

## Penyebaran ikan Pacific saury (*Cololabis saira*) berdasarkan *night-time visible images*

### DISTRIBUTION OF PACIFIC SAURY (*COLOLABIS SAIRA*) FISH BASED ON NIGHT-TIME VISIBLE IMAGES

Achmad Fachrudin Syah

Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Trunojoyo Madura

Corresponding author e-mail: [fachrudinsyah@gmail.com](mailto:fachrudinsyah@gmail.com)

Submitted: 04 Agustus 2016 / Revised: 02 November 2018 / Accepted: 02 November 2018

<http://doi.org/10.21107/jk.v11i1.1620>

#### ABSTRACT

*Pacific saury, Cololabis saira, is an important fish species in the waters of North Pacific that are captured by using lighting tools to attract them. Light can be detected using night-time visible images from the Defense Meteorological Satellite Program / Operational Linescan System (DMSP / OLS). Understanding the spread and migration of fish based on the position of the light or ship's light is one of the new ways that are effective and efficient that can be done to overcome the problem of the position of fishing that has often happened. The purpose of this study was to study the distribution and migration pattern of Pacific saury based on the position of the ship's lights. The results show that OLS nighttime images are very useful for investigating ship light distribution. Frontal zones within 0 - 50 km with Kuroshio warm core rings are very important as migration routes and feeding habitats for Pacific saury.*

**Keywords:** DMSP / OLS, distribution, ship lights, migration, Pacific saury.

#### ABSTRAK

*Pacific saury, Cololabis saira, merupakan species ikan penting di perairan Pacific Utara yang ditangkap dengan menggunakan alat bantu cahaya lampu untuk menarik mereka. Cahaya dapat dideteksi dengan menggunakan night-time visible images dari Defence Meteorological Satellite Program/Operational Linescan System (DMSP/OLS). Memahami penyebaran dan migrasi ikan berdasarkan posisi lampu atau cahaya kapal merupakan salah satu cara baru yang efektif dan efisien yang dapat dilakukan guna mengatasi permasalahan tentang posisi penangkapan ikan yang selama ini sering terjadi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari penyebaran dan pola migrasi Pacific saury berdasarkan posisi lampu kapal. Hasilnya menunjukkan bahwa OLS nighttime images sangat berguna untuk menginvestigasi distribusi cahaya lampu kapal. Frontal zone yang berjarak 0 - 50 km dengan Kuroshio warm core ring sangat penting sebagai rute migrasi dan feeding habitat bagi Pacific saury.*

**Kata Kunci:** DMSP/OLS, distribusi, lampu kapal, migrasi, Pacific saury.

#### PENDAHULUAN

Pacific saury (*Cololabis saira*) merupakan salah satu ikan pelagis kecil yang sangat penting di Pacific Utara dan termasuk target species yang oleh nelayan Jepang ditangkap dengan menggunakan *stick-held dip nets* atau bahasa lokalnya disebut *bouke ami*, yang dilengkapi dengan cahaya untuk menarik ikan (Fukushima, 1979). Pacific saury merupakan species yang memiliki tingkat migrasi yang tinggi. Mereka bermigrasi secara musiman dari daerah *subtropical Kuroshio current* pada musim dingin ke *Subarctic Oyashio current* pada musim panas dengan melewati

*Kuroshio–Oyashio transition zone* untuk memangsa zooplankton seperti copepods (*Neocalanus*, *Paracalanus*), euphausiids (*Thysanoessa*), amphipods, dan pteropods (Fukushima, 1979; Gong, 1984; Dulepova and Klyashtorin, 2008; Shimizu *et al.*, 2009; Taki, 2011).

Satelit remote sensing telah banyak digunakan sebagai alat yang penting untuk mengukur sinoptik laut. Data satelit telah diaplikasikan untuk mempelajari hubungan antara kondisi oseanografi dan distribusi ikan pelagis (Saitoh *et al.*, 1986; Zainuddin *et al.*, 2008). Dengan menggunakan OLS (*Operational Linescan*

System) band dari DMSP (*Defence Meteorological Satellite Program*) satelit, memungkinkan bagi kita untuk mendeteksi cahaya dari lampu-lampu yang ada di kota-kota, daerah industri dan sebagainya (Elvildge *et al.*, 1997). Kapal penangkapan yang dilengkapi dengan cahaya selama aktivitas penangkapan juga dapat dideteksi oleh OLS sensor. Cahaya dari kapal penangkapan dapat diidentifikasi dengan *night light images* yang diperoleh dari OLS sensor. Berdasarkan hasil observasi *images* dari DMSP/OLS satelit, Kiyofuji dan Saitoh (2004) melakukan pendugaan jumlah kapal untuk cumi-cumi. Dikarenakan kapal penangkapan ikan Pacific saury menggunakan lampu selama operasi penangkapan, hal ini memungkinkan untuk mengobservasi distribusi kapal Pacific saury dengan menggunakan DMSP/OLS *images*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari penyebaran dan pola migrasi kapal penangkapan untuk ikan Pacific saury dengan menggunakan *night-time images*.

#### MATERI DAN METODE DMSP/OLS satellite data

Data posisi kapal penangkapan untuk Pacific saury, yang juga diasumsikan sebagai posisi ikan Pacific saury, diperoleh dari satelit DMSP/OLS. Satelit DMSP adalah satelit cuaca yang dioperasikan di *near-polar sun synchronous orbit* dengan ketinggian sekitar 850 km dan mempunyai *global coverage* dua kali sehari. DMSP/OLS mempunyai *ground swath* sekitar 3000 km. Satelit ini mempunyai dua *broad spectral bands*; satu melingkupi *visible-near infrared (VNIR) region* (0.5 - 0.9  $\mu\text{m}$ ) dan yang lainnya *thermal infrared (TIR) di region* sekitar 10  $\mu\text{m}$ . Data DMSP/OLS terdapat dalam *two spatial resolution modes: fine and smoothed*. Resolusi spasial untuk data *full resolution fine* yaitu 0.56 km. Mode resolusi *smooth* diperoleh dari hasil rata-rata *five by five block of fine data on board*, dengan resolusi spasial 2.7 km. Nilai pixel TIR bervariasi dari 190 sampai 310 Kelvin *in 256 equally spaced steps*, sedangkan *visible pixel* mempunyai range nilai antara 0 sampai 63 (Elvildge *et al.*, 1997). Data DMSP/OLS dari 2005 sampai 2013 *download* dari Satellite Image Database System of the Agriculture,

Forestry and Fisheries Research Information Center of the Japan Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.

#### Pendeteksian lokasi kapal penangkapan

*TeraScan Sea Space system* digunakan untuk menganalisa *images* dan memproses the *nighttime lights* menjadi *digital number (DN)*, pada range 0-63. DMSP/OLS *raw data* kemudian ditransform ke *rectangular projections* untuk mendapatkan *images* dengan resolusi 1 km di Perairan Pacific Utara, 140°-150°E dan 34°-46°N, (Gambar 1). Untuk *extract* area atau wilayah yang terang, DN untuk mendeteksi kapal Pacific saury kemudian dihitung pada tiap bulannya. A *2-level slicing method* digunakan untuk mengekstrak area yang terang yang disebabkan oleh lampu kapal. Metode ini dimaksudkan untuk mendapatkan *optimum threshold* dari distribusi frekuensi DN (Takagi and Shimoda, 1991). *Threshold, k*, ditentukan dengan mengikuti metode yang digunakan oleh Kiyofuji dan Saitoh (2004), sedangkan *variance,  $\sigma^2(k)$* , dihitung dengan menggunakan persamaan yang diperkenalkan oleh Takagi dan Shimoda (1991).

$$\sigma^2(k) = \omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (1)$$

Where:  $n_i$  = number of pixel at  $i$  levels

$N$  = The total number of pixels

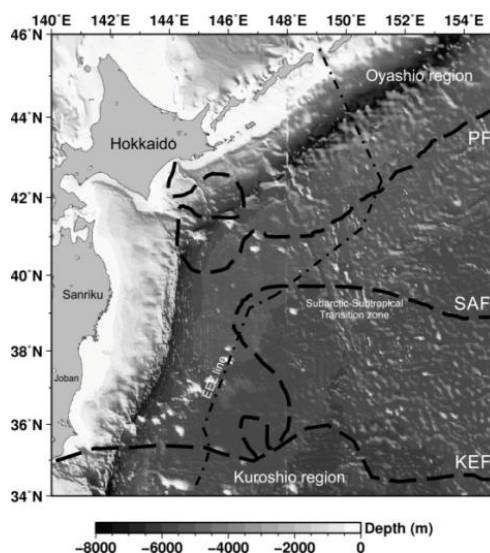
$$P_i = n_i / N; \quad \omega_0 = \sum_{i=1}^k P_i; \quad \omega_1 =$$

$$\sum_{i=k+1}^l P_i$$

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^k i P_i / \omega_0; \quad \mu_1 = \sum_{i=k+1}^l i P_i / \omega_1; \quad \mu_T =$$

$$= \sum_{i=1}^l i P_i$$

Dengan menggunakan metode ini, lima *thresholds* berhasil teridentifikasi. Kelas 1, 2, 3 dan 4 *thresholds* mengindikasikan perairan atau tutupan awan, sedangkan kelas 5 *threshold* mengindikasikan area yang terang sebagai akibat dari cahaya lampu kapal. Oleh karena itu, kelas 5 *threshold* dipilih dan digunakan untuk mengekstrak area yang terang yang merepresentasikan posisi kapal.



Sumber: Syah *et al.*, (2016)

Gambar 1. Lokasi penelitian dengan *hydrographic* dan *topographic features*.

OLS *images* berisi setidaknya cahaya dari lampu kapal untuk Pacific saury dan cumi-cumi (Saitoh *et al.*, 2010; Mugo *et al.*, 2014). Secara visual sangat sulit untuk membedakan cahaya yang berasal dari kapal yang satu dengan kapal lainnya. Oleh karena itu maka perlu disiapkan *images* yang hanya berisi cahaya lampu dari kapal untuk Pacific saury. Mengingat Pacific saury *prefer* untuk memilih daerah yang dingin sebagai daerah migrasi (Saitoh *et al.*, 1986), maka *sea surface temperature* (SST) yang diperoleh dari Aqua-

MODIS digunakan untuk membedakan kapal penangkapan untuk Pacific saury dan kapal untuk ikan lainnya (Mugo *et al.*, 2014). Secara berurutan nilai *upper limit* SST yang digunakan yaitu 23.48°C (Agustus), 21.36°C (September), 18.48°C (Oktober), 17.44°C (November) dan 16.49°C (Desember). Hanya cahaya lampu kapal yang teridentifikasi di bawah *upper limit* SST yang digunakan dan diasumsikan sebagai kapal untuk Pacific saury sekaligus sebagai posisi ikan Pacific saury.

Table 1. *Thresholds* yang diperoleh dari pengolahan data DMSP/OLS untuk bulan Agustus sampai Desember.

Bulan	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Kelas 5
Agustus	10	17	23	30	40
September	9	16	22	28	38
Oktober	8	14	19	27	38
November	8	13	19	28	38
Desember	7	12	18	27	38

### Deteksi eddie dan batas eddie

Sesuai dengan metode Okubo-Wiess dan the  $\xi$  (McWilliams, 1990; Doglioli *et al.*, 2007) dan Robinson (1991) dalam hal mendefinisikan a *vortex*, maka eddy dapat didefinisikan sebagai daerah dengan *the velocity field* yang memiliki a *rotary flow* (searah atau berlawanan arah jarum jam) di sekitar pusatnya. *Eddies velocity fields* dicirikan oleh beberapa *feature* seperti kecepatan minimum di dekat pusat eddy dan kecepatan tangensial yang meningkat secara linear dengan jarak dari pusat sebelum mencapai nilai maksimum dan kemudian

menghilang (Olson, 1991; Dickey *et al.*, 2008; Nencioli *et al.*, 2010).

Pada penelitian ini *sea surface height* (SSH), *u* (*eastward velocity*), dan *v* (*north velocity*) yang diturunkan dari *reanalysis data 3 dimensional multi-variate ocean variational system for the western North Pacific* (MOVE-WNP) digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan eddies dengan menggunakan GMT 4.5.7 dan GIS 10 software. Keberadaan eddy didasarkan pada ciri umum dari *velocity fields* pada kehadiran eddies. Setelah eddy terdeteksi, batas dan jaraknya terhadap *fishing points*, yang diperoleh dari DMSP/OLS, diukur

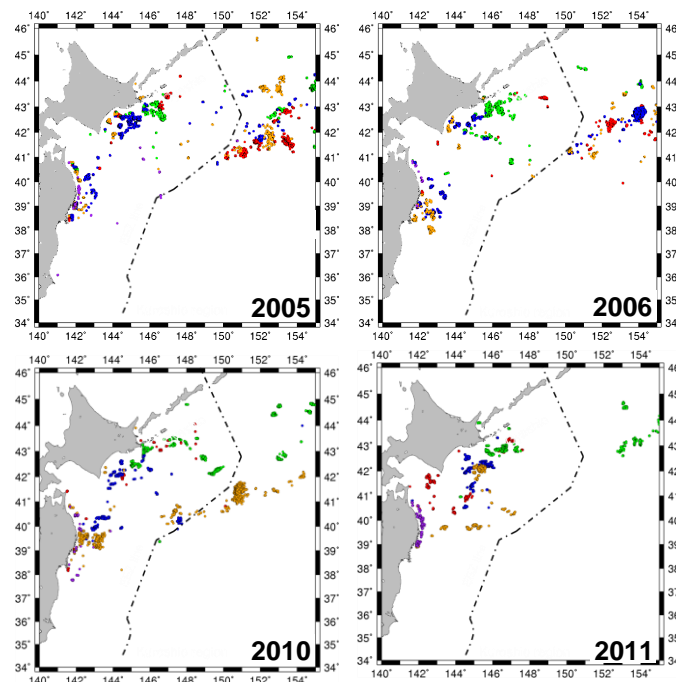
dengan menggunakan GIS 10 software. *The boundaries of eddies* sangat bergantung kepada metode yang digunakan; namun demikian tidak ada definisi yang universal tentang *eddy's boundaries*. Oleh karena itu setiap metode dapat diterima selama kriteria yang ditentukan dapat terpenuhi. Pada penelitian ini, peta *a series of contours of velocity* dihasilkan dengan menggunakan vektor skala 0,001. *Contour* yang tidak tertutup atau yang mempunyai diameter lebih dari 500 km dihilangkan dari data set. Peta tersebut kemudian dioverlay dengan peta SSH untuk mendeteksi *the boundaries of eddies*.

*Outermost closed contours of the streamlines* digunakan untuk menentukan *the eddies' boundaries* di sekitar setiap eddies yang terdeteksi.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Distribusi spasial temporal *fishing points*

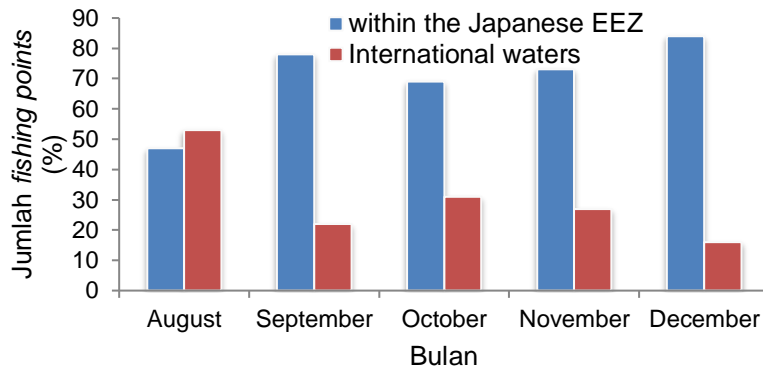
Mengingat tidak semua data OLS yang diperoleh pada tiap tahunnya memiliki data yang lengkap, maka pada kesempatan ini hanya ditampilkan tahun yang dinilai mampu menjelaskan distribusi dan pola migrasi Pacific saury (Gambar 2).



Gambar 2. *Annual composite image of DMSP/OLS* pada tahun 2005, 2006, 2010 dan 2011. Setiap warna mewakili posisi bulanan *fishing points* yaitu merah (Agustus), hijau (September), biru (Oktober), kuning (November) dan ungu (Desember).

Gambar 2, secara umum, menunjukkan bahwa pada awal musim tangkap (Agustus-September), *fishing points* muncul di sebelah timur Pulau Hokaido dan selatan Pulau Shikotan. *Fishing points* ini kemudian bergerak sedikit ke arah selatan sehingga mencapai sisi tenggara dari Pulau Hokkaido dan timur Sanriku pada pertengahan musim tangkap (Oktober-November). Pada akhir musim tangkap, *fishing points* banyak berkumpul di sepanjang Pantai Sanriku.

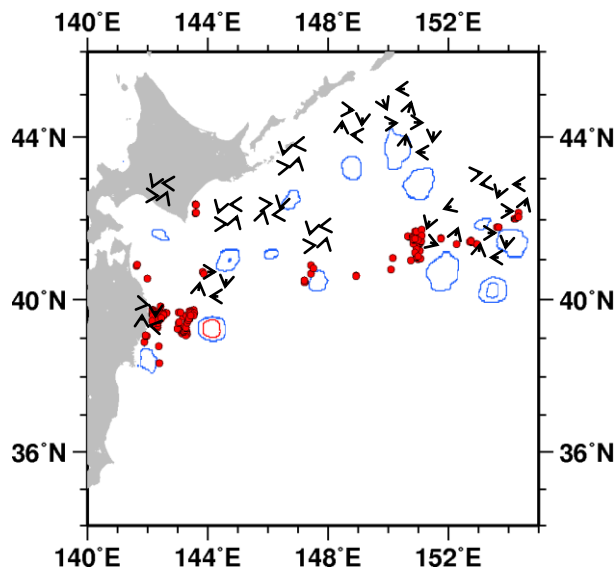
Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa sebagian *fishing points* terlihat di luar zona ekonomi eksklusif (ZEE) Jepang. Gambar 3 menunjukkan perbandingan jumlah *fishing points* di dalam ZEE Jepang dan di perairan internasional. Secara umum dapat dikatakan bahwa jumlah *fishing points* dalam ZEE Jepang lebih banyak dibandingkan dengan yang ada di perairan internasional.



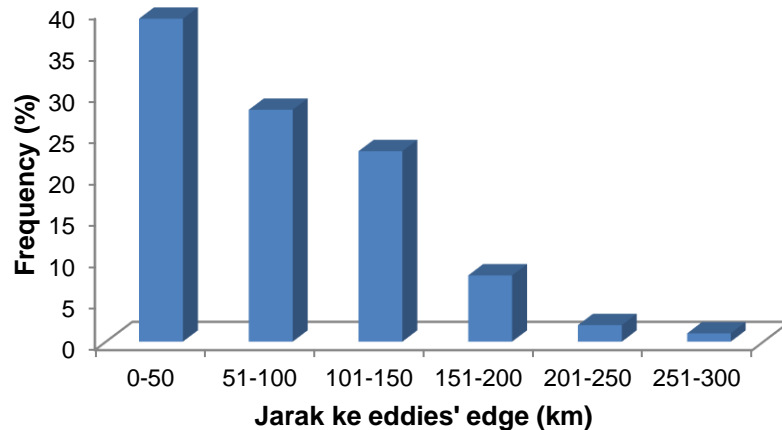
Gambar 3. Jumlah *fishing points* yang ada di dalam ZEE Jepang and *international waters* pada bulan August-December, 2005-2013.

### Eddies dan *fishing points*

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa Pacific saury secara aktif menghindari perairan yang hangat seperti *warm core rings*. Sebaliknya, species ini suka daerah yang dingin di sekitar *the edge of the rings* dan *between the rings*. Distribusi eddies yang diperoleh dari rata-rata data 5 harian telah diobservasi mulai bulan Agustus-Desember, 2005-2011. *Mesoscale eddies* mempunyai arah searah dan berlawanan dengan arah jarum jam. *Kuroshio Extension* merupakan daerah yang paling banyak terdapat aktivitas eddies di Perairan Pasifik Utara (Qiu et al., 2004). Namun demikian, pada studi ini hanya ditampilkan eddies di sekitar *fishing points* tanpa membedakan arah rotasi dari *mesoscale eddies*. Gambar 4 menunjukkan lokasi eddies dan *fishing points*. Nampak pada gambar tersebut bahwa *fishing points* berkumpul di sekitar dan diantara eddies.



Gambar 4. Distribusi spasial eddies dan lokasi *fishing points*



Gambar 5. Histogram jarak Pacific saury *fishing points* terhadap *edge of eddies*

Gambar 5 menunjukkan frekuensi dari jarak *fishing points* terhadap *edge of eddies*. Hasilnya menunjukkan bahwa *fishing points* banyak terdistribusi pada range antara 0-50 km dari *the nearest of eddies edge*.

### Pembahasan

Penelitian tentang migrasi Pacific saury di wilayah pesisir dan daerah lepas pantai, telah dilakukan dan didokumentasikan sejak tahun 1950an (Fukushima, 1979; Tian *et al.*, 2003, 2004). Pada penelitian ini, DMSP/OLS *nighttime visible images* digunakan untuk melokalisasi cahaya kapal tangkap untuk ikan Pacific saury. Sebagai hasilnya, kita dapat mengetahui distribusi spasial dan temporal Pacific saury serta pola migrasinya.

Pada permulaan musim tangkap (August sampai September), *fishing points* yang diperoleh dari DMSP/OLS menunjukkan bahwa Pacific saury *fishing points* banyak yang terlihat di sebelah timur Pulau Hokaido dan selatan Pulau Shikotan (Gambar 2). Hadirnya Pacific saury yang berukuran besar (knob length > 29 cm) di sebelah selatan Pulau Shikotan selama migrasi pemijahan, mengindikasikan bahwa proporsi yang tinggi untuk yang berukuran besar bermigrasi dari laut lepas ke daerah *coastal waters* pada permulaan migrasi mereka ke arah barat daya yang kemudian diikuti migrasi yang sama oleh Pacific saury yang berukuran sedang (knob length 24.0–29.0 cm). Oleh karenanya, kelimpahan Pacific saury di wilayah pesisir lebih tinggi dibandingkan di laut lepas (Huang, 2010). Selain itu tingginya kepadatan Pacific saury di Perairan Hokaido dan Pulau Shikotan dimungkinkan karena adanya pergerakan *Oyashio Current* ke arah barat daya (Tseng *et al.*, 2011). Tingginya kehadiran Pacific saury di wilayah pesisir juga dapat sebagai hasil dari *westward current intensification*, yang dapat

menghasilkan formasi *oceanic fronts* (Huang, 2010). *Frontal features* ini telah diketahui sebagai rute migrasi yang disukai oleh Pacific saury dan juga spesies ikan lainnya (Saitoh *et al.*, 1986; Zainuddin *et al.*, 2008).

Pada pertengahan musim tangkap (October sampai November) (Gambar 2), Pacific saury *fishing points* sedikit bergerak ke arah selatan dan banyak muncul di sebelah tenggara dan timur Pulau Hokaido dan pesisir Sanriku. Disadari bahwa pergerakan ke arah selatan kemungkinan sebagai hasil dari *southward extension of Oyashio fronts* (Watanabe *et al.*, 2006; Tseng *et al.*, 2011). *Oyashio Current* mengintrusi ke arah selatan sampai daerah *transition zone* di sepanjang wilayah pesisir Pulau Hokaido and Honshu atau sisi laut lepas dari *warm eddies*. Intrusi ini sering disebut *the first (coastal)* dan *second (offshore) Oyashio intrusions* (Kawai, 1972). Intrusi *Oyashio* ini tidak hanya membawa air semata, namun juga *organic matter* dari *Oyashio area* ke *transition zones*, yang oleh karenanya sangat mendukung sebagai daerah yang disukai oleh copepods, mangsa yang disukai oleh Pacific saury (Odate, 1994; Shimizu *et al.*, 2009). Pada akhir musim tangkap (December), Pacific saury *fishing points* banyak berkumpul di sepanjang pesisir Sanriku (Gambar 2).

DMSP/OLS *images* juga menunjukkan bahwa beberapa Pacific saury *fishing points* muncul di luar ZEE Jepang. Hal ini dimungkinkan karena spesies ini adalah *oceanic spawner* tidak seperti ikan pelagis kecil lainnya seperti Japanese sardines (*Sardinops melanostictus*) (Zenitani *et al.*, 1995). Huang *et al.*, (2007, 2010) menunjukkan bahwa Pacific saury pernah ditangkap di laut terbuka dan juga melaporkan bahwa spesies ini bermigrasi di



musim gugur melalui rute yang jauh dari wilayah pesisir Jepang.

Pada penelitian ini, kita menemukan bahwa Pacific saury *fishing points* banyak muncul di *frontal zone between the ring* pada range 0 - 50 km terhadap *nearest of eddies' edge* (Gambar 5). *Frontal zone areas* merupakan daerah yang esensial bagi *feeding grounds* dan *fishing habitats*. Sebagai predator dari zooplankton, Pacific saury menyukai *frontal zone* antara eddies dan *surrounding cold water area* disebabkan karena berkumpulnya zooplankton dan *the chance of food supply* untuk migrasi ke arah selatan. Yamamoto dan Nishizawa (1986) melaporkan *distribusi smale scale zooplankton* pada *front of Kuroshio warm core ring*. Mereka mengobservasi bahwa puncak melimpahnya zooplankton bergeser sekitar 1 km ke arah *the warm core ring*. Oleh karena itu, *surrounding cold water* merupakan daerah yang bukan hanya penting sebagai rute migrasi, tetapi juga sebagai *feeding areas* bagi Pacific saury (Saitoh *et al.*, 1986). Kami percaya bahwa *frontal zone* dalam range ini (0 - 50 km) sangat esensial sebagai rute migrasi dan *feeding area* untuk Pacific saury. Oleh karenanya, *frontal zone* antara *rings* dan *surrounding cold water* sangat penting dalam hubungannya dengan tingginya tingkat kehadiran dan tingginya *biological production*.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

OLS *nighttime images* sangat berguna untuk menginvestigasi distribusi cahaya dari lampu kapal. Namun demikian, di masa yang akan datang, *log-book* data tetap dibutuhkan *to confirm the validity* keberadaan ikan. *Frontal zone* yang terletak antara 0 - 50 km dengan *Kuroshio warm core ring* sangat penting bagi Pacific saury.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Dickey, T. D., Nencioli, F., Kuwahara, V. S., Leonard, C., Black, W., Rii, Y. M., Bidigare, R. R., and Zhang, Q. (2008). Physical and bio-optical observations of oceanic cyclones west of the island of Hawaii. *Deep Sea Research II*. 55(10-13), 1195-1217.
- Doglioli, A. M., Blanke, B., Speich, S., and Lapeyre, G. (2007). Tracking coherent structures in a regional ocean model with wavelet analysis: Application to Cape Basin eddies. *Journal Geophysic Research*. 112.
- Dulepova, E. P., and Klyashtorin, L. B. (2008). Impact of climate and climate change on the key species in the fisheries in the North Pacific. *PICES scientific report*, No. 35.
- Elvildge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E.A, Kroehl, H. W., and Davis, E. R. (1997). Mapping City Lights With Nighttime Data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(6), 727-734.
- Fukushima, S. (1979). Synoptic analysis of migration and fishing conditions of saury in the northwestern Pacific Ocean. *Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research Institute*, 41, 1-70 (in Japanese with English abstract).
- Gong, Y. (1984). Distribution and movements of Pacific saury, *Cololabis saira* (Brevoort), in relation to oceanographic conditions in waters off Korea. *Bulletin Fisheries Research Dev. Agency*, 33, 59-172.
- Huang, W., Lo, N. C. H., Chiu, T., and Chen, C. (2007). Geographical distribution and abundance of Pacific saury fishing stock in the Northwestern Pacific in relation to sea temperatures. *Zoological studies*, 46(6), 705-716.
- Huang, W. B. (2010). Comparisons of monthly and geographical variations in abundance and size composition of Pacific saury between the high-seas and coastal fishing grounds in the northwestern Pacific. *Fisheries Science*, 76(1), 21-31.
- Kawai, H. (1972). Hydrography of the Kuroshio Extension. In: Stommel, H., Yoshida, (Eds), *Kuroshio: Its Physical aspects*. 235-352. Pp
- Kiyofuji, H., and Saitoh, S. (2004). Use of nighttime visible images to detect Japanese common squid *Todarodes pacificus* fishing areas and potential migration routes in the Sea of Japan. *Marine Ecology Progress Series*, 276, 173-186.
- McWilliams, J. C., (1990). The vortices of two-dimensional turbulence. *Journal Fluid Mechanics*, 219,361-385.
- Mugo, R. M., Saitoh, S.I., Takahashi, F., Nihira, A., and Kuroyama, T. (2014). Evaluating the role of fronts in habitat overlaps between cold and warm water species in the western North Pacific: A proof of concept. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 107, 29-39.
- Nencioli, F., Dong, C., Dickey, T., Washburn, L., and McWilliams, J. C. (2010). A vector geometry-based eddy detection algorithm and its application to a high-resolution numerical model product and

- high-frequency radar surface velocities in the Southern California Bight. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 27.
- Odate, K. (1994). Zooplankton biomass and its long-term variation in the western North Pacific Ocean, Tohoku Sea area, Japan. *Bulletin of Tohoku National Fisheries Research Institute*, 56, 115–163 (in Japanese with English abstract).
- Olson, D. B. (1991). Rings in the ocean. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 19: 283–311.
- Qiu, B., Chen, S., and Hacker, P. (2004). Synoptic-scale air–sea flux forcing in the western North Pacific: observations and their impact on SST and the mixed layer. *Journal of Physical Oceanography*, 34: 2148–2159.
- Robinson, S. K. (1991). Coherent motions in the turbulent boundary layer. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 23
- Saitoh, S., Kosaka, S., and Iisaka, J. (1986). Satellite infrared observations of Kuroshio warm-core rings and their models and remotely sensed data. *Fisheries Bulletin*, 330–342.
- Takagi, M., and Shimoda, H. (1991). *Handbook of image analysis*. University of Tokyo Press, Tokyo (in Japanese).
- Tian, Y., Akamine, T., and Suda, M. (2003). Variations in the abundance of Pacific saury (*Cololabis saira*) from the northwestern Pacific in relation to oceanic-climate changes. *Fisheries Research*, 60(2), 439–454.
- Tian, Y., Ueno, Y., Suda, M., and Akamine, T. (2004). Decadal variability in the abundance of Pacific saury and its response to climatic/oceanic regime shifts in the northwestern subtropical Pacific during the last half century. *Journal of Marine Systems*, 52(1), 235–257.
- Tseng, C. Te, Sun, C. L., Yeh, S. Z., Chen, S. C., Su, W. C., and Liu, D. C. (2011). Influence of climate-driven sea surface temperature increase on potential habitats of the Pacific saury (*Cololabis saira*). *ICES Journal of Marine Science*, 68(6), 1105–1113.
- Yamamoto, T., and Nishizawa, S. (1986). Small-scale zooplankton aggregations at the front of a Kuroshio warm-core ring. *Deep-Sea Research*, 33, 1729-1740.
- Watanabe, K., Tanaka, E., Yamada, S., and Kitakado, T. (2006). Spatial and temporal migration modeling for stock of Pacific saury *Cololabis saira* (Brevoort), incorporating effect of sea surface application to study of Pacific saury migration. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 33(11-12), 1601–1615.
- Saitoh, S., Fukaya, A., Saitoh, K., Semedi, B., and Mugo, R. (2010). Estimation of number of Pacific saury fishing vessels using night-time visible images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38(Part 8), 1013-1016.
- Shimizu, Y., Takahashi, K., Ito, S. I., Kakehi, S., Tatebe, H., Yasuda, I., Kusaka, A., and Nakayama, T. (2009). Transport of subarctic large copepods from the Oyashio area to the mixed water region by the coastal Oyashio intrusion. *Fisheries Oceanography*, 18(5), 312–327.
- Syah, A. F., Saitoh, S. I., Alabia, I. D., and Hirawake, T. (2016). Predicting potential fishing zones for Pacific saury (*Cololabis saira*) with maximum entropy temperature. *Fisheries Science*, 72(6), 1153–1165.
- Zainuddin, M., Saitoh, K., and Saitoh, S. I. (2008). Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data. *Fisheries Oceanography*, 17(2), 61–73.
- Zenitani, H., Ishida, M., Konishi, Y., Goto, T., Watanabe, Y., and Kimura, R. (1995). Distributions of eggs and larvae of Japanese sardine, Japanese anchovy, mackerels, round herring, Japanese horse mackerel, and Japanese common squid in the waters around Japan, 1991 through 1993. *Japan Fisheries Agency*