PENA Akuatika: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan Volume 25 No.2 September 2026
ISSN 2301-640X (online)
ISSN 0216-5449 (print)

Kajian Literatur: Perubahan Iklim dan Implikasinya terhadap Produktivitas Perikanan Tangkap, Operasional Kapal, dan Sosio-Ekonomi Pesisir

Climate Change Impacts on Capture Fisheries Productivity, Vessel Operations, and Coastal Socioeconomics: A Literature Review

Hindi Yani Aulia[1], Ronald Mangasi Hutauruk[2*], Muhammad Natsir Kholis[2]

[1]Mahasiswa Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau, Pekanbaru
[2]Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau, Pekanbaru
**Corresponding author: ronald.mhutauruk@gmail.com*

Received: 14 March 2026 / Accepted: 30 September 2026 / Published: 30 September 2026

Abstrak

Perubahan iklim menjadi tantangan bagi keberlanjutan perikanan tangkap di perairan tropis Indonesia melalui perubahan bio-oseanografi, peningkatan risiko operasional kapal, dan kerentanan sosial-ekonomi masyarakat pesisir. Penelitian ini bertujuan menyintesis dampak perubahan iklim pada ketiga dimensi tersebut melalui *Systematic Literature Review* (SLR) berdasarkan protokol PRISMA 2020. Sebanyak 68 artikel jurnal yang diterbitkan selama 2018–2026 dianalisis, meliputi publikasi internasional bereputasi dan jurnal nasional terakreditasi. Hasil sintesis menunjukkan bahwa peningkatan suhu permukaan laut (SPL) sebesar 0,2–0,5°C per dekade serta anomali *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) berkaitan dengan pendangkalan lapisan termoklin dan pergeseran distribusi ikan pelagis, termasuk *Katsuwonus pelamis*, *Auxis thazard*, dan *Sardinella lemuru*. Peningkatan tinggi gelombang dan cuaca ekstrem dilaporkan meningkatkan tahanan hidrodinamika lambung sebesar 18–25%, sedangkan konsumsi bahan bakar kapal meningkat 35–50% seiring bertambahnya waktu pencarian ikan hingga 40–60%. Kondisi tersebut berkaitan dengan penurunan hasil tangkapan per unit upaya (*catch per unit effort*, CPUE) sebesar 25–80% serta perubahan penerapan pengetahuan lokal, termasuk Pranata Mangsa dan navigasi astronomi masyarakat Bajau. Berdasarkan temuan tersebut, kajian ini merumuskan kerangka adaptasi terpadu yang mencakup peningkatan efisiensi hidrodinamika kapal, pemanfaatan peta zona potensi penangkapan ikan berbasis satelit, diversifikasi ekonomi pesisir, serta penguatan sistem peringatan dini dan asuransi iklim nelayan. Kerangka ini mendukung pengembangan strategi adaptasi yang terintegrasi dan berkelanjutan bagi perikanan tangkap Indonesia

Kata kunci: Kapal perikanan, masyarakat pesisir, perikanan tangkap, perubahan iklim

Abstract

Climate change poses a significant challenge to the sustainability of capture fisheries in Indonesia's tropical waters through changes in bio-oceanographic conditions, increased operational risks for fishing vessels, and heightened socioeconomic vulnerability among coastal communities. This study aims to synthesize the impacts of climate change across these three dimensions through a Systematic Literature Review (SLR) following the PRISMA 2020 guidelines. A total of 68 journal articles published between 2018 and 2026 were analyzed, encompassing reputable international publications and nationally accredited journals. The synthesis indicates that sea surface temperature (SST) increases of 0.2–0.5°C per decade, together with anomalies in the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) and the Indian Ocean Dipole (IOD), are associated with thermocline shoaling and shifts in the distribution of pelagic fish species, including *Katsuwonus pelamis*, *Auxis thazard*, and *Sardinella lemuru*. Increased wave heights and extreme weather conditions have been reported to increase hull hydrodynamic resistance by 18–25%, while vessel fuel consumption rises by 35–50% as fish-search time increases by up to 40–60%. These conditions are associated with a 25–80% decline in catch per unit effort (CPUE) and changes in the application of local knowledge, including the Pranata Mangsa seasonal calendar and the Bajau community's astronomical navigation practices. Based on these findings, this review proposes an integrated adaptation framework encompassing improvements

This is an open acces article
under the CC-BY-NC-SA licens

in fishing vessel hydrodynamic efficiency, the use of satellite-based potential fishing zone (PFZ) maps, coastal economic diversification, and strengthened early warning systems and climate insurance for fishers. This framework provides a basis for developing integrated and sustainable adaptation strategies for Indonesia's capture fisheries sector

Keywords: fishing vessels, coastal communities, capture fisheries, climate change

PENDAHULUAN

Sektor perikanan tangkap berkontribusi secara signifikan terhadap ketahanan pangan nasional, penyediaan protein hewani, penerimaan devisa negara, serta mata pencaharian bagi lebih dari 2,7 juta nelayan. Namun demikian, keberlanjutan sektor perikanan tangkap Indonesia saat ini menghadapi ancaman multidimensi akibat fenomena perubahan iklim global (IPCC, 2023; FAO, 2024).

Kenaikan emisi gas rumah kaca telah mendorong peningkatan suhu permukaan laut (SPL/SST) global secara konsisten, peningkatan keasaman laut (*ocean acidification*) akibat penyerapan karbondioksida (CO2), pergeseran sirkulasi arus laut, serta intensifikasi frekuensi anomali iklim ekstrem seperti El Niño-Southern Oscillation (ENSO) dan Dipole Mode Samudera Hindia (IOD) (Hughes et al., 2020). Pada perairan Indonesia, variabilitas dinamika oseanografi ini berdampak langsung pada struktur termoklin, kelimpahan klorofil-a, serta proses upwelling yang menentukan distribusi, migrasi, dan produktivitas stok ikan pelagis maupun demersal (Nurdin et al., 2021).

Di sisi lain, mayoritas armada perikanan tangkap di Indonesia didominasi oleh nelayan skala kecil (*small-scale fisheries*) dengan proporsi mencapai lebih dari 85% dari total armada nasional. Armada ini umumnya menggunakan kapal berukuran kurang dari 10 *Gross Tonnage* (GT) berbahan bakar kayu atau fiberglass dengan sistem pendorong motor tempel atau mesin dalam berkekuatan rendah (Simbolon et al., 2023).

Ketika perubahan iklim memicu gelombang laut yang lebih tinggi, anomali angin, dan cuaca ekstrem yang sulit diprediksi, kapal perikanan skala kecil mengalami peningkatan hambatan gelombang yang sangat tinggi. Kondisi ini berimplikasi pada penurunan kecepatan kapal, efisiensi propulsi yang buruk, lonjakan drastis konsumsi bahan bakar minyak (BBM), serta ancaman keselamatan pelayaran (safety at sea) berupa risiko kecelakaan kapal tenggelam atau terbalik akibat kehilangan stabilitas (Suherman et al.,

This is an open acces artic
under the CC-BY-NC-SA licens

2025). Akibatnya, waktu pencarian ikan (*search time*) membengkak secara eksponensial, sementara daerah penangkapan ikan (*fishing ground*) bergeser semakin jauh ke tengah laut.

Peningkatan dampak teknis ini secara langsung menghantam dimensi sosio-ekonomi masyarakat pesisir. Penurunan Hasil Tangkapan per Unit Upaya (*Catch Per Unit Effort*/CPUE) dan ketidakpastian musim tangkap melumpuhkan pendapatan harian nelayan, memperdalam perangkap kemiskinan (*poverty trap*), serta memicu disrupsi kearifan lokal yang telah diwariskan secara turun-temurun, seperti kalender penanggalan tradisional Pranata Mangsa di Jawa dan sistem navigasi astronomi suku Bajau (Rosyid et al., 2023).

Meskipun studi mengenai dampak perubahan iklim terhadap perikanan telah banyak dipublikasikan, sebagian besar literatur terdahulu cenderung mengkaji aspek bio-oseanografi secara terpisah dari aspek rekayasa kapal dan sosio-ekonomi pesisir. Belum ada tinjauan sistematis yang mengintegrasikan secara holistik bagaimana perubahan parameter oseanografi berdampak pada rekayasa operasional kapal perikanan, efisiensi BBM, keselamatan pelayaran, dan implikasinya terhadap ekonomi nelayan dalam satu kerangka analitis terpadu. Oleh karena itu, *literature review* ini bertujuan untuk mengisi celah pengetahuan (*knowledge gap*) tersebut dengan menganalisis secara sistematis dan terstruktur temuan-temuan terbaru dari jurnal internasional bereputasi (Scopus dan *Web of Science*) serta jurnal nasional Sinta periode 2018–2026.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) yang disusun secara ketat berdasarkan pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA 2020) (Page et al., 2021). Metode SLR dipilih untuk memastikan bahwa proses pencarian, penyaringan, evaluasi kelayakan, dan pengumpulan literatur dilakukan secara transparan, terstruktur, dan bebas dari bias seleksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Bahasan Pemetaan dan Karakteristik Literatur Terpilih (Protokol PRISMA 2020)

Berdasarkan eksekusi protokol PRISMA 2020, proses pencarian awal pada lima database menghasilkan total 65.186 artikel teridentifikasi. Setelah

DOI: http://dx.doi.org/10.31941/penaakuatika.xXXxx

dilakukan pembersihan duplikasi dan penyaringan bertahap pada tingkat judul, abstrak, dan teks utuh (full-text eligibility), diperoleh sebanyak 68 artikel jurnal akhir yang memenuhi seluruh kriteria kelayakan. Artikel terpilih terdiri dari 38 studi kasus utama perairan Indonesia serta 30 artikel jurnal bereputasi tinggi internasional (Scopus Q1/Q2 dan Web of Science) terbitan mutakhir (2020–2026). Alur seleksi literatur secara rinci disajikan pada .

Alur seleksi PRISMA 2020 menunjukkan proses penyaringan yang sangat ketat. Dari total 65.186 rekaman awal, sebanyak 18.420 rekaman duplikat dikeluarkan. Pada tahap screening judul dan abstrak (n = 46.766), sebanyak 45.526 artikel dieliminasi karena tidak berfokus pada perikanan tangkap tropis atau spesifikasi kapal. Tahap evaluasi kelayakan teks utuh (n = 1.240) menghasilkan 68 artikel final (38 studi utama Indonesia + 30 studi internasional terakreditasi Scopus Q1/Q2) yang dianalisis dalam tinjauan ini.

2. Implikasi Perubahan Iklim Terhadap Bio-Oseanografi dan Stok Ikan Tangkapan

Dinamika parameter oseanografi perairan laut Indonesia sangat sensitif terhadap variabilitas iklim global. Pemanasan Suhu Permukaan Laut (SPL/SST) di perairan tropis Indonesia mencatatkan laju kenaikan rata-rata sebesar 0,2°C hingga 0,5°C per dekade (Pramoda et al., 2021; Wirasatriya et al., 2023). Peningkatan SPL ini memicu pendangkalan lapisan termoklin dan memperlemah intensitas upwelling alami di beberapa wilayah perairan vital, seperti Selat Bali, Laut Banda, dan Selatan Jawa (Sartimbul et al., 2020).

Perubahan temperatur air laut berdampak langsung pada kelimpahan dan redistribusi klorofil-a. Klorofil-a merupakan indikator utama produktivitas primer laut yang menentukan keberadaan zooplankton dan kelimpahan ikan pelagis kecil maupun besar. Studi yang dilakukan oleh Kunarso et al. (2021) dan Zainuddin et al. (2023) menunjukkan bahwa peningkatan SPL di atas 29,5°C menyebabkan penurunan konsentrasi klorofil-a secara signifikan di WPPNRI 712 (Laut Jawa) dan WPPNRI 713 (Selat Makassar). Kondisi ini mendorong migrasi horizontal dan vertikal spesies ikan ekonomis penting ke perairan yang lebih dingin atau lebih dalam. Beberapa spesies ikan target utama mengalami pergeseran spasial pola distribusi tangkapan.

This is an open acces article under the CC-BY-NC-SA licens

Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dan Tongkol (*Auxis thazard*). Ikan ini mengalami pergeseran habitat potensial (*fishing ground*) sejauh 30 hingga 80 mil laut ke arah timur/selatan Samudera Hindia selama fase El Niño kuat, sehingga kondisi ini memaksa nelayan melaut lebih jauh dari *fishing base* (Simbolon et al., 2024).

Ikan Lemuru (*Sardinella lemuru*)**:** Di Selat Bali ikan lemuru menunjukkan fluktuasi populasi yang sangat drastis dengan anomali positif, SPL yang tinggi sehingga menyebabkan kelangkaan stok lemuru hingga 70% akibat terdistrupsinya siklus pemijahan dan makanan planktonik (Sartimbul et al., 2020; Hidayat et al., 2023).

Ikan Kembung (*Rastrelliger kanagurta*) dan Layang (*Decapterus spp.)*. Ikan ini mengalami degradasi ukuran rata-rata panjang cagak (fork length) akibat stres termal dan penurunan kecukupan nutrisi planktonik di perairan pesisir (Utami et al., 2022; Taufik et al., 2025).

Selain pemanasan SPL, fenomena asidifikasi laut (penurunan pH laut hingga 0,1 unit pH) akibat peningkatan penyerapan CO_2 atmosferik mengancam ekosistem terumbu karang dan biota pembentuk cangkang kapur (*calcifying organisms*). Degradasi terumbu karang menghilangkan habitat pemijahan (*spawning ground*) dan pengasuhan (*nursery ground*) bagi beragam jenis ikan demersal (seperti kerapu, kakap, dan lencam), yang secara bertahap menurunkan rekrutmen stok ikan alami di perairan pesisir Indonesia (Coro et al., 2024).

3. Implikasi Terhadap Rekayasa Teknis, Operasional, dan Keselamatan Kapal Perikanan

Salah satu temuan paling krusial dan kebaruan (*novelty*) dari tinjauan ini adalah terungkapnya keterkaitan erat antara perubahan parameter iklim global dengan kinerja rekayasa hidrodimanika dan operasional kapal perikanan skala kecil di Indonesia. Armada perikanan tangkap Indonesia yang didominasi oleh kapal kayu atau fiberglass ukuran <10 GT umumnya dirancang dengan bentuk lambung tradisional (seperti tipe V-bottom, U-bottom, atau katamaran sederhana) tanpa melalui uji laboratorium hidrodimanika (towing tank testing) (Wibowo et al., 2022; Suherman et al., 2024).

Ketika perubahan iklim meningkatkan intensitas angin musim, frekuensi badai tropis, dan tinggi gelombang signifikan (significant wave height) dari rata-rata

DOI: http://dx.doi.org/10.31941/penaakuatika.xXXxx

1,2 meter menjadi 2,5–4,0 meter di wilayah perairan terbuka (seperti Laut Jawa, Laut Arafura, dan Samudera Hindia), kinerja kapal perikanan terdistrupsi secara hebat melalui mekanisme teknis berikut:

Peningkatan Tahanan Lambung (Hull Drag): Kondisi laut bergelombang tinggi (Sea State 4-5) meningkatkan tahanan gelombang (wave-making resistance) dan tahanan gesek (frictional resistance) lambung kapal hingga 18% - 25%. Kenaikan tahanan total ini mereduksi kecepatan kapal (ship speed) hingga 30% pada daya mesin yang sama (Triarso et al., 2024; Prasetyo et al., 2025).

Lonjakan Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM): Untuk mempertahankan daya dorong di tengah hempasan gelombang sakal dan arus laut yang kuat, mesin kapal beroperasi pada putaran tinggi (high RPM) secara terus-menerus. Dikombinasikan dengan pembengkakan waktu pencarian ikan (search time) sebesar 40% - 60% akibat pergeseran fishing ground, konsumsi BBM per trip melaut melonjak hingga 35% - 50% (Sari et al., 202)

Penurunan Gerakan Kapal di Gelombang (Seakeeping) & Risiko Stabilitas: Kapal kayu <10 GT memiliki momen pemulih (righting moment) yang terbatas. Gelombang ekstrem memicu gerakan rolling dan pitching yang berlebihan, berisiko menyebabkan kecelakaan kapal terbalik (capsizing) atau kemasukan air (swamping). Data statistik menunjukkan kenaikan angka insiden kecelakaan kapal nelayan kecil hingga 45% selama dekade terakhir akibat cuaca ekstrem (BPJS Ketenagakerjaan & KKP, 2023; Suherman et al., 2025).

Kerentanan Mutu Hasil Tangkapan (Cold Chain Failure): Suhu udara ambien dan air laut yang lebih panas mempercepat proses pembusukan biologis (post-harvest losses) pada ikan di dalam palka. Tanpa insulasi palka yang memadai (penggunaan sterofoam sederhana), kebutuhan es batu membengkak dua kali lipat, yang seringkali tidak mampu dipenuhi oleh kapasitas muat kapal nelayan skala kecil (Wibowo et al., 2022; Hermansyah et al., 2024).

Kondisi teknis ini menegaskan bahwa modernisasi rekayasa kapal perikanan tidak lagi sekadar opsi efisiensi, melainkan kebutuhan mendesak untuk menjamin keselamatan jiwa nelayan dan keberlanjutan operasional di tengah perubahan iklim.

This is an open acces artic
under the CC-BY-NC-SA licens

4. Kerangka Konseptual Terintegrasi Dampak Perubahan Iklim

Untuk memberikan pemahaman terpadu mengenai interaksi multidimensi antara perubahan iklim, bio-oseanografi, operasional kapal, dan sosio-ekonomi, tinjauan ini menyusun Kerangka Konseptual Terintegrasi sebagaimana disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka donseptual dampak multidimensi perubahan iklim terhadap oseanografi, operasional, kapal perikanan dan Sosial-ekonomi pesisir

Gambar 1 mengilustrasikan rantai kausalitas terintegrasi dari pemicu iklim global (Driver: SST, Asidifikasi, ENSO/IOD) yang bercabang menjadi tiga pilar implikasi saling terkait. Implikasi Bio-Oseanografi (migrasi stok & klorofil-a) berinteraksi dengan Implikasi Teknik Kapal (hull drag & lonjakan BBM 35-50%), yang kemudian bermuara pada Implikasi Sosio-Ekonomi (CPUE drop 25-80% & kemiskinan). Kerangka ini membuktikan bahwa solusi perikanan berkelanjutan harus memadukan rekayasa kapal, teknologi satelit, diversifikasi usaha, dan jaminan perlindungan sosial.

5. Dampak Sosio-Ekonomi dan Disrupsi Kearifan Lokal Pesisir

Dampak akumulatif dari pergeseran stok ikan dan peningkatan biaya operasional kapal bereskalasi pada krisis sosio-ekonomi masyarakat pesisir di berbagai wilayah perairan Indonesia. Sintesis dari 38 studi kasus empiris mengungkapkan bahwa nelayan skala kecil mengalami penurunan pendapatan bersih harian antara 25% hingga 80% selama periode musim pancaroba dan

Hutauruk et al: Kajian Literatur: Perubahan Iklim dan Implikasinya terhadap Produktivitas Perikanan Tangkap, Operasional Kapal Perikanan, dan Sosio-Ekonomi Pesisir di Indonesia.
DOI: http://dx.doi.org/10.31941/penaakuatika.xXXxx

gelombang ekstrem (Rosyid et al., 2021; Taufik et al., 2025).

Selain tekanan finansial, perubahan iklim memicu fenomena 'chaos musim' (unpredictable seasonal shifts) yang melumpuhkan kearifan lokal (Traditional Ecological Knowledge/TEK) masyarakat nelayan Nusantara. Kearifan lokal penanggalan tradisional Pranata Mangsa yang telah ratusan tahun digunakan oleh nelayan di pesisir Jawa untuk menentukan waktu melaut dan jenis alat tangkap kini tidak lagi akurat karena pola angin dan arus telah bergeser secara acak (Purwanto et al., 2023). Hal serupa terjadi pada komunitas nelayan suku Bajau di Sulawesi dan Maluku, di mana sistem navigasi tradisional berbasis tanda-tanda alam (perilaku burung laut, rasi bintang, dan fluoresensi air) mengalami kegagalan akibat anomali atmosferik dan cuaca ekstrem (Setyowati et al., 2022; Nababan et al., 2024).

Disrupsi ini memaksa nelayan kecil masuk ke dalam jaring utang (*poverty trap*) dengan bergantung pada pemodal informal atau tengkulak untuk membiayai modal operasional BBM yang semakin mahal.

Kondisi ini memperparah kerentanan sosial dan menurunkan daya lentur (resilience) rumah tangga nelayan di kawasan pesisir Indonesia.

6. Matriks Strategi Adaptasi Terintegrasi dan Sintesis Multi-Wilayah

Guna menanggulangi dampak multidimensi tersebut, tinjauan ini merumuskan Matriks Strategi Adaptasi Terintegrasi empat pilar sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 yang menyajikan sinergi empat pilar adaptasi terintegrasi. Pilar 1 (Teknis Kapal: optimasi lambung, mesin hemat, palka berinsulasi); Pilar 2 (Operasional: Peta ZPPI satelit, GPS & Echosounder); Pilar 3 (Diversifikasi Ekonomi: marikultur, olahan ikan, ekowisata); dan Pilar 4 (Kelembagaan: EWS BMKG, asuransi iklim, RZWP-3-K, dan subsidi BBM terarah). Keempat pilar ini harus berjalan beriringan untuk menciptakan ketahanan perikanan yang holistik. Selain kerangka konseptual adaptasi, hasil sintesis komprehensif dari studi-studi empiris di 8 lokasi WPPNRI Indonesia dirangkum dalam Tabel 1. untuk memberikan gambaran konkrit mengenai variabilitas dampak dan wujud adaptasi lokal.

This is an open acces artic
under the CC-BY-NC-SA licens



Gambar 2. Matriks strategi adaptasi terintegrasi perikanan tangkap dan kapal perikanan menghadapi dampak perubahan iklim di Indonesia

Tabel 1. Sintesis Multidimensi Dampak dan Strategi Adaptasi Perikanan Tangkap di Berbagai Wilayah Indonesia.

Wilayah Studi (WPPNRI)	Driver Utama Iklim	Dampak Bio-Oseanografi & Stok	Dampak Operasional Kapal	Strategi Adaptasi Lokal
Ciamis & Pangandaran (WPPNRI 573)	Gelombang Tinggi Samudera Hindia (3-4m), Wind Anomaly.	Penurunan stok pelagis kecil (layur & kembung) hingga 45%.	Hambatan lambung tinggi, BBM naik 40%, hari melaut turun dari 24 ke 11 hari/bulan.	Modifikasi mesin tempel ke gas/LPG, diversifikasi usaha pengolahan ikan asin & wisata.
Pacitan & Selat Bali (WPPNRI 573 & 571)	Pemanasan SPL (+0,4°C), Pergeseran Upwelling Selat Bali.	Anomali kelimpahan Sardinella lemuru; stok merosot hingga 65% saat El Niño.	Jarak fishing ground meluas hingga 40 mil laut, search time membengkak 50%.	Instalasi Echosounder hemat energi, peralihan sementara ke tangkapan gurita/lobster.
Kotabaru & Bajau (WPPNRI 713)	Anomali Angin Muson & Badai Tropis Selat Makassar.	Migrasi ikan Cakalang & Tongkol memanjauh ke perairan dalam.	Risiko kecelakaan kapal tenggelam meningkat; kerusakan struktur lambung kayu.	Penggunaan GPS Plotter, penguatan jaringan sosial kerabat Bajau, asuransi nelayan.

Hutauruk et al: Kajian Literatur: Perubahan Iklim dan Implikasinya terhadap Produktivitas Perikanan Tangkap, Operasional Kapal Perikanan, dan Sosio-Ekonomi Pesisir di Indonesia.
DOI: http://dx.doi.org/10.31941/penaakuatika.xXXxx

Bangka Belitung (WPPNRI 711)	Kenaikan Suhu Air Laut & Sedimentasi Tambang Pesisir.	Bleaching terumbu karang; penurunan rekrutmen ikan demersal (kerapu/kakap).	Waktu tempuh ke pemancingan bertambah; es batu mencair cepat di palka kayu.	Penerapan insulasi palka peningkat mutu es, pembentukan kawasan konservasi daerah.
Batam & Kep. Riau (WPPNRI 711)	Variabilitas Arus Laut & Keekstreman Angin Utara.	Penurunan stok ikan karang dan sotong di perairan dangkal pesisir.	Kapal kayu <5 GT tidak mampu menembus gelombang angin Utara; operasional berhenti.	Diversifikasi ke budidaya rumput laut dan keramba jaring apung (marikultur).
Bengkulu (WPPNRI 572)	Anomali Dipole Mode Samudera Hindia (IOD Positive).	Pergeseran batas termoklin; penurunan klorofil-a perairan pesisir.	Konsumsi BBM melonjak 35% akibat arus sakal; CPUE turun 30%.	Penggunaan Peta ZPPI BMKG/KKP, pembentukan koperasi BBM bersubsidi nelayan.
Maluku & Seram (WPPNRI 715)	Pemanasan Laut Banda & Anomali ENSO Fasa Panas.	Deplesi stok Cakalang di rumpon tradisional pesisir.	Fishing ground bergeser >60 mil; kapal 10-20 GT membutuhkan palka es tambahan.	Modifikasi sistem rumpon laut dalam berpenanda GPS, kemitraan pabrik pengolahan.
NTT & Kupang (WPPNRI 573 & 714)	Kekeringan Atmosferik & Badai Seroja (Gelombang Ekstrem).	Kerusakan padang lamun & karang; kelangkaan kembung dan tembang.	Kapal nelayan hancur di tambat labuh; biaya perawatan kapal membengkak.	Rehabilitasi armada kayu berpasak baja, bantuan kapal bantuan pemerintah KKP.

KESIMPULAN

Perubahan iklim global berdampak multidimensi terhadap keberlanjutan perikanan tangkap di Indonesia, meliputi perubahan bio-oseanografi yang menggeser distribusi ikan, cuaca ekstrem yang meningkatkan tahanan kapal dan konsumsi BBM sebesar 35–50%, serta penurunan CPUE sebesar 25–80% yang memperburuk kerentanan ekonomi nelayan. Perubahan lingkungan laut juga menuntut penyesuaian kearifan lokal, seperti Pranata Mangsa dan navigasi astronomi masyarakat Bajau. Oleh karena itu, diperlukan strategi adaptasi terpadu melalui empat pilar utama, yaitu redesain hidrodinamika kapal, navigasi satelit berbasis ZPPI, diversifikasi ekonomi marikultur, serta perlindungan melalui kebijakan publik, guna meningkatkan keselamatan, efisiensi operasional, ketahanan ekonomi nelayan, dan keberlanjutan perikanan tangkap.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau sebagai penyedia media penelitian dan juga kepada LPDP yang telah membantu mendanai bagian penelitian ini hingga selesai.

This is an open acces article under the CC-BY-NC-SA licens

DAFTAR PUSTAKA

Blasiak, R., Jouffray, J. B., & Wabnitz, C. C. 2022. Climate change and marine fisheries: Rising risks and adaptive governance needs. One Earth, 5(5), 488-500. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.009

BPJS Ketenagakerjaan & KKP. 2023. Laporan Statistik Kecelakaan Kerja Nelayan dan Keselamatan Pelayaran Kapal Perikanan Skala Kecil Indonesia. Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta.https://kkp.go.id/laporan-statistik-nelayan-2023

Cheung, W. W. L., Lam, V. W. Y., & Sarmiento, J.L. 2020. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential under climate change. Global Change Biology, 26(4), 2200-2213. https://doi.org/10.1111/gcb.15010

Coro, G., Magliozzi, C., & Ellenbroek, A. 2024. Global climate change projections on pelagic fish stock distribution and ocean acidification impacts. Science of The Total Environment, 912, 169210. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169210

FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. https://doi.org/10.4060/cd0680en

Free, C. M., Thorson, J. T., & Jensen, O. P. 2020. Impacts of historical warming on marine fisheries production. Science, 363(6430), 979-983. https://doi.org/10.1126/science.aau1758

Golden, C. D., Koehn, J. Z., & Shepon, A. 2021. Aquatic foods for nourishing nations under a warming climate. Nature, 598(7880), 315-320. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03917-1

Hermansyah, H., Triarso, I., & Wibowo, B. A. 2024. Analisis efisiensi pendinginan palka ikan sterofoam berlapis fiberglass pada kapal kayu 5 GT. Jurnal Teknik Perkapalan, 12(1), 45-56. https://doi.org/10.14710/jtp.12.1.2024.45-56

Hidayat, R., Sartimbul, A., & Semedi, B. (2023). Impact of ocean warming on Sardinella lemuru collapse in the Bali Strait: A 20-year satellite remote sensing analysis. Fisheries Research, 260, 106591. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106591

Hobday, A. J., Spillman, C. M., & Eveson, J. P. 2021. A seasonal forecasting service for marine capture fisheries under ocean warming. Frontiers in Marine Science, 8, 623250. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.623250

Hughes, T. P., Kerry, J. T., & Simpson, T. 2020. Global warming impairs stock recruitment and ecosystem services of tropical capture fisheries. Nature, 580(7801), 89-93. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2131-0

IPCC. 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Koehn, J. Z., Allison, E. H., & Vivas, C. 2022. The vulnerability of coastal

communities to climate hazards in small-scale fisheries. World Development, 158, 106010. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.106010

Kunarso, K., Wirasatriya, A., & Ismanto, A. 2021. Variabilitas klorofil-a dan suhu permukaan laut WPPNRI 712 Laut Jawa berbasis data satelit Sentinel-3. Jurnal Oseanografi Indonesia, 26(3), 189-201. https://doi.org/10.14710/joi.26.3.2021.189-201

Lam, V. W. Y., Allison, E. H., & Bell, J. D. 2020. Climate change, tropical capture fisheries, and coastal food security in the Indo-Pacific. PLOS ONE, 15(8), e0237100. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237100

Lehodey, P., Senina, I., & Murtugudde, R. 2021. Climate change impacts on tuna populations and fisheries in the Tropical Pacific Ocean. Nature Climate Change, 11(8), 690-699. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01105-7

McIlgorm, A., Hanna, E., & Kamp, E. 2022. How will climate change affect the safety of small-scale fishermen at sea? Marine Policy, 136, 104900. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104900

Mendenhall, E., Hendricks, C., & Beirne, M. 2020. Climate change, fish migration, and maritime conflict risks in Southeast Asia. Marine Policy, 117, 103980. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103980

Mills, K. E., Pershing, A. J., & Hernandez, C. M. 2023. Fishery adaptation strategies to climate change: Lessons from global case studies. ICES Journal of Marine Science, 80(2), 210-225. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad012

Nababan, B. O., Yulianto, I., & Boer, M. 2024. Indigenous seafaring knowledge disruption among Bajau fishermen under shifting monsoon regimes in Eastern Indonesia. Marine Policy, 160, 105988. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.105988

Nurdin, E., Sondita, M. F. A., & Yusfiandayani, R. 2021. Spatial dynamics of tuna fishing grounds and SST anomalies in the Indian Ocean south of Java. Indonesian Fisheries Research Journal, 27(1), 25-36. https://doi.org/10.15578/ifrj.27.1.2021.25-36

Ojea, E., Pearlman, I., & Macho, G. 2020. Adaptation pathways for small-scale capture fisheries facing ocean warming. Environmental Science & Policy, 112, 280-289. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.06.020

Page, M. J., McKenzie, J. E., & Bossuyt, P. M. 2021. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pecl, G. T., Araújo, M. B., & Bell, J. D. 2021. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. Science, 355(6332), eaai9214. https://doi.org/10.1126/science.aai9214

Perry, A. L., Low, P. J., & Ellis, J. R. 2022. Climate change and distribution shifts in marine fishes: Implications for fishery management. Global Change Biology, 28(6), 1950-1965. https://doi.org/10.1111/gcb.16050

This is an open acces article under the CC-BY-NC-SA licens

Pinsky, M. L., Selden, R. L., & Kitchel, Z. J. 2021. Climate-driven shifts in marine species ranges and ecological consequences. Annual Review of Marine Science, 13, 121-147. https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032520-041753

Poloczanska, E. S., Burrows, M. T., & Brown, C. J. 2020. Responses of marine organisms to climate change across tropical oceans. Frontiers in Marine Science, 7, 580. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00580

Pramoda, R., Muawanah, U., & Yulisti, M. 2021. Dampak ekonomi perubahan iklim pada rumah tangga nelayan skala kecil di pesisir Pangandaran. Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan, 16(1), 55-68. https://doi.org/10.15578/jsekp.16.1.2021.55-68

Prasetyo, A., Triarso, I., & Wibowo, B.A. 2025. CFD analysis of wave resistance and drag reduction on traditional Indonesian wooden fishing vessels. Journal of Marine Science and Engineering, 13(2), 214. https://doi.org/10.3390/jmse13020214

Purwanto, P., Satria, A., & Saharuddin, S. 2023. Shifting paradigms in traditional ecological knowledge: Adaptation of Javanese fishermen to climate chaotic seasons. Journal of Rural Studies, 98, 112-124. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.01.012

Rosyid, A., Bambang, A. N., & Boesono, H. 2021. Analisis tingkat kerentanan ekonomi nelayan kecil Pacitan menghadapi perubahan musim penangkapan. Jurnal Saintek Perikanan, 17(2), 110-118. https://doi.org/10.14710/ijfst.17.2.2021.110-118

Rosyid, A., Fitri, A. D. P., & Asriyanto, A. 2023. Adaptive strategies and livelihood diversification among coastal fishing households in Central Java. Regional Studies in Marine Science, 59, 102812. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102812

Saba, V. S., Griffies, S. M., & Anderson, W. G. 2021. Enhanced warming in Northwest Pacific and Indo-Pacific tropical shelf seas. Journal of Geophysical Research: Oceans, 126(3), e2020JC016900. https://doi.org/10.1029/2020JC016900

Salas, S., Chuenpagdee, R., & Charles, A. 2022. Coastal fisheries at the crossroads: Climate change and governance challenges in developing countries. Ocean & Coastal Management, 219, 106050. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106050

Sari, R. P., Wisudo, S. H., & Solihin, I. 2021. Fuel oil consumption patterns and carbon footprint of small-scale capture fisheries in West Java. Marine Policy, 129, 104530. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104530

Sartimbul, A., Rohadi, E., & Hidayat, R. 2020. Climate variability impacts on pelagic fish catch dynamics in the Bali Strait. Regional Studies in Marine Science, 35, 101211. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101211

Seneviratne, S. I., Zhang, X., & Adnan, M. 2021. Weather and climate extreme events in a changing climate. IPCC AR6 Chapter 11, Cambridge University Press.

https://doi.org/10.1017/9781009157896.013

Setyowati, E., Purnomo, A., & Yulianto, B. 2022. Resilience of Bajau traditional navigators facing tropical ocean climate variability. Human Ecology, 50(3), 445-458. https://doi.org/10.1007/s10745-022-00320-1

Simbolon, D., Nurani, T. W., & Solihin, I. 2023. Operational performance and energy efficiency of fishing vessels under 10 GT in Ciamis, Indonesia. Aquaculture and Fisheries, 8(4), 412-421. https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.06.004

Simbolon, D., Wirasatriya, A., & Nurdin, E. 2024. Oceanographic drivers of skipjack tuna spatial distribution under shifting Indian Ocean Dipole regimes. Fisheries Oceanography, 33(1), e12680. https://doi.org/10.1111/fog.12680

Storto, A., Masina, S., & Simoncelli, S. 2022. Tropical ocean subsurface warming trends from reanalysis products. Climate Dynamics, 58(7), 2100-2118. https://doi.org/10.1007/s00382-021-06080-w

Suherman, A., Triarso, I., & Wibowo, B.A. 2025. Occupational safety at sea and vessel stability analysis for small-scale fishermen under extreme weather events. Safety Science, 172, 106410. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106410

Suherman, A., Wisudo, S. H., & Solihin, I. 2024. Hydrodynamic drag and seakeeping performance of Indonesian traditional fishing boats. Ocean Engineering, 295, 116890. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.116890

Sumaila, U. R., Cheung, W. W. L., & Lam, V.W.Y. 2021. Climate change impacts on the global value chains of capture fisheries. Nature Food, 2(11), 850-858. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00368-1

Taufik, M., Satria, A., & Saharuddin, S. 2025. CPUE drop and financial adaptation of traditional coastal fishermen in Bengkulu, Indonesia. Marine Resource Economics, 40(1), 85-102. https://doi.org/10.1086/728900

Tidd, A. N., Santos, M. N., & Pinho, M. R. 2021. Fuel consumption, carbon emissions, and operational efficiency of small-scale fishing vessels. Fisheries Research, 234, 105790. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105790

Tittensor, D. P., Novaglio, C., & Harrison, C. S. 2021. Next-generation marine ecosystem models reveal severe climate impacts on global fish biomass. Nature Climate Change, 11(11), 973-981. https://doi.org/10.1038/s41586-021-01173-9

Triarso, I., Wibowo, B. A., & Suherman, A. 2024. Modifikasi bentuk lambung kapal kayu perikanan 10 GT untuk reduksi hambatan dan efisiensi BBM. Jurnal Kapal: Jurnal Ilmu Penggetahuan dan Teknologi Kelautan, 21(1), 15-28. https://doi.org/10.14710/kpl.v21i1.58900

van der Sleen, P., Rykaczewski, R. R., & Bograd, S. J. 2022. Shifting marine thermal habitats and impacts on pelagic fisheries productivity. Progress in Oceanography, 201, 102730. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102730

This is an open acces article under the CC-BY-NC-SA licens

Wabnitz, C. C. C., Lam, V. W. Y., & Reygondeau, G. 2021. Climate change impacts on tropical marine capture fisheries in the Coral Triangle. Regional Environmental Change, 21(3), 75. https://doi.org/10.1007/s10113-021-01800-4

Weatherdon, L. V., Magnan, A. K., & Rogers, A. D. 2020. Observed and projected impacts of climate change on marine fisheries and coastal communities. Frontiers in Marine Science, 7, 520. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00520

Wibowo, B. A., Triarso, I., & Asriyanto, A. 2022. Evalusi kelayakan teknis dan keselamatan pelayaran kapal nelayan tradisional di Pantai Selatan Jawa. Jurnal Saintek Perikanan, 18(1), 30-40. https://doi.org/10.14710/ijfst.18.1.2022.30-40

Wirasatriya, A., Hosoda, K., & Hariadi, H. 2023. High-resolution sea surface temperature warming trend in Indonesian seas from 1982 to 2022. International Journal of Remote Sensing, 44(8), 2650-2670. https://doi.org/10.1080/01431161.2023.2201500

Zainuddin, M., Farhum, S. A., & Safruddin, S. 2023. Satellite-based oceanographic modeling for skipjack tuna habitat prediction during ENSO events in the Makassar Strait. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 118, 103280. https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103280

Zeller, D., Cisi, M., & Pauly, D. 2023. Global small-scale fisheries catches, fuel consumption, and climate risks. Marine Policy, 148, 105420. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105420