

Dampak *Upwelling* terhadap Zona Potensial Penangkapan Ikan (ZPPI)

Giantoro Saputra¹, Ima Nurmalia Permatasari², Engki A Kisnarti³

^{1,2,3}Program Studi Oseanografi, Universitas Hang Tuah

Korespondensi: ima.nurmalia@hangtuah.ac.id

Abstrak

Fenomena *upwelling* yang membawa air dingin dan kaya nutrisi ke permukaan laut berperan penting meningkatkan produktivitas primer perairan, mendukung pertumbuhan *fitoplankton* sebagai dasar rantai makanan. Proses ini berkaitan dengan kemunculan *thermal front*, zona pertemuan dua massa air dengan temperatur berbeda, yang berkontribusi pada produktivitas primer dan distribusi ikan sehingga menarik perhatian ikan pelagis seperti tuna dan cakalang yang bergantung pada ketersediaan makanan yang melimpah. Oleh karena itu pemahaman mengenai dinamika *upwelling* dan *thermal front* sangat penting untuk penentuan Zonasi Potensial Penangkapan Ikan (ZPPI). Metode yang digunakan mencakup analisis data citra satelit SNPP-VIIRS dan Aqua-MODIS untuk mendeteksi *thermal front* menggunakan algoritma *Single Image Edge Detection* (SIED), serta pengolahan data klorofil-a dan *Catch per Unit Effort* (CpUE) dengan model *Habitat Suitability Index* (HSI) dan *Generalized Additive Model* (GAM). Tujuan dari review ini adalah mengkaji metode efektif yang digunakan untuk menentukan hubungan antara fenomena *Upwelling* dan *Thermal front* dalam penentuan sebaran zonasi penangkapan ikan di perairan.

Kata kunci: *Upwelling*, *Thermal front*, Temperatur Permukaan Laut (TPL), klorofil-a, Zona Potensial Penangkapan Ikan(ZPPI)

Abstract

The phenomenon of *upwelling*, which brings cold, nutrient-rich water to the ocean surface, plays an important role in increasing the primary productivity of waters, supporting the growth of phytoplankton at the base of the food chain. This process is related to the emergence of thermal fronts, the meeting zone of two water masses with different temperatures, which contribute to primary productivity and fish distribution, attracting pelagic fish such as tuna and skipjack that depend on abundant food availability. Therefore, understanding the dynamics of *upwelling* and thermal fronts is essential for the determination of Zoning Potential Fishing (ZPPI). The methods used include analysing SNPP-VIIRS and Aqua-MODIS satellite image data to detect thermal fronts using the *Single Image Edge Detection* (SIED) algorithm, as well as processing chlorophyll-a and *Catch per Unit Effort* (CpUE) data with the *Habitat Suitability Index* (HSI) and *Generalised Additive Model* (GAM) models. The purpose of this review is to examine effective methods used to determine the relationship between *Upwelling* and *Thermal front* phenomena in determining the distribution of fishing zonation in waters.

Key words: *Upwelling*, *Thermal front*, Sea Surface Temperature (SST), Chlorophyll-a, Potential Fishing Zone (PFZ)

PENDAHULUAN

Upwelling merupakan fenomena penting yang meningkatkan produktivitas biologis laut dengan membawa air dingin kaya nutrisi ke permukaan, memperkaya kesuburan perairan (Jacob dkk., 2018; Dabuleviciene dkk., 2023). Daerah *upwelling* ditandai

dengan temperatur lebih dingin serta salinitas dan klorofil-a yang lebih tinggi dibandingkan sekitarnya, dan sering berasosiasi dengan terjadinya *thermal front* (Syahdan dkk., 2014; Reese dkk., 2011). *Thermal front* merupakan zona pertemuan dua massa air dengan temperatur berbeda, yang berkontribusi pada produktivitas primer tinggi dan menjadi lokasi berkumpulnya ikan (Abrahams dkk., 2021; Dabuleviciene dkk., 2020). Kedua fenomena ini berdampak signifikan terhadap zonasi potensi penangkapan ikan, karena aliran air kaya nutrisi dari *upwelling* mendorong pertumbuhan *fitoplankton*, yang mendukung rantai makanan di laut (Sholva dkk., 2013; Purwanto dkk., 2020). Perubahan musiman dan durasi *upwelling* serta *thermal front* juga mempengaruhi distribusi ikan secara spasial, sehingga pemahaman tentang dinamika ini sangat penting untuk menentukan zonasi potensi penangkapan ikan (Chang dkk., 2023).

Variabilitas musiman dari *upwelling* dan *thermal front* sangat dipengaruhi oleh perubahan dalam kondisi atmosfer dan oseanografi, termasuk faktor-faktor seperti angin, arus, maupun Temperatur Permukaan Laut (TPL) (Trautman dan Walter, 2021). Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) 715, yang mencakup Teluk Tomini, Laut Maluku, dan Perairan Pulau Nias merupakan area kaya keragaman spesies ikan dan kompleksitas ekosistem (Purwanto dkk., 2020). Adanya fenomena *thermal front* dan peningkatan klorofil-a di kawasan ini berguna dalam memahami tingkat distribusi ikan, karena *thermal front* dapat meningkatkan produktivitas biologis yang mendukung populasi ikan (Suhadha dkk., 2020). Sementara itu, Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) di lepas pantai timur Semenanjung Malaysia dipengaruhi oleh sistem angin muson yang menciptakan kondisi oseanografi yang unik. Sistem ini mempengaruhi pola migrasi ikan pelagis yang bergantung pada perubahan temperatur dan salinitas. Penelitian di ZEE ini juga menyoroti dampak perubahan iklim terhadap ekosistem laut (Shaari dkk., 2018). Ketiga lokasi ini menawarkan keunikan yang menarik untuk penelitian dan berkontribusi pada pengelolaan sumber daya perikanan yang berkelanjutan di Asia Tenggara.

Estimasi Zona Potensial Penangkapan Ikan (ZPPI) menggunakan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah metode umum untuk menganalisis sebaran dan anomali TPL serta klorofil-a di perairan (Purwanto dkk., 2020). Penelitian sebelumnya terkait estimasi daerah penangkapan ikan berdasarkan hubungan antara TPL dan klorofil-a telah dilakukan di perairan Ternate dan Wakatobi (Titaheluw dkk., 2020) dan WPP-RI 715 yang meliputi Teluk Tomini, Laut Maluku, Laut Seram, dan Teluk Berau (Suhadha dan Asriningrum 2020). Pembaruan data mengenai ZPPI perlu dilakukan dengan memanfaatkan data citra satelit penginderaan jauh. Hal ini bertujuan untuk mengestimasi model daerah penangkapan ikan menggunakan data dari satelit

SNPP-VIIRS dan Aqua-MODIS (Purwanto dkk., 2020). Hasil model untuk ZPPI yang telah diperbarui diharapkan dapat membantu nelayan lokal dalam meningkatkan hasil tangkapan ikan, sehingga operasi penangkapan ikan menjadi lebih efektif dan efisien.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka secara garis besar tujuan review jurnal ini adalah mengkaji metode efektif yang digunakan untuk menentukan hubungan antara fenomena *upwelling* dan *thermal front* dalam penentuan sebaran zonasi penangkapan ikan di perairan. Pemahaman ini sangat berguna bagi para nelayan dalam meningkatkan hasil tangkapan mereka serta meningkatkan efisiensi waktu dalam proses penangkapan ikan.

METODE PENELITIAN

Literatur review ini ditulis berdasarkan informasi dan data-data yang diperoleh berdasarkan jurnal-jurnal terkait dengan dampak *upwelling* dan *thermal front* terhadap ZPPI yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Referensi pustaka yang digunakan

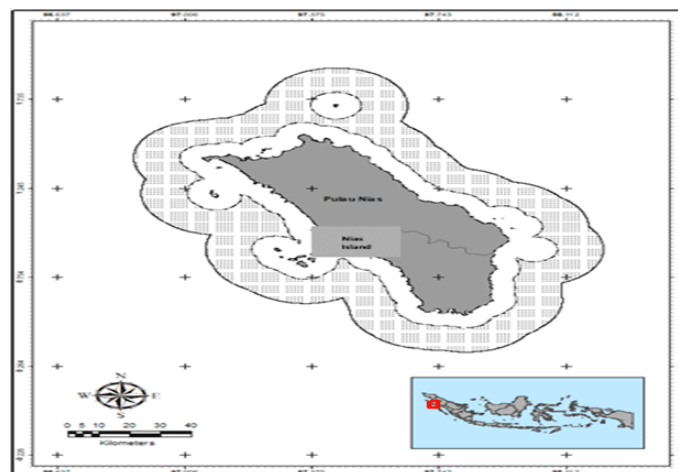
Sumber	Metode
Purwanto dkk., 2020	<ul style="list-style-type: none"> • Penentuan ZPPI di perairan Pulau Nias • Data yang digunakan <ul style="list-style-type: none"> - TPL - Klorofil-a • Penggunaan citra satelit GHRSSST, SNPP-VIIRS, dan MODIS-Aqua pada September 2018 dan September 2019, dengan deteksi thermal front dari data TPL menggunakan metode SIED dan analisis overlay dengan data klorofil-a untuk dilihat sebaran ZPPI di perairan Pulau Nias.
Suhadha dan Asriningrum, 2020	<ul style="list-style-type: none"> • Penentuan ZPPI di WPPNRI 715 • Data yang digunakan <ul style="list-style-type: none"> - TPL - Klorofil-a • Analisis kesesuaian area antara <i>thermal front</i> dan area mesotrofik menggunakan data TPL dari citra satelit SNPP-VIIRS dan klorofil-a dari citra satelit Aqua-MODIS dari Januari-Desember 2018 di <i>Google Earth Engine</i> (GEE) yang kemudian dikombinasi dengan Pendekatan SIED untuk menentukan sebaran ZPPI.
Shaari dkk., 2018	<ul style="list-style-type: none"> • Penentuan sebaran habitat ikan <i>Rastrelliger kanagurta</i> di Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Malaysia. • Data yang digunakan <ul style="list-style-type: none"> - Data lapangan (data tangkapan ikan) - TPL - Klorofil-a • Analisis data satelit MODIS untuk klorofil-a (Chl-a) dan TPL, serta penggunaan model <i>Suitability Index</i> (SI) dan <i>Generalized Additive Model</i> (GAM) untuk memprediksi habitat ikan potensial <i>Rastrelliger kanagurta</i> di ZEE Malaysia. Data tangkapan ikan dari 2008 dan 2009 juga dianalisis untuk menghitung indeks

tangkapan per unit usaha/*Catch per Unit Effort* (CpUE) menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Metode Penentuan Zona Potensi Penangkapan Ikan di perairan Pulau Nias

Penelitian Purwanto dkk. (2020) berlokasi di perairan barat Indonesia, khususnya sekitar Pulau Nias, dengan koordinat 3° LU- $0,9^{\circ}$ LS dan $95,8^{\circ}$ - $99,2^{\circ}$ BT. Daerah ini dipilih karena mencerminkan perairan laut terbuka yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia dan perairan tertutup di sisi timur. Secara geografis, lokasi penelitian berbatasan dengan Samudera Hindia di sebelah barat, utara, dan selatan, sementara di sebelah timur berbatasan dengan Pulau Sumatera, serta memiliki kedalaman pantai yang curam.

Data yang digunakan mencakup citra satelit resolusi rendah dari *Suomi National Polar-orbiting Partnership* (SNPP-VIIRS) level 2 (resolusi 750 meter) dan *Group for High Resolution Sea Surface Temperature* (GHRSSST) level 4 (resolusi 1 km) untuk mengekstrak TPL harian. Citra GHRSSST bertujuan untuk menutupi kekurangan informasi mengenai zona potensial penangkapan ikan. Selain itu, citra Aqua-MODIS level 2 (resolusi 1 km) digunakan untuk mengekstrak klorofil-a harian. Data satelit diambil pada September 2018 dan September 2019, sesuai dengan periode pengambilan data lapangan yang dilakukan dua kali dalam bulan yang sama. Data lapangan mencakup pengukuran oseanografi dan wawancara dengan nelayan pesisir di Nias Utara dan Gunungsitoli. Informasi yang dikumpulkan meliputi lokasi, hasil tangkapan, waktu, jumlah orang, alat tangkap, serta data pendukung seperti batas administratif Pulau Nias, kedalaman perairan, data vektor grid 1 mil laut, dan daerah penyangga 4 dan 12 mil laut.



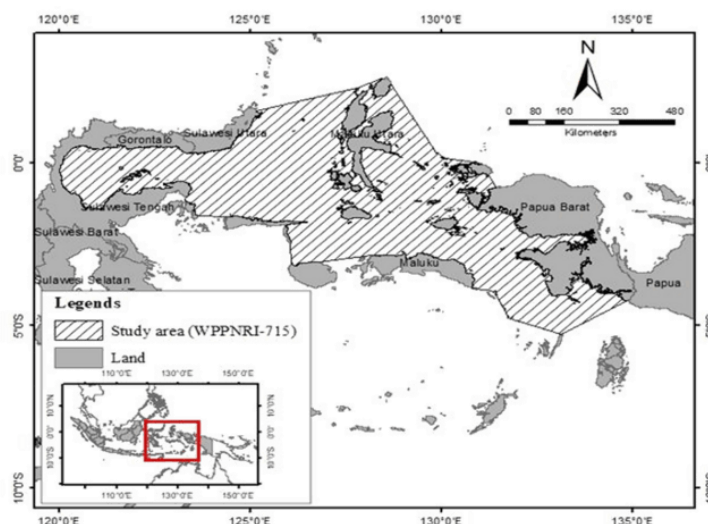
Gambar 1. Lokasi wilayah penelitian (Sumber: Purwanto dkk., 2020)

Penentuan informasi ZPPI dilakukan melalui beberapa langkah. Pertama, *thermal front* dideteksi menggunakan metode SIED dari data TPL dari citra satelit GHRSSST dan SNPP-VIIRS, meliputi pemilihan saluran, koreksi geometrik dan atmosfer, serta

pemotongan data sesuai *Area of Interest* (Aoi) dengan ambang batas $0,5^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya, nilai klorofil-a pada daerah mesotrofik ($0,2\text{-}0,5\text{ mg.m}^{-3}$) ditentukan menggunakan citra Aqua-MODIS dengan proses serupa. Hasil overlay antara *thermal front* dan klorofil-a menghasilkan informasi ZPPI yang dikelompokkan dalam grid 1 mil laut. Koordinat ZPPI ditentukan menggunakan metode pusat massa poligon. Informasi ZPPI dibagi menjadi dua kategori: potensi tinggi/*High Potential* (HP) dari kombinasi kedua parameter, dan potensi rendah/*Low Potential* (LP) berdasarkan salah satu parameter saja. Kategori HP menunjukkan potensi lebih tinggi dibandingkan LP.

Metode Penentuan Zona Potensial Penangkapan Ikan di Area WPP-RI 715 meliputi Teluk Tomini, Laut Maluku, Laut Seram dan Teluk Berau

Wilayah studi penelitian Suhadha dkk. (2020) terletak pada koordinat $3^{\circ}\text{LU}\text{-}6^{\circ}\text{LS}$ dan $120^{\circ}\text{-}135^{\circ}\text{BT}$, yang termasuk dalam WPPNRI 715. Area ini mencakup Teluk Tomini, Laut Maluku, Laut Seram, dan Teluk Berau, dipilih untuk menganalisis potensi penangkapan ikan berdasarkan dua parameter utama: *thermal front* dan klorofil-a. Karakteristik perairan di wilayah ini kompleks, baik di permukaan maupun di dasar. Data citra diperoleh melalui GEE, yang menyediakan akses data Aqua-MODIS dengan waktu pemrosesan sekitar ± 24 jam. Penelitian ini menggunakan data harian Aqua-MODIS dari Januari-Desember 2018, dengan pemilihan delapan data setiap bulan berdasarkan periode awal bulan.



Gambar 2. Lokasi wilayah penelitian (Sumber: Suhadha dkk., 2020).

Pengolahan dan analisis data untuk penentuan ZPPI pada penelitian ini terdiri dari tiga bagian, yaitu: identifikasi *Thermal front*, identifikasi klorofil-a, dan penentuan titik ZPPI. *Thermal front* dideteksi dengan menggunakan algoritma SIED. Algoritma ini mengidentifikasi *thermal front* menggunakan input data TPL selama 1 tahun dengan algoritma histogram pada frekuensi distribusi nilai dalam gambar. Analisis TPL dilakukan

dengan penentuan titik sentroid pada platform GEE yang terdiri dari koordinat poligon *thermal front*. Penentuan titik sentroid yang digunakan dalam penelitian ini dihitung dengan metode geometrik dari poligon-poligon yang ada di ArcGIS 10.8 berdasarkan persamaan Bourke (1988).

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \dots\dots\dots (1)$$

$$Cx = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \dots\dots\dots (2)$$

$$Cy = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

A : Luas area objek

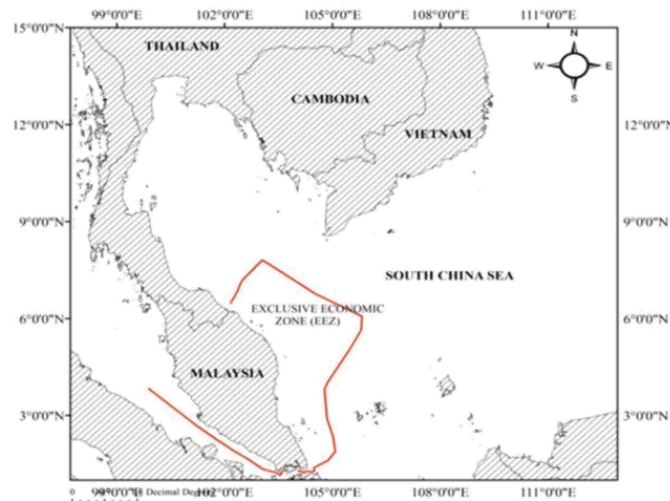
Cx : Koordinat pusat sumbu x

Cy : Koordinat pusat sumbu y

Tahap selanjutnya dalam penelitian adalah pemilihan data titik sentroid dari poligon, pembuatan nilai rata-rata TPL, dan penerapan metode *remote cropping* untuk menentukan TPL menggunakan SIED. Pemilihan data dilakukan dengan menyaring berdasarkan tanggal yang diperlukan. Deteksi *thermal front* dilakukan dengan algoritma SIED menggunakan ambang batas gradien 0,5°C. Data klorofil-a yang terpilih dari citra satelit Aqua-MODIS berada dalam rentang 0,2-0,5 $mg.m^{-3}$, mencakup daerah mesotrofik yang berkaitan dengan kesuburan perairan dan potensi penangkapan ikan. Penyaringan data klorofil-a dilakukan oleh GEE menggunakan operasi matematika. Setelah memperoleh *thermal front* dan data klorofil-a, analisis dilakukan untuk mendapatkan titik ZPPI menggunakan *software* ArcMap.

Metode Prediksi Potensi Habitat Ikan *Rastrelliger kanagurta*: Studi Kasus Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Malaysia

Wilayah studi penelitian Shaari dkk. (2018) mencakup ZEE di lepas pantai timur Semenanjung Malaysia, dengan batas koordinat 1°-8° LU dan 102°-106° BT. ZEE ini merupakan bagian dari Laut Cina Selatan yang dipengaruhi oleh sistem angin muson Asia Timur. Data yang digunakan terbagi menjadi dua kategori: pertama, data perikanan untuk ikan *Rastrelliger kanagurta* dari Departemen Pengembangan dan Pengelolaan Sumber Daya Perikanan (MSPK); kedua, citra satelit Aqua-MODIS level 1 (resolusi 1 km) yang mencakup data TPL dan klorofil-a, diperoleh dari NASA GSFC's *Distributed Active Archive Center* (DAAC) untuk tahun 2008 dan 2009.



Gambar 3. Lokasi wilayah penelitian (Sumber: Shaari dkk., 2018)

Penelitian ini menggunakan metode gabungan analisis data perikanan, pemrosesan citra satelit, pemodelan, dan pemetaan untuk menentukan potensi habitat ikan *Rastrelliger kanagurta* di ZEE pantai timur Semenanjung Malaysia. Data perikanan yang mencakup tanggal penangkapan, lokasi, ukuran jaring, dan berat tangkapan dikumpulkan dari MSPK. Data ini digunakan untuk menghitung *Catch per Unit Effort* (CpUE) dengan rumus:

$$CpUE = \frac{Kg}{trip} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

kg : total tangkapan ikan

trip : upaya penangkapan

Data citra satelit Aqua-MODIS untuk konsentrasi klorofil-a dan TPL diunduh dan diproses secara cermat. Citra harian Aqua-MODIS level 1 dengan resolusi 1 km diproses menjadi level 3 menggunakan sistem analisis SeaWiFS (SeaDAS) 7.4 dan perangkat lunak Erdas IMAGINE 2011. Konsentrasi klorofil-a dihitung menggunakan rasio *band* O'Reilly, sementara data TPL diproses dengan algoritma non-linear khusus. Proses ini memastikan akurasi data untuk analisis kondisi perairan.

Frekuensi tangkapan ikan dianalisis untuk menentukan kisaran yang disukai oleh ikan pelagis dengan mengaitkan data tangkapan dengan citra satelit. Upaya penangkapan ikan digunakan sebagai indikator ketersediaan ikan, yang selanjutnya menghasilkan *Habitat Suitability Index* (HSI). Model HSI diterapkan dalam pengelolaan perikanan, penilaian dampak ekologi, dan studi restorasi ekologi, menggambarkan hubungan antara kelimpahan ikan dan variabel ekologi serta memperkirakan kesesuaian habitat untuk spesies tertentu. Indeks Kesesuaian/*Suitability Index* (SI) dihitung menggunakan rumus yang relevan.

$$SI = \frac{Y_{fit} - \min Y_{fit}}{\max Y_{fit} - \min Y_{fit}} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

Y_{fit} : nilai prediksi frekuensi CpUE.

Hubungan non-linear antara CpUE dan variabel lingkungan seperti TPL dan klorofil-a dimodelkan menggunakan *Generalized Additive Model* (GAM). GAM adalah generalisasi non-parametrik dari regresi linier berganda yang tidak membatasi asumsi distribusi data. Model ini terdiri dari fungsi aditif dan komponen penghalus, memungkinkan penanganan hubungan non-linier dan non-monotonik antara variabel respon dan penjelas. Dengan pendekatan ini, bentuk hubungan ditentukan oleh data tanpa asumsi parametrik tertentu, sehingga GAM dapat memberikan estimasi yang lebih akurat antara CpUE dan variabel lingkungan yang relevan.

Model ini dinyatakan dalam bentuk:

$$y = a + s(TPL) + s(Chl - a) + e \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

y : data CpUE

a : konstanta

$s(.)$: fungsi *smoothing spline* dari variabel

e : *error* (kesalahan acak).

Hasil dari proses tersebut kemudian dianalisis menggunakan uji statistik Kappa untuk membandingkan hasil tangkapan yang sebenarnya dengan hasil tangkapan yang diprediksi. Metode ini digunakan untuk mengukur tingkat kesesuaian antara data referensi dan klasifikasi yang dihasilkan. Penilaian ini bertujuan untuk menentukan akurasi model peramalan yang digunakan dalam pembuatan peta potensi daerah penangkapan ikan. Rumus Statistik Kappa ditampilkan sebagai berikut:

$$K = \frac{K=N \sum_{i=1}^r x^{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

K : statistik Kappa

N : jumlah total observasi

r : jumlah baris dalam matriks

x^{ii} : banyak observasi baris i dan kolom i

x_{i+} dan x_{+i} : bilangan marginal

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Zona Potensi Penangkapan Ikan di Perairan Pulau Nias (Purwanto dkk., 2020)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan citra satelit untuk mengekstraksi dua parameter utama ZPPI pesisir, yaitu suhu permukaan laut dan klorofil-a, meningkatkan informasi mengenai ZPPI. Analisis data mencakup 27 hari pada September 2018 dan 29 hari pada September 2019, dengan persentase informasi yang dihasilkan mencapai sekitar 90 % selama satu bulan, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.

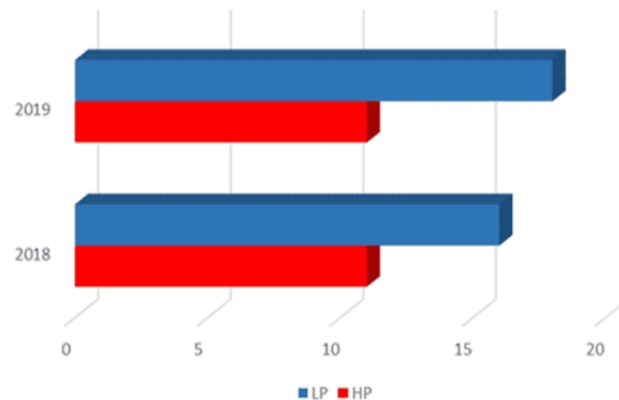
Tabel 2. Rekapitulasi hasil penentuan ZPPI pesisir

Tanggal	September		Chl-a	ZPPI Pesisir	September		Chl-a	ZPPI Pesisir
	Depan-GHRSST	Depan-VIIRS			Depan-GHRSST	Depan-VIIRS		
1	✓		✓	HP	✓			LP
2	✓		✓	HP	✓			LP
3	✓		✓	HP	✓			LP
4	✓		✓	HP	✓			LP
5	✓		✓	HP	✓			LP
6	✓		✓	HP	✓	✓		LP
7	✓		✓	HP	✓			LP
8	✓		✓	HP	✓			LP
9	✓			LP	✓		✓	HP
10		✓		LP	✓		✓	HP
11					✓	✓	✓	HP
12			✓	LP	✓	✓		LP
13			✓	LP	✓		✓	HP
14					✓			LP
15	✓		✓	HP	✓			LP
16	✓			LP	✓			LP
17	✓			LP	✓	✓	✓	HP
18					✓		✓	HP
19			✓	LP	✓			LP
20			✓	LP	✓		✓	HP
21		✓		LP	✓		✓	HP
22	✓		✓	HP	✓	✓	✓	HP
23	✓			LP	✓	✓	✓	HP
24	✓			LP	✓		✓	HP
25	✓	✓		LP	✓			LP
26	✓	✓		LP	✓			LP
27	✓		✓	HP	✓			LP
28	✓			LP	✓			LP
29	✓			LP				
30	✓			LP	✓			LP

Sumber: Purwanto dkk., 2020

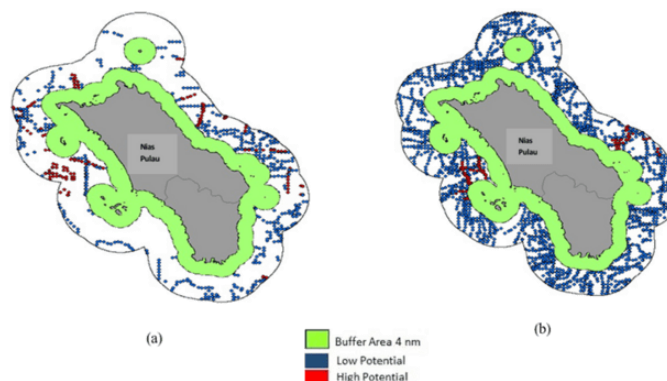
Pada September 2018, informasi ZPPI pesisir dihasilkan selama 27 hari, terdiri dari 11 set informasi dengan kriteria HP dan 16 set dengan kriteria LP. Sementara itu, pada September 2019, informasi ZPPI pesisir dihasilkan selama 29 hari, dengan 11 set informasi berlabel HP dan 18 set berlabel LP. Dari rincian ini, terlihat bahwa model yang dikembangkan efektif dalam menyediakan informasi ZPPI pesisir untuk nelayan skala kecil, terutama di perairan sekitar Pulau Nias. Gambar 4 memperlihatkan perbandingan antara informasi ZPPI pesisir dengan kriteria HP dan LP.

ZPPI dengan kriteria HP menunjukkan adanya potensi tinggi untuk penangkapan ikan, didukung oleh lingkungan yang sesuai dan tingkat nutrisi yang tinggi. Sebaliknya, ZPPI dengan kriteria LP mengindikasikan potensi yang lebih rendah, karena hanya didukung oleh faktor lingkungan yang sesuai tanpa didukung oleh tingkat nutrisi air yang memadai (Gambar 4).



Gambar 4. Perbandingan informasi ZPPI pesisir berdasarkan kriteria potensi tinggi/*High Potential* (HP) dan potensi rendah/*Low Potential* (LP) (Sumber: Purwanto dkk., 2020).

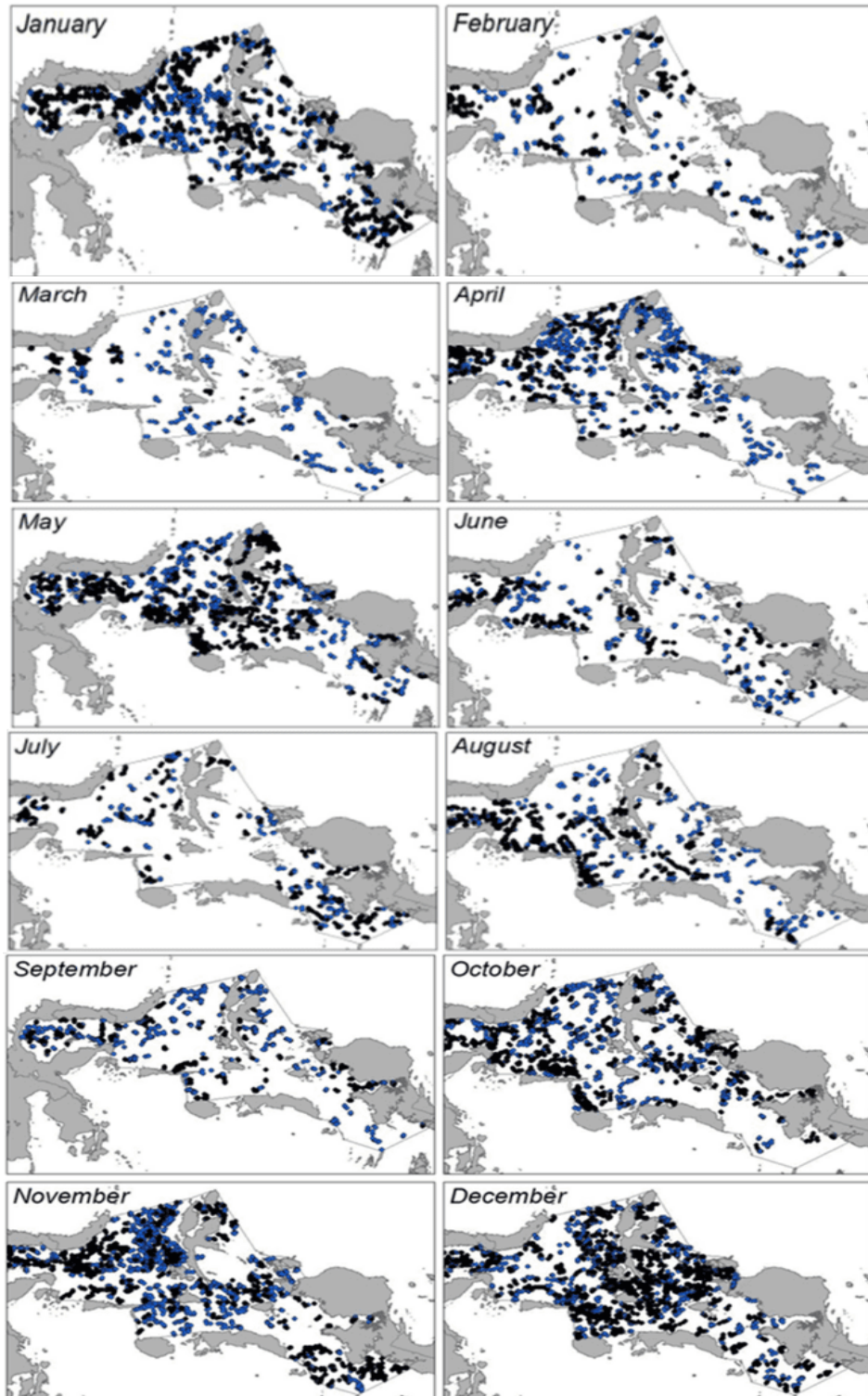
Informasi ZPPI pesisir ini hanya dibuat untuk wilayah pesisir dengan radius antara 4 hingga 12 mil laut. Batas terendah 4 mil laut ditentukan berdasarkan wawancara dengan nelayan di Pulau Nias pada tanggal 24 hingga 30 September 2019, sedangkan batas tertinggi 12 mil laut ditetapkan berdasarkan batas terendah zona ekonomi eksklusif perairan Indonesia. Hasil penentuan informasi ZPPI untuk perairan di sekitar Pulau Nias dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Informasi ZPPI Pesisir untuk Perairan Pulau Nias: (a) September 2018, (b) September 2019 (Sumber: Purwanto dkk., 2020).

Hasil Estimasi Zona Potensial Penangkapan Ikan di Area WPP-RI 715 meliputi Teluk Tomini, Laut Maluku, Laut Seram dan Teluk Berau (Suhadha dkk., 2020).

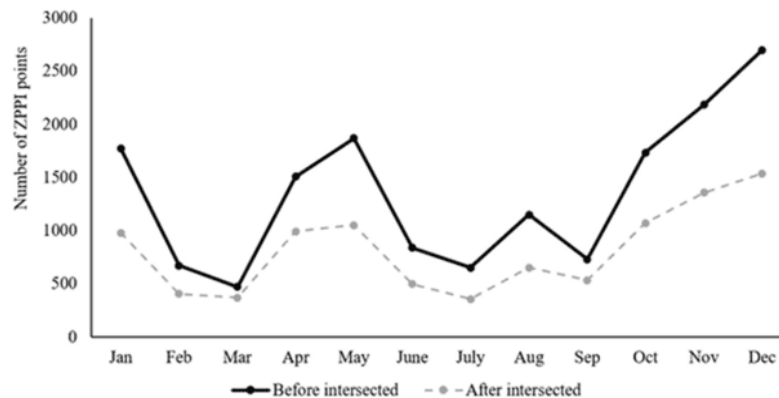
Hasil penelitian Suhadha, dkk. (2020) menunjukkan distribusi spasial dari titik-titik ZPPI bulanan pada Gambar 6. Titik ZPPI dari *thermal front* ditampilkan dengan titik hitam (sebelum berpotongan), sedangkan yang titik biru menunjukkan ZPPI dari daerah yang cocok antara *thermal front* dan mesotrofik (setelah berpotongan). Proses *intersect* dapat memancarkan *thermal front* di luar area mesotrofik. ZPPI diklasifikasikan menjadi dua kelas: ZPPI dengan tingkat kepercayaan tinggi (*High CL*) berwarna biru dan tingkat kepercayaan sedang (*Moderate CL*) berwarna hitam.



Gambar 6. Distribusi spasial titik ZPPI pada tahun 2018 (hitam untuk ZPPI dari *thermal front* dan biru untuk ZPPI dari area yang cocok antara *thermal front* dan area mesotropik) (Sumber: Suhadha dan Asriningrum 2020).

ZPPI dengan *High CL* berasal dari perpotongan *thermal front* dan area mesotropik, namun jumlahnya mengalami fluktuasi yang cukup signifikan. ZPPI *High CL* tercatat 34,07% lebih sedikit dibandingkan ZPPI *Moderate CL*. Kedua distribusi ZPPI ini

mencapai puncaknya pada bulan Desember, saat musim barat. Selain itu, ZPPI menurun selama periode transisi antara dua musim, kondisi ini sejalan dengan distribusi *thermal front* dan area mesotropik di WPPNRI 715 (Gambar 7).



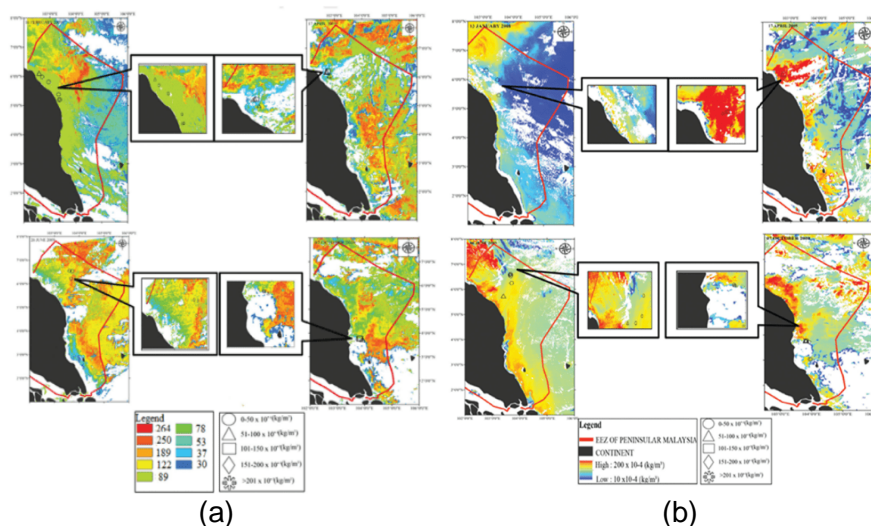
Gambar 7. Perbandingan antara jumlah ZPPI berdasarkan *thermal front* (Sebelum berpotongan) dan ZPPI berdasarkan area yang cocok dengan *thermal front* dan area mesotrofik (setelah berpotongan) (Sumber: Suhadha dan Asriningrum 2020).

Hasil Prediksi Potensi Habitat Ikan *Rastrelliger kanagurta*: Studi Kasus Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Malaysia (Shaari dkk., 2018).

Hasil penelitian Shaari dkk. (2018) dengan model SI menunjukkan keandalan prediksi tangkapan ikan di ZPPI mencapai 75 % dengan statistik Kappa 0,7. Daerah dengan potensi tinggi untuk ikan *Rastrelliger kanagurta* terprediksi di dekat pantai dan lepas pantai ZEE. Pada 16 Februari 2009 (Gambar 8a), zona penangkapan dengan potensi ($> 185 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$) terdeteksi di utara ZEE, sementara hasil tangkapan di dekat pantai diperkirakan mencapai $75-90 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$, sesuai dengan data tangkapan aktual yang di bawah $100 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$. Pada 17 April 2009, distribusi R. kanagurta yang tinggi $90-250 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$ ditemukan di bagian tengah dan selatan ZEE.

Prediksi hasil tangkapan di dekat pantai utara berkisar antara $35-120 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$, sejalan dengan hasil tangkapan aktual yang mencapai $50-150 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$. Pada 26 Juni 2009, distribusi R. kanagurta yang tinggi $> 120 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$ teramati di pantai tengah dan selatan ZEE, serta lepas pantai utara, dengan hasil tangkapan aktual diprediksi lebih dari $101 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$. Selain itu, pada 7 Oktober 2008, hasil tangkapan tinggi $> 185 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$ juga diprediksi di wilayah tengah dan selatan, yang sesuai dengan data tangkapan aktual. Secara keseluruhan, hasil tangkapan yang diprediksi di atas $75 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$ terdistribusi di ZEE, dengan data aktual menunjukkan nilai lebih tinggi di lokasi-lokasi dekat pantai.

Model GAM dalam penelitian ini mencapai akurasi 87,6 % dengan statistik Kappa 0,8. Pada 13 Januari 2008, area dengan potensi tangkapan tinggi $> 200 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$ terdeteksi di utara ZEE, sedangkan nilai $> 100 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$ terlihat di dekat pantai. Pada 17 April 2009, potensi tinggi kembali ditemukan di seluruh bagian utara, tengah, dan selatan ZEE, dengan hasil tangkapan aktual di wilayah utara antara $51-150 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$. Pada 6 Juni 2009, distribusi ikan R. kanagurta yang tinggi $> 200 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$ teramati di daerah utara ZEE, dengan hasil tangkapan aktual berkisar antara $101-150 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$. Selain itu, pada 7 Oktober 2008, distribusi tinggi juga terlihat di bagian utara dan tengah ZEE, dengan hasil tangkapan aktual menunjukkan nilai antara $101-150 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$, sejalan dengan prediksi sekitar $100 \times 10^{-6} kg.m^{-3}$. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan konsistensi antara prediksi dan data tangkapan aktual di berbagai lokasi dan waktu dalam ZEE.



Gambar 8. Daerah penangkapan ikan potensial R. kanagurta (panel kiri dan kanan) menggunakan (a) Indeks kesesuaian/*Suitability Index* (SI) dan (b) Analisis *Generalized Additive Model* (GAM). Panel tengah menunjukkan lokasi prediksi dan hasil tangkapan aktual (Sumber: Shaari dan Mustapha 2018).

Perbandingan mengenai Kelebihan dan Kekurangan dari Penelitian ZPPI di perairan Pulau Nias, WPP-RI, dan ZEE Malaysia

Hasil dari Penelitian yang dilakukan di perairan Pulau Nias, WPP-RI, dan ZEE Malaysia menunjukkan efisiensi dalam penentuan sebaran ZPPI. Meskipun demikian, masing-masing jurnal memiliki kelebihan dan kekurangan yang berbeda. Berikut adalah uraian mengenai kelebihan dan kekurangan dari ketiga jurnal tersebut secara lebih terstruktur dan jelas.

Penelitian Purwanto dkk. (2020) memanfaatkan data penginderaan jauh dari GHR SST, SNPP-VIIRS, dan Aqua-MODIS untuk analisis mendalam ZPPI di perairan Pulau Nias. Dengan kombinasi data TPL dan klorofil-a, penelitian ini dapat mengidentifikasi *thermal front* dengan cepat, menyediakan informasi ZPPI bulanan dengan cakupan data 90 %. Namun, penelitian ini terbatas pada bulan September dari dua tahun berbeda, sehingga tidak mencerminkan kondisi musiman atau perubahan jangka panjang. Metode SIED yang digunakan hanya mempertimbangkan data TPL dan klorofil-a, membuatnya kurang fleksibel dalam menangkap faktor lingkungan lain yang mempengaruhi distribusi ikan.

Penelitian Suhadha dkk. (2020) memiliki kelebihan dalam penggunaan metode inovatif untuk mengestimasi ZPPI dengan mengaitkan *thermal front* dan area mesotrofik, menghasilkan lebih dari 60 % kecocokan antara kedua parameter, yang meningkatkan akurasi prediksi lokasi penangkapan ikan. Selain itu, pemanfaatan data satelit Aqua-MODIS dan GEE memungkinkan analisis data skala besar dan informasi terkini tentang kondisi oseanografi. Namun, penelitian ini bergantung pada akurasi data satelit yang dapat terpengaruh oleh faktor lingkungan seperti awan dan pencemaran. Selain itu, tidak membahas variabilitas temporal dan spasial dari faktor lain yang dapat mempengaruhi distribusi ikan, seperti perubahan iklim dan aktivitas manusia.

Penelitian Shaari dkk. (2018) menunjukkan kelebihan dalam pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dan SIG untuk memetakan habitat ikan *Rastrelliger kanagurta* di ZEE Malaysia. Dengan menggunakan data satelit Aqua-MODIS untuk klorofil-a dan TPL, penelitian ini mencapai akurasi model SI sebesar 75 % dan GAM sebesar 87,6 %, yang meningkatkan prediksi lokasi penangkapan ikan secara signifikan. Namun, penelitian ini memiliki kekurangan, antara lain fokus yang terbatas pada dua parameter utama, yaitu klorofil-a dan TPL, tanpa mempertimbangkan faktor oseanografi lain seperti salinitas atau arus laut. Selain itu, data yang digunakan bersifat historis dari 2008 dan 2009, sehingga kurang relevan dalam konteks perubahan lingkungan akibat perubahan iklim dan aktivitas manusia.

KESIMPULAN

Perbandingan beberapa metode yang digunakan dalam penentuan ZPPI, GAM menunjukkan keunggulan dalam hal akurasi dan ketepatan prediksi dibandingkan dengan Algoritma SIED. GAM memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi, mencapai 87,6 %, dan mampu menggabungkan berbagai variabel lingkungan, seperti TPL dan klorofil-a, sehingga memberikan prediksi yang lebih komprehensif dan konsisten dengan data tangkapan aktual. Sebaliknya, meskipun metode Algoritma SIED lebih sederhana dan cepat dalam mendeteksi *thermal front* menggunakan gradien temperatur yang

dikombinasikan dengan data klorofil-a, bahkan bisa memberikan informasi sekitar 90 % setiap bulannya, pendekatan ini kurang mampu menangkap hubungan kompleks antara faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap distribusi ikan. Dengan demikian, meskipun metode Algoritma SIED cocok untuk proses identifikasi cepat, metode GAM lebih unggul untuk memberikan hasil prediksi yang lebih akurat dan dapat diandalkan dalam penentuan zonasi potensial penangkapan ikan.

REFERENSI

- Abrahams, A., Schlegel, W.R dan Smit, J.A., 2021. "Variation dan Change of Upwelling Dynamics Detected in the World's Eastern Boundary Upwelling Systems." *Frontiers in Marine Science* 8(February): 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.626411>.
- Chang, P., Xu, G., Kurian, J., Small, J.R., Danabasoglu, G., Yeager, S., Castruccio, F., Zhang, Q., Rosembloom, N dan Chapman, P., 2023. "Uncertain Future of Sustainable Fisheries Environment in Eastern Boundary Upwelling Zones under Climate Change." *Communications Earth dan Environment* 4(1): 1–9. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00681-0>.
- Dabuleviciene, T., Jucevicius, D., Zolubas, T., Vaiciute, D dan Nika, N., 2023. "The Effect of Short-Term Upwelling Events on Fish Assemblages at the South-Eastern Coast of the Baltic Sea." *Water (Switzerland)* 15(3). <https://doi.org/10.3390/w15030452>.
- Dabuleviciene, T., Vaiciute, D dan Kozlov, E.I., 2020. "Chlorophyll-a Variability during Upwelling Events in the South-Eastern Baltic Sea dan in the Curonian Lagoon from Satellite Observations." *Remote Sensing* 12(21): 1–21. <https://doi.org/10.3390/rs12213661>.
- Jacob, G.M., Edwards, A.C., Hazen, L.E dan Bograd, J.S., 2018. "Coastal Upwelling Revisited: Ekman, Bakun, dan Improved Upwelling Indices for the U.S. West Coast." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 123(10): 7332–7350. <https://doi.org/10.1029/2018JC014187>.
- Purwanto, D.A., Prayogo, T., Marpaung, S dan Suhadha, G., 2020. "Analysis of Potential Fishing Zones in Coastal Waters: A Case Study of Nias Island Waters." 17(1): 9–24. <http://dx.doi.org/10.30536/j.ijreses.2020.v17.a3298>.
- Shaari, N. R., dan Mustapha, M.A., 2018. "Predicting Potential Rastrelliger Kanagurta Fish Habitat Using MODIS Satellite Data dan GIS Modeling: A Case Study of Exclusive Economic Zone, Malaysia." *Sains Malaysiana* 47(7): 1369–1378. <http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2018-4707-03>.
- Sholva, Y., Sitohang, B dan Wikantika, K., 2013. "New Approach to Locate Upwelling dan Thermal-Front from Satellite Imagery Data." *Procedia Technology* 11(2013): 317–326. <http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.197>.
- Suhadha, G.A dan Asriningrum, W., 2020. "Potential Fishing Zones Estimation Based on Approach of Area Matching Between Thermal Front dan Mesotrophic Area." *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 12(2): 567–583. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.28305>.
- Syahdan, M., Atmadipoera, S.A., Susilo, B.S dan Gaol, L.J., 2014. "Variability of Surface Chlorophyll-a in the Makassar Strait-Java Sea, Indonesia." *International Journal of Sciences: Basic dan Applied Research (IJSBAR)* 14(2):103–116. <http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>.
- Trautman, N dan Walter, K.R., 2021. "Seasonal Variability of Upwelling dan Downwelling Surface Current Patterns in a Small Coastal Embayment." *Continental Shelf Research* 226.

<https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104490>.

Titaheluw, Syahnul Sardi et al. 2020. "Distribution of Day Fish in Ternate City Water Based on Chlorophyll-A." *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* 59: 1062–71. 62-1071.
<http://ieomsociety.org/harare2020/papers/289.pdf>