

PENDUGAAN *POTENTIAL FISHING GROUND* IKAN MADIDIHANG DI PERAIRAN SELATAN SIKKA MENGGUNAKAN MODEL GAM BERBASIS DATA PENGINDERAAN JAUH

Estimation of the Potential Fishing Ground for Yellowfin Tuna (Thunnus albacares) in the Southern Waters of Sikka Using a GAM Model Based on Remote Sensing Data

Sukardi*, Christofel Oktavianus Nobel Pale
Universitas Nusa Nipa
Jl. Kesehatan No. 3 Maumere, Flores NTT
Email: sukardikila@gmail.com

ABSTRAK

Ikan madidihang (*Thunnus albacares*) merupakan komoditas penting dalam sektor perikanan tangkap di Indonesia, terutama di Nusa Tenggara Timur, yang memiliki nilai ekonomi dan sosial yang tinggi. Kelimpahan ikan ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan laut, seperti suhu permukaan laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a (CHL). Kondisi oseanografi ini berhubungan langsung dengan produktivitas primer dan distribusi ikan, yang penting untuk pengelolaan sumber daya perikanan secara berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara parameter oseanografi (SPL dan CHL) dengan kelimpahan ikan madidihang di perairan selatan Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. Penelitian dilakukan pada April–Juli 2025, dengan menggunakan data penginderaan jauh berbasis satelit yang digabungkan dengan data observasi lapangan. Analisis dilakukan dengan *Model Generalized Additive Model* (GAM) dengan formula $GAM \sim s(SPL) + s(CHL)$ untuk menguji pengaruh non-linear antara variabel oseanografi dan kelimpahan ikan. Hasil menunjukkan bahwa SPL dan CHL berpengaruh signifikan dengan $p = 0,01685$ (SPL) dan $p = 0,00413$ (CHL). Nilai edf = 1,000 untuk SPL menunjukkan hubungan hampir linear, sedangkan edf = 1,812 untuk CHL menunjukkan hubungan non-linear. Model ini menghasilkan $AIC = 1243,599$, R^2 (adj) = 0,0604, dan *Deviance Explained* = 7,61%, menunjukkan kecocokan model yang baik. Pemetaan spasial menunjukkan zona potensial penangkapan ikan tertinggi terjadi pada Juni–Juli, dipengaruhi oleh aktivitas upwelling. Kondisi optimal penangkapan ditemukan pada SPL 27,5–28,5°C dan CHL 0,1–0,5 mg/m³.

Kata kunci: Madidihang; Potential Fishing Ground; GAM; Penginderaan Jauh; Selatan Sikka

ABSTRACT

*Yellowfin tuna (Thunnus albacares) is an essential commodity in the capture fisheries sector in Indonesia, especially in East Nusa Tenggara, which has high economic and social value. Marine environmental conditions, including sea surface temperature and chlorophyll-a concentration influence the abundance of this fish. These oceanographic conditions are directly related to primary productivity and fish distribution, which are important for sustainable management of fisheries resources. This study aims to analyze the relationship between oceanographic parameters (SST and CHL) and the abundance of madidihang fish in the southern waters of Sikka Regency, East Nusa Tenggara. The study was conducted from April to July 2025, using satellite-based remote sensing data combined with field observation data. The analysis was performed using the Generalized Additive Model (GAM) with the formula $GAM \sim s(SST) + s(CHL)$ to test for non-linear effect of oceanographic variables on fish abundance. The results show that SPL and CHL have a significant effects with $p = 0.01685$ (SPL) and $p = 0.00413$ (CHL) respectively. The edf value of 1.000 for SPL indicates an almost linear relationship, while edf = 1.812 for CHL indicates a non-linear relationship. This model produced $AIC = 1243.599$, R^2 (adj) = 0.0604, and *Deviance Explained* = 7.61%, indicating a good model fit. Spatial mapping shows that the highest potential fishing zone occurs in June–July, influenced by upwelling activity. Optimal fishing conditions are found at SPL 27.5–28.5°C and CHL 0.1–0.5 mg/m³.*

Keywords: Yellowfin Tuna; Potential Fishing Ground; GAM; Remote Sensing; Southern Sikka

PENDAHULUAN

Madidihang (*Thunnus albacares*), atau yellowfin tuna, adalah salah satu spesies ikan pelagis besar yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan merupakan hasil tangkapan utama dibandingkan dengan jenis tuna lainnya di Indonesia

(Muawanah *et al.*, 2021). Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia memiliki potensi sumber daya perikanan tuna yang melimpah, termasuk di perairan Laut Sawu yang terletak di selatan Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. Laut Sawu dikenal sebagai jalur migrasi penting bagi tuna, dengan perairan ini menjadi habitat bagi populasi *Thunnus albacares* yang besar

selama musim migrasi (Nimit *et al.*, 2020). Perikanan tuna, khususnya madidihang, merupakan salah satu sektor utama yang menopang ekonomi Sikka. Sektor ini menyumbang sekitar 30% dari Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) daerah dan menjadi sumber pendapatan utama bagi masyarakat pesisir (Satria, 2020).

Meskipun potensi melimpah, produktivitas penangkapan ikan tuna di perairan selatan Sikka masih rendah, sering kali disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan ilmiah nelayan mengenai lokasi potensial penangkapan ikan yang efisien (Hsu *et al.*, 2021). Oleh karena itu, pemahaman terhadap parameter oseanografi seperti suhu permukaan laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a penting dalam menentukan daerah penangkapan ikan yang potensial (Muhammad *et al.*, 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa parameter oseanografi memiliki hubungan erat dengan distribusi dan kelimpahan tuna di berbagai wilayah perairan Indonesia. Penelitian di Selat Makassar juga mengonfirmasi bahwa parameter oseanografi seperti suhu dan klorofil-a merupakan faktor utama dalam Pemetaan zona potensi penangkapan ikan pelagis (Safruddin, 2022). Selain itu, penelitian di perairan selatan Jawa menggunakan citra satelit MODIS dan metode *Generalized Additive Model* (GAM) menunjukkan bahwa parameter oseanografi seperti suhu permukaan laut, salinitas, tinggi muka laut, dan klorofil-a berpengaruh signifikan terhadap *catch per unit effort* (CPUE) *Thunnus albacares* (Semedi *et al.*, 2021). berbeda dengan kawasan selatan Jawa yang merefleksikan dinamika Samudera Hindia, penelitian ini berfokus pada perairan Sikka, Nusa Tenggara Timur, sebagai zona peralihan timur yang dipengaruhi oleh kombinasi arus ARLINDO dan pola monsun, sehingga memiliki dinamika oseanik yang kompleks, termasuk variasi SPL dan distribusi nutrisi yang berperan penting terhadap produktivitas perairan (Petrick *et al.*, 2019).

Perkembangan teknologi penginderaan jauh (remote sensing) melalui satelit seperti MODIS telah membuka peluang baru dalam memantau dan menganalisis parameter oseanografi secara spasial dan temporal (NASA, 2020). Keunggulan utama data satelit MODIS terletak pada cakupan wilayah yang luas dan konsistensi temporal yang tinggi, sehingga memungkinkan dilakukan analisis komprehensif terhadap dinamika lingkungan laut yang memengaruhi distribusi ikan. Pemanfaatan data satelit ini sangat relevan dalam mendukung pengelolaan perikanan tangkap di Kabupaten Sikka, karena dapat meningkatkan efisiensi operasi penangkapan, memperpendek waktu melaut, serta membantu nelayan menentukan lokasi potensial secara lebih akurat dan terukur (Purwanto *et al.*, 2024).

Dalam konteks pengelolaan perikanan berkelanjutan, FAO (2020) melalui *Code of Conduct for Responsible Fisheries* menekankan pentingnya pendekatan berbasis ilmu pengetahuan dalam pengelolaan sumber daya perikanan (Cardinale *et al.*, 2021). Pemanfaatan data penginderaan jauh yang dikombinasikan dengan pendekatan statistik seperti *Generalized Additive Model* (GAM) merupakan langkah strategis untuk memahami hubungan antara faktor oseanografi dan distribusi ikan pelagis besar, termasuk madidihang.

Berdasarkan hal tersebut, tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis hubungan antara hasil tangkapan ikan madidihang (*Thunnus albacares*) dengan parameter oseanografi serta mengembangkan model pendugaan daerah potensial penangkapan ikan menggunakan data citra satelit MODIS melalui pendekatan GAM. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang bermanfaat bagi

pengembangan pengelolaan perikanan tangkap yang efisien, berkelanjutan, dan berorientasi pada peningkatan kesejahteraan nelayan di Kabupaten Sikka.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April–Juli 2025 di perairan selatan Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur, yang merupakan bagian dari Laut Sawu. pada kondisi Musim Timur, fenomena upwelling secara khas terjadi di perairan Laut Sawu dan sepanjang selatan Nusa Tenggara. Upwelling dipicu oleh angin muson tenggara yang mendorong massa air permukaan ke laut lepas, menyebabkan air kaya nutrisi dari kedalaman naik ke permukaan (Wiryawan *et al.*, 2020). Proses ini meningkatkan konsentrasi klorofil-a sebagai indikator fitoplankton, yang menjadi dasar rantai makanan laut dan mendukung peningkatan biomassa ikan, termasuk tuna. Puncak upwelling dan klorofil-a biasanya terjadi pada Juli–Agustus, diikuti oleh peningkatan hasil tangkapan tuna beberapa bulan kemudian akibat konversi trofik, yaitu waktu yang dibutuhkan agar produktivitas primer berpindah ke tingkat predator puncak seperti tuna (Koropitan, *et al.*, 2021).

Desain dan Pendekatan Penelitian

Penelitian disusun dengan desain kuantitatif berbasis analisis spasial spasial-temporal untuk menganalisis hubungan antara parameter oseanografi dan distribusi ikan Madidihang (*Thunnus albacares*) (Syah *et al.*, 2020). Tujuannya menduga potensi daerah penangkapan Madidihang di Perairan Selatan Sikka dengan menghubungkan variabel lingkungan laut dari penginderaan jauh dengan data hasil tangkapan yang diperoleh dari masyarakat nelayan. Pendekatan empiris digunakan karena model dibangun dari data variabel respon adalah *Catch Per Unit Effort* (CPUE) yang diturunkan dari berat tangkapan dan titik lokasi penangkapan yang diinformasikan nelayan. Pendekatan statistik nonparametrik digunakan melalui *Generalized Additive Model* yang mampu menangkap hubungan nonlinier antara kondisi oseanografi dan intensitas keberadaan ikan.

Sumber dan Jenis Data

Data Oseanografi

Data lingkungan oseanografi diperoleh melalui penginderaan jauh menggunakan citra satelit MODIS yang diunduh dari NASA (Das, 2024). Parameter lingkungan yang diekstraksi meliputi Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Klorofil-a. Pengolahan awal citra dilakukan menggunakan perangkat lunak SeaDAS, kemudian dilanjutkan dengan analisis spasial menggunakan ArcGIS (Pahlevan *et al.*, 2020).

Data Tangkapan Ikan Tuna

Data tangkapan diperoleh melalui wawancara dengan kelompok nelayan yang aktif beroperasi di perairan selatan Sikka. Jenis data yang dikumpulkan meliputi berat tangkapan Madidihang per trip, koordinat geografis lokasi penangkapan, dan tanggal penangkapan yang tercatat dalam logbook oleh kelompok nelayan. Metode pengambilan data lapangan menggunakan purposive sampling terhadap 4 nelayan kunci yang menggunakan alat tangkap handline dan beroperasi di wilayah tersebut. Berat tangkapan Madidihang per trip digunakan untuk menghitung CPUE, yang didefinisikan sebagai kilogram per hari melaut, dengan mengukur berat tangkapan pada setiap trip.

Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif untuk menganalisis tingkat persebaran kelimpahan ikan di perairan Selatan Sikka. Gambaran dan penjelasan mengenai tingkat persebaran kelimpahan ikan disajikan melalui analisis deskriptif. Metode pelaksanaan studi ini mencakup pemotongan gambar, overlay, pemrosesan data citra satelit, pengumpulan data sekunder, pengumpulan data primer, dan analisis peta kualitatif.

Pada tahap pemrosesan data, digunakan Data Level 3 untuk mengidentifikasi zona penangkapan ikan potensial berdasarkan citra satelit MODIS. dua variabel oseanografi yang diukur, yaitu klorofil-a, suhu permukaan laut (SPL), digunakan untuk mengidentifikasi daerah penangkapan ikan yang potensial. Selain itu, data lokasi dan hasil tangkapan ikan juga digunakan sebagai acuan untuk menentukan daerah atau zona potensi penangkapan ikan.

Analisis Generalized Additive Model (GAM)

Sebelum analisis, data dilakukan pra-pengolahan berupa validasi, normalisasi, serta penanganan data hilang, agar hasil analisis lebih akurat (Fan, 2021). Analisis dilakukan menggunakan *Generalized Additive Model (GAM)* melalui *RStudio* dengan paket *mgcv* untuk melihat hubungan non-linier

antara faktor oseanografi dan hasil tangkapan (Sasmito *et al.*, 2022). $\text{model_gam} \leftarrow \text{gam}(\text{Berat} \sim \text{s}(\text{SPL}) + \text{s}(\text{CHL}) \mid \text{data} = \text{dataset}, \text{family} = \text{gaussian})$. Hasil model divisualisasikan dalam bentuk peta daerah potensi penangkapan ikan (*Potential Fishing Ground Map*) menggunakan SIG, yang menggambarkan sebaran spasial daerah potensial Madidihiang (Asuhadi *et al.*, 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data tangkapan tuna berdasarkan pengamatan selama empat bulan dari April hingga Juli 2025 menunjukkan variasi yang signifikan. Tangkapan diperoleh dari 169 titik operasi penangkapan menggunakan alat tangkap pancing ulur di perairan Selatan Sikka. Tangkapan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*) paling dominan terjadi pada bulan Juli dengan total tangkapan sebesar 1.193 kg yang diperoleh dari 57 titik lokasi penangkapan. Sebaliknya, jumlah tangkapan terendah terjadi pada bulan Mei, yaitu 627 kg dari 24 lokasi penangkapan.

Analisis lebih mendalam menggunakan data CPUE (*Catch Per Unit Effort*) disajikan pada Gambar 1. yang memperlihatkan hubungan antara jumlah tangkapan (kg), jumlah trip penangkapan, dan CPUE (kg/trip) pada tiap kapal selama periode tersebut.

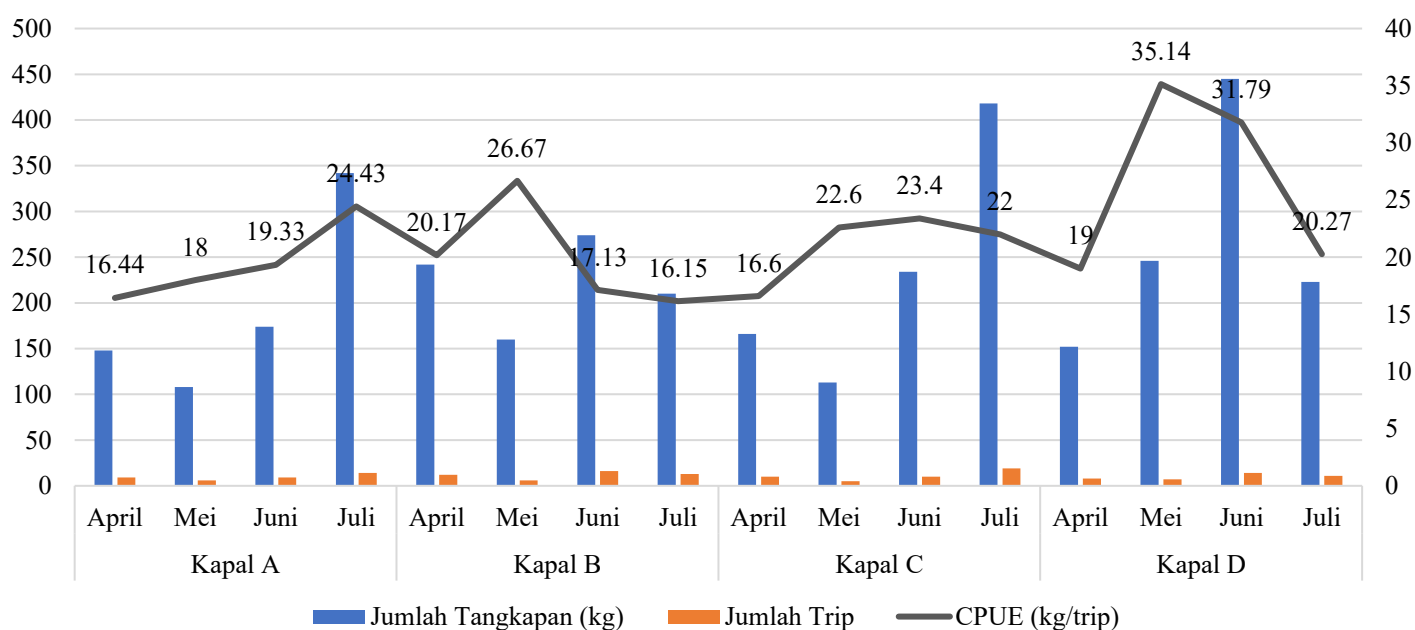


Figure 1. CPUE (kg/trip) Per Vessel and Month
Gambar 1. CPUE (kg/trip) Perkapal dan Bulan

Pada Kapal A, jumlah tangkapan tertinggi tercapai pada bulan Juli dengan sekitar 290 kg, dan CPUE tertinggi sebesar 24,43 kg/trip juga terjadi pada bulan yang sama, meskipun jumlah trip relatif sedikit. Kapal B menampilkan fluktuasi tangkapan dengan puncak di bulan Mei sekitar 180 kg dan CPUE tertinggi 26,67 kg/trip, meski jumlah trip stabil setiap bulan.

Pada Kapal C, tangkapan terbesar didapatkan di bulan Juli, sebesar 420 kg, dengan CPUE yang cukup tinggi pada bulan Juni dan Juli, masing-masing 23,4 kg/trip dan 22 kg/trip.

Jumlah trip Kapal C cenderung konsisten dan cukup tinggi dibanding kapal lain. Kapal D menunjukkan performa terbaik dalam hal efisiensi penangkapan, dengan CPUE puncak 35,14 kg/trip pada bulan Mei dan 31,79 kg/trip pada Juni, walaupun jumlah trip kapal ini paling sedikit di antara yang lain. Total tangkapan tertinggi Kapal D terjadi pada Mei sekitar 390 kg.

Data grafik memperkuat temuan bahwa bulan Mei dan Juli merupakan waktu dengan CPUE tertinggi, yang menunjukkan efektivitas penangkapan lebih optimal pada bulan-bulan tersebut. Selain itu, jumlah trip yang lebih sedikit tidak

selalu berarti tangkapan lebih kecil, karena Kapal D dengan trip rendah mampu mencapai CPUE sangat tinggi, yang menandakan efisiensi operasional yang baik. Hal ini juga menandakan bahwa faktor lokasi, teknik penangkapan, dan kondisi lingkungan sangat berpengaruh terhadap hasil tangkapan.

Dinamika Spasio-Temporal Parameter Oseanografi

Hasil analisis parameter oseanografi yang meliputi Suhu Permukaan Laut (SPL) dan kandungan Klorofil-a menunjukkan dinamika yang signifikan selama periode April hingga Juli 2025 disajikan pada Gambar 2 dan 3. Kedua parameter ini berperan penting dalam mempengaruhi distribusi spasial dan intensitas agregasi ikan Madidihang (*Thunnus albacares*) di Perairan Selatan Sikka. Secara umum, perubahan suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a memiliki hubungan erat dengan aktivitas *upwelling* musiman di wilayah Laut Sawu bagian selatan.

Pada bulan April 2025 (Gambar 1), suhu permukaan laut di wilayah penelitian berkisar antara 30,3–30,9°C, dengan rata-rata suhu pada lokasi tangkapan sekitar 30,8°C. Suhu perairan yang relatif tinggi menunjukkan bahwa kondisi laut masih hangat akibat dominasi massa air dari musim barat. Pada periode ini, total hasil tangkapan ikan mencapai 708 kg, dengan

sebaran tangkapan tertinggi sebesar 41 kg pada suhu 30,9°C. Memasuki bulan Mei 2025, suhu permukaan laut tetap stabil, berkisar antara 30,7–30,9°C. Pada bulan ini, total hasil tangkapan ikan menurun menjadi 627 kg, dengan tangkapan tertinggi mencapai 60 kg pada suhu 30,82°C. di bulan Juni 2025, suhu permukaan laut menurun signifikan menjadi 27,5 – 28,1°C.

Kondisi perairan yang lebih sejuk ini mendukung peningkatan hasil tangkapan hingga 1127 kg, dengan tangkapan tertinggi 47 kg pada suhu 27,53°C. Sementara pada bulan Juli 2025, SPL berkisar 27,2 – 27,9°C, dengan rata-rata suhu di sekitar 27,7°C, yang bersamaan dengan total hasil tangkapan tertinggi sebesar 1193 kg. Perubahan SPL dari bulan April hingga Juli memperlihatkan bahwa penurunan suhu laut secara konsisten diikuti oleh peningkatan hasil tangkapan ikan Madidihang. Suhu optimal untuk keberadaan dan aktivitas makan Madidihang berada pada kisaran 27–28°C, di mana kondisi termal ini mendukung konsentrasi oksigen terlarut yang ideal serta ketersediaan pakan alami dari kelompok zooplankton dan nekton kecil. Tingkat kesuburan perairan dapat diindikasikan melalui konsentrasi klorofil-a, yang berfungsi sebagai indikator produktivitas primer dan ketersediaan fitoplankton sebagai dasar rantai makanan bagi organisme perairan (Kuo *et al.*, 2025).

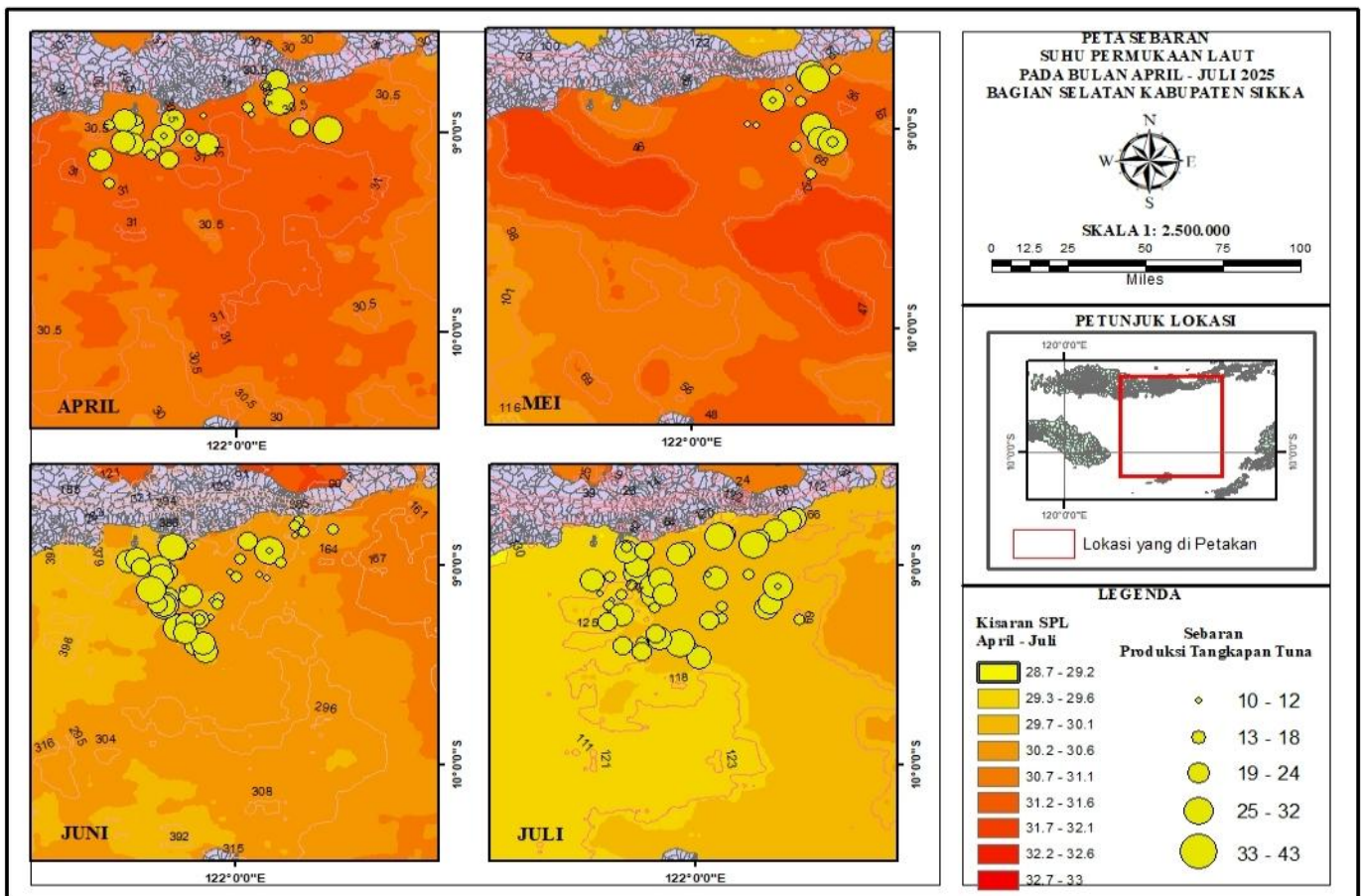


Figure 2. Sea Surface Temperature Distribution
Gambar 2. Sebaran Suhu Permukaan Laut

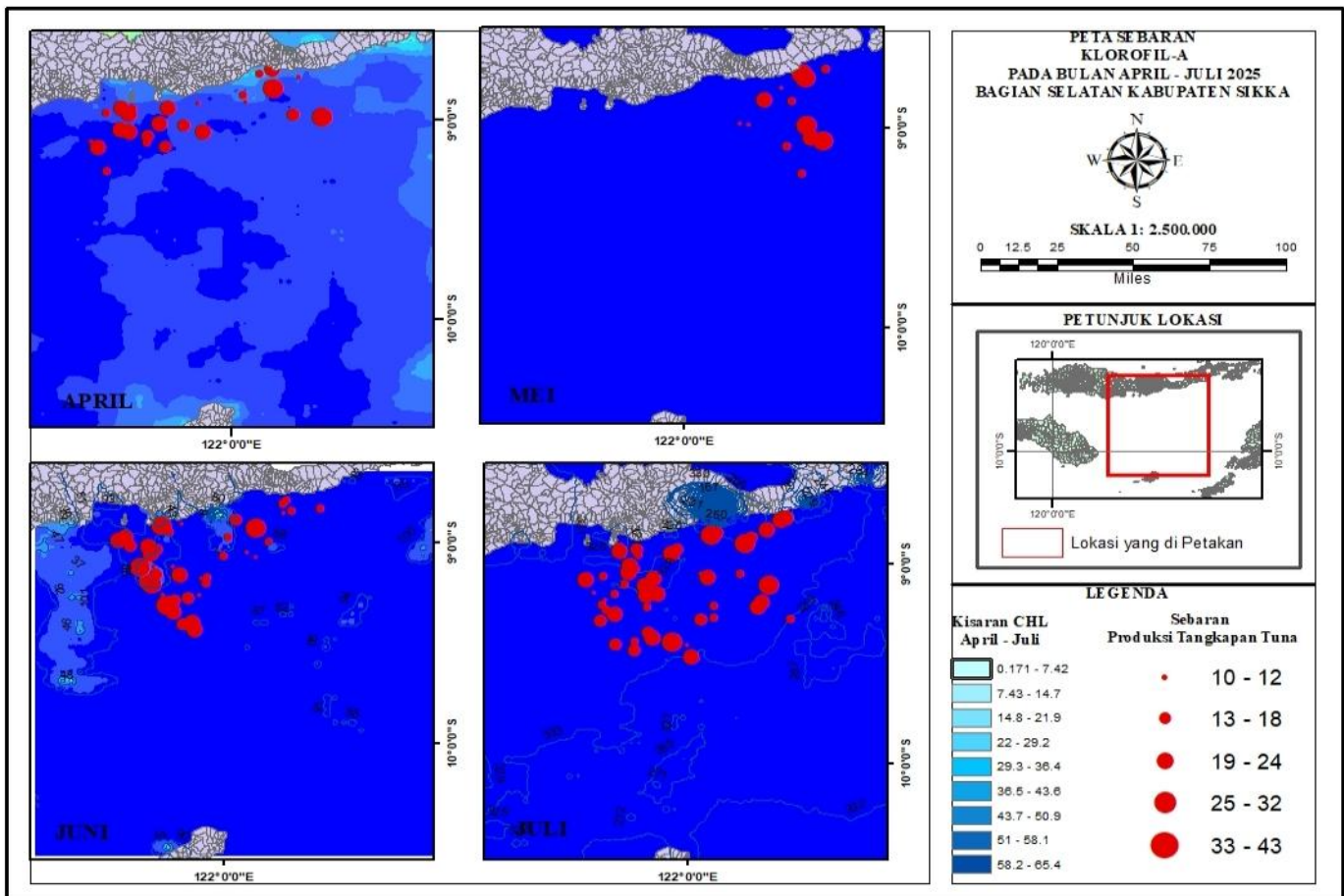


Figure 3. Distribution of Chlorophyll-a
Gambar 3. Sebaran Klorofil-a

Hasil analisis klorofil-a menunjukkan fluktuasi produktivitas primer selama periode penelitian. Pada bulan April 2025, kandungan klorofil-a di wilayah area kajian berkisar antara 0,10–0,20 mg/m³, dengan total hasil tangkapan ikan sebanyak 708 kg. Nilai klorofil-a yang rendah menunjukkan bahwa perairan masih berada pada tahap awal peningkatan produktivitas. Pada bulan Mei 2025, kisaran klorofil-a meningkat menjadi 0,21–0,38 mg/m³, menandakan mulai aktifnya proses *upwelling* ringan dan peningkatan jumlah fitoplankton di lapisan permukaan. Meskipun terjadi peningkatan konsentrasi klorofil-a, total hasil tangkapan turun menjadi 627 kg, dengan tangkapan tertinggi sebesar 60 kg pada konsentrasi klorofil-a 0,30 mg/m³. Penurunan tangkapan ini meskipun terjadi peningkatan CHL dapat dijelaskan melalui konsep lag time, di mana peningkatan produktivitas primer (CHL) memerlukan waktu untuk energi berpindah ke tingkat trofik yang lebih tinggi, seperti zooplankton, nekton kecil, dan akhirnya tuna sebagai predator puncak. Oleh karena itu, meskipun CHL meningkat, ikan tuna mungkin belum merespon secara langsung karena proses pemindahan energi tersebut memerlukan waktu.

Peningkatan signifikan terjadi pada bulan Juni 2025, di mana kandungan klorofil-a berkisar antara 0,26–0,74 mg/m³, dengan hasil tangkapan mencapai 1.127 kg. Pada bulan Juli 2025, kandungan klorofil-a mencapai puncaknya, dengan kisaran antara 0,32–0,59 mg/m³, dan total hasil tangkapan ikan

meningkat menjadi 1.193 kg. Tangkapan tertinggi, sebesar 43 kg, terjadi pada konsentrasi klorofil-a 0,55 mg/m³. Peningkatan konsentrasi klorofil-a yang signifikan pada bulan Juli menunjukkan kondisi perairan yang sangat produktif, sejalan dengan peningkatan intensitas *upwelling* yang membawa nutrisi dari lapisan bawah ke permukaan laut.

Analisis Hubungan Antara Parameter Oseanografi Model GAM

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *Model Generalized Additive Model* (GAM) dengan formula $TUNA \sim s(SPL) + s(CHL)$, diperoleh bahwa kelimpahan ikan madidihang (*Thunnus albacares*) dipengaruhi secara signifikan oleh variabel Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Klorofil-a (CHL). Nilai *intercept* sebesar 21,6272 menunjukkan bahwa ketika nilai SPL dan CHL berada pada kondisi rata-rata, kelimpahan madidihang yang diprediksi oleh model berada di sekitar angka tersebut. Hasil uji parameter menunjukkan bahwa variabel SPL memiliki nilai *edf* sebesar 1,000 dengan *p-value* 0,01685, yang berarti berpengaruh signifikan terhadap kelimpahan madidihang pada taraf kepercayaan 95%. Nilai *edf* yang mendekati 1 menunjukkan hubungan yang cenderung linear antara SPL dan ikan madidihang. Sementara itu, variabel CHL memiliki *edf* sebesar 1,812 dengan *p-value* 0,00413, yang juga signifikan pada taraf kepercayaan 99%. Nilai *edf* lebih dari 1 menunjukkan bahwa hubungan antara CHL dan kelimpahan madidihang

bersifat non-linear, artinya pengaruh klorofil-a terhadap jumlah ikan tidak selalu searah dan dapat berubah sesuai dengan konsentrasi CHL di perairan.

Nilai R^2 (adj) sebesar 0,0604 dan *Deviance explained* sebesar 7,61% menunjukkan bahwa model hanya mampu menjelaskan sebagian kecil variasi kelimpahan madidihiang. Hal ini wajar terjadi karena distribusi ikan di alam dipengaruhi oleh banyak faktor lain seperti arus laut, salinitas, kedalaman, oksigen terlarut, dan migrasi. Meskipun demikian, nilai AIC sebesar 1243,599 dan GCV sebesar 90,865 menunjukkan bahwa model ini masih cukup baik digunakan untuk mendeskripsikan hubungan awal antara parameter oseanografi dengan

kelimpahan madidihiang. Secara keseluruhan, madidihiang cenderung berkumpul di daerah dengan suhu permukaan laut optimum (26–30°C) dan konsentrasi klorofil-a sedang (0,1–0,3 mg/m³), yang menggambarkan wilayah dengan kondisi lingkungan dan produktivitas perairan yang ideal untuk aktivitas makan dan pembentukan agregasi ikan.

Berdasarkan plot hubungan non-linear model *Generalized Additive Model* (GAM) (Gambar 4.) antara parameter oseanografi dan kelimpahan ikan madidihiang (*Thunnus albacares*), diperoleh pola hubungan yang berbeda antara variabel suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a (CHL)

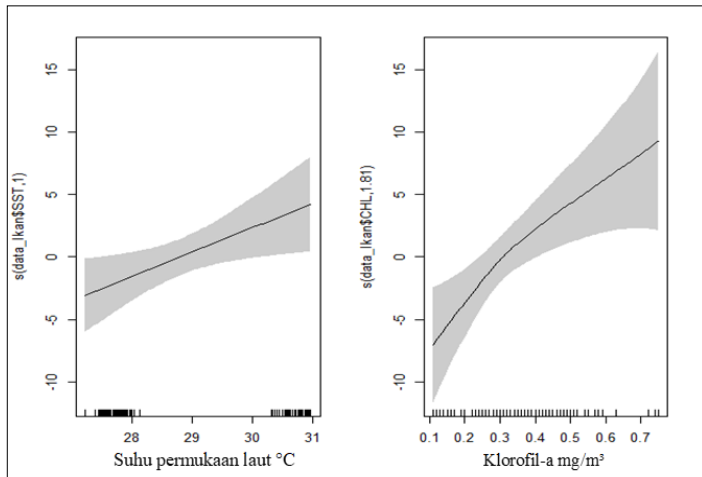


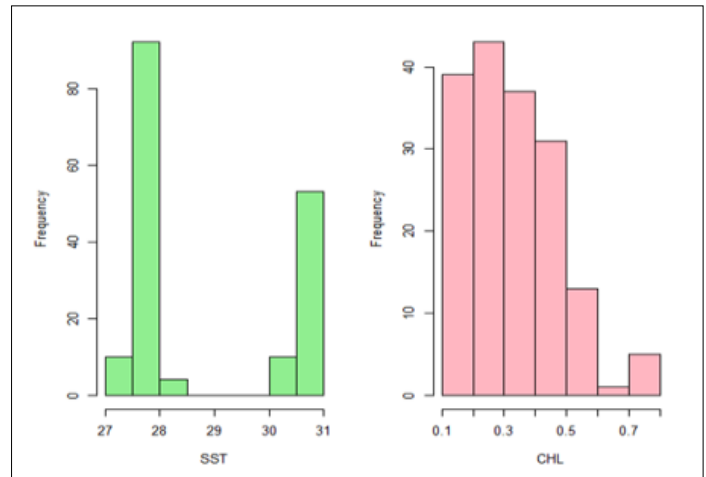
Figure 4. Non-Linear Relationship Plot and Model Histogram (GAM)

Gambar 4. Plot Hubungan Non-Linear dan Histogram Model (GAM)

Pada parameter suhu permukaan laut, hubungan yang terbentuk bersifat hampir linear (edf = 1,000), di mana kelimpahan madidihiang meningkat seiring kenaikan suhu dari 27,5°C hingga 28,2°C. Kondisi ini menunjukkan bahwa suhu hangat merupakan kisaran optimal bagi aktivitas dan distribusi madidihiang sebagai ikan pelagis tropis. Sementara itu, pada parameter klorofil-a, hubungan yang terbentuk bersifat non-linear (edf = 1,812). Kelimpahan ikan meningkat tajam pada konsentrasi CHL 0,1–0,6 mg/m³, lalu cenderung stabil setelah melewati kisaran tersebut. Hal ini menandakan bahwa tingkat produktivitas primer sedang hingga moderat merupakan kondisi yang paling mendukung bagi kelimpahan madidihiang.

Sedangkan pada hasil visualisasi data dalam bentuk histogram di atas, terlihat pola distribusi dari kedua variabel yaitu suhu permukaan laut dan klorofil-a. Pada histogram pertama distribusi suhu permukaan laut di perairan selatan Kabupaten Sikka pada periode penelitian bulan April hingga Juli menunjukkan pola unimodal dengan kisaran dominan antara 27,5–28,5°C. Sebagian besar pengamatan (lebih dari 80 kali) berada pada rentang suhu tersebut, sedangkan nilai ekstrem di atas 30°C hanya ditemukan pada beberapa titik pengamatan.

Kondisi ini menunjukkan bahwa perairan selatan Sikka memiliki karakter suhu yang relatif stabil dengan dominasi perairan hangat tropis. Suhu yang stabil berperan penting dalam menjaga kenyamanan termal ikan, meningkatkan efisiensi metabolisme, serta mempertahankan kelimpahan oksigen terlarut di lapisan permukaan (Leonard.Ndau *et al.*, 2022). Hal ini mendukung habitat ikan pelagis besar seperti madidihiang (*Thunnus albacares*), yang umumnya tumbuh optimal pada suhu 26–30°C (Halid, 2022).



Distribusi konsentrasi klorofil-a (CHL) menunjukkan pola kemencengan ke kanan (right-skewed) dengan kisaran nilai dominan antara 0,1–0,5 mg/m³ dan frekuensi tertinggi sekitar 40 kali pengamatan. Nilai CHL yang lebih tinggi (>0,6 mg/m³) hanya ditemukan di beberapa lokasi tertentu yang diduga dipengaruhi oleh aktivitas upwelling atau limpasan nutrisi dari daratan. Secara umum, pola ini menunjukkan bahwa perairan selatan Sikka memiliki tingkat produktivitas primer yang sedang, yang mencerminkan kondisi ekosistem yang cukup subur untuk mendukung rantai makanan ikan pelagis (Suryana *et al.*, 2022). Ketersediaan klorofil-a yang memadai menjadi indikator tingginya kelimpahan fitoplankton, yang berperan sebagai sumber energi dasar bagi zooplankton dan selanjutnya ikan-ikan pelagis seperti madidihiang (Tadjuddah *et al.*, 2025).

Pemetaan Prediksi Zona Potensi Penangkapan Ikan (ZPPI) Tuna (*Thunnus albacares*).

Dalam penelitian ini, penentuan wilayah penangkapan ikan madidihiang (*Thunnus albacares*) didasarkan pada tiga indikator utama, yaitu jumlah tangkapan, suhu permukaan laut (SPL) dan konsentrasi klorofil-a (CHL). Daerah potensi penangkapan ikan ditentukan melalui proses overlay yang menggabungkan beberapa parameter oseanografi tersebut. Data SPL dan CHL diperoleh dari hasil pengolahan citra satelit dan analisis histogram, kemudian diintegrasikan menggunakan model *Generalized Additive Model* (GAM) untuk periode empat bulan pengamatan, yakni dari April hingga Juli 2025. Prediksi Zona Potensial Penangkapan Ikan Madidihiang Periode April-Juli 2025 di Perairan Selatan Sikka disajikan pada Gambar 5.

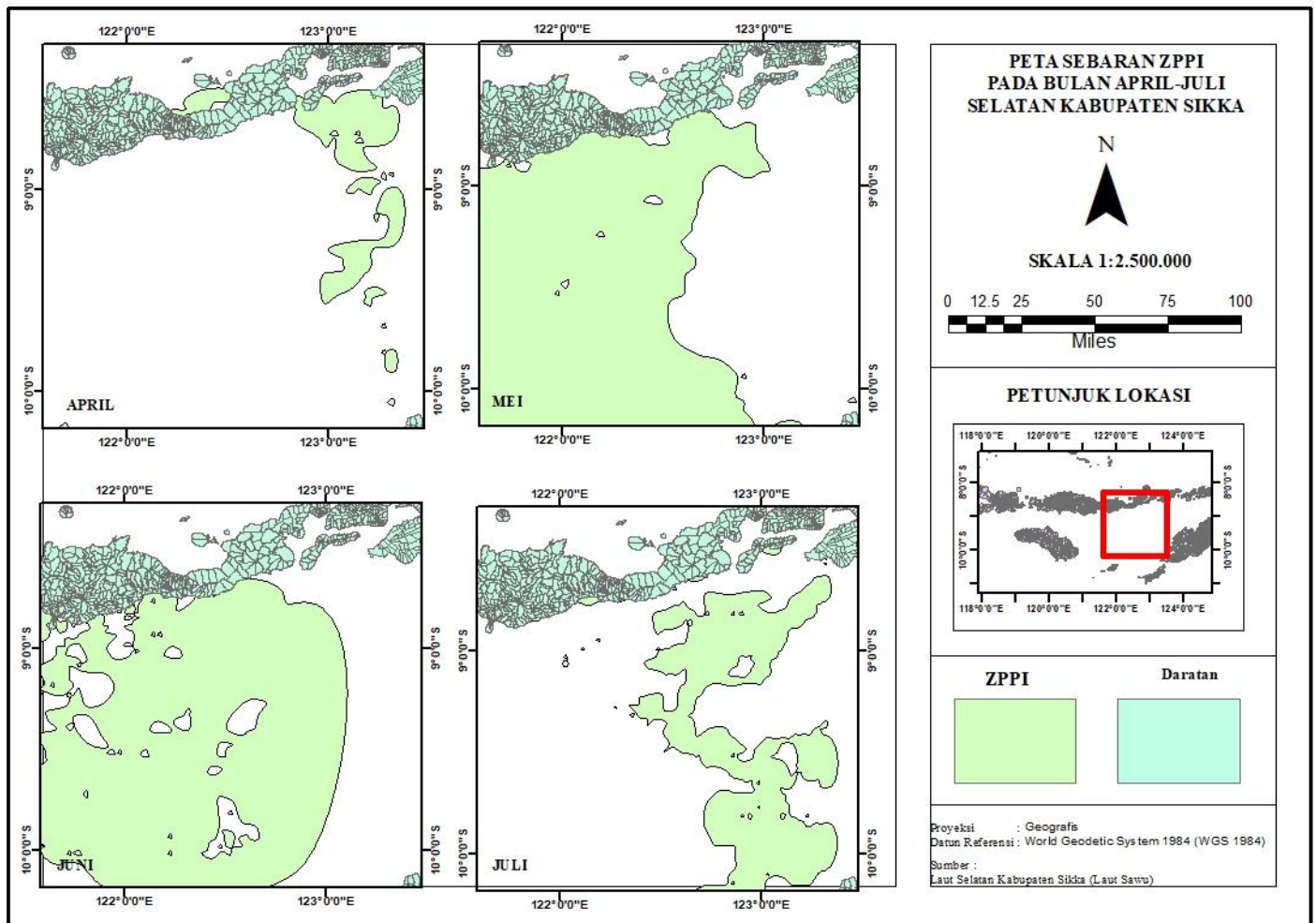


Figure 5. Predicted Map of Potential Fishing Zones for Madidihang Fish for the Period April-July 2025 in the Southern Waters of Sikka

Gambar 5. Peta Prediksi Zona Potensial Penangkapan Ikan Madidihang Periode April-Juli 2025 di Perairan Selatan Sikka

Berdasarkan hasil pemetaan, pola sebaran Zona Potensi Penangkapan Ikan (ZPPI) untuk madidihang (*Thunnus albacares*) di perairan selatan Kabupaten Sikka menunjukkan variasi spasial dan temporal yang signifikan selama periode April hingga Juli 2025. Prediksi ZPPI ini dianalisis berdasarkan wilayah dan luas sebarannya, yang nantinya akan menghasilkan peta potensi penangkapan ikan madidihang. Peta ini sangat berguna bagi nelayan, khususnya nelayan yang beroperasi di perairan selatan Kabupaten Sikka, karena dapat memberikan informasi yang akurat mengenai lokasi-lokasi dengan potensi penangkapan ikan tertinggi pada periode tertentu. Dengan adanya peta ini, nelayan dapat merencanakan kegiatan penangkapan ikan mereka secara lebih efisien, mengoptimalkan hasil tangkapan, dan meminimalkan waktu serta sumber daya yang digunakan dalam mencari lokasi yang tepat untuk menangkap madidihang.

Pada bulan April, area potensi penangkapan ikan masih terbatas dan relatif sempit dengan luasan sebesar 2.199,89 km², terutama terkonsentrasi di bagian tengah perairan. Kondisi ini mencerminkan karakter awal musim timur, di mana suhu permukaan laut masih relatif tinggi dan konsentrasi klorofil-a belum meningkat secara signifikan. kondisi ini mencerminkan

karakter awal musim timur, di mana suhu permukaan laut masih relatif tinggi dan konsentrasi klorofil-a belum meningkat secara signifikan. Situasi ini menandakan bahwa proses pengayaan nutrisi dari lapisan bawah laut belum terjadi secara optimal pada awal musim (Lisna *et al.*, 2024).

Memasuki bulan Mei, area ZPPI mengalami perluasan yang signifikan mencapai 17.800,74 km² atau meningkat hampir 8 kali lipat dibandingkan bulan April. Perluasan ini terjadi ke arah tenggara, seiring dengan meningkatnya aktivitas angin timur yang memicu pengadukan massa air di lapisan permukaan. Proses ini meningkatkan suplai nutrisi dari lapisan bawah, yang kemudian meningkatkan konsentrasi klorofil-a dan produktivitas primer perairan (Syamsuddin *et al.*, 2024). Kondisi ini mendukung pertumbuhan fitoplankton sebagai sumber energi utama dalam rantai makanan laut, yang pada gilirannya menarik ikan pelagis besar seperti madidihang.

Perubahan yang lebih mencolok terjadi pada bulan Juni, di mana area potensial penangkapan ikan meluas secara signifikan mencapai 27.177,89 km², merupakan luasan terluas selama periode penelitian, terutama di bagian barat dan selatan perairan Sikka. Pola ini mengindikasikan adanya pengaruh kuat dari aktivitas upwelling yang mulai berkembang pada puncak

musim timur di Laut Sawu. Fenomena *upwelling* membawa massa air kaya nutrisi ke lapisan permukaan, meningkatkan kesuburan perairan, dan mendukung peningkatan konsentrasi klorofil-a (Painter *et al.*, 2021). Kondisi ini berkontribusi langsung pada peningkatan produktivitas ekosistem dan kerapatan ikan pelagis di wilayah tersebut (Hsiao *et al.*, 2021).

Pada bulan Juli, pola sebaran ZPPI masih menunjukkan area potensial yang cukup luas dengan luasan 9.354,15 km², namun mengalami penurunan sekitar 66% dibandingkan bulan Juni dengan distribusi yang lebih terfragmentasi. Fragmentasi ini kemungkinan disebabkan oleh meningkatnya intensitas angin timur yang mengakibatkan variasi suhu permukaan laut dan penyebaran massa air dingin yang tidak merata (Simanjuntak *et al.*, 2022). Secara keseluruhan, data luasan ZPPI menunjukkan dinamika yang jelas dengan peningkatan bertahap dari April hingga mencapai puncak di bulan Juni, kemudian menurun pada bulan Juli. Bulan Juni dan Juli dapat dikategorikan sebagai periode dengan potensi penangkapan ikan tertinggi di perairan selatan Sikka, dengan total luasan ZPPI mencapai lebih dari 36.500 km² untuk kedua bulan tersebut. dinamika oseanografi musiman, khususnya aktivitas *upwelling* pada musim timur, berperan penting dalam menentukan distribusi spasial dan ketersediaan ikan madidihiang di wilayah penelitian, di mana *upwelling* tersebut meningkatkan produktivitas primer (klorofil-a), menurunkan suhu permukaan laut, dan menciptakan kondisi lingkungan yang optimal bagi madidihiang, sehingga meningkatkan kelimpahan dan tangkapan ikan, terutama pada bulan Juni–Agustus di selatan Jawa dan Nusa Tenggara (Wiryawan, *et al.*, 2020).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Klorofil-a (CHL) memiliki peran penting dalam mengendalikan kelimpahan serta distribusi ikan madidihiang (*Thunnus albacares*) di perairan selatan Sikka selama April–Juli 2025. Melalui pendekatan *Generalized Additive Model* (GAM), diperoleh model terbaik dengan nilai AIC 1243,599 dan Cumulative Deviance Explained (CDE) 7,61%, yang mampu menggambarkan hubungan non-linear antara kondisi oseanografi dan hasil tangkapan. Kedua variabel lingkungan tersebut berpengaruh signifikan, dengan SPL menunjukkan pola hampir linear ($p = 0,01685$; $edf = 1,000$) dan CHL menunjukkan respons non-linear ($p = 0,00413$; $edf = 1,812$). Kondisi optimal keberadaan madidihiang ditemukan pada kisaran SPL 27,5–28,5°C dan CHL 0,1–0,5 mg/m³, mencerminkan perairan hangat dengan produktivitas sedang hingga tinggi. Secara spasial, Zona Penangkapan Potensial (ZPPI) tertinggi terjadi pada Juni–Juli, terutama di bagian barat dan selatan Sikka, bertepatan dengan intensifikasi *upwelling* Musim Timur yang meningkatkan nutrisi dan klorofil-a di perairan. Temuan ini menegaskan bahwa dinamika oseanografi permukaan laut berpengaruh kuat terhadap pola distribusi madidihiang dan dapat menjadi dasar bagi pengembangan prediksi daerah penangkapan serta pengelolaan perikanan yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia (Kemendikbudristek) melalui Program Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun 2025, dengan Nomor kontrak induk penelitian:

136/C3/DT.05.00/PL/2025 dan Nomor kontrak turunan penelitian: 1452/LL15/AL.04/2025 yang telah memberikan dukungan pendanaan terhadap penelitian ini. ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Nusa Nipa Indonesia atas bantuan fasilitasi dan koordinasi selama kegiatan penelitian berlangsung. Penulis berterima kasih kepada seluruh tim yang telah membantu dalam proses pengumpulan data lapangan, pengolahan citra satelit, dan analisis statistik.

DAFTAR PUSTAKA

- Cardinale, M., Colloca, F., Bonanno, A., Scarcella, G., Arneri, E., Jadaud, A., ... Herrera, J. G. (2021). The Mediterranean fishery management: A call for shifting the current paradigm from duplication to synergy. *Marine Policy*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104612>
- Das, G. K. (2024). Analysing Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a Distribution Along Visakhapatnam Coast Using MODIS Data. *Knowledge-Based Engineering and Sciences*, 5(2), 19–30. <https://doi.org/10.51526/kbes.2024.5.2.19-30>.
- Fan, C., Chen, M., Wang, X., Wang, J., & Huang, B. (2021). A Review on Data Preprocessing Techniques Toward Efficient and Reliable Knowledge Discovery From Building Operational Data. *Frontiers in Energy Research*. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.652801>
- Halid, I. (2022) Mapping of potential zones for fishing white-spotted spinefoot (*Siganus canaliculatus*) through photogrammetric and cartometric methods in coral coastal waters, Luwu Regency, South Sulawesi. Available <https://doi.org/10.33997/j.afs.2022.35.1.009>
- Hsiao, P. Y., Shimada, T., Lan, K. W., Lee, M. A., & Liao, C. H. (2021). Assessing summertime primary production required in changed marine environments in upwelling ecosystems around the taiwan bank. *Remote Sensing*, 13(4), 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs13040765>
- Hsu, T. Y., Chang, Y., Lee, M. A., Wu, R. F., & Hsiao, S. C. (2021). Predicting skipjack tuna fishing grounds in the western and central pacific ocean based on high-spatial-temporal-resolution satellite data. *Remote Sensing*, 13(5), 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs13050861>
- Koropitan, A. F., Kholilullah, I., & Yusfiandayani, R. (2021). Modeling mackerel tuna (*Euthynnus affinis*) habitat in southern coast of java: Influence of seasonal upwelling and negative iod. *HAYATI Journal of Biosciences*, 28(4), 271–285. <https://doi.org/10.4308/HJB.28.4.271-285>
- Kuo, Y. M., Chen, Y. H., Chiu, Y. T., & Lin, T. F. (2025). Water quality and physicochemical conditions drive chlorophyll-a concentrations in two connected subtropical off-stream reservoirs. *Sustainable Environment Research*, 35(1). <https://doi.org/10.1186/s42834-025-00252-2>
- Lisna, Febryanti, H. R., Heltria, S., Toni, Y., Ramadan, F., & Ramdhani, F. (2024). Estimation of the fishing ground potential based on oceanography parameters (GIS-based) of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in West Sumatra waters. *AACL Bioflux*, 17(6), 3175–3189

- Muawanah, U., Arthatiani, F. Y., Soedjarwo, P. A., Kurniasari, N., Sari, Y. D., Zulham, A., ... Hikmah, H. (2021). Small scale tuna fisheries profiles in the Indonesia archipelagic waters. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 869). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/869/1/012017>
- Muhammad, M., Priana, A. W., Affan, J. M., Haridhi, H. A., Irwan, I., Yuni, S. M., & Setiawan, I. (2022). Mapping potential fishing zones based on sea surface temperature and Chlorophyll-A in the Waters of Aceh Besar, Indonesia. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 339). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202233902002>
- Leonard, J. N., & Skov, P. V. (2022). Capacity for thermal adaptation in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Effects on oxygen uptake and ventilation. *Journal of Thermal Biology*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103206>
- Nimit, K., Masuluri, N. K., Berger, A. M., Bright, R. P., Prakash, S., TVS, U., ... Varghese, S. P. (2020). Oceanographic preferences of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in warm stratified oceans: A remote sensing approach. *International Journal of Remote Sensing*, 41(15), 5785–5805. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1707903>
- Simanjuntak, F., & Lin, T. H. (2022). Monsoon Effects on Chlorophyll-a, Sea Surface Temperature, and Ekman Dynamics Variability along the Southern Coast of Lesser Sunda Islands and Its Relation to ENSO and IOD Based on Satellite Observations. *Remote Sensing*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/rs14071682>
- Safuruddin. (2022). The Characteristics of Fishing Ground Using Purse Seine in Makassar Strait and Flores Sea. *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*, 68–76. <https://doi.org/10.35911/torani.v5i2.22412>
- Painter, S. C., Sekadende, B., Michael, A., Noyon, M., Shayo, S., Godfrey, B., ... Kyewalyanga, M. (2021). Evidence of localised upwelling in Pemba Channel (Tanzania) during the southeast monsoon. *Ocean and Coastal Management*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105462>
- Pahlevan, N., Smith, B., Schalles, J., Binding, C., Cao, Z., Ma, R., Stumpf, R. (2020). Seamless retrievals of chlorophyll-a from Sentinel-2 (MSI) and Sentinel-3 (OLCI) in inland and coastal waters: A machine-learning approach. *Remote Sensing of Environment*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111604>
- Petrick, B., Martínez-García, A., Auer, G., Reuning, L., Auderset, A., Deik, H., ... Haug, G. H. (2019). Glacial Indonesian Throughflow weakening across the Mid-Pleistocene Climatic Transition. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53382-0>
- Syah, A. F., Yanti Siregar, E. S., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2020). Application of remotely sensed data and maximum entropy model in detecting potential fishing zones of Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Indian Ocean off Sumatera. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1569). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/4/042097>
- Asuhadi, S., Zainuddin, M., Safruddin, S., & Musbir, M. (2025). Spatial Modeling of Yellowfin Tuna in the Banda Sea Based on Oceanographic Factors Using MaxEnt. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 30(1), 103–114. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.30.1.103-114>
- Purwanto, A. D., Wishu, U. J., Suhadha, A. G., Permatasari, D., & Rahmawati, E. (2024). Seasonal potential fishing zone model in the regional fisheries management of Indonesia (WPP-RI) 716 based on remote sensing satellite data. *Kuwait Journal of Science*, 51(1). <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2023.10.002>
- Sasmito, B., Bashit, N., Arinda, B. R., & Sukmono, A. (2022). Application of Generalized Additive Model for Identification of Potential Fishing Zones Using Aqua and Terra MODIS Imagery Data. *Journal of Applied Geospatial Information*, 6(1), 583–591. <https://doi.org/10.30871/jagi.v6i1.3962>
- Satria, F., Sadiyah, L., Widodo, A. A., & Wudianto. (2019). Lesson learned of EAFM from pole and line fishery based in Sikka Regency, Nusa Tenggara Timur. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 404). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/404/1/012048>
- Semedi, B., Diza, N. F., Sari, S. H. J., Wiadnya, D. G. R., Lelono, T. D., Setyohadi, D., Lee, M.-A. (2025). Habitat Suitability Modeling Based on Oceanographic Factors for Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) Fishing Grounds in the Southern Waters of Java. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 30(2), 163–173. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.30.2.163-173>
- Syamsuddin, M. L., Subiyanto, S., Bratasena, T., Syamsudin, F., Purba, N. P., Nurul Ihsan, Y., ... Nofrita, N. (2024). Satellite-derived prediction on habitat modelling of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Makassar Strait, Indonesia. *Geocarto International*, 39(1). <https://doi.org/10.1080/10106049.2024.2408281>
- Tadjudah, M., Sambah, A. B., Sadarun, B., & Wianti, N. I. (2025). Seasonal and Spatial Dynamics of Chlorophyll-a Concentrations in Marine Protected FMA 714 in Relation to Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) Catches. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 30(2), 311–320. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.30.2.311-320>
- Wiryawan, B. (2020) 'Catch per unit effort dynamic of yellowfin tuna related to sea surface temperature and chlorophyll in Southern Indonesia', *Fishes*, 5(3), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3390/fishes5030028>.