

DISTRIBUSI SPASIAL DAN TEMPORAL HASIL TANGKAPAN CUMI-CUMI DI WPP 718 BERDASARKAN MODEL GAM

APPLICATION OF GENERALIZED ADDITIVE MODELS (GAM) IN ANALYZING SQUID CATCHES IN FISHERIES MANAGEMENT AREA (FMA) 718

Asep Saepulloh¹⁾, Debora Christi Simamora²⁾, Anninda Sabina²⁾, Al Fajar Alam³⁾, I Nyoman Radiarta²⁾

¹⁾Pelabuhan Perikanan Samudera Kendari, Direktorat Jendral Perikanan Tangkap, Kementerian Kelautan dan Perikanan

²⁾Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan

³⁾Pelabuhan Perikanan Samudera Nizam Zachman, Direktorat Jendral Perikanan Tangkap, Kementerian Kelautan dan Perikanan
Teregistrasi 1 tanggal : 12 Juni 2025; Diterima setelah perbaikan tanggal 30 Juni 2025; Disetujui terbit tanggal : 27 Juli 2025

ABSTRAK

Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) 718 yang mencakup Laut Arafura, merupakan salah satu kawasan strategis dalam sektor perikanan tangkap di Indonesia. Kawasan ini dikenal memiliki potensi sumber daya cumi-cumi yang tinggi dan bernilai ekonomis penting. Namun demikian, karakteristik spasial dan temporal sumber daya cumi-cumi di wilayah ini sangat dipengaruhi oleh dinamika lingkungan oseanografi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter oseanografi terhadap hasil tangkapan cumi-cumi di WPP 718 dengan menggunakan pendekatan *Generalized Additive Models* (GAM). Data tangkapan diperoleh dari logbook Pelabuhan Perikanan Nusantara tahun 2022–2023, sedangkan data oseanografi berupa suhu permukaan laut, salinitas, dan klorofil-a diambil dari Marine Copernicus. Analisis dilakukan secara spasial-temporal berdasarkan empat musim monsun di Indonesia. Hasil menunjukkan bahwa suhu permukaan laut dan salinitas memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai CPUE (*Catch Per Unit Effort*), sementara klorofil-a tetap berkontribusi dalam model meskipun tidak signifikan secara statistik. Model terbaik (Model 7) yang menggabungkan ketiga parameter menunjukkan nilai AIC terendah (1976,212) dan *deviance explained* tertinggi (11%). Sebaran prediksi CPUE dan HSI menunjukkan bahwa Musim Barat dan Peralihan 2 merupakan periode paling produktif bagi penangkapan cumi-cumi, sementara Musim Timur mencatatkan hasil terendah akibat pengaruh suhu rendah dari fenomena *upwelling*. Temuan ini menegaskan pentingnya pemahaman terhadap dinamika lingkungan laut dalam mendukung pengelolaan sumber daya perikanan cumi-cumi secara adaptif dan berkelanjutan di WPP 718.

Kata Kunci: CPUE; cumi-cumi; HSI; perikanan; WPP 718

ABSTRACT

Fisheries Management Area (FMA) 718, encompassing the Arafura Sea, is one of Indonesia's strategic fishing zones with high economic potential, particularly for squid resources. However, the spatial and temporal characteristics of squid distribution in this region are strongly influenced by oceanographic dynamics. This study aims to analyze the influence of oceanographic parameters on squid catch using the Generalized Additive Model (GAM) approach. Catch data were obtained from the Nusantara Fishing Port logbook during 2022–2023, while oceanographic data, including sea surface temperature (SST), salinity, and chlorophyll-a, were sourced from Marine Copernicus. The analysis was conducted across four monsoonal seasons to capture spatio-temporal variations. Results indicated that SST and salinity significantly influenced the Catch Per Unit Effort (CPUE), while chlorophyll-a contributed to the model without being statistically significant. The best-performing model (Model 7), which combined all three parameters, recorded the lowest AIC value (1976.212) and the highest deviance explained (11%). Predicted CPUE and Habitat Suitability Index (HSI) maps revealed that the highest productivity occurred during the West Monsoon and Transitional Season 2. At the same time, the lowest catch was observed during the East Monsoon, likely due to reduced SST associated with upwelling. These findings highlight the importance of incorporating oceanographic variability in the sustainable and adaptive management of squid fisheries in WPP 718.

Keywords: CPUE; fisheries; FMA 718; HSI; squid

PENDAHULUAN

Potensi sumber daya laut di Indonesia telah dimanfaatkan dalam berbagai sektor ekonomi, dengan perikanan tangkap menjadi salah satu yang paling

dominan. Aktivitas perikanan tangkap menjadi fokus utama dalam pemanfaatan sumber daya laut, salah satunya yaitu perikanan cumi-cumi (Ilhamdi & Yahya, 2017). Cumi-cumi merupakan salah satu potensi sumber daya laut non-ikan

Korespondensi:

Email : annindasabina30@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/bawal.17.2.2025.88-98>

Copyright © 2025, BAWAL WIDYA RISET PERIKANAN TANGKAP (BAWAL)

yang bernilai ekonomis tinggi. Pada tahun 2023, produksi perikanan cumi-cumi di Indonesia, yaitu 234.681,07 ton, dengan nilai produksi mencapai 11 triliun. Hal ini mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya, sebagaimana pada tahun 2022 produksi perikanan cumi-cumi di Indonesia sekitar 191.714,57 ton, dengan nilai produksi 9 triliun (KKP, 2025). Pemanfaatan cumi-cumi di Indonesia juga beragam, seperti di wilayah Bangka Belitung, cumi-cumi dijadikan sebagai bahan makanan sehari-hari ataupun olahan keripik telur cumi sebagai makanan khas (Rosalina et al., 2011). Namun, jika dibandingkan dengan pemanfaatan sumber daya ikan lainnya, tingkat pemanfaatan sumber daya cumi-cumi secara global masih dianggap rendah. Rendahnya tingkat pemanfaatan ini dapat disebabkan oleh keterbatasan data ilmiah mengenai distribusi spasial dan faktor lingkungan yang mempengaruhi keberadaan cumi-cumi.

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan pembagian 11 zona wilayah pengelolaan perikanan, memiliki potensi yang berlimpah dalam produksi perikanan cumi-cumi. Wilayah penangkapan cumi-cumi di Indonesia tersebar di berbagai wilayah, seperti di Laut Cina Selatan (WPP 711), Laut Jawa (WPP 712), dan Laut Arafura (WPP 718) (Prasetyo et al., 2014). Perairan WPP 718 dikenal sebagai salah satu perairan strategis di Indonesia karena kekayaan sumber daya ikan ekonomis penting, termasuk perikanan cumi-cumi. Berdasarkan data statistik Kementerian Kelautan dan Perikanan, periode 2018 hingga 2023 di WPP 718 mengalami tren peningkatan produksi cumi-cumi, dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 18,13% per tahun. Salah satu indikator yang juga penting dalam menilai potensi dan efektivitas penangkapan cumi-cumi adalah nilai *Catch Per Unit Effort* (CPUE), yang mencerminkan efisiensi hasil tangkapan terhadap upaya penangkapan dan dapat digunakan sebagai indikator ketersediaan stok secara relatif. Namun demikian, potensi sumber daya ikan, termasuk cumi-cumi, bersifat dinamis dan dapat mengalami fluktuasi dari tahun ke tahun. Perubahan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor alami seperti proses reproduksi, pertumbuhan populasi, pola migrasi, serta tingkat mortalitas yang terjadi baik secara alami maupun akibat aktivitas penangkapan (Nurphadilah et al., 2022). Dinamika tersebut menuntut adanya upaya pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya perikanan secara optimal dan berkelanjutan, agar keberadaan dan ketersediaannya tetap terjaga di masa yang akan datang.

Peningkatan produksi cumi-cumi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang mempengaruhi pola sebaran dan kelimpahannya, seperti klorofil-a, suhu permukaan laut, dan salinitas (Fahrezy et al., 2024). Kandungan klorofil yang tinggi menunjukkan produktivitas primer yang baik melalui keberlimpahan fitoplankton, yang menjadi sumber makanan utama bagi cumi-cumi (Simbolon et al., 2010). Suhu permukaan laut berperan dalam mengatur pola migrasi musiman cumi-cumi; spesies ini cenderung bermigrasi dari laut lepas pada musim dingin ke wilayah

pesisir pada musim semi dan musim panas (Roper et al., 1984; Fahrezy et al., 2024). Selain itu, salinitas dan kedalaman perairan yang sesuai menjadi faktor penting dalam pemilihan lokasi pemijahan, karena cumi-cumi akan memilih perairan dengan parameter oseanografi yang optimal untuk meletakkan telurnya (Hasmawati, 2015). Pemahaman terhadap pengaruh lingkungan menjadi penting sebagai dasar dalam pengelolaan perikanan yang berkelanjutan, khususnya dalam menentukan area potensial penangkapan cumi-cumi. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ilmiah yang mampu memodelkan hubungan antara keberadaan cumi-cumi dengan parameter oseanografi secara spasial dan temporal.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Generalized Additive Model* (GAM), yaitu pengembangan dari GLM yang memungkinkan pemodelan hubungan non-linier antara variabel prediktor dan respons secara fleksibel (Guisan et al., 2002; Thuiller et al., 2003). Keunggulan utama GAM terletak pada kemampuannya mengakomodasi pola hubungan kompleks sehingga lebih adaptif dibandingkan metode konvensional seperti regresi linear atau GLM. Pendekatan ini relevan dalam studi oseanografi perikanan yang melibatkan variabel lingkungan dinamis dan saling terkait. Meski terdapat potensi *overfitting*, risiko tersebut dapat diminimalkan melalui pemilihan parameter *smoothing* yang tepat (Wood, 2006). Integrasi GAM tetap efisien untuk diterapkan dan ditinjau lebih lanjut dalam kerangka pemodelan indeks kesesuaian habitat (*Habitat Suitability Index*/HSI). Model HSI dibangun berdasarkan hubungan antara parameter lingkungan dan kesesuaian habitat spesies, dengan indeks yang dinormalisasi pada skala 0–1, di mana nilai 0 menunjukkan habitat tidak sesuai dan nilai 1 menunjukkan habitat paling optimal (Sable et al., 2019). Dengan demikian, integrasi pendekatan GAM dan HSI memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung kebijakan pengelolaan perikanan cumi-cumi yang berbasis ilmiah, responsif terhadap perubahan lingkungan, serta selaras dengan prinsip keberlanjutan sumber daya kelautan nasional.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

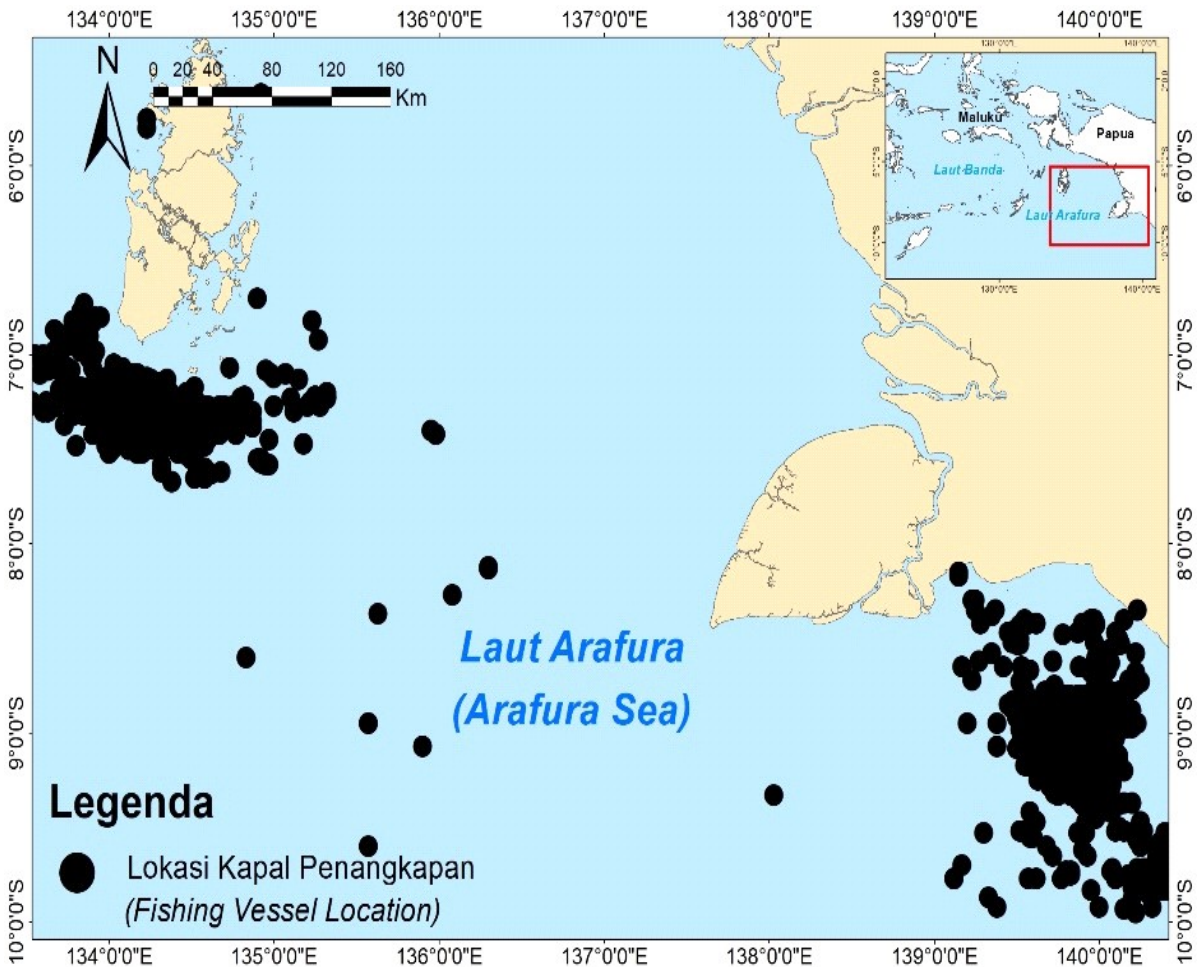
Penelitian dilaksanakan di Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) 718, Indonesia, yang mencakup perairan Laut Aru, Laut Arafura, dan bagian timur Laut Timor (Gambar 1). Wilayah ini dikenal sebagai salah satu kawasan dengan potensi perikanan cumi-cumi tertinggi di Indonesia. Waktu penelitian ini dilakukan selama 2 tahun, yaitu 2022 dan 2023, sedangkan pengolahan data dilakukan selama 2 bulan, yaitu bulan Mei - Juni 2025.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data hasil cumi-cumi diperoleh dari *logbook* kapal penangkap di Perairan WPP 718 pada tahun 2022 dan 2023. Data *logbook* diperoleh dari Pelabuhan

dan Perikanan Samudra Nizam Zachman, Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap, Kementerian Kelautan dan Perikanan, sedangkan data oseanografi diperoleh melalui

laman Marine Copernicus dengan data akuisisi bulanan pada tahun 2022-2024 (Tabel 1).



Gambar 1. Lokasi kajian daerah tangkapan cumi-cumi di Perairan WPP 718, Indonesia
Figure 1. Study area location of squid fishing grounds in FMA 718 Waters, Indonesia

Tabel 1. Jenis data yang digunakan dalam penelitian
Table 1. Types of data used in the study

Kategori	Data	Sumber Data	Keterangan
Data Parameter Oseanografi / Oceanographic Parameter Data	Suhu Permukaan Laut (SPL) / Sea Surface Temperature (SST)	https://data.marine.copernicus.eu/product/GL_OBAL_ANALYSISFORECAST_PHY_001_024/description	Akuisisi 2022 - 2024 Resolusi 0.083° (9 km)
	Klorofil-a (CHL) / Chlorophyll-a (CHL)	https://data.marine.copernicus.eu/product/GL_OBAL_ANALYSISFORECAST_BGC_001_028/description	
	Salinitas (SAL) / Salinity (SAL)	https://data.marine.copernicus.eu/product/GL_OBAL_ANALYSISFORECAST_PHY_001_024/description	
Data Tangkapan	Posisi penangkapan dan hasil tangkapan cumi-cumi (Squid catch position and catch results)	Logbook Pelabuhan dan Perikanan Samudra (PPS) Nizam Zachman (Logbook of the Nizam Zachman Oceanic Fishing Port (PPS))	Data tahun 2022 dan 2023

Analisis Data Oseanografi

Data oseanografi dalam format netCDF (.nc) disesuaikan dengan wilayah studi dan dilakukan ekstraksi parameter oseanografi, seperti suhu permukaan laut, salinitas, serta klorofil-a. Ekstraksi ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Ocean Data View* (ODV), sehingga diperoleh data dalam format .csv. Data tersebut bersifat bulanan dan selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan musim monsun di Indonesia, yaitu Musim Barat, Musim Peralihan I, Musim Timur, dan Musim Peralihan II, dengan bantuan *Microsoft Excel* dan *Python*. Pemilihan musim monsun sebagai dasar klasifikasi temporal didasarkan pada pola sirkulasi angin dan arus musiman di wilayah tropis yang secara langsung memengaruhi parameter oseanografi seperti suhu, salinitas, dan konsentrasi klorofil-a. Pendekatan ini memungkinkan analisis temporal yang lebih representatif terhadap dinamika lingkungan laut dan relevan untuk memahami perubahan spasial dan musiman dalam distribusi cumi-cumi. Selanjutnya, data musiman tersebut dilakukan interpolasi menggunakan metode *Kriging* pada perangkat lunak *ArcMap* 10.8 untuk mengestimasi nilai pada piksel kosong akibat gangguan atmosfer. Hasil interpolasi ini digunakan untuk memperoleh sebaran spasial parameter oseanografi, yang kemudian diekstraksi pada titik koordinat lokasi penangkapan cumi-cumi.

Analisis Data Hasil Tangkapan

Data logbook hasil perikanan yang diperoleh yakni berisi informasi terkait posisi penangkapan, hasil dan jumlah penangkapan, serta waktu penangkapan. Data ini mencakup semua ukuran kapal, yang kemudian dikelompokkan berdasarkan trip untuk menghitung nilai CPUE di setiap titik penangkapan. Nilai CPUE yang telah dihitung, divisualisasikan dalam perangkat lunak *ArcMap* 10.8 guna menampilkan distribusi spasial titik penangkapan. Berikut formula CPUE yang digunakan:

$$CPUE_{i(i=1,2,3,..n)} = \frac{Catch_i}{Effort_i} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:
 CPUE *i* = hasil tangkapan per upaya penangkapan dalam musim *i* (kg/trip)
 Catch *i* = hasil tangkapan dalam bulan *i* (kg)
 Effort *i* = upaya penangkapan dalam bulan *i* (trip)

Titik-titik penangkapan tersebut dipadukan secara spasial dengan peta sebaran parameter oseanografi (suhu permukaan laut, klorofil-a, dan salinitas). Selanjutnya, titik CPUE beserta nilai parameter oseanografi disimpan dalam format .csv dan dianalisis lebih lanjut dengan model

Generalized Additive Model (GAM) menggunakan perangkat lunak R (Siregar et al., 2018).

Analisis GAM dimulai dengan persiapan dan eksplorasi data yang dibagi menjadi data *training* (data tangkapan tahun 2022 dan 2023) dan data *testing* (data tangkapan tahun 2024) untuk validasi model (Guisan & Zimmermann, 2000). Data *training* mencakup CPUE sebagai variabel dependen dan parameter oseanografi sebagai variabel independen, sedangkan data *testing* hanya berisi parameter oseanografi. Model GAM dibangun menggunakan paket **mgcv** di R dengan fungsi *smoothing spline* untuk memodelkan hubungan non-linier antara CPUE dan parameter suhu permukaan laut (SPL), klorofil-a (CHL), serta salinitas (SAL). Berikut persamaan antar variabel yang diaplikasikan menggunakan *smoothing* dalam model GAM⁽²⁾:

$$g(\mu_i) = \alpha^0 + S1(SPL) + S2(CHL) + S3(SAL) + \epsilon \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:
g = spline smooth function
 μ_i = respond variable (CPUE)
 S1, S2, S3 = smoothing function dari variable predictor
 SPL = nilai parameter suhu permukaan laut
 CHL = nilai parameter konsentrasi klorofil-a
 SAL = nilai parameter salinitas
 ϵ = standard error

Data *testing* digunakan untuk mengevaluasi performa prediksi model. Pemilihan model terbaik didasarkan pada nilai *Akaike's Information Criterion* (AIC), *Deviance Explained* (DE), dan signifikansi *p-value*, di mana model optimal memiliki nilai AIC rendah, DE tinggi, dan *p-value* signifikan (Zuur et al., 2009).

Analisis Habitat Suitability Index

Hasil pemodelan GAM yang dipilih, selanjutnya dianalisis dan divalidasi dengan data titik penangkapan tahun 2024 sebagai data validasi. Sedangkan, nilai prediksi CPUE dipilih sebagai data *testing*. Analisis ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *ArcMap* 10.8. Hasil analisis CPUE tangkapan cumi-cumi dianalisis untuk menentukan kisaran preferensi cumi-cumi dengan menghubungkan data parameter oseanografi dan data *reanalysis* (Shaari & Mustapha, 2018). Upaya penangkapan sering dianggap sebagai indikator ketersediaan atau kemunculan suatu spesies berdasarkan kondisi lingkungannya, yang dimanfaatkan untuk menghitung indeks kesesuaian spesies tersebut (Jhonson et al., 2013). Menurut Maddock (1999), model *Habitat Suitability Index* (HSI) secara luas digunakan sebagai alat dalam pengelolaan perikanan,

penilaian dampak ekologis, serta studi restorasi ekosistem. Indeks kesesuaian habitat (HSI) memiliki skala nilai 0 – 1, sebagaimana semakin mendekati nilai 1, maka habitat tersebut dianggap semakin sesuai dengan distribusi dan keberadadan suatu organisme. Hasil perhitungan HSI kemudian diintegrasikan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.8 untuk menghasilkan peta dan informasi distribusi penangkapan cumi-cumi secara spasial. Berikut formula HSI⁽³⁾:

$$HSI = \frac{Y - Y_{min}}{Y_{max} - Y_{min}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

HSI = nilai *Habitat Suitability Index*

Y = nilai prediksi CPUE pada titik lokasi (kg/trip)

Y_{min} = nilai minimum dari prediksi CPUE pada titik lokasi (kg/trip)

Y_{max} = nilai maksimum dari prediksi CPUE pada titik lokasi (kg/trip)

HASIL DAN BAHASAN

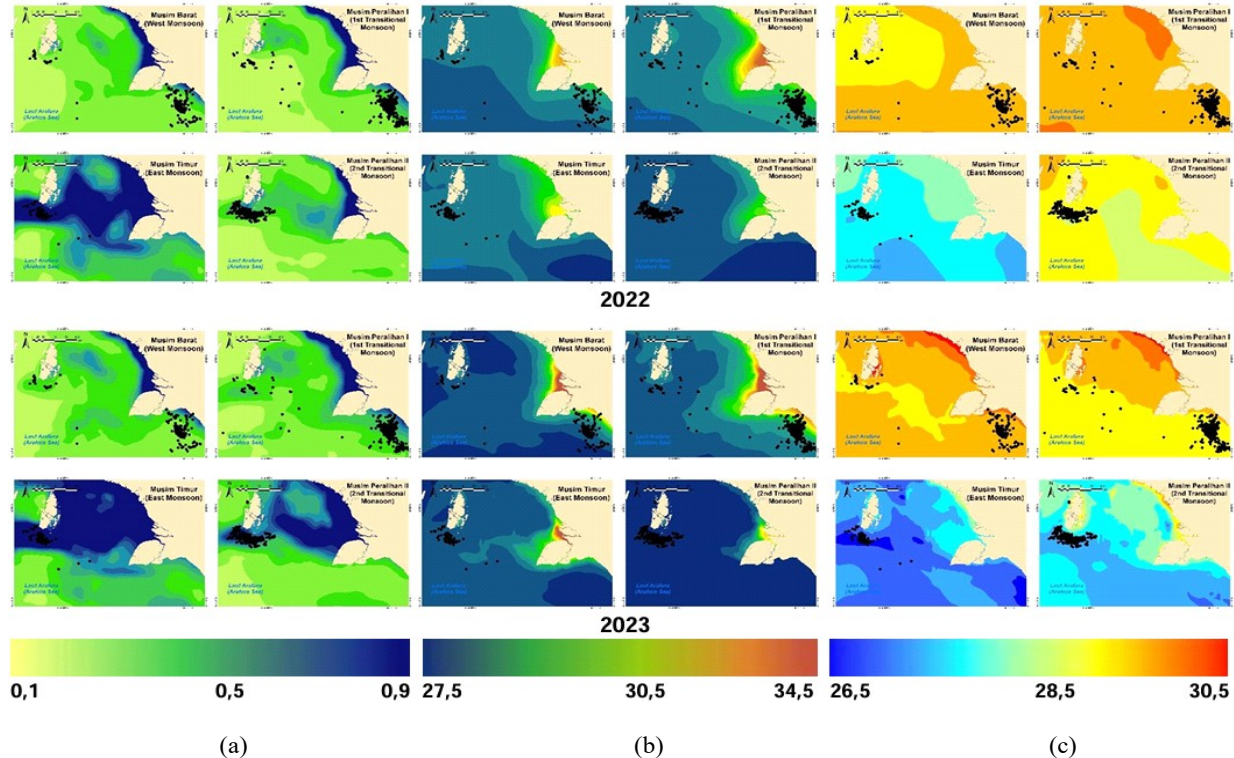
Hasil

Kondisi Perairan WPP 718

Perairan WPP 718, yang meliputi wilayah Laut Aru, Laut Arafura, dan bagian timur Laut Timor, merupakan salah satu kawasan perikanan tangkap yang memiliki potensi sumber daya cumi-cumi tertinggi di Indonesia. Potensi ini tidak terlepas dari letak geografisnya yang strategis, yaitu dilalui Arus Lintas Indonesia (*Indonesian*

Throughflow) serta dipengaruhi oleh sistem angin muson, yang secara sinergis berperan dalam membawa nutrien ke perairan permukaan sehingga mendukung terbentuknya zona-zona produktif sebagai daerah penangkapan ikan yang potensial (Purba *et al.*, 2024). Di samping itu, keberadaan fenomena oseanografi, seperti *upwelling*, pusaran arus (*eddy*), dan termoklin turut memperkuat kompleksitas dinamika oseanografi di perairan ini (Khan *et al.*, 2020; Purba dan Khan, 2019). Oleh karena itu, analisis terhadap parameter oseanografi seperti suhu permukaan laut, salinitas, dan konsentrasi klorofil-a menjadi krusial dalam mengidentifikasi daerah penangkapan cumi-cumi yang potensial di wilayah WPP 718, mengingat keterkaitan erat antara dinamika fisik-perairan dan keberadaan agregasi sumber daya ikan (Gambar 2).

Sebaran klorofil-a, salinitas, dan suhu permukaan laut di Perairan WPP 718, yang mencakup Laut Aru, Laut Arafura, dan bagian timur Laut Timor, menunjukkan variasi spasial dan temporal yang cukup signifikan. Klorofil-a, sebagai indikator utama produktivitas primer, tercatat memiliki konsentrasi antara 0,12-1,79 mg/m³ (Gambar 2a). Salinitas di WPP 718 memperlihatkan kisaran antara 30,27-34,89 psu (Gambar 2b). Nilai salinitas yang lebih tinggi umumnya dijumpai di wilayah laut lepas, yang relatif minim pengaruh dari masukan air tawar seperti aliran sungai dan limpasan permukaan. Sementara itu, Suhu permukaan laut di Perairan WPP 718 memiliki rentang 26,34 hingga 30,34 °C (Gambar 2c).



Gambar 2. Parameter oseanografi di Perairan WPP 718 (a) klorofil-a (mg/m³), (b) salinitas (psu), dan (c) suhu permukaan laut (°C) dari *Marine Copernicus*

Figure 2. Oceanographic parameters in FMA 718 Waters: (a) chlorophyll-a (mg/m³), (b) salinity (psu), and (c) sea surface temperature (°C) from *Marine Copernicus*

Pemodelan CPUE dengan *Generalized Additive Models (GAM)*

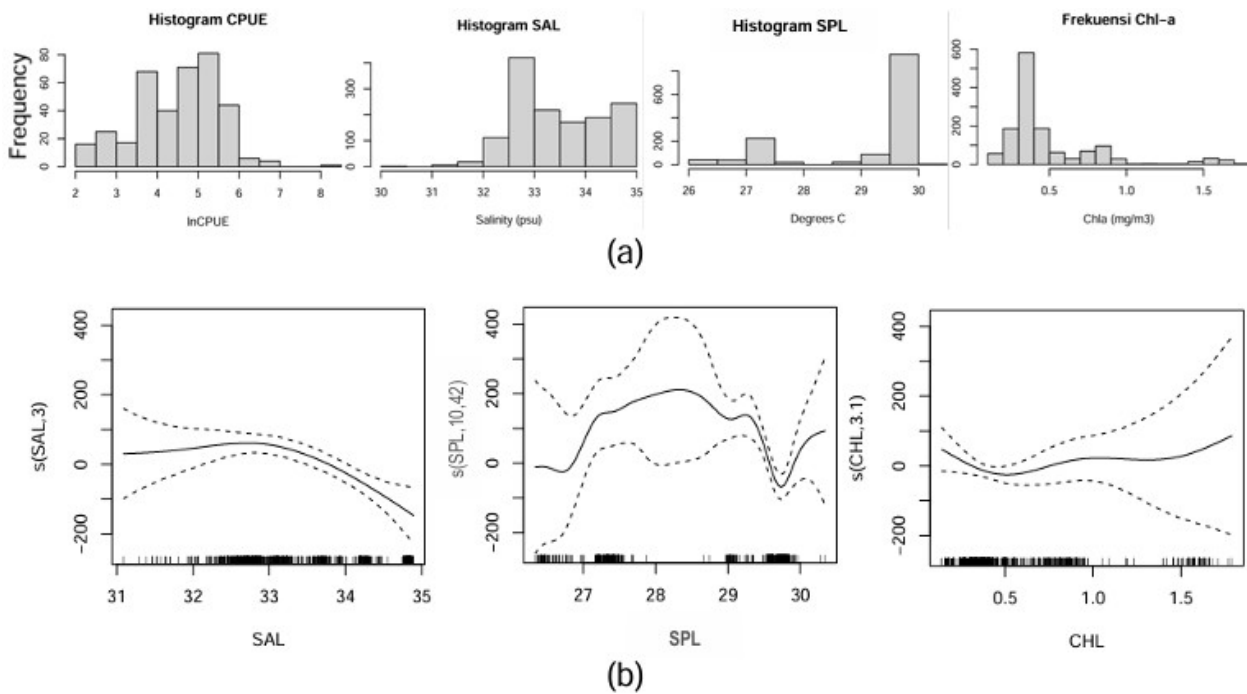
Hubungan antara nilai *Catch Per Unit Effort* (CPUE) cumi-cumi dengan parameter oseanografi selama periode 2022–2023 disajikan dalam bentuk histogram dan *smoothing graphic* (Gambar 3). Histogram pemodelan GAM menunjukkan distribusi frekuensi nilai CPUE dan variabel oseanografi, yang berguna dalam mengidentifikasi rentang nilai dominan yang memengaruhi hasil tangkapan. Sementara itu, *smoothing curve* dari model GAM bertujuan untuk memodelkan hubungan antara variabel respons dengan variabel prediktor atau penjelas.

Fungsi GAM yang terbentuk pada *smoothing curve*, berada di atas dan di bawah sumbu nol. Artinya, jika fungsi GAM berada di atas sumbu nol, nilai persentasenya semakin tinggi, yang menunjukkan pengaruh parameter tersebut kuat. Sebaliknya, jika fungsi GAM berada di bawah sumbu nol, maka menunjukkan bahwa pengaruh parameter tersebut terhadap cumi-cumi lemah (Puspita et al., 2023). Hubungan antara hasil tangkapan cumi-cumi dengan parameter oseanografi ini menghasilkan kombinasi tujuh model prediktif (Tabel 2).

Model GAM dibangun dengan satu variabel respon, yaitu nilai *Catch Per Unit Effort* (CPUE) cumi-cumi, dan dikombinasikan dengan tiga variabel penjelas, yaitu salinitas, suhu permukaan laut, dan klorofil-a. Dari ketiga parameter tersebut, dikembangkan tujuh model prediktif (Tabel 2). Pemilihan model terbaik dilakukan dengan mempertimbangkan nilai *Akaike's Information Criterion*

(AIC) dan *Cumulative Deviance Explained* (CDE), di mana model dengan nilai AIC terendah dan CDE tertinggi dianggap sebagai model paling akurat dalam menjelaskan variasi pada variabel respons (Zuur et al., 2007). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai AIC terendah dan DE tertinggi terdapat pada model 7 yang menggunakan ketiga parameter oseanografi dengan nilai sebesar 1976,212 dan 11%. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengaruh parameter oseanografi saja belum cukup optimal dalam menjelaskan pemodelan CPUE cumi-cumi. Penangkapan cumi-cumi juga dipengaruhi oleh faktor antropogenik, terutama daya tangkap armada penangkapan, yang mencakup ukuran kapal dan frekuensi trip penangkapan. Faktor-faktor ini berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap fluktuasi nilai CPUE dan estimasi distribusi kelimpahan cumi-cumi (Suwarso et al., 2019).

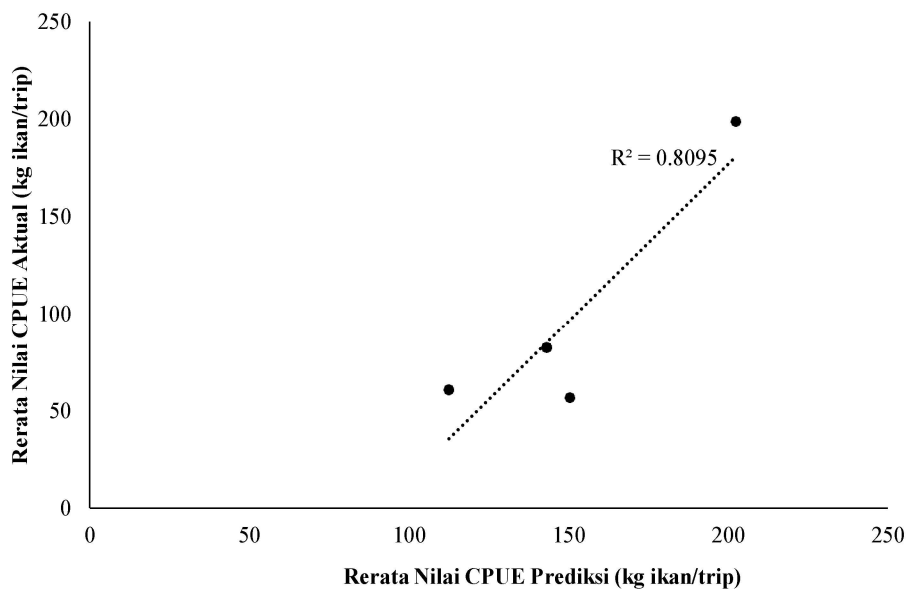
Sebagai upaya untuk mengevaluasi tingkat akurasi model dalam merepresentasikan dinamika temporal, dilakukan analisis residual antara nilai CPUE hasil prediksi dengan nilai CPUE aktual berdasarkan rerataan musim. Hasil evaluasi tersebut mengindikasikan tingkat kesesuaian yang memadai, sebagaimana ditunjukkan oleh pola hubungan linier yang meningkat (Gambar 4). Pola tersebut menunjukkan bahwa model prediktif mampu merepresentasikan variasi musiman secara konsisten dan sistematis, sehingga memperkuat validitas model dalam mengestimasi distribusi CPUE cumi-cumi (Shang et al., 2023).



Gambar 3. Model analisis tangkapan cumi-cumi dengan menggunakan GAM (a) histogram CPUE dan parameter oseanografi dan (b) *smoothing curve*
 Figure 3. Squid catch analysis model using GAM: (a) histogram of CPUE and oceanographic parameters and (b) *smoothing curve*

Tabel 2. Variasi parameter oseanografi pada pemodelan GAM
 Table 2. Oceanographic parameter variations in GAM modeling

Model	Parameter	p-value	AIC	DE (%)
1	SAL	1.88e-06	2009.891	5.62
2	SPL	2e-16	1989.947	8.48
3	CHL	0.0003	2027.327	2.33
4	SPL	6.91e-07	1991.635	8.52
	CHL	0.638		
5	SPL	2e-16	1977.740	10.9
	SAL	0.004		
6	SAL	0.00177	2011.303	5.8
	CHL	0.643		
	SPL	2e-16	1976.212	11
7	CHL	0.834		
	SAL	0.006		



Gambar 4. Validasi model CPUE tangkapan cumi-cumi di WPP 718, berdasarkan hubungan antara nilai prediksi dan aktual

Figure 4. Validation of the CPUE model for squid catches in FMA 718, based on the relationship between predicted and actual values

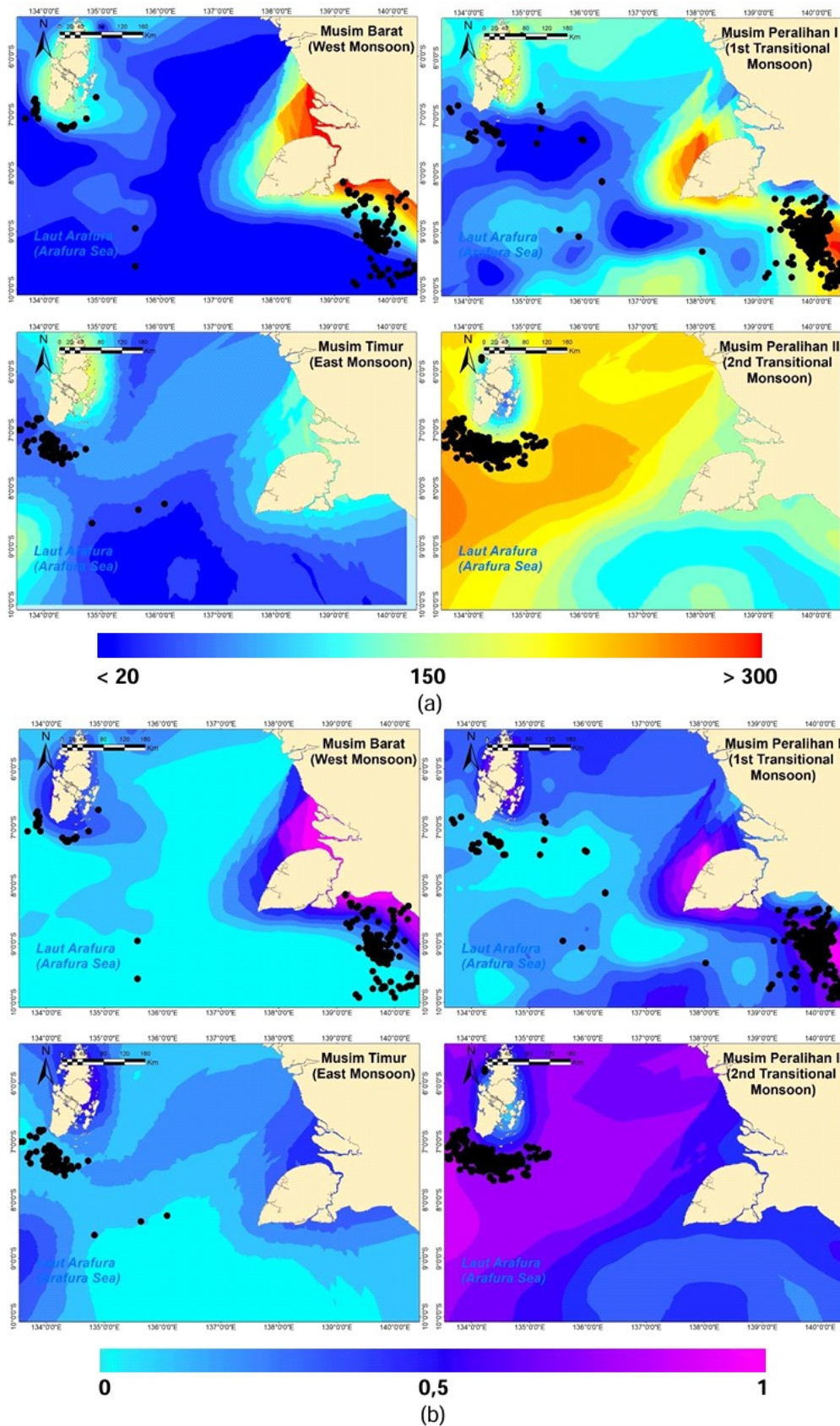
Hasil analisis gabungan antara nilai CPUE prediksi dan aktual juga menunjukkan kecenderungan positif terhadap akurasi model. Hasil ini memperlihatkan empat titik rata-rata yang merepresentasikan nilai CPUE pada masing-masing musim, baik berdasarkan data observasi maupun hasil prediksi sehingga dapat memberikan gambaran umum mengenai kemampuan model dalam menangkap dinamika temporal hasil tangkapan secara representatif.

Prediksi Sebaran dan Daerah Tangkapan Cumi-Cumi

Sebaran tangkapan cumi-cumi dengan pendekatan GAM disajikan pada Gambar 5. Gambar 5a menunjukkan prediksi sebaran tangkapan CPUE, sedangkan Gambar 5b menunjukkan area atau kondisi lingkungan yang

optimal bagi spesies cumi-cumi.

Daerah produksi perikanan cumi-cumi tinggi yang diprediksi oleh model GAM relatif sesuai dengan wilayah penangkapan aktual di lapangan (Gambar 5). Distribusi spasial dan temporal dari data menunjukkan kesesuaian nilai yang signifikan, di mana musim yang kurang optimal dalam hal hasil tangkapan cumi-cumi terjadi pada Musim Timur, dengan kisaran nilai 50-100 kg/trip. Sedangkan aktivitas penangkapan cumi-cumi yang optimal terjadi pada Musim Barat dan Musim Peralihan 2, dengan kisaran nilai CPUE 200-300 kg/trip. Hal ini sejalan dengan HSI (Gambar 5b), sebagaimana Musim Barat dan Musim Peralihan 2 memiliki nilai indeks yang semakin mendekati nilai 1. Artinya, habitat tersebut dianggap sesuai dengan distribusi dan keberadaan cumi-cumi.



Gambar 5. Distribusi spasial (a) Prediksi CPUE (kg/trip) dan (b) Indeks kesesuaian habitat tangkapan cumi-cumi di Perairan WPP 718 tahun 2024

Figure 5. Spatial distribution of (a) Predicted CPUE (kg/trip) and (b) Habitat suitability index for squid catches in the Waters of FMA 718 in 2024

Bahasan

Data tangkapan dan tingkat usaha penangkapan cumi-cumi, termasuk CPUE (*Catch Per Unit Effort*), sering dimanfaatkan sebagai indikator kelimpahan stok dalam kegiatan penilaian sumber daya perikanan. CPUE juga berperan penting dalam meningkatkan akurasi estimasi jumlah populasi spesies yang menjadi target penangkapan komersial (Faizah & Kasim, 2023). CPUE tangkapan cumi-cumi dipengaruhi langsung oleh kondisi oseanografi di suatu perairan. Hasmawati (2012) menyatakan bahwa kondisi oseanografi yang optimal bagi cumi-cumi berada pada salinitas 32-35 ppt dan suhu 28-32°C. Kondisi oseanografi di Perairan WPP 718, terutama di Laut Arafura, cukup bervariasi akibat dinamika musiman, seperti *upwelling* dan stratifikasi perairan (Gambar 2).

Pada Musim Timur, parameter oseanografi pada konsentrasi klorofil-a cenderung meningkat akibat fenomena *upwelling*. Fenomena *upwelling* terjadi akibat pergerakan angin yang bertiup dari timur yang membawa massa air kaya nutrisi dari lapisan bawah ke permukaan sehingga memperkuat produktivitas perairan (Fadzar *et al.*, 2024). Pada musim ini, suhu permukaan laut juga cenderung menurun akibat naiknya massa air dingin dari lapisan bawah (Ahkam & Tarya, 2023). Sedangkan kondisi salinitas lebih tinggi di laut lepas akibat minimnya masukan air tawar sehingga konsentrasi garam di laut lepas lebih besar. Parameter oseanografi tersebut secara langsung memengaruhi distribusi dan kelimpahan cumi-cumi. Parameter oseanografi, seperti konsentrasi klorofil-a yang tinggi mencerminkan ketersediaan pakan yang melimpah. Hal ini menjadi faktor penting dalam penentuan daerah penangkapan cumi-cumi yang potensial (Polovina *et al.*, 2004; Alabia *et al.*, 2016). Sementara itu, parameter oseanografi, seperti suhu dan salinitas memengaruhi kenyamanan fisiologis, migrasi, dan aktivitas biologis cumi-cumi, sehingga perubahan pada kedua parameter ini dapat menyebabkan pergeseran habitat dan fluktuasi hasil tangkapan di wilayah WPP 718 (Ichii *et al.*, 2011).

Analisis daerah tangkapan perikanan cumi-cumi yang diprediksi melalui pendekatan *Generalized Additive Models* (GAM), dihasilkan tujuh model prediktif tangkapan cumi-cumi di Perairan WPP 718 (Tabel 2). Model 7 dipilih sebagai model terbaik karena memiliki nilai AIC terendah (1976,212) dan nilai DE tertinggi (11%). Model 7 menunjukkan tingkat signifikansi data atau *p-value* dari ketiga parameter oseanografi yang digunakan. Suhu permukaan laut (SPL) memiliki nilai *p-value* sebesar $2e-16$, sedangkan untuk parameter klorofil-a (CHL-a) sebesar 0,834 dan salinitas sebesar 0,006 (Tabel 2). Berdasarkan kriteria statistik, parameter yang memiliki nilai *p-value* di bawah 0,05 dianggap berpengaruh signifikan terhadap hasil tangkapan (Sasmitho *et al.*, 2022). Dengan demikian, hasil analisis menunjukkan bahwa parameter SPL dan salinitas merupakan faktor yang paling signifikan memengaruhi keberadaan cumi-cumi di wilayah perairan WPP 718, dan diikuti oleh parameter klorofil-a yang tetap menunjukkan

kontribusi terhadap model prediktif.

Hasil analisis residual antara nilai CPUE prediksi dan aktual berdasarkan pembagian musim menunjukkan tingkat kesesuaian yang cukup baik (Gambar 4). Hal ini ditunjukkan oleh pola garis linier yang cenderung meningkat pada masing-masing musim, yang mengindikasikan bahwa model prediksi mampu merepresentasikan variasi musiman secara konsisten. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang tinggi menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan prediktif yang baik terhadap data aktual (Makwinja *et al.*, 2021). Pada Gambar 4, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,810, yang berarti sekitar 81% variabilitas data berhasil dijelaskan oleh model tersebut. Semakin dekat sebaran titik terhadap garis regresi, maka semakin kecil selisih antara nilai prediksi dan nilai aktual, yang menandakan tingkat akurasi prediksi model yang tinggi (Zhang *et al.*, 2024). Pada Gambar 4, kesesuaian antara nilai prediksi dan nilai aktual mengikuti pola garis regresi, dan konsentrasi titik prediksi yang mendekati garis tersebut juga relatif tinggi, yang mencerminkan tingkat kecocokan model yang baik terhadap data aktual.

Hasil prediksi CPUE dan HSI cumi-cumi di Perairan WPP 718 menunjukkan pola spasial dan musiman yang konsisten (Gambar 5). Nilai CPUE tertinggi tercatat pada Musim Barat dan Musim Peralihan 2, dengan kisaran antara 200-300 kg/trip. Sebaliknya, nilai CPUE terendah terjadi pada Musim Timur, yakni berkisar antara 50-100 kg/trip (Gambar 5a). Pada Musim Barat dan Musim Peralihan 1, nilai CPUE dan HSI cenderung tinggi di wilayah selatan perairan, yang diduga berkaitan dengan kondisi oseanografi yang mendukung, seperti suhu permukaan laut yang hangat, salinitas yang stabil, dan ketersediaan klorofil-a yang cukup sebagai indikator produktivitas perairan. Sebaliknya, pada Musim Timur, baik nilai CPUE maupun HSI menunjukkan penurunan yang signifikan di sebagian besar wilayah, khususnya di bagian selatan perairan. Hal ini disebabkan oleh fenomena *upwelling* yang menyebabkan suhu permukaan laut turun, sehingga kondisi perairan menjadi kurang optimal bagi cumi-cumi. Akibatnya, sebaran titik tangkapan berpindah ke arah utara yang relatif lebih hangat dan stabil. Selanjutnya, pada Musim Peralihan 2, terlihat lonjakan nilai CPUE dan HSI terutama di bagian utara perairan, yang mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan laut pada musim ini sangat mendukung kelimpahan dan penyebaran cumi-cumi. Peningkatan ini disebabkan oleh berakhirnya fenomena *upwelling* sehingga suhu laut kembali meningkat, salinitas kembali normal, dan kandungan klorofil-a masih tinggi sebagai hasil residu produktivitas sebelumnya. Kombinasi faktor-faktor tersebut menciptakan habitat yang sangat sesuai bagi cumi-cumi, yang tercermin dari sebaran titik tangkapan yang luas dan merata. Hasil analisis ini menunjukkan adanya keterkaitan erat antara dinamika musiman dengan pola spasial-temporal kesesuaian habitat, yang memengaruhi produktivitas tangkapan cumi-cumi (Gambar 5b). Oleh

karena itu, pemahaman terhadap fluktuasi musiman ini menjadi krusial dalam mendukung strategi pengelolaan perikanan yang adaptif dan berkelanjutan di wilayah WPP 718.

KESIMPULAN

Pendekatan *Generalized Additive Models* (GAM) dalam analisis tangkapan cumi-cumi di Perairan WPP 718 telah mengidentifikasi hubungan non-linier antara parameter oseanografi dengan nilai CPUE tahun 2024. Hasil pemodelan *Generalized Additive Models* (GAM) menunjukkan bahwa strategi penangkapan cumi-cumi di WPP 718 perlu mempertimbangkan dinamika parameter oseanografi dan musim. Musim Barat dan Musim Peralihan II direkomendasikan sebagai periode penangkapan utama karena didukung oleh suhu, salinitas, dan klorofil-a yang optimal. Sebaliknya, pada Musim Timur disarankan pembatasan penangkapan karena penurunan suhu akibat *upwelling*, yang dapat mempengaruhi penurunan kelimpahan cumi-cumi. Integrasi model GAM dan HSI juga dapat digunakan untuk menetapkan zona dan waktu tangkap potensial secara adaptif dan berkelanjutan di suatu perairan.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pelabuhan Perikanan Samudera Nizam Zachman, Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap, Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia atas dukungan data logbook hasil tangkapan yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahkam, M. A., Tarya, A. (2023). Estimation of the potential of large pelagic fish fisheries using satellite data in the Banda and Arafura Seas. *DEVOTION: Journal of Research and Community Service*. 4(12), 2338-2352. E-ISSN: 2797-6068.
- Alabia, I. D., Saitoh, S.-I., Igarashi, H., Ishikawa, Y., Usui, N., Kamachi, M., Awaji, T., Seito, M. (2016). Ensemble squid habitat model using three-dimensional ocean data. *ICES Journal of Marine Science*. 73(7), 1863-1874. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw075>
- Fadzar, A., Syakira, A., Habibirrohman, Azkiya, M. A., Ramadhani, O. A. (2024). Analisis sebaran parameter oseanografi ikan tembang menggunakan ArcMap studi kasus Laut Arafura. *Jurnal Kelautan dan Pesisir*, 1(2), 87-93. E-ISSN: 3088-9863.
- Fahrezy, M. A., Perangin-angin, R., Istrianto, K., Soepardi, S. (2024). Pengaruh parameter oseanografi terhadap hasil tangkapan cumi-cumi (*Loligo* sp.) di Laut Jawa (WPP-RI 712). *PELAGICUS: Jurnal IPTEK Terapan Perikanan dan Kelautan*. 5(1), 2-16. <https://dx.doi.org/10.15578/plgc.v5i1.14057>
- Guisan, A., Edwards Jr., T.C., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*. 157, 89–100. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00204-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00204-1)
- Hasmawati. (2012). Efektivitas atraktor terhadap penempelan telur dan jumlah hasil tangkapan cumi-cumi pada kedalaman yang berbeda di Pulau Samatellu Lompo Kabupaten Pangkep. *Thesis*. Universitas Hasanuddin.
- Hasmawati, H. (2015). Analisis Jumlah Telur Cumi-Cumi berdasarkan Musim. *Jurnal Galung Tropika*. 4(3), 157-163.
- Ichii, T., Mahapatra, K., Sakai, M., Wakabayashi, T., Okamura, H., Igarashi, H., Inagake, D., et al. (2011). Changes in abundance of the neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in relation to climate change in the central North Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series*. 441, 151–164. <http://dx.doi.org/10.3354/meps09365>
- Ilhamdi, H., & Yahya, M. F. (2017). Perikanan tradisional cumi-cumi oleh nelayan Labuhan Deli (Belawan) di Perairan Selat Malaka. *Buletin Teknik Litkayasa*. 15(1), 1-4. <http://dx.doi.org/10.15578/btl.15.1.2017.1-4>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. [KKP]. (2025). <https://portaldata.kkp.go.id/portals/data-statistik/prod-ikan/tbl-dinamis>. [Diakses, 2 Juni 2025].
- Khan, A.M.A., Jiang, M., Yang, X., Apriliani, I.M., Purba, N.P., Wiryawan, B., Taurusman, A.A., Pasaribu, B. (2024). Illegal fishing threatens the sustainability of future tuna commodities in Indonesia. *Mar. Policy* 159. 105936. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105936>
- Makwinja, R., Mengistou, S., Kaunda, E., Alemiew, T., Phiri, T. B., Kosamu, I. B. M., Kaonga, C. C. (2021). Modeling of Lake Malombe annual fish landings and catch per unit effort (CPUE). *Forecasting*. 3, 39–55. <https://doi.org/10.3390/forecast3010004>
- Nuraffifah, U. O., Zainuri, M., Wirasatriya, A., Oseanografi, D., Perikanan, F., Diponegoro, U. (2022). Pengaruh ENSO dan IOD terhadap distribusi suhu permukaan laut dan klorofil-a pada periode upwelling di Laut Banda. *Indonesian Journal of Oceanography*. 4(3), 74–85. <https://doi.org/10.14710/ijoc.v4i3.14971>
- Nurphadilah, D., Jubaedah, I., Yulistianto, A. A., Samsuri, E. (2022). Potensi perikanan di wilayah Kecamatan Namang Kabupaten Bangka Tengah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*. 16(3): 267-278. <https://doi.org/10.33378/jppik.v16i3.338>
- Polovina, J. J., Balazs, G. H., Howell, E. A., Parker, D. M., Seki, M. P., and Dutton, P. H. (2004). Forage and migration habitat of loggerhead (*Caretta caretta*) and olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) sea turtles in the central North Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography*. 13, 36 –51. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2419.2003.00270.x>
- Prasetyo, B. A., Hutabarat, S., Hartoko, A. (2014). Sebaran spasial cumi-cumi (*Loligo*, sp.) dengan variabel suhu permukaan laut dan klorofil-a data satelit Modis AQUA

- di Selat Karimata hingga Laut Jawa. *Diponegoro Journal of Maquares*. 3(1), 51-60. <https://doi.org/10.14710/marj.v3i1.4286>
- Purba, N. P., Khan, A. M. A. (2019). Upwelling session in Indonesia waters. *World News of Natural Sciences*. 25, 72-83.
- Purba, N. P., Pratama, B. B., Dewanti, L. P., Harahap, S. A., Febriani, C., Ilmi, M. H., Mahendra, M. R. A., Madihah, J. S., Khan, A. M. A. (2024). Examining fishing activities based on in-situ tracking and oceanographic characteristics in Aru Sea and surroundings. *Journal of Sea Research*. 202, 102535. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102535>
- Puspita, A. R., Syamsuddin, M. L., Subiyanto, Syamsudin, F., Purba, N. P. (2023). Predictive modeling of eastern little tuna (*Euthynnus affinis*) catches in the Makassar Strait using the generalized additive model. *J. Mar. Sci. Eng.* 11, 165. <https://doi.org/10.3390/jmse11010165>
- Roper, C. F., Sweeney, M. J., & Nauen, C. (1984). Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries.
- Rosalina, D., Adi, W., Martasari, D. (2011). Analisis tangkapan lestari dan pola musim penangkapan cumi-cumi di Pelabuhan Perikanan Nusantara Sungailiat-Bangka. *Maspari Journal*. 2, 26-38.
- Sable, S.E., Lindquist, D.C., D'Acunto, L., Hijuelos, A.C., La Peyre, M.K., O'Connell, A.M., & Robinson, E.M. (2019). Coastal Master Plan: Habitat Suitability Index Model Improvement Recommendations. *Final Report* (49 p.) Baton Rouge, Louisiana: Coastal Protection and Restoration Authority.
- Sasmito, B., Bashit, N., Arinda, B. R., Sukmono, A. (2022). Application of generalized additive models for identification of potential fishing zones using aqua and terra MODIS imagery data. *Journal of Applied Geospatial Information*. 6(1), 583 – 591. <http://dx.doi.org/10.30871/jagi.v6i1.3962>
- Shang, C., Han, H., Chen, J., Tang, F., Fan, W., Zhang, H., Cui, X. (2023). Relationship between resource distribution and vertical structure of Water Temperature of purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) in the Northwest Indian Ocean based on GAM and GBT models. *J. Mar. Sci. Eng.* 11, 1800. <https://doi.org/10.3390/jmse11091800>
- Simbolon, D., Sondita, F.A., Amiruddin. 2010. Komposisi Isi Saluran Pencernaan Ikan Teri (*Stolephorus* spp.) di Perairan Barru, Selat Makassar. *Jurnal Ilmu Kelautan*. 1, 7-16. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.15.1.7-16>
- Susilo, E., Wibawa, T. A. (2016). Pemanfaatan data satelit oseanografi untuk memprediksi daerah penangkapan ikan lemuru berbasis rantai makanan dan pendekatan statistik GAM. *Jurnal Kelautan Nasional*. 11(2), 77-87. <http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v11i2.6109>
- Thuiller, W., Araujo, M.B., & Lavorel, S. (2003). Generalized models vs. classification tree analysis: Predicting spatial distributions of plant species at different scales. *Journal of Vegetation Science*. 14, 669-680. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02199.x>
- Wood, S. (2006). *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Boca Raton, Florida, Chapman and Hall/CRC Press.
- Zhang, Y., Ye, J., Yang, S., Han, Y., Hong, Z., Meng, W. (2024). Feasibility analysis for predicting Indian Ocean bigeye tuna (*Thunnus obesus*) fishing grounds based on temporal characteristics of FY-3 microwave radiation imager data. *J. Mar. Sci. Eng.* 12, 1917. <https://doi.org/10.3390/jmse12111917>
- Zuur, A. F., Ieno, E., Smith, G. M. (2007). *Analysing Ecological Data*. New York: Springer.