

Estimasi potensi dan pemetaan zona potensi penangkapan ikan tuna di Laut Flores: Perspektif penginderaan jauh dan sistem informasi geografis

[Estimating total allowable catch and mapping potential fishing zones for tuna in the Flores Sea: A remote sensing-geographic information system perspective]

Mukti Zainuddin^{✉1}, M. Banda Selamat¹, Muhammad Ridwan², Sarip Hidayat³, Achmar Mallawa¹

¹ Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan km 10, Makassar 90245, Sulawesi Selatan

² Jurusan Agribisnis Perikanan, Politeknik Pertanian Negeri
Jl. Poros Makassar Parepare KM. 83, Kabupaten Pangkep 90655, Sulawesi Selatan

³ Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Jl. Jend. A. Yani KM. 6, Kota Parepare 91112, Sulawesi Selatan

Diterima: 18 September 2014; Disetujui: 26 Mei 2015

Abstrak

Laut Flores merupakan salah satu daerah potensial penangkapan tuna di Indonesia, namun informasi potensi, distribusi dan kelimpahannya belum banyak diketahui. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengestimasi potensi sumber daya ikan tuna yang dinyatakan dalam jumlah tangkapan yang diperbolehkan (JTB) dan memetakan zona potensi penangkapan ikan (ZPPI) tuna tersebut (didominasi oleh ikan tuna madidihang) di Perairan Laut Flores. Analisis dikembangkan dalam dua tahap, pertama mengestimasi hasil tangkapan maksimum lestari (MSY) dan JTB menggunakan enam tahun data *time series* produksi dan upaya penangkapan (2008-2013), dan kedua, data satelit suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a digunakan untuk memetakan ZPPI tuna berdasarkan tingkat probabilitas kesesuaian faktor oseanografi terhadap kelimpahan ikan tuna pada periode musim puncak Oktober-Desember 2013. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pemanfaatan sumber daya ikan tuna di Laut Flores adalah 55% dari JTB atau 44% dari MSY berdasarkan produksi rata-rata enam tahun terakhir. Formasi ZPPI tuna paling produktif ditemukan pada bulan Desember di sekitar perairan Selayar dan dari perairan barat daya Pulau Jampea, Kayuadi, Tarupa hingga ke timur laut Laut Flores. Hasil prediksi ZPPI ini konsisten dengan data lapangan. Untuk mengeksplorasi potensi tuna secara optimal di Laut Flores pada level JTB, nelayan diharapkan beroperasi pada ruang dan waktu yang tepat di ZPPI tersebut. Penelitian ini menyajikan informasi spasial dan temporal tentang lokasi ZPPI tuna yang divisualisasi dari data satelit untuk mendeteksi keberadaan dan kelimpahan ikan tuna pada musim puncak di Laut Flores.

Kata penting: pemetaan, zona potensi penangkapan ikan tuna, kisaran oseanografi preferensi ikan, citra satelit, jumlah tangkapan yang diperbolehkan

Abstract

Flores Sea is one of the most potential tuna fishing grounds in Indonesia. However, the information about potential stock, distribution and abundance of tuna in that area is little known. The objectives of this study were to estimate the Total Allowable Catch (TAC) and to map the potential pelagic fishing zones for tuna dominated by yellowfin tuna in the Flores Sea. Firstly, the Maximum Sustainable Yield (MSY) was estimated using Surplus Production Model and then the TAC was calculated using the 80% of the MSY. The six years' time series data (2008-2013) of catch and fishing effort data were used for this study. Secondly, satellite images of sea surface temperature (SPL) and chlorophyll-a together with catch data were used to map out the potential predicted area based on the level of probability of their preferred oceanographic ranges for the period of October-December 2013. Results indicated that the exploitation rate for tuna was approximately 55% of the TAC (44 % of MSY level) on average during the last 6 years. The Potential predicted fishing zones for tuna well formed in December, and mostly occurred in the surrounding waters of the Selayar main island and from the areas of south western Jampea, Kayuadi, and Tarupa Islands to the north eastern area of the Flores Sea. These results were consistent with the empirical data. As a result, to exploit tuna resources optimally at the TAC level, this study recommended that the fishermen utilize the potential fishing zones defined by the preferred area of both SST and chlorophyll-a. These findings suggested that the potential fishing zone maps constructed from satellite images provided important information to locate spatially and temporally potential tuna fishing zones in the Flores Sea.

Keywords: mapping, tuna potential fishing zones, preferred oceanographic ranges, satellite images, total allowable catch

✉ Penulis korespondensi

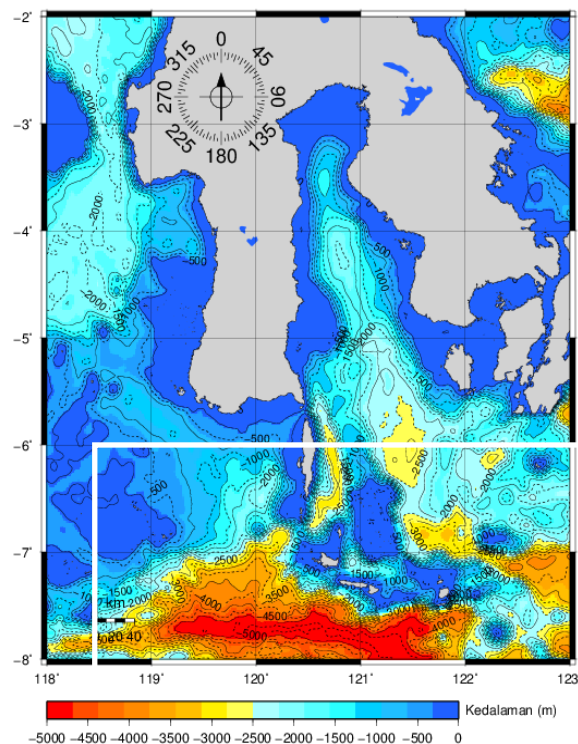
Alamat surel: mukti_fishocean@yahoo.co.id

Pendahuluan

Sumber daya ikan tuna terutama jenis madidihang atau *yellowfin tuna* (*Thunnus albacores*) dan tuna cakalang (*Katsuwonus pelamis*) menjadi target utama nelayan pancing dan nelayan pukat cincin (*purse seine*) di Perairan Laut Flores seperti Perairan Selayar dan sekitarnya (Gambar 1). Potensi sumber daya ikan tuna dan cakalang di wilayah pengelolaan perikanan (WPP 713) diperkirakan sebesar 193.500 ton th⁻¹ (Mallawa & Mahfud 2009), sedangkan produksi saat ini baru mencapai 85.100 ton th⁻¹ atau tingkat pemanfaatannya baru mencapai sekitar 44% (Mallawa & Mahfud 2009). Ikan tuna madidihang belum banyak diteliti di Laut Flores dan penelitian terakhir menunjukkan bahwa potensi lestari (*Maximum Sustainable Yield MSY*)-nya di Selat Makassar dan Laut Flores diperkirakan 20.418 ton th⁻¹ dan tingkat pemanfaatannya sekitar 52,9% (Uktolseja 1998). Khusus di wilayah perairan Laut Flores, potensi tuna madidihang

diperkirakan sekitar 760 ton th⁻¹ (Mallawa *et al.* 2006). Berdasarkan data produksi DKP Kabupaten Selayar tahun 2013, tingkat produksi baru mencapai 301 ton th⁻¹ atau masih 45% dari jumlah tangkapan yang diperbolehkan (*Total Allowable Catch*). Kenyataan ini mengindikasikan bahwa tingkat produksi hasil tangkapan nelayan tuna masih jauh dari potensi optimal.

Salah satu alasan utama adalah keterbatasan informasi ilmiah tentang potensi terkini dan dinamika spasial dan temporal lokasi zona potensi penangkapan ikan (ZPPI) tuna. Kondisi demikian menyebabkan intensitas kegiatan penangkapan nelayan tuna dan cakalang banyak dilakukan secara spekulatif dan kurang produktif (Mallawa & Mahfud 2009). Hal ini menyebabkan kegiatan usaha penangkapan ikan tuna kurang efektif dan efisien, sehingga belum mampu meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan nelayan tuna.



Gambar 1. Lokasi yang menjadi target penelitian ikan tuna di Laut Flores

Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan bahwa ZPPI tuna sepanjang tahun mengalami pergerakan dan perubahan secara spasial dan temporal (Inagake *et al.* 2001, Schaefer *et al.* 2011). Lokasi ZPPI tuna sangat dipengaruhi faktor oseanografi yang berubah berdasarkan musim dan lokasi. Zainuddin *et al.* (2008) menemukan keterkaitan antara faktor suhu permukaan laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a terhadap kelimpahan ikan tuna albacore di lepas pantai Jepang. Parameter SPL, konsentrasi klorofil-a dan anomali tinggi permukaan laut membentuk formasi *hotspot* yang secara signifikan memengaruhi keberadaan ikan tuna (Zainuddin *et al.* 2006). Zagaglia *et al.* (2004) melaporkan bahwa konsentrasi klorofil-a dan SPL mengontrol secara signifikan kelimpahan spesies ikan madidihang di daerah ekuator Samudera Atlantik.

Ikan tuna dan cakalang di Teluk Bone juga didapatkan berasosiasi secara signifikan dengan sebaran SPL dan klorofil-a yang diamati dari citra satelit Aqua/MODIS (Mallawa & Mahfud 2009, Zainuddin 2011, Zainuddin *et al.* 2013). Lokasi berlimpahnya ikan tuna di perairan Indonesia diduga kuat terkait dengan keberadaan *upwelling* (Kunarso *et al.* 2005). Secara khusus di Laut Flores, keberadaan *upwelling* mengalami perkembangan khususnya pada musim timur berdasarkan data citra satelit (Gordon 2005).

Berdasarkan hasil studi pendahuluan termasuk wawancara dengan nelayan, didapatkan informasi bahwa ikan tuna berlimpah di Laut Flores sekitar musim peralihan II (timur-barat) dan musim barat (september-Februari). Oleh karena itu penelitian bertujuan mengkaji tingkat produksi ikan tuna di Perairan Laut Flores dan memetakan distribusi ZPPI tuna tersebut secara spasial dan temporal pada bulan Oktober hingga Desember 2013.

Bahan dan metode

Penelitian ini menggunakan dua jenis sumber data. Data primer merupakan data hasil tangkapan ikan tuna dan data oseanografi lapangan (SPL). Data sekunder berupa data satelit SPL dan klorofil-a serta data produksi dan upaya penangkapan Dinas Kelautan Perikanan (DKP) Kabupaten Selayar. Kabupaten Selayar dipilih sebagai daerah sampel karena secara geografis merupakan daerah yang paling mewakili kawasan Laut Flores. Selain itu, daerah tersebut memiliki kecenderungan produksi dan upaya penangkapan tuna yang meningkat selama lima tahun terakhir.

Pengambilan data dilakukan di Kabupaten Selayar dan melakukan observasi langsung ke lapangan dengan menggunakan alat tangkap pancing dan pukat cincin serta GPS (*Global Positioning System*) dan mengamati kondisi oseanografi SPL dan klorofil-a di sekitar lokasi daerah penangkapan tuna. Kegiatan wawancara juga dilakukan dengan nelayan untuk memvalidasi hasil penelitian (lokasi ZPPI dan musim puncak kelimpahan tuna).

Estimasi potensi sumber daya ikan tuna di sekitar perairan Laut Flores digunakan model surplus produksi global. Model ini sederhana dan valid digunakan untuk memberikan penilaian umum potensi sumber daya ikan (Clark 1985 dan Kekenusa 2009). Data yang digunakan untuk analisis ini yaitu data *time series* hasil tangkapan (ton) ikan tuna dan upaya penangkapan (trip standar) selama enam tahun (2008-2013) yang bersumber dari Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Selayar dan Propinsi Sulawesi Selatan. Alat tangkap standar merupakan hasil standarisasi dari beberapa alat tangkap yang menangkap ikan tuna di daerah penelitian. Pancing ulur adalah alat tangkap standar *catch per unit effort* (CPUE) tertinggi dengan nilai satu (alat tangkap lain seperti rawai tuna, pancing tonda,

rawai tetap, nilainya relatif terhadap alat tangkap standar). Model Surplus Produksi untuk menduga potensi hasil tangkapan maximum lestari secara biologis dan jumlah tangkapan yang diperbolehkan (JTB) yang digunakan dalam penelitian ini (Sparre *et al.* 1989):

$$CPUE = a - b f$$

$$F_{opt} = -\frac{a}{2b}$$

$$JTB = 80\% \times MSY$$

Keterangan: F_{opt} = upaya optimum penangkapan (trip standar), CPUE= hasil tangkapan per unit upaya (ton/trip), MSY= hasil tangkapan maximum lestari (ton), JTB= Jumlah hasil tangkapan yang diperbolehkan (ton), f = upaya penangkapan (trip), a = koefisien perpotongan (*intercept*), b = koefisien kemiringan (*slope*)

Data kondisi oseanografi untuk estimasi suhu permukaan laut (SPL) dan densitas klorofil-a diperoleh dari pangkalan data NASA yaitu data dari satelit AQUA dan sensor MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectrometer*). Data yang digunakan adalah data tiga bulan (Oktober hingga Desember 2013) (musim barat) dengan resolusi spasial 4 km dan resolusi temporal bulanan (*monthly average*) (Tabel 1). Data satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah data binary level 3 *Standard Mapped Image* (SMI) dengan format HDF (*Hierarchical Data Format*).

Peta ZPPI dikalkulasi menggunakan in-

terval histogram nilai preferensi SPL dan klorofil-a dalam hubungannya dengan tingkat hasil tangkapan (CPUE) dan upaya penangkapan ikan tuna. Detail teknik prediksi yang digunakan pada perhitungan ZPPI dapat dilihat pada analisis ZPPI (hotspot) untuk ikan albacore tuna menurut Zainuddin *et al.* (2006). Pada prinsipnya, makin tinggi nilai histogram frekuensi upaya penangkapan dan CPUE terhadap interval nilai SPL atau klorofil-a, makin tinggi nilai preferensi (kesesuaian) ikan tuna terhadap kombinasi faktor lingkungan tersebut. Peta ZPPI tersebut dinyatakan dalam nilai probabilitas, makin tinggi nilai probabilitasnya makin besar kemungkinan ikan tuna dapat ditemukan (nilai mendekati 100%), dan sebaliknya makin rendah kemungkinan menemukan ikan tuna maka nilai peluangnya mendekati nol. Setiap kombinasi interval SPL dan klorofil-a pada histogram dikalkulasi untuk menentukan tingkat probabilitas kedua faktor lingkungan tersebut untuk memprediksi keberadaan ikan tuna.

Data ZPPI dianalisis menggunakan algoritma yang dibuat dalam bahasa pemrograman IDL (*Interactive Data Language*). Peta ZPPI kemudian dibuat dengan teknik spatial analyst di ArcGIS 10.1 dan Generic Mapping tools (GMT 4.5.9).

Tabel 1. Deskripsi data citra satelit yang digunakan dalam penelitian

Parameter	Resolusi temporal	Resolusi spasial	Sensor	Satelit
SPL	Rata rata bulanan	4 km	MODIS	Aqua
Klorofil-a	Rata rata bulanan	4 km	MODIS	Aqua

Hasil

Nelayan penangkap ikan tuna di Laut Flores umumnya menggunakan pancing ulur, pancing tonda, rawai dan pukat cincin. Hasil tangkap ikan tuna madidihang pada tahun terakhir (2013) sebesar 300 ton dengan alat tangkap utama pan-

cing ulur (81%). Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil tangkapan ikan tuna di Laut Flores sangat bervariasi dan secara umum memperlihatkan adanya kecenderungan meningkat. Upaya penangkapan standar juga cenderung berfluktuasi yang diindikasikan dengan nilai keragaman (sim-

pangan baku) yang relatif tinggi. Total produksi ikan tuna di lokasi penelitian setiap tahunnya relatif konstan pada tahun 2009- 2011, namun produksi ikan tuna meningkat secara signifikan tahun 2012 ketika produksi hasil tangkapan mencapai 630,3 ton. Data hasil tangkapan di Kabupaten Kepulauan Selayar hampir seluruhnya diperoleh dari Laut Flores, sedangkan data produksi dari Laut Flores yang didaratkan di Kabupaten lain tidak teridentifikasi.

Hasil tangkapan rata-rata dan MSY berdasarkan data yang diolah dalam kurun waktu enam tahun (2008-2013) masing-masing sebesar 257,2 ton th^{-1} dan 585,0 ton th^{-1} atau 44% dari potensi maksimum lestari yang ada di Perairan Laut Flores atau belum menunjukkan kondisi tangkap lebih. Nilai CPUE juga menggambarkan hasil yang

cenderung meningkat terutama pada tahun-tahun terakhir yaitu tahun 2012 dan 2013 sebesar 0,132 ton trip^{-1} dan 0,152 ton trip^{-1} . Tingkat pemanfaatan sumber daya ikan tuna masih 55% dari JTB. Tingkat rata-rata upaya penangkapan selama enam tahun terakhir baru mencapai 62% dari upaya yang diperlukan untuk mendapatkan MSY. Produksi ikan tuna mengalami fluktuasi yang tajam dalam kurun waktu 2008-2013 (Tabel 2). Penurunan produksi terjadi pada periode tahun 2009-2011. Hal ini diduga karena terjadinya penurunan upaya penangkapan yang tajam dan kemudian tahun 2010 terjadi upaya penangkapan yang sangat berlebih. Kondisi ini berpengaruh terhadap produktifitas (CPUE) hingga 2011. Selama tahun 2011-2013 kondisi hasil tangkapan dan CPUE cenderung kembali stabil.

Tabel 2. Produksi (hasil tangkapan), CPUE, MSY, upaya penangkapan (fmsy), JTB, dan tingkat pemanfaatan ikan tuna dari tahun 2008-2013 di Laut Flores

Tahun	Hasil tangkapan (ton)	Upaya (trip standar) (x)	CPUE (ton trip^{-1}) (y)
2008	437,1	1.698	0,257
2009	23,1	509	0,045
2010	38,8	16.425	0,002
2011	31,7	4.500	0,007
2012	630,3	4.770	0,132
2013	382,2	2.547	0,150
Nilai rata-rata (x)	257,2	5.075	0,099
Simpangan baku (s)	261	5.795	0,099
Intercept (a)			0,14339
Slope (b)			-0,00000878
MSY (ton th^{-1}) :		585	
TAC (ton th^{-1}) :		468	
Tingkat pemanfaatan TAC (%) :		55	
fmsy (trip standar) :		8.166	
Tingkat pemanfaatan MSY (%) :		44	

Sumber data produksi dan upaya penangkapan: DKP Kabupaten Selayar

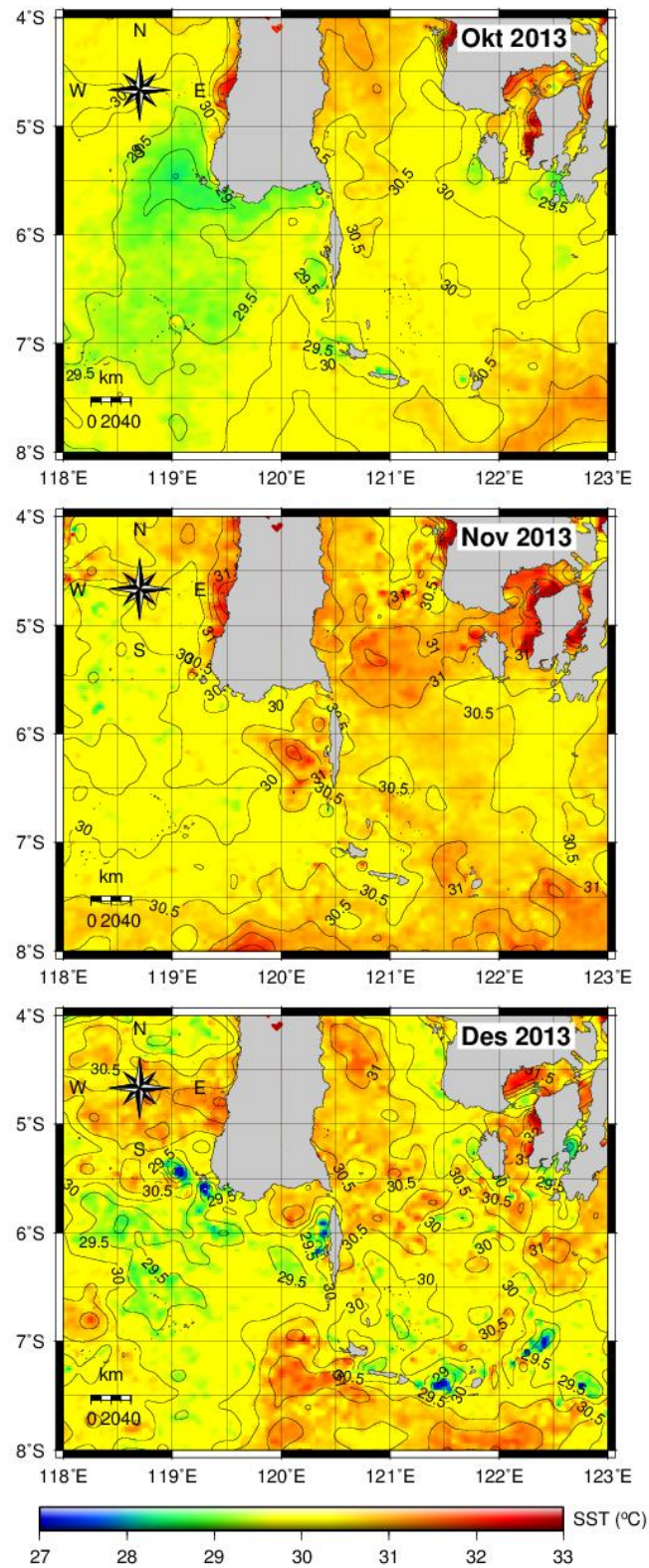
Peta distribusi SPL pada bulan Oktober 2013 menunjukkan bahwa SPL tertinggi di Laut Flores ditemukan di bagian tenggara tepatnya di perairan di sebelah tenggara Pulau Kalautoa ($7-8^{\circ}$ LS dan $122-123^{\circ}$ BT) yaitu SPL di atas $30,5^{\circ}\text{C}$ (Gambar 2). SPL terendah dijumpai di bagian barat Laut Flores sekitar area antara 6 dan $7,5^{\circ}$ LS dan antara $118,5$ dan $119,5^{\circ}$ BT dengan SPL dibawah $29,5^{\circ}\text{C}$. Data satelit menunjukkan bahwa puncak peningkatan SPL selama tahun 2013 terjadi pada bulan November dengan kisaran SPL antara 30°C dan 32°C (Gambar 2). SPL relatif tinggi ini terlihat tepat berada di sebelah barat Pulau Selayar dan sebagian lagi terletak di bagian selatan dan tenggara Kepulauan Takabonerate. SPL tertinggi berada di perairan dekat Pulau Muna, Sulawesi Tenggara. Pada bulan Desember suhu permukaan turun perlahan dan penurunan tajam terjadi di bagian barat Pulau Selayar (*main land*) yaitu mencapai SPL sekitar $28-29^{\circ}\text{C}$ (Gambar 2). Namun di Perairan bagian timur Laut Flores gradien suhu permukaan (pertemuan antara suhu relatif rendah dengan suhu relatif tinggi yang diindikasikan oleh garis garis kontur SPL) lebih banyak terlihat melalui data satelit yang diindikasikan oleh padatnya garis kontur di sekitar Kepulauan Selayar.

Di Laut Flores, selama periode Oktober-Desember konsentrasi klorofil-a meningkat secara signifikan pada lokasi antara $6,5$ dan $7,0^{\circ}$ LS, dan antara $120,5$ dan $121,5^{\circ}$ BT (dengan tingkat klorofil-a di atas $0,5\text{ mg m}^{-3}$). Hal ini terutama terlihat di sekitar Kepulauan Takabonerate, khususnya sekitar Pulau Tarupa, pulau sebelah timur laut Pulau Kayuadi (Gambar 3). Kondisi ini men-

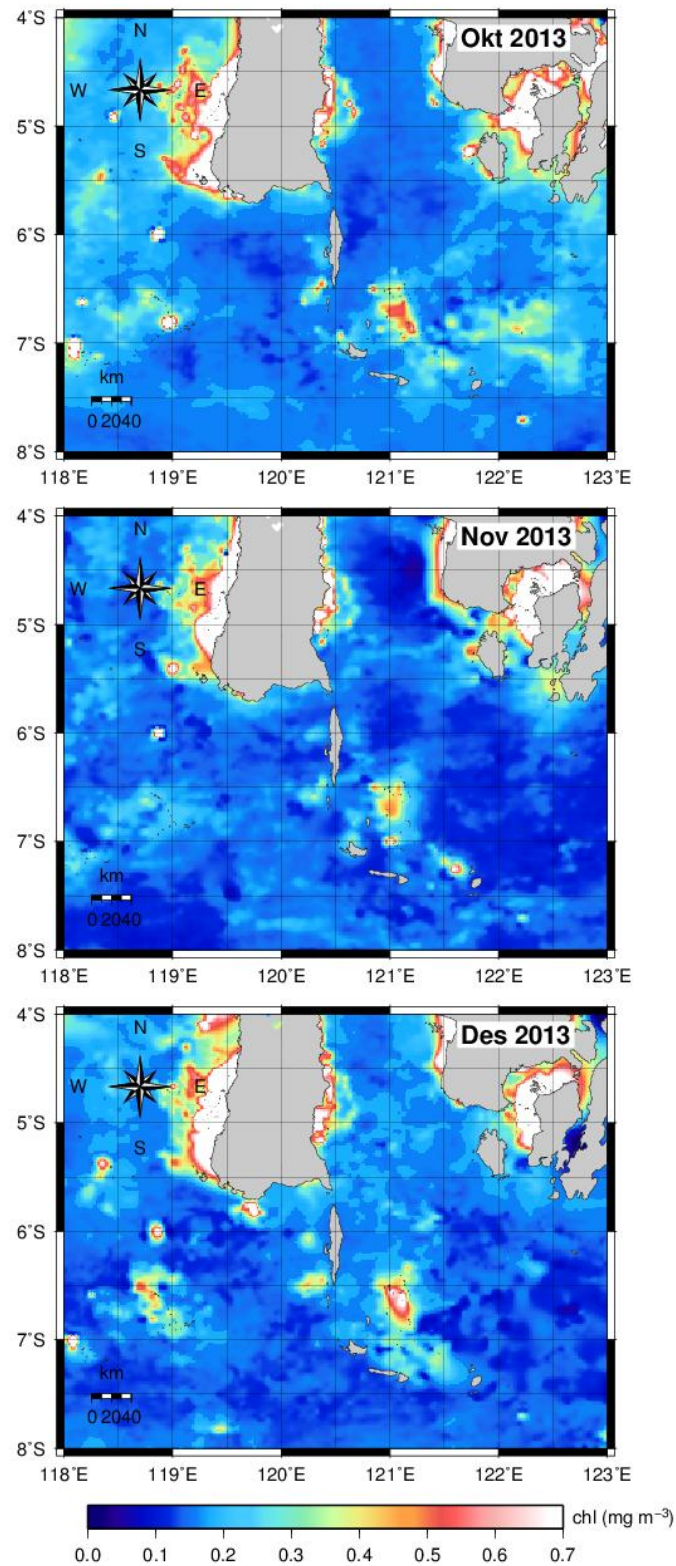
capai puncak pada bulan Desember. Densitas klorofil-a relatif tinggi berikutnya berada di sebelah timur sepanjang Kepulauan Selayar hingga Pulau Kalautoa.

Potensi sumber daya ikan tuna (didominasi ikan tuna madidihang) pada bulan Oktober di Laut Flores diprediksi berada di sebelah barat Pulau Selayar dan di sebelah timur Pulau Jampea, sebelah utara Pulau Lambego serta di sebelah utara dan selatan Pulau Bonerate (Gambar 4). Umumnya zona potensi penangkapan ikan (ZPPI) tuna tersebut berada diantara 3 hingga 12 mil laut dari pulau-pulau di Kabupaten Kepulauan Selayar. Tingkat peluang ZPPI tersebut berada antara 75 hingga 90% . Besarnya peluang tersebut diindikasikan dengan lokasi warna merah pada peta ZPPI.

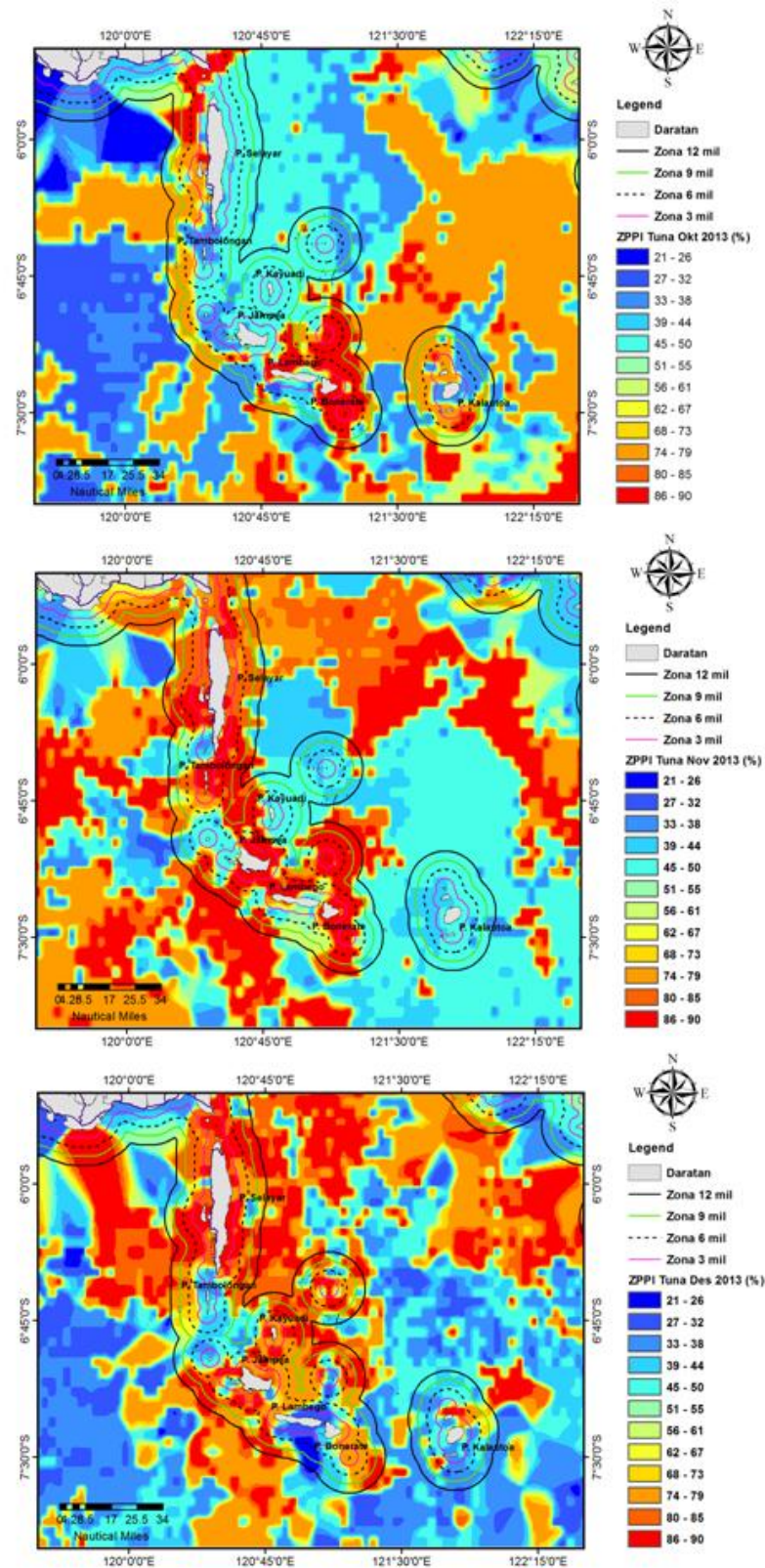
Pada bulan November, ZPPI tuna terutama ikan madidihang cenderung berada di sebelah timur-barat dan selatan Pulau Selayar dan sebelah timur laut dan barat daya Pulau Jampea, sebelah selatan Pulau Lambego dan sebelah utara dan selatan Pulau Bonerate. Pada bulan Desember, ZPPI masih konsisten berada di sekitar Pulau Selayar, dan perairan timur laut Laut Flores. Pada bulan ini juga terbentuk formasi ZPPI yang sangat potensial bagi keberadaan ikan tuna yaitu dari perairan barat daya Pulau Jampea hingga timur laut Pulau Tarupa perairan Kepulauan Selayar. Tingkat probabilitas ZPPI untuk menangkap ikan tuna pada periode November-Desember melebihi 80% dan bahkan beberapa yang melebihi 90% (Gambar 4). Di luar periode waktu tersebut tingkat probabilitas ZPPI relatif rendah.



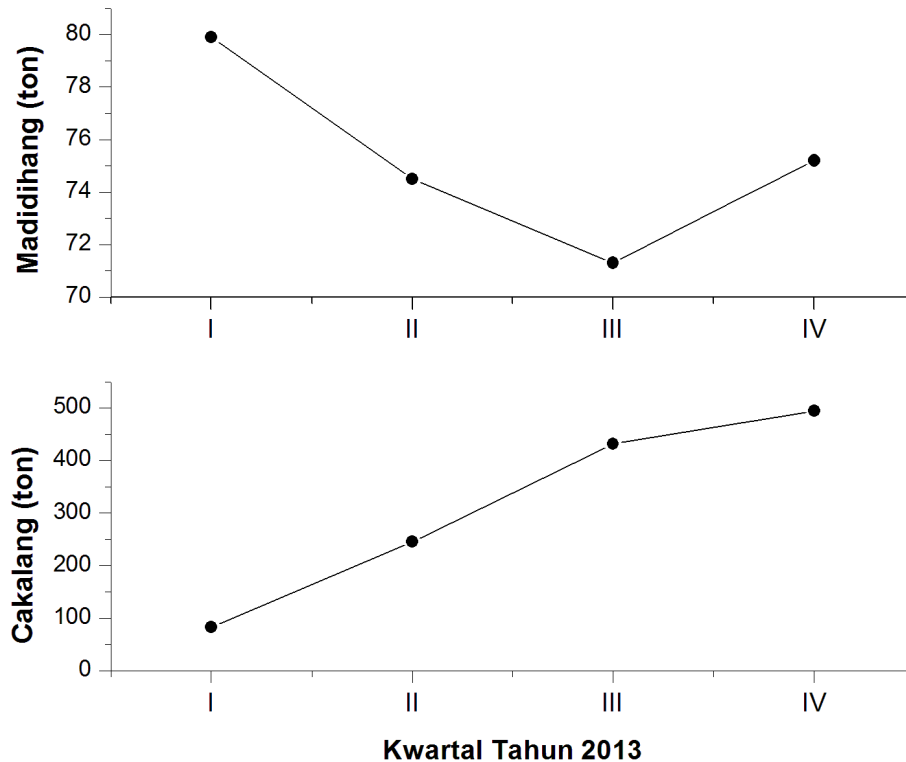
Gambar 2. Distribusi Suhu Permukaan Laut (SPL-Aqua/MODIS) dalam derajat celcius (C) di Perairan Laut Flores periode Oktober-Desember 2013 (warna abu-abu menunjukkan daratan)



Gambar 3. Distribusi konsentrasi klorofil-a (chl-a-Aqua/MODIS) dalam mg m^{-3} di Perairan Laut Flores periode Oktober-Desember 2013 (warna abu-abu menunjukkan daratan)



Gambar 4. Distribusi zona potensi penangkapan ikan (ZPPI) tuna yang dinyatakan dalam unit probabilitas di Perairan Laut Flores periode November-Desember 2013.



Gambar 5. Tren produksi ikan tuna madidihang dan tuna cakalang di Laut Flores pada setiap kuartal tahun 2013 (Data diolah dari DKP Kab. Selayar).

Data produksi Dinas Kelautan dan Perikanan pada tahun terakhir (2013) menunjukkan bahwa produksi ikan tuna madidihang dan tuna cakalang pada kuartal IV (Oktober-Desember) cenderung mengalami peningkatan (Gambar 5). Hasil wawancara dan data lapanganpun memperkuat bahwa musim puncak ikan tuna di Perairan Laut Flores khususnya di sekitar Perairan Kepulauan Selayar terjadi pada bulan November hingga Januari. Data tahun 2013 adalah data paling aktual yang menggambarkan kondisi terkini penangkapan ikan tuna. Oleh karena itu data tersebut digunakan untuk memverifikasi prediksi data satelit tahun 2013.

Pembahasan

Hasil penelitian ini menggambarkan bahwa tingkat pemanfaatan sumber daya ikan tuna di Laut Flores berdasarkan data produksi tahun ter-

akhir (2013) belum mencapai level jumlah tangkapan yang diperbolehkan (JTB). Mallawa & Mahfud (2009) juga menunjukkan bahwa tingkat pemanfaatan sumber daya ikan tuna dan cakalang di Wilayah Pengelolaan Perikanan 713 masih jauh dari optimal (sekitar 44% dari MSY). Hal ini menunjukkan bahwa stok ikan tuna di Laut Flores merupakan aset strategis yang layak dikembangkan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat nelayan dan pendapatan asli daerah (Manggabarani 2002). Implikasi dari hasil penelitian ini ialah upaya penangkapan tuna di Laut Flores masih perlu ditingkatkan untuk mendapatkan hasil tangkapan pada level JTB.

Penelitian ini menyarankan bahwa upaya penangkapan ikan tuna seharusnya dialokasikan di berbagai lokasi ZPPI dengan jumlah dan formasi alat tangkap yang tepat. Hal ini berarti bahwa semua unit penangkapan tuna, termasuk pan-

cing ulur, pancing tonda dan longline serta pukat cincin sebaiknya dipetakan secara spasial dan temporal dengan jumlah yang sesuai di setiap zona penangkapan 3 mil, 6 mil, 9 mil, 12 mil dan di luar jarak zona tersebut (Gambar 4). Rincian jumlah masing-masing alat tangkap tersebut yang dialokasikan di lokasi ZPPI untuk mendapat hasil tangkapan pada level JTB masih perlu diinvestigasi lebih lanjut.

Peta ZPPI tuna menunjukkan bahwa musim puncak ikan tuna di Laut Flores terjadi periode Oktobet-Desember khususnya pada bulan Desember dan lokasi tersebut ditunjukkan dengan tingkat probabilitas rata-rata di atas 75% (Gambar 4). Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa di luar periode waktu tersebut ZPPI kurang berkembang dengan baik (nilai probabilitasnya relatif lebih rendah). Oleh karena itu penelitian ini hanya menampilkan peta pada periode Oktober-Desember.

Formasi ZPPI tuna yang berkembang pada periode Oktober-Desember terbentuk dari kombinasi nilai preferensi faktor lingkungan yang tinggi (SPL hangat dan konsentrasi klorofil-a relatif tinggi). Kondisi SPL demikian merupakan faktor penting yang memengaruhi kelimpahan ikan tuna (Lehodey *et al.* 1997 dan Zagalia *et al.* 2004). Konsentrasi klorofil-a pada level sekitar $0,2 \text{ mg m}^{-3}$ dapat memberikan indikasi habitat ikan tuna mencari makan (Polovina *et al.* 2001). Dengan demikian kombinasi kisaran preferensi faktor lingkungan hasil penelitian ini menjadi indikator area (ZPPI) di mana ikan tuna kemungkinan besar berlimpah. Hal ini diduga terkait tingkat kesuburan perairan karena faktor *upwelling* (Gordon 2005) dan juga relatif tingginya tingkat produktifitas primer di Laut Flores (Jufri *et al.* 2014).

Upwelling yang berlangsung pada musim timur (Juli-Agustus) dan tingginya produktifitas

primer diduga menstimulasi terbentuknya daerah potensial untuk mencari makan (*feeding ground/ forage habitat*) bagi ikan tuna. Hal ini yang selanjutnya membentuk ZPPI pada periode Oktober-Desember yang dapat diidentifikasi dengan kombinasi nilai kisaran SPL dan klorofil-a. Produktifitas ZPPI tuna pada periode Oktober-Desember dihipotesiskan terkait dengan tingginya tingkat kesuburan perairan (klorofil-a dan produktifitas primer) akibat adanya *upwelling* pada musim timur. Hasil tangkapan tinggi ikan lemuru di Selat Bali berkorelasi positif dengan tinggi produktifitas perairan (klorofil-a) tiga bulan sebelumnya (*time lag* 3 bulan) (Sartimbul *et al.* 2010).

Daerah ZPPI dideteksi berada pada lokasi antara $6.5 - 7^\circ \text{LS}$ dan $120.5 - 121.5^\circ \text{BT}$ yang diidentifikasi dengan SPL hangat dan densitas klorofil-a yang relatif tinggi yaitu pada level antara 0.3 dan 0.7 mg m^{-3} (Gambar 2 dan 3). Hal ini menunjukkan bahwa di lokasi tersebut ikan tuna berlimpah dan hasil penelitian ini konsisten dengan data lapangan (data penangkapan). Hasil studi sebelumnya menunjukkan bahwa keberadaan madidihang erat kaitannya dengan relatif tingginya nilai klorofil-a di perairan (Zagaglia *et al.* 2004, Dell *et al.* 2008). Karena itu integrasi teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) memberikan solusi yang layak untuk menemukan ZPPI tuna (Polovina *et al.* 2001, Zainuddin *et al.* 2008). Data penginderaan jauh memungkinkan untuk memprediksi ZPPI tuna secara spasial mencakup seluruh Laut Flores dan secara temporal ZPPI dapat diprediksi sepanjang tahun. Teknik SIG sangat membantu dalam pembuatan kontur faktor lingkungan dan jarak zona penangkapan serta memetakan ZPPI tuna sesuai dengan resolusi gambar yang dibutuhkan.

Salah satu fakta menarik dari hasil penelitian ini adalah hasil tangkapan dan upaya pe-

penangkapan mengalami fluktuasi. Hal ini terjadi karena daerah dan waktu penangkapan yang dipilih nelayan tidak konsisten berada pada ZPPI. Nelayan masih mengandalkan indikator alami seperti burung, buih dan benda terapung dalam menentukan waktu dan lokasi penangkapan tuna. Penelitian ini memberikan informasi ilmiah tentang peta prediksi ZPPI yang memungkinkan untuk memanfaatkan sumber daya ikan tuna secara berkelanjutan.

Data produksi tuna madidihang yang sering dijumpai berasosiasi dengan ikan cakalang di Laut Flores menunjukkan adanya kecenderungan meningkat pada triwulan terakhir (IV). Fakta ini memperkuat dugaan bahwa musim puncak ikan tuna di Laut Flores berada diantara musim peralihan timur-barat dan musim barat. Data penelitian mengindikasikan bahwa bulan Desember merupakan periode waktu ZPPI tuna paling produktif. Data hasil wawancara dengan nelayan tuna di Kabupaten Kepulauan Selayar memperkuat sekaligus memvalidasi hasil penelitian ketika musim terbaik ikan tuna di Laut Flores berada pada bulan November dan Desember. Hal ini berarti bahwa pada kuartal terakhir, tingkat upaya penangkapan tuna dapat ditingkatkan pada level upaya penangkapan MSY (JTB) dan ditempatkan pada posisi yang sesuai dengan lokasi ZPPI yang memiliki tingkat probabilitas tinggi.

Simpulan

ZPPI tuna di Laut Flores secara spasial ditemukan di sekitar Pulau Selayar, Jampea, Kayu-adi, Bonerate dan Tarupa. Secara temporal ZPPI tersebut mencapai musim puncak pada periode triwulan terakhir terutama pada bulan Desember. Tingkat pemanfaatan potensi sumber daya ikan tuna berdasarkan data enam tahun terakhir (2008-2013) menunjukkan bahwa hasil tangkapan ikan tuna rata-rata periode tersebut masih di

bawah jumlah tangkapan yang diperbolehkan. Oleh karena itu masih diperlukan upaya penangkapan dalam jumlah, posisi dan waktu yang tepat untuk mengeksploitasi secara optimal sumber daya ikan tuna di Laut Flores pada level JTB.

Persantunan

Penulis mengucapkan terima kasih pada Dirjen DIKTI atas dukungan dana penelitian tahun 2014. Penelitian ini dibiayai oleh Pendidikan Tinggi melalui Hibah Kompetensi (HIKOM) sebagai Ketua Peneliti (Mukti Zainuddin). Penulis juga mengucapkan terima kasih pada Nur Indah Reskiyanti, Anggraeni, dan Rini Sahni Putri atas segala bantuan dalam pengumpulan data lapangan.

Daftar pustaka

- Clark CW. 1985. *Bioeconomic Modelling and Fisheries Management*. A Wiley Interscience Publication, New York, 291 p.
- Dell J, Wilcox C, Hobday AJ. 2008. Estimation of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) habitat in waters adjacent to Australia's East Coast: making the most of commercial catch data. *Fisheries Oceanography*, 20(5): 383–396
- Gordon A. 2005. The oceanography of the Indonesian Seas and their throughflow. *Oceanography*, 18(4): 14-27.
- Inagake D, Yamada H, Segawa K, Okazaki, Nitta A, Itoh T. 2001. Migration of young bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, through arch-ival tagging experiments and its relation with oceanographic conditions in the western North Pacific, *Bulletin of National Research Institute of Far Seas Fisheries* 38: 53-81.
- Jufri A, Amran MA, Zainuddin M. 2014. Penentuan karakteristik daerah penangkapan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Perairan Teluk Bone pada Musim Barat. *Jurnal IPTEKS Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan*, 1(1):1-10.
- Kekenusa JS. 2009. Penentuan status pemanfaatan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) yang tertangkap di Sulawesi Utara. *Pacific Journal*, 1(4):477-481.

- Kunarso, Hadi S, Ningsih NS. 2005. Kajian lokasi upwelling untuk penentuan fishing ground potensial ikan tuna. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 10(2): 61-67
- Lehodey P, Bertignac M, Hampton J, Lewis A, Picaud J. 1997. El Niño southern oscillation and tuna in the western Pacific. *Nature*, 389: 715-718.
- Mallawa A, Najamuddin, Zainuddin M, Musbir, Safruddin, Fahrul M. 2006. Studi pendugaan potensi sumberdaya perikan dan kelautan Kabupaten Selayar. Kerja sama antara Kantor Litbangda Kabupaten Selayar dan Pusat Kajian Sumberdaya dan Wilayah Perairan, Universitas Hasanuddin. Tidak dipublikasikan.
- Mallawa A, Mahfud P. 2009. Pemetaan daerah penangkapan tuna dan cakalang di Teluk Bone. *Laporan Penelitian Strategis Nasional*. LP2M Universitas Hasanuddin..
- Manggabarani H. 2002. Peranan penting ilmu iktiologi dalam kegiatan usaha penangkapan ikan. *Jurnal Ikhtiologi Indonesia*, 2(2): 57-60.
- Polovina JJ, Howel E, Kobayashi DR, Seki MP. 2001. The transition zone chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources. *Progress in Oceanography*, 49 (1-4): 469-483.
- Sartimbul, Nakata AH, Rohadi E, Yusuf B, Kadarisman HP. 2010. Variations in chlorophyll-a concentration and the impact on *Sardinella lemuru* catches in Bali Strait, Indonesia. *Progress in Oceanography*, 87 (1-4): 168-174.
- Schaefer KM, Fuller DW, Block BA. 2011. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Pacific Ocean off Baja California, Mexico, determined from archival tag data analyses, including unscented Kalman filtering, *Fisheries Research*, 112 (1-2): 22-37
- Sparre P, Ursin E, Venema SC. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1, Manual, *FAO Fisheries Technical Paper*, No. 306-1, FAO, Rome, 337 p.
- Uktolseja JCB, Purwasasmita R, Susanto K, Sulistiaji AB. 1998. Potensi dan penyebaran sumber daya ikan pelagis besar. In: potensi dan penyebaran sumber daya laut di Perairan Indonesia. Komisi Nasional Pengkajian Stok Sumber daya Ikan Laut. LIPI. Jakarta. pp. 40-88
- Zagaglia CR, Lorenzetti JA, Stech JL. 2004. Remote sensing data and longline catches of yellowfin tuna (*Thunnus albacores*) in the equatorial Atlantic. *Remote Sensing of environment*, 9 (3): 267-281.
- 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 Research*, 53(3-4): 419-431.
- Zainuddin M, Saitoh K, Saitoh S. 2008. Albacore tuna fishing ground in relation to oceanographic conditions of northwestern North Pacific using remotely sensed satellite data. *Fisheries Oceanography*, 17(2): 61-73.
- Zainuddin M. 2011. Skipjack tuna in relation to sea surface temperature and chlorophyll-a concentration of Bone Bay using remotely sensed satellite data. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 3 (1): 82-90.
- Zainuddin M, Nelwan A, Farhum SA, Najamuddin, Hajar MAI, Kurnia M, Sudirman. 2013. Characterizing Potential Fishing Zone of Skipjack Tuna during the Southeast Monsoon in the Bone Bay-Flores Sea Using Remotely Sensed Oceanographic Data. *International Journal of Geosciences*, 4(1A): 259-266.