

DAMPAK GELOMBANG EKUATORIAL ROSSBY TERHADAP PRODUKTIVITAS PERAIRAN, BARAT PASIFIK WARM POOL

IMPACT OF EQUATORIAL ROSSBY WAVE TO OCEAN PRIMARY PRODUCTIVITY, IN THE WESTERN PACIFIC WARM POOL

Harold J. D. Waas^{1*}, Vincentius P. Siregar^{2§}, Indra Jaya², Jonson Lumban Gaol²

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Ambon

²Departemen Ilmu Kelautan dan Teknologi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor

*E-mail: haroldjoppiewaas@gmail.com; §E-mail: vingar56@yahoo.com

Diterima tanggal: 11 juli 2014, diterima setelah perbaikan: 15 November 2014, disetujui tanggal: 28 november 2015

ABSTRAK

Gelombang ekuatorial *Rossby* selama ENSO berperan penting di perairan oligotropik Barat Pasifik *Warm Pool* (BPWP) melalui efek *rototiller* gelombang *Rossby*. Dampak utamanya adalah *blooming* fitoplankton pada puncak gelombang dan pengangkatan kedalaman klorofil-a maksimum mendekati (di atas) dasar lapisan pencampuran. Kontribusi gelombang *Rossby* dalam meningkatkan produktivitas primer permukaan perairan berdasarkan hasil perhitungan data klimatologi dan data set bulanan *ocean color* berkisar antara 4 – 38% karena konsentrasi fitoplankton yang tinggi berada di bawah kedalaman lapisan pencampuran dan zona kedalaman optikal SeaWIFS. Walaupun kontribusi gelombang *Rossby* rendah tetapi secara signifikan berkontribusi terhadap tingginya hasil tangkapan tuna selama akhir episode ENSO (Januari – Maret). Aspek lain gangguan gelombang adalah peningkatan kelimpahan group fitoplankton *Cyanobacteria* dan *Coccolitophores* (komponen dari *microbial loop*) dasar dari rantai makan tuna dan mendominasi sebagian besar produksi primer pada puncak gelombang dan kedalaman klorofil-a maksimum.

Kata kunci: gelombang ekuatorial *Rossby*, ENSO, efek *rototiller*, kedalaman lapisan pencampuran, zona kedalaman optikal SeaWIFS

ABSTRACT

Equatorial Rossby waves during ENSO plays an important role in Western Pacific Warm Pool (WPWP) oligotrophic waters through rototiller rossby wave effect. The main impact of the wave is phytoplankton blooming on wave crest and the lifting of the deep chlorophyll-a maximum near (on basis) of mixed layer depth. Wave contribution to increasing of surface marine primary productivity based on calculations of climatology and monthly data set of ocean color ranged between 4 – 38% due to the high concentration of phytoplankton below of mixed layer depth and SeaWIFS optical depth zone. Although the contribution of rossby waves is low but significantly contributes to the high catches of tuna during the end of the ENSO episodes (January to March). Another aspect of the wave disturbances is the increasing abundance of Cyanobacteria and Coccolitophores phytoplankton groups (members of microbial loop) base of tuna food chain and dominates most of primary production and grazing at the wave crest and the deep chlorophyll-a maximum.

Keywords: equatorial Rossby wave, ENSO, rototiller effect, mixed layer depth, SeaWIFS optical depth zone

PENDAHULUAN

Perairan Barat Pasifik *Warm Pool* (BPWP) merupakan perairan oligotropik yang dicirikan oleh suhu permukaan laut (SPL) yang tinggi (>29°C) dari rerata suhu perairan dunia,

produktivitas primer dan klorofil-a yang rendah serta jenuh nitrat karena dibatasi oleh lapisan penghalang bersalinitas tinggi yang mengisolasi lapisan tercampur dengan pinoklin yang kaya nutrien (Ganachaud *et al.*, 2011). Peningkatan kesuburan perairan hanya terjadi jika ada suplai

nutrien baru dari pinoklin ke lapisan tercampur di zona eufotik (Mann dan Lazier, 2006).

Produktivitas perairan yang rendah berlawanan dengan kemampuan perairan dalam mendukung dan mempertahankan keberlangsungan perikanan tuna seperti Cakalang (*Katsuwonus pelamis*), Madidihang (*Thunnus albacares*), Tuna Mata besar (*Thunnus obesus*), dan Albacore (*Thunnus alalunga*). Diestimasi bahwa perairan *Warm Pool* mampu menyuplai hasil tangkapan tuna lebih dari 2,5 juta ton/tahun dan menyumbang sekitar 40% tangkapan tahunan tuna dunia. Dengan perkembangan armada penangkapan *Purse seine* Filipina dan Indonesia kawasan perairan BPWP mampu memberikan kontribusi sebesar 20-25 % dari total hasil tangkapan tuna di perairan barat dan sentral Pasifik (Lehody *et al.*, 2011).

Kemampuan ini tidak terlepas dari keadaan biogeokimia perairan yang menopang kehadiran makanan tuna dan sekaligus mempertahankan status perairan sebagai salah satu daerah penangkapan potensial tuna selain perairan timur Pasifik, perairan sekitar Jepang, dan pantai barat Afrika (Block dan Evans, 2001). Beberapa upaya telah dilakukan untuk mencari faktor penyebab lain yang meningkatkan kesuburan perairan oligotropik meliputi Eddies (McGillicuddy *et al.*, 1998), migrasi diatom *mats* (Villareal *et al.*, 1999), siklon tropis (Lin *et al.*, 2003) dan gelombang *planetary*. Studi tentang gelombang ekuatorial ini dilakukan oleh Mysak *et al.* (1982) di timur laut Pasifik, Pan *et al.* (2011) di Laut Cina Selatan, Cipollini *et al.* (2001); Kawamiya dan Oschdlies (2001); White *et al.* (2004) di Samudera Hindia, Charria *et al.* (2008) di Atlantik Utara dan Sakamoto *et al.* (2004) di utara Pasifik Tropis Gyre.

Studi gelombang *Rossby* di perairan Pasifik secara rinci telah dipublikasikan oleh Chelton *et al.* (2003) tetapi difokuskan pada aspek fisik gelombang sedangkan pengaruh gelombang internal tersebut terhadap aspek biogeokimia perairan yang berkaitan dengan peningkatan produktivitas primer perairan dan kehadiran tuna sangat terbatas. Sehubungan dengan perairan BPWP sebagai sumber utama ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) dan responsif dengan gelombang *Rossby* maka dihipotesiskan bahwa gelombang tersebut merupakan salah satu mekanisme utama yang berperan dalam

menyuburkan perairan BPWP dalam skala yang luas sehingga perairan mampu mempertahankan eksistensinya sebagai daerah penangkapan utama tuna selama berlangsungnya ENSO.

Tulisan ini bertujuan untuk menguraikan dan memahami: (1) mekanisme pengayaan kesuburan perairan oseanik dan kuantifikasi kontribusi gelombang *Rossby* terhadap peningkatan produktivitas primer permukaan perairan, (2) respons biogeokimia perairan sebagai dampak gangguan gelombang *Rossby*, dan (3) dampak gangguan gelombang *Rossby* terhadap kelimpahan dan laju penangkapan (*catch per unit effort*) dari tiga spesies tuna yaitu Cakalang (*Katsuwonus pelamis*), Madidihang (*Thunnus albacares*) dan Tuna Mata Besar (*Thunnus obesus*) di perairan BPWP.

BAHAN DAN METODE

Studi ini bersifat eksploratif dengan menggabungkan metode penginderaan jauh satelit, *Triton Buoy Mooring* (TBM), *Nasa Ocean Biogeochemical Model* (NOBM) dan eksplorasi penangkapan tuna. Analisis difokuskan pada zonal 5 °N mengacu pada Tomczak dan Godfrey (2001) dan Chelton *et al.* (2003) bahwa zonal 5-8 °N merupakan wilayah perairan yang intensif dipengaruhi oleh gelombang *Rossby* selama ENSO (Gambar 1).

Data yang digunakan meliputi: (1) data set klimatologi bulanan, distribusi vertikal nitrat dan suhu perairan, kedalaman lapisan tercampur (*Mixed Layer Depth/MLD*), batas atas kedalaman termoklin, *Ocean color* SeaWIFS, dan SPL NOAA/AVHRR, (2) data set citra komposit bulanan tahun 1997/1998 meliputi anomali tinggi paras laut (*Sea Surface Height Anomaly/SSHA*), deviasi tinggi paras laut (*Sea Surface Height deviation/SSHD*), *ocean color* SeaWIFS, SPL, total klorofil, nitrat, besi terlarut (Fe_D), dan empat kelompok utama fitoplankton yaitu *Cyanobacteria*, *Coccolithophores*, *Diatom* dan *Chlorophytes* (tahun 1998), (3) data rekaman TBM meliputi anomali suhu air, ketinggian dinamik dan isoterm 20 °C yang bersesuaian waktunya dengan rekaman data satelit, dan (4) data hasil tangkapan tuna armada *Purse seine* Jepang tahun 1998 pada wilayah perairan sekitar transek dan BPWP tahun

yang sama. Data dikoleksi melalui NOAA PMEL LAS, APDRC LAS, Giovanni LAS, *Tropical Atmospheric Ocean Project LAS* dan *Western & Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC)*.

Pencuplikan data gelombang *Rossby* dilakukan dengan membuat transek horisontal (*cross section*) pada zonal 5 °N sepanjang bujur 125-180 °E menggunakan data klimatologi bulanan, sedangkan pencuplikan data selama ENSO dilakukan dengan membuat transek pada zonal 5°N bujur 135-165 °E menggunakan data komposit bulanan citra satelit dan TBM. Analisis data dilakukan dengan membuat sebaran vertikal nitrat dan suhu perairan mengacu pada Radenac dan Rodier (1996) dan Krauss (1967) dikompilasikan dengan kedalaman MLD, batas atas termoklin, rerata kedalaman klorofil-a maksimum (*Deep Chlorophyll-a Maximum/DCM*) di BPWP (~100 m ; Mackey *et al.*2002) dan zona kedalaman optikal SeaWIFS (Sakamoto *et al.* 2004). Analisis dilakukan menggunakan APDRC LAS 8 kecuali kedalaman klorofil-a maksimum dan zona kedalaman optikal SeaWIFS. Analisis adveksi vertikal nitrat menggunakan isopleth nitrat 1,0 µM/l yang umumnya digunakan untuk menentukan ambang batas nitrat yang berasosiasi dengan DCM.

Analisis kuantifikasi besarnya sumbangan gelombang *Rossby* terhadap peningkatan produktivitas primer permukaan perairan dihitung berdasarkan nilai persentase varians (%) klorofil-a permukaan perairan yang dihitung berdasarkan nilai integrasi kedalaman klorofil-a pada zona kedalaman optikal SeaWIFS mengacu pada Charria *et al.* (2008) dengan bentuk persamaan:

$$s^2 = \frac{\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}}{n - 1} \dots \dots \dots (1)$$

dimana, :

s^2 = nilai varians klorofil-a

n = jumlah data

y = klorofil-a (mg/m³)

$$s^2(\%) = \frac{s^2}{\sum s^2} * 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Analisis respons biogeokimia perairan menggunakan nitrat, Fe_D, total klorofil dan empat grup utama fitoplankton hasil asimilasi NOBM yang diekspresikan dalam bentuk diagram Hovmuller plots menggunakan Giovanni LAS. Model sangat komperhensif dan interaktif dan

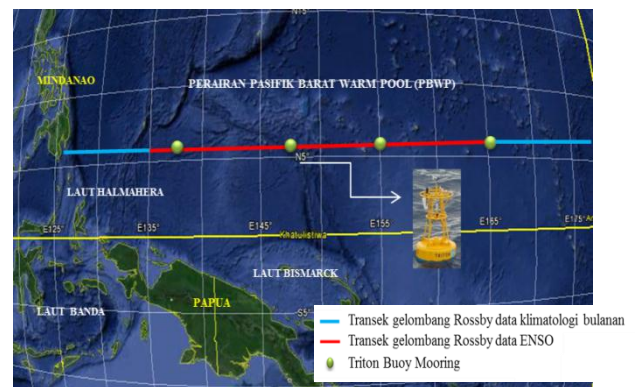
dikompilasikan dengan sirkulasi dan radiatif model untuk perairan global juga telah divalidasi secara ekstensif bersama-sama dengan data set *in situ* dan atau data set satelit (Gregg dan Cassey, 2007). Analisis kelimpahan dan laju tangkapan (CPUE) tuna dalam interaksinya dengan gangguan gelombang *Rossby* menggunakan data hasil tangkapan dua armada *Purse seine* Jepang tahun 1998 yang peroleh melalui WCPFC. Analisis kelimpahan dilakukan berdasarkan jumlah total hasil tangkapan setiap spesies tuna per bulannya (ton) dan laju tangkapan mengacu pada Pre Sparre dan Venema (1999) dengan bentuk persamaan :

$$CPUE = \frac{Catch (ton)}{Effort (hari)} \dots \dots \dots (3)$$

dimana, :

Catch = total hasil tangkapan spesies tuna (ton)

Effort = total hari operasi penangkapan (hari)



Gambar 1. Peta lokasi penelitian
Figure 1. Research location map
Sumber: Google Earth

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gelombang Ekuatorial *Rossby*

Gelombang ekuatorial *Rossby* dikenal sebagai gelombang *Rossby*, gelombang baroklinik, gelombang internal, dan gelombang *planetary* dihasilkan sebagai respons terhadap anomali angin zonal permukaan yang disebabkan oleh kencangnya embusan angin barat (*Westerly Wind Burst/WWBs*) yang berasosiasi dengan *Madden and Jullian Oscillation* dengan kecepatan zonal angin >4 m/s berlangsung setidaknya 30 – 60 hari sampai beberapa bulan (McPhaden, 1999). *WWBs* menyebabkan pergeseran *Warm Pool* yaitu kolam air hangat yang mengapung di atas air dingin bersalinitas tinggi ke timur merambat sebagai

gelombang Kelvin. Kekosongan air yang ditinggalkan oleh massa air hangat tersebut digantikan melalui taikan air dingin dari lapisan yang lebih dalam dan merambat ke barat Pasifik. Taikan air ini kelihatan mulai berkembang selama Juli pada zonal 0°, 2-10 °N dan 2-10 °S kecuali pada bulan Maret kelihatan pada zonal 8 °N di BPWP.

Selama perambatannya, pengaruh gaya Coriolis menyebabkan percabangan utara dan selatan pada zonal 5-10 °N dan 5-10 °S lebih luas dari hasil yang dijelaskan secara teoritis oleh Tomczack dan Godfrey (2001) maupun Chelton *et al.* (2003) (Gambar 2). Dari kedua kutub rambatan tersebut gelombang *Rossby* lebih terkonsentrasi pada kutub rambatan utara dengan intensitas yang menguat bersamaan dengan meningkatnya lintang. Di kutub rambatan selatan, walaupun terkonsentrasi pada wilayah zonal yang sama namun intensitasnya melemah dengan meningkatnya lintang. Perambatan gelombang juga diikuti oleh isoterm 20 °C dan ketinggian dinamik (Yu dan McPhaden, 1999).

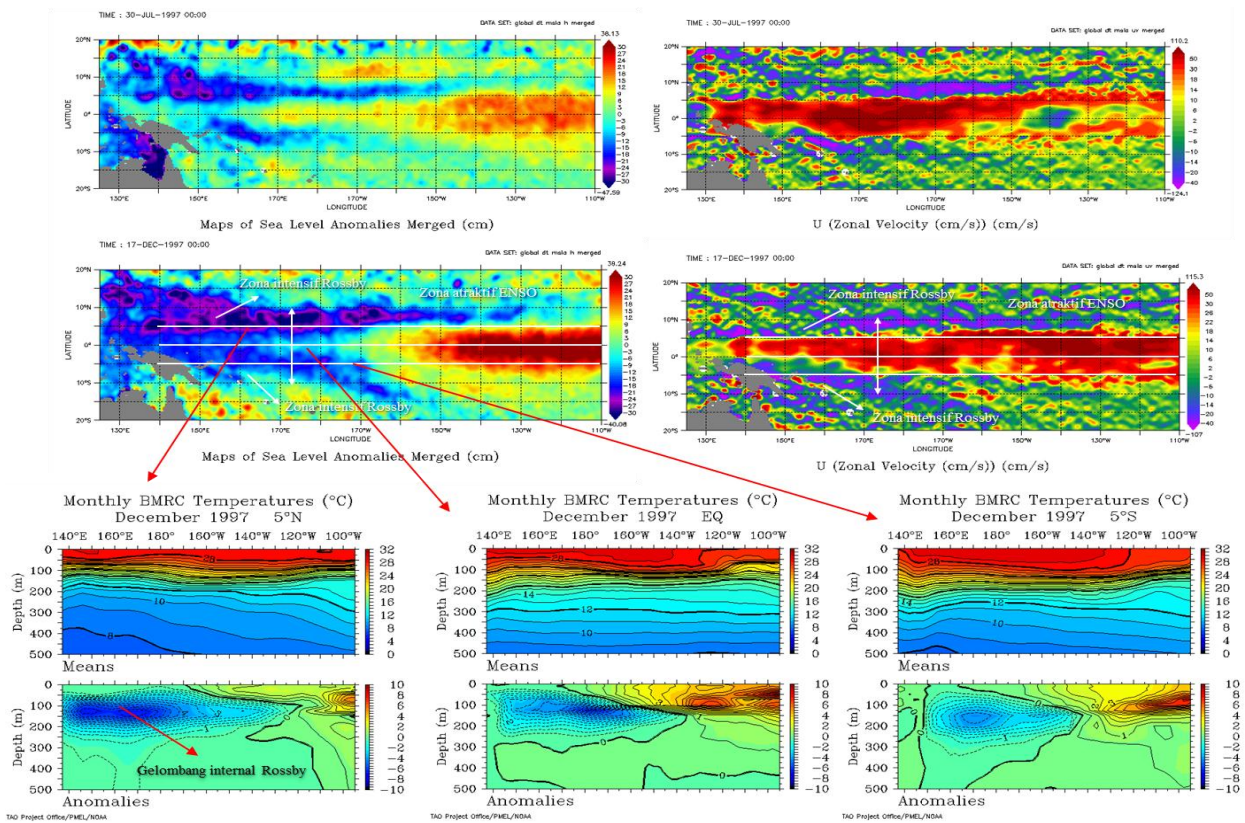
Gelombang *Rossby* kutub rambatan utara mendominasi perairan BPWP selama periode musim barat akhir dari perkembangan ENSO untuk menciptakan taikan di timur perairan Filipina dan *coastal upwelling* di utara kontinen Papua. Gelombang *Rossby* kutub rambatan selatan mendominasi perairan Laut Solomon dan sekitarnya serta perairan kawasan timur Indonesia seperti Laut Aru, Arafura, Seram dan Banda untuk membangkitkan taikan di kawasan perairan tersebut selama periode musim timur.

Hasil identifikasi pada *cross section* 5 °N sepanjang bujur 135-165 °E memperlihatkan bahwa gelombang baroklinik tersebut identik dengan SSHA negatif dan ketinggian dinamik yang rendah akibat pengangkatan isoterm 20 °C lebih dangkal dan juga bersesuaian dengan pendangkalan anomali air dingin yang kelihatan pada *cross section* (Gambar 3). Propagasi gelombang kelihatan lebih *smooth* jika dibandingkan dengan pola perambatannya di lintang menengah yang membentuk pola diagonal pada *longitude -time plot* di zonal 28°S, 37,75°S, 22,5°N dan 34°N sebagai akibat pengaruh gaya Coriolis dan perbedaan lintang yang signifikan (Cipollini *et al.*, 2001).

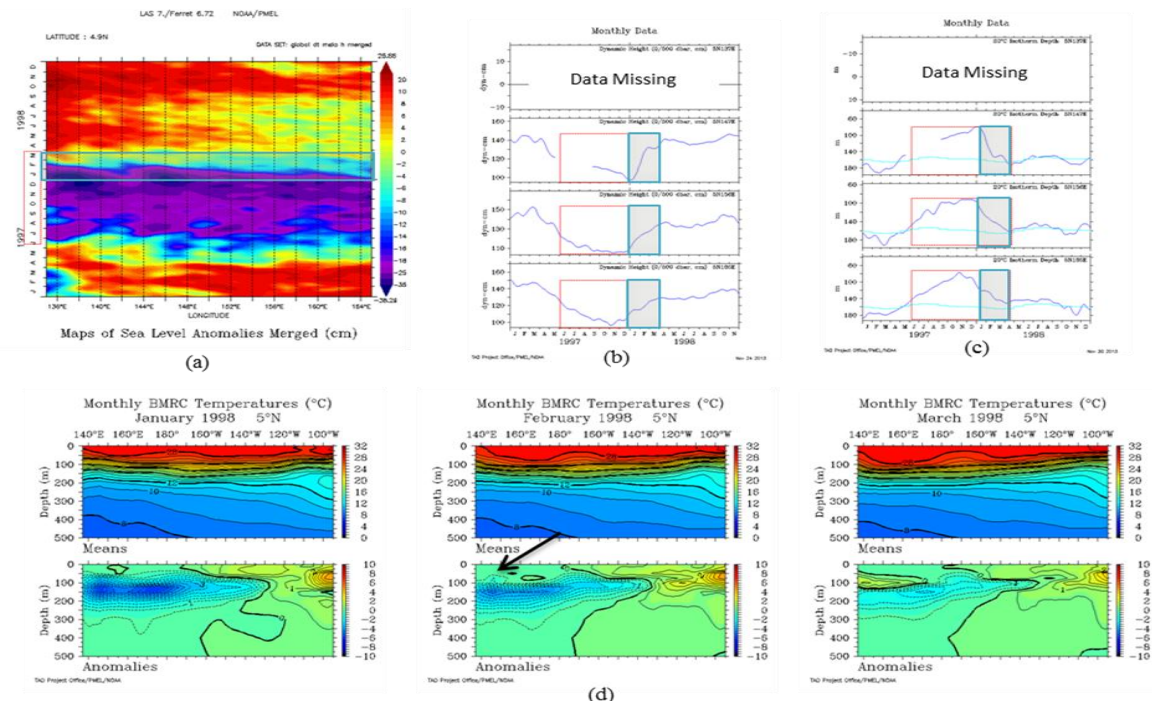
3.2 Mekanisme Pengayaan Perairan

Efek biologis gelombang *Rossby* dihasilkan melalui adveksi vertikal massa air dingin kaya nutrien dari pinoklin (nitraklin) ke MLD terjadi di puncak gelombang selama musim barat (Januar-Maret) pada *cross section* gelombang. Hasil analisis menunjukkan bahwa rambatan gelombang *Rossby* selama Januari menghasilkan dua puncak gelombang yang berada disekitar bujur 125-140 °E dan 160-175 °E. Puncak gelombang utama terpusat pada bujur 133 °E (SSHA (-8,5) cm) sedangkan lembah gelombang berada pada wilayah perairan sekitar bujur 142-160 °E (SSHA 8 cm) (Gambar 4a). Kedalaman adveksi isopleth nitrat 1,0 µm/l yang berasosiasi dengan suhu perairan 26-27 °C mendekati kedalaman 38 m diatas kedalaman rerata MLD (18-47m; rerata 34 m) pada bagian puncak gelombang. Dengan membandingkan kedalaman adveksi nitrate, MLD dan zona kedalaman optikal SeaWIFS (25-40 m) dapat dijelaskan bahwa *blooming* fitoplankton terjadi pada kedalaman 2 m di atas dasar MLD maksimum sehingga fluoresensi yang dihasilkan oleh fitoplankton terdeteksi pada sensor SeaWIFS sebagai konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi. Sementara itu, pada bagian lembah gelombang yang dicirikan oleh MLD yang lebih dalam (26-60 m; rerata 47 m) dan penenggelaman isopleth 1.0 µm/l yang berasosiasi dengan suhu 26-27 °C di kedalaman 80-100 m. *Blooming* fitoplankton dapat terjadi di bawah MLD atau di dasar zona eufotik pada lembah gelombang dengan fluoresensi tidak menjangkau zona kedalaman optikal SeaWIFS.

Hasil analisis gelombang *Rossby* pada Februari (Gambar 3b) memperlihatkan bahwa gelombang internal ini membentuk tiga puncak gelombang sepanjang *cross section* dengan puncak utama terkonsentrasi pada bujur 133 °E. *Blooming* fitoplankton terjadi pada bujur 125-140 °E diindikasikan oleh adveksi isopleth nitrat 1,0 µm/l (26-27 °C) pada kedalaman 35 m di atas kedalaman MLD (28-39 m; rerata 34 m) atau pada kedalaman 4 m di atas dasar MLD maksimum. Sementara di bagian lembah gelombang pada bujur 140-147 °E (SSHA 9 cm) ditandai oleh MLD yang lebih dalam (34-45 m; rerata 41 m). Adveksi isopleth 1,0 µm/l (26-27 °C) mendekati kedalaman 80-105 m. *Blooming* fitoplankton terjadi di bagian bawah MLD atau dekat dasar zona eufotik namun tidak terjangkau oleh zona kedalaman optikal SeaWIFS. Perairan



Gambar 2. Kenampakan gelombang Rossby (Juli & Desember) ENSO 1997/1998
 Figure 2. Appearance of Rossby waves (July & December) ENSO 1997/1998
 Sumber: Hasil analisis



Gambar 3. Kunci identifikasi gelombang Rossby (Januari – Maret) 1998
 Figure 3. Key identification of rossby wave (January – March) 1998
 Sumber: Hasil analisis

dengan puncak gelombang yang terpusat pada bujur 152 °E, adveksi nitrat lemah mencapai MLD dan berada di luar jangkauan zona kedalaman optikal SeaWIFS. *Blooming* fitoplankton juga terjadi pada bujur 175 °E dimana adveksi vertikal isopletnitrat 1,0 µm/l dapat mencapai permukaan perairan sekitar bujur 170-180 °E.

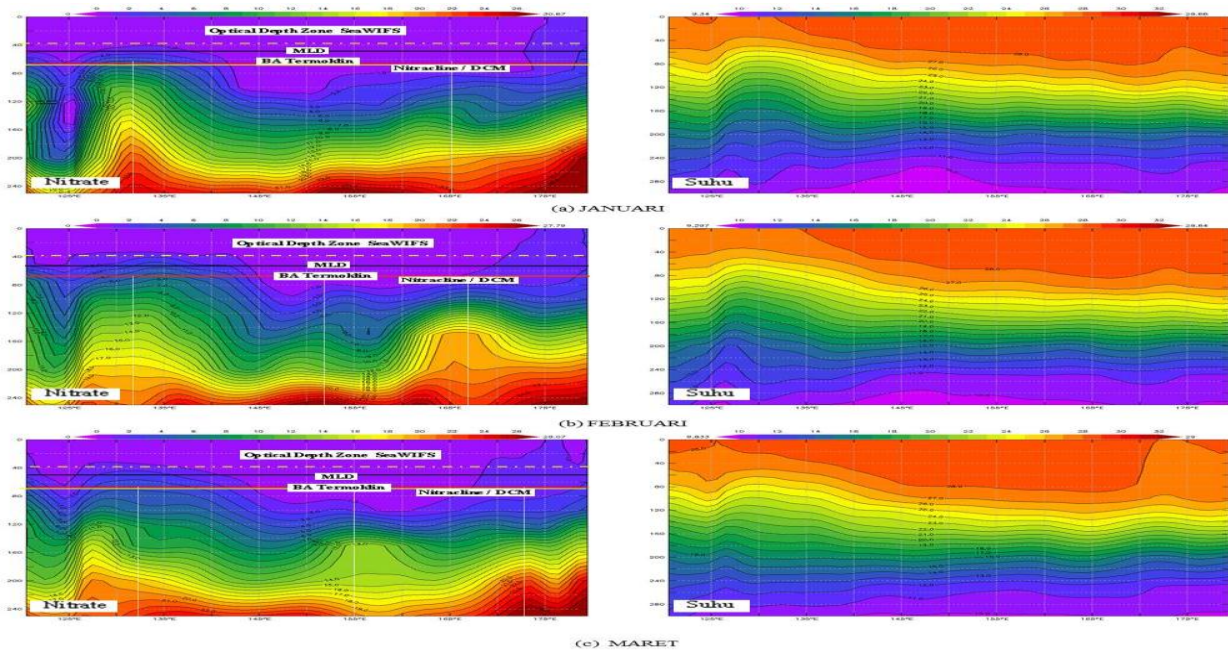
Rambatan gelombang *Rossby* pada Maret (Gambar 3c) membentuk tiga puncak gelombang dengan gelombang utama terkonsentrasi pada bujur 25-140 °E dengan puncak gelombang berada pada bujur 133 °E. Adveksi nitrat mencapai MLD diindikasikan oleh isoplek 1,0 µm/l (27 °C) mencapai kedalaman 35 m sementara MLD lebih dalam (23-58 m; rerata 40 m). *Blooming* fitoplankton terjadi dalam MLD dan fluoresensi yang kuat dihasilkan oleh fitoplankton dapat terekam pada sensor karena berada pada jangkauan zona kedalaman optikal SeaWIFS. Di bagian lembah gelombang, pada bujur antara 140-150 °E (SSHA 13,5 cm) walaupun MLD dalam (46- 60 m; rerata 53 m) namun adveksi vertikal isoplek nitrat 1,0 µm/l (26-27 °C) tidak menjangkau kedalaman MLD karena berada pada kedalaman 80-100 m. *Blooming* fitoplankton terjadi di bawah kedalaman MLD atau pada bagian perairan yang mendekati dasar zona eufotik namun tidak terjangkau oleh zona kedalaman optikal SeaWIFS. Keadaan yang sama juga diperlihatkan oleh gelombang dengan puncaknya pada bujur 155 °E dimana adveksi vertikal isopletnitrat 1,0 µm/l (26-27 °C) hanya menjangkau kedalaman 80-105 m tidak mencapai kedalaman MLD maupun zona kedalaman optikal SeaWIFS. Sebaliknya, gelombang dengan puncaknya pada bujur 173°E (SSHA 5 cm) menghasilkan *blooming* fitoplankton yang mengarah pada bujur 180°E karena adveksi isopletnitrat 1,0 µm/l mencapai permukaan perairan dan zona kedalaman optikal SeaWIFS.

Dari hasil analisis dapat dijelaskan bahwa peningkatan produktivitas primer permukaan perairan PBWP yang diakibatkan oleh gelombang *Rossby* terjadi pada bagian puncak gelombang utama di mana intensitas taikan kuat terjadi. Sebagai konsekwensinya, nutrisi dengan konsentrasi yang tinggi dari nitraklin yang berasosiasi dengan DCM terangkat mencapai kedalaman dangkal di atas dasar MLD dan dijangkau oleh zona kedalaman optikal SeaWIFS.

Pengangkatan tersebut secara langsung berdampak terhadap peningkatan konsentrasi fitoplankton dan produktivitas primer di permukaan perairan namun proporsi terbesar konsentrasi klorofil-a yang tinggi berada di bawah kedua kedalaman tersebut. Sementara di lembah gelombang dan puncak gelombang dimana taikan lemah, *blooming* fitoplankton terjadi pada kedalaman 80-120 m yaitu kisaran kedalaman yang mendekati nitraklin dan DCM di barat Pasifik (60-150 m) (Mackey *et al.*, 2002) namun fluoresensi yang dihasilkan oleh fitoplankton tidak mencapai zona kedalaman optikal satelit.

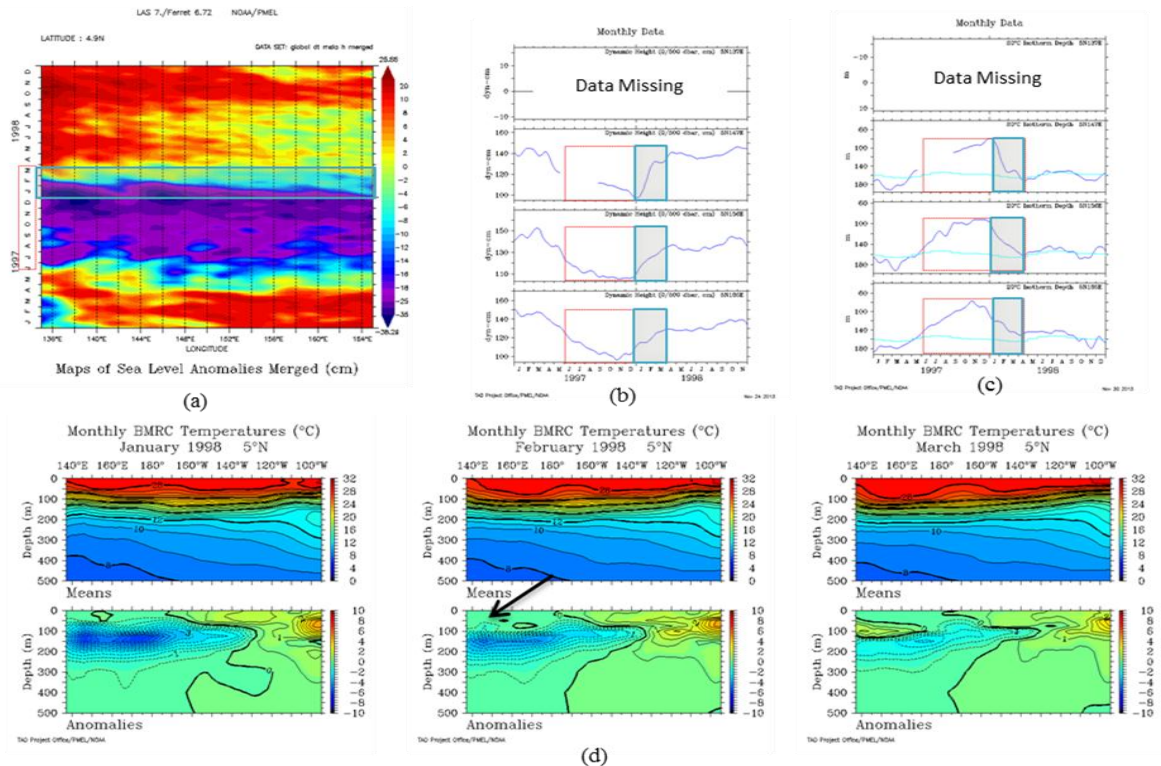
Mekanisme tingginya konsentrasi klorofil-a pada puncak gelombang dan rendah di bagian lembah gelombang merupakan efek *rototiller* gelombang *Rossby* yang menyebabkan adveksi air dingin yang kaya nutrisi ke permukaan melalui taikan nitraklin di sisi terdepan densitas gelombang dan mendorong pertumbuhan fitoplankton. Air dengan nutrisi yang rendah ditenggelamkan di sisi yang lain, sehingga respons terhadap proses linier taikan adalah non linier (Siegel, 2001). Mekanisme ini berbeda dengan Eddies yang menginduksi nutrisi dari pusaran, cenderung mempertahankannya dalam inti pusaran dan hanya mengadveksi air vertikal ketika intensif atau lemah, sedangkan gelombang *Rossby* akan mengangkat nutrisi dan menenggelamkan air yang kehilangan nutrisi sepanjang jalur propagasinya (Killworth *et al.*, 2007).

Hasil kajian ini dibuktikan melalui analisis diagram Hovmuller plots data satelit *Ocean color*, SSHA dan SPL. Gambar 5 memperlihatkan bahwa perairan di sekitar puncak gelombang utama (SSHA negatif) memiliki klorofil-a yang tinggi berkisar antara 0,06-0,18 mg/m³ (rerata 0,11 mg/m³). Sementara di sekitar lembah gelombang (SSHA positif) maupun gelombang lainnya dengan taikan nitrat lemah memiliki konsentrasi klorofil-a yang rendah antara 0,05-0,12 mg/m³ (rerata 0,08 mg/m³). Di perairan sekitar sentral kolam hangat – *International Date Line* (165-180°E) konsentrasi klorofil-a memiliki nilai yang sama dengan puncak gelombang utama walaupun termoklin lebih dalam. Hal ini disebabkan oleh adveksi horisontal *cold tongue* atau jalur air dingin indikator *equatorial upwelling* dari sentral Pasifik yang menjangkau bujur 145 °E selama periode *La Nina* atau *Eddies* yang dihasilkan karena gelombang *Rossby*



Gambar 4. Distribusi vertikal nitrat dan suhu perairan sebagai manifestasi gelombang Rossby (Januari-Maret)
 Figure 4. Vartical distribution of nitrate and water temperature as a manifestation of Rossby wave (January-March)

Sumber: Hasil analisis



Gambar 5. Diagram Hovmuller plots (Longitude-time) (a) Klorofil-a, SSHA dan SPL, (b) SSHA (Longitude-line) (Januari-Maret)
 Figure 5. Hovmuller plots diagram (Longitude-time) of (a) Chlorophyll-a, SSHA and SST, (b) SSHA (Longitude-line) (January-March)

Sumber: Hasil analisis

berhenti atau beristirahat dalam kaitannya dengan medan gelombang *Rossby* (LaCasce dan Pedlosky, 2004).

Besarnya kontribusi relatif gelombang ekuatorial tersebut terhadap peningkatan produktivitas primer perairan melalui peningkatan klorofil-a permukaan perairan pada perairan sekitar puncak gelombang utama selama musim barat berkisar antara 4-10 % sedangkan di perairan yang dipengaruhi oleh *fiture* oseanografi lainnya selama musim timur berkisar antara 9-12 %.

3.3 ENSO 1997/1998

Rambatan gelombang *Rossby* selama ENSO 1997/1998 kuat di BPWP memberikan efek pengayaan kesuburan melalui peningkatan status perairan dari keadaan oligotropik menjadi mesotropik. Keberadaan gelombang internal ini diindikasikan oleh kenampakan anomali air dingin selama Januari-Februari yang berpusat pada bujur 145 °E dan 170 °E pada kedalaman 125-150 m. Intensitas gelombang melemah selama Maret karena kolom hangat mulai bergeser ke timur. Pendangkalan gelombang menyebabkan adveksi vertikal massa air dingin kaya nutrisi dengan anomali (-0,5)-(-1) °C pada kedalaman 35-75 m. Fenomena ini juga dijelaskan melalui distribusi kedalaman isoterm 20 °C indikator kedalaman sentral termoklin di barat Pasifik yang dangkal (60-100 m) selama musim barat dan lebih dalam (140-160 m) selama musim transisi dan timur (Gambar 3c dan d).

Adveksi vertikal air dingin pada bujur 135-145 °E mencapai MLD (27-50 m; rerata 40 m) di zona eufotik dengan nutrisi yang kaya dari pinoklin/nitaklin namun kedalaman adveksi maksimum hanya berjarak 5 m dari jangkauan zona kedalaman optikal SeaWiFS. Sementara pada bujur 147-165 °E kedalaman adveksi tidak menjangkau MLD yang cenderung lebih dalam (26-76 m; rerata 56 m) maupun zona kedalaman optikal SeaWiFS. Keadaan ini mengisyaratkan bahwa area perairan berada pada lembah gelombang *Rossby* dengan pola yang sama dengan data klimatologi bulanan.

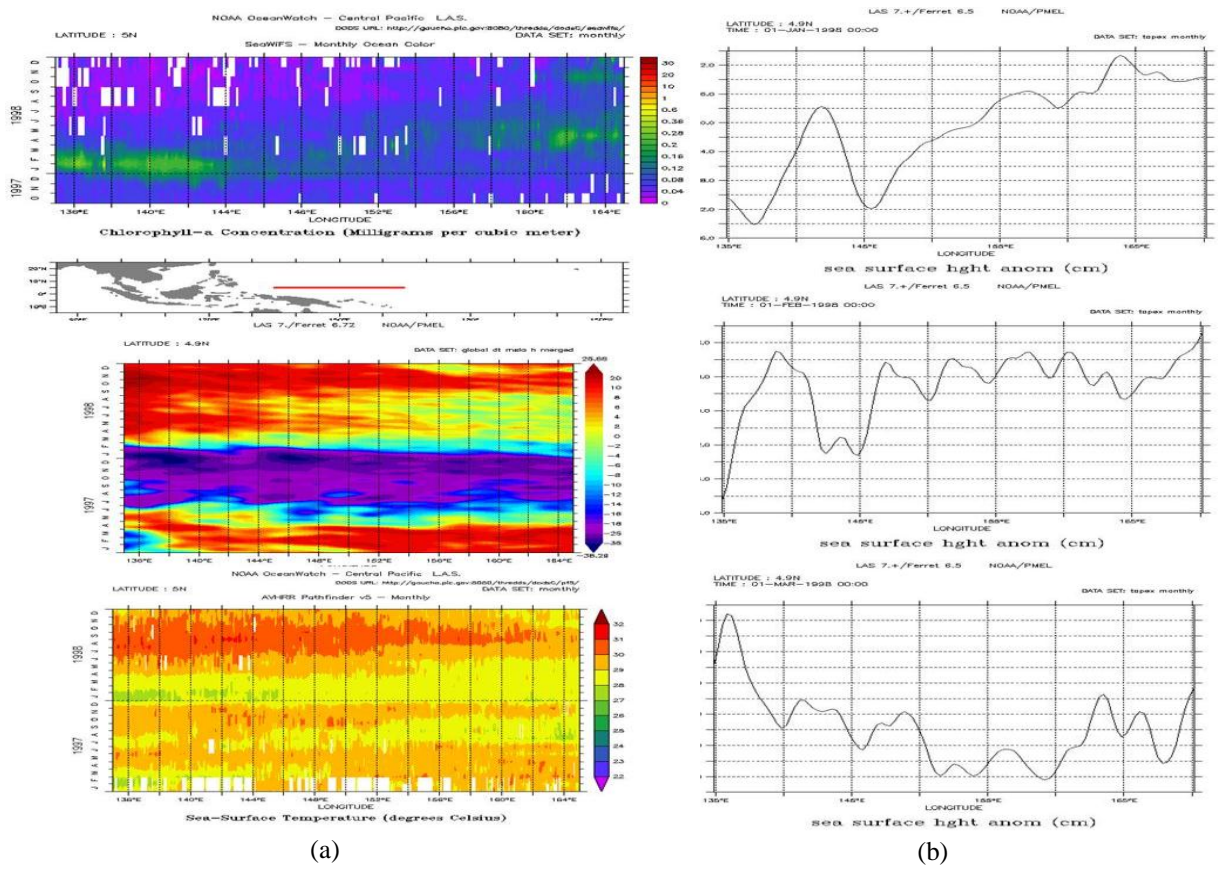
Hasil analisis diagram Hovmuller plots parameter *Ocean color*, SSHA dan SPL (Gambar 6) juga membuktikan kesesuaian lokasi *blooming* fitoplankton dengan asupan nutrisi baru pada bujur 135-154 °E dicirikan oleh rendahnya nilai

SSHA ((-16)-(-34) cm dan (-15)-(-12,5) cm) dan SPL 27 °C selama Januari-Februari. Puncak *blooming* terjadi pada Februari dengan konsentrasi klorofil-a 0,06-0,30 mg/m³ (rerata 0,15 mg/m³). Selain pengaruh gelombang *Rossby*, peningkatan kesuburan perairan juga terjadi melalui mekanisme Eddies (April-Mei) dan adveksi *cold tongue* (Juni-Juli) dengan nilai konsentrasi klorofil-a masing-masing berkisar antara 0,03-0,24 mg/m³ (rerata 0,13 mg/m³) dan 0,01-0,20 mg/m³ (rerata 0,11 mg/m³).

Kontribusi relatif gelombang *Rossby* terhadap peningkatan produktivitas primer permukaan perairan melalui peningkatan konsentrasi klorofil-a selama musim barat berkisar antara 15-38 % sedangkan Eddies dan *cold tongue* 3-23 % (Tabel 1). Besarnya nilai kontribusi gelombang *Rossby* di BPWP tidak jauh berbeda dengan kontribusinya di beberapa perairan oligotropik dan dikategorikan rendah walaupun Charria *et al.* (2008) dan Sakamoto *et al.* (2004) mengusulkan nilai persentase <25 % untuk kategori rendah. Peningkatan produktivitas primer permukaan perairan BPWP yang rendah seperti yang dijelaskan sebelumnya disebabkan karena taikan lemah sehingga pengangkutan nutrisi dan DCM dangkal di atas dasar MLD. Proporsi rendah ini yang dijangkau oleh zona kedalaman optikal satelit sedangkan proporsi terbesar *blooming* fitoplankton berada di bawah kedua kedalaman tersebut. Fenomena ini merupakan ciri khas sistem perairan oligotropik Pasifik dengan stratifikasi yang kuat dan MLD yang relatif stabil (Mann dan Lazier, 2006).

3.4 Respons Biogeokimia Perairan

Respons biogeokimia perairan terhadap gangguan gelombang *Rossby* direpresentasikan melalui distribusi total klorofil yaitu jumlah semua komponen fitoplankton dan empat group utama fitoplankton terhadap asupan makro dan mikro nutrisi baru di perairan (Gambar 7). Hasil analisis menunjukkan bahwa total klorofil-a dipengaruhi oleh kehadiran nitrat dan besi terlarut (Fe_D) di perairan. Distribusi total klorofil dengan konsentrasi yang tinggi bersesuaian dengan konsentrasi nitrate dan Fe_D yang meningkat di perairan sekitar puncak gelombang *Rossby* maupun Eddies. Konsentrasi yang rendah cenderung mengikuti pola distribusi nitrat dengan konsentrasi yang rendah dan Fe_D yang tinggi di perairan.



Gambar 6. Diagram Hovmuller plots (Longitude-xt) (a) Klorofil-a, SSHA dan SPL, (b) SSHA (Longitude-line) (Januari-Maret) ENSO 1997/98
 Figure 6. Hovmuller plots diagram (Longitud- xt) of (a) Chlorophyll-a, SSHA and SST, (b) SSHA (Longitude-line) (January-March) ENSO 1997/98
 Sumber: Hasil analisis

Tabel 1. Dampak gelombang Rossby pada produktivitas primer permukaan perairan oligotropik
 Table 1. Impact of Rossby wave on surface primary productivity oligotrophic waters

No	Peneliti	Lokasi	Varians (%)	
			Rossby	Eddies
1	Cipollini <i>et al.</i> (2001)	Samudera Hindia	20	
2	Uz <i>et al.</i> (2001)	Utara Pasifik	2 - 20	5 - 20
3	Charria <i>et al.</i> (2008)	Atlantik Utara	20	
4	Sakamoto <i>et al.</i> (2004)	Utara Pasifik Tropis Gyre	30	
5	Kawamiya dan Oschlies (2001)	Samudera Hindia	30	
6	Pan <i>et al.</i> (2012)	Utara Laut Cina Selatan	15 - 37	
7	Penelitian ini	BPWP		
		Klimatologi	4 - 10	9 - 12
		ENSO 97/98	15 - 38	3 - 23

Keadaan ini mengisyaratkan bahwa produktivitas primer dikendalikan oleh ketersediaan nitrat di perairan juga ditentukan oleh Fe_D sebagai faktor yang membatasi *blooming* fitoplankton (Christian *et al.*, 2002). Fe_D merupakan mikro nutrisi penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan struktur komunitas fitoplankton juga mengontrol biomassa biodiversitas produser primer di perairan (Hassler *et al.*, 2009).

Respons perairan juga diperlihatkan melalui dominasi kelompok fitoplankton *Cyanobacteria* dan *Coccolithophores* sebagai kontributor utama fluoresensi fitoplankton di perairan selama ENSO (Gambar 8). Fenomena yang sama juga diperlihatkan oleh Rousseaux dan Gregg (2014) menggunakan NOBM dan menemukan bahwa produktivitas primer perairan Pasifik selama ENSO berkorelasi positif dengan kelompok *Cyanobacteria* dan *Coccolithophores* sebaliknya berkorelasi negatif dengan *Diatom* dan *Chlorophytes*.

Rendahnya dominasi kelompok *Diatom* dan *Chlorophytes* disebabkan oleh laju konsumsi yang tinggi mesozooplankton seperti kopepoda yang melimpah disekitar area taikan (Le Borgne *et al.*, 2011) dan diduga pertumbuhannya oleh Fe_D yang tinggi di perairan selama ENSO (Christian *et al.*, 2004; Ryan *et al.*, 2006), walaupun keduanya memiliki laju pertumbuhan yang lebih cepat dari group fitoplankton lainnya.

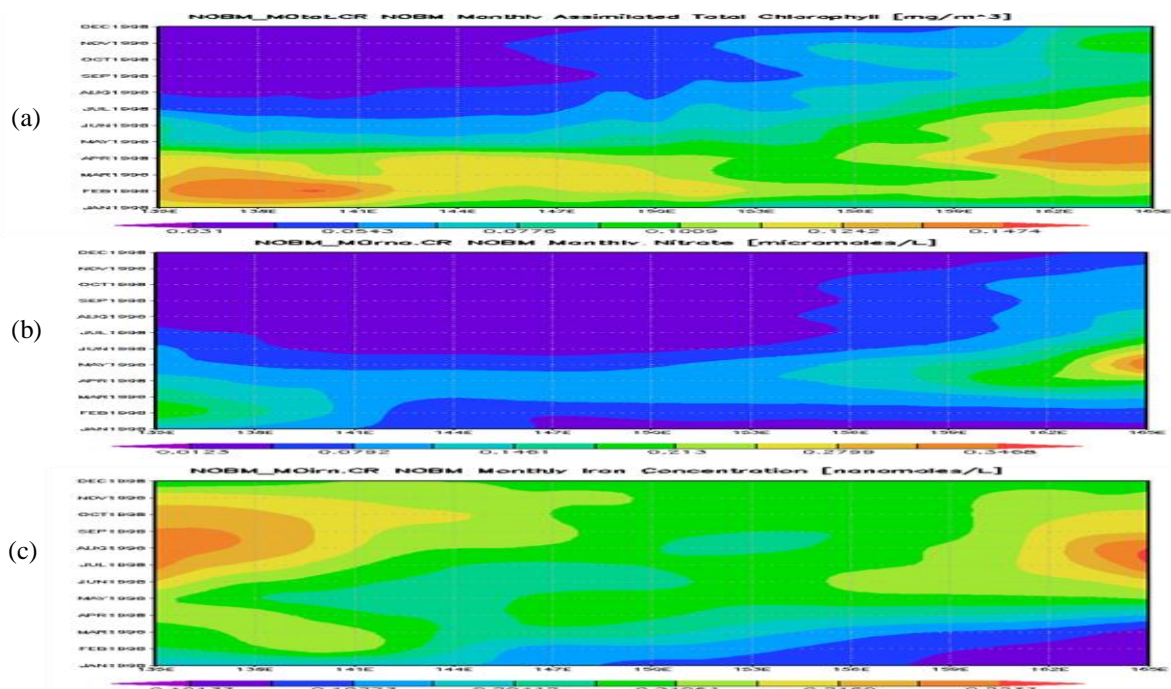
Fenomena menarik dari hasil studi ini adalah korelasi hasil analisis NOBM dengan hasil penelitian yang mengacu pada Anderson (2013), Meranon dan Varela (2005) dan Perez *et al.* (2006) bahwa sebagian besar produktivitas primer dan *grazing* di perairan Pasifik didominasi oleh *Cyanobacteria* (Genus *Prochlorococcus*) anggota *microbial loop*. Kelimpahannya yang tinggi mendekati dasar zona eufotik yang juga bersesuaian dengan kedalaman nitrat, DCM (Brynt, 2003) dan zona kelimpahan tinggi zooplankton (Mann dan Lazier, 2006). Hasil eksperimen *tagging* Madidihang di perairan sekitar Hawaii menunjukkan bahwa spesies tuna tersebut menyelam lebih dalam (50-100 m) pada malam hari untuk makan dalam DCM. Kehadirannya dalam DCM berasosiasi dengan makanan tuna (*prey*) seperti *myctophidae*, *euphosiid* dan udang yang mengkonsumsi sebagian besar *Prochlorococcus* dan teridentifikasi dalam isi

lambung Madidihang dewasa (Anderson, 2013). Hal ini mengindikasikan bahwa: (1) ada korelasi antara kelimpahan kelompok *Cyanobacteria* dengan kehadiran *prey* dan tuna di sekitar puncak gelombang *Rossby* dan dalam DCM yang ditenggelamkan di bagian lembah gelombang, dan (2) kelimpahan *prey* dalam DCM merupakan faktor kunci eksistensi perairan oligotropik BPWP sebagai daerah penangkapan utama tuna.

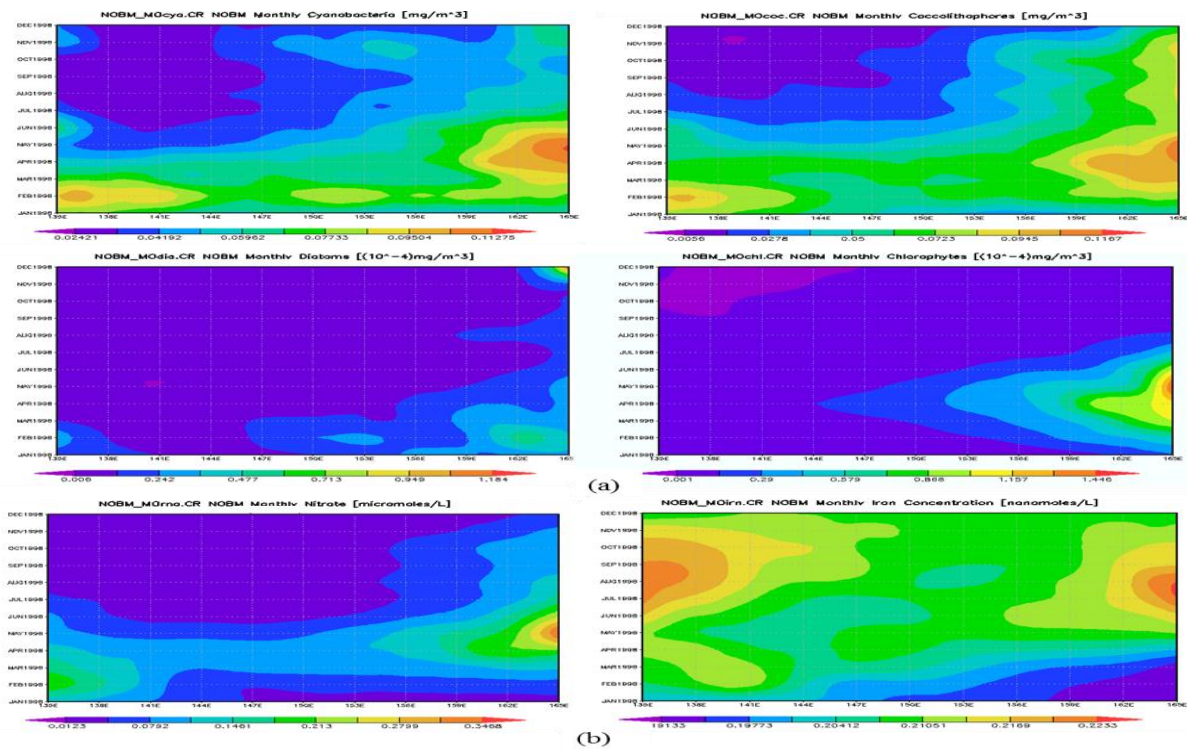
3.5 Kelimpahan dan Laju Tangkapan (CPUE)

Dampak gelombang *Rossby* terhadap perikanan tuna tercermin melalui signifikansi distribusi daerah penangkapan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*), Madidihang (*Thunnus albacares*) dan Tuna Mata Besar (*Thunnus obesus*) di perairan sekitar *cross section* gelombang *Rossby*. Hasil analisis menunjukkan bahwa 85,71 % daerah penangkapan ketiga spesies tuna cenderung mendominasi perairan sekitar puncak gelombang (zonal 5 °N: bujur 135-145 °E) sedangkan sisanya 14,28 % berada di lembah gelombang. Penangkapan pada puncak gelombang bersesuaian dengan konsentrasi klorofil-a yang tinggi (0,06-0,3 mg/m³; rerata 0,15 mg/ m³), SSHA yang rendah((-16)-(-12,5) cm), SPL 27 °C lebih rendah dari keadaan normal dan berasosiasi dengan kelimpahan yang tinggi dari kelompok *Cyanobacteria* di permukaan perairan maupun dalam DCM yang ditenggelamkan. Penangkapan tuna di lembah gelombang berhubungan dengan kelimpahan *Cyanobacteria* yang tinggi dalam DCM.

Hasil analisis produktivitas penangkapan tuna yang diukur menggunakan indikator kelimpahan dan laju tangkapan (CPUE) menunjukkan bahwa produktivitas penangkapan tuna meningkat selama musim barat (Januari-Maret) jika dibandingkan dengan musim timur yang tidak disertai dengan kehadiran gelombang *Rossby* pada *cross section* (Gambar 9). Cakalang memiliki kelimpahan dan CPUE yang paling tinggi diantara dua spesies tuna lainnya yaitu 3.863 ton dan 7 ton/hari dengan puncak penangkapan terjadi pada Januari (7.779 ton; 11 ton/hari). Pola yang sama juga diperlihatkan oleh Madidihang dengan kelimpahan dan CPUE 372 ton dan 1.42 ton/hari (855 ton; 1.41 ton/hari). Sementara itu, Tuna Mata Besar yang hidup dalam lapisan termoklin memiliki kelimpahan dan CPUE yang lebih rendah dari kedua spesies tuna sebelumnya yaitu 134 ton; 0,23

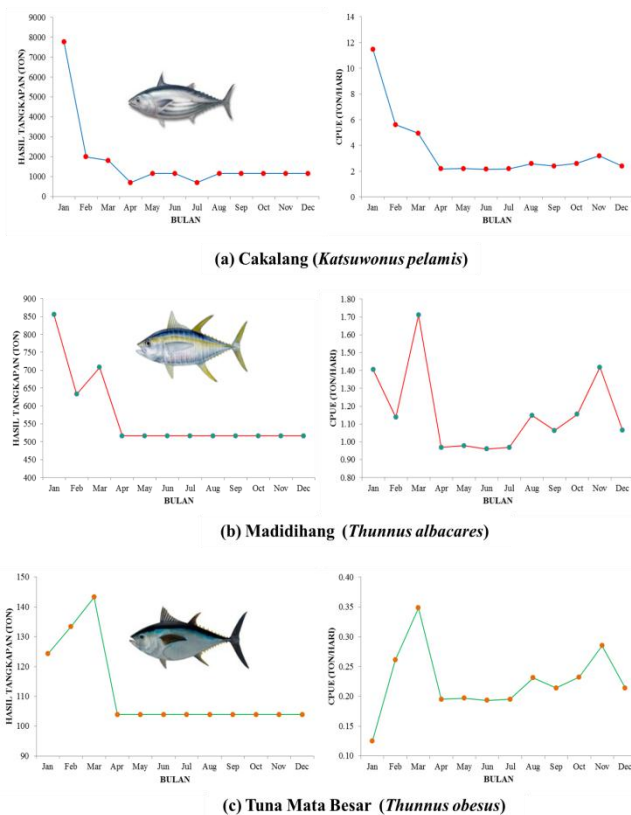


Gambar 7. Diagram Hovmuller plots (Longitude–(xt)) (a) Total klorofil, (b) Nitrat, dan (c) Fe_D
 Figure 7. Hovmuller plots diagram (Longitude–(xt)) of (a) Total chlorophyll, (b) Nitrate and (c) Fe_D
 Sumber: Hasil analisis



Gambar 8. Diagram Hovmuller plots (Longitude–(xt)) respons (a) kelompok fitoplankton, (b) Nitrat dan Fe_D
 Figure 8. Hovmuller plots diagram (Longitude–(xt)) of (a) phytoplankton group respons, (b) Nitrate and Fe_D
 Sumber: Hasil analisis

ton/hari dengan puncak penangkapan terjadi pada Maret (143 ton ; 0,35 ton/hari).



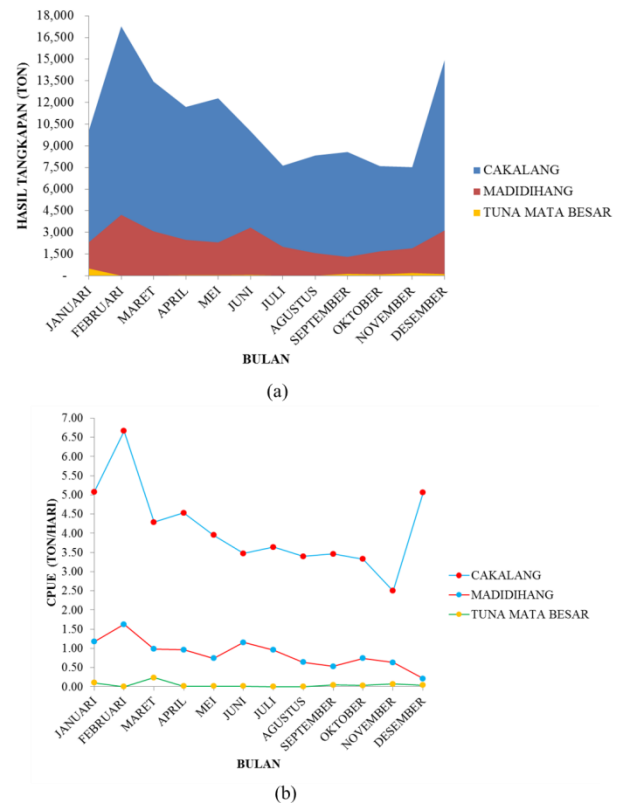
Gambar 9. Kelimpahan dan laju tangkapan (CPUE) (a) Cakalang, (b) Madidihang dan (c) Tuna Mata Besar di sekitar cross section

Figure 9. Abundance and catch rate (CPUE) of (a) Skipjack tuna, (b) Yellowfin tuna and (c) Bigeye tuna in surrounding of cross section

Sumber: Hasil analisis

Hasil analisis data penangkapan armada tuna *Purse seine* Jepang yang lebih representatif mewakili kawasan perairan BPWP pada tahun yang sama menunjukkan pola yang sama, dimana kelimpahan dan laju tangkapan relatif ketiga spesies tuna tersebut cenderung meningkat selama musim barat. Hasil tangkapan didominasi oleh Cakalang sebesar 80,91 % diikuti oleh Madidihang dan Tuna Mata Besar sebesar 18,34 % dan 0,73 %. Kelimpahan dan CPUE maksimum Cakalang dan Madidihang terjadi selama Februari masing-masing sebesar 17.000 ton (6,7 ton/hari) dan 400 ton (1,5 ton/hari). Berbeda dengan kedua spesies tuna sebelumnya, kelimpahan maksimum Tuna Mata Besar meningkat selama Januari (499 ton), namun dengan CPUE maksimum (0,24 ton/hari) selama Maret (Gambar 10). Indikasi yang sama juga

diperlihatkan melalui peningkatan hasil tangkapan tuna di beberapa negara kepulauan barat Pasifik seperti Solomon, Palau, Indonesia, Filipina, dan Papua New Guinea selama akhir dari periode ENSO pada Januari-Maret (Lehodey, 2000). Dari hasil kajian ini dapat dijelaskan bahwa gelombang *Rossby* bertanggung jawab terhadap meningkatkan kesuburan perairan dan pola musim penangkapan tuna di BPWP.



Gambar 10. Kelimpahan dan laju tangkapan (CPUE) (a) Cakalang, (b) Madidihang dan (c) Tuna Mata Besar di BPWP

Figure 10. Abundance and catch rate (CPUE) (a) Skipjack tuna, (b) Yellowfin tuna and (c) Bigeye tuna in WPWP

Sumber: Hasil analisis

KESIMPULAN DAN SARAN

Gelombang *Rossby* tampak meningkatkan kesuburan perairan BPWP melalui peningkatan produktivitas primer perairan selama musim barat akhir dari episode ENSO (Januari-Maret). Peningkatan produktivitas primer perairan ditunjukkan melalui peningkatan klorofil-a dan

total klorofil dari keadaan oligotropik menjadi mesotropik terutama pada perairan oseanik di sekitar puncak gelombang. Namun demikian, peningkatan tersebut relatif rendah jika dibandingkan dengan kedalaman di bawah MLD dan zona kedalaman optikal SeaWIFS. Produksi primer dan *grazing* di permukaan perairan dan dalam DCM didominasi oleh kelompok fitoplankton *Cyanobacteria* dan *Coccolithophores* sekaligus sebagai penyumbang terbesar fluoresensi fitoplankton dan dasar dari rantai makanan tuna dan ikan pelagis besar lainnya di perairan. Kelimpahan group *Diatom* dan *Chlorophytes* cenderung lebih rendah karena laju konsumsi yang tinggi kedua genus tersebut oleh kopepoda yang melimpah diperairan dengan asupan nutrisi yang tinggi. Secara signifikan gelombang internal tersebut mempengaruhi pola distribusi daerah penangkapan, kelimpahan dan laju tangkapan dan musim penangkapan tuna di perairan BPWP.

Disarankan agar dilakukan studi lanjutan pengaruh *coastal upwelling* di utara kontinen Papua di bawah pengaruh anomali angin barat karena diduga fenomena tersebut turut berperan penting meningkatkan kesuburan perairan dan menunjang kehadiran tuna di perairan BPWP.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, E. (2013). *The Deep Chlorophyll Maximum in Fiji Waters*. Pacific Science Inter-congress.
- Block, B. A., & Stevens, E. D. (2001). *Tuna: Physiology, Ecology and Evolution*. Academic Press. Elsevier
- Bryant, D. A. (2003). The beauty of small things revealed. *Proceeding of the National Academic of Science*, 100 (17), 9647-9649.
- Charria, G., Dadou, I., Ciphollini, P., Drevillon, M., & Garcon, V. (2008). Influence of Rossby waves on primary production from a coupled physical-biochemical model in the North Atlantic Ocean. *Ocean Sci.*, (4), 199-213.
- Chelton, D. B., Schlax, M. G., Lyman, J. M., & Johnson, G. C. (2003). Equatorially trapped Rossby waves in the presence of meridionally sheared baroclinic flow in the Pacific Ocean. *Progress in Oceanography*, (56), 323-380.
- Christian, J. R., Verschell, M. A., Murtugudde, R., Busalacchi, A. J., & McClain C. R. (2002). Biogeochemical modelling of the tropical Pacific Ocean. I. Seasonal and interannual variability. *Deep-Sea Research II*, (49), 509-543.
- Christian, J. R., Murtugudde R., Ballabrera-Poy, J. & McClain, C. R. (2004). A ribbon of dark water: phytoplankton blooms in the meanders of the Pacific north equatorial countercurrent. *Deep-Sea Research II*, (51), 209-228.
- Cipollini, P., Cromwell, D., Challenor, P. G., & Raffaglio, S. (2001). Rossby wave detected in global ocean colour data. *Geophysical Research Letters*, (28), 323-326.
- Ganachaud, A. S., Gupta, A. S., Orr, J. C., Wijffels, S. E., Ridgway, K. R., Hemer, M. A., et al. (2011). *Observed and Expected Changes to the Tropical Pacific ocean*. Secretariat of the Pacific Community, 101-189.
- Hassler, C., Petrou, K., Clementson, L., Blackburn, S., & Butler, E. (2009). *Iron limitation for Southern Ocean Diatom (Chaetoceros sp.) and Haptophyte (Phaeocystis sp.): impact on physiology and iron bioavailability*, in preparation.
- Gregg, W. W., & Casey, N. W. (2007). Modeling coccolithophores in the global oceans. *Deep-Sea Research II*, (54), 447-477.
- Kawamiya, M., & Oschlies, A. (2001). Formation of a basin-scale surface chlorophyll pattern by Rossby waves. *Geophysical Research Letters*, 28(21), 4139-4142.
- Killworth, P. D., Cipollini, P., Uz, B. M., & Blundell, J. R. (2007). Physical and biological mechanisms for planetary waves observed in sea-surface chlorophyll. *J. Geophys. Res.*, 109(C7), C07002.
- Krauss, W. (1967). *Interaction Between Surface and Internal Waves in Shallow Water*. U.S. Navy. Electronic Laboratory. Oceanography Research Tower site.
- Krosmeier, K. E., & Dewar, H. (2001). *Tuna Metabolism and Energetics*. In B.A. Block & E.D. Stevens (Eds.), *Tuna: Physiology, Ecology and Evolution*: Academic Press, San Diego.
- La Casce, J. H. & Pedlosky, J. (2004). The instability of rossby basin modes and the oceanic eddy field. *Journal of Physical Oceanography*, 34, 2027-2041.
- Le Borgne, R., Allain, R. T. V., Griffiths, S. P., Matear, R. J., McKinnon, A. D., & Richardson, A. J. (2011). *Vulnerability of Open Ocean Food Webs in The Tropical Pacific to Climate Change*. Secretariat of the Pacific Community, 189-249.
- Lehodey, P. (2000). *Impact of El Nino Southern Oscillation on Tuna population and Fisheries in the Tropical Pacific Ocean*. Oceanic Pacific Programme. Secretariat of Pacific Community. New Calidonia.
- Lehodey, P., Hampton, J., Brill, R. W., Simon, N., Senina, I., Calmettes, B., et al. (2011). *Vulnerability of Oceanic Fisheries in the*

- Tropical Pacific to Climate Change*. Secretariat of the Pacific Community, 435-485.
- Lin I, Liu, W. T., Wu, C. C., Wong, G. T. F., Hu, C., Chen, Z., *et al.* (2003). New evidence for enhanced ocean primary productivity triggered by tropical cyclone. *Geophys Res Lett*, 30(13), 1718.
- Mackey, D. J., Blanchot, J., Higgins, H. W., & Neveux J. (2002). Phytoplankton abundances and community structure in the equatorial Pacific. *Deep-Sea Research II*, (49), 2561-2582.
- Mann, K. H., & Lazier J. R. (2006). *Dynamics of Marine Ecosystems: Biological-physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Publishing.
- Maranon, E., & Varela, M. (2005). *Basin-scale patterns of phytoplankton abundance, composition and production in the Atlantic Ocean*. Report of Atlantic Meridional Transect cruise AMT-2, Plymouth Marine Laboratory.
- McGillicuddy, D. J., & Robinson, A. R. (1998). Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargaso Sea. *Nature* 394, (6690), 263-266.
- McPhaden, M. J. (1999). Genesis and evolution of the 1997-1998 El Niño. *Science*. doi:10.1126/science.283.5404.950.
- Mysak, L. A., Hsieh, W. M., & Parsons, T. R. (1982). On the relationship between interannual baroclinic waves and fish populations in the Northeast Pacific. *Biol Oceanogr*, (2), 63-103.
- Pan, X., Wong, G. T. F., Fuh-Kwo Siah, Tung-Yuan Ho. (2011). Enhancement of biological productivity by internal waves : observations in the summertime in the northern south China Sea. *Journal Oceanography*. Doi : 10.10007/s10872-012-0107-y.
- Pérez, V., Fernández, E., Marañón, E., Morán, X. A. G., & Zubkov, M. V. (2006). Vertical distribution of phytoplankton biomass, production and growth in the Atlantic subtropical gyres. *Deep-Sea Research I*, 53, 1616-1634.
- Pre Spare, & Venema, S. C. (1999). *Introduction to Tropical Fish Stock Assessment*. FAO.
- Radenac, M. H., & Rodier, M. (1996). Nitrate and chlorophyll distribution in relation to thermohaline and current structure in the Western Tropical Pacific during 1985/89. *Deep Sea Research II*, 43, 725-752.
- Rousseaux, C. S., & Gregg, W. W. (2014). Interannual variation in phytoplankton primary at a global scale. *Remote Sensing, Open Acces*, 6, 1-19. doi:10.3390/rs6010001.
- Ryan, J. P., Ueki, I., Chao, Y., Zhang, H., Polito, P. S., & Chavez, F. P. (2006). Western Pacific modulation of large phytoplankton blooms in the central and eastern equatorial Pacific. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, doi:10.1029/2005JG000084.
- Sakamoto, C. M., Karl, D. M., Jannasch, H. W., Bidigare, R. R., Letelier, R. M., Walz, P. M., *et al.* (2004). Influence of Rossby waves on nutrient dynamics and the plankton community structure in the North Pacific subtropical gyre. *Journal of Geophysical Research*, 109, 1-12.
- Siegel, D. (2001). The Rossby rototiller. *Nature*, 409, 576-577.
- Tomczak, M., & Godfrey, J. S. (2001). *Regional Oceanography: An Introduction*. This edition published online © M.Tomczack and J. S. Godfrey.
- Uz, B. M., Yoder, J. A., & Osychny, V. (2001). Pumping of nutrients to ocean surface waters by the action of propagating planetary waves. *Nature*, 409, 597-600.
- Villareal, T. A., Joseph, L., Brzezinski, M. A., Shipe, R.F., Lipschultz, F., & Altabet, M. A. (1999). Biological and chemical characteristics of the giant diatom *ethmodiscus* (bacillariophyceae) in the central north Pacific gyre. *J. Phycol*, 35, 896-902.
- White, W. B., Gloersen, K. A., Marsac, F., & Tourre, Y. M. (2004). Influence of coupled rossby wave on primary productivity and tuna abundance in the Indian Ocean. *Journal of Oceanography*, 60, 531-541.
- Yu, X., & McPhaden, M. J. (1999). Seasonal variability in the equatorial Pacific. *Journal Phys. Oceanography*, 29, 925-947.