukaan selama periode survei *Tropical Ocean Climate Study* (TOCS) KR Mirai dan raut klorofil-a permukaannya disajikan pada Gambar 4.1.

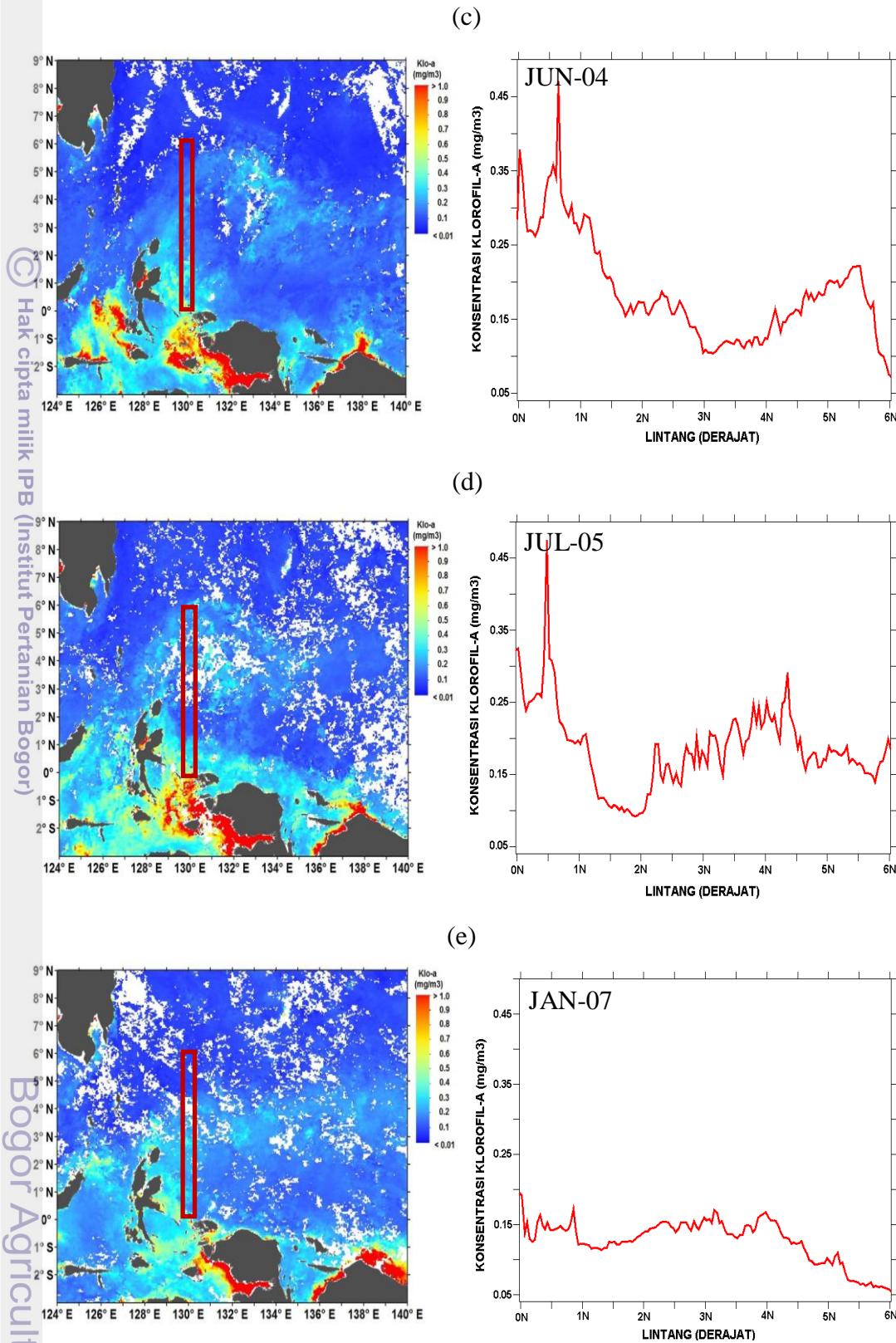


Gambar 4.1 Sebaran klorofil-a permukaan sekitar wilayah kajian. Kotak merah adalah area sampling pengambilan data raut klorofil-a permukaannya (kiri). Raut klorofil-a permukaan rata-rata antara 129.5E-130.5E dan dalam arah meridional 0°N-6°N

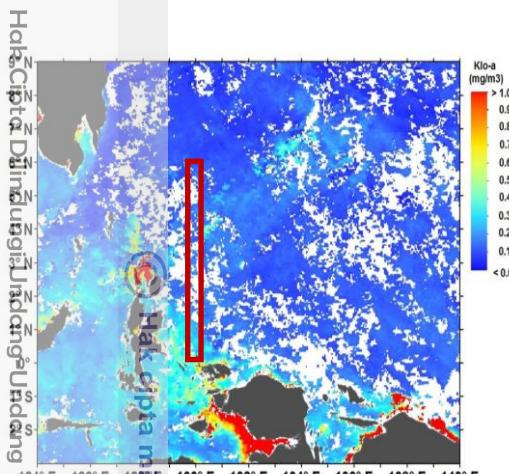
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

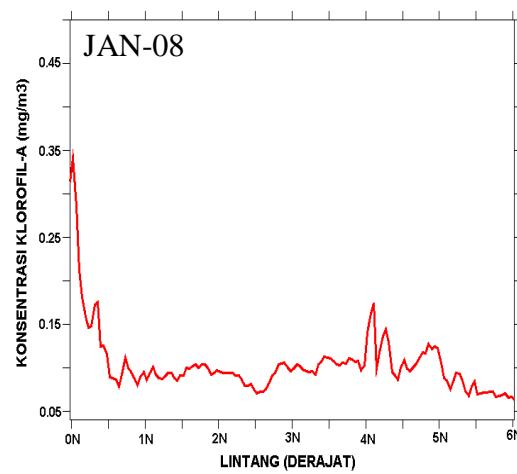
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



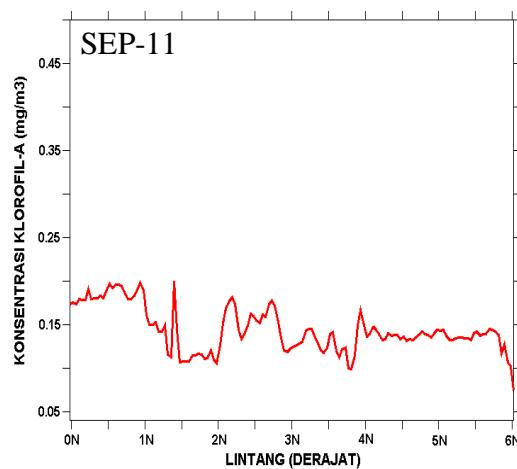
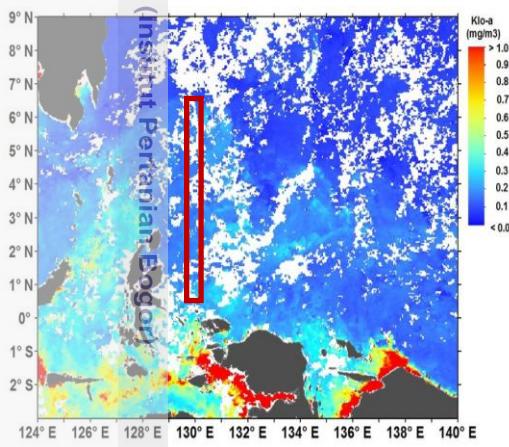
Gambar 4.1 Sebaran klorofil-a permukaan sekitar wilayah kajian. Kotak merah adalah area sampling pengambilan data raut klorofil-a permukaannya (kiri). Raut klorofil-a permukaan rata-rata antara 129.5E-130.5E dan dalam arah meridional 0°N-6°N (kanan) (lanjutan)



(f)



(g)



Gambar 4.1 Sebaran klorofil-a permukaan sekitar wilayah kajian. Kotak merah adalah area sampling pengambilan data raut klorofil-a permukaannya (kiri). Raut klorofil-a permukaan rata-rata antara 129.5E-130.5E dan dalam arah meridional 0°N-6°N (kanan) (lanjutan)

Pada Gambar 4.1 di atas, ditunjukkan kondisi lingkungan perairan yang dilihat dari parameter klorofil-a permukaan perairan antara New Guinea dan Mindanao dimana HE terbentuk. Citra tersebut menggambarkan kondisi yang sangat kontras antara wilayah perairan pantai sekitarnya (neritik) yang mempunyai konsentrasi klorofil permukaan lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah oseaniknya yang terlihat lebih rendah. Klorofil tinggi terjadi di sekitar perairan pantai Papua, Laut Halmahera, Laut Maluku dan di sekitar pusaran arus Halmahera dimana klorofil-a tinggi membentuk pita sabuk. Konsentrasi klorofil-a permukaan di wilayah pantai ini berkisar antara  $0.15 - 0.45 \text{ mg/m}^3$ , wilayah sekitar pusaran arus Halmahera  $0.10 - 0.15 \text{ mg/m}^3$  sedangkan diluar wilayah tersebut terlihat lebih rendah antara  $0.05 - 0.1 \text{ mg/m}^3$ .

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Konsentrasi klorofil tinggi terlihat berasal dari wilayah perairan sekitar utara Papua, Laut Halmahera dan Laut Maluku. Jejak klorofil ini terlihat mirip dengan sirkulasi Arus Pantai Papua (*New Guinea Coastal Current*) seperti yang telah dideskripsikan oleh Lukas *et al.* (1991), Fine *et al.* (1994) dan Kashino *et al.* (2013), dimana Arus Pantai Papua mengalir ke barat dan barat laut disepanjang pantai utara Papua kemudian berbelok (*retrofleksi*) ke timur untuk bergabung bersama Arus Mindanao membentuk ASKU (*North Equatorial Counter Current/NECC*).

Menurut Sprintal and Tomczak (1992), sifat miskin klorofil pada lapisan permukaan di wilayah oseanik perairan ini dikarenakan terhambatnya intrusi massa air kaya nutrien dari lapisan dibawahnya (pertengahan) untuk naik ke permukaan akibat tertahan lapisan gendala (*barrier layer*) yang terbentuk akibat kuatnya gradient salinitas (*haloklin*) yang berada diatas lapisan *termoklin*.

Sementara Veron *et al.* (2009) menyebut perairan Raja Ampat dan perairan utara Papua merupakan gugus kepulauan yang menjadi jantung dari segitiga terumbu karang dunia. Disebutkan mereka, perairan ini memiliki ekosistim terumbu paling beragam di dunia, dimana hampir sekitar 75% spesies terumbu karang di seluruh dunia ada di perairan ini. Demikian halnya dengan interaksi *internal tide* dengan ambang laut (*sill*) di Laut Halmahera juga merupakan salah satu alasan tingginya konsentrasi klorofil di perairan ini.

Berdasarkan Gambar 4.1 (kanan) dari masing-masing gambar juga ditunjukkan rona (*feature*) klorofil-a permukaan tinggi yang membentuk sabuk menyerupai lingkaran di sekitar pusaran arus Halmahera. Rona tersebut terlihat kontras ditengah perairan sekitarnya yang bersifat *oligotropik*. Rona ini diduga merupakan jejak pusaran HE dimana konsentrasi klorofil-a tinggi dari perairan sekitarnya terbawa oleh sirkulasi arus pusar dari HE. Rona terlihat membentuk sabuk konsentrasi klorofil-a tinggi pada bagian sisi tepinya dan konsentrasi klorofil-a lebih rendah di bagian sisi dalamnya.

Sabuk klorofil-a tersebut tidak membentuk lingkaran penuh, mirip dengan apa yang telah diilustrasikan oleh Lukas *et al.* (1991) dalam data klimatologi yang disusun berdasarkan data hasil pelepasan pelampung hanyut pada pelayaran WEPOCS III. Lukas *et al.* (1991) tidak melihat adanya sirkulasi *loop* tertutup pada sirkulasi Halmahera Eddy. Mereka bahkan melihat adanya cekungan (lembah) pada vektor arus yang ke selatan di sekitar bujur 135°E pada sumbu ASKU yang ke timur. Hal ini diduga merupakan bagian dari liukan (*meander*) dalam sumbu ASKU.

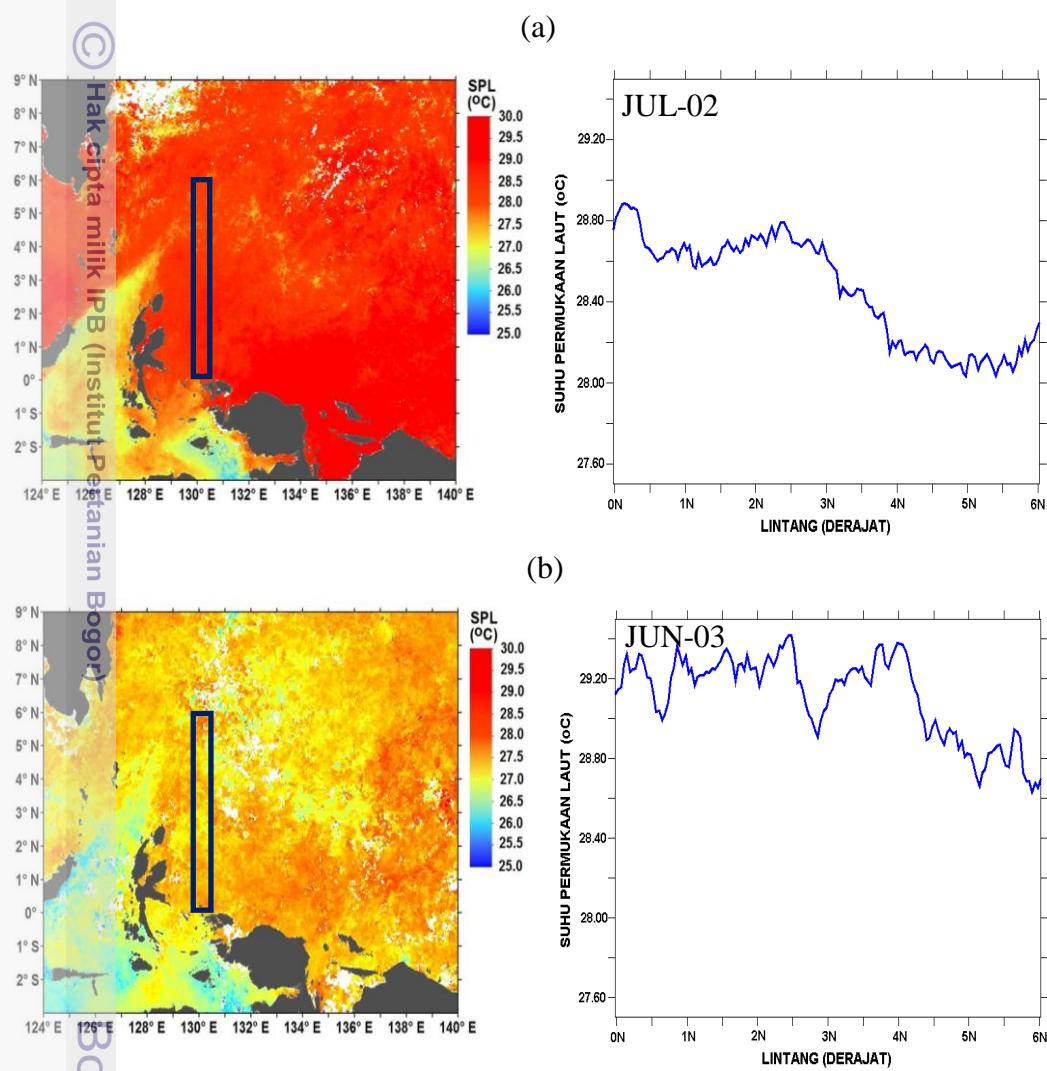
Pada Gambar 4.1 (kiri), disajikan raut klorofil-a permukaan sepanjang irisan (dalam gambar disekitar kotak merah) pada area 0 - 6°N dan 130.5°E - 131.5°E dari masing-masing peta. Berdasarkan gambar tersebut secara umum dapat dikatakan bahwa profil klorofil-a pada bagian tepi dari Halmahera Eddy (sekitar bagian sabuknya) mempunyai konsentrasi klorofil yang lebih tinggi dibandingkan bagian tengahnya. Hal ini seperti terlihat pada citra bulan Juli 2002 dan Juni 2004. Namun terdapat variasi dari raut klorofil-a ini dimana puncak konsentrasi klorofil tinggi terdapat dibagian tengah seperti pada citra bulan Juni 2003 dan Juli 2005. Hal ini kemungkinan disebabkan akibat variasi sirkulasi arus permukaan di dalam Halmahera Eddy yang membawa klorofil-a permukaan tinggi dari perairan sekitarnya.

Selama musim barat laut (citra Januari 2007 dan citra Januari 2008), raut klorofil-a terlihat hampir mendatar yang diduga disebabkan Halmahera Eddy

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## Sebaran Suhu Permukaan Laut

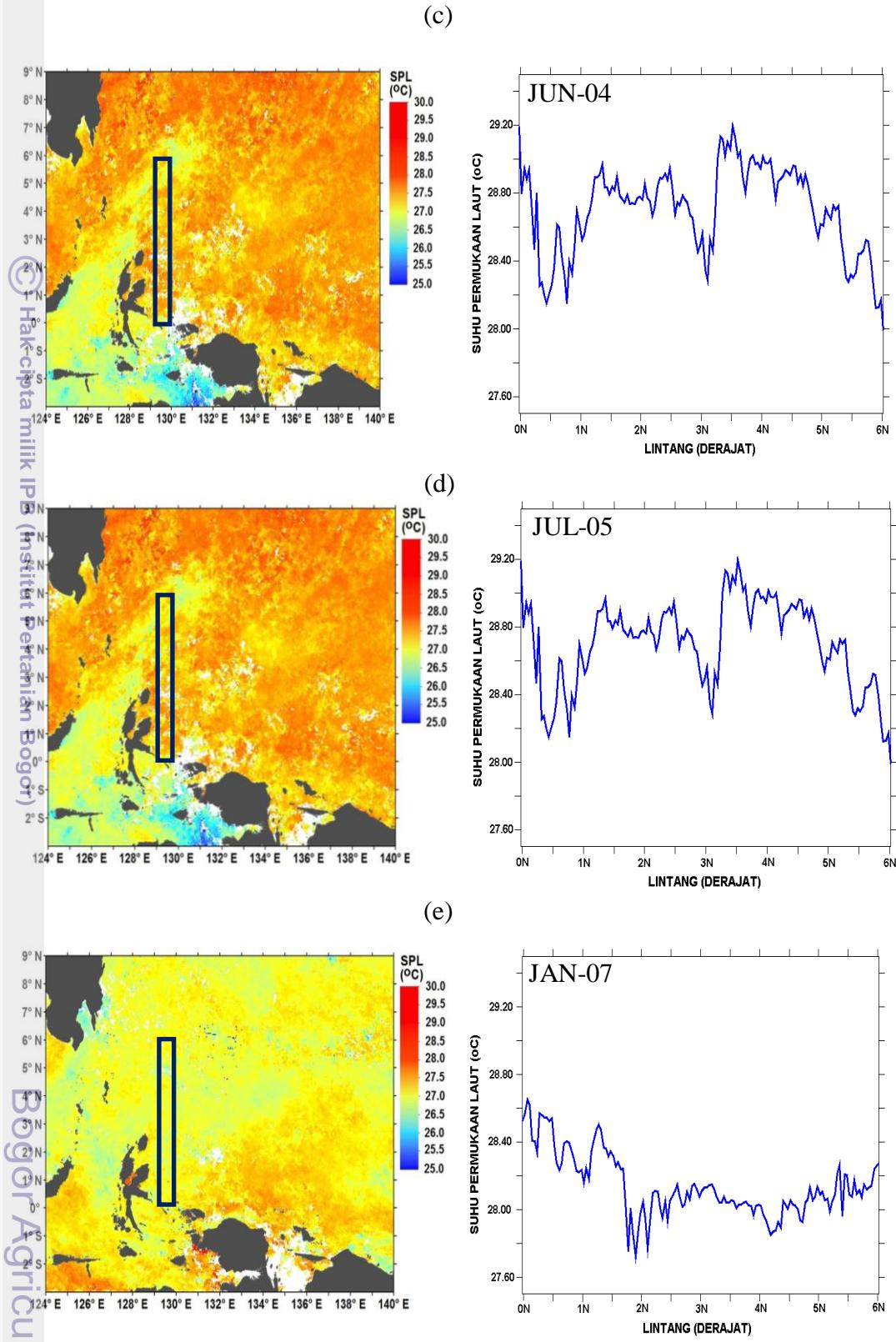
Pada Gambar 4.2 disajikan peta sebaran suhu permukaan laut pada pelayaran TOCS oleh KR Mirai yaitu bulan Juli 2002, Juni 2003, Juni 2004, Juli 2005, Januari 2007, Januari 2008 dan September 2011.



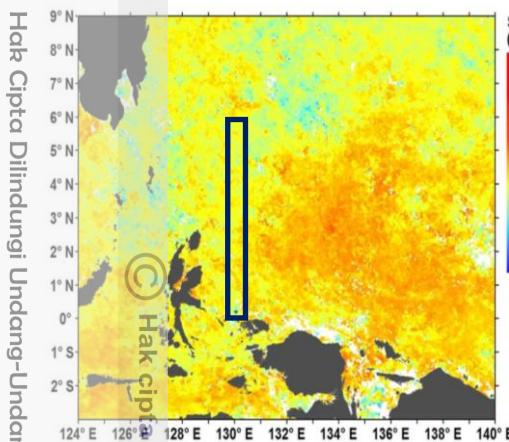
Gambar 4.2 Sebaran Suhu Permukaan Laut (SPL) sekitar wilayah kajian. Kotak biru adalah area sampling pengambilan data raut klorofil-a permukaannya (kiri). Raut SPL rata-rata antara 129.5E-130.5E dan dalam arah meridional 0°N-6°N (kanan).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

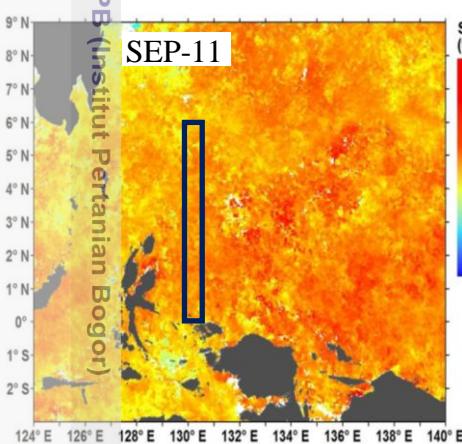
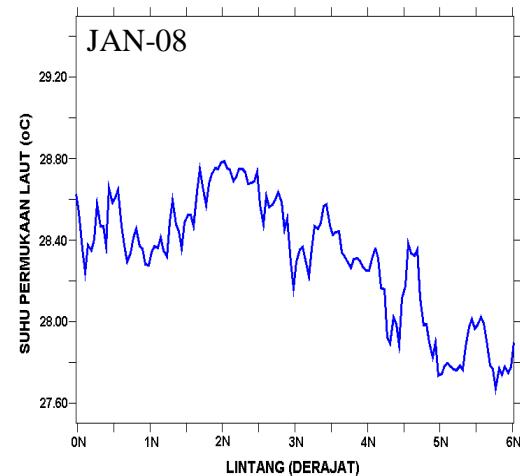
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



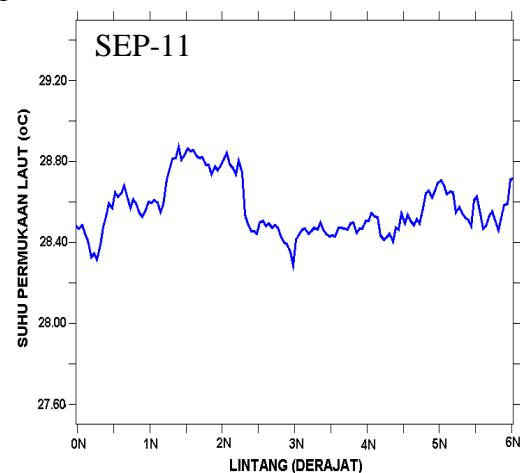
Gambar 4.2 Sebaran Suhu Permukaan Laut (SPL) sekitar wilayah kajian. Kotak biru adalah area sampling pengambilan data raut klorofil-a permukaannya (kiri). Raut SPL rata-rata antara 129.5E-130.5E dan dalam arah meridional 0°N-6°N (kanan) (lanjutan).



(f)



(g)



Gambar 4.2 Sebaran Suhu Permukaan Laut (SPL) sekitar wilayah kajian. Kotak biru adalah area sampling pengambilan data raut klorofil-a permukaannya (gambar kiri). Raut SPL rata-rata antara 129.5E-130.5E dan dalam arah meridional 0°N-6°N (gambar kanan) (lanjutan).

Suhu permukaan laut di wilayah kajian umumnya sangat hangat yang mencerminkan karakteristik WP terutama di wilayah perairan oseaniknya dengan kisaran antara 27°C – 30°C. Selama bulan Juli 2002, Juni 2003, Juni 2004 dan Juli 2005 perairan di Laut Banda hingga Laut Maluku terlihat mengalami penurunan suhu permukaan laut (berwarna biru) seperti pada Gambar 4.1 (a), (b), (c) dan (d)), berbeda dengan suhu permukaan laut pada Januari 2007, Januari 2008 dan September 2011 (Gambar 4.1 (e), (f) dan (g)). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pengaruh angin musiman yang kuat seperti diungkap oleh Wyrtki (1961) dan Birowo and Ilahude (1987) yang menyatakan bahwa selama musim tenggara, Laut Banda dan sekitarnya mengalami *up welling* yang cukup intensif ditandai dengan penurunan suhu permukaan laut di wilayah tersebut. Sedangkan selama periode musim barat laut,

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

suhu permukaan lautnya mengalami penghangatan dan terjadi pendalaman lapisan termoklin (*downwelling*).

Pengaruh yang sangat nyata dari *up welling* ini adalah adanya penyebaran SPL lebih dingin dari Laut Maluku yang masuk ke wilayah perairan ekuator Pasifik barat seperti terlihat pada Gambar 4.2 (a) sampai Gambar 4.2 (d). Namun kejadian ini tidak terlihat pada Januari 2007, Januari 2008 dan September 2011 (selama musim barat laut).

Suhu Permukaan Laut selama musim tenggara umumnya lebih hangat dibandingkan ketika musim barat laut seperti terlihat dari raut SPL pada Gambar 4.2 (a) sampai dengan Gambar 4.2 (d). Sedangkan selama periode El Niño (Gambar 4.2(a) dan Gambar 4.2(e)), SPL terlihat lebih dingin dibandingkan saat periode La Niña (Gambar 4.2(f)).

Jika dibandingkan dengan sebaran klorofil-a permukaan seperti pada Gambar 4.1 dan rona SPL pada Gambar 4.2, maka rona SPL tidak memberikan jejak yang tegas yang mengilustrasi adanya sirkulasi pusaran arus Halmahera. Hal ini diduga dikarenakan pola sebaran suhu permukaan laut lebih banyak dipengaruhi oleh karakterik WP di bagian timurnya yang mempunyai suhu permukaan laut sangat hangat dan resisten. Berbeda halnya pada kasus sebaran klorofil-a permukaan yang terlihat memberikan garis tegas sabuk klorofil-a tinggi yang dibawa oleh sirkulasi arus HE dengan lingkungan di luar pusarannya yang miskin klorofil. Hal inilah yang menyebabkan jejak pusaran HE pada parameter klorofil-a terlihat lebih jelas dan tegas. Kondisi ini menjadi dasar mengapa citra klorofil-a permukaan menjadi data utama dalam penelitian ini dan tidak menggunakan parameter SPLnya.

Sebagai eddy antisiklonik, HE mempunyai karakter dimana terjadi pemumpunan (*convergent*) massa air permukaan yang terkonsentrasi di pusat pusaran eddy, sehingga muka lautnya lebih tinggi di pusatnya dibandingkan perairan sekelilingnya (Pond and Pickard, 1983; Tomczak and Godfrey, 1993). Raut SPL terlihat lebih hangat dibagian tengah pusaran dibanding dengan bagian tepi pusarannya. Namun untuk raut klorofil-a permukaan terlihat lebih tinggi di bagian tepi luarnya dibandingkan dengan sisi tengahnya. Gambaran ini merupakan karakter umum yang dimiliki eddy dengan sifat antisiklonik (Kang *et al.*, 2004).

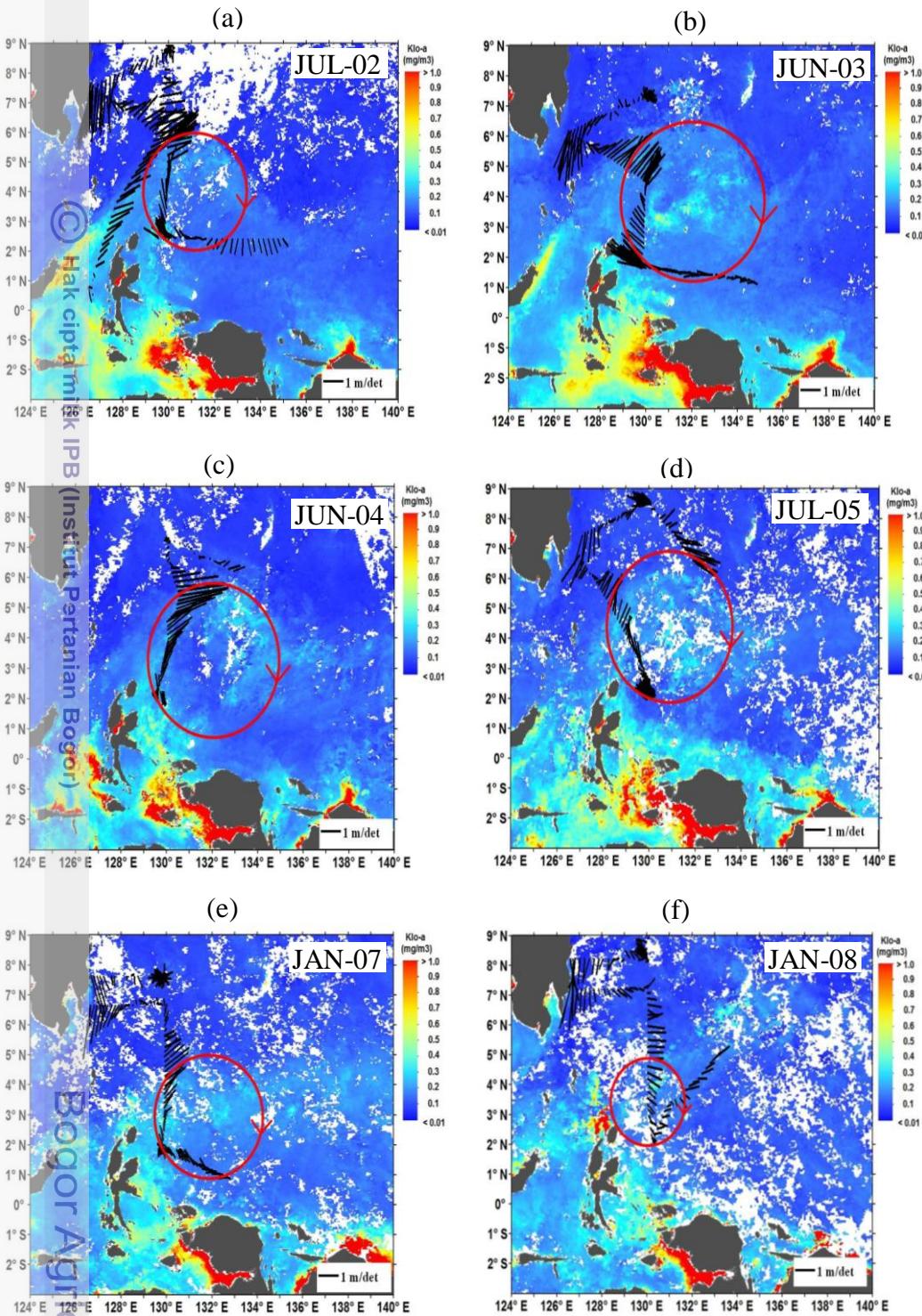
### Verifikasi Rona Halmahera Eddy dari Klorofil-a Permukaan

#### Sebaran Klorofil Permukaan - Arus Permukaan Data SADCP

Peta tumpangsusun sebaran klorofil-a permukaan dengan vektor arus permukaan (kedalaman 50 m) dari data *Shipboard ADCP* disajikan pada Gambar 4.3. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat pola sebaran klorofil-a permukaan secara konsisten diterangkan oleh vektor arus permukaan pada data SADCP.

Vektor arus pada bagian utara dan bagian baratnya terlihat arah timur-laut membawa klorofil permukaan tinggi dari Laut Maluku dan sisi timur pantai Halmahera masuk ke dalam sirkulasi arus HE. Sementara pada bagian sisi selatannya arus terlihat kearah barat-laut membawa klorofil permukaan tinggi dari perairan sekitar Selat Halmahera untuk bergabung bersama massa air

klorofil tinggi dari Laut Maluku yang kemudian masuk kedalam sirkulasi Halmahera Eddy.

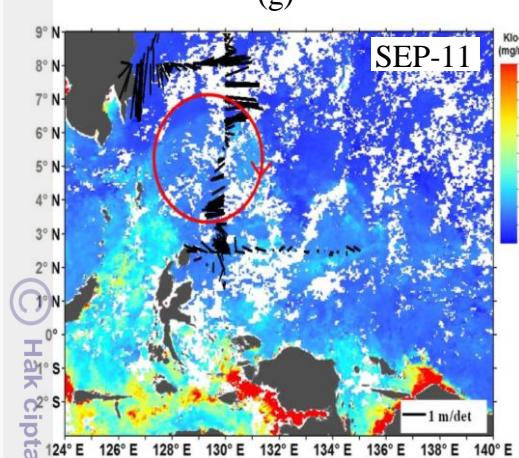


Gambar 4.3 Peta tumpang-susun sebaran klorofil-a permukaan dengan vektor arus permukaan *Shipboard ADCP*. Lingkaran merah merupakan pusaran arus Halmahera Eddy

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 4.3 Peta tumpang-susun sebaran klorofil-a permukaan dengan vektor arus permukaan *Shipboard ADCP*. Lingkaran merah merupakan pusaran arus Halmahera Eddy (lanjutan)

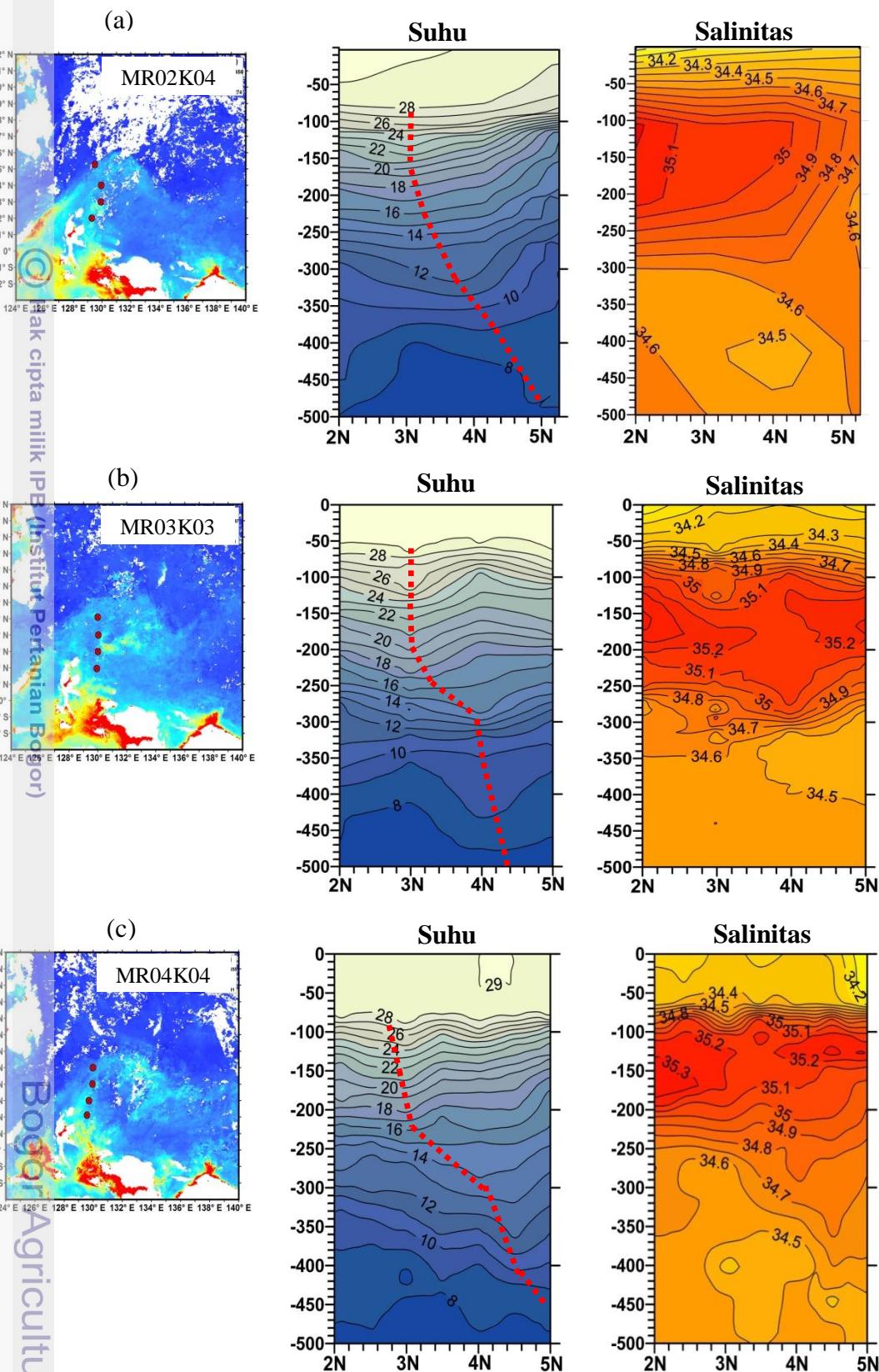
### Sebaran Melintang Suhu dan Salinitas Profil Suhu

Pada Gambar 4.4 diperlihatkan sebaran melintang suhu dan salinitas dari data XCTD dan CTD yang memotong bagian dari sirkulasi arus HE saat pelayaran TOCS dengan KR. Mirai.

Selama pelayaran MR02K04 Juli 2002, MR03K03 Juni 2003, MR04-03 Juni 2004 dan MR05-03 Juli 2005 yang dilaksanakan saat musim tenggara, lapisan tercampur (*mixing layer*) terlihat lebih tebal dibandingkan pada pelayaran MR06-05 Januari 2007 dan MR07-07 Januari 2008 yang dilaksanakan saat musim barat laut. Isoterm 28°C terlihat berada di sekitar kedalaman antara 75 m – 100 m selama Juli 2002, Juni 2003, Juni 2004 dan Juli 2005. Lapisan tercampur paling dalam terjadi pada pelayaran MR11-06 September 2011 dimana isoterm 28°C berada disekitar 100 m. Hal ini menunjukkan bahwa selama periode musim tenggara terjadi pendalaman lapisan termoklin, sedangkan selama musim barat laut terjadi pendangkalan lapisan termoklin. Perubahan kondisi lapisan permukaan ini sangat terkait dengan sistem angin yang berlaku di wilayah kajian dimana angin muson sangat kuat pengaruhnya (Wyrtki, 1961; Matsumoto and Yamagata, 1991; Kashino *et al.*, 2003).

Pada sebaran melintang suhu, dari semua gambar terlihat garis-garis isolerm mengalami perenggangan dan menekan kearah bawah. Karakter suhu ini menunjukkan adanya pengumpulan massa air di lapisan atas yang umumnya lebih hangat dan salinitas lebih rendah dan ini sangat jelas terjadi di lintang antara 3°N sampai 5°N. Hal ini konsisten dengan uraian yang telah dijelaskan pada raut SPL seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2 diatas.

Selain terjadi proses penebalan dan penipisan lapisan tercampur, pendalaman dan pendangkalan lapisan termoklin, hal yang terlihat jelas adalah adanya isolerm yang tertekan ke bawah mulai dari lapisan termoklin hingga lapisan bawahnya. Lendutan isolerm ini bila ditarik garis ke bawah maka akan terlihat semakin bergeser ke utara (arah kanan pada Gambar 4.4).



Gambar 4.4 Sebaran stasiun CTD/XCTD dan sebaran melintang suhu dan salinitas pada pelayaran TOCS oleh KR Mirai

- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
- Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

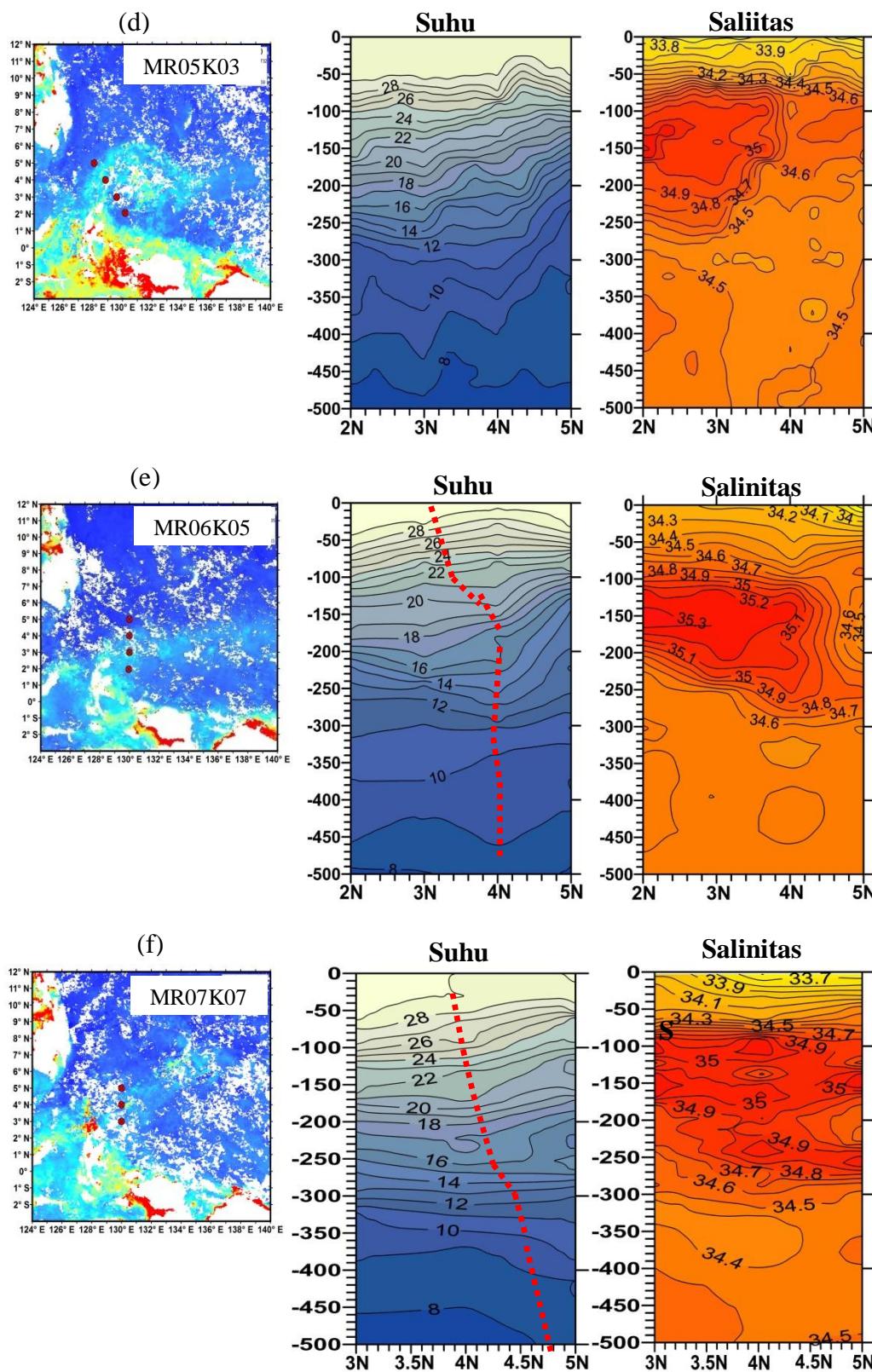
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

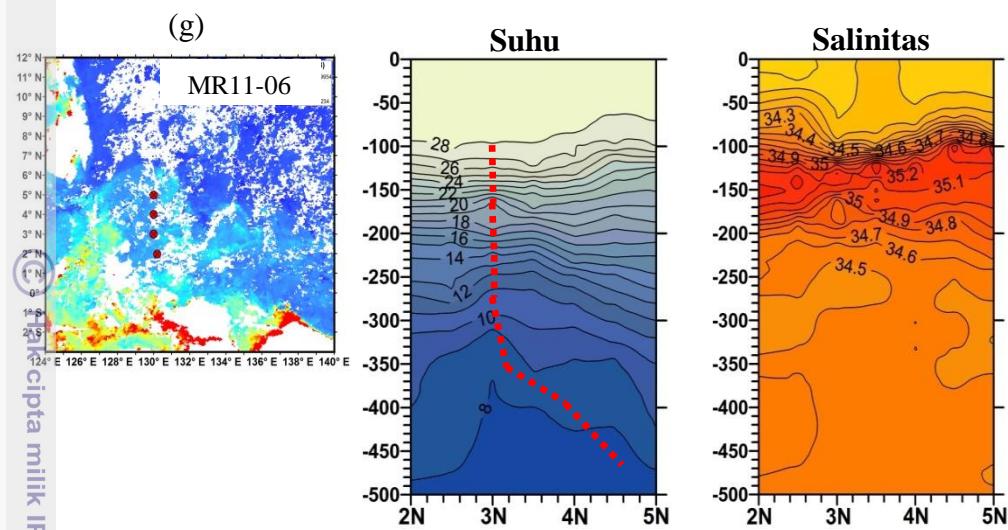
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University



Gambar 4.4 Sebaran stasiun CTD/XCTD dan sebaran melintang suhu dan salinitas pada pelayaran TOCS oleh KR Mirai (lanjutan)



Gambar 4.4 Sebaran stasiun CTD/XCTD dan sebaran melintang suhu dan salinitas pada pelayaran TOCS oleh KR Mirai (lanjutan)

Pada lapisan termoklin atas sekitar kedalaman 100 m, lendutan isoterm ini berada kira-kira di lintang 3°N, seiring dengan meningkatnya kedalaman lendutan ini berada di sekitar lintang 5°N pada kedalaman 500 m. Sebaran melintang suhu ini menggambarkan adanya pergeseran ke utara (atau ke kanan dalam gambar) pusat Halmahera Eddy seperti yang telah dijelaskan oleh Kashino *et al.* (2013) bahwa struktur Halmahera Eddy ke bawah adalah berbentuk seperti kerucut terbalik dengan pusat sirkulasi bergeser ke barat laut seiring dengan meningkatnya kedalaman.

### Profil Salinitas

Sebaran melintang salinitas badan air di bawah sirkulasi Halmahera Eddy seperti terlihat pada Gambar 4.4 di atas menunjukkan hadirnya beberapa massa air salinitas tinggi dari kedua belah Samudera Pasifik. Pada kedalaman antara 75 m sampai 250 m, terdapat dua lapisan gumbar (*core layer*) salinitas tinggi terutama sangat terlihat jelas pada pelayaran MR03-K03 Juni 2003, MR04-03 Juni 2004, MR05-03 Juli 2005 dan MR06-05 Januari 2007. Gumbar salinitas tinggi pada sisi selatan (atau sisi kiri pada peta) mempunyai salinitas lebih tinggi (sekitar 35.4 PSU) dibanding gumbar salinitas tinggi dari sisi utaranya (sisi kanan pada peta) yaitu sekitar 35.2 PSU. Menurut Kashino *et al.* (1996), gumbar salinitas tinggi ini adalah massa air *South Pacific Tropical Water* (SPTW) yang terdapat pada sisi selatan dan massa air *North Pacific Tropical Water* (NPTW) pada sisi utaranya. *South Pacific Tropical Water* (SPTW) masuk ke wilayah ini dibawa oleh *New Guinea Coastal Under Current* (NGCUC) sedangkan NPTW dibawa oleh Arus Mindanao (*Mindanao Current*). Ditambahkan oleh Christian *et al.* (2004) massa air SPTW yang dibawa NGCUC memiliki kandungan nutrien yang tinggi serta pengkayaan unsur besi (*Fe*) dari aktivitas geothermal atau sedimen fluvial disepanjang pantai utara Papua.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Kashino *et al.* (1996) menjelaskan tentang peran HE sebagai agen pencampur massa air yang datang dari dua belahan bumi. Selain itu HE juga dalam pembentukan massa air Arus Lintas Indonesia (Arlindo) dan massa air Arus Sakal Katulistiwa Utara (NECC).

Berdasarkan hasil uraian tersebut di atas yang dimulai dari penjelasan citra sebaran klorofil-a permukaan, peta suhu permukaan laut, verifikasi kualitatif rona klorofil terhadap vektor arus SADCP, profil suhu dan salinitas bawah sirkulasi Halmahera Eddy memperkuat bukti bahwa rona klorofil yang membentuk sabuk klorofil tinggi di wilayah sekitar perairan Halmahera dan Mindanao merupakan bidang sirkulasi pusaran arus HE seperti yang telah dijelaskan Wyrtki (1961), Lukas *et al.* (1991), Fine *et al.* (1994) dan Kashino *et al.* (2013).

### Statistik Halmahera Eddy

Seri data sebaran klorofil permukaan dalam bentuk peta selama periode penelitian Juli 2002 sampai Desember 2012 disajikan pada halaman Lampiran 1 dari disertasi ini. Pada seri peta tersebut telah dilakukan pengamatan secara cermat, identifikasi, delineasi rona dan pengukuran karakteristik Halmahera Eddy. Rangkaian proses kegiatan ini sering dinamakan dengan metode sensus (Atmadipoera, 2013, komunikasi pribadi).

Sebanyak 126 seri data berupa citra sebaran klorofil-a permukaan telah dianalisis dan menghasilkan 118 data deret waktu berbagai parameter pengukuran meliputi posisi pusat pusaran, panjang diameter, karakter sabuk, konsentrasi klorofil pada sabuk dan tengah pusaran. Sisanya sebanyak 8 peta, pengukuran parameter tersebut tidak dapat dilakukan karena rona klorofil-a pada citra tidak memberikan jejak tegas yang menggambarkan adanya sirkulasi Halmahera Eddy, sehingga proses delineasi sulit dilakukan. Untuk mengisi kekosongan data tersebut dilakukan interpolasi secara linear.

Hasil pencatatan data statistik Halmahera Eddy dari metode sensus, secara ringkas disajikan pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Ringkasan Statistik Data Hasil Metode Sensus

Parameter Di ukur	Maksimum	Minimum	Rerata	Deviasi Standar
Posisi Paling Utara	5.4°N	-	-	-
Posisi Paling Selatan	1.9°N	-	-	-
Diameter Meridinal (km)	725	297	520	91.5
Diameter Zonal (km)	731	338	517	90.1
Konsentrasi Klorofil Permukaan (mg/m <sup>3</sup> )	0.9	0.1	0.3	0.1

Sumber: Hasil Analisis (2013)

Selama periode penelitian dari Juli 2002 sampai Desember 2012, HE diketahui mengalami pergeseran dimana posisi pusat Halmahera Eddy berada di wilayah paling utara adalah 5.43°N/129.31°E terjadi pada bulan Desember 2008, sedang posisi paling selatan pusat pusarannya berada pada 1.85°N/130.13°E pada bulan September 2009. Diameter Halmahera terlihat berfluktuasi mengikuti perkembangan evolusinya. Panjang diameter dalam arah



zonal berkisar antara 338-731 km sedangkan arah meridionalnya berkisar 297-725 km. Hasil pengukuran ini tidak berbeda jauh dengan investigasi yang dilakukan oleh Lukas *et. al* (1991) dan Kashino *et. al* (1999) yang menyatakan bahwa diameter Halmahera Eddy pada lapisan permukaan adalah sekitar 300 - 500 km.

Penjelasan tentang perkembangan dan pergeseran Halmahera Eddy akan dijelaskan dalam Bab V dari bagian disertasi ini.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## 5. ANALISIS PERKEMBANGAN DAN PERGESERAN HALMAHERA EDDY

### Abstraksi

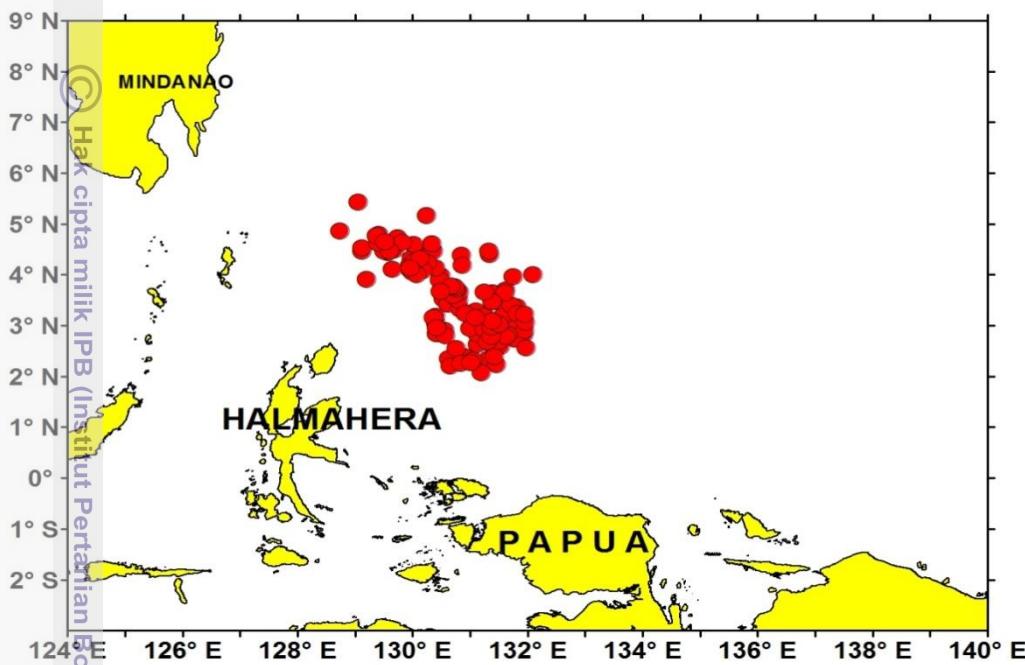
Penelitian tentang perkembangan dan pergeseran Halmahera Eddy menggunakan citra klorofil-a permukaan Aqua MODIS dan data altimetri Jason-1 telah dilaksanakan selama kurun waktu hampir satu dasawarsa 2002 - 2012. Data statistik Halmahera Eddy diperoleh berdasarkan metode sensus hasil pengukuran terhadap karakter permukaan Halmahera Eddy dari rona klorofil-a permukaan yang terbentuk akibat pusaran arusnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Halmahera Eddy mempunyai wilayah pergeseran yang membentuk sumbu tenggara – barat laut dengan jarak antar titik pusat terjauh 446 km. Diameter Halmahera Eddy diketahui rata-rata sekitar 520 km. Dalam skala musiman (*seasonal*), Halmahera Eddy bergeser ke barat laut selama musim tenggara dan bergeser ke tenggara selama musim barat laut. Pada skala antar-tahunan (*inter-annual*), Halmahera Eddy bergeser ke barat laut selama even La Niña dan ke tenggara selama even El Niño. Pengaruh faktor musiman dan faktor antar-tahunan sangat kuat mempengaruhi pergeseran Halmahera Eddy. Dalam arah meridional, faktor musiman sedikit lebih kuat dibandingkan faktor antar-tahunan. Sedangkan dalam arah zonal, faktor antar-tahunan sedikit lebih kuat dibandingkan faktor musimannya. Dalam skala ruang, pola bulanan pergerakan titik pusat Halmahera Eddy memperlihatkan arah pergerakan berlawanan jarum jam. Pola pergerakan Halmahera Eddy dipengaruhi oleh *Southern Oscillation Index* (SOI) terkait dengan relaksasi kolam panas dari barat ke Pasifik tengah dan sebaliknya. Analisis pada data altimetri Jason-1 lintasan # 253 menunjukkan karakteristik pergerakan Halmahera Eddy dapat dikenali dengan anomali muka laut tinggi pada pusat pusaran Halmahera Eddy.

Kata kunci: Halmahera Eddy, klorofil-a permukaan, variasi musiman dan antar tahunan, La Niña, El Niño, SOI, Kolam Panas

## Peta Sebaran Pusat Halmahera Eddy dari Citra Klorofil-a Permukaan

Penjelasan tentang hasil pengambilan data statistik karakter Halmahera Eddy dengan metode sensus telah dijelaskan pada Bab IV sebelumnya.

Peta sebaran 118 titik pusat HE selama periode penelitian disajikan pada Gambar 5.1 dibawah ini.



Gambar 5.1. Sebaran Titik Pusat Halmahera Eddy bulanan periode Juli 2002 – Desember 2012

Berdasarkan peta di atas, terlihat bahwa HE mengalami pergerakan aktif di sekitar perairan Halmahera dan Mindanao, konsisten dengan hasil penelitian Kashino *et al.* (1999) dan Kashino *et al.* (2013). Halmahera Eddy mengalami pergeseran (*shifting*) dengan membentuk sumbu pergerakan arah tenggara-barat laut atau membentuk sudut sekitar 315°. Posisi paling barat laut pusat HE berada pada posisi 5.47°N / 129.69°E terjadi pada Desember 2008 dan posisi paling tenggara berada pada 2.081°N/ 131.20°E terjadi pada Januari 2010. Pola sebaran titik pusat HE terlihat mengarah sumbu tenggara-barat laut dengan panjang sumbu maksimum 446 km.

Adanya pola pergerakan pada sumbu tenggara-barat laut ini disebabkan akibat bentuk geometri daratan di sebelah baratnya dan akibat adanya pengaruh Arlindo. Menurut Arruda and Nof (2003) pembentukan Mindanao Eddy (ME) dan Halmahera Eddy (HE) terjadi akibat tumbukan non-linear antara dua arus utama *Mindanao Current* (MC) dari Belahan Bumi Utara (BBU) dan *New Guinea Coastal Current* (NGCC)/ *New Guinea Coastal Under Current* (NGCUC) dari Belahan Bumi Selatan (BBS). Titik pertemuan arus ini bergerak mengikuti geometri daratan benua antara Mindanao dan Papua dan fluktuasi besar kekuatan dua arus pembentuknya MC dan NGCC/NGCUC. Kashino (2011, komunikasi pribadi) mengatakan bahwa Arlindo adalah kunci dari

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, pengembangan teknologi atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

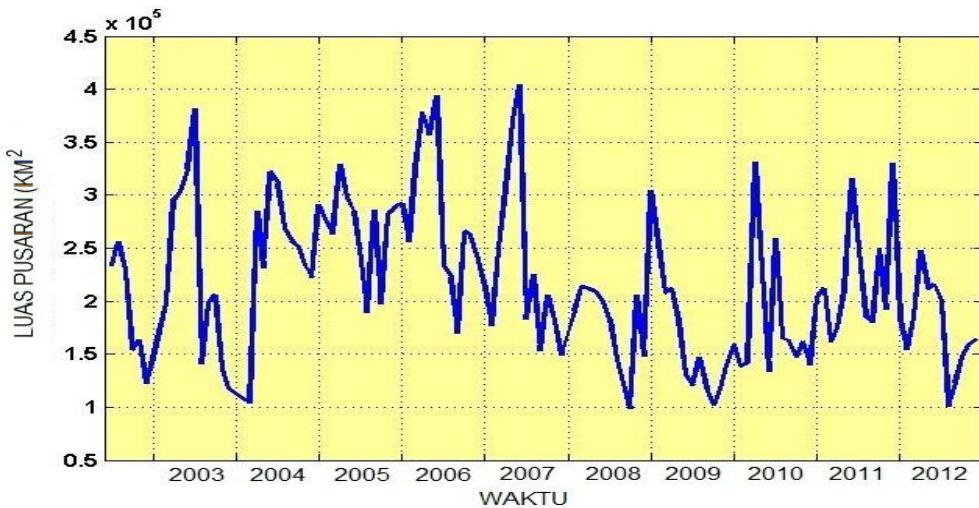
terbentuknya ME dan HE. Jika tidak ada kebocoran (dalam hal ini tidak ada Arlindo) maka tidak akan ada dua eddy (ME dan HE) ini.

## Perkembangan dan Pergeseran Halmahera Eddy

### Perkembangan Halmahera Eddy

Halmahera Eddy mengalami perkembangan dan pelemahan selama siklus hidupnya (*life cycle*) yang sangat dipengaruhi sistem angin muson musiman yang berlaku di wilayah ini (Wyrki, 1961; Kashino *et al.*, 1999; Heron *et al.*, 2006; Kashino *et al.*, 2013). Dalam penelitian ini, perkembangan Halmahera Eddy ditentukan berdasarkan luas lingkaran dengan panjang jarinya diperoleh dari panjang diameternya. Sirkulasi Halmahera Eddy diasumsikan sebagai sebuah lingkaran utuh yang didasarkan pada hasil pengukuran terhadap diameter meridional (arah utara-selatan) sebesar 520 km dan diameter zonal (arah timur-barat) sebesar 517 km dengan selisih nilai rata-rata yang tidak jauh perbedaanya yaitu 2 kilometer (seperti terlihat pada Tabel 4.1 pada Bab IV).

Pada Gambar 5.2 disajikan grafik perkembangan Halmahera Eddy yang dihitung berdasarkan luas lingkaran dari hasil pengukuran terhadap diameter pusarannya seperti telah dijelaskan di atas.

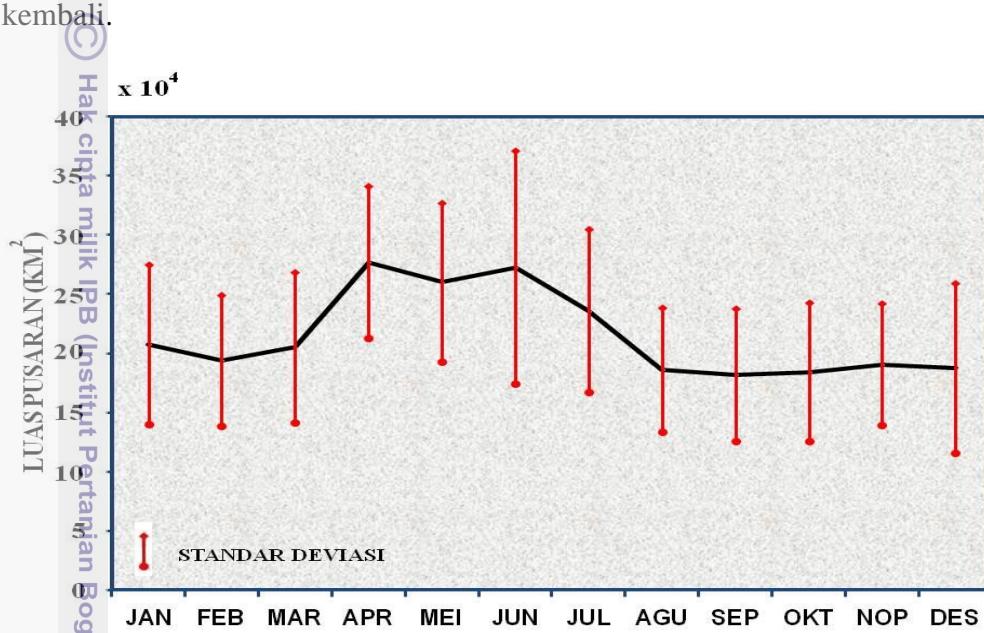


Gambar 5.2 Grafik luas pusaran Halmahera Eddy ( $\text{km}^2$ ) selama periode 2002 – 2012

Berdasarkan gambar di atas, diperlihatkan bahwa HE mengalami pembesaran ukuran pusaran atau mengalami penguatan dan pengecilan ukuran atau pelemahan. Selama periode penelitian tersebut, HE mengalami perkembangan maksimum dengan luas pusaran paling besar pada Juni 2007 yaitu sekitar  $404.123 \text{ km}^2$  dan mengalami pelemahan maksimum dengan luas pusaran paling kecil pada Oktober 2008 yaitu sekitar  $98.374 \text{ km}^2$ .

### Pola bulanan perkembangan Halmahera Eddy

Pada Gambar 5.3 diperlihatkan pola bulanan (klimatologi bulanan) perkembangan HE yang dihitung berdasarkan data deret waktu terhadap luas pusaran HE selama periode penelitian. Berdasarkan gambar tersebut ditunjukkan bahwa HE mengalami perkembangan selama periode April hingga Juni. Pada Juli HE terlihat mulai mengalami pelemahan yang ditunjukkan dengan penurunan luas pusaran. Pada periode Agustus hingga Februari, HE mengalami pelemahan dan pada Maret HE mulai mengalami perkembangan kembali.



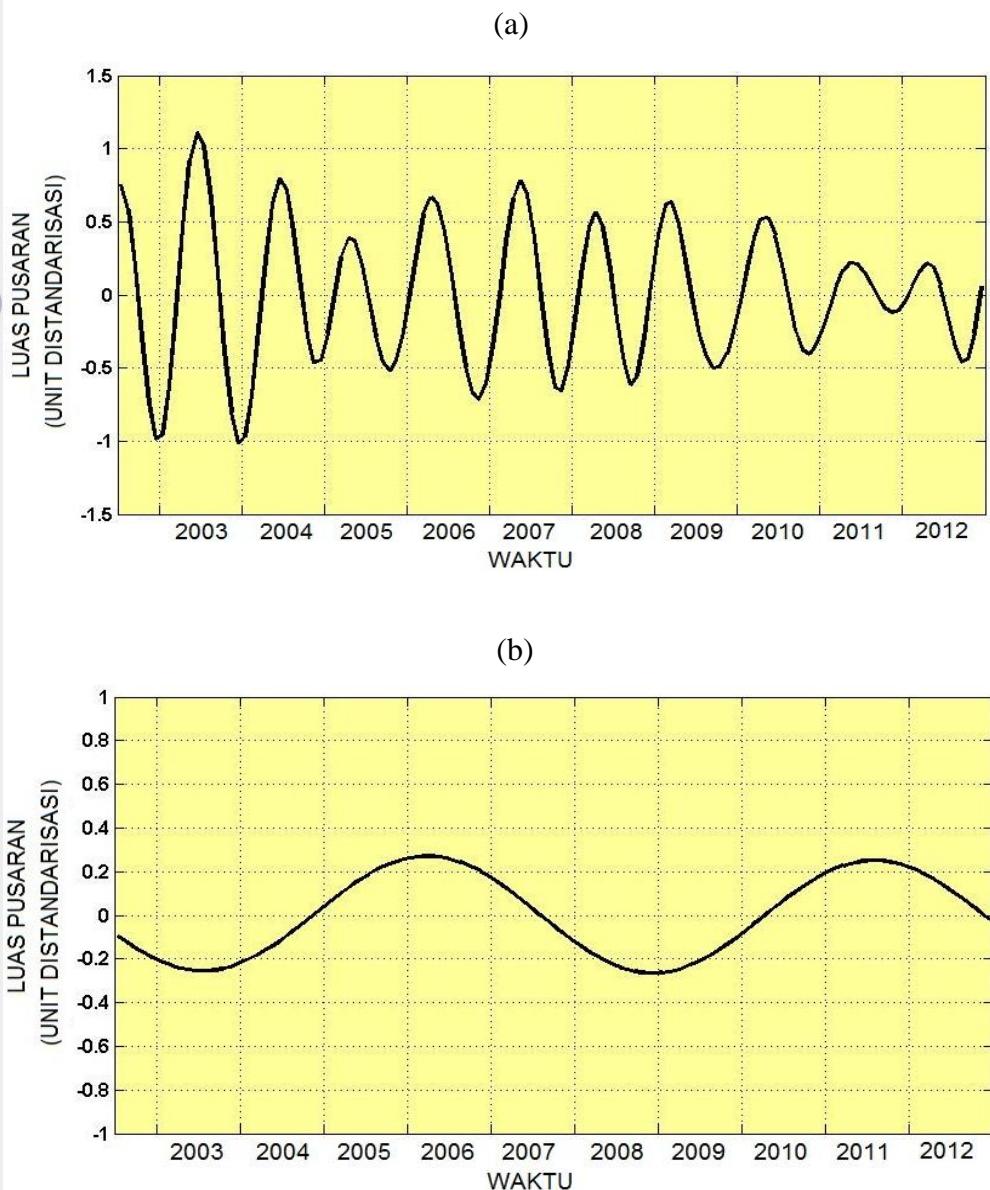
**Gambar 5.3** Pola rerata bulanan perkembangan Halmahera Eddy berdasarkan luasan pusaran Halmahera Eddy (garis merah tegak adalah simpangan baku) selama periode 2002 – 2012.

### Variasi Musiman dan Antar-tahunan Perkembangan Halmahera Eddy

Variabilitas musiman (*seasonal*) dan antar-tahunan (*inter-annual*) perkembangan HE disajikan pada Gambar 5.4.

Variasi musiman seperti tersaji pada Gambar 5.4(a), menunjukkan bahwa HE secara umum mencapai perkembangan maksimum menjelang pertengahan tahun (sekitar Maret-Juni) dan mengalami pelemahan pada Agustus hingga menjelang akhir dan awal tahun. Menurut Wyrtki (1961) HE hanya berkembang dari Mei hingga Oktober, sedangkan Woworuntu (1999) dalam Arruda and Nof (2003) menyebutkan bahwa selama Desember-Februari hampir tidak ada HE. Kashino *et al.* (1991) dan Kashino *et al.* (2013) menunjukkan bahwa selama musim tenggara, HE berkembang mencapai puncaknya sedangkan selama musim barat laut HE mengalami pelemahan.

Variasi musiman terbesar selama periode penelitian terjadi pada 2003 dan terkecil (fase *calm*) pada 2011. Perubahan amplitudo variasi musiman ini diduga akibat pengaruh adanya perubahan fase faktor-faktor penyebab variasi musiman sendiri seperti dalam-musiman (*intra-seasonal*), setengah-tahunan (*semi-annual*) maupun tahunan (*annual*).



Gambar 5.4 Variasi (a) Musiman dan (b) Antar-tahunan Perkembangan Halmahera Eddy Selama Periode Penelitian

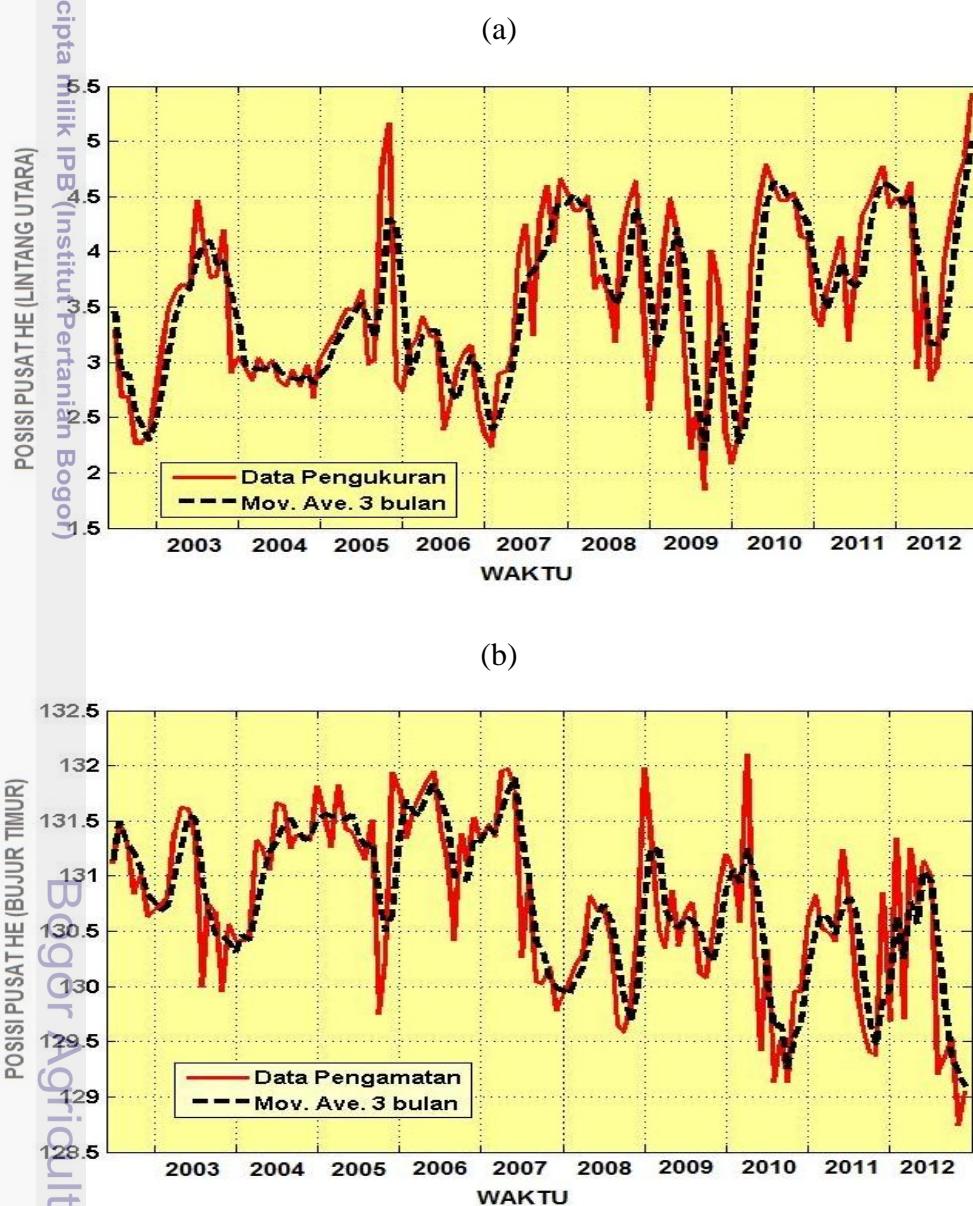
Dalam skala antar-tahunan (*inter-annual*) seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4(b), HE mengalami perkembangan maksimum pada awal 2006 dan 2011 serta mengalami pelemahan pada 2003 dan antara 2008-2009. Variasi antar-tahunan ini diduga terkait dengan pengaruh *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), dikarenakan perairan wilayah kajian sebagai bagian dari kolam panas (*Warm Pool*) yang merupakan sumber variabilitas ENSO.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

### Pergeseran Halmahera Eddy

Halmahera Eddy sebagai antisiklonik eddy selain mengalami perkembangan juga bergerak aktif dengan melakukan pergeseran akibat pengaruh dinamika atmosfir (Kashino *et al.*, 1999; Kashino *et al.*, 2013).

Pada Gambar 5.5 disajikan grafik deret waktu posisi HE yang dipisahkan dalam arah meridional dan arah zonal. Analisis deret waktu pergeseran HE ini mengacu pada data statistik hasil sensus yang terdapat pada Lampiran 1, dimana data posisi pusat HE dipisahkan kedalam kelompok pergeseran meridional (arah utara-selatan) dan pergeseran zonal (arah timur-barat). Dengan demikian variasi skala waktu yang mempengaruhi pergerakan HE dapat diidentifikasi lebih mudah.



Gambar 5.5 Grafik pergeseran Halmahera Eddy bulanan (warna merah) dan rataan 3-bulanan (hitam putus-putus) a) meridional dan b) zonal

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

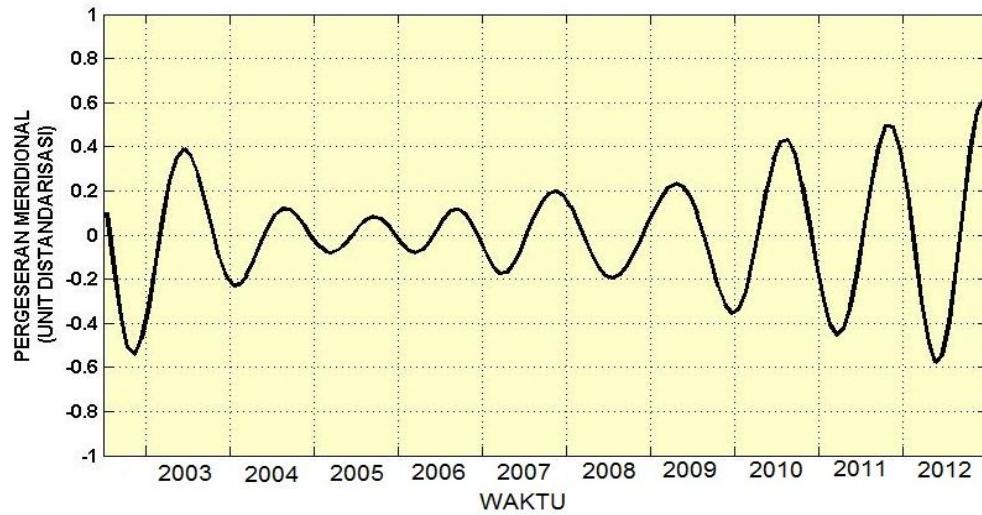
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Berdasarkan Gambar 5.5 tersebut, ditunjukkan bahwa HE mengalami pergerakan dalam arah meridional dan arah zonal. Dalam arah meridional, pergeseran HE berada diantara posisi lintang paling selatan berada di  $1.848^{\circ}\text{N}$  dan posisi lintang paling utara di  $5.437^{\circ}\text{N}$ , sedangkan dalam arah zonal, HE berada pada posisi paling barat disekitar bujur  $128.729^{\circ}\text{E}$  dan paling timur di bujur  $132.104^{\circ}\text{E}$ .

### Pergeseran Meridional Variasi musiman (*seasonal*)

Pada Gambar 5.6 disajikan grafik variasi musiman pergeseran meridional

HE



Gambar 5.6 Variasi musiman pergeseran meridional Halmahera Eddy

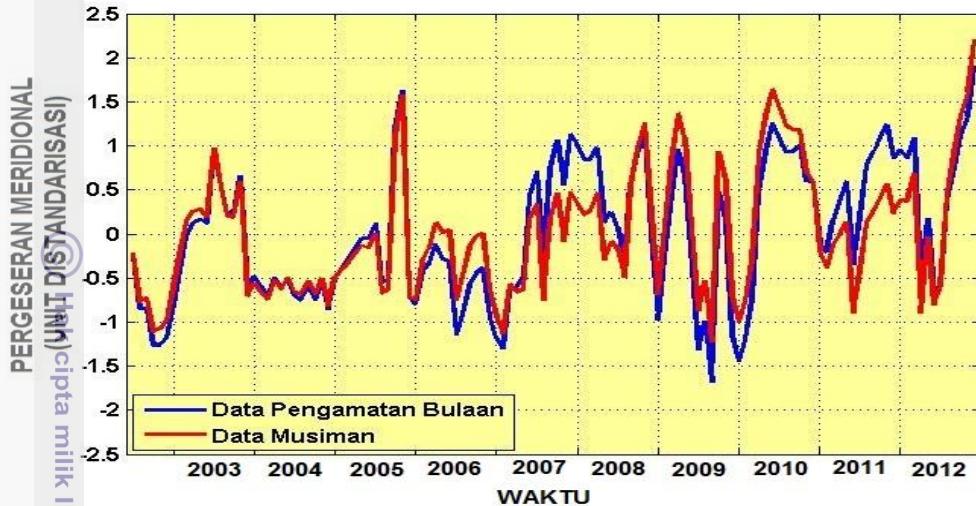
Variasi musiman pergeseran meridional menunjukkan adanya pergeseran fase dan perubahan besar amplitudo.

Pada awal tahun penelitian, posisi paling selatan titik pusat HE berada di sekitar akhir tahun 2002, tahun 2004 terjadi di awal tahun, tahun 2005 mendekati pertangahan tahun dan pada tahun-tahun berikutnya terlihat posisi paling selatan pusat HE terjadi pada tahun dimana bulan kejadiannya selalu mundur. Demikian halnya kejadian pusat HE saat berada di posisi paling utara.

Fluktuasi amplitudo pada variasi musiman juga terlihat bervariatif dengan kisaran paling besar terjadi pada tahun 2012 dan terkecil pada tahun 2005. Selama 2004 sampai 2006 amplitudo mengalami fase tenang (*calm*). Adanya perubahan fase dan amplitudo dalam variasi musiman pergeseran meridional HE ini juga terkait dengan faktor penyusun variabilitas musiman sendiri seperti faktor *Madden Julian Oscillation* (MJO), dalam skala dalam-musiman (*intra-seasonal*), muson dalam skala setengah-tahunan (*semi-annual*) dan variasi tahunan (*annual*) seperti gelombang Rossby dan Gelombang Kelvin.

Pada Gambar 5.7 diperlihatkan grafik tumpangsusun data pengamatan bulanan dengan data musiman didasarkan pada hasil analisis harmonik. Analisis tersebut menunjukkan bahwa variasi musiman mempunyai pengaruh yang berbeda-beda kekuatannya sepanjang periode pengamatan. Pengaruh paling kuat terjadi pada peralihan antara tahun 2007-2008 dan peralihan tahun 2011-2012.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

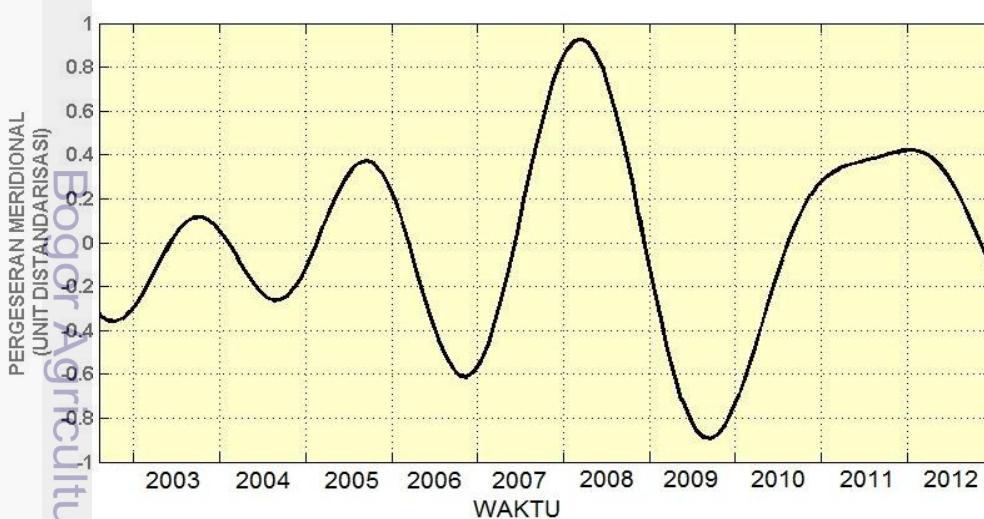


Gambar 5.7 Grafik tumpangsusun pergeseran meridional pusat Halmahera Eddy data bulanan dan data musiman.

Besar kecilnya pengaruh musiman ini ditunjukkan dengan perbedaan atau selisih amplitudo yang lebih besar antara data bulanan dengan data musiman. Semakin besar perbedaan amplitudo dan fasenya maka semakin kuat pula pengaruh musiman selama periode waktu tersebut. Variabilitas musiman di wilayah kajian sangat terkait dengan pengaruh muson sebagai akibat perbedaan tekanan udara antara daratan Asia dan Australia (Wyrtki, 1961).

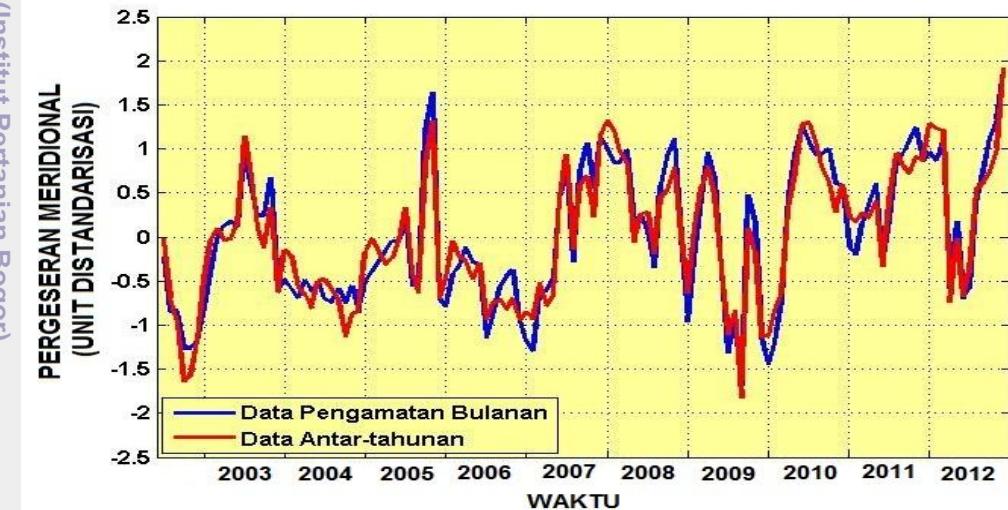
#### Variasi antar-tahunan (*inter-annual*)

Pada Gambar 5.8 disajikan grafik variasi antar-tahunan pergeseran meridional HE.



Gambar 5.8 Variasi antar-tahunan pergeseran meridional Halmahera Eddy

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 5.9 Grafik tumpangsusun pergeseran meridional pusat Halmahera Eddy data bulanan dengan data antar-tahunan.

### Pengaruh musiman dan antar-tahunan terhadap pergeseran meridional Halmahera Eddy

Pengaruh faktor musiman (*seasonal*) dan antar-tahunan (*inter-annual*) terhadap pergeseran meridional HE dihitung berdasarkan ketidaksesuaian (*discrepancy*) antara data bulanan dan data musiman atau data antar-tahunan. Besar ketidaksesuaian ini dihitung berdasarkan nilai koefisien korelasi antara data deret waktu parameter yang dibandingkan. Semakin besar ketidaksesuaian antar data yang dibandingkan (nilai koefisien korelasinya makin rendah) maka semakin besar pula pengaruhnya di antara kedua data deret waktu tersebut.

Hasil uji korelasi pada taraf kepercayaan 95% pada data bulanan dengan data musiman diperoleh nilai koefisien  $r$  sebesar 0.90. Sedangkan uji korelasi data bulanan dengan data antar-tahunan diperoleh nilai koefisien korelasi  $r$  sebesar 0.95. Berdasarkan nilai koefisien korelasi  $r$  tersebut, menunjukkan bahwa pengaruh musiman dan antar-tahunan sangat kuat berpengaruh terhadap

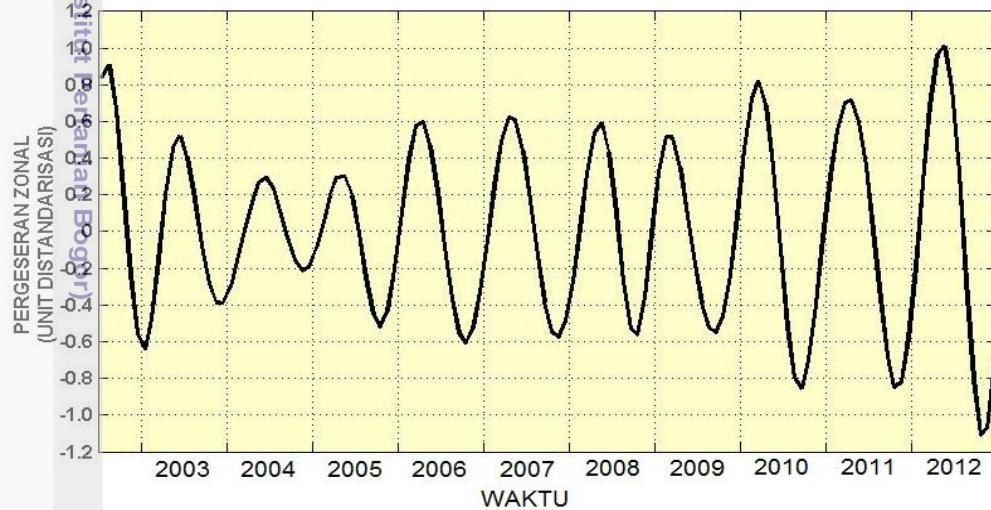
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

pergeseran meridional HE. Faktor musiman terlihat sedikit lebih besar pengaruhnya dibandingkan faktor antar-tahunan.

Menurut Kashino *et. al* (1999) variabilitas oceanografi di sekitar wilayah antara New Guinea dan Mindanao sangat dipengaruhi oleh besarnya sinyal musiman. Sedangkan Masumoto and Yamagata (1991) dengan menggunakan model memperlihatkan besarnya pengaruh muson terhadap meningkatnya kekuatan Kubah Mindanao (*Mindanao Dome*) ketika *positive wind stress curl* di Laut Filipina berasosiasi dengan muson timur laut Asia ketika musim barat laut dan mengalami pelembahan akibat penjalaran anomali suhu hangat dar timur. Perkembangan dan pelembahan Halmahera Eddy sangat terkait dengan dinamika Mindanao Dome disebelah utaranya (Kashino *et al.*, 2011)

### Pergeseran Zonal Variasi musiman

Pada Gambar 5.10 disajikan grafik variasi musiman pada pergeseran zonal Halmahera Eddy.



Gambar 5.10 Variasi musiman pergeseran zonal Halmahera Eddy

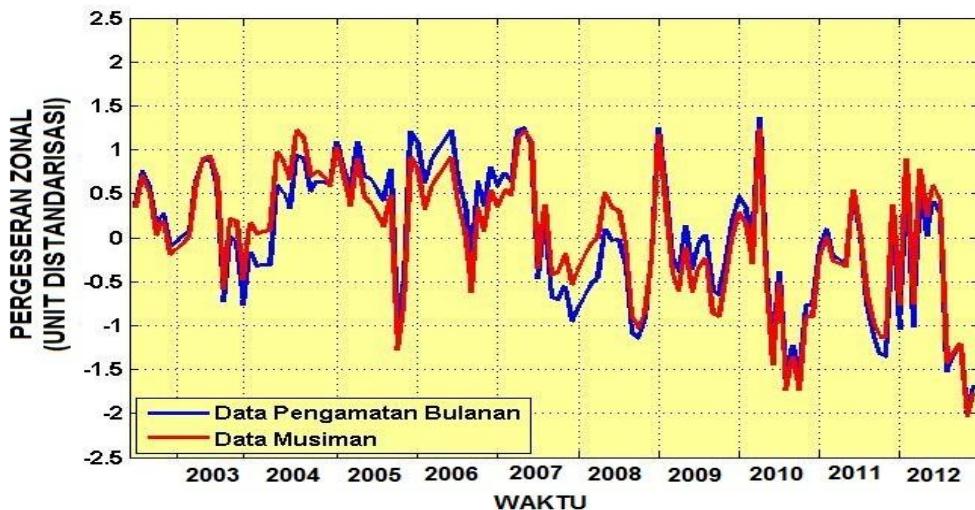
Variasi musiman pergeseran zonal HE menunjukkan bahwa HE bergeser ke timur sekitar pertengahan tahun dan bergeser ke barat sekitar akhir tahun. Dalam variasi musiman tersebut terlihat fasanya tidak banyak berubah namun terlihat adanya perubahan amplitudo dengan kisaran amplitudo terbesar pada 2012 dan terkecil pada 2004 dan 2005.

Pergeseran arah zonal HE skala musiman ini juga terkait dengan faktor-faktor penyusun variabilitas musiman sendiri seperti akibat pengaruh *Madden Julian Oscillation* (MJO) dalam skala dalam-musiman , muson dalam skala setangah-tahunan (*semi-annual*) dan variasi tahunan (*annual*) seperti gelombang Rossby dan Gelombang Kelvin. Kompleksnya pengaruh ketiga faktor tersebut terlihat dari variasi amplitudo terhadap waktunya.

Pada Gambar 5.11 disajikan grafik tumpangsusun data pengamatan bulanan dengan data musiman yang didasarkan pada hasil analisis harmonik.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

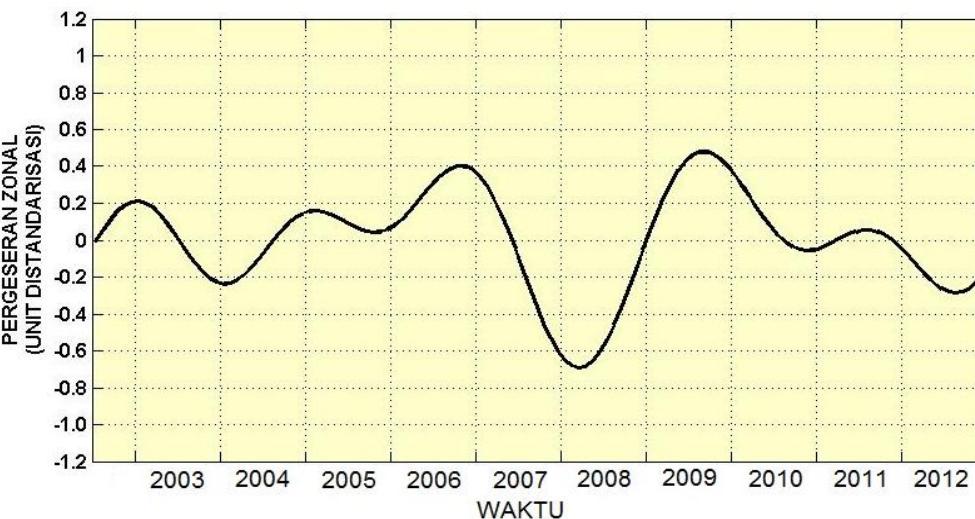
Analisis tersebut menunjukkan bahwa variasi musiman mempunyai pengaruh kekuatan yang berbeda-beda. Pengaruh paling kuat terjadi antara tahun 2004-2006 dan tahun 2007-2008.



Gambar 5.11 Grafik tumpangsusun pergeseran zonal pusat Halmahera Eddy data bulanan dan musiman.

### Variasi antar-tahunan

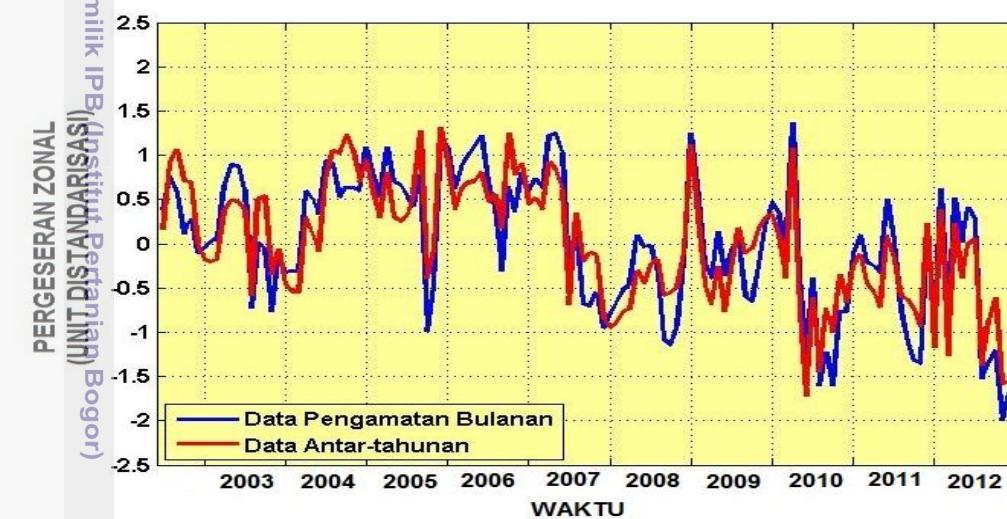
Pada Gambar 5.12 disajikan grafik variasi antar-tahunan pergeseran zonal HE.



Gambar 5.12 Variasi antar-tahunan pergeseran zonal Halmahera Eddy

Variasi antar-tahunan dalam pergeseran zonal memperlihatkan pola yang lebih variatif. Selama even El Niño (peralihan 2002-2003, 2006-2007 dan 2009-2010) HE cenderung bergeser ke timur. Namun ketika event La Niña

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 5.13 Grafik tumpangsusun pergeseran zonal pusat Halmahera Eddy data bulanan dan antar-tahunan.

### Pengaruh musiman dan antar-tahunan terhadap pergeseran zonal Halmahera Eddy

Pengaruh faktor musiman dan antar-tahunan terhadap pergeseran zonal HE dihitung berdasarkan ketidaksesuaian (*discrepancy*) antara data bulanan dan data musiman atau data antar-tahunan. Seperti halnya dalam pergeseran meridional, besar ketidaksesuaian tersebut dihitung berdasarkan nilai koefisien korelasi antara data deret waktu yang dibandingkan. Semakin besar diskrepensi antar data yang dibandingkan maka semakin besar pula pengaruh antara kedua data tersebut.

Hasil uji korelasi pada taraf kepercayaan 95% terhadap data bulanan dengan data musiman menghasilkan nilai koefisien korelasi  $r$  sebesar 0.95 dan koefisien korelasi  $r$  untuk data bulanan dengan data antar-tahunan adalah 0.89. Hal ini menunjukkan pengaruh musiman dan antar-tahunan terhadap pergeseran zonal HE adalah besar. Pengaruh antar-tahunan lebih kuat dibandingkan pengaruh musimannya. Hal ini dapat dipahami, sebab perairan studi dimana sirkulasi HE terbentuk merupakan bagian dari wilayah WP Pasifik sebagai sumber dari variabilitas antar-tahunan seperti (ENSO). Relaksasi pergerakan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

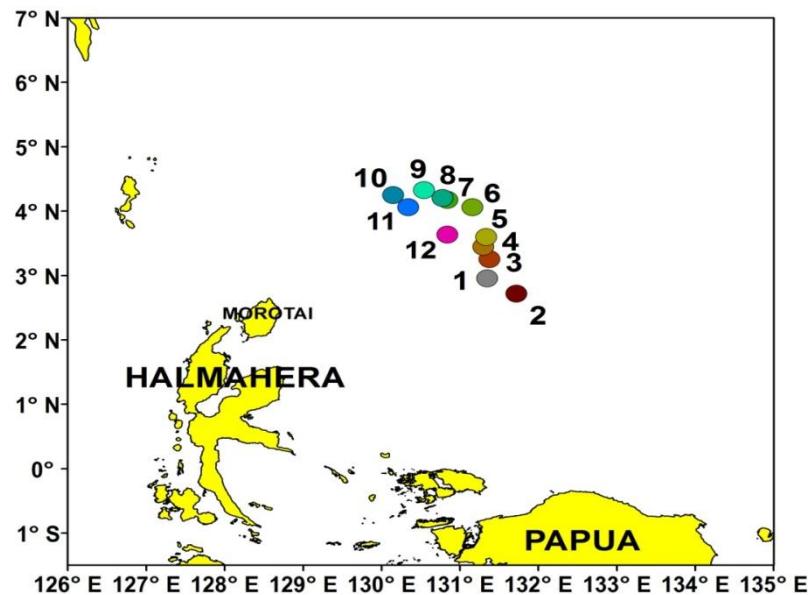
© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

WP dari ekuator Pasifik barat ke ekuator Pasifik Tengah terkait dengan fenomena El Niño dan La Niña (Philander, 1990; Sugimoto *et al.*, 2001).

### Pola Pergeseran Titik Pusat Halmahera Eddy Dalam Skala Ruang

Hasil pembentukan klimatologi (pola) bulanan yang didasarkan pada data deret waktu titik pusat HE selama Juni 2002 sampai Desember 2012, ditunjukkan pada Gambar 5.14. Dalam gambar tersebut, nama bulan ditunjukkan dengan angka, dimana angka 1 menunjukkan Januari, angka 2 menunjukkan Februari, angka 3 menunjukkan Maret dan seterusnya hingga angka 12 yang menunjukkan bulan Desember untuk memudahkan dalam penjelasannya.



Gambar 5.14 Sebaran pusat Halmahera Eddy berdasarkan pola bulanan pada citra klorofil-a permukaan

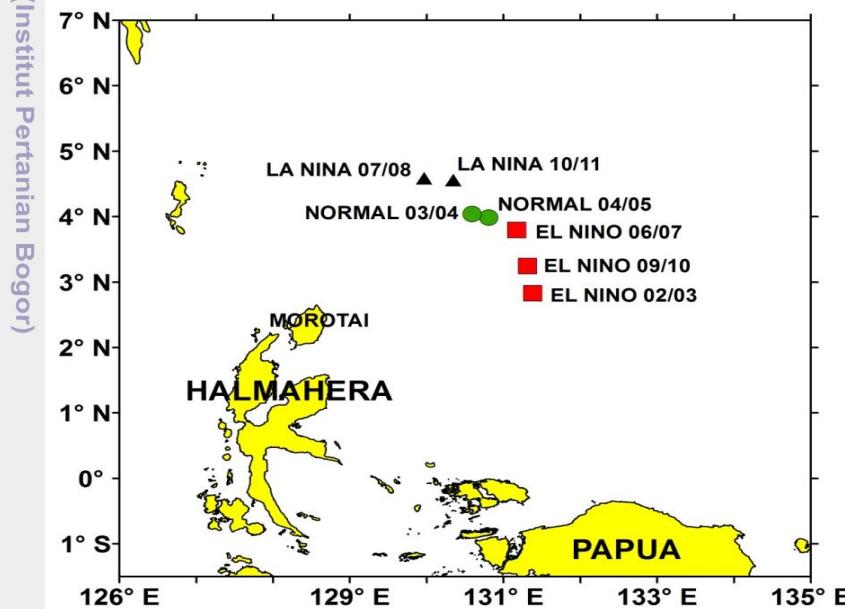
Berdasarkan peta klimatologi bulanan tersebut diketahui bahwa secara umum pusat HE bergeser kearah tenggara selama periode musim barat laut (Nopember, Desember, Januari dan Februari) dengan posisi pusat HE paling selatan terjadi pada Februari kemudian bergeser kearah baratlaut saat musim peralihan (Maret, April, Mei) hingga pada periode musim tenggara (Juni, Juli, Agustus dan September) dengan posisi paling utara pada September.

Pusat HE pada peta klimatologi bulanan tersebut juga terlihat mengalami pergerakan dengan membentuk *ellips* dengan sumbu tenggara-baratlaut. Arah pergerakan titik pusatnya secara berurutan bulan terlihat mengikuti arah yang berlawanan jarum jam (*anti-clockwise*).

Sebagai wilayah yang sensitif oleh pengaruh muson musiman, pergeseran musiman pusat HE dipengaruhi oleh perubahan sistem angin lokal (*Asian-Australian Muson*) yang besar. Menurut Kashino *et al.* (1999) pergeseran meridional HE berdasarkan dengan pembesaran dan pelemahan (*enlargement / diminishment*) dari Kubah Mindanao (*Mindanao Dome*) terkait dengan perubahan arus dalam sistem aliran *Low Latitude Western Boundary Current* (LLWBC). Selama musim tenggara, sistem arus di pantai utara Papua (NGCC/

NGCUC) semakin intensif. Pada saat itu HE mengalami perkembangan (*growth*) dan mengalami pergeseran ke utara. Sebaliknya selama musim barat laut, HE melemah dan terlihat bergeser ke selatan seiring dengan berkembangnya Kubah Mindanao di perairan laut Filipina paling selatan.

Pada Gambar 5.15 disajikan peta pusat HE selama episode ENSO yang di peroleh dari hasil perhitungan rata-rata posisi pusat HE pada masing-masing periode ENSO. Berdasarkan gambar tersebut, diketahui bahwa selama tahun ENSO berlangsung, posisi pusat HE terlihat bergeser ke tenggara event El Niño 2002-2003 (Mei 2002-Maret 2003), El Niño 2006-2007 (September 2006-Februari 2007) dan El Niño 2009-2010 (Juli 2009-April 2010). Sedangkan selama even La Niña, pusat HE bergeser ke barat laut seperti terlihat pada tahun La Niña 2007-2008 (September 2007-Mei 2008) dan tahun La Niña 2010-2011 (Juli 2010-April 2011). Selama even Normal (Juni 2003-Maret 2004 dan Maret 2004-September 2005), pusat HE terlihat berada diantara kondisi event ENSO tersebut.



Gambar 5.15 Peta Sebaran Pusat Halmahera Eddy pada event Normal dan ENSO

Gambaran posisi HE dalam pola pulanan dan pola antar-tahunan konsisten dengan yang telah diterangkan pada penjelasan sebelumnya terkait dengan pergeseran meridional dan zonal HE.

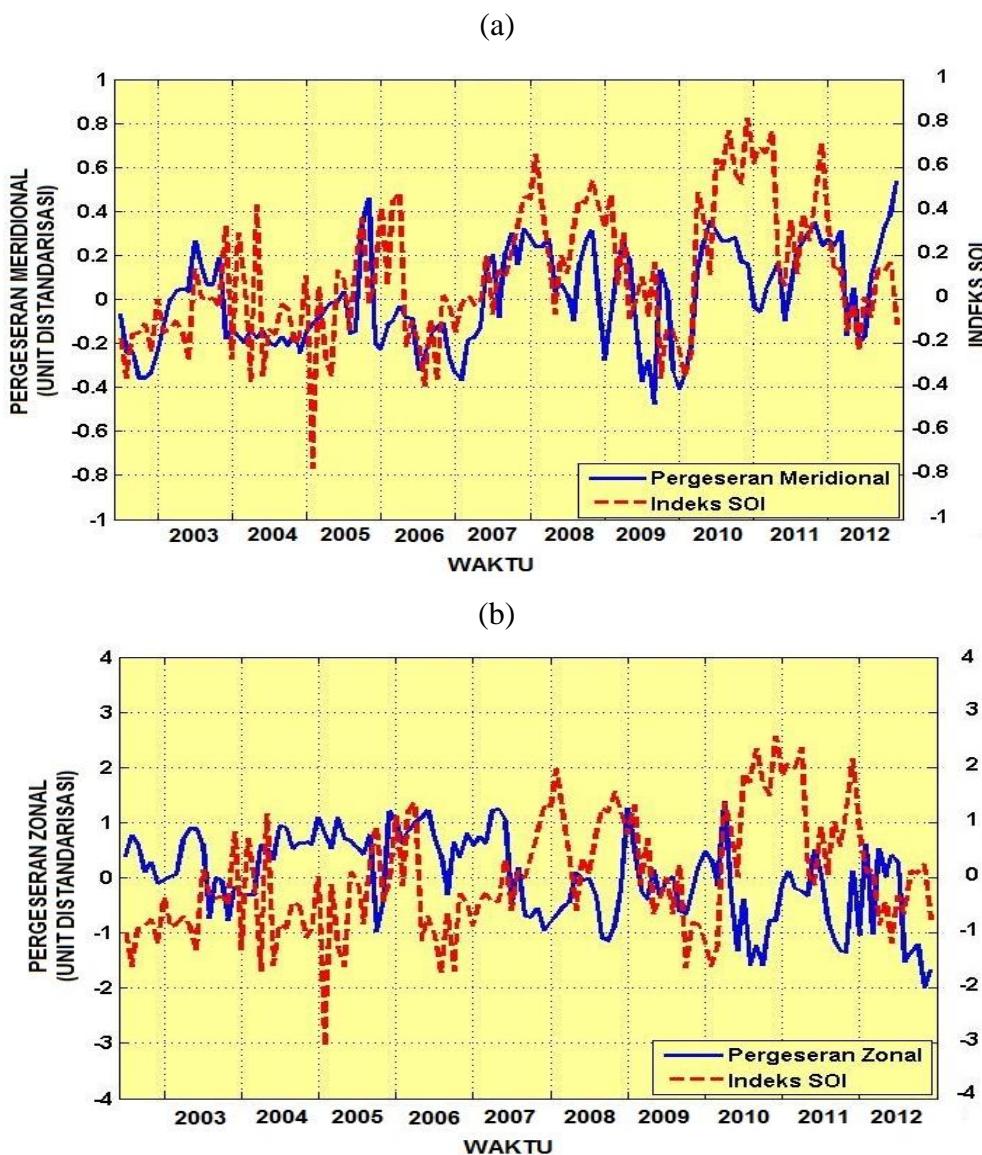
#### Hubungan Pergeseran Halmahera Eddy dengan *South Oscillation Index* (SOI)

Fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dominan dipengaruhi iklim yang terjadi di Pasifik tropis. Perairan antara Halmahera dan Mindanao dimana menjadi sumber massa air Arus Sakal Katulistiwa Utara (NECC), Anomali Tinggi Muka Laut (*Sea Surface Height Anomaly/SSHA*) berkorelasi erat dengan indikator ENSO seperti *South Oscillation Index* (SOI) dalam jeda

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

waktu yang singkat (Bray *et al.*, 1996). Sedangkan Christian *et al.* (2004) mengatakan pengaruh ENSO bukan saja pada anomali tinggi muka lautnya saja (*Sea Surface Height Anomaly*) namun pengaruhnya juga pada meningkatnya klorofil-a permukaan saat event El Niño.

Dalam penelitian ini, keterkaitan HE dengan Indeks SOI merupakan respon HE terhadap perubahan kondisi oseanografi akibat pengaruh antartahunan ENSO. Sebagai bagian wilayah dari WP, sirkulasi HE sangat terkait dengan variabilitas ENSO. Guna melihat hubungan tersebut, maka kedua parameter dilakukan uji korelasinya. Grafik tumpangsusun antara data posisi pusat HE dengan Indeks SOI data bulanan ditunjukkan pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Grafik tumpangsusun data deret waktu pusat Halmahera Eddy a) meridional dan b) zonal dengan Indeks SOI bulanan.

Pada Gambar 5.16(a) diperlihatkan grafik tumpang susun pergeseran meridional HE dengan Indeks SOI. Hasil uji korelasi antar keduanya pada taraf

kepercayaan 95% diperoleh nilai koefisien korelasi  $r = 0.47$ . Nilai ini menunjukkan ada hubungan kuat yang searah (positif) antara pergerakan meridional dengan Indeks SOI. Ketika HE bergerak ke utara, maka Indeks SOI cenderung meningkat (event La Niña), namun ketika HE bergerak ke selatan Indeks SOI akan cenderung menurun (event El Niño). Hal ini konsisten dengan apa yang dikatakan oleh Bray *et al.* (1996) dan Christian *et al.* (2004).

Pada Gambar 5.16(b) diperlihatkan grafik tumpangsusun pergeseran zonal HE dengan Indeks SOI. Uji korelasi terhadap pergeseran zonal dengan Indeks SOI pada taraf kepercayaan 95% diperoleh nilai koefisien korelasi  $r = -0.39$ . Nilai ini menunjukkan ada hubungan sedang yang berlawanan arah (negatif) diantara keduanya. Ketika pusat HE bergerak ke timur maka Indeks SOI cenderung bernilai negatif (event El Niño), sedangkan saat HE bergerak ke barat, maka Indeks SOI cenderung bernilai positif (event La Niña).

Menurut Atmadipoera (2013, komunikasi pribadi) pola pergeseran HE lebih mirip pada pola relaksasi WP di ekuator Pasifik. Ketika berlangsung event El Niño, dimana WP bergeser ke Pasifik tengah maka HE cenderung berada di tenggara. Sebaliknya ketika event La Niña berlangsung, saat WP mengalami peningkatan intensitas (berada di Pasifik barat), maka HE cenderung terdesak ke barat laut.

### Rona (Feature) Halmahera Eddy Berdasarkan Citra Anomali Muka Laut (Sea Level Anomaly) Satelit Jason-1

Fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) merupakan pengaruh dominan variabilitas antar-tahunan di Samudera Pasifik. Menurut Bray *et al.* (1996) wilayah perairan dimana sumber massa air ASKU (NECC) berada, Anomali Tinggi Muka Laut (*Sea Surface Height Anomaly*) sangat kuat berkorelasi dengan SOI sebagai indikator ENSO. Oleh karena itu, guna mengetahui sosok HE dan pola pergeserannya terkait dengan variasi antar-tahunan ENSO perlu digambarkan dalam citra Anomali Muka Laut (*Sea Level Anomaly*) dari Jason-1. Analisis deret waktu yang digunakan adalah dengan membuat diagram Hovmohler pada lintasan #253 data Jason-1, karena lintasan ini adalah yang paling mendekati dalam memotong sirkulasi HE.

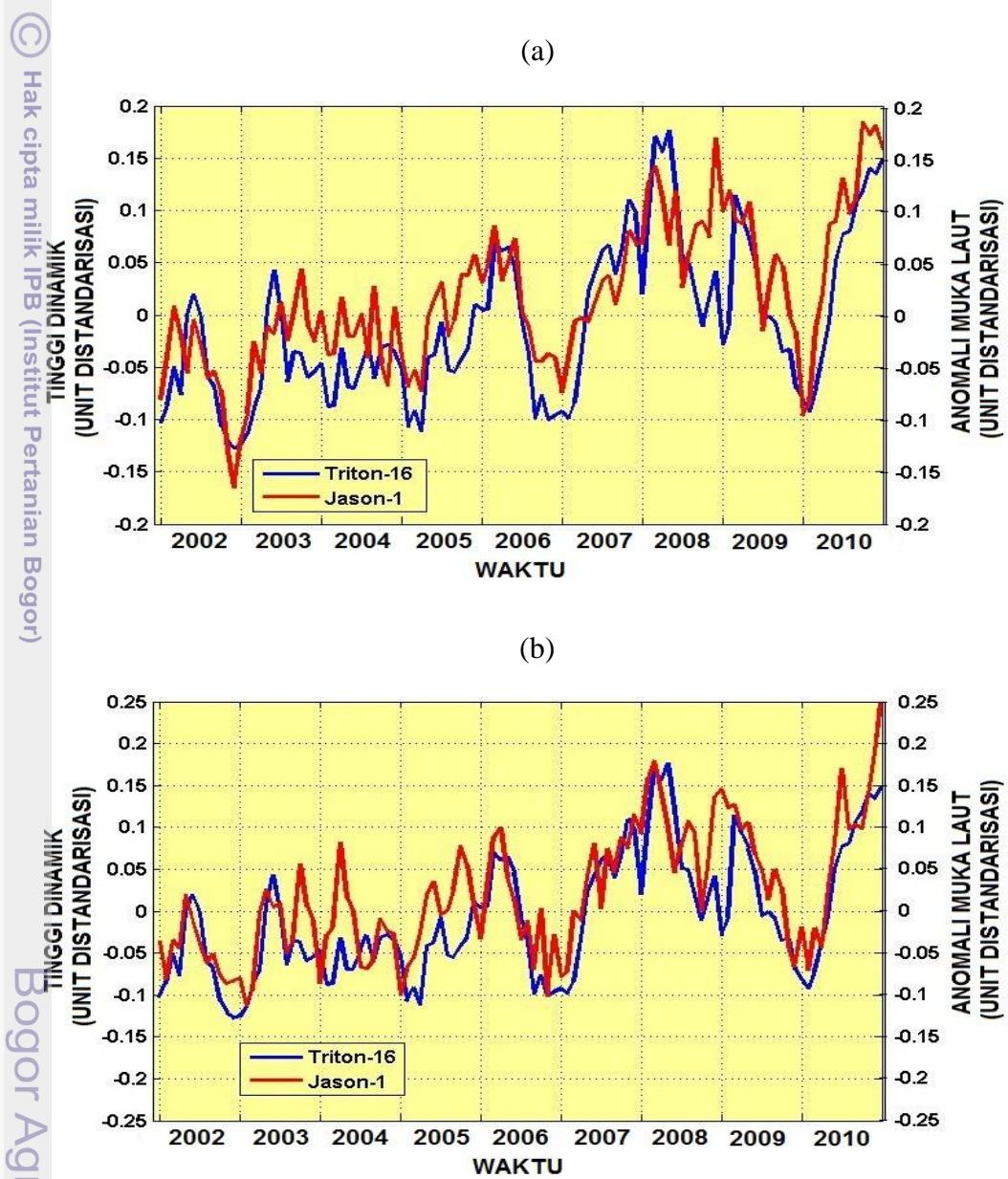
Sebelum dilakukan analisis tersebut, maka perlu dilakukan validasi antara data Anomali Muka Laut (*Sea Level Anomaly*) yang diperoleh dari satelit altimetri Jason-1 dengan kondisi tinggi dinamik (*dynamic height*) dari data deret waktu pada TRITON-16 yang merupakan stasiun perekam data oseanografi sekitar HE sebagai data acuan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah dinamika lautan yang terjadi di wilayah kajian yang terekam pada sensor TRITON-16 dapat diterangkan dalam parameter anomali muka lautnya. Untuk maksud tersebut maka dilakukan uji korelasi terhadap anomali muka laut data JASON-1, lintasan #164 dan #253 dengan tinggi dinamik permukaan data TRITON-16 papar acuan (reference level) 500 dB.

Pada Gambar 5.17 diperlihatkan grafik tumpangsusun deret waktu antara data deret waktu anomali tinggi dinamik permukaan pada TRITON-16 dalam (garis warna hitam) dengan data deret waktu Anomali Muka Laut Jason-1 lintasan #164 (Gambar 5.17(a) dan Anomali Muka Laut lintasan #253 (Gambar 5.17(b)).

Hasil uji korelasi tinggi dinamik permukaan (papar acuan 500 dB) terhadap SLA Jason-1 #164 dan #253 memberikan nilai koefisien korelasi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

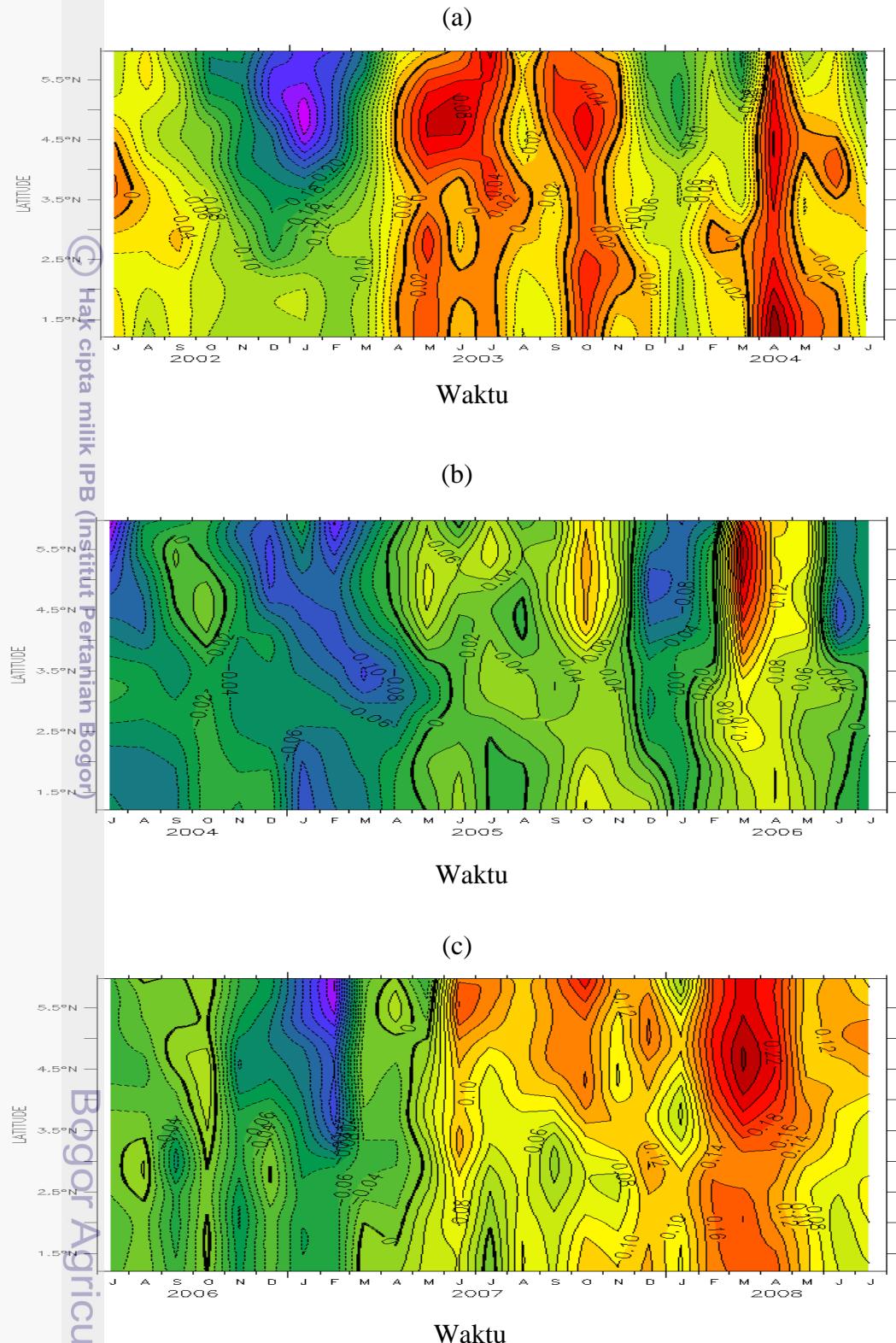
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



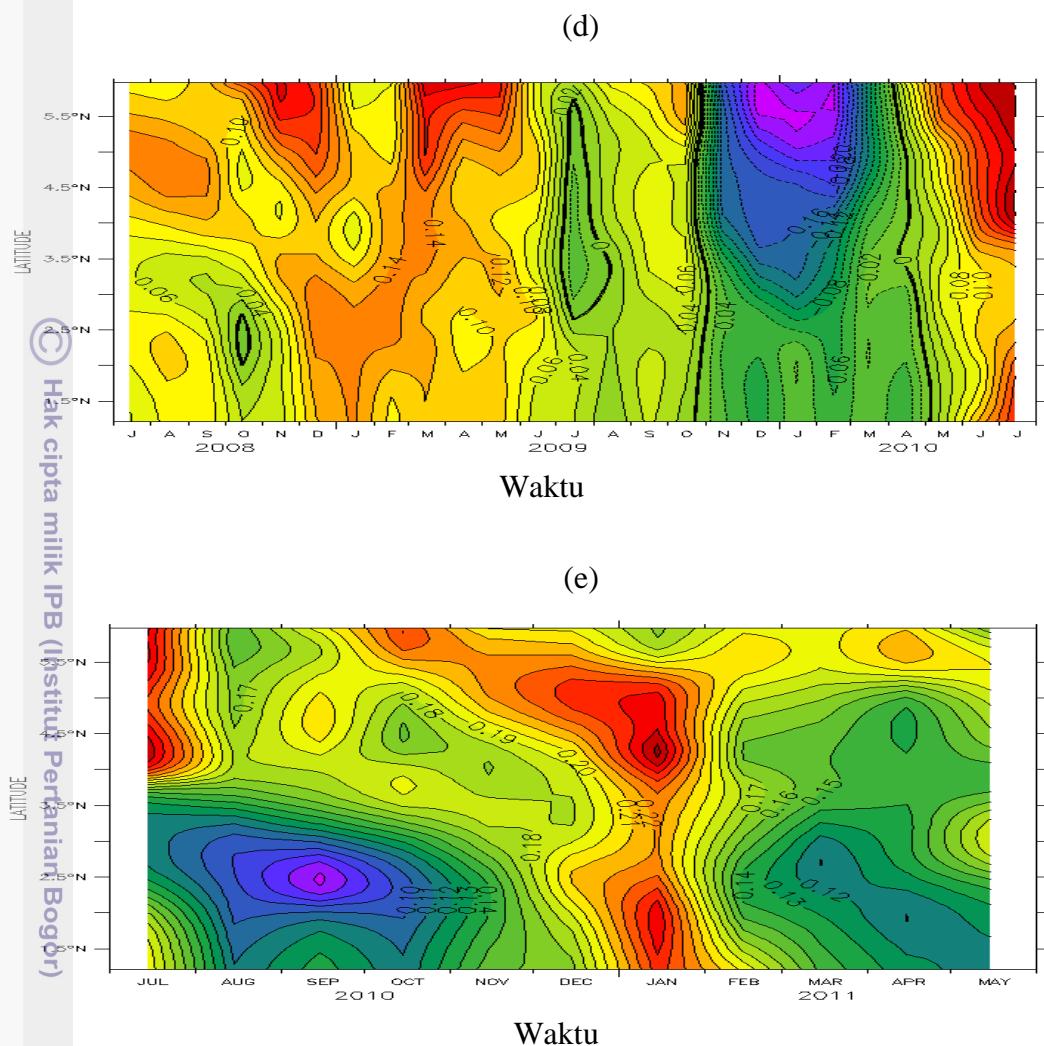
Gambar 5.17 Grafik tumpangsusun tinggi dinamik permukaan (papar acuan 500 dB) TRITON-16 terhadap anomali muka laut JASON-1 a) SLA #164 dan b) SLA #253

Pada Gambar 5.18, disajikan diagram Hovmöller pada lintasan #253 selama periode Juli 2002 sampai Desember 2011.

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.



Gambar 5.18 Diagram Hovmöller Anomali Muka Laut pada Jason-1 #253 sepanjang 0°N-6°N. a) Juli 2002-Juli 2004 b) Juli 2004-Juli 2006 c) Juli 2006-Juli 2008 dan d) Juli 2008-Mei 2011.



Gambar 5.18 Diagram Hovmoller Anomali Muka Laut Jason-1 #253 sepanjang 0°N-6°N. a) Juli 2002-Juli 2004 b) Juli 2004-Juli 2006 c) Juli 2006-Juli 2008 dan d) Juli 2008-Mei 2011.

Pada Gambar 5.18 diperlihatkan peta Hovmohler deret waktu Anomali Muka Laut sepanjang lintang 0°N-6°N mulai Juli 2002 – Mei 2011. Berdasarkan gambar tersebut, ditunjukkan bahwa variabilitas anomali muka laut perairan disekitar pusaran Halmahera Eddy berfluktuasi.

Selama tahun El Niño (Oktober 2002 - Maret 2003, Oktober 2006-Februari 2007 dan Nopember 2009- Maret 2010) anomali muka lautnya terlihat berada pada kondisi minimum (warna biru). Sedangkan selama tahun La Niña (Januari – Maret 2008 dan Oktober 2011-Februari 2012) anomali muka lautnya menunjukkan kondisi maksimum (warna merah).

Anomali muka laut dengan nilai kontur yang lebih tinggi kemungkinan bagian dari pusaran Halmahera Eddy yang melewati track #253 ketika mengalami pergeseran.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Terkait dengan pergeseran HE, dalam arah meridional (lihat Gambar 5.5(a)) maka anomali muka laut rendah pada akhir tahun 2002 disebabkan karena HE sedang berada di posisi selatan yaitu di sekitar 2.3°N. Halmahera Eddy kemudian bergerak ke utara dan berada di posisi paling utara pada sekitar Juni 2003 di sekitar 4.4°N. Pada 2004, posisi pusat HE sepanjang tahun tersebut berada di sekitar 3°N seperti ditunjukkan dalam grafik pergeseran meridional HE, dalam diagram Hovmohler ditunjukkan anomali muka laut tinggi selama Mei hingga Juli. Tahun 2005, posisi pusat HE paling utara terjadi pada akhir tahun di sekitar 5.1°N dan dalam diagram Hovmohler ditunjukkan dengan anomali muka laut tinggi mulai April hingga Desember.

Pada peralihan 2006-2007 terjadi event El Niño, posisi pusat HE berada di selatan sekitar 2.3N dan direspon dengan anomali muka laut rendah pada diagram Hovmohler. Sebaliknya pada tahun 2007-2008 terjadi event La Niña, HE bergeser ke utara dan berada pada posisi paling utara di 4.5N. Anomali muka laut tinggi terlihat selama event tersebut. Hal yang sama juga terjadi pada event El Niño 2009-2010 dan La Niña 2010-2011.

## 6. KONDISI PERIKANAN TANGKAP SEKITAR WILAYAH PUSARAN HALMAHERA EDDY

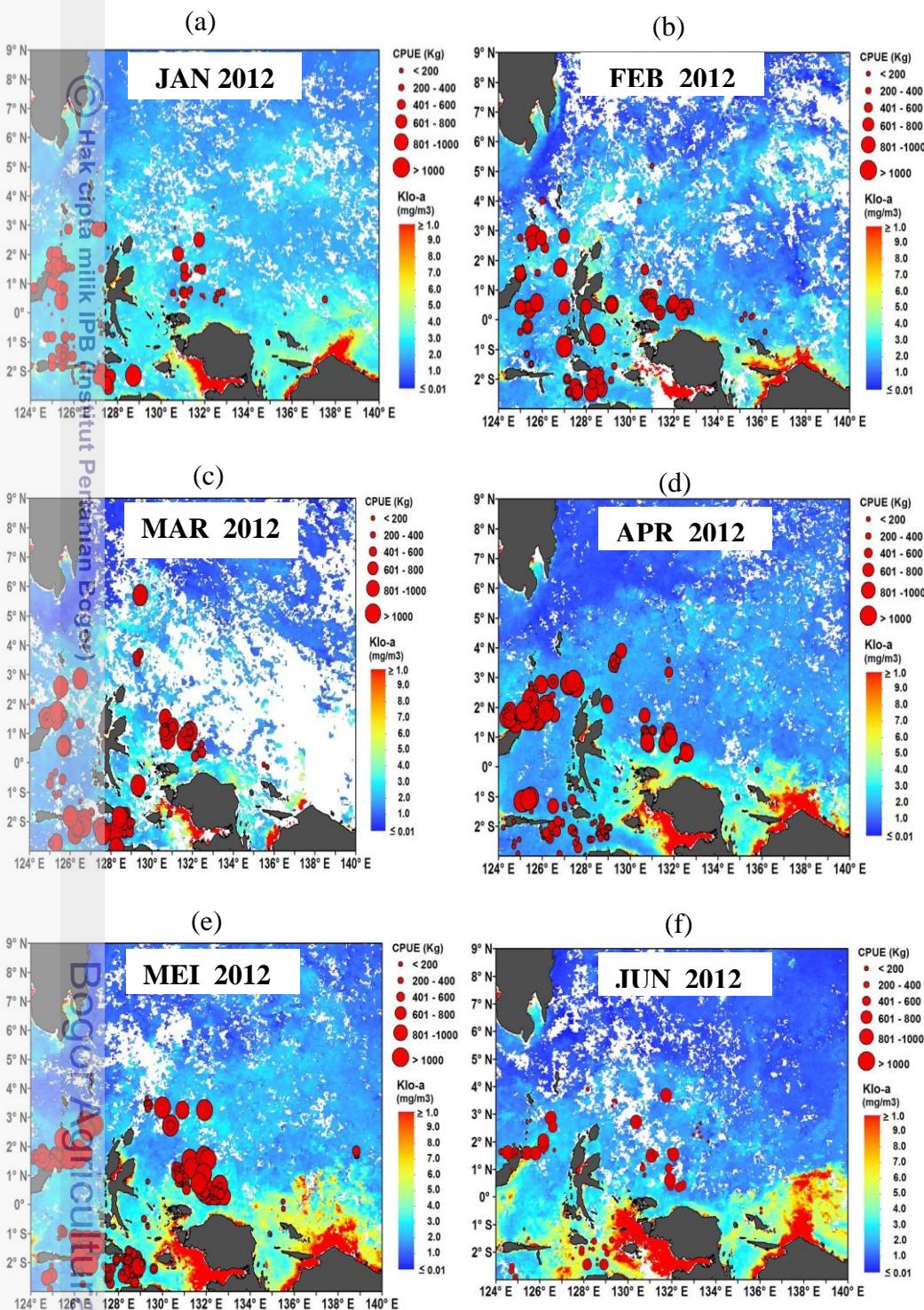
### Abstraksi

Perairan antara Mindanao dan Papua merupakan salah satu wilayah potensial perikanan cakalang (*Katsuwanus pelamis*) di Pasifik barat. Perikanan ini sebagaian dioperasikan oleh kapal jenis purse-seine dengan ukuran besar (50-100 GT) untuk penangkapan di wilayah lepas pantai dan kapal-kapal penangkapan ikan tradisionil (ukuran 5-10 GT) untuk penangkapan di sekitar perairan pantai. Berbagai data penangkapan cakalang diantaranya data *log book* kapal purse-seine di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bitung periode Januari 2012-Oktober 2012, data penangkapan cakalang *Western Central Pacific Fisheries Commission* (WCPFC) periode Juli 2002-Desember 2012 dan data perikanan yang didaratkan di pelabuhan perikanan Pulau Morotai periode Januari 2011-Mei 2012, dianalisis guna melihat hubungan antara pergeseran Halmahera Eddy dengan produktivitas cakalang di wilayah studi. Hasilnya menunjukkan bahwa kapal-kapal purse-seine yang beroperasi di wilayah studi cenderung terkonsentrasi di wilayah bagian dalam dan tepi dari pusaran Halmahera Eddy sekitar timur laut Halmahera dan utara kepala burung Papua. Produktivitas cakalang di wilayah studi mempunyai korelasi kuat terhadap pergeseran meridional Halmahera Eddy dibandingkan dengan pergeseran zonalnya. Demikian pula halnya dengan produksi cakalang yang didaratkan (*landing fishing*) di pelabuhan sekitar pantai Morotai menunjukkan adanya pengaruh yang kuat dengan pergeseran meridional Halmahera Eddy.

Kata kunci: Halmahera Eddy, purse-seine, pergeseran meridional, pergeseran zonal, produktivitas cakalang

## Perikanan Purse-Seine di Perairan Utara Papua

Pada Gambar 6.1 disajikan sebaran kapal-kapal jenis purse-seine saat melakukan penangkapan ikan berdasarkan data log yang diperoleh dari Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bitung Propinsi Sulawesi Utara dengan bobot kapal antara 50-100 Gross Ton (GT).



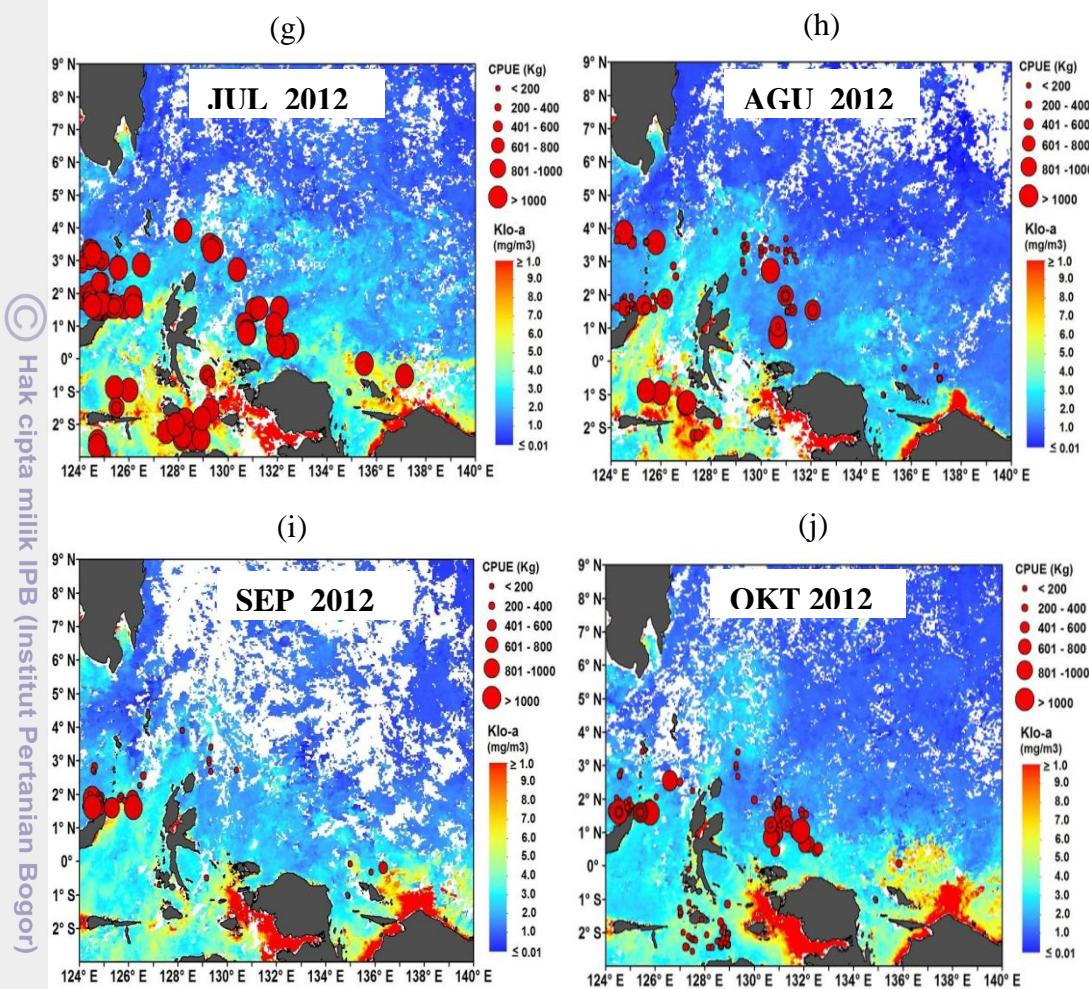
Gambar 6.1 Peta tumpangsusun klorofil-a permukaan dengan posisi kapal Purse-seine saat melakukan penangkapan di sekitar pusaran Halmahera Eddy.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 6.1 Peta tumpangsusun sebaran klorofil-a permukaan dengan posisi kapal Purse-sein saat melakukan penangkapan ikan di wilayah sekitar pusaran Halmahera Eddy (lanjutan).

Berdasarkan gambar diatas, terlihat bahwa kapal-kapal purse-seine umumnya terkonsentrasi di sekitar pusaran Halmahera Eddy, terutama disekitar perairan sebelah utara (di atas) kepala burung Papua. Hal ini terlihat pada kehadiran kapal-kapal purse-seine selama periode pengamatan (Januari – Oktober 2012) kecuali terlihat pada September dimana konsentrasi kapal purse seine lebih ke utara di wilayah tersebut. Hasil penelitian Siregar and Waas (2006) pada disekitar perairan utara kepala burung menunjukkan adanya konsentrasi kapal purse-seine pada lokasi yang sama pada periode Agustus – Oktober 2003.

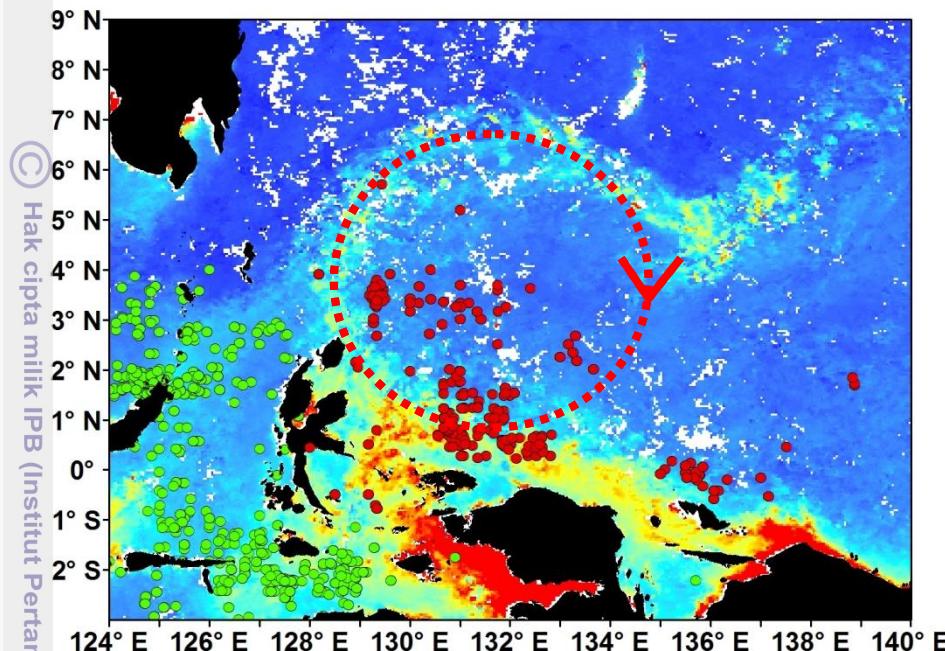
Dikatakan oleh Siregar and Waas (2006) konsentrasi kapal purse seine di wilayah tersebut terkait dengan front lautan yang dibentuk akibat pertemuan antara massa air permukaan hangat yang dibawa NGCC masuk dalam perairan timur pulau Halmahera yang lebih dingin. Hal ini dapat dipahami mengingat front perairan yang terbentuk diatas kepala burung merupakan lokasi pertemuan arus antara NGCC/NGCUC dengan sirkulasi arus Halmahera Eddy yang ke selatan dan ke barat daya. Sirkulasi Halmahera Eddy ini membawa massa air

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

dengan konsentrasi klorofil tinggi dan suhu permukaan laut lebih dingin yang berasal dari Laut Maluku seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya (lihat uraian pada Bab IV, Gambar 4.1 dan Gambar 4.2).



Gambar 6.2. Sebaran kapal purse saat melakukan penangkapan ikan di perairan kajian. Posisi kapal diplot berdasarkan data kumulatif periode Januari-Oktober 2012. (spot merah menunjukkan posisi kapal berada di wilayah kajian, spot hijau adalah posisi kapal di luar wilayah kajian)

Pada Gambar 6.2 diperlihatkan sebaran kapal purse-seine saat melakukan operasi penangkapan di sekitar wilayah kajian. Kapal jenis purse seine merupakan jenis kapal yang digunakan dalam menangkap cakalang di wilayah pengelolaan Pasifik barat dan tengah. Berdasarkan gambar tersebut ditunjukkan bahwa lokasi-lokasi dimana kapal purse-seine melakukan penangkapan berada (terkonsentrasi) di dalam dan disekitar sabuk klorofil-a permukaan tinggi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sifat biologi cakalang yang merupakan tuna permukaan yang menyukai air hangat. Pertemuan antara massa air hangat yang dibawa oleh Arus Pantai Utara Papua (NGCC/NGCUC) dengan massa air yang lebih rendah suhunya dari perairan dalam sekitar Indonesia menyebabkan konsentrasi cakalang cenderung di sekitar utara kepala burung Papua dan timur laut Halmahera. Namun demikian, konsentrasi kapa-kapal purse-seine yang beroperasi di wilayah ini sangat tergantung adanya rumpon (*Fish Aggregation Device/FAD*). Sehingga posisi purse-seine yang di plot dalam peta tersebut kemungkinan juga merupakan posisi purse-seine saat menangkap ikan di rumpon.

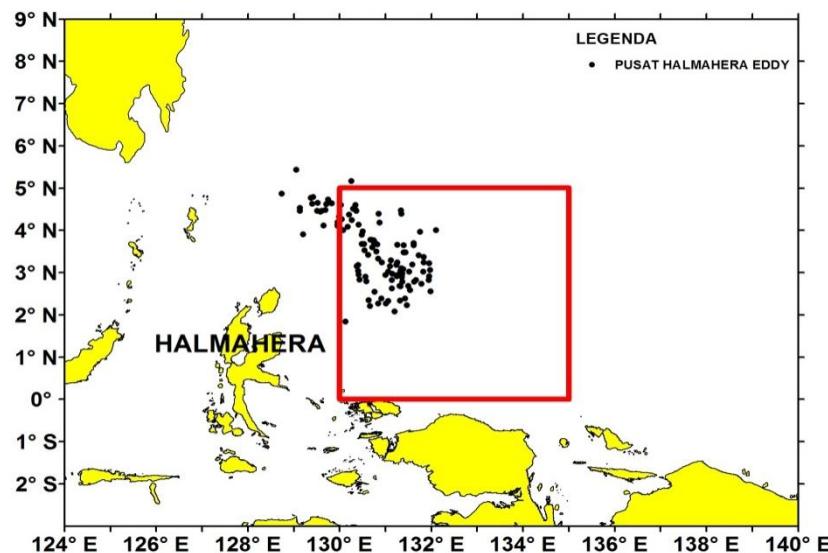
Penambatan rumpon memerlukan persyaratan kondisi oseanografi yang mendukung supaya ikan-ikan pelagis (termasuk cakalang) menyukai tempat tersebut untuk berlindung, pengasuhan dan ketersediaan pakan. Penempatan lokasi rumpon yang terkonsentrasi di wilayah tersebut (seperti posisi kapal purse-seine dalam Gambar 6.2) tidak lepas karena kondisi osenografi yang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

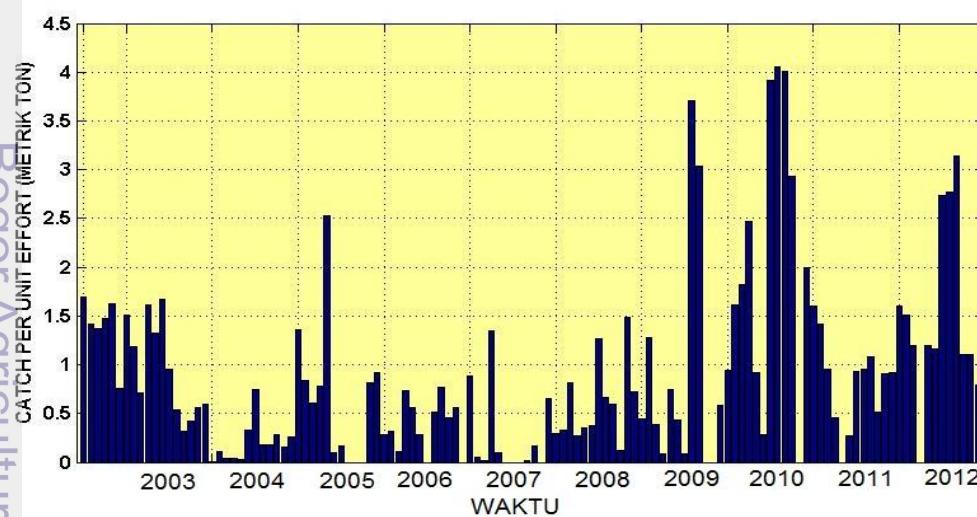
mendukung, sehingga semakin banyak rumpon yang ditambatkan karena menghasilkan banyak tangkapan cakalang.

### Hubungan Pergeseran Halmahera Eddy Dengan Produktivitas Cakalang

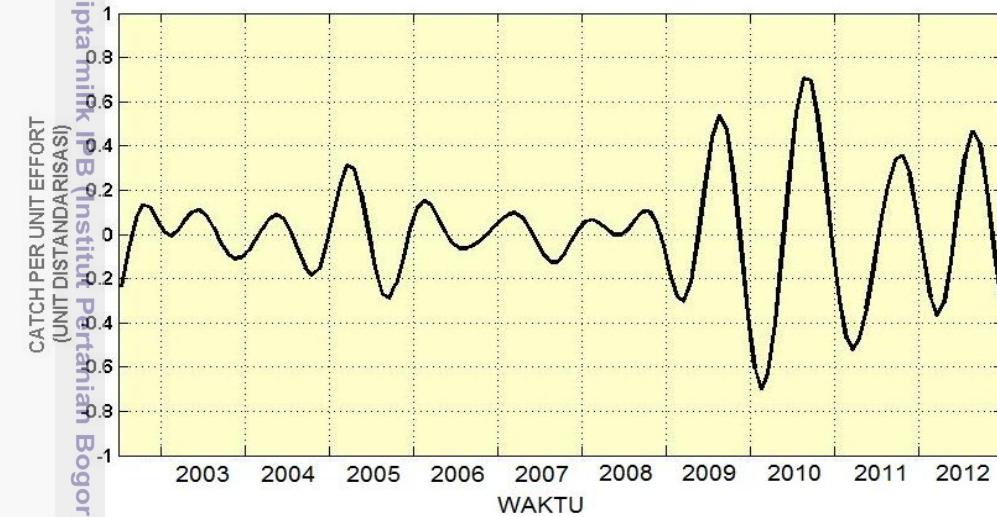
Pada Gambar 6.3, disajikan peta wilayah perairan studi yang menjadi wilayah pengambilan data perikanan cakalang (dalam tanda kotak warna merah), berada dalam area lintang 0 - 5°N dan bujur 130°E - 135°E. Dalam peta tersebut juga ditumpangsusunkan (overlay) dengan sebaran titik pusat HE selama penelitian berlangsung (Juni 2002 - Desember 2012)



Gambar 6.3 Peta lokasi sampling data perikanan cakalang (kotak warna merah) dan sebaran titik pusat Halmahera Eddy (lingkaran hitam) selama periode penelitian.



Gambar 6.4 Jumlah CPUE cakalang pada area perairan 0-5N / 130E-135E oleh kapal purse-seine selama periode penelitian. (Data diambil dari *Public Domain Western Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC)*)



Gambar 6.5 Variasi musiman CPUE cakalang dalam wilayah sampling.

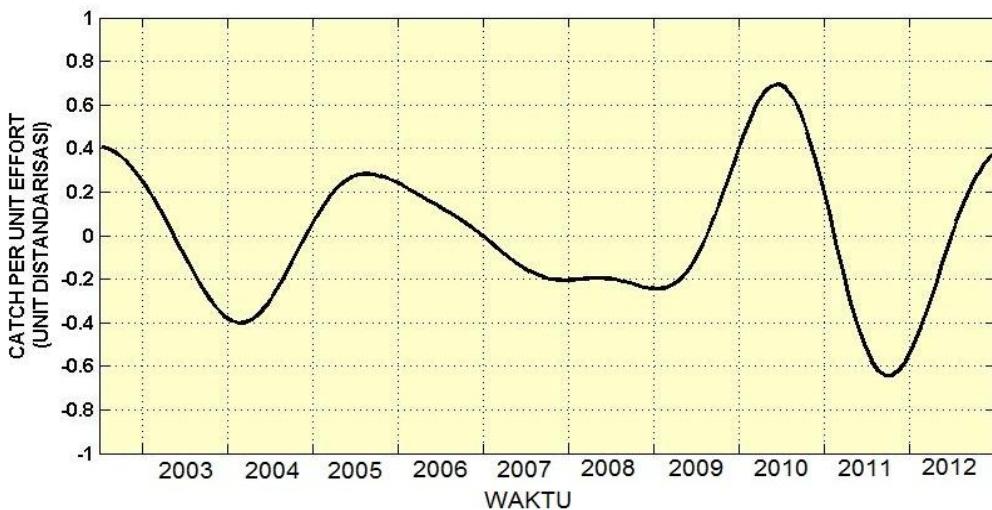
Berdasarkan Gambar 6.5 tersebut, dapat diketahui bahwa produktivitas cakalang umumnya tinggi saat pertengahan tahun (sekitar Mei-Juli) dan menurun saat akhir dan awal tahun. Selama 2002 sampai 2008, produktivitas cakalang mengalami fase *calm* dimana produktivitas umumnya stagnan, namun pada 2009 sampai akhir 2012, produktivitas terlihat mengalami perubahan kenaikan yang tajam. Bila dikaitkan dengan pergeseran meridional HE dalam skala musiman (Gambar 5.6 pada Bab V) maka akan terlihat pola kesamaan perubahan amplitudo berupa peningkatan kisaran amplitudo selama kurun waktu 2009-2012. Fluktuasi CPUE terendah terjadi pada peralihan 2002-2003 dan tertinggi terjadi 2010. Kondisi ini kemungkinan terkait akibat pengaruh pergeseran iklim yang menyebabkan perubahan kondisi oseanografi di wilayah tersebut.

Pada Gambar 6.6 disajikan grafik variasi antar-tahunan CPUE cakalang pada wilayah sampling.

Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui bahwa CPUE cakalang mengalami peningkatan selama 2002, 2005, 2010 dan 2012 dan mengalami penurunan pada peralihan 2003-2004, 2008 dan 2011.

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

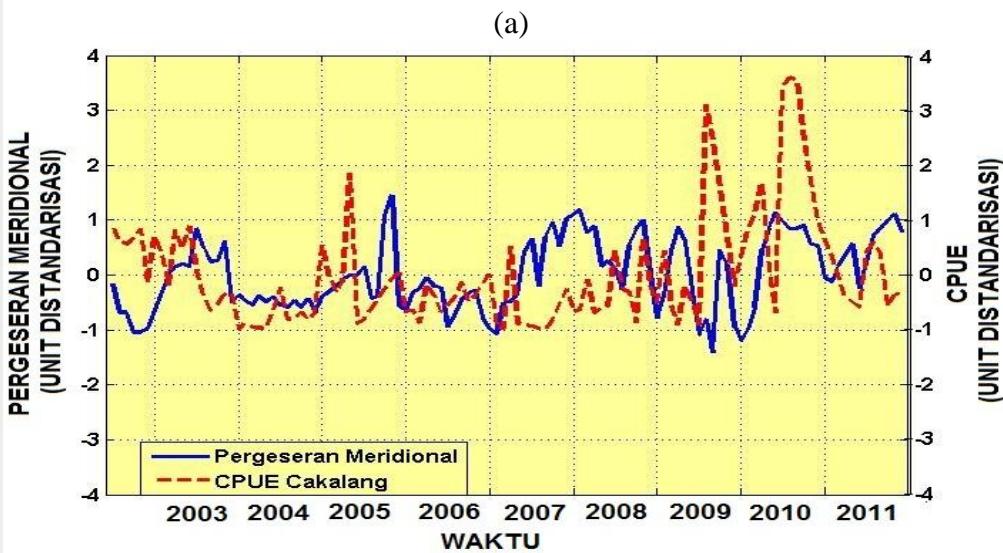
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



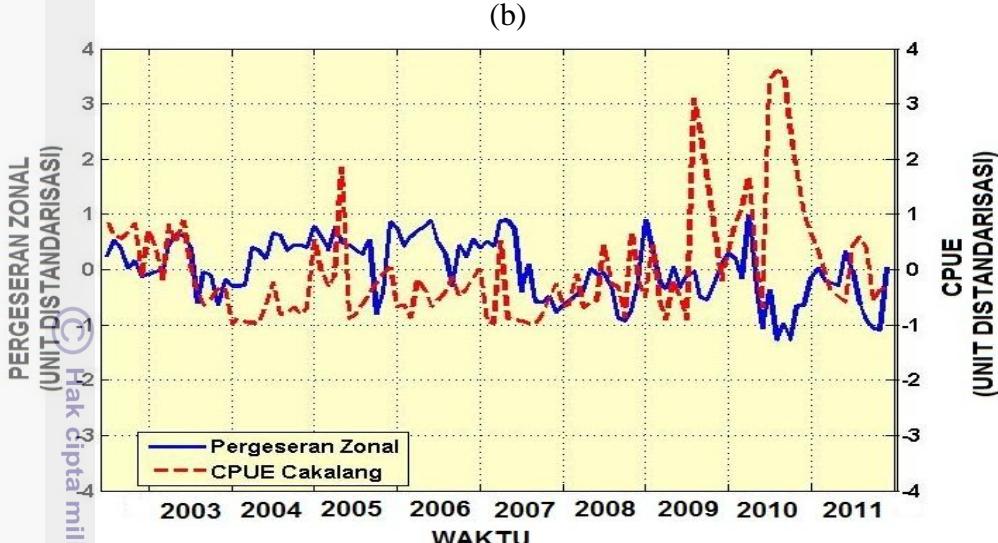
Gambar 6.6 Variasi antar-tahunan CPUE cakalang dalam wilayah sampling.

Grafik pada Gambar 6.6 di atas juga memperlihatkan bahwa selama periode El Niño (antara 2002-2003, antara 2006-2007 dan antara 2009-2010) CPUE cakalang cenderung mengalami peningkatan dan selama periode La Niña (antara 2007-2008 dan antara 2010-2011) CPUE cakalang cenderung mengalami penurunan. Kondisi ini kemungkinan terkait akibat pengaruh pergeseran WP ke Pasifik tengah saat event El Niño dan pergerakan ke barat serta pengintensifan WP saat event La Niña.

Terkait dengan pergeseran HE, guna melihat pengaruh pergeseran HE dengan CPUE cakalang maka dilakukan uji korelasi terhadap kedua parameter tersebut.



Gambar 6.7 Grafik tumpang susun jumlah tangkapan per unit usaha (CPUE) dengan pergeseran Halmahera Eddy a) meridional b) zonal



Gambar 6.7 Grafik tumpang susun jumlah tangkapan per unit usaha (CPUE) dengan pergeseran Halmahera Eddy a) meridional b) zonal (lanjutan)

Pada Gambar 6.7 (a) disajikan grafik tumpangsusun antara pergeseran meridional HE dengan jumlah tangkapan per unit usaha (CPUE) cakalang. Hasil perhitungan uji korelasi (*lag correlation*) pada taraf kepercayaan 95% diperoleh nilai koefisien korelasi  $r$  sebesar 0.72 dengan jeda waktu (*time lag*) selama 2 bulan. Hal ini menunjukkan bahwa pergeseran meridional Halmahera Eddy mempunyai pengaruh kuat terhadap fluktuasi CPUE cakalang di wilayah area yang menjadi lokasi sampling. Ketika Halmahera Eddy bergeser ke utara, 2 bulan kemudian kondisi oseanografi di lingkungan area sampling meresponnya dengan meningkatnya produktivitas cakalang.

Gambar 6.7 (b) menyajikan grafik tumpangsusun pergeseran zonal HE dengan CPUE cakalang wilayah sampling. Hasil uji korelasi terhadap kedua parameter tersebut diperoleh nilai koefisien korelasi  $r = -0.22$  pada taraf kepercayaan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan pergeseran zonal dengan CPUE cakalang di wilayah sampling mempunyai tingkat korelasi yang lemah sehingga pengaruhnya kecil.

Fenomena tersebut diatas menunjukkan bahwa dinamika oseanografi yang terjadi akibat pergeseran meridional lebih kuat pengaruhnya terhadap CPUE cakalang di wilayah sampling dibandingkan pergeseran zonalnya.

Cakalang merupakan spesies tuna permukaan yang menyukai lingkungan perairan dengan suhu permukaan laut yang hangat. Ketika WP mengalami relaksasi dengan bergeser ke Pasifik tengah, maka HE akan merespon pergerakan WP tersebut dengan bergeser ke tenggara. Selama periode tersebut cakalang akan beruaya mengikuti pergerakan WP tersebut ke arah timur yang menyebabkan jumlah CPUE di wilayah studi menurun. Sebaliknya ketika WP semakin intensif di Pasifik barat, HE meresponnya dengan bergeser ke barat laut dan ruaya cakalang cenderung berada di wilayah yang menjadi sampling menyebabkan CPUE cakalang di wilayah tersebut meningkat.

- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merujukkan kepentingan yang wajar IPB.

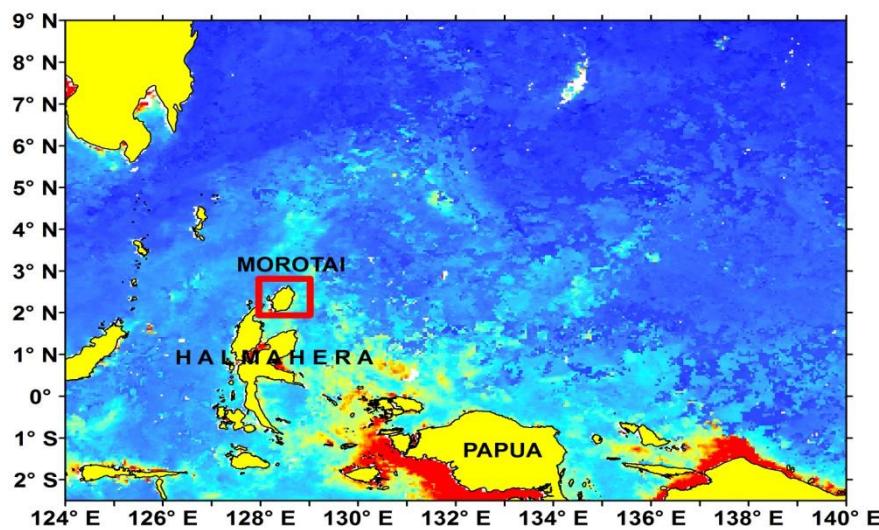
## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 6.8 Tumpangsusun grafik pergeseran meridional Halmahera Eddy dan diagram batang produksi cakalang yang didaratkan di pelabuhan perikanan sekitar Pulau Morotai.

Pada Gambar 6.8 disajikan tumpangsusun grafik pergeseran meridional HE dengan diagram batang produksi cakalang yang didaratkan di pelabuhan perikanan sekitar Pulau Morotai. Data perikanan merupakan hasil penangkapan nelayan lokal yang didaratkan di pelabuhan perikanan rakyat sekitar Pulau Morotai yaitu Desa Gamhoku, Gamlaha, Gura, Jati, Kusu Lovra, Rawa Jaya, Tanjung Niara dan Tioua. Kapal yang digunakan adalah jenis hand-line, gill-net, purse-seine dan funae dengan bobot antara 5-10 GT dengan waktu mencari ikan selama 1 hari (*one-day fishing*).



Gambar 6.9 Sirkulasi Halmahera Eddy dilihat dari rona klorofil-a permukaan dan area penangkapan ikan oleh nelayan Morotai (kotak warna merah)



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Berdasarkan gambar tersebut, terlihat ada pola kesamaan antara pergeseran meridional HE dengan jumlah cakalang yang didaratkan disekitar Morotai. Hasil uji korelasi pada taraf kepercayaan 95% terhadap kedua data pada parameter tersebut diperoleh nilai koefisien korelasi  $r$  sebesar 0.45. Hal ini menunjukkan ada pengaruh dalam taraf kuat antara pergeseran meridional HE dengan jumlah produksi cakalang yang didaratkan di Morotai. Kondisi ini diduga terkait dengan dinamika lingkungan perairan sekitar pulau Morotai yang mendukung preferensi cakalang untuk beruaya di wilayah tersebut. Lingkunga perairan pulau Morotai mempunyai jarak terdekat dengan sirkulasi HE. Faktor-faktor seperti Pulau Morotai yang dilewati arus dari sirkulasi Halmahera Eddy, lingkungan pertemuan massa air hangat dari Warm Pool dan massa air lebih dingin dari Laut Maluku dan sekitarnya serta aliran massa air kaya klorofil membentuk lingkungan lebih dinamis dan menjadi preferensi cakalang seperti terlihat pada Gambar 6.9.

## 7. SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Identifikasi struktur permukaan Halmahera Eddy menggunakan citra klorofil-a permukaan memperlihatkan timbulnya rona klorofil-a yang terbentuk akibat sirkulasi alirannya, konsentrasi klorofil-a permukaan tinggi terjadi pada bagian tepi membentuk sabuk klorofil-a tinggi, sedangkan bagian dalamnya konsentrasi klorofil-a permukaan lebih rendah. Dalam parameter Suhu Permukaan Laut, karakter Halmahera Eddy ditandai dengan raut suhu permukaan laut yang lebih hangat dibagian tengah pusaran dibandingkan pada bagian tepinya. Hasil verifikasi data klorofil dengan hidrografi menunjukkan bahwa sebaran klorofil-a permukaan tinggi konsisten dengan vektor arus SADCP yang membawa konsentrasi klorofil-a tinggi, dimana vektor arus di sisi utara mengarah ke timur laut dan di sisi selatannya mengarah ke barat laut menandakan adanya sirkulasi antisiklonik eddy. Sebaran melintang suhu pada data CTD/XCTD, Halmahera Eddy ditandai adanya isoterm yang tertekan ke bawah dan bergeser ke utara seiring bertambahnya kedalaman, sedangkan pada sebaran salinitas terlihat massa air *South Pacific Tropical Water, North Pacific Tropical Water* dan *North Pacific Intermediate Water*. Hasil pengamatan dan pengukuran karakter Halmahera Eddy menggunakan metode sensus dikatahui diameter dalam arah zonal berkisar 338-731 km sedangkan arah meridionalnya berkisar 297-725 km. Halmahera Eddy mengalami pergeseran dimana posisi paling utara pusatnya berada di  $5.43^{\circ}\text{N}/129.31^{\circ}\text{E}$  pada Desember 2008 dan paling selatan pusatnya berada di  $1.85^{\circ}\text{N}/130.13^{\circ}\text{E}$  pada September 2009.

Halmahera Eddy mempunyai wilayah pergeseran yang membentuk sumbu tenggara – barat laut dengan jarak antar titik pusat terjauh 446 km. Diameter Halmahera Eddy diketahui sekitar 520 km. Dalam skala musiman, Halmahera Eddy bergeser ke barat laut selama musim tenggara dan bergeser ke tenggara selama musim barat laut. Pada skala antar-tahunan, Halmahera Eddy bergeser ke barat laut selama even La Niña dan ke tenggara selama even El Niño. Faktor musiman dan antar-tahunan sangat kuat mempengaruhi pergeseran Halmahera Eddy. Musiman terlihat sedikit lebih kuat mempengaruhi pergeseran meridional dibanding antar-tahunan, sedangkan faktor antar-tahunan sedikit lebih kuat mempengaruhi pergeseran zonal dibanding musiman. Dalam skala ruang, pola pergeseran titik pusat Halmahera Eddy memperlihatkan arah pergerakan berlawanan jarum jam. Pola pergerakan Halmahera Eddy dipengaruhi oleh *South Oscillation Indeks* (SOI) terkait dengan relaksasi *Warm Pool* ke Pasifik tengah. Analisis pada data altimetri Jason-1 *passing track* # 253 menunjukkan karakteristik pergerakan Halmahera Eddy yang ditandai dengan anomali muka laut tinggi pada pusaran Halmahera Eddy.

Kapal-kapal purse-seine yang beroperasi di wilayah studi cenderung terkonsentrasi di wilayah bagian dalam dan tepi dari pusaran Halmahera Eddy sekitar timur laut Halmahera dan utara kepala burung Papua. Produktivitas cakalang di wilayah studi mempunyai korelasi kuat terhadap pergeseran meridional Halmahera Eddy dibandingkan dengan pergeseran zonalnya. Demikian pula halnya dengan produksi cakalang yang didaratkan (*landing*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

*fishering*) di pelabuhan sekitar pantai Morotai menunjukkan adanya pengaruh yang kuat dengan pergeseran meridional Halmahera Eddy.

## Saran

Perlu dilakukan verifikasi lanjutan dengan data hidrografi dalam skala temporal dan spasial yang besar guna meningkatkan akurasi dalam metode ini. Penelitian yang sama juga perlu memperluas kajiannya guna memperjelas peran Halmahera Eddy terhadap lingkungan perairan ekuator Pasifik barat.

Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang kajian Halmahera Eddy menggunakan citra satelit lainnya yang lebih komprehensif untuk memperbaiki metode yang sudah dilakukan

Perlu dilakukan kerjasama lanjutan BPPT-JAMSTEC untuk tetap memaksimalkan fungsi TRITON untuk pemantauan kondisi oseanografi sekitar sirkulasi Halmahera Eddy terkait sumberdaya perikanan terutama pola migrasi tuna di perairan Pasifik barat.

## PUSTAKA ACUAN

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Allain V, Nicol S, Essington T, Okey T, Olson B and Kirby D, 2007, An ecopath with Ecosim model of Western and Central Pacific Ocean warmpool Pelagic ecosystem. *Scientific Committe Third Regular Session*, 13-24 August 2007. Western Central Pacific Fisheries Commission, Honolulu.
- Ando K and Kuroda Y, 2002, Two Modes of Salinity and Temperature Variation in The Surface Layer of The Pacific Warm Pool. *J. Oceanogr.*, 58,: 559-609.
- Ando K, Matsumoto T, Nagahama I, Ueki Y, Takatsuki and Kuroda Y.2005. Drift Characteristics of Moored Conductivity-Temperature-Depth Sensor and Correction of Salinity Data. *J. Atm. Ocean. Technol.*, 22, : 282-291.
- Arruda WZ and Nof D, 2003, The Mindanao and Halmahera Eddies- Twin Eddies Induced by Nonlinearities. *Am. Met. Soc.* December 2001, 33, : 2815-2830
- Atmadipoera AS, Kuroda Y, Pariwono JI, Purwandani A, 2004, Water mass variations in the upper layer of the Halmahera Eddy region, OCEANS'04. MTTS/IEEE TECHNO-OCEAN'04, Vol. 3 , doi: 10.1109/OCEANS.2004.1406342.
- Aviso.2008, Aviso and Podaac User Handbook IGDR and GDR Jason Product, *Edition 4*, <http://www.aviso.cnes.fr>, tanggal 17 Desember 2012
- Bakun A, 1996, Pattern in The Ocean: Oceanic Process and Marine Population Dynamics. University of California Sea Grant, San Diago, California in Cooperation with Centro de Investigaciones Biological de Noroeste, La Paz, Baja California Sur.
- Birowo S, Ilahude AG. 1987. Oceanographic Features of The Indonesian Waters. Center for Oceanological Research and Development-LIPI. Jakarta
- Bingham F and Lukas R, 1994, The Sothward Intrusion on North Pacific Intermediate Water along The Mindanao Coast. *J. Phys. Oceanogr.*, 24 : 141-154
- Bingham F and Lukas R,1995, The Distribution of Intermediate Water in the Western Equatorial Pacific during January-February, 1986. *Deep-sea Res.*, Part II, 42, : 1545-1573
- Bray NA, Hautala S, Chong J, Pariwono JI ,1996, Large-scale sea level, thermocline, and wind variations in the Indonesian through flow region. *J. Geo. lett.*, 101, : 12239-12254.

- Brian K.2009. General Oceanography of the WCPO. Ecological Monitoring and Analysis Section. Oceanic Fisheries Programme. Secretariat of the Pacific Community. <http://www.spc.int/oceanfish/en/publications/703-general-oceanography-of-the-wcpo>. tanggal 3 Maret 2014.
- Burns KA, Brunsell G, Brinkman D, Zagorskis, 2008, Organic Carbon and Nutrient Fluxes to The Coastal Zone from The Sepik River Outflow. *Cont. Shelf Res*, 28, : 283-301
- Carder KL, Chen FR, Lee Z, Hawes S and Kamykowski J, 1999, Semi-analytic Moderate-Resolution Imaging Spectrometer algorithms for chlorophyll-a and absorption with bio-optical domains based on nitrate-depletion temperatures. *J. Geophys. Res.*, 104 (C3), : 5403-5421.
- Christian JR, Murtugudde R, Poy .B, Mc Clain CR.2004. A Ribbon of dark Water: Phytoplankton Blooms in the Meanders of Pacific North Equatorial Counter-current. *Deep Sea Res. Part II*, 51, : 209-228
- Chu PC and Fan C, 2003, Determination of the Current System on Isopycnal Surface Between Mindanao and PNG from GDEM. *Chinese J. Ocean. Limnol.*, 21 (3), : 193-213.
- Cronin M and McPhaden M.1998. Upper Ocean Salinity Balance in The Western Equatorial Pacific. *J. Geophys. Res.*, 103(27), : 567- 587
- Delcroix T, Eldin G, Mc Phaden M, Morliere A, 1993, Effect of Westerly Wind Bursts Upon the Western Equatorial Pacific Ocean February-April 1991. *J. Geophys. Res.*, 98 (C9), : 16,379-16,385
- Ducet N., P.Y. Le Traon and G. Reverdin, 2000, Global highresolution mapping of ocean circulation from the combination of T/P and ERS-1/2. *J. Geophys. Res.*, 105 (19), : 477- 498.
- Field, A. and Gordon, AL, 1992, Vertical Mixing in The Indonesian Thermocline. *J. Phys. Ocean.*, 22 (2), :184-195
- Field A,2005, North Brazil current rings viewed by TRMM Microwave Imager SST and the influence of the Amazon Plume. *Deep-Sea Res. I*. 52, :137-160
- Fine RA. Lukas R., Bingham F., Warnar M. and R. Gammon,1994, The Western Equatorial Pacific: a water mass crossroads, *J. Geophys. Res.*, 90, : 25063-25080
- Firing E, Kashino Y, Hacker P, 2005, Energetic Subthermocline Currents Observed East of Mindanao. *Deep-Sea Res.. II*, 52, : 605-613.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merujukkan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Goni GJ, Garzoli SL, Roubicek AJ, Olson DB, Brown OB, 1997, Agulhas Ring Dynamics from TOPEX/POSEIDON Satellite Altimeter Data. *J. Mar. Res.*, 55, : 861-883
- Gordon AR, 1986, Intercean exchange of thermocline water, *J. Geophys. Res.*, 91, : 5037-5046
- Gorgues T, Menkes C, Slenons L, Aumout O, Dandonneau Y, Radenac MH, Alvain S, Moulin C, 2010, Revisiting the La Niña 1998 Phytoplankton Blooms in the Equatorial Pacific. *Deep-sea Res. I*, 57, : 567-576
- Hacker P, Firing E, Lukas R, 1989, Observations of the Low-latitude Western Boundary Circulation in the Pacific during WEPOCS III. Western Pacific International Meeting and Workshop on TOOA-COARE. ORSTOM. Centre de Noumea.
- Harley S J, Williams P, Nicol S and Hampton J, 2011, The western and central Pacific tuna fishery: 2010 overview and status of stocks. Tuna Fisheries Assessment Report 11. Noumea, New Caledonia.
- Hasegawa T, Ando K, Mizuno K, Lukas R, 2009, Coastal Upwelling along the North Coast of Papua New Guinea and SST Cooling over the Pacific Warm Pool: A Case Study for the 2002/03 El-Nino Event. *J. Oceanogr.*, 65, : 817-833.
- Heron S, Metzger J, Skirving W, 2006, Seasonal Variations of the Ocean Surface Circulation in the Vicinity of Palau. *J. Ocean.*, 62, : 413-426
- JAMSTEC. 2012, Project Overview. Data Information. [http://www.jamstec.go.jp/jamstec/TRITON/real\\_time](http://www.jamstec.go.jp/jamstec/TRITON/real_time). diunduh tanggal 14 April 2013.
- Kai ET and Marsac F, 2010, Influence of Mesoscale Eddies on Spatial Structuring of Top Predators' Communities in The Mozambique Channel. *Prog. Oceanogr.*, 86, : 214-223.
- Kang J, Kim W, Chang K, Noh J, 2004, Distibution of Plankton Related to The Mesoscale Physycal Structure within The Surface Mixed Layer in Southwestern East Sea Korea. *J. Plank. Res.* 26, : 1515-1528.
- Kashino Y, Aoyama M, Kawano T, Hendiarti N, Syaefudin, Anantasena Y, Muneyama K and Watanabe H, 1996, The water masses between Mindanao and New Guinea, *J. Geophys. Res.*, 101, : 12391-12400
- Kashino Y, Watanabe H, Herunadi B, Aoyama M and Hartoyo D, 1999, Current Variability at The Pacific Entrance of the Indonesian Throughflow. *J. Geophys. Res.*, 104, : 11021-11035



- Kashino Y, Firing E, Hacker P, Sulaiman A, Lukijanto, 2001, Currents in the Celebes and Maluku seas, February 1999, *J. Geophys. Res. Lett.*, 28, : 1263-1266
- Kashino Y, Ueki I, Kuroda Y, Purwandani A, 2007, Ocean Variability North of New Guinea Derived from TRITON Buoy Data. *J. Oceanogr.*, 63, : 545-559.
- Kashino Y, Espana N, Syamsudin F, Richards KJ, Jensen T, Dutrieux P and Ishuda A, 2009, Observations of the North Equatorial Current, Mindanao Current, and Kuroshio Current System During the 2006/07 El Niño and 2007/08 La Niña, *J. Oceanogr.*, 65, : 325-333
- Kashino Y, Ishida A and Hosoda S, 2011, Observed Ocean Variability in the Mindanao Dome Region. *J. Phys. Ocean.*, 41, :287-302
- Kashino Y, Atmadipoera AS, Kuroda Y and Lukijanto, 2013, Observed feature of the Halmahera and Mindanao Eddies, *J. Geo. Ress. Ocean*, 118, : 6543-6560, doi:101002/2013 JC009207
- Keen R, 1982, The Role of cross-equatorial tropical cyclone pairs in the Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.*, 110, : 1405-1416
- Kuroda Y, 2000, Variability of The Currents off The North Coast of New Guinea, *J. Oceanogr.*, 56, : 103-106
- Kuroda Y, 2000, Variability of The Currents off The North Coast of New Guinea. *J. Oceanogr.*, 56, : 103-106
- Le Traon PY, Nadal F and Ducet, 1998, An Improved Mapping Method of Multisatellite Altimeter Data. *J. Atm. Ocean. Tech.*, 12, : 161-170
- Lehodey P, Bertignac M, Hampton J, Lewis A, Picaut J, 1997, El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. *Nature*, 389, : 715–718.
- Lehodey P, 2001, The Pelagic Ecosystem of The Tropical Pacific Ocean: Dynamic Spatial Modelling and Biological Consequences of ENSO, *Prog. Oceanogr.*, 49, : 439-468
- Lehodey P, 2004, A Spatial Ecosystem and Populations Dynamic Model (SEAPODYM) for Tuna and Associated Oceanic Top-Predator Species: Part I – Lower and Intermediate Trophic Components, Standing Committee on Tuna and Billfish (SCTB) 17 Working Paper (ECO-1), Oceanic Fisheries Programme, Secretariat of The Pacific Community, Noumea, New Caledonia. pp. 2 - 14
- Lehodey P, Hampton J, Brill RW, Nicol S, Senina I and Sibert J, 2011, Vulnerability of oceanic fisheries in the tropical Pacific to climate change.

Johnson JE and Hobday (Eds..) Secretariat of the Pacific Community. Noumea New Caledonia.

Lukas R and Lindstrom E,1999, The Mixed Layer of The Western Equatorial Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, 96, : 3343-3554.

Lukas R, Firing E, Hacker P, Richardson PL, Collins CA, Fine R, Gammon R,1991, Obesrvations of Mindanao Current During the Western Equatorial Pacific Ocean Circulation Study, *J. Geol. Res.*, 96(C4), : 7089-7104

Longhurst A,1995, Seasonal cycles of pelagic production and consumption. *Prog. in Oceanogr.*, 36 (2), : 77-167.

Matsumoto Y and Yamagata T,1991, Response of the western tropical Pacific to the Asian winter monsoon: the generation of the Mindanao dome, *J. Phys. Oceanogr.*, 21, : 1386-1398

Mackey DJ, Parslow J, Higgins HW, Griffiths FB, O Sullivan JE,1995, Plankton Productivity and Biomass in the Western Equatorial Pacific: Biological and Physical Controls. *Deep- Sea Res. II.*, 42 (2-3), : 499-533

Mc Phaden MJ and Picaut J, 1990, El Niño Southern Oscillation displacement of the western equatorial Pacific warm pool, *Science*, 250, : 1385-1388

Messie M and Radenac MH, 2006, Seasonal Variability of the Surface Chlorophyll in the Western Tropical Pacific from SeaWiFS data. *Deep-Sea Res. I.*, 53, : 1581-1600

Miller KA, 2007, Climate Variability and Tropical Tuna: Management Challenges for Highly Migratory Fish Stocks. *Mar. Poli.*, 31, : 6-70.

Mc Paden C A, Abbott MR and Winant CD,1991, Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California. 1. Sea surface temperature variability. *J. Geophys. Res.*, 96, : 18,337–18,359.

Muchtar M, 2004, IndoTROPICS Studies on The Plume of The Membramo River into The Bismarck Sea, West Papua, Indonesia, *Cont. Shelf Res.*, 24, : 2521-2533

Nicol S, Lawson T, Briand K, Kirby D, Molony B, Bromhead D, Williams P, Schneiter E, Kumoru L and Hampton J, 2009, Characterisation of the tuna purse seine fishery in Papua New Guinea. ACIAR Technical Report No. 70, 44 pp.

O'Reilly JE, Maritorena S, Mitchell BG, Siegel DA, Carder KL, Garver SA, Kahru M and McClain C,1998, Ocean Color Algorithms for SeaWiFS. *J. Geophys. Res.*, 103, : 24,937-24,953.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Philander SGH,1990, El Niño, La Niña, Southern Oscillation. Academic Press, 293 pp.
- Pond P and Pickard GL,1983, Introductory Dynamical Oceanography. 2<sup>nd</sup> edition. Pergamon Press. England
- Qu B and Lukas R,1996, Seasonal and interannual variability in the Indo-Pacific throughflow and the regions surrounding the Indonesian seas. *J. Phys. Oceanogr.*, 29, : 1599-1618
- Qu B, Mao M and Kashino Y,1999, Intraseasonal Variability in the Indo-Pacific Throughflow and the Region Surrounding the Indonesian Seas. *J. Phys. Oceanogr.*, 29, : 1599-1618
- Souza RB, Mata MM, Garcia CAE, Kampel M, Oliviera EN, Lorenzzetti JA, 2005, Multi-sensor Satellite and In Situ Measurements of A Warm Core Ocean Eddy South of The Brazil-Malvinas Confluence Region. *Remote Sens of Environ.*, 100, : 52 - 66. doi: 10.1016/j.rse.2005.09.018
- Short F, Carruthers T, Dennison W and Waycott M, 2007, Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *J. Experim Mar. Biol. and Ecol.*, 350, 3-20
- Siregar V and Waas HJD, 2006, Identification of Oceanographyc Parameters for Determining Pelagic Tuna Fishing Ground in The North Papua Waters Using Multisensor Satellite Data, *Biotropia*, 13(1), : 37-48
- Sprintall J and McPhaden M,1994, Surface Layer Variations Observed in Multi-year Time Series Measurement from The Western Equatorial Pacific. *J. Geophys. Res.*, 97, : 7305- 7316.
- Sprintall J, Tomczak M,1992, Evidence of the Barrier Layer in the Surface Layer of the Tropics. *J. Geophys. Res.*, 97(C5), :7305-7316
- Sugimoto T, Kimura S, Tadokoro K, 2001, Impact of El Niño events and climate regime shift on living resources in the western North Pacific. *Prog. Oceanogr.*, 49, :113-127
- Takahashi K, Onodera J, Katsurada Y,2009, Relationship Between Time-series Diatom Fluxes in The Central and Western Equatorial Pacific and ENSO-associated Migrations of The Western Pacific Warm Pool, *Deep-Sea Res. I*, 56, : 1298-1318
- Toole J M, Zou E and Millard RC,1988, On the circulation of the upper waters in the western equatorial Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.*, 35, : 1451-1482.
- Tomczak M and Godfrey JS,1993, Regional Oceanography: An Introduction. 1<sup>st</sup> edition. Pergamon Press. England

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Tsuchiya MR, Lukas R, Fine A, Firing E and Lindstrom E, 1989, Source Waters of The Pacific Equatorial Undercurrent. *Prog. Oceanogr.*, 23, : 101-147.
- Veldhoven A, 2005, Observations of Evolution of Agulhas Rings (*thesis*). Universiteit van Utrecht. Netherlands.
- Veron J, De Vantier L, Turak E, Green A, Kininmonth A, Stafford-Smith M and Petersen N, 2009, Delineating the coral triangle. *Galexa, J. Coral Reef Stu.*, 11, : 91-100.
- Walton CC, Pichel WG, Sapper FJ and May DA, 1998, The Development and Operational Application of Nonlinear Algorithms for the Measurement of Sea Surface temperatures with NOAA Polar-Orbiting Environmental Satellites. *J. Geophys. Res.*, 103, : 27,999-28,012.
- Webster PJ, Lukas R, 1992, The Tropical Ocean/Global Atmosphere Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment (COARE), *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 73, : 1377-146
- Williams PG and Reid C, 2006, Overview of tuna fisheries in the Western and Central Pacific Ocean, including economic conditions - 2005. 2nd Meeting of the Scientific Committee of the Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC-SC2, Manila, Philippines, 7-18 August 2006. GN WP-1, 1-40. [http://www.wcpfc.org/sc2/pdf/SC2\\_GN\\_WP1.pdf](http://www.wcpfc.org/sc2/pdf/SC2_GN_WP1.pdf). diunduh pada 10 Juni 2013
- Williams P and Terawasi P, 2008, Overview of tunafisheries in the western and central Pacific Ocean, including economic conditions – 2007. Working Paper GN-WP-1. 4th meeting of the Scientific Committee of the Western and Central Pacific Fisheries Commission, Port Moresby, Papua New Guinea, 11–22 August 2008.
- Wyrki K, 1962, Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters. Naga Report Vol. 2. Scripps Institution of Oceanography. La Jolla. California
- Wyrki K, 1998, Some Thoughts About the West Pacific Warm Pool. Western Pacific International Meeting And Workshop On Toga Coare. Proceeding. Ed. Joel Picaut, Roger Lukas, Thierry Delcroix. Institut Francais De Recherche Scientifique Pour Le Develop- pement En Cooperation.
- Yan XH, Yun H, Liu WT, Zheng Q, Ho CR, 1993, Centroid Motion of the Western Pacific Warm Pool during Three Recent El Niño Southern Oscillation Events, *Am. Met. Soc.*, 25, : 837-845.
- Yaremchuk M and Qu T, 2004, Seasonal Variability of Large-Scale Currents Near the Coast of the Philippines. *Am. Met. Soc.*, 34, : 844-855



## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

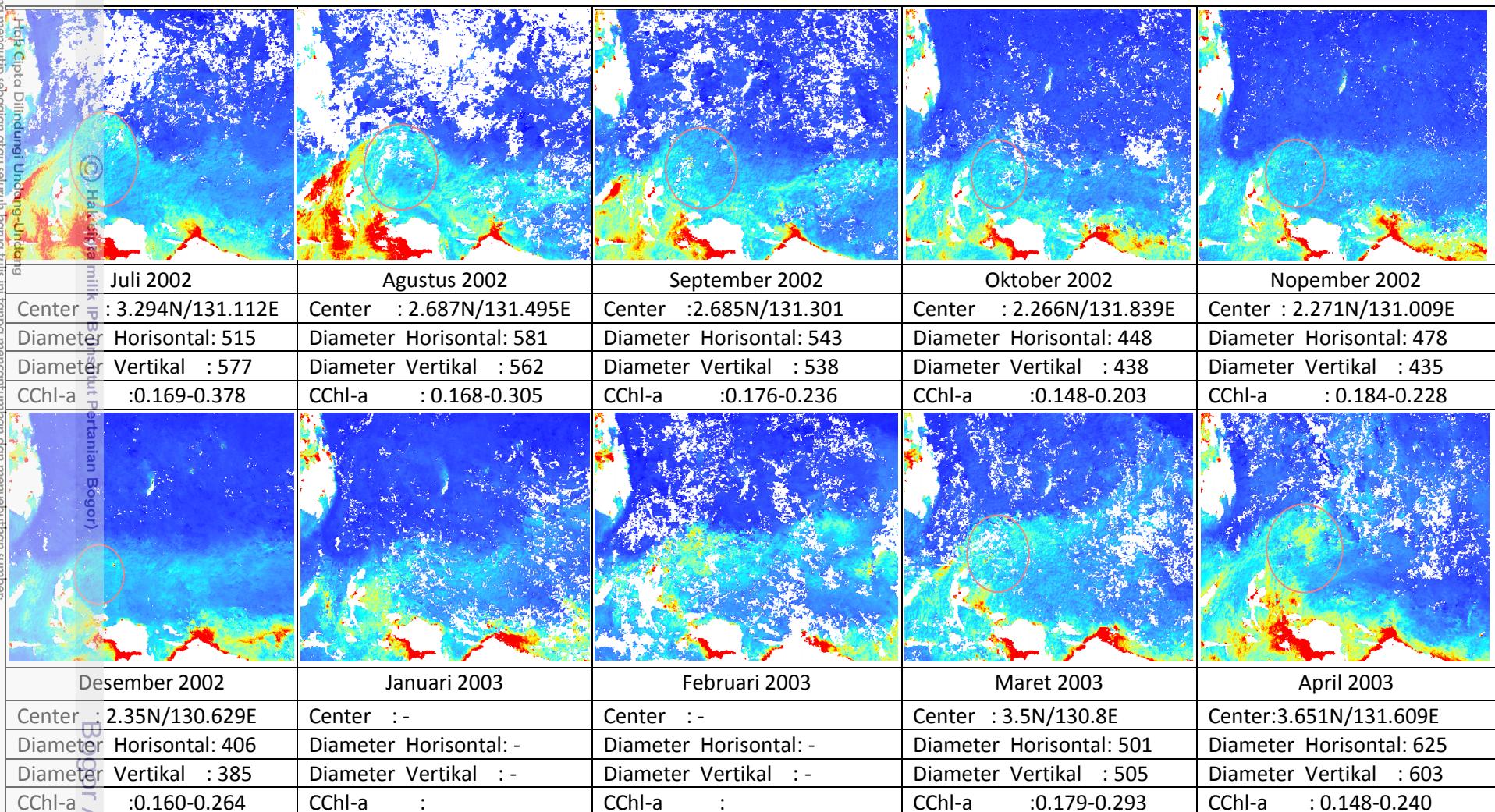
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Yu Y and Emery WJ, 1996, Satellite Derived Sea Surface Temperature Variability in The Western Tropical Pacific Ocean, 1992-1993. *Rem. Sens. Environ.* 58, pp. 299-310
- Zainuddin M, Kiyofuji H, Saitoh K, Saitoh S, 2006, Using Multi-sensor Satellite Remote Sensing and Catch Data to Detect Ocean Hot Spots for Albacore (*Thunnus alalunga*) in the Northwestern North Pacific. *Deep-Sea Res. II*, 53, : 419-431.
- <http://oceanwatch.pfeg.noaa.gov/15022011> (diakses 15 Februari 2011)
- <http://www.aviso.oceanobs.com/en/data/products/21052011>  
(diakses 21 Mei 2011)
- [http://www.pmel.noaa.gov/tao/data\\_deliv/15052011](http://www.pmel.noaa.gov/tao/data_deliv/15052011) (diakses 15 Mei 2011)
- <http://www.wcpfc.int/doc./13122011> (diakses 13 Desember 2011)
- <http://earthobservatory.nasa.gov/feature/Eddies/eddies3/php/09122013>  
(diakses 9 Desember 2013)
- [http://www.jamstec.go.jp/jamstec/TRITON/real\\_time/14042013](http://www.jamstec.go.jp/jamstec/TRITON/real_time/14042013)  
(diakses 14 April 2013)
- [http://www.spc.int/oceanfish/en/publications/703-general-oceanography-of-the\\_wcpo/03032014](http://www.spc.int/oceanfish/en/publications/703-general-oceanography-of-the_wcpo/03032014)  
(diakses 3 Maret 2014).

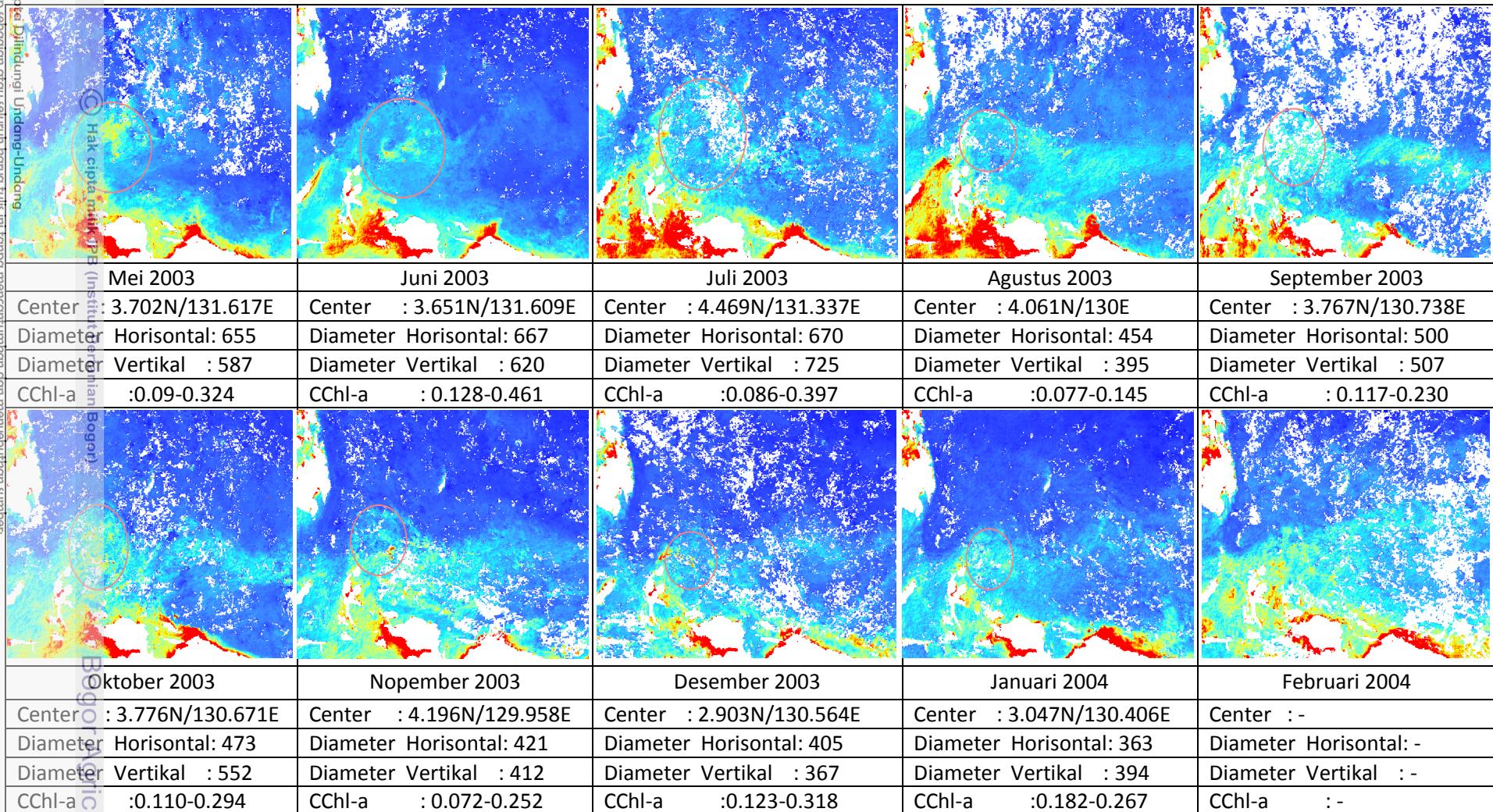
## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 1)



1. Dilarang mengutip sumber atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak mengajukan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

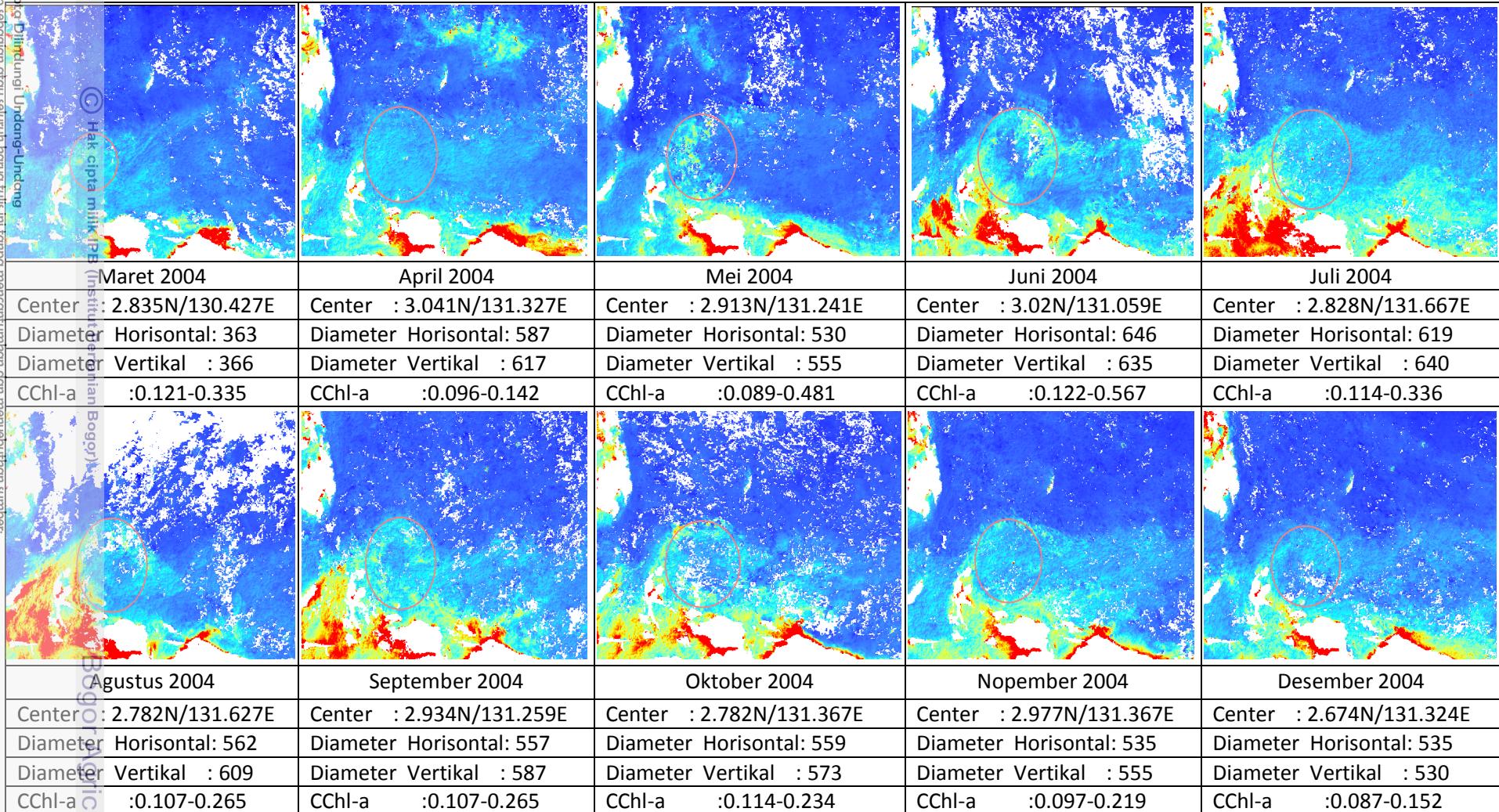
## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 2)



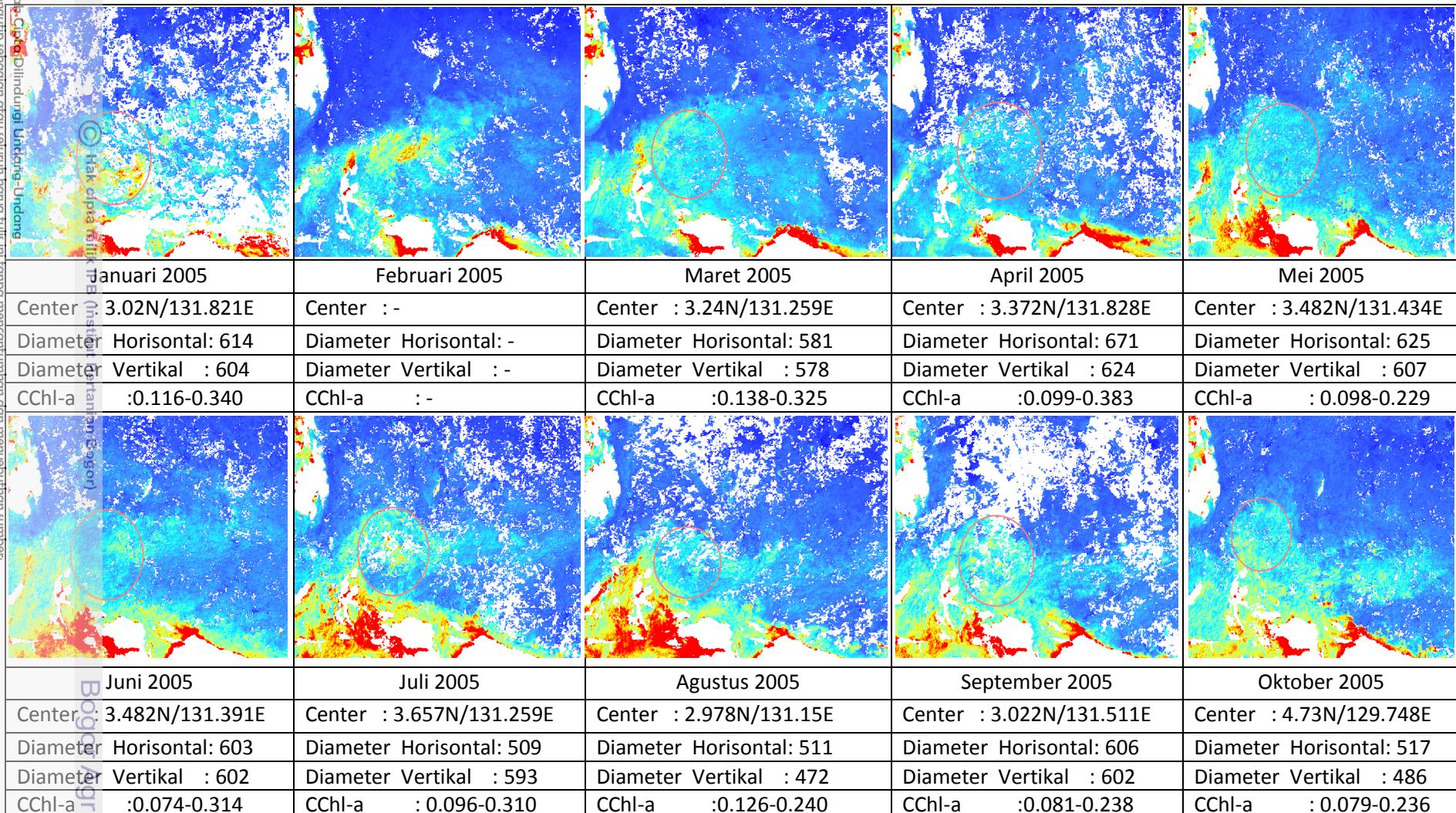
## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 3)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
© Hak cipta milik IPB

i. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak mendekati kepentingan yang wajar IPB.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 4)



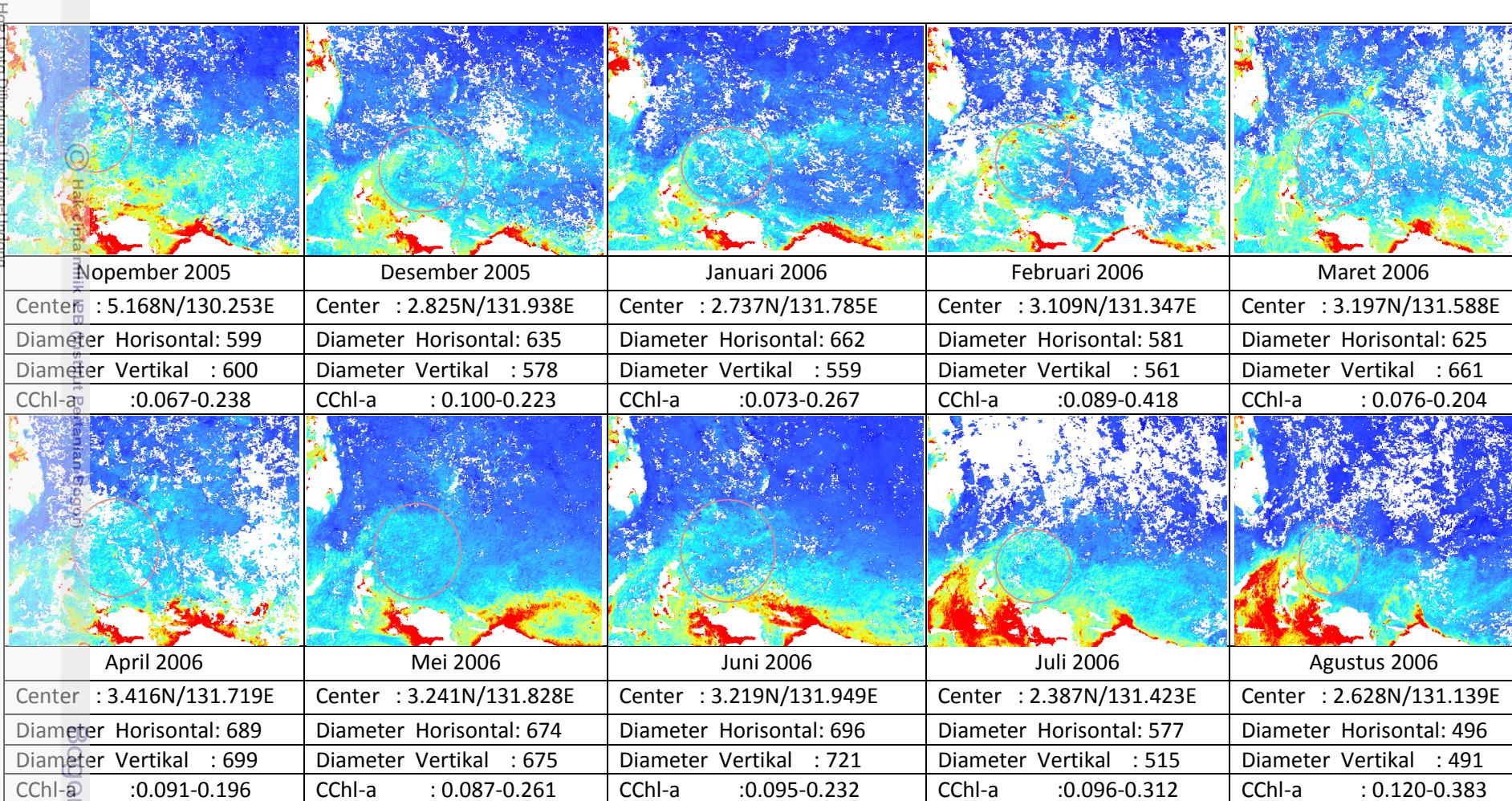
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak mendekati kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

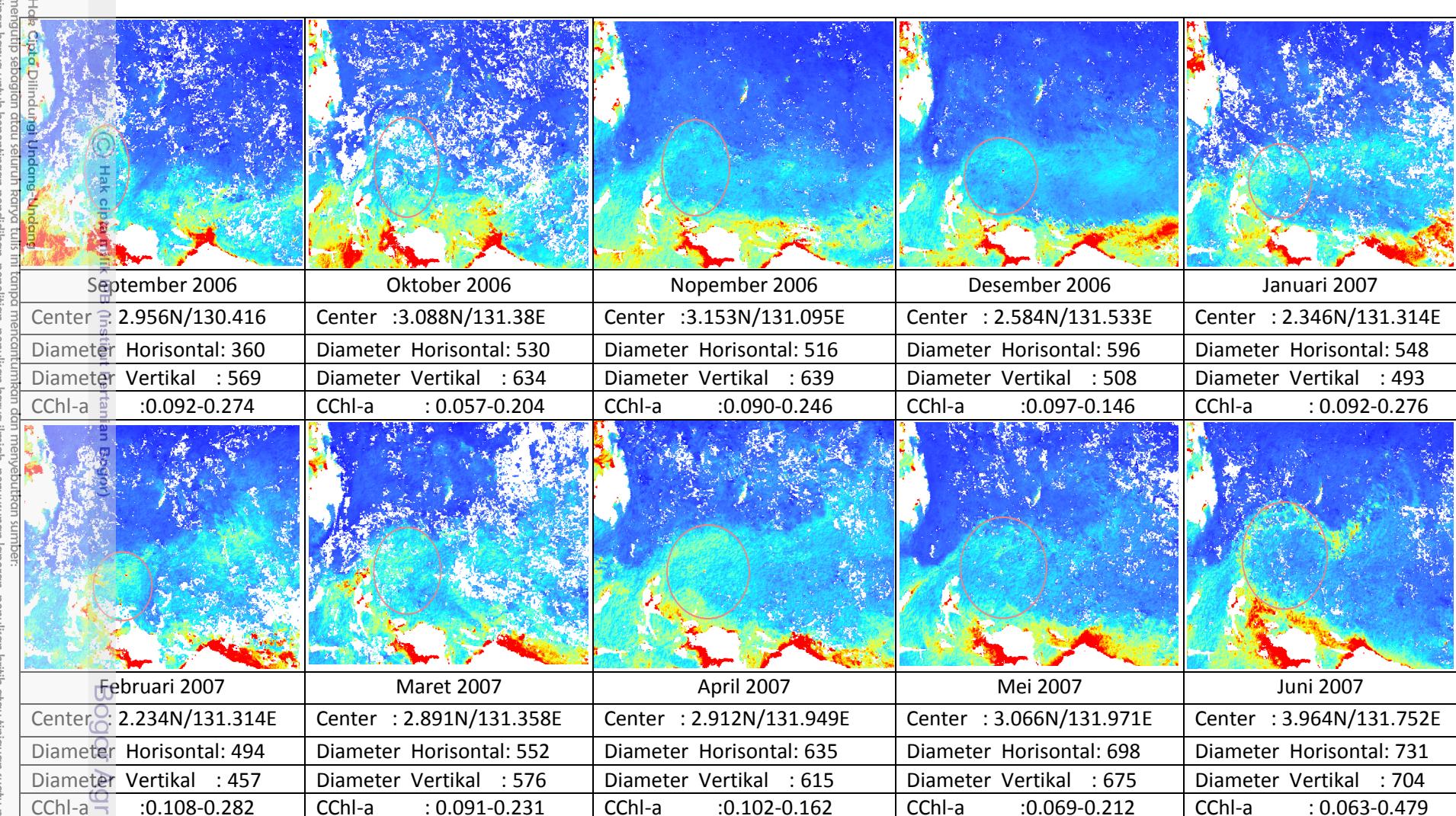
## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 5)

i. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 6)



i. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

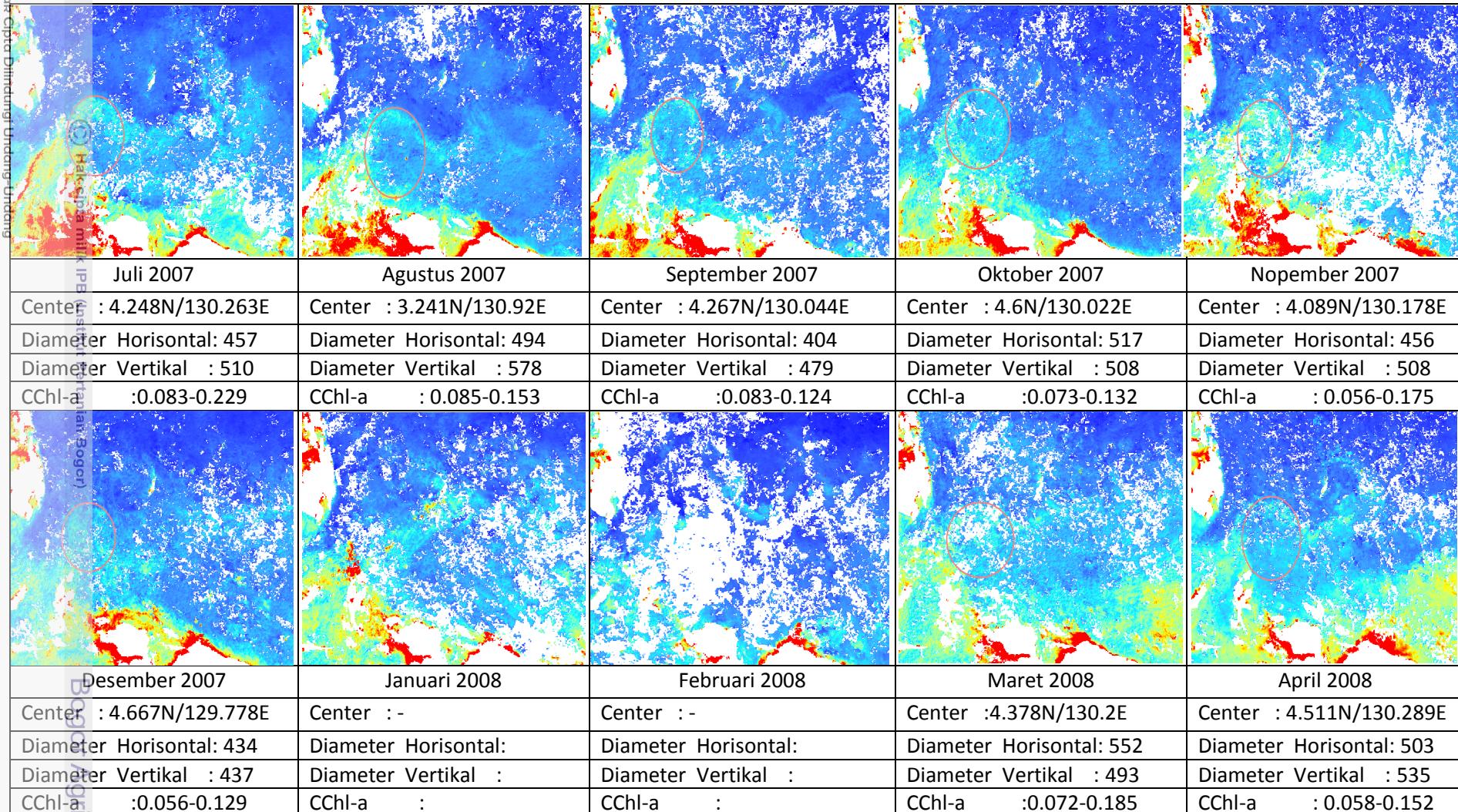
b. Pengutipan tidak mendekati kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

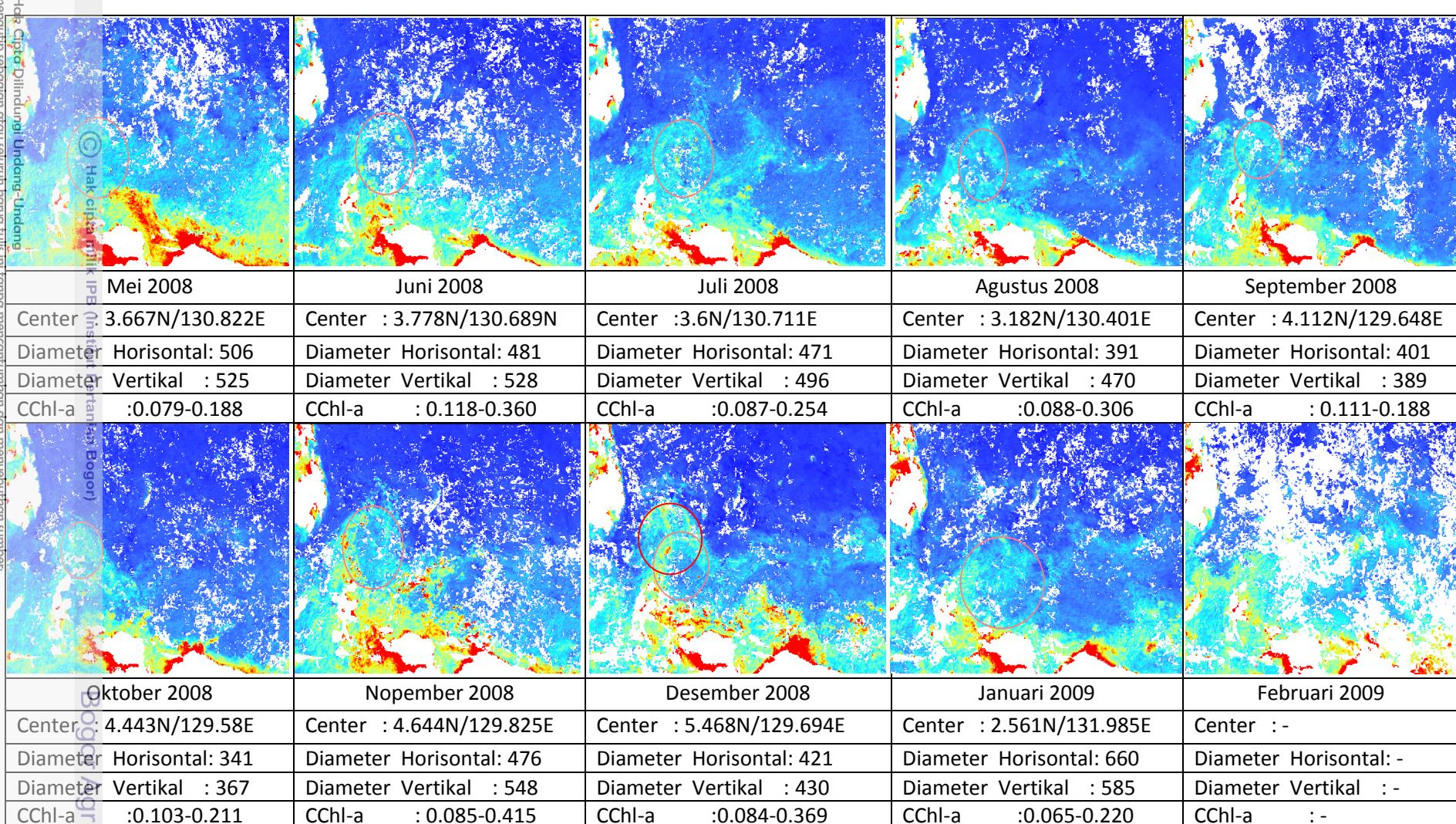
Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 7)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak mendekati kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



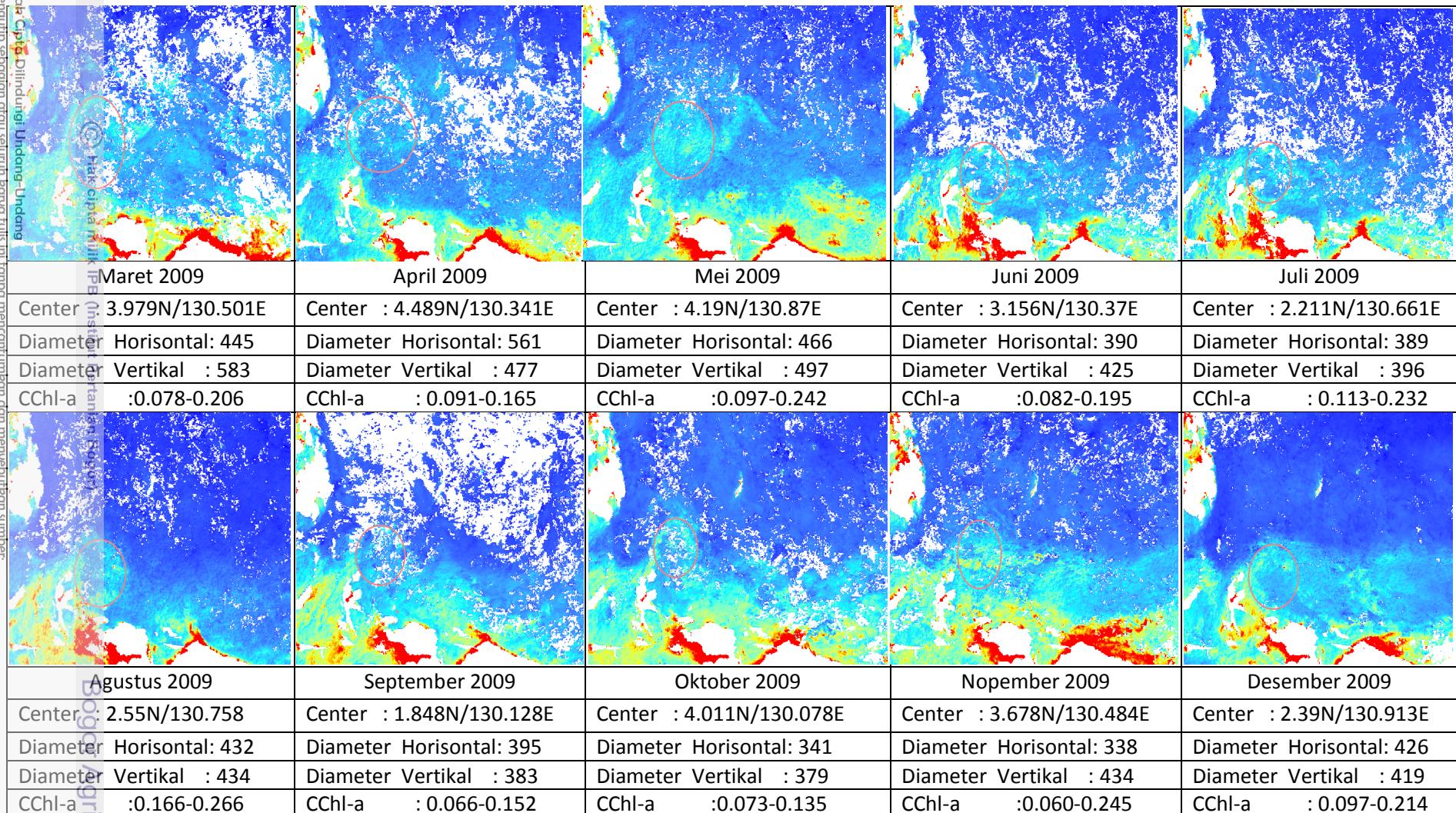
## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 8)



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak mendekati kepentingan yang wajar IPB.

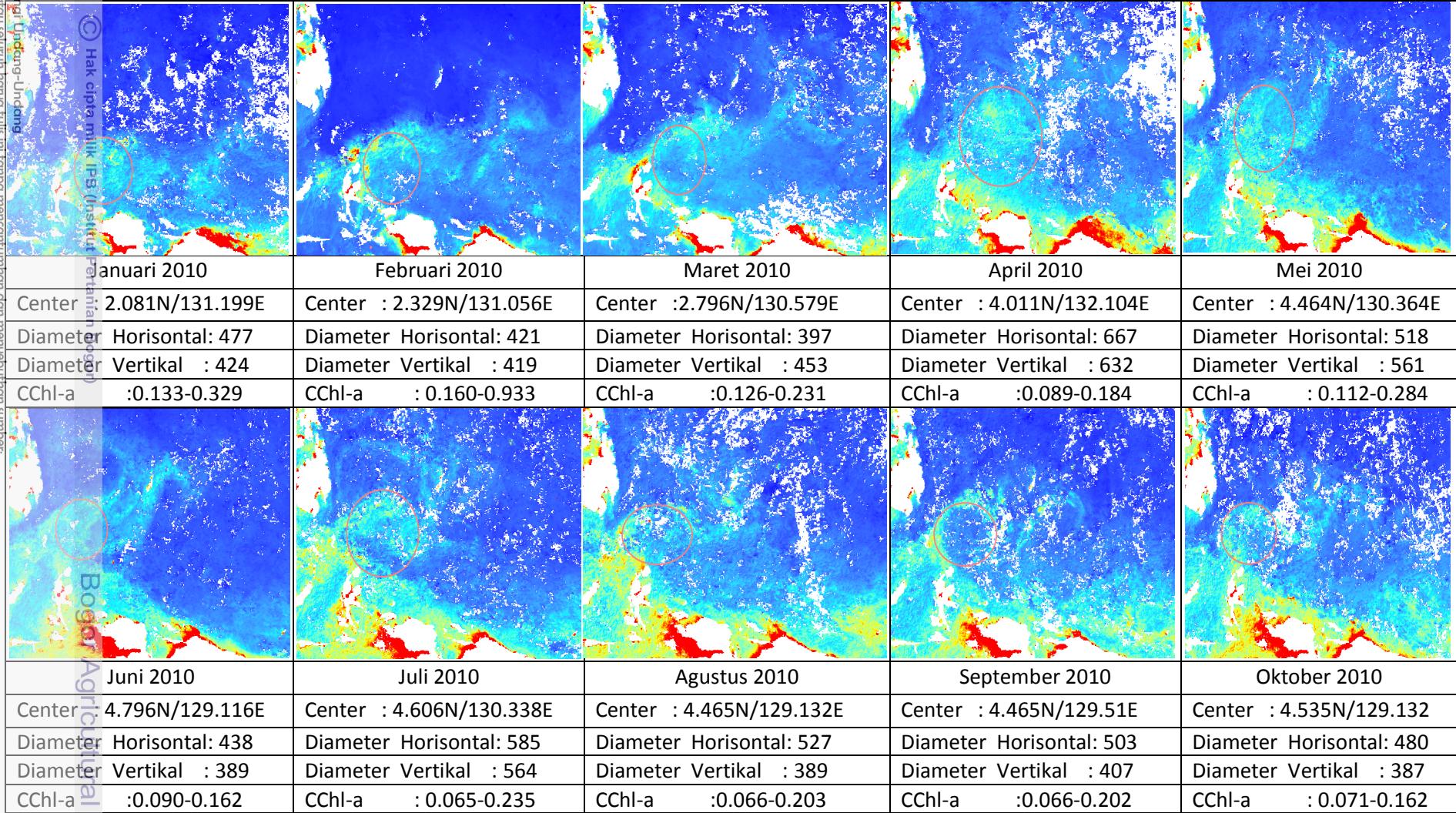
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 9)

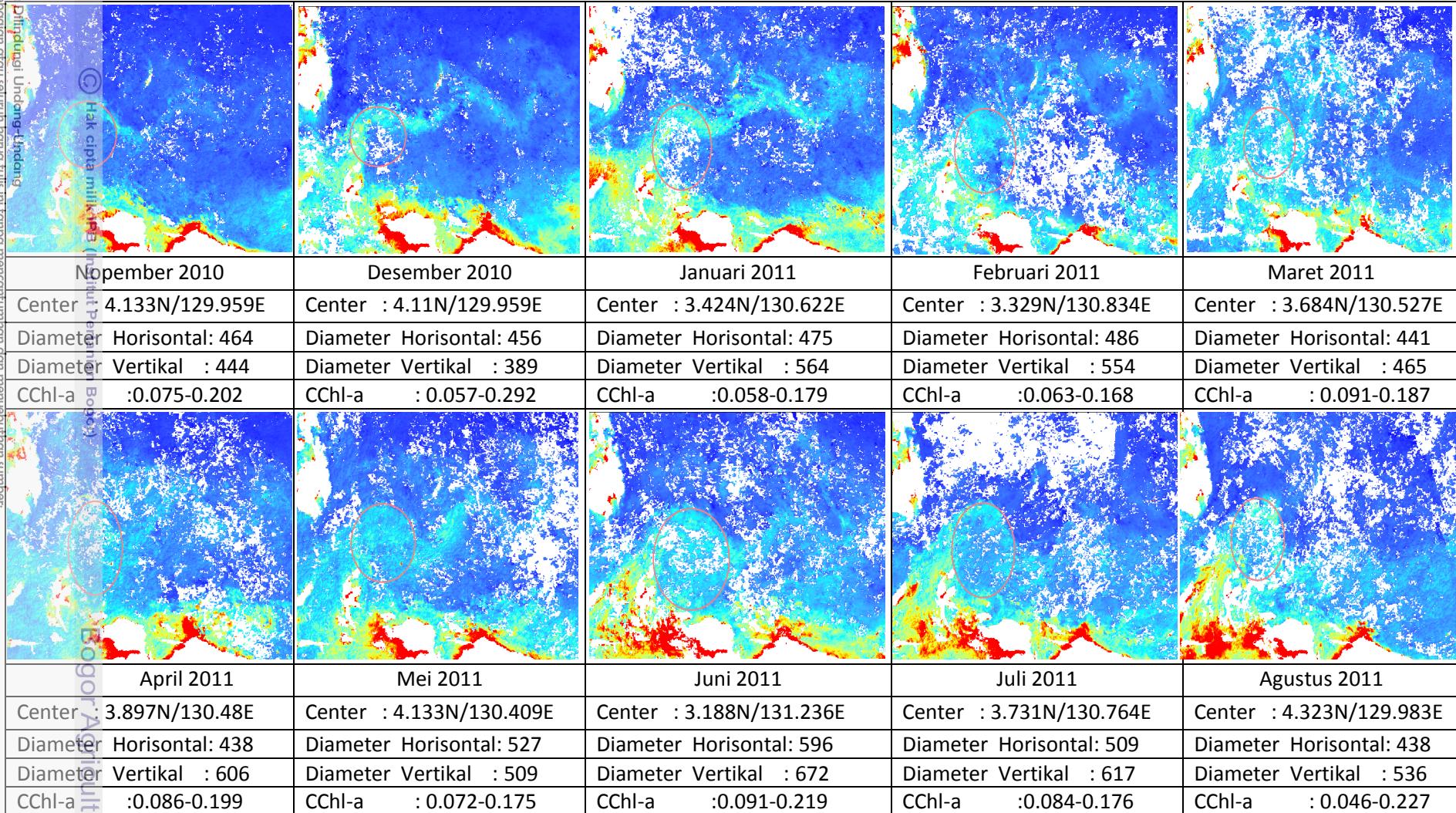


1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak mendekati kepentingan yang wajar IPB.

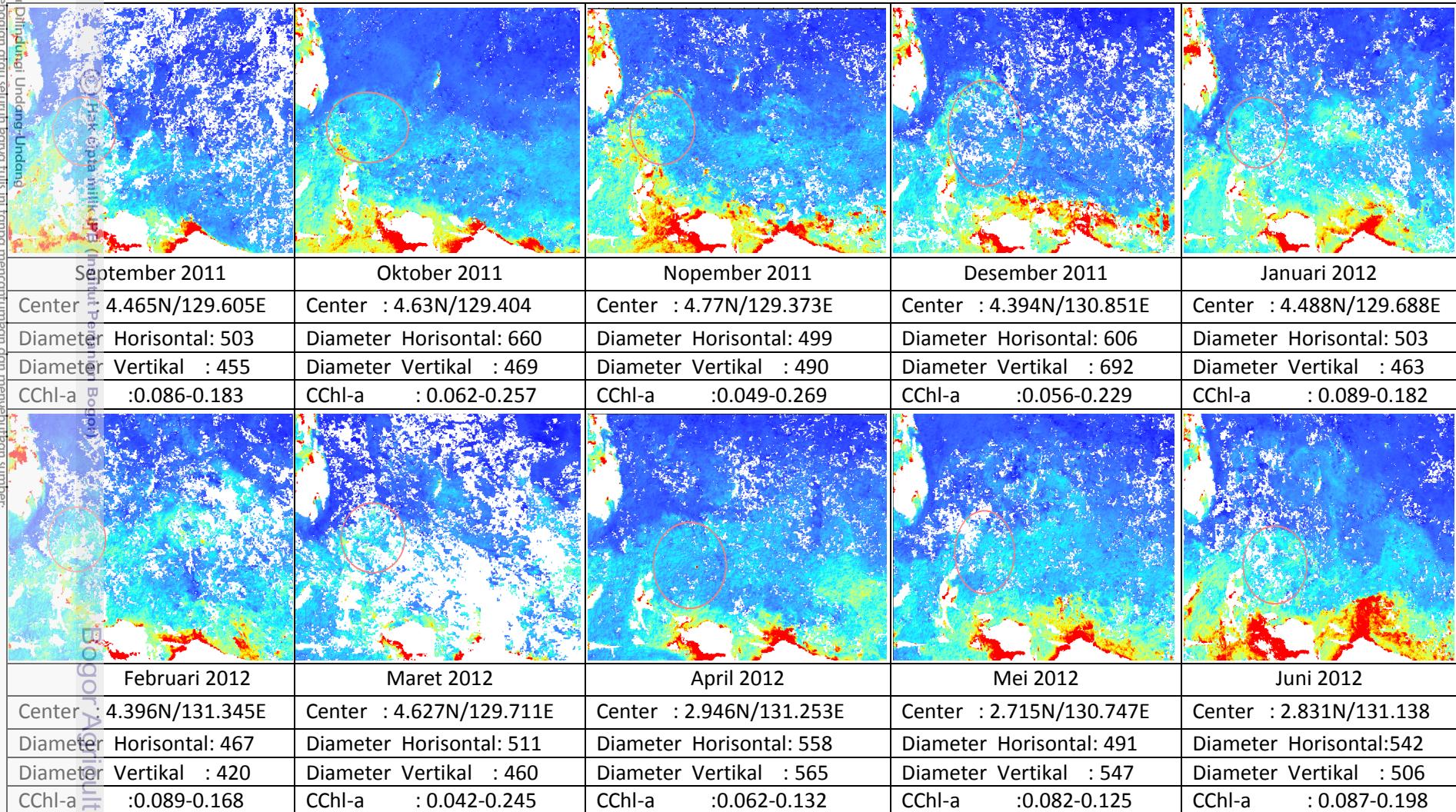
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



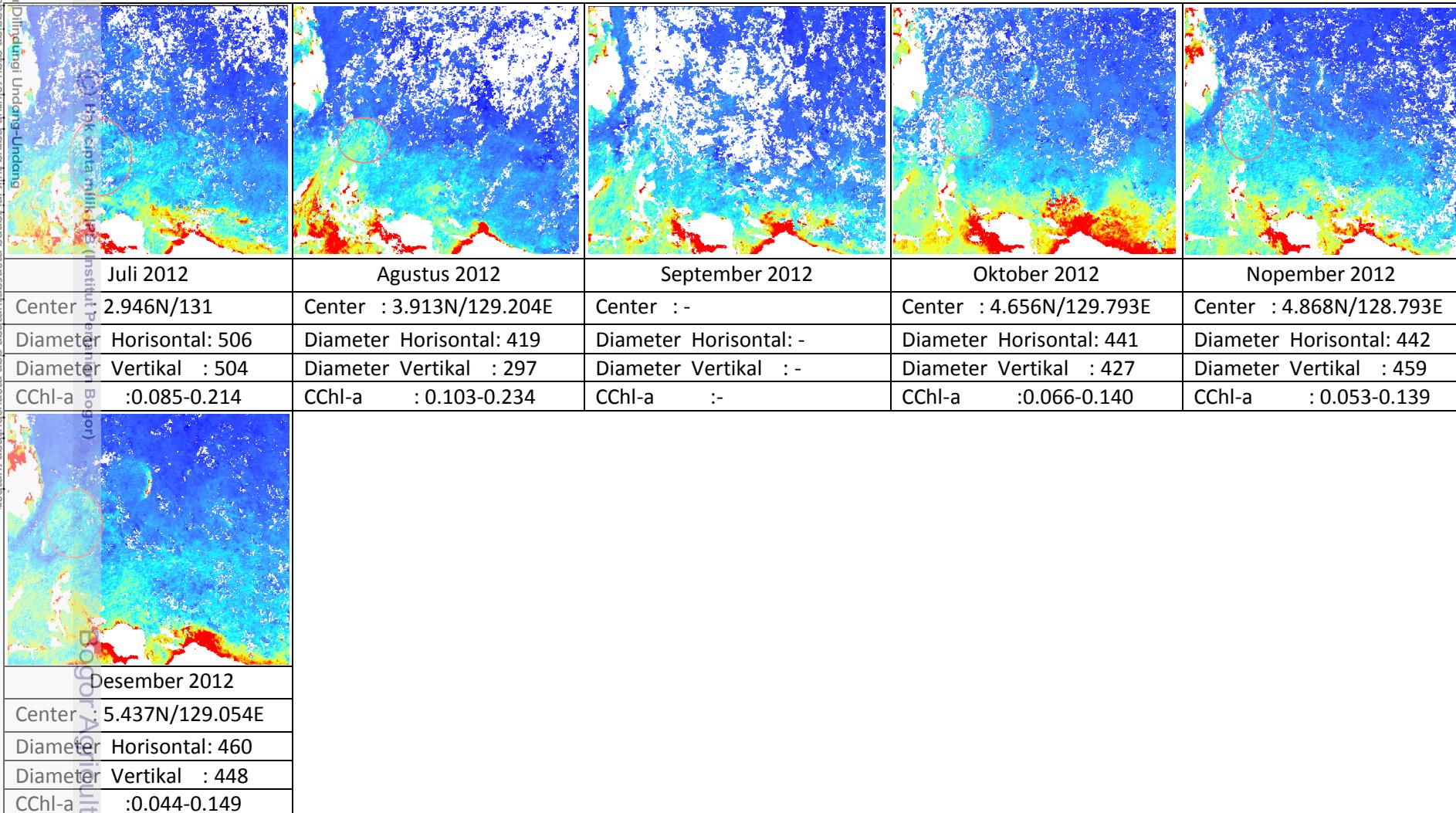
## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 11)



## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 12)



## Lampiran 1. Evolusi Halmahera Eddy Pada Citra Aqua MODIS (Bagian 13)



## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis dilahirkan di Tegal Jawa Tengah tanggal 08 Nopember 1969 sebagai anak kelima dari enam bersaudara pasangan Ibu Muslicha, ibu rumah tangga dan Bapak (Alm) Datoem, guru sekolah dasar di Tegal. Pendidikan Sekolah Dasar (1982), Sekolah Menengah Pertama (1985) dan Sekolah Menengah Atas (1988) ditempuh di Tegal. Selesai menamatkan SMA, bekerja di PT Duta Cipta Ngampilan Yogyakarta sebagai petugas *cleaning service*. Pada tahun 1989, Penulis diterima di Program Studi Ilmu dan

Teknologi Kelautan Universitas Diponegoro melalui jalur Sipenmaru dan lulus tahun 1995. Setamat sarjana, kurang lebih 5 bulan bekerja sebagai guru Madrasah Aliyah swasta di Tegal sebelum akhirnya masuk dinas militer melalui SEPA PK III 1995/1996. Pada tahun 2002, penulis melanjutkan pendidikan Strata-2 pada Program Studi Ilmu Kelautan (PS IKL) Program Pasca Sarjana (PPs) Institut Pertanian Bogor dan lulus pada tahun 2005. Tahun 2009, Penulis dipercayakan kembali untuk mengikuti pendidikan lanjutan doctor pada Mayor Teknologi Kelautan Sekolah Pascasarjana (SPS) Institut Pertanian Bogor sebagai perwira tugas belajar.

Sejak tahun 1996 sampai dengan sekarang, Penulis bekerja di Dinas Hidro-Oseanografi TNI-AL (Dishidros TNI-AL) sebagai perwira oseanografi. Selama menjadi perwira TNI, penulis telah mengikuti berbagai pendidikan keprofesian hidro-oseanografi di internal TNI-AL hingga pada tingkat keahlian Surveyor Kategori A *International Hydrography Organization* (IHO). Penulis juga memperoleh Beasiswa Unggulan P3SWOT dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Penelitian disertasinya juga dibantu oleh *Japan Agency of Marine Science and Technology* (JAMSTEC) bekerjasama dengan Badan Pengkajian dan Teknologi (BPPT) RI dalam pengambilan data lapangan di Pasifik barat. Beberapa tulisan Penulis pernah dimuat di surat kabar seperti Harian Media Indonesia (Opini), Harian Sinar Harapan (Opini) dan beberapa kali di Harian Pikiran Rakyat (pada halaman khusus) serta aktif menulis di Majalah Maritime Magazine.

Penulis telah merepresentasikan hasil penelitiannya dalam disertasi ini pada acara Pekan Ilmiah Tahunan 2012 Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (PIT ISOI) di BPPT Jakarta. Sedangkan paparan proposalnya sendiri telah dipresentasikan di atas Kapal RV Mirai milik *Japan Agency of Marine Science and Technology* (JAMSTEC) pada Pelayaran *Tropical Ocean Climate Study* (TOCS) pada 10 Agustus - 21 September 2011 saat berlayar di Samudera Pasifik. Adapun jurnal ilmiah yang terkait dengan disertasi ini antara lain berjudul "Analisis Pergeseran Halmahera Eddy Menggunakan Data Satelit Multisensor dan Hidrografi" telah dikirimkan ke Jurnal Segara (Balitbang KKP) dalam status siap diterbitkan. Karya ilmiah lainnya berjudul "Halmahera Eddy Feature Observed from Multisensor Satellite Oceanography" telah dikirimkan dalam *Asian Journal of Scientific Research* (AJSR) dalam status *External Review*.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.