



BAB 4

Penyebab dan Dampak Ekologis dari Susut Hasil Produksi Ikan di Indonesia

Ibnu Budiman, Dita Wisudyawati, Afifah Azzahra

A. Problematika Susut Hasil Produksi Ikan di Indonesia

Industri perikanan tangkap dan akuakultur menyediakan 15%–20% pasokan protein global (Escobar et al., 2018). Isu ketahanan pangan terkait dengan interaksi antara sektor pertanian dan lingkungan, sosial ekonomi, dan faktor kebijakan/politik. Interaksi tersebut salah satunya dapat dilihat pada kejadian sampah makanan yang mengancam ketahanan pangan (Kementerian Pertanian, 2019).

Kehilangan pangan (*food loss*) dalam dunia perikanan mencakup tiga kategori, sebagai berikut.

I. Budiman*, D. Wisudyawati, & A. Azzahra

*Global Alliance for Improved Nutrition (GAIN), e-mail: budimanibnu26@gmail.com

© 2023 Editor & Penulis

Budiman, I., Wisudyawati, D., & Azzahra, A. (2023). Penyebab dan dampak ekologis dari susut hasil produksi ikan di Indonesia. Dalam K. Amri, H. Latuconsina, & R. Triyanti (Ed.), *Pengelolaan sumber daya perikanan laut berkelanjutan* (95–144). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.908. c755 E-ISBN: 978-623-8372-50-8

- 1) Fisik: Ikan “hilang” dari rantai pasokan, misalnya karena dicuri, terjatuh, atau dimakan hewan.
- 2) Kualitas: Kualitas ikan yang menurun dapat menurunkan nilai ikan tersebut dan mengakibatkan kerugian ekonomi (Meenakshi et al., 2010).
- 3) Kehilangan nutrisi: Kehilangan (*loss*) nilai gizi yang disebabkan oleh berbagai kerusakan dan pembusukan (JP2GI, 2020).

Asia memasok hampir 60% dari produksi ikan global. Selain itu, perikanan pesisir berperan penting dalam memastikan ketahanan pangan dan mendukung 20 juta pekerja (Purnomo et al., 2020). Di Asia Tenggara, susut hasil produksi ikan (*fish loss*) dan makanan laut mencapai 7,5 juta ton/tahun atau senilai 22,5 miliar USD dan persentase tertinggi berasal dari tahap pascapanen (*postharvest losses* atau disebut PHL).

PHL menyebabkan kekurangan pangan, baik kuantitas maupun kualitas. Penurunan nilai pangan ini, termasuk nilai gizi dan ekonomi, terjadi saat proses distribusi ke pelanggan, dibuang, atau dijual dengan harga yang cukup murah (Diei-Ouadi & Mgawe, 2011). Untuk Indonesia, dengan produksi perikanan mencapai 20,72 juta ton per tahun (Hartati & Islamiati, 2019), memiliki perikanan tangkap yang mencapai 6,4 juta ton ikan per tahun (Rizal et al., 2019). Jumlah sumber daya ikan yang dapat dimanfaatkan di zona penangkapan ikan, yaitu 5,6 juta ton (Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap, 2022). Dari angka tersebut, tingkat kehilangan (susut hasil) ikan mencapai 30%–40% per tahun atau senilai 7,3 miliar USD. Penyusutan itu seharusnya bisa digunakan untuk memasok protein ke jutaan anak dan ibu hamil (6–7 kg/kapita/tahun). Persentase susut hasil pascapanen di sektor perikanan termasuk tinggi, yaitu 30% (Pasopati, 2015) dan berkontribusi pada kerugian 30 triliun rupiah (Pasopati, 2015). Salah satu studi mengenai akibat penanganan ikan yang tidak sesuai terhadap hasil tangkapan ikan menyatakan bahwa susut mutu ikan di pelabuhan perikanan pantai (PPP) Pondokdadap, Malang, sebesar 3,23% per tahun (Handoko & Yuniarti, 2023; Sayuti & Limbong,

2019). Sementara itu, potensi susut ikan secara finansial per trip di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bungus, Padang, adalah sebesar Rp805.900,00 hingga Rp1.148.600,00 (Handoko et al., 2021; Handoko & Yuniarti, 2023).

Kehilangan hasil (tangkapan, produksi, atau panen) disebabkan oleh penanganan yang buruk di kapal (8,2%), transportasi dan penyimpanan (6%), pengolahan dan pengemasan (9%), dan sistem distribusi (15%). Susut hasil yang tinggi tersebut berdampak mengurangi nilai (*financial loss*) serta mengurangi suplai ikan dan nutrisi, terutama bagi 19 juta penduduk Indonesia yang menderita gizi buruk (Hansen et al., 2020).

Kehilangan hasil, antara lain juga disebabkan oleh kondisi pasar. Pembudi daya ikan harus “membunuh” ikannya di tambak akibat harga ikan anjlok, tidak sebanding dengan biaya pemeliharannya yang tinggi (pakan, obat-obatan, tenaga kerja). Selain menimbulkan kehilangan/kerugian, hal ini juga termasuk dalam pemborosan/limbah (Diei-Ouadi & Mgawe, 2011). Kehilangan ini dipengaruhi oleh fakta bahwa 90% dari produsen ikan adalah nelayan kecil. Pada tahun 2018, terdapat 6,6 juta jiwa yang menggantungkan mata pencahariannya sebagai nelayan dan pembudi daya ikan (JP2GI, 2020).

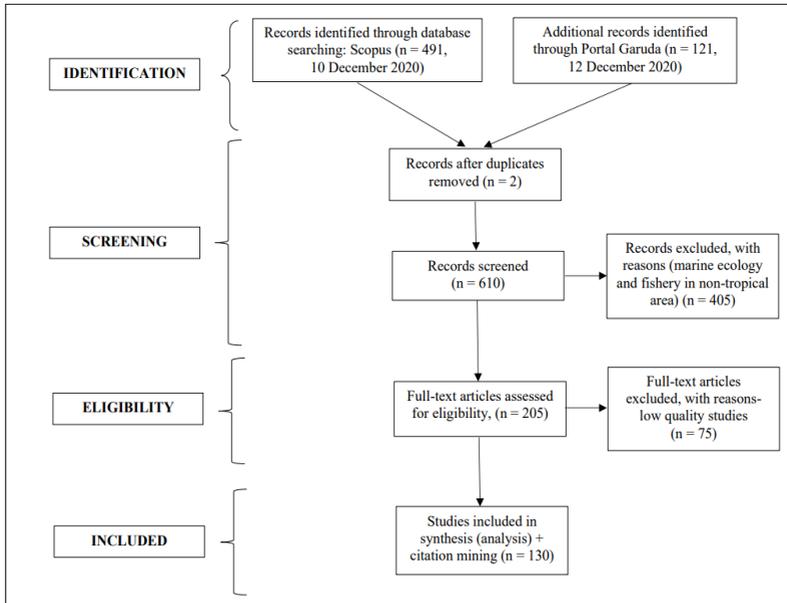
PHL berkaitan dengan dampak lingkungan. Korelasi antara kehilangan pangan (khususnya kehilangan saat proses pascapanen) dan aspek lingkungan adalah korelasi dua arah yang berarti saling berpengaruh satu sama lain. Dengan demikian, kehilangan pangan (susut hasil) dapat menimbulkan dampak lingkungan (Affognon et al., 2015; Pauly et al., 2000), dan sebaliknya, perubahan/keadaan lingkungan yang ada juga dapat berkontribusi pada tingkat kehilangan pangan (Diei-Ouadi & Mgawe, 2011).

Bab ini menelusuri tentang aspek lingkungan yang berkaitan dengan ekologi laut, yaitu aspek yang dapat menyebabkan kehilangan ikan (*fish loss*) dan aspek yang terkena dampak dari kehilangan ikan (susut hasil) di ekosistem laut tropis, khususnya di Indonesia. Hasil dari studi ini akan membantu para pemangku kepentingan (*stakeholder*) untuk menentukan strategi dalam mengurangi kehilangan dan

limbah ikan (*fish loss and waste*) pada era pascapandemi Covid-19 di Indonesia, dengan cara yang ramah lingkungan.

Pengumpulan data bab ini menggunakan *systematic literature review* (SLR). SLR mengidentifikasi, memilih, dan menilai penelitian secara kritis untuk menjawab pertanyaan penelitian (Sambunjak et al., 2017; Dewey & Drahot, 2016). Protokol SLR terdiri dari beberapa tahap. Pertama, konsep kunci didefinisikan berdasarkan pertanyaan penelitian. Penulis membagi subjek dalam pertanyaan penelitian menjadi tema utama. Kami mengidentifikasi tiga konsep kunci dari pertanyaan penelitian: (1) aspek lingkungan, (2) ekologi kelautan, dan (3) pemangku kepentingan (*stakeholder*). Konsep-konsep kunci ini menjadi pedoman untuk ketentuan atau istilah penelusuran yang digunakan dalam tinjauan literatur sistematis. Dengan menemukan sinonim atau topik terkait untuk setiap konsep di Google Cendekia (Google Scholar), kami merumuskan ketentuan atau istilah penelusuran per konsep untuk membuat kueri yang sistematis. Ketentuan-ketentuan atau istilah-istilah penelusuran ini disempurnakan dengan melakukan beberapa penelusuran pendahuluan atau sederhana. Kami menggunakan teknik Boolean *operator*, teknik *wildcard*, dan teknik *proximity operator* untuk menyusun formula kueri, yang selanjutnya digunakan di Scopus dan Portal Garuda (database Indonesia).

Tahap kedua adalah seleksi dokumen melalui proses penyaringan (*screening*). Dari hasil penelusuran pada database tersebut di atas, penyaringan dilakukan terhadap judul dan/atau abstrak dokumen (artikel) terpilih untuk ditinjau berdasarkan kriteria yang telah disusun sesuai dengan lingkup objektif penelitian. Salah satu kriterianya adalah artikel tersebut dipublikasi setelah tahun 2000. Perangkat lunak manajemen referensi Endnote digunakan untuk mengelola hasil penelusuran dan dokumen terpilih. Selanjutnya, bibliografi yang relevan dari dokumen yang terpilih dilacak dan ditinjau untuk menemukan bahan pendukung untuk analisis. Pendekatan ini juga disebut sebagai metode *snowballing* atau *pearl gathering* (Wohlin, 2014). Skema alir pada Gambar 4.1 menunjukkan proses penyaringan (*screening*) hingga mendapatkan 130 artikel jurnal yang relevan.



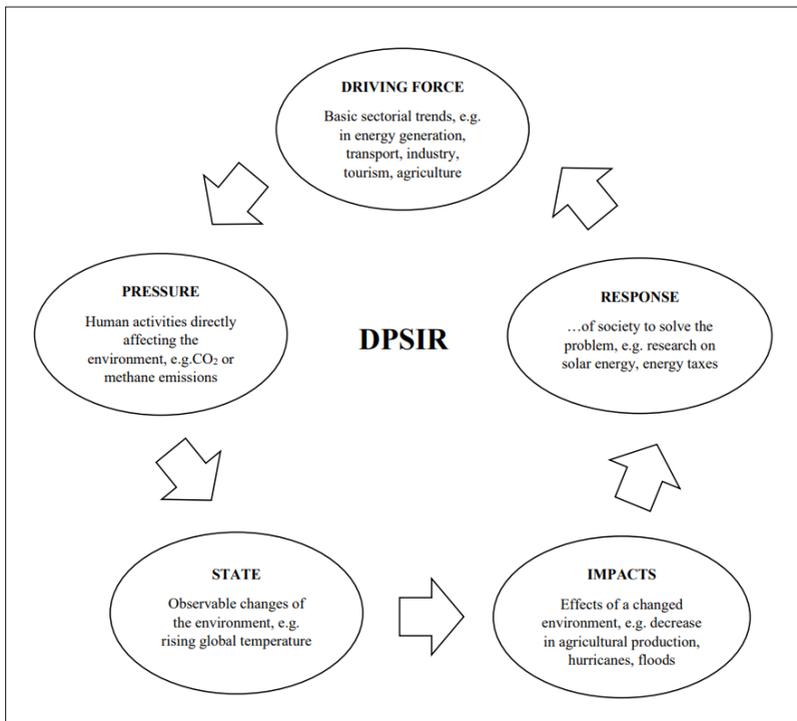
Sumber: Diadaptasi dari Moher et al. (2015).

Gambar 4.1 Proses *Screening* dalam *Systematic Literature Review*

Dari hasil SLR, aspek-aspek penting dipilih dan dianalisis lebih lanjut dengan konsep *driving forces, pressure, state, impact, response* (DPSIR). DPSIR adalah kerangka kerja kausal untuk menggambarkan interaksi antara masyarakat dan lingkungan. Dampak manusia terhadap lingkungan dan sebaliknya terjadi akibat saling ketergantungan dari banyak komponen, termasuk sistem sosio-ekologis. Kerangka kerja ini telah banyak digunakan dan dikembangkan untuk menilai dan mengelola masalah lingkungan di berbagai ekosistem. Berdasarkan Maxim et al. (2009) dan Patrício et al. (2016), DPSIR menggunakan komponen-komponen, sebagai berikut.

- 1) Penggerak (*driving forces*), yaitu perkembangan atau situasi sosial atau ekonomi yang mengarah pada tekanan atau menyebabkan masalah lingkungan.

- 2) Tekanan (*pressures*), yaitu intervensi sosial atau masyarakat yang mengarah pada perubahan keadaan (lingkungan).
- 3) Keadaan (*states*), yaitu kualitas lingkungan di atmosfer, biosfer, litosfer, atau hidrosfer.
- 4) Dampak (*impacts*), yaitu dampak sosial akibat perubahan (lingkungan) di suatu keadaan atau negara.
- 5) Tanggapan (*responses*), yaitu tanggapan sosial atau masyarakat yang memberi umpan balik pada kekuatan pendorong, tekanan, keadaan, atau dampak.



Sumber: Patricio et al. (2016)

Gambar 4.2 Evolusi Kerangka Kerja DPSIR

B. Penyebab Susut Hasil Produksi Ikan

Bab ini mengidentifikasi 17 aspek penyebab penurunan produksi ikan (*fish production*), kehilangan ikan (*fish losses*), dan penurunan konsumsi ikan (*fish consumption*) yang disebabkan dampak lingkungan (Gambar 4.3). Aspek tersebut terdiri dari tiga aspek penggerak (kurangnya penegakan kebijakan, teknologi serta energi, dan air bersih) yang memicu enam aktivitas (pengambilan keputusan nelayan, sanitasi kebersihan, pengolahan ikan, pariwisata, industri, dan sistem rantai dingin) yang memengaruhi delapan jenis tekanan lingkungan yang saling terkait (perubahan iklim, *the El Niño-Southern oscillation* (ENSO), polusi bahan kimia, ikan predator, eutrofikasi, jumlah fitoplankton, bencana alam, degradasi ekosistem). Tekanan-tekanan tersebut berkontribusi pada penurunan produksi ikan, kehilangan ikan saat pascapanen, dan penurunan konsumsi ikan pada tingkat konsumen.

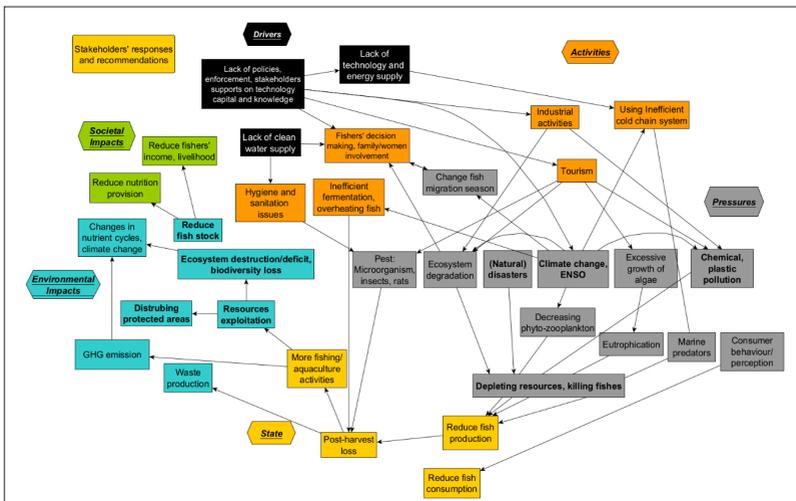
Tekanan lingkungan yang paling signifikan berasal dari perubahan iklim (termasuk osilasi bagian selatan El Niño dan variabilitas monsun) dan polusi bahan kimia, termasuk plastik (Handayani et al., 2019; Pasha et al., 2022; Puspasari et al., 2021). Perubahan iklim ditemukan memengaruhi banyak kegiatan dan memperburuk tekanan lingkungan lainnya, termasuk polusi bahan kimia.

Aspek signifikan lainnya adalah kurangnya kebijakan yang relevan, penegakan/pelaksanaan dan dukungan pemangku kepentingan (*stakeholder*) dalam pengelolaan pesisir dan laut yang berkelanjutan, terutama pada komponen teknologi, investasi modal, dan pengetahuan (Kementerian Pertanian, 2019; Orinaldi, 2020). Hal ini memengaruhi kemampuan nelayan dan masyarakat pesisir dalam mengambil keputusan pada kegiatan produksi ikannya.

Selain itu, aspek-aspek tersebut di atas berkontribusi pada peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian bencana (alam) yang mengganggu ekosistem laut, stok ikan, dan stabilitas masyarakat pesisir dalam produksi ikan. Faktor biologis, seperti paparan predator, hama, dan mikroorganisme; faktor kimia (air tercemar);

perubahan iklim; serta pencemaran lingkungan pascapanen selama transportasi dan pengolahan berkontribusi pada tingkat kehilangan ikan (Prayitno & Afdal, 2019; Naylor & Burke, 2005). Suhu permukaan laut yang meningkat akibat pemanasan global memperburuk proses pembusukan selama PHL (Diei-Ouadi & Mgawe, 2011).

Berkurangnya produksi ikan dan kehilangan ikan menyebabkan lebih banyak kegiatan penangkapan ikan dan akuakultur. Kehilangan pangan (*food loss*) meningkatkan frekuensi dan intensitas pemanfaatan/eksploitasi sumber daya produksi dan perluasan ke ekosistem laut/pesisir yang rentan oleh nelayan (Affognon et al., 2015). Kegiatan penangkapan ikan seperti *trawling* membutuhkan energi, mengeluarkan emisi, dan mengikis habitat bentik (Pauly et al., 2000). Hal ini membawa tujuh dampak lingkungan yang saling terkait (defisit ekologi, kehilangan biodiversitas, eksploitasi sumber



Keterangan: Tulisan tebal dengan garis bawah menunjukkan faktor penyebab dan dampak yang signifikan terhadap/dari (susut hasil) produksi ikan.

Gambar 4.3 Bagan Alir Hasil Identifikasi Penyebab dan Analisis Dampak Lingkungan dari Kehilangan Ikan (*Fish Losses*)

daya, emisi gas rumah kaca (GRK), limbah, gangguan pada kawasan lindung, perubahan siklus nutrisi). Dampak lingkungan yang paling signifikan adalah lebih banyak eksploitasi sumber daya (termasuk di kawasan konservasi perairan atau kawasan perlindungan laut lindung) yang menyebabkan degradasi/defisit ekosistem, hilangnya keanekaragaman hayati, dan berkurangnya stok ikan (van Beukering et al., 2010). Masing-masing aspek dan keterkaitannya dijelaskan sebagai berikut.

1. Tekanan Lingkungan (*Pressures*)

Berikut faktor-faktor tekanan lingkungan (*pressures*) yang menyebabkan susut hasil produksi ikan (*state*).

a. Polusi Bahan Kimia dan Plastik

Polutan kimia ditemukan sebagai penyebab paling signifikan dari kehilangan ikan dan kehilangan nutrisi dalam produk ikan. Hal ini ditemukan dalam banyak studi kasus. Pada subbab ini, akan disajikan beberapa di antaranya.

Kasus pertama pada escolar/gindara (*Lepidocybium flavobrunneum*), salah satu produk ikan ekspor di Indonesia. Sebuah studi menyelidiki kandungan logam terutama merkuri dan kromium pada ikan escolar yang dikumpulkan dari wilayah pengelolaan perikanan 573. Escolar dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu berat 4 kg, 8 kg, dan 12 kg. Analisis logam dilakukan pada daging (otot), hati, dan insang. Hasil studi menunjukkan bahwa kandungan kromium berkisar antara 0,04–0,08 ppm pada insang dan 0,09–0,66 ppm pada daging. Kandungan ini berbeda dengan kandungan merkuri yang bervariasi (0,02–3,87 ppm) di antara organ-organ dan kelompok berat ikan escolar. Terlihat bahwa hati mengandung merkuri lebih tinggi daripada organ-organ lain dari masing-masing kelompok berat. Berdasarkan nilai rata-rata, daging escolar dengan berat 8 kg mengandung merkuri paling rendah, yaitu 0,68 ppm. Hal ini sedikit berbeda dengan hati escolar yang mengandung 1,49 mg/kg (ppm) untuk kandungan merkurnya. Nilai ini di atas kandungan merkuri

pada ikan pada umumnya, yaitu 0,5 mg/kg (Ratnasari et al., 2018). Berdasarkan analisis faktorial, kandungan merkuri pada semua organ dan kelompok berbeda nyata ($p < 0,05$).

Kasus kedua terkait dengan kontaminasi radiokimia untuk suatu situasi yang diwakili oleh pelepasan seketika ^{90}Sr -oksida di lautan. Sebuah studi menyusun model kontaminasi radiobiotik yang didasarkan secara lebih realistis pada karakteristik organisme laut pesisir yang telah diketahui. Masalah yang timbul utamanya menyangkut perilaku organisme yang menetap dan penyerapan biologis selama kondisi pelepasan yang berkepanjangan. Hal ini membutuhkan penilaian kontaminasi radiokimia yang memadai (Vaughan & Strand, 1970).

Kasus ketiga ditemukan di Jawa Barat. Penggunaan bahan kimia berkontribusi terhadap kehilangan nutrisi (*nutritional loss*) dari produk ikan. Hasil studi menemukan bahwa dari 72 sampel laboratorium ikan asin, 42 di antaranya positif mengandung formalin. Sebanyak 21,9% dari total sampel yang positif adalah ikan teri (*Stolephorus tri*) yang dikirim dari beberapa tempat di Indonesia. Persentase formaldehida karsinogenik tertinggi pada ikan asin sangat penting (Surahman et al., 2019).

Kasus keempat terkait dengan toksisitas dari sistem rantai dingin yang tidak efisien, yaitu histamin. Histamin beracun bagi manusia dan bisa menjadi racun bagi lingkungan. Histamin dihasilkan dari ikan tuna, ikan cakalang, dan ikan tongkol selama sistem penyimpanan dan pendinginan yang buruk. Jika ikan yang terkontaminasi ini dibuang secara langsung ke lingkungan tanpa ada proses penanganan/ perlakuan, dapat menimbulkan dampak lingkungan juga, terutama jika dimakan oleh hewan lain atau mikrob.

Kasus terakhir adalah pencemaran plastik di Bali dan Sulawesi Selatan. Sebuah studi menemukan serangkaian faktor-faktor yang kompleks berkontribusi terhadap kebocoran plastik yang luas ke lingkungan laut. Standar hidup yang meningkat telah memungkinkan orang-orang di komunitas terpencil dengan sumber daya rendah untuk membeli lebih banyak barang plastik sekali pakai daripada sebelumnya. Sementara itu, geografi yang kompleks dan layanan

pengumpulan yang minim membuat pengelolaan sampah menjadi masalah yang sulit dan menyebabkan masyarakat sendiri yang menanggung dampak krisis plastik di laut. Tanpa akses ke produk-produk *biodegradable*, ramah lingkungan, dan sistem plastik sirkuler, masyarakat pesisir dan ekosistem laut sekitarnya akan terus dibanjiri sampah plastik (Phelan et al., 2020).

b. Perubahan Iklim

Perubahan iklim berpengaruh negatif pada berbagai aktivitas dan keadaan lingkungan yang berkaitan dengan kehilangan ikan (*fish losses*). Emisi karbon dioksida antropogenik diketahui mengubah siklus hidrologi, mengganggu ekosistem laut dan siklus hidup spesies, dan menyebabkan kehilangan habitat global (Malik et al., 2016).

Intensitas/frekuensi iklim lembap dan cuaca ekstrem (kekeringan, banjir, badai) dipengaruhi oleh perubahan iklim. Terjadinya situasi-situasi iklim tersebut pada saat panen ikan memengaruhi proses pascapanen. Tambahan lagi, Indonesia memiliki variabilitas iklim yang tinggi yang memengaruhi penanganan (dan kehilangan/*loss*) pascapanen.

Perubahan iklim berdampak pada ketersediaan ikan dan ketidakstabilan pasokan ikan (JP2GI, 2020). Ada bukti kuat bahwa perubahan iklim (yaitu kenaikan suhu laut, curah hujan, dan kelembapan) telah memengaruhi distribusi produksi ikan dan berimplikasi pada sektor kelautan perikanan tangkap. Sebuah studi menyelidiki hubungan antara perubahan iklim dan produksi ikan di Yogyakarta. Studi ini menganalisis data perubahan iklim dan hasil produksi ikan tahunan dari tahun 2016 hingga tahun 2017. Hasil studi menunjukkan bahwa ada korelasi yang signifikan antara perubahan iklim dan hasil atau tangkapan ikan tahunan dengan $r = 0,64$ dan $p = 0,013$. Selain itu, studi ini juga mengungkapkan adanya penurunan produksi ikan yang ditangkap dari 4.028 kg pada tahun 2016 menjadi 3.600 kg pada tahun 2017 atau selama satu tahun periode produksi (Sabihaini et al., 2020). Studi lain juga menemukan bahwa cuaca yang tidak dapat diprediksi pada tahun 2015 dan tahun 2016 memengaruhi perubahan

musim migrasi ikan tuna dan menyebabkan kurangnya hasil tangkapan (Karningsih et al., 2018).

Dampak perubahan iklim terhadap produksi ikan terkait dengan ketersediaan fitoplankton sebagai makanan/pakan ikan di laut. Sebuah studi menggabungkan model fisik-biogeokimia dengan model jaring makanan berbasis ukuran yang dinamis untuk memprediksi pengaruh perubahan iklim terhadap biomassa dan produksi ikan di sebelas laut beting daerah yang besar, dengan dan tanpa pengaruh penangkapan ikan. Hasilnya menunjukkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap perubahan produksi ikan ditunjukkan oleh perubahan produksi fitoplankton (Blanchard et al., 2012). Belum ada riset spesifik di Indonesia terkait dampak perubahan iklim pada fitoplankton dan produktivitas perikanan tangkap, tetapi beberapa studi menunjukkan adanya indikasi tersebut. Sejumlah riset menginvestigasi kualitas perairan pesisir berdasarkan indeks-indeks biologis fitoplankton, parameter fisik-kimia (suhu, kecerahan, salinitas, pH, *dissolved oxygen*/oksigen terlarut [DO], CO₂, *biological oxygen demand*/kebutuhan oksigen biologis [BOD]) dan hubungan kedua parameter tersebut. Perubahan iklim ditemukan memengaruhi parameter fisik kimia dan produksi fitoplankton. Di Pangandaran, Jawa Barat, ditemukan perubahan kualitas dan produktivitas perairan tawar, mangrove, dan estuari yang terjadi antara musim (Nurdiana et al., 2020). Pola yang sama juga ditemukan dari biomonitoring kualitas perairan pesisir Pantai Lembung, Pamekasan, menggunakan bioindikator fitoplankton (Amin & Purnomo, 2021). Pembahasan lebih lanjut mengenai fitoplankton disajikan di subbab berikutnya.

c. *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dan Variabilitas Monsun

Perubahan iklim meningkatkan frekuensi dan intensitas ENSO yang juga memengaruhi produksi ikan. ENSO adalah variasi periodik angin dan suhu permukaan laut yang tidak teratur di atas Samudra Pasifik bagian timur tropis, yang memengaruhi iklim sebagian besar wilayah tropis dan subtropis. Fase pemanasan suhu laut dikenal sebagai El Niño dan fase pendinginannya adalah La Niña.

ENSO memengaruhi beberapa fenomena alam, salah satunya Arus Humboldt Bagian Utara. Ekosistem Arus Humboldt Utara merupakan salah satu lingkungan yang paling produktif di dunia dalam hal produksi ikan. Lokasinya yang dekat dengan khatulistiwa memungkinkan terjadinya *upwelling* yang kuat di bawah angin yang relatif rendah sehingga menciptakan kondisi yang optimal bagi perkembangan komunitas plankton. Komunitas ini pada akhirnya mendukung populasi ikan pemakan tumbuhan yang melimpah, seperti teri Peru/*anchoveta* Peru (*Engraulis ringens*). Ekosistem juga bergantung pada variabilitas lingkungan tahunan yang kuat terkait dengan ENSO, yang memiliki pengaruh besar pada struktur nutrisi, produksi primer, dan tingkat trofik yang lebih tinggi. Perubahan kuantitas dan komposisi fitoplankton (misalnya kontribusi diatom, dinoflagellata, dan silicoflagellata) karena pengaruh intensitas *upwelling* penting dalam dinamika El Niño 1997–1998 dan tiga tahun berikutnya. Ekspansi dan migrasi populasi ikan mesopelagik selama El Niño penting untuk dinamika mobilitas pada tahun-tahun berikutnya. Perubahan laju penangkapan ikan adalah penggerak eksternal yang paling penting karena membantu menjelaskan dinamika yang diamati selama periode yang dimodelkan, terutama selama periode pasca-El Niño (Taylor et al., 2008). Kami menyoroti beberapa studi kasus tentang bagaimana ENSO dan fenomena terkaitnya memengaruhi produksi ikan.

Pengaruh ENSO terhadap perikanan ditemukan di Jawa Timur, Sulawesi Utara, Aceh, dan Sulawesi Selatan. Di Malang selatan, Jawa Timur, produksi tangkapan ikan cakalang berfluktuasi sejak fenomena ENSO terjadi. Kurangnya informasi tentang fenomena ENSO di kalangan nelayan menyebabkan produksi ikan kurang termanfaatkan sehingga jumlah ikan cakalang yang tertangkap selama ENSO lebih sedikit. Selama masa perubahan suhu yang ekstrem, seperti pada La Niña tahun 2016, terjadi pemutihan karang dan kematian ikan yang besar/tersebar luas (Handayani et al., 2019). Walaupun Selat Makassar memiliki karakteristik gelombang laut tinggi pada saat periode normal, kondisi El Niño dan La Niña tetap mempersulit nelayan

mencari ikan (Haiyqal et al., 2023). Di Sulawesi utara, fenomena ENSO berkorelasi dengan perubahan nilai anomali suhu perairan, salinitas, dan konsentrasi klorofil-a. *Catch per unit effort* (CPUE atau jumlah tangkapan dalam sekali usaha penangkapan) ikan karang dan beberapa ikan pelagis kecil naik ketika periode La Niña. Hubungan variabilitas lingkungan dan ENSO pada nilai CPUE ikan pelagis kecil dan ikan karang menunjukkan bahwa salinitas permukaan merupakan variabel yang paling berpengaruh pada nilai CPUE ikan pelagis kecil dengan hubungan yang positif, sedangkan untuk CPUE ikan karang sangat dipengaruhi oleh variabel salinitas kolom air dengan hubungan yang negatif. Dampak positif periode ENSO terhadap perikanan perlu mendapat perhatian dalam bentuk pengelolaan yang terarah untuk menghindari meningkatnya eksploitasi ketika periode La Niña terjadi, tentu dengan mempertimbangkan status stok sumber daya ikannya (Puspasari et al., 2021). Sementara itu, kondisi umum di perairan utara Aceh saat fenomena ENSO tidak mengalami perubahan suhu dan salinitas yang signifikan. Variabilitas suhu laut pada kondisi La Niña lebih tinggi daripada kondisi El Niño, sedangkan variabilitas salinitas yang terjadi pada kondisi El Niño lebih tinggi daripada La Niña. Hasil korelasi menunjukkan, saat kondisi La Niña, *southern oscillation index* (SOI) tidak memengaruhi variabilitas suhu, tetapi saat kondisi El Niño, SOI dapat memengaruhi suhu dengan tingkat hubungan kuat dan cenderung lemah saat La Niña. Namun, SOI tidak memengaruhi variabilitas salinitas, baik saat kondisi La Niña maupun El Niño, (Pasha et al., 2022)

d. Berkurangnya Fitoplankton

Perubahan iklim dan fenomena yang terkait dengan laut juga memengaruhi berkurangnya fitoplankton dan zooplankton sebagai makanan ikan di laut sehingga memengaruhi kelangsungan hidup ikan. Zooplankton berperan penting dalam ekosistem sebagai produsen sekunder. Diperkirakan bahwa pemanasan suhu laut akan menyebabkan biomassa fitoplankton dan zooplankton berkurang masing-masing sebesar 6% dan 11% (Chust et al., 2014).

Sistem Arus Humboldt Utara (NHCS) menghasilkan lebih banyak ikan per unit area dibandingkan wilayah mana pun di dunia. Meskipun sistem tersebut menghasilkan makrozooplankton yang cukup untuk mempertahankan produksi ikan pakan (ikan sebagai makanan/pakan ikan) yang tinggi, kurangnya informasi tentang makrozooplankton menghambat penelitian ke dalam sistem. Estimasi biomassa secara langsung dari makrozooplankton ini sesuai dengan temuan baru dalam ekologi trofik yang menunjukkan bahwa ikan pakan utamanya mengonsumsi makrozooplankton (Ballón et al., 2011).

Di Jakarta, sebuah studi menyelidiki variasi geografis dari kelimpahan zooplankton relatif terhadap tekanan antropogenik dengan jarak relatifnya ke daratan Jakarta. Secara keseluruhan, makin dekat ke daratan, zooplankton yang terkandung di perairan makin kaya nutrisi dan kelimpahannya makin tinggi. Namun, hasil yang berbeda ditemukan pada Pulau Pramuka, pulau terdekat dengan *main island* di antara lokasi lainnya, yang memiliki kelimpahan zooplankton yang paling rendah meskipun tingkat nutriennya paling kaya di antara yang lain. Hal ini menunjukkan pengaruh perubahan iklim terhadap keberadaan zooplankton (Faiqoh et al., 2015).

e. Predator Laut dan Ikan Karnivora

Keberadaan spesies predator memengaruhi jumlah stok/ketersediaan ikan di laut. Beberapa di antaranya memiliki manfaat bagi habitat laut meskipun manfaatnya telah dipertanyakan, terutama untuk ikan karnivora seperti ikan hiu dan ikan pari. Meski ikan-ikan ini mengancam status kerentanan beberapa spesies, hiu sangat berperan dalam menstabilkan struktur komunitas ikan di lingkungannya dengan mengendalikan ikan-ikan yang populasinya meningkat. Saat ini, kecenderungan perdagangan produk makanan berbahan ikan hiu dan ikan pari di Indonesia meningkat secara signifikan karena peran penting mereka sebagai sumber protein (Abdullah et al., 2020). Jenis ikan predator lainnya adalah *Arapaima gigas* di Sungai Brantas, Jawa Timur (Suryaningtyas, 2019). Ikan predator juga datang dari luar

perairan Indonesia ke daerah perbatasan. Masuknya ikan predator asing ke perairan lepas Indonesia berpotensi sebagai vektor penyakit, predasi, dan perusak jaring makanan yang akan berdampak sistemik terhadap ekosistem setempat. Salah satu ikan predator asing yang ditemukan adalah Jaguar Cichlid (*Parachromis managuensis*) asal Amerika Tengah di Sungai Lingsar Kabupaten Lombok Barat dan Pulau Jawa (Hasan & Widodo, 2021)

Selain itu, penelitian ekstensif tentang salmon telah menunjukkan bahwa budi daya ikan semacam itu dapat memiliki dampak (ruang) ekologis, sosial, dan kesehatan yang negatif. Penelitian serupa baru diinisiasi untuk spesies karnivora baru yang dibudidayakan atau ditenakkan di lingkungan laut, seperti ikan kod, ikan halibut, dan ikan tuna sirip biru (Naylor & Burke, 2005).

Saat ini, kerja sama Conservation International (CI) dan KKP secara lintas sektor, seperti tingkat nasional dan daerah, menghasilkan program inisiasi strategis pengelolaan hiu dan pari (Ulfah, 2022). Di Bone, Gorontalo, sejumlah strategi lokal juga diupayakan untuk mengintegrasikan wisata hiu dan pari serta perikanan tangkap (Olii, 2022).

f. Eutrofikasi

Aktivitas industri yang luas (termasuk pariwisata) dan populasi manusia yang padat di daerah pesisir berkontribusi pada pencemaran kawasan. Nutrien limbah dari manusia yang berlebihan, biasanya terdiri dari senyawa nitrogen dan fosfat, dikenal sebagai tekanan lingkungan utama di perairan pesisir. Nutrien-nutrien tersebut, terutama nitrogen dan fosfor, ketika ditambahkan ke badan air dapat bertindak seperti pupuk, menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan.

Sebuah studi menyelidiki tiga skenario pengelolaan nutrien yang menghasilkan perkembangan kontras dari konsentrasi oksigen dasar dan kelimpahan fitoplankton yang berpengaruh substansial pada produksi ikan. Pengurangan beban nutrien meningkatkan luasan spasial daerah yang sesuai untuk predator ikan demersal. Ikan demersal sangat berharga secara komersial (Bauer et al., 2018).

Pengaruh eutrofikasi ditemukan lebih tinggi di daerah Jawa dan Sumatra. Di Jakarta, ledakan populasi fitoplankton karena pengayaan nutrisi (eutrofikasi) telah dianggap sebagai faktor utama yang menyebabkan beberapa peristiwa kematian ikan besar-besaran di Teluk Jakarta. Sebuah studi menentukan variasi spasial kelimpahan fitoplankton berdasarkan konsentrasi klorofil-a dan hubungannya dengan komposisi dan kadar nutrisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a relatif lebih tinggi, di wilayah barat dibandingkan di wilayah timur Teluk Jakarta. Juga, wilayah barat terbukti memiliki kadar ortofosfat, nitrat, dan silikat yang tinggi sedangkan wilayah timur mengandung tinggi amonium dan nitrat. Analisis statistik menunjukkan bahwa klorofil-a memiliki korelasi signifikan tertinggi terhadap ortofosfat di wilayah barat dan klorofil-a tidak memiliki korelasi signifikan dengan nutrisi di wilayah timur. Terlihat bahwa fosfor adalah penentu utama variabilitas klorofil-a dengan konsentrasi ortofosfat lebih dari 0,028 mg P/L yang diperlukan untuk meningkatkan konsentrasi klorofil-a. Selain itu, konsentrasi ortofosfat yang rendah (0,014 mg P/L), yaitu di bawah persyaratan minimum untuk pertumbuhan fitoplankton maksimum, kemungkinan menjadi faktor penyebab tidak adanya hubungan klorofil-a dan nutrisi di wilayah timur. Singkatnya, fosfor tampaknya merupakan penentu eutrofikasi yang utama di Teluk Jakarta (Prayitno & Afdal, 2019). Di Purwakarta, pada keramba jaring apung di Waduk Djuanda, Jatiluhur, ditemukan kadar nitrat sebesar 3,7731–4,4998 mg/L, sedangkan kadar fosfat sebesar 0,0206–0,0956 mg/L. Berdasarkan kadar tersebut, terlihat bahwa sebagian besar daerah tersebut tergolong perairan mesotrofik (tingkat produktifitas menengah) (Adawiah et al., 2021). Pola yang sama juga ditemukan untuk kadar nitrat, nitrit, amonia, fosfat, dan BOD di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan (Putri et al., 2019).

Di Sulawesi Selatan, beberapa pulau yang menjadi pusat distribusi terumbu karang kemungkinan akan menghadapi risiko eutrofikasi dan sedimentasi dari aktivitas pertanian dan akuakultur secara intensif, terutama melalui transportasi nutrisi dan material yang dibuang ke

sistem sungai (Rani et al., 2018). Di Jeneponto, status kualitas perairan di Desa Palajau tergolong tercemar ringan, terlihat dari kandungan nitrat, fosfat, klorofil-a, amonia, DO, dan BOT yang melebihi standar baku mutu perairan sehingga dapat dikatakan bahwa limbah tambak udang super intensif memiliki sumbangsih terhadap masuknya bahan organik ke perairan, tetapi tidak memberikan pengaruh yang besar pada perairan. Kemudian, tingkat eutrofikasi dari limbah organik terhadap kualitas perairan di Desa Palajau masuk pada kategori oligotrofik atau tingkat eutrofikasi rendah (Lestari, 2021).

g. Bencana Alam

Beberapa bencana (alami) memengaruhi produksi ikan dan kehilangan ikan. Situasi ini lebih berisiko bagi Indonesia yang memiliki letak geografis rentan terhadap bencana alam. Risiko ini juga diperparah oleh perubahan iklim. Kami mengidentifikasi beberapa bencana terkait di bawah ini.

Pertama adalah gempa bumi dan tsunami. Tsunami tahun 2004 di Sumatra menghantam rantai pasok makanan, termasuk ikan (Disney, 2007). Gempa bumi dan tsunami menyebabkan kerusakan luas yang memengaruhi banyak wilayah perikanan. Beberapa gempa bumi disebabkan aktivitas gunung berapi yang juga merupakan masalah lingkungan luar biasa yang telah menyebabkan kehancuran besar-besaran dalam beberapa dekade terakhir.

Bencana kedua adalah angin kencang (Karningsih et al., 2018), badai tropis, dan badai/angin topan. Telah terjadi peningkatan jumlah badai yang kuat sejak tahun 1995. Hal ini memengaruhi habitat dangkal dan terlindung yang mendukung daerah lamun yang luas yang sebagian besar merupakan lapisan dangkal *Thalassium testudinum* (rumput penyu).

h. Gangguan Hama

Faktor biologis lain sebagai tekanan lingkungan adalah meningkatnya keberadaan hama, termasuk mikroorganisme, serangga, kucing, dan

tikus. Hal ini terkait dengan masalah kebersihan dan kurangnya perlindungan dari hama di unit penyimpanan dan pengolahan ikan. Peningkatan kontaminasi mikotoksin dan serangan serangga mempercepat pembusukan dan menyebabkan hilangnya/kehilangan produk ikan. Infeksi jamur juga sering terjadi selama proses penanganan dan penyimpanan. Serangga, tikus, dan mikrob (jamur, bakteri) mengonsumsi/menyebabkan infestasi pada ikan. Kurangnya perlindungan pada ruang penyimpanan ikan menyebabkan infestasi bakteri (misalnya *Dermestes*) yang menyebabkan kehilangan ikan secara fisik dan nutrisi yang signifikan.

Hama lainnya adalah patogen *Vibrio parahaemolyticus*, yaitu patogen makanan laut yang paling umum ditemukan. Insiden patogen bakteri penyebab keracunan makanan ini meningkat di beberapa negara. Peningkatan ini mungkin disebabkan oleh banyak faktor, seperti suhu air yang lebih hangat atau peningkatan konsumsi kerang mentah. Tantangan utama dalam membatasi infeksi dari patogen ini adalah bahwa *V. parahaemolyticus* merupakan anggota alami komunitas laut dan muara tempat makanan laut dipanen (Oliver & Jones, 2014).

Produksi ikan dapat sangat dipengaruhi oleh penyakit, terutama oleh *viral hemorrhagic septicemia* (VHS), yang disebabkan oleh VHS virus (VHSV) dari famili Rhabdoviridae. Virus ini diperhitungkan sebagai salah satu penyakit akibat virus yang paling merusak pada ikan di seluruh dunia (Escobar et al., 2018).

Selain itu, ikan beku dan produk perikanan yang diimpor dapat menjadi pembawa patogen ikan lintas batas yang selanjutnya dapat menimbulkan ancaman serius bagi penghuni ikan yang alami, keberlanjutan budi daya, kesehatan manusia, dan bisnis perikanan pada umumnya. Salah satu penyakit ikan lintas batas adalah *red seabream iridovirus disease* (RSIVD) yang disebabkan oleh RSIV (Novitasari et al., 2019).

i. Degradasi Ekosistem

Beberapa tekanan tersebut di atas berkontribusi pada degradasi ekosistem laut, terutama komunitas karang dan mangrove. Keberadaan ekosistem mangrove sangat erat kaitannya dengan tingkat produksi perikanan. Hal ini terutama disebabkan oleh peran mangrove sebagai tempat pemijahan, tempat mencari makan, dan tempat pembibitan/pembenihan untuk perikanan.

Sementara itu, dari hasil analisis regresi statistik ditemukan korelasi yang signifikan pada lahan penutup mangrove dan kelas kerapatan penutup mangrove terhadap total produksi ikan demersal. Data yang dianalisis dengan *Analytical Hierarchy Process* menunjukkan bahwa faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap penurunan tutupan mangrove dan produksi ikan demersal di Teluk Maumere adalah tsunami dan gempa bumi tektonik yang terjadi pada tanggal 12 Desember 1992. Di sisi lain, penentu utama peningkatan penutup mangrove dan produksi ikan demersal di Teluk Maumere adalah faktor lingkungan alam yang diperburuk oleh tekanan dari aktivitas manusia (Vincentius et al., 2018).

Degradasi ekosistem berdampak pada jangkauan/luasan dan kuantitas produksi perikanan. Pada tujuh negara Asia (Bangladesh, India, Malaysia, Filipina, Sri Lanka, Thailand, dan Vietnam) ditemukan dua tren berskala regional yang mengganggu, yaitu sumber daya perikanan pesisir yang sangat terkuras dan penangkapan ikan berlebihan secara biologis dan ekonomis di seluruh wilayah. Hal ini juga disebabkan oleh kurangnya pengelolaan kapasitas penangkapan ikan yang efektif di wilayah tersebut (Stobutzki et al., 2006).

2. Susut Hasil dan Penurunan Produksi Ikan (State)

Berbagai aktivitas dan tekanan lingkungan di atas menyebabkan penurunan produksi ikan dan kehilangan ikan pada tahap pascapanen. Pada bagian ini, kami menyoroti beberapa studi kasus tentang hal tersebut.

Sebuah studi menggunakan model rantai Markov untuk menganalisis dan memprediksi hasil tangkapan ikan demersal di seluruh wilayah pengelolaan perikanan Indonesia. Data hasil tangkapan di setiap wilayah pengelolaan perikanan (WPP) pada tahun 2005–2014 diperoleh dari Direktorat Perikanan Tangkap. Dari data ini, matriks probabilitas transisi ditentukan oleh jumlah transisi tangkapan yang berada di bawah atau di atas median. Selanjutnya, nilai prediksi hasil tangkapan ikan demersal diperoleh dengan menghitung kombinasi peluang pembatas dengan rata-rata hasil tangkapan di bawah dan di atas median. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prediksi hasil penangkapan ikan demersal jangka panjang di sebagian besar WPP berada di bawah nilai median untuk tahun 2018 (Firdaniza & Gusriani, 2018).

Studi lain menemukan korelasi hilangnya variasi genetik terhadap kehilangan nutrisi pada ikan mas (*Cyprinus carpio* L.) yang merupakan salah satu spesies akuakultur utama. Sebuah studi mengumpulkan stok ikan mas dari Indonesia dan Vietnam dalam serangkaian uji coba hasil budi daya untuk membuat populasi dasar dalam pengembangan program pemuliaan. Hasilnya menunjukkan terdapat perbedaan besar dalam struktur genetik antara stok ikan mas yang berbeda. Data dendrogram menunjukkan bahwa pengelompokan individu menurut stok dan variabel data yang sesuai mengungkapkan persen homologi dalam stok dan juga menemukan penanda yang berkorelasi dengan berat badan. Korelasi kehilangan nutrisi dan hilangnya variasi genetik akibat *inbreeding* umumnya terkait dengan kehilangan kekuatan dan fertilitas secara umum serta pengaruh dari depresi perkawinan sedarah pada stok penetasan (Basavaraju et al., 2007).

Biaya lingkungan dari kehilangan ikan sangat tinggi. Kehilangan ikan adalah bagian dari kehilangan dan pemborosan makanan (*food loss and waste*) yang merupakan kontributor utama terhadap perubahan iklim, menyumbang 8% emisi gas rumah kaca global setiap tahunnya (FAO, 2015). Situasi ini akan menambah kesulitan bagi pemerintah Indonesia untuk mencapai target SDG 12.3, yaitu

mengurangi 50% limbah dan kehilangan makanan serta mengurangi emisi darinya.

Kehilangan ikan juga menghambat transisi ke sistem pangan yang ramah lingkungan. Sistem pangan sirkuler diperlukan untuk menghindari dan meminimalkan kehilangan ikan.

a. Ancaman dari Jumlah Limbah Ikan yang Tinggi

Meningkatnya kehilangan ikan dan PHL menyebabkan masalah berupa pencemaran lingkungan pada lahan di wilayah pesisir. Akumulasi kehilangan ikan (yang mati/terbuang) dan limbah ikan memproduksi gas metana sebagai hasil dari proses anaerobik. Gas metana tersebut akan berdampak pada lapisan ozon yang dapat berkontribusi terhadap pemanasan global (Rachman & Septiana, 2020). Selain itu, limbah ikan dapat menyebabkan pencemaran karena proses penguraian protein ikan. Kotoran ikan dapat menjadi sumber penyakit menular bagi manusia yang ditularkan oleh lalat, misalnya diare dan muntah (Siswati et al., 2010). Masalah tersebut diperburuk oleh sikap dan kurangnya kemampuan beberapa masyarakat pesisir untuk menanganinya, misalnya mendaur ulang atau menggunakannya kembali untuk produk sampingan.

b. Intensifikasi Penangkapan: Eksploitasi dan *Destructive Fishing*

Susut hasil produksi ikan menyebabkan kebutuhan untuk melakukan lebih banyak kegiatan budi daya dan penangkapan ikan dengan teknik yang berbeda. Sebuah studi menemukan bahwa status ekosistem di wilayah pengelolaan perikanan di Indonesia dikategorikan buruk berdasarkan beberapa indikator, yaitu sumber daya ikan, habitat, sosial ekonomi nelayan, dan lain-lain. Tingkat pemanfaatan ikan pelagis kecil diklasifikasikan sepenuhnya tereksplorasi (KEPMEN-KP No. 47 Tahun 2016) dengan komoditas unggulan seperti ikan makerel, ikan kembung, dan ikan lemuru (Hakim et al., 2020). Eksploitasi sumber daya ini berkontribusi pada penipisan sumber daya dan beberapa dampak lingkungan, termasuk peningkatan emisi gas rumah kaca.

Perikanan jaring ikan (*trawl*) dasar tersebar luas dan menyebabkan kematian invertebrata benthik, yang pada saatnya nanti, dapat menyebabkan penurunan ketersediaan mangsa bagi spesies ikan target. Eksploitasi juga mengurangi kelimpahan spesies ikan itu sendiri. Studi pemodelan telah menunjukkan bahwa jaring ikan dasar dapat menyebabkan peningkatan dan penurunan produksi ikan.

Metode penangkapan ikan yang merusak lainnya adalah jaring tarik dan penggunaan dinamit yang menimbulkan masalah serius karena merusak habitat penting bagi ikan dan organisme lainnya. Dalam jangka panjang, ada kecenderungan sumber daya perikanan dipanen secara berlebihan (Jiddawi & Öhman, 2002). Selain itu, fenomena jaring hantu (*ghost net*), yaitu jaring yang ditinggalkan setelah penangkapan ikan, juga menimbulkan dampak lingkungan yang serius, terutama hilangnya keanekaragaman hayati.

Penggunaan alat tangkap cantrang juga menyebabkan lebih banyak hari penangkapan ikan, lebih banyak penggunaan sumber daya, dan lebih banyak emisi. Sebuah studi menunjukkan bahwa ada banyak ruang untuk meningkatkan keuntungan bersih alat tangkap cantrang dengan menambah jumlah hari penangkapan dan wilayah operasi di Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Lampung, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Selatan. Studi ini menemukan bahwa cantrang mekanis membutuhkan penambahan jumlah hari penangkapan untuk mencapai produksi yang optimal (Saksono et al., 2020). Pro dan kontra kebijakan pemerintah tentang penggunaan alat tangkap dan jaring perusak saat ini sedang didiskusikan oleh beberapa pemangku kepentingan (*stakeholders*).

c. Inefisiensi Unit Pengolahan Ikan

Makin banyak aktivitas penangkapan ikan maka akan makin banyak pula kegiatan di unit pengolahan ikan. Hal ini menimbulkan masalah baru seperti penurunan kualitas lingkungan. Indonesia melalui Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup memasukkan prinsip partisipatif sebagai salah satu prinsip dalam perumusan setiap kebijakan yang

berkaitan dengan lingkungan. Sebuah studi menganalisis tingkat partisipasi dan persepsi masyarakat dalam pengelolaan lingkungan di unit pengolahan ikan di Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. Persepsi masyarakat terhadap pengelolaan lingkungan ditemukan cukup baik, namun partisipasi masyarakat dalam pengelolaan lingkungan di kawasan unit pengolahan ikan di Kecamatan Kaliore masih tergolong rendah (Ayuningrum & Purnaweni, 2020).

Selain itu, perbedaan skala sarana penangkapan ikan juga berpotensi memengaruhi penggunaan input dan output serta dampak lingkungan yang ditimbulkan. Fasilitas penangkapan ikan berskala kecil membutuhkan energi dan menghasilkan emisi yang lebih tinggi untuk mengangkut 1 kg produk ikan segar dibandingkan fasilitas yang lebih besar. Namun, untuk setiap perjalanan, dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh skala tersebut lebih rendah dibandingkan fasilitas penangkapan ikan skala besar (Fatehah et al., 2016).

Sebuah studi menunjukkan bahwa usaha pengolahan ikan asin skala kecil di Kota Pekalongan masih belum efisien. Hal ini dinyatakan dengan nilai rata-rata efisiensi teknis, yaitu 0,73397. Dari kondisi tersebut, penambahan variabel input untuk meningkatkan hasil produksi yang optimal masih memungkinkan. Beberapa variabel yang dapat memberi pengaruh secara signifikan terhadap hasil produksi pengolahan ikan asin di antaranya adalah bahan baku, peralatan, dan luas usaha (Sutanto & Imaningati, 2014).

C. Dampak Susut Hasil Produksi Ikan

Ada dua jenis dampak negatif yang ditimbulkan dari susut hasil produksi ikan, yakni dampak lingkungan dan dampak sosial.

1. Dampak Lingkungan

Dampak Lingkungan dari susut hasil produksi ikan mencakup peningkatan emisi GRK, limbah dari proses produksi, perubahan siklus nutrien; kerusakan ekosistem perairan dan pesisir; kehilangan biodiversitas, dan gangguan terhadap kawasan laut lindung.

a. Peningkatan GRK, Limbah, dan Perubahan Siklus Nutrien

Pemanasan global merupakan kategori dampak terbesar yang ditimbulkan selama siklus hidup produk ikan segar dalam berbagai skala fasilitas perikanan tangkap. Makin banyak kegiatan penangkapan ikan akan menyebabkan makin banyak emisi dan produksi limbah. Armada penangkapan ikan nasional dengan emisi GRK keseluruhan terbesar berbasis di Tiongkok, Indonesia, Vietnam, Amerika Serikat, dan Jepang. Kelima negara ini menyumbang 37% dari pendaratan, 49% dari total emisi pada tahun 2011 dan bersama-sama menghasilkan 81 juta ton CO₂-eq (Parker et al., 2018).

Pertumbuhan produksi ikan yang berkelanjutan, perbaikan saluran distribusi, serta kurangnya kontrol dan ketertiban limbah yang dihasilkan di atas kapal juga berkontribusi terhadap penumpukan limbah dari kapal penangkap ikan. Oleh karena itu, pembuangan limbah ke laut oleh kapal penangkap ikan mengkhawatirkan dan harus disikapi (González-Zevallos et al., 2020).

Selain itu, penangkapan ikan berlebihan mengubah siklus nutrien. Produksi ikan global (penangkapan dan akuakultur) telah meningkat dengan cepat, yang telah mengubah aliran fosfor (P) global. Setelah tahun 1986, aliran P ke darat menurun secara signifikan dan menjadi negatif sekitar tahun 2004. Artinya, manusia menghabiskan lebih banyak P untuk memproduksi/budi daya ikan daripada P saat panen dalam kegiatan penangkapan ikan. Jalur ideal untuk kembali ke aliran P antropogenik yang seimbang akan membutuhkan rata-rata efisiensi penggunaan fosfor (rasio panen terhadap input P) budi daya yang lebih tinggi dari nilai saat ini, yaitu 20% menjadi setidaknya 48% pada tahun 2050 (Huang et al., 2020).

b. Perusakan Ekosistem dan Defisit Ekologi

Penangkapan ikan yang berlebihan memiliki pengaruh ekologis pada ekosistem perairan. Lebih banyak aktivitas penangkapan ikan akan menyebabkan lebih banyak kerusakan ekosistem. Ikan dengan riwayat hidup dan perilaku spasial yang bertentangan dengan pemanenan

dihilangkan secara selektif, baik di dalam maupun di antara spesies. Hilangnya spesies kunci dan penggantian sumber daya demersal bernilai tinggi dengan spesies pelagis, pergantian cepat, bernilai rendah mengubah sifat ekosistem, dibuktikan dengan percepatan kepunahan lokal dan penurunan tingkat trofik di seluruh dunia (Pitcher, 2001).

Penangkapan ikan yang berlebihan membawa kerusakan pada terumbu karang. Perikanan terumbu karang berkontribusi besar terhadap ketahanan pangan dan mata pencaharian masyarakat pesisir, yang merupakan sektor ekonomi termiskin dan paling rawan pangan. Ada juga potensi pertumbuhan yang signifikan dalam perikanan dekat pantai yang dapat ditangkap dengan bekerja untuk memulihkan ekosistem terumbu karang yang saat ini terdegradasi (Cabral & Geronimo, 2018). Penangkapan ikan berlebihan adalah salah satu faktor sebagai pemicu stres yang memengaruhi terumbu karang (Alvarez-Filip et al., 2011).

Potensi kerusakan lainnya adalah terhadap ekosistem lamun. Lamun membentuk ekosistem pesisir dengan produktivitas tinggi, menyediakan habitat bagi banyak organisme, termasuk spesies bernilai komersial. Mereka memainkan peran penting sebagai sumber makanan langsung untuk herbivor dan juga memasuki jaring makanan detritus (Vizzini, 2009).

Sebuah penelitian menunjukkan bahwa perikanan tangkap dan pengumpulan biota laut lainnya, baik spesies krustasea maupun moluska yang berasosiasi dengan ekosistem lamun dimanfaatkan langsung oleh masyarakat pesisir di Pulau Derawan, Kalimantan Timur, Indonesia (Kurniawan et al., 2020). Selain itu, mangrove juga terancam oleh aktivitas akuakultur. Ada aliran tinggi layanan ekosistem (makanan laut dan organisme umpan) dari badan air dan bakau (Owuor et al., 2017).

Singkatnya, penangkapan ikan berlebihan berkontribusi pada defisit jejak ekologis dan biokapasitas (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010). Rusaknya ekosistem laut dan pesisir akan memengaruhi

pemilihan lokasi pemijahan dan waktu reproduksi yang memengaruhi produktivitas stok dan struktur pada ikan laut (Lowerre-Barbieri et al., 2016).

c. Kehilangan Keanekaragaman Hayati

Perikanan tangkap yang intensif dan merusak ekosistem berkontribusi terhadap kehilangan keanekaragaman hayati di lingkungan laut. Perikanan tangkap yang intensif menyebabkan tangkapan sampingan (*bycatch*) yang dapat didefinisikan sebagai tangkapan insidental yang tidak ditargetkan, tetapi dipertahankan dan dipasarkan oleh nelayan. Ini adalah salah satu ancaman terbesar dan paling luas bagi kehidupan laut serta menimbulkan masalah besar dalam pengelolaan perikanan. Alat tangkap modern, praktik manajemen yang buruk, dan kebijakan perikanan yang tidak diterapkan adalah penyebab utama pendaratan dan pembuangan tangkapan sampingan. Contoh tangkapan sampingan termasuk lumba-lumba, penyu laut, burung laut, karang, bintang laut, hiu, ikan remaja, dan ikan kecil dengan sedikit atau tanpa nilai komersial.

Meskipun nilai tangkapan sampingan tinggi, kerugian telah diminimalkan dengan pemanfaatannya secara maksimal untuk makanan manusia dan pakan ternak. Di beberapa negara Asia Tenggara, seperti Myanmar, Thailand, Vietnam, semua *bycatch* dimanfaatkan secara maksimal. Tangkapan sampingan Asia dicirikan oleh keanekaragaman hayati yang kaya, termasuk sejumlah besar spesies ikan, udang, kepiting, cumi-cumi, sotong, dan udang terasi. Jumlah spesies ikan berkisar antara 30 hingga lebih dari seratus (Sultana et al., 2014).

Hewan yang lepas dari alat tangkap atau dibuang dari kapal sering dipindahkan dari habitat yang sesuai untuk berlindung dan mungkin mengalami pemangsa di dekat permukaan laut dan di kolom air (Subehi et al., 2017). Berdasarkan data FAO, tangkapan sampingan dibuang sekitar 27 juta ton setiap tahun, secara global. Sebagian hasil tangkapan sampingan dimanfaatkan dan sebagian lagi dibuang bersama limbah lainnya dari kegiatan penangkapan ke perairan (Taurusman et al., 2020).

Semua perikanan tangkap, tangkapan sampingan, dan buangan yang diintensifkan berkontribusi pada pengurangan stok ikan (Hilborn et al., 2020). Hal ini ditemukan di Riau dan Sulawesi Tenggara. Di Bengkalis, Riau, *Sergeles similis* merupakan spesies yang dominan tertangkap oleh alat tangkap gombang (98,455%). Hasil tangkapan utama untuk *Escualosa thoracata* mencapai 1,354%. Selain itu, hasil tangkapan utama, yaitu *Metapenaeus monocerus*, *Parapenaeopsis* sp., *Panulirus* sp., dan *Paneeus monodon* tertangkap dengan persentase hasil tangkapan berkisar 0,011%–0,024%. Persentase hasil tangkapan sampingan mencapai 0,04%–0,00004% dari 24 spesies yang tertangkap dan hasil tangkapan yang dibuang berkisar 0,001%–0,0005% dari tiga spesies yang tertangkap (Nofrizal et al., 2018). Di perikanan rajungan Teluk Lasongko dan Kendari, Sulawesi Tenggara, ditemukan 67 jenis ikan *bycatch*, yang terdiri dari 41 jenis bernilai ekonomis dan 26 jenis dibuang (38% jenis) (Hamid & Kamri, 2019)

d. Gangguan terhadap Kawasan Laut Lindung

Eksplorasi sumber daya laut yang berlebihan dan degradasi ekosistem juga mencapai kawasan perlindungan laut. Berkurangnya produksi ikan dan tingginya kehilangan ikan menyebabkan sebagian nelayan mengeksploitasi lebih banyak kawasan termasuk kawasan lindung, untuk mendapatkan hasil yang lebih banyak.

Ekosistem laut memainkan peran penting dalam penghidupan banyak orang di wilayah segitiga terumbu karang. Ada peningkatan penekanan di kawasan ini pada penggunaan kawasan konservasi perairan (KKP) sebagai alat pengelolaan dan konservasi perikanan (van Beukering et al., 2010).

KKP memainkan peran penting untuk mencapai konservasi keanekaragaman hayati, tujuan pengelolaan perikanan, dan sebagai alat utama untuk pendekatan ekosistem untuk pengelolaan perikanan (*ecosystem approach to fisheries management/EAFM*). Pemerintah Indonesia sudah mengalokasikan 28,08 juta hektare atau 377 kawasan konservasi dengan luas 12,9 juta hektare atau sebanyak 64 kawasan konservasi (Rusandi et al., 2021), tetapi hasilnya masih belum optimal.

Indeks *overfishing* di KKP lebih rendah dibandingkan indeks perairan pada tingkat kabupaten dan WPP. Pembentukan KKP memiliki dampak signifikan terhadap penurunan indeks *overfishing*. Saat ini pemerintah memperluas kawasan KKP di Indonesia (Yunanto et al., 2018). Pada tahun 2020, tutupan karang secara keseluruhan telah meningkat dari 42% menjadi 45% di semua KKP (Ceccarelli et al., 2022).

Namun, sejumlah studi lain, termasuk di Papua dan Maluku, menunjukkan hasil yang berbeda. Rata-rata biomassa ikan target di area KKP telah mengalami penurunan signifikan sekitar 48%, yaitu menurun sebesar 1.709 kg per hektare pada tahun 2017 menjadi 884 kg per hektare pada tahun 2020. Penurunan yang besar dan signifikan pada banyak famili ikan sasaran di berbagai KKP mencerminkan tingkat eksploitasi yang tidak berkelanjutan (Ceccarelli et al., 2022). Di Kaimana, Papua, hasil monitoring kesehatan karang tahun 2019 menunjukkan bahwa secara umum, jenis dan jumlah ikan yang ditemukan relatif sedikit dan lebih rendah jika dibandingkan kawasan konservasi lain, seperti Bentang Laut Kepala Burung. Beberapa titik penyelaman seperti Reef Keramat, Reep Taruri 2, Buka Karu, Saban Reef, dan Niney tercatat memiliki jumlah ikan yang relatif lebih banyak jika dibandingkan titik penyelaman lainnya. Sedikitnya jumlah dan jenis ikan yang ditemukan pada saat penyelaman diperkirakan akibat penangkapan ikan yang berlebihan dari nelayan luar (Purwanto, *et.al.*, 2019). *Destructive fishing* juga masih terjadi di kawasan konservasi laut Pulau Pombo Provinsi Maluku di mana ditemukan delapan jenis alat tangkap yang termasuk dalam empat kategori, yaitu (1) sangat ramah lingkungan (pancing), (2) ramah lingkungan (bubu, jaring insang permukaan), (3) merusak (jala, jaring insang dasar), dan (4) sangat merusak (bom, bius, dan bameti) (Latuconsina, 2010). Hal yang sama juga ditemukan di Raja Ampat, penangkapan ikan dengan bahan peledak, sianida, dan “orang luar” dianggap sebagai penyebab penurunan jumlah ikan dan ancaman berkelanjutan terbesar terhadap sumber daya perikanan (Larsen et al., 2018).

Sebuah studi kasus di Kalimantan Timur menunjukkan bahwa belum ada lembaga yang bertanggung jawab untuk mengelola KKP. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014, Pemda masih memiliki peluang untuk mengelola KKP meskipun kawasan ini menjadi kewenangan Pemprov. Kewenangan Kota Bontang (sebuah kota di Provinsi Kalimantan Timur) untuk mengelola KPP masih melekat pada beberapa instansi pemerintah daerah, seperti Badan Lingkungan Hidup, Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa, dan Dinas Perikanan (Solihin et al., 2020).

2. Dampak Sosial

Perubahan iklim berdampak besar pada keamanan pangan global, kesehatan manusia, dan pembangunan ekonomi, khususnya di wilayah pesisir (Panjaitan et al., 2016). Potensi penurunan daya dukung laut untuk mendukung produksi ikan pada masa mendatang mengancam persediaan nutrisi bagi masyarakat dan kesejahteraan masyarakat pesisir, khususnya keluarga nelayan.

Kajian di Sumenep dan Bengkulu menemukan bahwa nelayan tangkap laut sangat rentan terhadap perubahan iklim karena memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap sektor perikanan tangkap. Penurunan produksi ikan akibat perubahan iklim tentunya akan menurunkan produktivitas mata pencaharian dan tingkat pendapatan nelayan sehingga meningkatkan kerentanan mata pencaharian mereka (Mulyasari et al., 2020). Di Sumenep, perubahan iklim dan dampaknya telah dirasakan oleh masyarakat di Kecamatan Bluto. Dampak yang dirasakan oleh masyarakat, antara lain berkurangnya pendapatan untuk mencukupi kebutuhan ekonomi mereka karena selain berkurangnya hasil dari laut sebagai nelayan, juga tidak bisa memperoleh tambahan dari darat karena tidak bisa menanam tembakau. Strategi adaptasi yang dilakukan oleh nelayan adalah melakukan budi daya rumput laut dan bertanam cabai jamu (Indrawasih, 2015).

Kemampuan adaptasi nelayan terhadap memori kelembagaan sangat terbatas karena hanya memiliki pengetahuan lokal sebagai nelayan dan tidak memiliki pengetahuan atau keterampilan lainnya. Kemiskinan, tingkat pendidikan yang rendah, dan rendahnya keterhubungan atau *bridging relation* turut menyebabkan terbatasnya memori institusional yang mengakibatkan rendahnya kemampuan beradaptasi (pembelajaran inovatif) terhadap perubahan lingkungan. Sesungguhnya, para nelayan mengetahui bahwa perubahan iklim berdampak pada musim yang tidak menentu dan menurunkan hasil tangkapan di laut. Namun, para nelayan tetap bekerja seperti biasa untuk mendapatkan uang walaupun tidak bisa memenuhi kebutuhan keluarga. Tidak ada aksi kolektif dari komunitas nelayan untuk menciptakan aktivitas baru terkait mata pencaharian yang lebih adaptif terkait perubahan iklim (Panjaitan et al., 2016).

Dampak sosial makin besar ketika nelayan memiliki kemampuan adaptasi yang rendah. Hal ini ditemukan di Bengkulu, Jawa Timur, dan Jawa Tengah. Di Bengkulu, hanya sedikit nelayan yang melakukan tindakan adaptasi. Keterbatasan pemahaman mereka tentang perubahan iklim dan dampaknya membatasi kemampuan strategi mereka beradaptasi terhadap perubahan iklim (Irawan et al., 2022). Di Probolinggo, dampak perubahan iklim membuat nelayan mengalami permasalahan sosial ekonomi. Dalam persoalan ekonomi, masyarakat nelayan tidak dapat memenuhi kebutuhan hidup dan rentan terhadap kemiskinan. Nelayan tidak dapat menentukan musim yang terjadi karena cuaca yang tidak dapat diprediksi, jarak yang ditempuh untuk mencari ikan lebih jauh, dan sumber daya perikanan berkurang (Ulfa, 2018). Sementara itu, di Jawa Tengah, sejak tahun 2015, rumah nelayan mengalami dampak dari perubahan iklim berupa kenaikan muka air laut, banjir rob, dan perubahan cuaca. Tahun 2020, kenaikan muka air laut telah menggenangi rumah warga dan fasilitas umum sepanjang hari. Adaptasi nelayan Desa Pecakaran terhadap banjir rob masih sebatas adaptasi fisik rumah (Maurizka & Adiwibowo, 2021).

Situasi tersebut diperparah dengan kenyataan bahwa kerentanan masyarakat pesisir tidak hanya disebabkan oleh penurunan produksi ikan dan perubahan iklim, tetapi juga karena tekanan lain, seperti penambangan pasir dan nelayan nonlokal. Selain itu, penurunan produksi ikan akan menjadi ancaman nyata terhadap penyediaan nutrisi dari ikan sebagai sumber utama protein hewani.

D. Penutup

Bab ini mengemukakan 17 aspek terkait penyebab dari lingkungan terhadap penurunan produksi ikan, kehilangan ikan, dan penurunan konsumsi ikan. Aspek tersebut terdiri dari tiga aspek penggerak (kurangnya kebijakan yang relevan, teknologi serta energi, dan air bersih) yang memicu enam aktivitas (pengambilan keputusan nelayan, sanitasi kebersihan, pengolahan ikan, pariwisata, industri, dan sistem rantai dingin). Kurangnya kebijakan yang relevan, penegakannya, dan kesenjangan spasial dalam pengelolaan pesisir dan laut yang berkelanjutan oleh pemangku kepentingan, terutama pada komponen teknologi, investasi modal, dan pengetahuan memengaruhi kemampuan nelayan dan masyarakat pesisir dalam mengambil keputusan dalam kegiatan produksi ikannya. Enam aktivitas di atas berkontribusi pada delapan jenis tekanan lingkungan yang saling terkait (perubahan iklim, ENSO, polusi bahan kimia, ikan predator, eutrofikasi, jumlah fitoplankton, bencana alam, degradasi ekosistem). Tekanan lingkungan yang paling signifikan datang dari perubahan iklim (ENSO dan variabilitas monsun) dan polusi kimia (termasuk plastik). Perubahan iklim ditemukan memengaruhi banyak kegiatan dan memperburuk tekanan lingkungan lainnya, termasuk polusi kimia.

Tekanan-tekanan lingkungan di atas berkontribusi pada peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian bencana alam yang mengganggu ekosistem laut, stok ikan, dan stabilitas masyarakat pesisir dalam produksi ikan. Selain itu, tekanan-tekanan tersebut juga berkontribusi pada penurunan produksi ikan, kehilangan ikan pascapanen, dan penurunan konsumsi ikan di tingkat konsumen. Berkurangnya

produksi ikan dan kehilangan ikan (*fish losses*) menyebabkan lebih banyak kegiatan penangkapan ikan dan aktivitas budi daya yang menyebabkan tujuh dampak lingkungan yang saling terkait. Dampak lingkungan yang paling signifikan adalah lebih banyak eksploitasi sumber daya (termasuk di KKP) yang menyebabkan degradasi/defisit ekosistem, hilangnya keanekaragaman hayati, dan berkurangnya stok ikan. Aspek-aspek tersebut berpotensi menurunkan produksi ikan, persediaan nutrisi, dan kerentanan masyarakat pesisir (termasuk mata pencaharian dan pendapatan mereka), pada masa depan. Proses ini akan terjadi dalam lingkaran dan memberikan dampak terburuk jika tidak dicegah.

Berikut adalah beberapa rekomendasi yang dapat ditempuh sebagai hasil dari pembahasan pada bab ini.

- 1) Menegakkan implementasi pendekatan *ecosystem approach to fisheries* (EAF) (terutama untuk ikan kerapu dan kakap) dengan konsensus mengenai kepastian ruang lingkup indikator, perbaikan dan integrasi tata kelola institusi, serta SDM untuk mengurangi kapasitas penangkapan ikan di daerah dengan defisit ekologis. Strategi harus spesifik sesuai area, misalnya, secara eksplisit mengalokasikan hak antara perikanan skala kecil dan industri.
- 2) Membuat pedoman yang dapat digunakan untuk memprioritaskan penempatan terumbu karang buatan sebagai bagian dari program pengelolaan pesisir, memandu optimalisasi penyebaran, dan pengelolannya. Pengembangan pengelolaan perikanan yang menargetkan organisme pendatang yang merambat ke wilayah baru dan strategi evolusi dan migrasi terbantu untuk memfasilitasi dominasi pembentuk habitat besar, seperti karang atau rumput laut, serta integrasi dengan ekowisata (mangrove) dan pengikutsertaan masyarakat.
- 3) Menjamin keberlanjutan program-program perikanan berkelanjutan (Aquaculture Stewardship Council, Marine Stewardship Council, dan lain-lain). Pemerintah mengadopsi dan meng-

- hubungkan konsensus kemitraan dengan industri, ilmuwan, organisasi nonpemerintah, dan pemangku kepentingan lainnya.
- 4) Menghubungkan kebijakan perlindungan laut dengan kebijakan pemerintah tentang subsidi pestisida dan pupuk di sekitar kawasan konservasi laut. Meningkatkan program pengendalian hama terpadu oleh pemerintah provinsi dan kabupaten (mengikuti panduan dari Badan Ketahanan Pangan Kementerian Pertanian) dan mengintegrasikannya dengan sistem manajemen gudang baru yang diusulkan oleh Asosiasi Rantai Pendingin Indonesia (ARPI).
 - 5) Mencari praktik manajemen terkait EAF seperti penempatan terumbu karang buatan yang dapat mengurangi perubahan struktural dan fungsional yang diprediksi atau memanfaatkan peluang baru yang mungkin muncul di terumbu karang yang mengalami perubahan.
 - 6) Penguatan institusi kawasan konservasi perikanan (KKP) lokal, dalam jangka pendek, melalui pembentukan kelompok kerja yang melibatkan pemerintah provinsi dan pemerintah kota/kabupaten. Sementara itu, dalam jangka panjang, antara lain mendirikan institusi baru, yaitu unit pelaksana teknis di bawah Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi. Pengembangan sistem zonasi KKP dengan mempertimbangkan alokasi optimal keberadaan ekosistem yang menjamin proses metabolisme alami dari sistem perikanan di teluk. Meningkatkan keterlibatan pemangku kepentingan dalam pengelolaan KKP dan pantai terpadu, melibatkan masyarakat di wilayah pesisir, menciptakan peluang kerja baru menggunakan skema mikro Kredit, dan menciptakan kesadaran lingkungan di kalangan warga desa.
 - 7) Meningkatkan program pelatihan bagi keluarga nelayan, minimal sekali dalam satu musim panen/periode tangkap, dengan *exit strategy* di akhir program. Materi pelatihan yang diberikan, antara lain
 - a) EAF, termasuk keuntungan keberadaan ekosistem terumbu karang yang sehat dan *good fishing practices*;

- b) pelatihan *climate adaptation*; mengoptimalkan penggunaan teknologi (*big data* terkait perubahan iklim, memonitor kondisi laut, eutrofikasi) untuk *precision capture fisheries* bagi kelompok nelayan;
 - c) keterlibatan perempuan dalam rantai nilai perikanan, yaitu dalam hal pengambilan keputusan, perencanaan konservasi, dan perikanan; memberikan hak, pengakuan, perlindungan (*wellbeing*), dan pemberdayaan perempuan nelayan dengan membuka akses bagi perempuan nelayan untuk mendapatkan kartu nelayan;
 - d) cara pengolahan ikan yang baik dan benar dengan memanfaatkan teknologi pada kelompok pengolah ikan melalui pengabdian kepada masyarakat untuk memberikan keterampilan dan pengetahuan tentang mutu serta sanitasi dan hygiene di seluruh tahapan proses pengolahan ikan, proses dimulai dari penerimaan bahan baku, penyiangan, pencucian, penyusunan dalam wadah, perebusan, pendinginan/penirisan, dan pengepakan; memahami pengaruh faktor lingkungan, seperti perubahan iklim dan deforestasi terhadap pengolahan ikan;
 - e) pengembangan inovasi sosial untuk merubah perilaku nelayan terkait *bycatch*.
- 8) Memperbaiki sistem logistik di rantai pasok:
- a) mengoptimalkan Sistem Logistik Ikan Nasional (SLIN) dengan mendukung sinergi antara semua entitas yang terlibat dalam setiap aktivitas mulai dari hulu (sisi produksi) hingga hilir (sisi konsumsi) untuk mengatasi kendala faktor musiman, keterpencilan, serta karakteristik komoditas ikan yang rusak;
 - b) menciptakan komitmen untuk mendukung konsep konektivitas antarwilayah, yaitu menyediakan pasokan secara berkelanjutan, memanfaatkan potensi secara optimal, dan mengoordinasikan integrasi ketersediaan ikan di pusat-

- pusat produksi dan/atau pusat-pusat pengumpulan atau pusat distribusi;
- c) menambah fasilitas dan infrastruktur pelabuhan ikan, melakukan integrasi antara pelabuhan ikan, dan menambah diversifikasi produk.
- 9) Menerapkan kebijakan pengelolaan limbah plastik, membuat bank plastik/limbah, mendukung pembuatan infrastruktur daur ulang, membayar tarif premium untuk limbah plastik, serta memastikan pendapatan yang konsisten dan layak bagi para pengumpulnya.
 - 10) Kerja sama antara KKP, KESDM, dan sektor swasta untuk mengembangkan dan memastikan pasokan energi terbarukan di daerah pesisir dan perikanan.
 - 11) Penelitian lanjutan untuk kasus spesifik di daerah tertentu guna melihat *system dynamics* dari aspek sosial dan lingkungan terhadap sumber daya ikan.

Referensi

- Abdullah, A., Nurilmala, M., Muttaqin, E., & Yulianto, I. (2020). DNA-based analysis of shark products sold on the Indonesian market towards seafood labelling accuracy program. *Biodiversitas*, 21(4), 1385–1390. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210416>
- Adawiah, S. R., Amalia, V., & Purnamaningtyas, S. E. (2021). Analisis kesuburan perairan di daerah keramba jaring apung berdasarkan kandungan unsur hara (nitrat dan fosfat) di Waduk Ir. H. Djuanda, Jatiluhur Purwakarta. *Jurnal Kartika Kimia*, 4(2), 96–105. <https://doi.org/10.26874/jkk.v4i2.90>
- Affognon, H., Mutungi, C., Sanginga, P., & Borgemeister, C. (2015). Unpacking postharvest losses in Sub-Saharan Africa: A meta-analysis. *World Development*, 66, 49–68. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.08.002>

- Alvarez-Filip, L., Côté, I. M., Gill, J. A., Watkinson, A. R., & Dulvy, N. K. (2011). Region-wide temporal and spatial variation in Caribbean reef architecture: Is coral cover the whole story? *Global Change Biology*, 17(7), 2470–2477. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02385.x>
- Amin, A., & Purnomo, T. (2021). Biomonitoring kualitas perairan pesisir Pantai Lembung, Pamekasan menggunakan bioindikator fitoplankton. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 10(1), 106–114. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v10n1.p106-114>
- Ayuningrum, T. V., & Purnaweni, H. (2020). Study level of community participation in environmental management in fish processing units (Case study: Kaliore District, Rembang Regency). *E3S Web Conf.*, 202, Artikel 06029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020206029>
- Ballón, M., Bertrand, A., Lebourges-Dhaussy, A., Gutiérrez, M., Ayón, P., Grados, D., & Gerlotto, F. (2011). Is there enough zooplankton to feed forage fish populations off Peru? An acoustic (positive) answer. *Progress in Oceanography*, 91(4), 360–381. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.03.001>
- Basavaraju, Y., Prasad, D. T., Rani, K., Kumar, S. P., Naika, U. D., Jahageerdar, S., Srivastava, P. P., Penman, D. J., & Mair, G. C. (2007). Genetic diversity in common carp stocks assayed by random-amplified polymorphic DNA markers. *Aquaculture Research*, 38(2), 147–155. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01639.x>
- Bauer, B., Markus Meier, H. E., Casini, M., Hoff, A., Margoński, P., Orío, A., Saraiva, S., Steenbeek, J., & Tomczak, M. T. (2018). Reducing eutrophication increases spatial extent of communities supporting commercial fisheries: A model case study. *ICES Journal of Marine Science*, 75(4), 1306–1317. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy003>
- Blanchard, J. L., Jennings, S., Holmes, R., Harle, J., Merino, G., Allen, J. I., Holt, J., Dulvy, N. K., & Barange, M. (2012). Potential

- consequences of climate change for primary production and fish production in large marine ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1605), 2979–2989. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0231>
- Cabral, R. B., & Geronimo, R. C. (2018). How important are coral reefs to food security in the Philippines? Diving deeper than national aggregates and averages. *Marine Policy*, 91, 136–141. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.02.007>
- Ceccarelli, D. M., Lestari, A. P., Fnu, R., & White, A. T. (2022). Emerging marine protected areas of eastern Indonesia: Coral reef trends and priorities for management. *Marine Policy*, 141(2), Artikel 105091. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105091>
- Chust, G., Allen, J. I., Bopp, L., Schrum, C., Holt, J., Tsiaras, K., Zavatarelli, M., Chifflet, M., Cannaby, H., Dadou, I., Daewel, U., Wakelin, S. L., Machu, E., Pushpadas, D., Butenschon, M., Artioli, Y., Petihakis, G., Smith, C., Garcon, V.,...Irigoiien, X. (2014). Biomass changes and trophic amplification of plankton in a warmer ocean. *Global Change Biology*, 20(7), 2124–2139. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.12562>
- Dewey, A., & Drahota, A. (2016). *Introduction to systematic reviews: online learning module*. Cochrane Training.
- Diei-Ouadi, Y., & Mgawe, Y. I. (2011). *Post-harvest fish loss assessment in small-scale fisheries: A guide for the extension officer* (Technical Paper 559). FAO Fisheries and Aquaculture. <https://www.fao.org/3/i2241e/i2241e.pdf>
- Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap. (2022, 30 Juni). Program penangkapan ikan terukur diminati investor. Kementerian Kelautan dan Perikanan RI. <https://kkp.go.id/djpt/artikel/41871-program-penangkapan-ikan-terukur-diminati-investor>
- Disney, L. (2007). Wave of relief: the power of public-private partnership in speeding critical supplies to tsunami-ravaged villages. *Industrial Engineer*, 39(2), 24–29. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-40249091386&partnerID=40&md5=809f2f064c0b0f9121c10714703bccab>

- Escobar, L. E., Escobar-Dodero, J., & Phelps, N. B. D. (2018). Infectious disease in fish: Global risk of viral hemorrhagic septicemia virus. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 28(3), 637–655. <https://doi.org/10.1007/s11160-018-9524-3>
- Faiqoh, E., Ayu, I. P., Subhan, B., Syamsuni, Y. F., Anggoro, A. W., & Sembiring, A. (2015). Variasi geografik kelimpahan zooplankton di perairan terganggu, Kepulauan Seribu, Indonesia. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 1(1), 19–22. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jmas/article/view/16663/10937>
- Fatehah, L., Suwondo, E., Guritno, A. D., & Supartono, W. (2016). Life cycle assessment of fresh fish product in various scale of capture fisheries facilities. *AIP Conf. Proc.* 1755, Artikel 130017. <https://doi.org/10.1063/1.4958561>
- Firdaniza, & Gusriani, N. (2018). Markov chain model for demersal fish catch analysis in Indonesia. Dalam *IOP conf. ser.: Mater. sci. eng.* (332, Artikel 012022). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/332/1/012022>
- González-Zevallos, D. R., Góngora, M. E., & Romero, C. D. (2020). Socio-environmental approach with emphasis on solid waste generated by the fishing fleet of rawson, Argentine Patagonia. *Interciencia*, 45(3), 142–149.
- Haiyqal, S. V., Ismanto, A., Indrayanti, E., & Andrianto, R. (2023). Karakteristik tinggi gelombang laut pada saat periode normal, El Niño dan La Niña di Selat Makassar. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(1), 190–202. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i1.17003>.
- Hakim, A. A., Kurniavandi, D. F., Mashar, A., Butet, N. A., Zairion, Maduppa, H., & Wardiatno, Y. (2020). Study on stock structure of Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta* Cuvier, 1816) in fisheries management area 712 of Indonesia using morphological characters with truss network analysis approach. Dalam *IOP conf. ser.: Earth environ. sci.* (414, Artikel 012006). <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/414/1/012006>.
- Hamid, A., & Kamri, S. (2019). Keanekaragaman jenis ikan hasil tangkapan sampingan (*Bycatch*) perikanan rajungan di Teluk

- Lasongko dan Kendari Sulawesi Tenggara. *Marine Fisheries*, 10(2), 215–224. <https://doi.org/10.29244/jmf.v10i2.30855>
- Handayani, C., Soepardjo, A. H., & Aldrian, E. (2019). Impact of a El-Nino Southern Oscillation (ENSO) to fluctuation of skipjack catch production in Southern East Java. *J Phys Conf Ser*, 1217, Artikel 012170. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1217/1/012170>.
- Hansen, A. R., Keenan, C., & Ronning, E. (2020). *Weathering the pandemic to build back better: Options for supporting SMEs in low-and middle-income countries* (Option Paper No. 1). Global Alliance for Improved Nutrition (GAIN). <https://www.gainhealth.org/sites/default/files/publications/documents/weathering-the-pandemic-to-build-back-better-options-for-supporting-agri-food-smes-in-low-and-middle-income-countries.pdf>
- Hartati, V., & Islamiati, F. A. (2019). Analysis of location selection of fish collection center using AHP method in national fish logistic system. *Civil Engineering and Architecture*, 7(3), 41–49. <https://doi.org/10.13189/cea.2019.071307>
- Hasan, V., & Widodo, M. S. (2021). Parachromis managunesis (Günther, 1867): Keberadaan ikan predator asing di Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 12(2), 180–189. <https://doi.org/10.35316/jsapi.v12i2.1292>
- Hilborn, R., Amoroso, R. O., Anderson, C. M., Baum, J. K., Branch, T. A., Costello, C., De Moor, C. L., Faraj, A., Hively, D., Jensen, O. P., Kurota, H., Little, L. R., Mace, P., McClanahan, T., Melnychuk, M. C., Minto, C., Osio, G. C., Parma, A. M., Pons, M.,...Ye, Y. (2020). Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. Dalam N. C. Stenseth (Ed.), *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(4), 2218–2224. <https://doi.org/10.1073/pnas.1909726116>.
- Huang, Y., Ciais, P., Goll, D. S., Sardans, J., Peñuelas, J., Cresto-Aleina, F., & Zhang, H. (2020). The shift of phosphorus transfers in global fisheries and aquaculture. *Nature Communications*, 11(1), Article 355. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14242-7>

- Indrawasih, R. (2012). Gejala perubahan iklim, dampak dan strategi adaptasinya pada wilayah dan komunitas nelayan di Kecamatan Bluto, Kabupaten Sumenep. *Jurnal Masyarakat & Budaya*, 14(3), 439–466. <https://jmb.lipi.go.id/jmb/article/download/101/82/193>
- Irawan, A., Romdhon, M., & Juniarni, D. (2022). *Nelayan dan perubahan iklim (Fisherman and climate change)*. Badan Penerbitan Fakultas Pertanian (BPFP) Universitas Bengkulu.
- Jiddawi, N. S., & Öhman, M. C. (2002). Marine fisheries in Tanzania. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 31(7), 518–527. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.7.518>
- JP2GI. (2020). *Policy intervention to reduce post-harvest and nutrition losses in the fisheries sector* (Working paper series 3-Indonesia Post-Harvest Loss Alliance for Nutrition).
- Karningsih, P. D., Anggrahini, D., Kurniati, N., Sufei, M., Fachrur, A. R., & Syahroni, N. (2018). Mapping risks of Indonesian tuna supply chain. Dalam *IOP conf. ser.: Mater. sci. eng.* (337, Artikel 012035). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/337/1/012035>
- Kementerian Pertanian. (2019). *Konsep kebijakan strategis ketahanan pangan & gizi (2020–2024)*.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). Ecological footprint of Indonesia. https://www.footprintnetwork.org/content/images/uploads/Indonesia_Footprint_Review.pdf
- Kurniawan, F., Arkham, M. N., Rustam, A., Rahayu, Y. P., Adi, N. S., Adrianto, L., & Damar, A. (2020). An ecosystem services perspective for the economic value of seafood production supported by seagrass ecosystems: An exercise in Derawan Island, Indonesia. Dalam *IOP conf. ser.: Earth environ. sci.* (414, Artikel 012008). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/414/1/012008>
- Larsen, S. N., Leisher, C., Mangubhai, S., Muljadi, A., & Tapilatu, R. F. (2018). Fisher perceptions of threats and fisheries decline in the heart of the coral triangle. *Indo Pacific Journal of Ocean Life*, 2(2), 41–46. <https://doi.org/10.13057/oceanlife/o020201>
- Latuconsina, H. (2010). Identifikasi alat penangkapan ikan ramah lingkungan di kawasan onservasi laut Pulau Pombo Provinsi

- Maluku. *Agrikan: Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan*, 3, 23. <https://doi.org/10.29239/j.agrikan.3.2.23-30>
- Lestari, I. (2021). *Dampak limbah organik tambak udang vaname super intensif terhadap tingkat eutrofikasi perairan pantai Desa Palajau Kecamatan Arungkeke Kabupaten Jeneponto* [Skripsi tidak diterbitkan]. Universitas Hasanuddin.
- Lowerre-Barbieri, S. K., Walters Burnsed, S. L., & Bickford, J. W. (2016). Assessing reproductive behavior important to fisheries management: A case study with red drum. *Sciaenops ocellatus. Ecological Applications*, 26(4), 979–995. <https://doi.org/10.1890/15-0497>
- Malik, A., Lan, J., & Lenzen, M. (2016). Trends in global greenhouse gas emissions from 1990 to 2010. *Environmental Science and Technology*, 50(9), 4722–4730. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06162>
- Maurizka, I. S., & Adiwibowo, S. (2021). Strategi adaptasi nelayan menghadapi dampak perubahan iklim. *Jurnal Sains Komunikasi dan Pengembangan Masyarakat [JSKPM]*, 5(4), 496–508.
- Maxim, L., Spangenberg, J. H., & O'Connor, M. (2009). An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*, 69(1), 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.03.017>.
- Meenakshi, V., Narayanan, K., & Venkataraman, R. (2010). Evaluation of organoleptic and biochemical status of the fish, *Cyprinus carpio* at different storage temperatures. *Journal of Biomedical Sciences and Research*, 2(4), 254–257.
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., & Prisma-P Group. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1), 1–9.
- Mulyasari, G., Irham, Waluyati, L. R., & Suryantini, A. (2020). Livelihood vulnerability to climate change of fishermen in the coastal area of Bengkulu Province, Indonesia. *AACL Bioflux*,

- 13(3), 1242–1254. <http://www.bioflux.com.ro/docs/2020.1242-1254.pdf>
- Naylor, R., & Burke, M. (2005). Aquaculture and ocean resources: Raising tigers of the sea. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 185–218. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.081804.121034>.
- Novitasari, A. D., Desrina, & Agustini, T. W. (2019). Detection of the Red Sea Bream Iridovirus (RSIVD) and quality of frozen mackerel (*Scomber japonicus*) imported through the port of Tanjung Mas Semarang. Dalam *IOP conf. ser.: Earth environ. sci.* (246, Artikel 012067). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/246/1/012067>
- Nurdiana, R., Pribadi, T. D. K., & Ihsan, Y. N. (2020). Estimasi produktivitas primer fitoplankton di kawasan hutan mangrove batukaras Pangandaran, Provinsi Jawa Barat. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 4(2), 274–280. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2020.004.02.11>
- Olii, S. V. (2022). *Strategi integrasi potensi wisata hiu paus dan perikanan tangkap di Desa Botubarani Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo* [Skripsi tidak diterbitkan]. Universitas Negeri Gorontalo
- Oliver, J. D., & Jones, J. L. (2015). Chapter 66: *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus*. Dalam Y. Tang, M. Sussman, D. Liu, I. Poxton, & Schwartzman (Ed.), *Molecular medical microbiology* (Edisi kedua) (1169–1186). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397169-2.00066-4>
- Orinaldi, M. (2020). Relasi antara omnibus law di era pandemi Covid-19 dan perekonomian di Indonesia. *J-MAS (Jurnal Manajemen dan Sains)*, 5(2), 269–275. <http://jmas.unbari.ac.id/index.php/jmas/article/view/194>
- Owuor, M. A., Icelly, J., Newton, A., Nyunja, J., Otieno, P., Tuda, A. O., & Oduor, N. (2017). Mapping of ecosystem services flow in Mida Creek, Kenya. *Ocean and Coastal Management*, 140, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.02.013>

- Panjaitan, N. K., Adriana, G., Virianita, R., Karlita, N., & Cahyani, R. I. (2016). Kapasitas adaptasi komunitas pesisir pada kondisi rawan pangan akibat perubahan iklim (Kasus sebuah komunitas nelayan di Jawa Barat). *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 4(3), 281–290. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/sodality/article/download/14736/10885>.
- Parker, R. W., Blanchard, J. L., Gardner, C., Green, B. S., Hartmann, K., Tyedmers, P. H., & Watson, R. A. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8(4), 333–337. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0117-x>.
- Pasha, W. A., Amron, A., & Pranowo, W. S. (2022). Pengaruh ENSO (El Niño Southern Oscillation) terhadap suhu dan salinitas di perairan utara Aceh. *Jurnal Hidropilar*, 8(2), 61–74. <https://jurnal.sttalhidros.ac.id/index.php/hidropilar/article/view/247>
- Pasopati, G. (2015, 3 November). *KKP putar otak pangkas susut panen perikanan Rp 30 triliun*. CNN Indonesia. <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20151103104545-92-89096/kkp-putar-otak-pangkas-susut-panen-perikanan-rp-30-triliun>
- Patrício, J., Elliott, M., Mazik, K., Papadopoulou, K.-N., & Smith, C. J. (2016). DPSIR—two decades of trying to develop a unifying framework for marine environmental management? *Frontiers in Marine Science*, 3(177). <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00177>
- Pauly, D., Christensen, V., & Walters, C. (2000). Ecopath, ecosim, and ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 697–706. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0726>
- Phelan, A. A., Ross, H., Setianto, N. A., Fielding, K., & Pradipta, L. (2020). Ocean plastic crisis—Mental models of plastic pollution from remote Indonesian coastal communities. *PLOS ONE*, 15, Article e0236149. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236149>
- Pitcher, T. J. (2001). Fisheries managed to rebuild ecosystems? Reconstructing the past to salvage the future. *Ecological Applications*, 11(2), 601–617. <https://doi.org/10.2307/3060912>

- Prayitno, H. B., & Afdal. (2019). Spatial distributions of nutrients and chlorophyll-a: A possible occurrence of phosphorus as a eutrophication determinant of the Jakarta Bay. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(1), 1–12. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalikt/article/view/21971>
- Purnomo, D., Kusumastuti, N., Anas, M., Aisyah, S., & Shaari, M. S. (2020). Evaluating the economy growth by supply chain strategies and testing the validity of Okun's laws in Indonesia [Article]. *International Journal of Supply Chain Management*, 9(1), 826–831. <https://ojs.excelingtech.co.uk/index.php/IJSCM/article/view/4407/2239>
- Purwanto, Matualage, D., Rumengan, I., Monim, H. Y., Awaludinnoer, Mambrasar, R., Maulana, N., Mulyadi, Hamid, L., & Orisu, D. (2019). *Status dan tren ekologi Kawasan Konservasi Perairan Daerah Buruway, Kaimana* [Laporan]. Universitas Papua, The Nature Conservancy, Conservation International, & Balai Besar Taman Nasional Teluk Cenderawasih. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00Z8G2.pdf
- Puspasari, R., Triharyuni, S., Alimi, T., Campbell, S. J., Jakub, R., Suherfian, W., de la Rosa, E., & Setiawan, H. (2021). Pengaruh ENSO terhadap lingkungan perairan dan perikanan di Perairan Sulawesi Utara. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 27(2), 95–106. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jppi/article/view/10376/7646>
- Putri, W. A. E., Purwiyanto, A. I. S., Fauziyah, Agustriani, F., & Suteja, Y. (2019). Kondisi nitrat, nitrit, amonia, fosfat dan BOD di muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(1), 65–74. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalikt/article/view/18861>
- Rachman, I., & Septiana, A. I. (2020). Food waste control recommendations in Indonesia based on public opinion related to the target SDGs. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 4(1), 25–30. <http://journal.unpas.ac.id/index.php/temali/article/view/2334>

- Rani, C., Nessa, M. N., Faizal, A., Werorilangi, S., Tahir, A., & Jompa, J. (2018). Temporal dynamics of eutrophication level and sedimentation rate in coral reef area of Spermonde and Sembilan Islands, South Sulawesi. *Spermonde: Jurnal Ilmu Kelautan*, 4(1), 12–19. <http://journal.unhas.ac.id/index.php/jiks/article/view/3799>
- Ratnasari, D., Takarina, N. D., & Siswantining, T. (2018). The heavy metal analysis of mercury (Hg) and chromium (Cr) on frozen escolar *Lepidocybium flavobrunneum* collected from fisheries management area 573. *AIP Conf. Proc*, 2023, Artikel 020121. <https://doi.org/10.1063/1.5064118>
- Rizal, M., Amarullah, T., & Rahma, E. A. (2019). Role of national fish logistic system (SLIN) based on the fishing port in supporting food security in Simeulue Island, Aceh Province, Indonesia. Dalam *IOP conf. ser.: Earth environ. sci.* (348, Artikel 012024). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/348/1/012024>
- Rusandi, A., Hakim, A., Wiryawan, B., Sarmintohadi, S., & Yulianto, I. (2021). Pengembangan kawasan konservasi untuk mendukung pengelolaan perikanan yang berkelanjutan di Indonesia. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 12(2), 137–147. <https://doi.org/10.29244/jmf.v12i2.37047>
- Sabihaini, Pratomo, A. H., Rustamaji, H. C., & Sudaryatie. (2020). The impact of climate change on pampus argenteus fish production in Depok Village, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1471, Article 012065.
- Saksono, P. N., Rompas, R. M., Luasunaung, A., Reppie, E., Kawung, N. J., & Rumampuk, N. D. C. (2020). Economic efficiency of input utilization and business analysis of fishing gear 'cantrang' at fisheries management area 712 in Indonesia. *AAFL Bioflux*, 13(4), 2152–2160. <http://www.bioflux.com.ro/docs/2020.2152-2160.pdf>
- Sambunjak, D., Cumpston, M., & Watts, C. (2017). Modul 1: Introduction to conducting systematic reviews. Dalam *Cochrane interactive learning: Conducting an intervention review*. Cochrane.

- <https://training.cochrane.org/interactivelearning/module-1-introduction-conducting-systematic-reviews>.
- Siswati, N. D., Zain, A., & Mohammad. (2010). Animal feed making from tuna fish waste with fermentation process. *Jurnal Teknik Kimia*, 4(2), 309–313. <http://ejournal.upnjatim.ac.id/index.php/tekkim/article/view/128>
- Solihin, A., Isdahartati, Damar, A., & Erwiantono. (2020). Strengthening of local marine protected area (MPA) in local autonomy era: Case of Bontang City East Kalimantan Province, Indonesia. Dalam *IOP conf. ser.: Earth environ. sci.* (414, Artikel 012024). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/414/1/012024>
- Stobutzki, I. C., Silvestre, G. T., & Garces, L. R. (2006). Key issues in coastal fisheries in South and Southeast Asia, outcomes of a regional initiative. *Fisheries Research*, 78(2-3), 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.02.002>
- Subehi, S., Boesono, H., & Dewi, D. A. N. N. (2017). Analisis alat penangkap ikan ramah lingkungan berbasis code of conduct for responsible fisheries (CCRF) di TPI Kedung Malang Jepara. *Journal of Fisheries Resources Utilization Management and Technology*, 1(3), 1–10. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/juperta/article/view/1874/1224>
- Sultana, R., Jamil, K., & Khan, S. I. (2014). Bycatch utilization in Asia. Dalam S. K. Kim (Ed.), *Seafood processing by-products: Trends and applications*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9590-1_13
- Surahman, Z. M., Hanningtyas, I., Aristi, D., Cahyaningrum, F., & Laelasari, E. (2019). Factors related to the presence of formaldehyde in the salted fish trade in Ciputat, Indonesia. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, 15(3), 89–94. https://medic.upm.edu.my/upload/dokumen/2019100109004113_MJMHS_0399.pdf
- Suryaningtyas, O. (2019). *Perlindungan hukum satwa perairan atas ancaman ikan predator arapaima gigas di sungai brantas* [Skripsi tidak diterbitkan]. Universitas Wijayakusuma Surabaya.

- Sutanto, H. A., & Imaningati, S. (2014). Tingkat efisiensi produksi dan pendapatan pada usaha pengolahan ikan asin skala kecil. *Jejak*, 7(1), 73-84.
- Taurusman, A. A., Wiryawan, B., Besweni, & Isdahartati. (2020). Dampak penangkapan terhadap ekosistem: landasan pengelolaan perikanan berkelanjutan. *Albacore: Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 4(1), 109–118. <https://doi.org/10.29244/core.4.1.109-118>.
- Taylor, M. H., Tam, J., Blaskovic, V., Espinoza, P., Michael Ballón, R., Wosnitza-Mendo, C., Argüelles, J., Díaz, E., Purca, S., Ochoa, N., Ayón, P., Goya, E., Gutiérrez, D., Quipuzcoa, L., & Wolff, M. (2008). Trophic modeling of the Northern Humboldt Current Ecosystem, Part II: Elucidating ecosystem dynamics from 1995 to 2004 with a focus on the impact of ENSO. *Progress in Oceanography*, 79(2-4), 366–378. <https://doi.org/10.1016/j.pocan.2008.10.008>
- Ulfa, M. (2018). Persepsi masyarakat nelayan dalam menghadapi perubahan iklim (Ditinjau dalam aspek sosial ekonomi). *Jurnal Pendidikan Geografi*, 23(1), 41–49. <https://doi.org/10.17977/um017v23i12018p041>
- Ulfah, U. A. (2022). *Kerja sama Conservation International dengan Kementerian Kelautan dan Perikanan dalam konservasi hiu di Indonesia* [Skripsi tidak diterbitkan]. Universitas Lampung.
- Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah. 2014. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/38685/uu-no-23-tahun-2014>
- Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. (2009). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/38771/uu-no-32-tahun-2009>
- van Beukering, P. J. H., Scherl, L. M., & Leisher, C. (2010). The role of marine protected areas in alleviating poverty in the Asia-Pacific. Dalam *Nature's wealth: The economics of ecosystem services and poverty* (115–133). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139225311.007>

- Vaughan, B. E., & Strand, J. A. (1970). Biological implications of a marine release of ⁹⁰Sr. *Health Physics*, 18(1), 25-41. <https://doi.org/10.1097/00004032-197001000-00003>
- Vincentius, A., Nessa, M. N., Jompa, J., Saru, A., Nurdin, N., & Rani, C. (2018). Influential factors analysis towards mangrove cover and production of demersal fish in Maumere Bay, Indonesia. *AACL Bioflux*, 11(3), 810–822. <http://www.bioflux.com.ro/docs/2018.810-822.pdf>
- Vizzini, S. (2009). Analysis of the trophic role of Mediterranean seagrasses in marine coastal ecosystems: A review. *Botanica Marina*, 52(5), 383–393. <https://doi.org/10.1515/BOT.2009.056>
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. Dalam *Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering* (1–10). Association for Computing Machinery. <http://dx.doi.org/10.1145/2601248.2601268>
- Yunanto, A., Wiguna, H. J., Endo, S., Yusrizal, & Krisnafi, Y. (2018). Do marine protected areas have lower overfishing level? *AALC Bioflux*, 11(5), 1672–1679. <http://www.bioflux.com.ro/docs/2018.1672-1679.pdf>

