

PENGAWASAN DAN PENGENDALIAN SUMBER DAYA GENETIK IKAN DI INDONESIA: IMPLEMENTASI UNDANG-UNDANG RI NOMOR 21 TAHUN 2019

SUPERVISION AND CONTROL OF FISH GENETIC RESOURCES IN INDONESIA: IMPLEMENTATION OF LAW OF THE REPUBLIC OF INDONESIA NUMBER 21 OF 2019

Rusdianto*¹, Haryono¹, Totong², Jumadi² dan Nur Hayati³

¹Pusat Riset Biosistemika dan Evolusi – BRIN. Gd. Widyasatwaloka, Jl. Raya Jakarta-Bogor KM 46, Cibinong, Bogor

²Pusat Karantina Ikan, BKIPM – KKP. Jl. Medan Merdeka Timur No.16 Jakarta Pusat

³Prodi Pendidikan IPA, Universitas Hasyim Asy'ari Jombang. Jl. Irian Jaya No. 55, Tebu Ireng, Jombang
Teregistrasi I tanggal: 16 Maret 2022; Diterima setelah perbaikan tanggal: 04 Juli 2022;

Disetujui terbit tanggal: 06 Juli 2022

ABSTRAK

Pemerintah telah mengesahkan Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2019 yang mengatur tentang karantina hewan, ikan dan Tumbuhan. UU ini merupakan penyempurnaan dari peraturan sebelumnya yang dinilai sudah tidak relevan dengan kondisi terkini terutama terkait penerapan bioteknologi modern yang telah banyak diaplikasikan di bidang perikanan. Salah satu bab penting yang menjadi bagian dalam penyempurnaan UU ini adalah Bab 5 yang membahas tentang pengawasan dan pengendalian produk rekayasa genetik, sumber daya genetik, agensia hayati, jenis asing invasif, tumbuhan dan satwa liar, serta tumbuhan dan satwa langka. Bab 5 dirasa penting dan perlu dikaji lebih mendalam khususnya tentang sumber daya genetika ikan agar petugas di lapangan mampu melaksanakan tugas pengawasan sesuai dengan kaidah keilmuan dan batasan-batasan yang diamanatkan dalam UU No. 21 Tahun 2019. Oleh karena itu di dalam tulisan ini akan diuraikan tentang konsep dan batasan sumberdaya genetik ikan; materi genetik dan konsep keragaman genetik, potensi masalah yang ada.

Kata Kunci: Pengawasan; pengendalian; sumberdaya genetik; ikan; UU Nomor 21 Tahun 2019

ABSTRACT

The government has passed Law No. 21 of 2019, which regulates animal, fish, and plant quarantine. This law is a refinement of the previous regulation deemed irrelevant to current conditions, especially regarding modern biotechnology application, which has been widely applied in fisheries. One important chapter that is part of the improvement of this Law is Chapter 5, which discusses the supervision and control of genetically engineered products, genetic resources, biological agents, invasive alien species, wild plants and animals, and rare plants and animals. Chapter 5 is considered crucial and needs to be studied more deeply, especially regarding fish genetic resources, so officers in the field can carry out their supervisory duties following the scientific principles and limits mandated in Law no. 21 of 2019. Therefore, in this paper, the concepts and limitations of fish genetic resources and diversity, genetic material, and potential problems that exist are described.

Keywords: Control; supervision; genetic resources; fish, Law No. 21 of 2019

Korespondensi penulis:

e-mail: fishharyono@gmail.com

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki keanekaragaman sumber daya hayati ikan yang sangat tinggi, di mana hingga saat ini tercatat total sebanyak 4.822 jenis ikan hidup di wilayah perairan Indonesia dengan biogeografi yang khas dan unik (Froese & Pauly, 2021). Dari total jenis ikan tersebut, 134 jenis diantaranya bersifat endemik. Kekayaan jenis ikan di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan terus ditemukannya jenis-jenis baru dari hasil eksplorasi di lokasi-lokasi eksotis yang belum pernah dikunjungi sebelumnya. Jenis-jenis ikan yang ada saat ini juga belum bisa dimanfaatkan secara optimal, baik sebagai ikan hias akuarium, ikan budidaya, maupun ikan konsumsi (Gustiano *et al.*, 2021a). Keanekaragaman sumber daya ikan (SDI) air tawar maupun ikan air laut yang hidup di Indonesia merupakan aset penting yang harus dikelola secara berkelanjutan kelestarian dan pemanfaatan untuk kesejahteraan dan pembangunan ekonomi negara.

Terdapat tiga pilar utama yang bertanggung jawab dan berperan penting dalam menjaga kelestarian jenis-

jenis ikan di Indonesia yaitu pemerintah, pengguna/pemanfaat, dan ilmuwan. Pemerintah merupakan pilar pertama yang memegang otoritas manajemen yang menyusun regulasi terkait pengelolaan dan pengawasan terhadap keberlangsungan SDI agar tidak dieksploitasi secara berlebihan dan dirusak habitatnya. Pengguna atau pemanfaat dalam hal ini adalah para nelayan, pembudidaya, maupun pelaku usaha yang harus mentaati regulasi yang telah disusun oleh pemerintah sebagai pedoman dalam memanfaatkan kekayaan SDGi secara lestari di Indonesia. Pada pilar ketiga, ilmuwan baik peneliti dari lembaga riset maupun perguruan tinggi memiliki andil untuk melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan guna terus mengoptimalkan potensi setiap jenis ikan yang ada melalui kajian komprehensif dan holistik. Pilar di atas harus bersinergi melaksanakan fungsi masing-masing agar potensi biodiversitas ikan yang dimiliki Indonesia dapat digunakan meningkatkan kesejahteraan masyarakat Indonesia (Kurniawan *et al.*, 2021).

Regulasi	Cakupan isi
UU Nomor 31 Tahun 2004	Perikanan
UU Nomor 32 Tahun 2009	Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup
UU Nomor 21 Tahun 2019	Karantina hewan, ikan dan tumbuhan
PP Nomor 15 Tahun 2002	Karantina Ikan
PP Nomor 60 Tahun 2007	Konservasi sumber daya ikan
Permen KP Nomor Per. 04/Men/2010	Tata cara pemanfaatan jenis ikan dan genetik ikan
Permen KP Nomor 20 Tahun 2021	Komisi nasional pengkajian sumber daya ikan
Permen KP Nomor 26 Tahun 2021	Pencegahan pencemaran, pencegahan kerusakan, rehabilitasi, dan peningkatan sumber daya ikan dan lingkungannya

Pemerintah telah berupaya melindungi keanekaragaman hayati Indonesia melalui beberapa regulasi (Tabel 1). Dari Regulasi yang sudah dibuat, UU Nomor 21 Tahun 2019 khususnya Bab V yang membahas tentang pengawasan dan pengendalian Produk Rekayasa Genetik (PRG), Sumber Daya Genetik (SDG), agensia hayati, jenis asing invasif, tumbuhan dan satwa liar, serta tumbuhan dan satwa langka perlu ditelaah mendalam implementasinya. Bab V layak untuk dikaji karena merupakan peraturan baru dan penyempurnaan dari UU sebelumnya. Khusus konsep tentang SDG ikan harus dipahami secara menyeluruh sehingga petugas dapat melaksanakan pengawasan dan pengendalian di lapangan sesuai dengan kaidah keilmuan dan kewenangan yang dimiliki.

Berdasarkan latar belakang di atas, tulisan ini bertujuan membahas tentang konsep dan batasan SDGi, materi genetik ikan, konsep keragaman

genetik, potensi masalah pada SDGi dan alternatif solusinya.

BAHASAN

Sumber Daya Genetik Ikan dan Konsep Keragaman Genetik

Butir nomor 13, Pasal 1, Bab I, UU No. 21 Tahun 2019 menjabarkan tentang definisi Sumber Daya Genetik (SDG) adalah "*genetik yang berasal dari ikan yang mengandung unit fungsional pembawa sifat keturunan dan yang mempunyai nilai nyata atau potensial*". Jika terminologi tersebut ditelaah lebih mendalam, maka terdapat dua potongan istilah yang penting untuk dicermati, pertama "*unit fungsional*" dan kedua "*unit pembawa sifat*". Dalam konsep ilmu biologi, potongan terminologi tersebut mengarah kepada "*sel*". Sel didefinisikan sebagai unit fungsional dan unit struktural terkecil penyusun tubuh makhluk hidup (Verma & Agarwal, 2005; Bergtrom, 2020). Unit

fungsional merepresentasikan kemampuan satu sel untuk melaksanakan fungsi-fungsi sebagai kesatuan kehidupan seperti bergerak, bernafas, bereproduksi dan lain sebagainya (Li *et al.*, 2021). Sedangkan pembawa sifat keturunan merupakan fungsi dari asam deoksiribonukleat (DNA) yang terletak di dalam inti sel dan berperan penting dalam menyimpan informasi genetik yang akan diwariskan kepada keturunannya. Oleh karena itu, jika dikaitkan dengan konteks pengawasan dan pengendalian terhadap SDG ikan seperti yang diamanatkan dalam UU No. 21 Tahun 2019, maka tindakan pengawasan dan pengendalian tidak hanya pada level organisme atau jenis ikan, tetapi juga harus mencakup tingkatan sel-sel penyusun tubuh ikan yang merupakan unit fungsional dan penyimpan informasi genetik.

Setiap unit sel memiliki organel-organel sel yang berperan spesifik dalam melaksanakan fungsi-fungsi kehidupan. Nukleus dan mitokondria merupakan organel yang berperan penting sebagai *homebase* informasi genetik suatu organisme. Di dalam nukleus terdapat molekul DNA, yaitu biomolekul yang tersusun atas gula deoksiribosa, gugus fosfat dan empat basa nitrogen (adenin, guanin, sitosin dan timin) yang saling berpasangan dan berpilin membentuk untai ganda. Dalam kontrol ekspresi gen, urutan basa nitrogen tersebut sangat penting karena setiap tiga basa nitrogen (triplet kodon) akan mengkode sintesis satu asam amino spesifik. Asam amino tersebut merupakan mono-peptida yang akan berikatan satu sama lain membentuk polipeptida (protein) (Davies, 1965; North & Phillips, 1969; Blundell, 2021). Protein yang diekspresikan nantinya akan mempengaruhi ekspresi fenotip suatu organisme seperti warna dan bentuk tubuh, bentuk sirip dan lain sebagainya. Sedangkan di dalam mitokondria terdapat DNA mitokondria (mtDNA). Beberapa jenis ikan memiliki mtDNA sekitar 15.000-17.000 pasang basa (*basepair/bp*) (Takashi *et al.*, 2016; Alexander *et al.*, 2019). mtDNA sering digunakan sebagai penanda molekuler untuk identifikasi spesies ikan serta mengetahui hubungan kekerabatan antar spesies ikan karena memiliki tingkat polimorfisme yang tinggi, urutan nukleotida beragam antar spesies, serta urutan nukleotida sama untuk spesies yang berkerabat dekat (Hebert, 2003).

Sedangkan keragaman genetik berperan penting dalam konsep keanekaragaman hayati, terutama dalam studi tingkat populasi seperti adaptasi, sejarah demografi, dan risiko kepunahan. Komponen genetik bersama-sama dengan kondisi lingkungan akan menentukan sifat fenotip suatu organisme. Gangguan perubahan lingkungan mungkin menjadi pendorong utama yang membentuk pola keragaman genetik pada

suatu populasi. Saat ini kajian tentang keragaman genetik dapat dilakukan dengan cepat dan akurat dengan teknologi *Next Generation Sequencing* yang dapat mengkuantifikasi keragaman genetik, dari intraspesifik hingga tingkat ekosistem (Yahara *et al.*, 2010).

Potensi Masalah pada SDG Ikan dan Alternatif Solusinya

Penangkapan berlebih (*overfishing*)

Overfishing merupakan aktivitas penangkapan ikan secara berlebihan sehingga menyebabkan penurunan populasi ikan di alam (Atmaja *et al.*, 2011). Wilayah perairan diduga telah mengalami *overfishing* dari indikasi diantaranya: pertama, total hasil tangkapan lebih besar dari nilai *Maximum Sustainable Yield* (MSY) sumber daya ikan; kedua, hasil tangkapan ikan cenderung semakin menurun; ketiga, rata-rata ukuran ikan yang tertangkap semakin kecil; serta keempat *fishing ground* semakin menjauh dari daratan atau semakin dalam ke dasar laut. *Overfishing* dapat terjadi ketika populasi ikan dewasa tertangkap dalam jumlah yang besar sehingga regenerasi menjadi terganggu. *Overfishing* juga dapat terjadi karena penangkapan ikan yang belum dewasa secara *massive* dan intensif sehingga tidak ada kesempatan bagi ikan muda untuk tumbuh dan berkembang menjadi ikan dewasa (Carmelite, 2019). Kemajuan teknologi di bidang penangkapan ikan semakin mempermudah nelayan untuk menangkap ikan dalam skala besar sehingga memperbesar peluang terjadinya *overfishing*.

Overfishing telah banyak menyebabkan kerugian dari berbagai aspek seperti peningkatan status ancaman kepunahan, kerusakan ekosistem, penurunan populasi di alam, hingga ancaman punahnya jenis tertentu di alam (Dulvy *et al.*, 2021). Data terkini, *overfishing* telah menyebabkan 391 (32,6%) spesies dari kelas Chondrichthyes masuk ke dalam kategori terancam punah. Oleh karena itu, diperlukan tindakan tegas dari otoritas yang berwenang dalam konteks pengawasan dan monitoring kegiatan penangkapan ikan untuk meminimalisir terjadinya *overfishing*. Pemerintah telah menyusun regulasi yang mengatur tentang perlindungan keanekaragaman hayati, salah satunya Permen KP RI Nomor 18 Tahun 2021 yang secara umum mengatur tentang jenis maupun spesifikasi alat tangkap ikan yang boleh dan tidak boleh digunakan di wilayah pengelolaan perikanan Indonesia. *Overfishing* merupakan kegiatan yang melanggar ketentuan hukum karena secara sengaja dan sadar dilakukan untuk mengeksploitasi biota perairan dengan tujuan mencari keuntungan ekonomi. Oleh

karena itu, solusi yang dapat diambil adalah dengan cara menindak tegas para pelaku *overfishing* melalui regulasi yang ada. Selain itu juga perlu dilakukan patroli terhadap pendaratan ilegal dan monitoring melalui pelabuhan resmi secara rutin di wilayah pengelolaan perikanan Indonesia untuk meminimalisir tindak *overfishing* oleh nelayan yang tidak bertanggung jawab.

Akuakultur

Akuakultur atau budidaya perairan adalah rekayasa manusia dengan menambahkan input dan energi untuk meningkatkan produksi organisme akuatik yang bermanfaat dengan memanipulasi tingkat pertumbuhan, mortalitas, dan reproduksinya. Akuakultur merupakan kegiatan pemeliharaan ikan dalam arti luas di mana didalamnya diterapkan kegiatan pertanian dan peternakan (Rejeki *et al.*, 2019). Akuakultur secara luas dipandang sebagai solusi masa depan untuk memenuhi peningkatan permintaan makanan protein hewani berkualitas. Sektor akuakultur merupakan salah satu cara untuk mengatasi kekurangan gizi dan kemiskinan, khususnya di negara-negara berkembang yang mampu memasok hampir 93% dari produksi global. Saat ini akuakultur sudah dikategorikan sebagai kegiatan industri. Data Kelautan dan Perikanan Dalam Angka (KPDA) Data KKP menunjukkan pada tahun 2017 volume produksi perikanan budidaya nasional mencapai 16.114.991 ton, dan diperkirakan akan terus meningkat di setiap tahunnya (Nainggolan *et al.*, 2018).

Akuakultur berpotensi menjadi masalah apabila tidak dikelola dengan benar, baik untuk spesies target maupun lingkungan budidayanya. Potensi masalah yang muncul diantaranya terjadinya *inbreeding*, penurunan keragaman genetik dan hilangnya kemampuan adaptasi di alam (FAO, 1982) dan pencemaran lingkungan. *Inbreeding* merupakan perkawinan sejenis yang terjadi secara berulang dan dalam jangka waktu yang lama sehingga menyebabkan penurunan kualitas keragaman genetik pada generasi/keturunan berikutnya. Secara umum, indikasi dari penurunan kualitas genetik ikan ini ditandai dengan sifat-sifat seperti pertumbuhan lambat, tingkat kematian tinggi dan matang kelamin dini (Arifin & Gustiano, 2009). Potensi masalah tersebut dapat diantisipasi dengan cara melakukan hibridisasi (Kurniasih dan Gustiano, 2007; Gustiano *et al.*, 2012), kontrol *breeding* (Gustiano *et al.*, 2020) dan melakukan kriopreservasi (Lestari *et al.*, 2020). Kriopreservasi adalah teknik penyimpanan sperma dalam suatu media untuk mempertahankan fertilitas spermatozoa (Hardijanto *et al.*, 2010; Novianto *et al.*,

2014). Dalam hal ini, pemerintah perlu terus berupaya melakukan penyuluhan, edukasi dan pendampingan kepada *breeder* dan pelaku usaha tentang teknik melakukan akuakultur yang baik dan terukur sehingga potensi dapat dioptimalkan dan masalah yang akan muncul dapat diantisipasi sebagaimana pada usaha budidaya ikan lele (Gustiano *et al.*, 2021).

Jenis Asing Invasif

Jenis Asing Invasif (JAI) merupakan jenis ikan yang berasal dari luar habitat alaminya kemudian di introduksi secara sengaja maupun tidak disengaja ke habitat baru yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap keanekaragaman hayati, kerusakan ekosistem, lingkungan, kerugian ekonomi, serta kesehatan manusia (Early *et al.*, 2016). Ikan JAI biasanya memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan cepat terhadap lingkungan barunya, menyerang jenis ikan asli (*native*), berkompetisi dengan jenis asli dan menguasai relung ekosistem barunya. Keberadaan JAI sangat merugikan dan menjadi ancaman bagi komunitas jenis ikan asli. Beberapa karakter JAI diantaranya bersifat kompetitor, predator, reproduksi cepat, mudah beradaptasi, membawa penyakit berbahaya, pertumbuhan cepat, mampu melakukan hibridisasi, menurunkan kualitas genetik, serta bersifat toksik. JAI tidak hanya menjadi ancaman bagi kelestarian spesies asli, tetapi juga berpotensi merugikan secara sosio-ekonomi (McGeoch *et al.*, 2010; Gallardo *et al.*, 2013; Bellard *et al.*, 2016).

KKP selaku pemegang otoritas di bidang perikanan memiliki pedoman untuk membatasi masuknya ikan asing ke wilayah Indonesia seperti yang tertuang dalam Permen-KP Nomor 19 Tahun 2020 tentang larangan pemasukan, pembudidayaan, peredaran, dan pengeluaran jenis ikan yang membahayakan dan/atau merugikan ke dalam dan dari wilayah pengelolaan perikanan Negara Republik Indonesia. Selain itu beberapa penelitian telah menghasilkan daftar jenis ikan di Indonesia yang berpotensi menjadi ikan invasif (Sugianti *et al.*, 2014; Dewantoro & Rachmatika, 2016; Haryono *et al.*, 2020; Haryono & Gustiano, 2022). Regulasi dan daftar jenis tersebut merupakan salah satu langkah preventif pemerintah agar semua pihak lebih waspada terhadap keberadaan JAI sehingga kerugian dan kerusakan yang lebih besar dapat diantisipasi. Dalam konteks pengawasan terhadap JAI, pemerintah perlu terus berupaya melakukan sosialisasi, edukasi dan monitoring di wilayah kerja UPT kabupaten dan provinsi untuk mendata dan memonitor JAI yang ada di setiap wilayah. Pemerintah juga perlu bertindak tegas dalam melakukan pengawasan, eradikasi, mitigasi, penahanan dan

monitoring di area pemasukan dan pengeluaran perdagangan, termasuk memberikan sanksi bagi pihak-pihak yang melanggarnya. Secara teknis perlu dilakukan penanganan langsung terhadap kelimpahan JAI di suatu perairan yang telah tercemari.

Rekayasa Genetika

Rekayasa genetika (RG) merupakan teknik modifikasi urutan nukleotida/gen suatu organisme dengan cara mengkombinasikan materi genetika (gen) dari organisme lain ke dalam materi genetika organisme target dengan tujuan agar gen yang ditransfer dapat diekspresikan oleh organisme penerima (Maclean, 2011). Organisme yang telah mengalami modifikasi urutan gen akibat penerapan teknik RG dikenal dengan istilah Produk Rekayasa Genetika (PRG) atau *Genetically Modified Organism* (GMO). Teknik RG telah banyak diterapkan pada beberapa jenis ikan budidaya maupun akuakultur. Laporan pertama RG yang dirancang untuk memodifikasi sifat-sifat penting pada akuakultur difokuskan pada carp, goldfish dan loach (Zhang *et al.*, 1990; Zhu *et al.*, 1985), rainbow trout (Chourrout *et al.*, 1986), catfish (Dunham *et al.*, 1987), nila (Rahman & Maclean, 1992), dan salmon Atlantik (Fletcher & Davies, 1991).

Sifat ikan budidaya banyak dimodifikasi dengan tujuan meningkatkan efisiensi produksi. Beberapa tujuan diterapkannya RG pada ikan budidaya antara lain untuk meningkatkan resistensi terhadap penyakit sehingga meningkatkan kelangsungan hidup (Han & Chen, 2019; Lo *et al.*, 2014; Yazawa *et al.*, 2006), meningkatkan toleransi dingin untuk memperluas jangkauan geografis untuk produksi (Shears *et al.*, 1991), memodifikasi proses metabolisme inti (Alimuddin *et al.*, 2005; Kabeya *et al.*, 2016), dan mengurangi keluaran limbah (Hostettler *et al.*, 2005), serta perubahan fenotip dan respon fisiologis (Devlin *et al.*, 2020). Saat ini juga dikenal teknik *genome-editing* yang sedang dieksplorasi untuk mengubah sifat-sifat penting seperti ketahanan terhadap penyakit dan pematangan seksual (Gratacap *et al.*, 2019). Penerapan RG berpotensi menimbulkan masalah di bidang kesehatan manusia, seperti menimbulkan alergi dan keracunan. Potensi masalah lain yaitu dapat menghilangkan urutan gen asli (*wild type*) dari suatu jenis sehingga berpotensi menyebabkan kepunahan spesies asli. Potensi masalah di bidang kesejahteraan hewan (*animal welfare*) berpotensi menurunkan kualitas hidup ikan dan dapat merusak anatomi ikan (Beardmore & Porter, 2003). Secara umum PRG akan dapat menyebabkan masalah pada keamanan pangan dan hayati melalui pencemaran genetik dan lingkungan.

Bahan/Produk Olahan Ikan Mengandung Materi Genetik

Wahyudewantoro *et al* (2020) telah melakukan kajian tentang jenis-jenis ikan terancam punah di Indonesia prioritas perlindungan yang kemudian dijadikan dasar dalam penyusunan Kepmen-KP Nomor 1 Tahun 2021 tentang jenis ikan yang dilindungi. Di dalam keputusan tersebut disebutkan 19 jenis ikan dilindungi secara penuh, sedangkan satu jenis dilindungi secara terbatas. Pemerintah juga telah mengeluarkan regulasi terkait pemanfaatan jenis ikan yang dilindungi atau jenis ikan yang tercantum dalam appendix CITES melalui Permen-KP Nomor 61 Tahun 2018. Kedua regulasi tersebut menegaskan kepada petugas agar cermat dan teliti dalam mengidentifikasi jenis ikan yang keluar-masuk wilayah Indonesia melalui lalu lintas perdagangan agar tidak terjadi pelanggaran terhadap jenis-jenis ikan yang dilindungi.

Komoditas ikan yang diperjualbelikan kadang sudah tidak dalam kondisi utuh, namun sudah berupa potongan-potongan tubuh, sirip, sisik, *fillet*, telur hati dan organ dalam tubuh lainnya. Jenis ikan kadang dalam kondisi benih atau juvenil yang berukuran kecil sehingga sulit saat dilakukan identifikasi. Kondisi-kondisi tersebut tentu menyulitkan bagi petugas di lapangan dalam konteks pengawasan, untuk mengenali jenis ikan yang sedang diperjual belikan. Namun yang perlu dipahami bahwa komoditas ikan tersebut masih menyimpan materi genetik. Materi genetik inilah yang dapat dijadikan bahan untuk identifikasi jenis melalui pendekatan biologi molekuler seperti dengan metode DNA barcode maupun DNA forensik. Identifikasi jenis ikan melalui genetika molekuler diawali dengan mengoleksi material genetik ikan dan menyimpannya dalam bahan preservasi dan kondisi penyimpanan yang tepat.

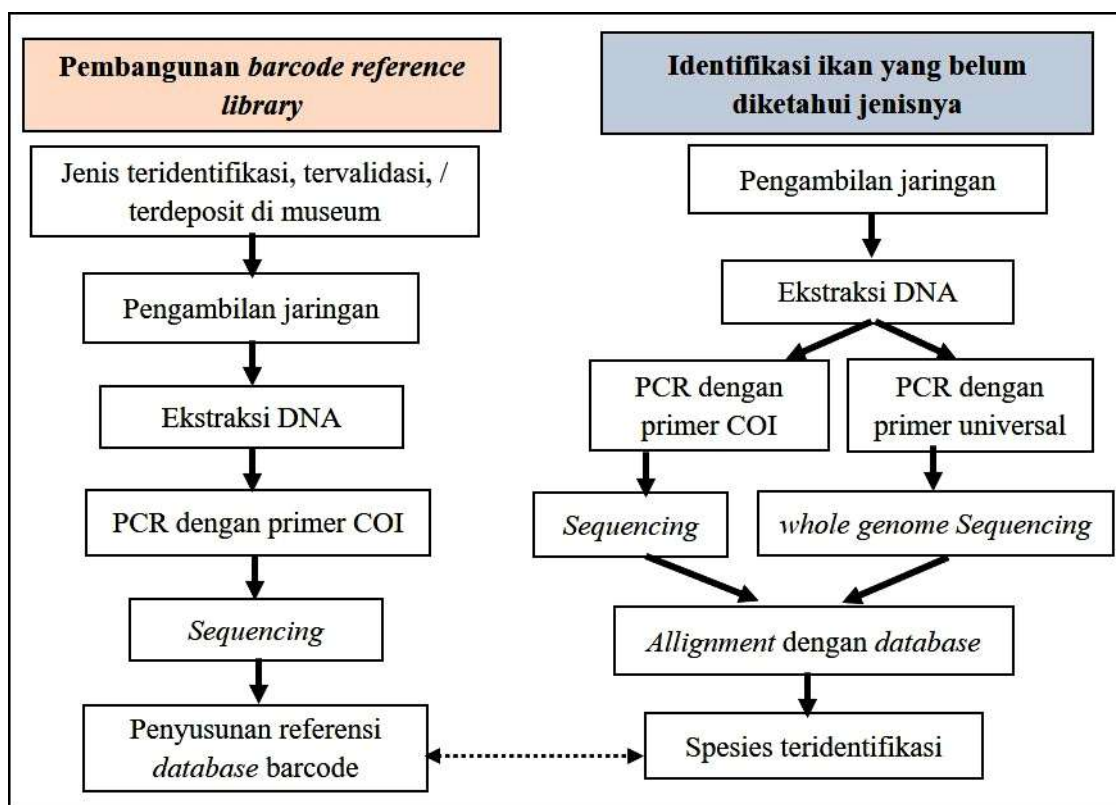
Identifikasi Jenis Ikan Berbasis Marka Molekuler

Pada prinsipnya, semua bagian tubuh ikan mengandung materi genetik sehingga semua bagian tubuhnya bisa dicuplik untuk mendapatkan material DNA nya. Namun untuk keperluan penelitian, bagian tubuh ikan yang umumnya diambil untuk koleksi material genetik adalah jaringan otot, darah, sisik, sirip, maupun hati (Motomura & Ishikawa, 2013; FAO, 2016). Proses koleksi material genetik ikan harus dilakukan dengan prinsip aseptis untuk menghindari kontaminasi. Material genetik yang telah dikoleksi juga harus diawetkan dengan bahan preservasi yang tepat serta disimpan dalam suhu yang tepat untuk menghindari kerusakan DNA. Material genetik ini dapat digunakan sebagai bahan sampel untuk

beberapa topik kajian genetika molekuler seperti identifikasi dengan marka molekuler, studi keragaman genetik, studi hubungan kekerabatan, kajian genetika populasi dan lain sebagainya.

Terminologi DNA barcode dalam konteks ilmu biologi mengacu kepada urutan pendek sekuen DNA yang terstandar yang dapat dijadikan sebagai penanda identitas yang ada pada setiap organisme (Hebert, 2003). Dalam ilmu taksonomi, DNA barcode banyak digunakan untuk identifikasi sampel yang belum diketahui jenisnya dengan cara mencocokkan urutan marka molekuler spesifik dengan urutan sekuen yang tersimpan di *database library* (Kress et al., 2015).

DNA barcode juga dapat diterapkan sebagai *tools* untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar dalam bidang ekologi, evolusi, dan biologi konservasi, seperti bagaimana spesies berkumpul dalam suatu komunitas dan interaksi multispesies yang terjadi pada suatu lingkungan. Urutan sekuen DNA pendek sekitar 600 pasang basa di dalam DNA mitokondria yang mengkode sitokrom c oksidase subunit 1 (CO1) telah diterima sebagai kode DNA barcode yang praktis dan terstandarisasi untuk banyak kelompok hewan, termasuk ikan (Imtiaz et al., 2017). Diagram skematis identifikasi jenis ikan berbasis DNA barcode seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan identifikasi jenis ikan berbasis DNA barcode. A. pembangunan *barcode reference library* sebagai *database*, b. identifikasi jenis berdasarkan gen COI.

Figure 1. Stages of identification of fish species based on DNA barcodes. A. construction of a barcode reference library as a database, b. species identification based on the COI gene.

Penelitian tentang aplikasi DNA barcode untuk berbagai keperluan telah banyak dilakukan seperti untuk identifikasi taksonomi dari ikan yang bernilai komersial memainkan peran kontrol yang penting (Franco et al., 2021). Pendekatan ini berguna untuk mengendalikan dan mengurangi penipuan ekonomi, karena *seafood* sering kali mengalami pelabelan yang salah sehingga merugikan pihak-pihak tertentu (Helyar et al, 2014). Saat ini, banyak organisasi internasional seperti *Consortium for the Barcode of Life* (CBOL), *Barcode of Life Data System* (BOLD) dan NCBI

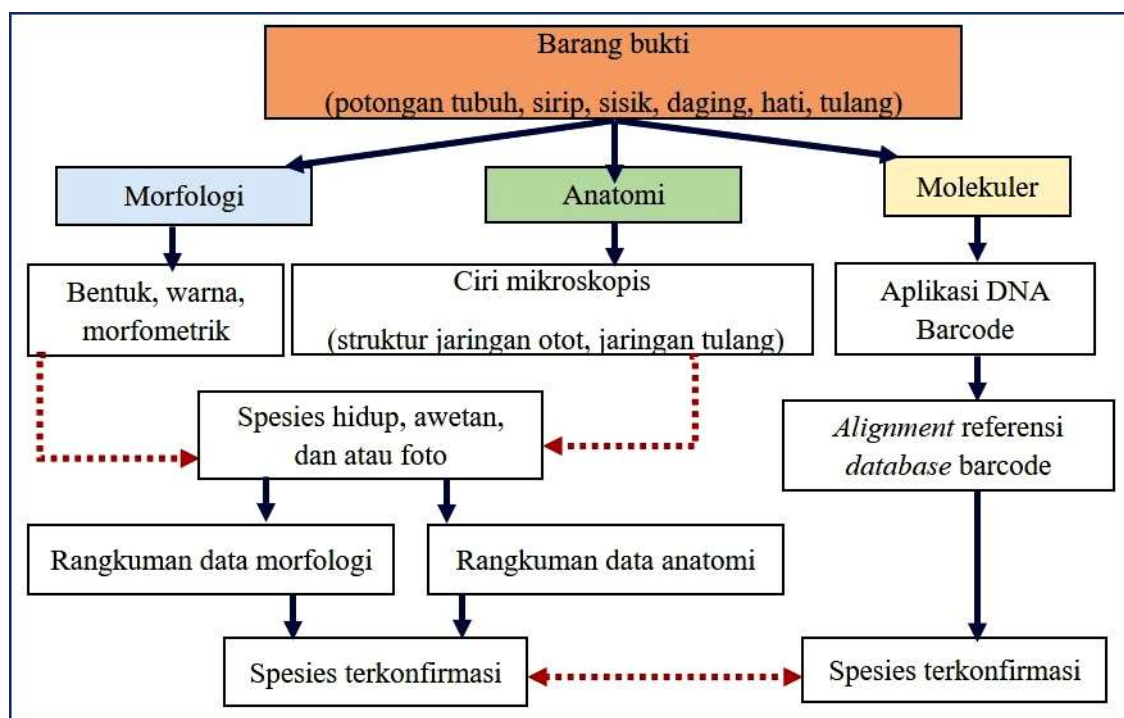
didirikan untuk mempromosikan DNA barcode sebagai standar global untuk identifikasi spesies (Wilson et al. 2019).

Aplikasi DNA Forensik Untuk Pengawasan Tindak Kejahatan Terhadap Ikan

Forensik satwa liar telah terbukti menjadi proses investigasi kriminal yang cepat, akurat, dan andal dengan cakupan yang luas dan aksesibilitas yang mudah. Aplikasi DNA forensik juga dapat membantu

menyelesaikan masalah taksonomi, menentukan divergensi genetik, sejarah evolusi, asal-usul termasuk endemisme (Smart *et al.*, 2021). Kolaborasi antar disiplin ilmu bahkan telah menghasilkan DNA

finger print dan filogenetik yang direkayasa untuk beberapa spesies. Tahapan aplikasi DNA forensik untuk pengawasan produk ikan dijabarkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan aplikasi DNA forensik untuk pengawasan produk ikan.
Figure 2. Stages of forensic DNA application for fish product surveillance.

Identifikasi spesies satwa liar yang diperdagangkan secara legal dan ilegal merupakan tugas yang rumit bagi para ahli forensik satwa liar. Pelaku tindak kriminal terhadap satwa liar yang diperdagangkan seringkali melakukan modifikasi terhadap karakter morfologi satwa dengan tujuan untuk mengelabui petugas. Produk satwa sering dalam kondisi tidak utuh, berupa daging atau bagian tubuh lain yang telah diolah menjadi bahan makanan (*fillet* ikan, sosis, steak), barang dekoratif (ukiran tulang, hiasan bulu, cangkang), dan paket obat (serbuk tulang, organ kering), sehingga sulit saat dilakukan identifikasi jenis (Johnson *et al.*, 2014, Alves *et al.*, 2017, Jabin *et al.*, 2019, Moore & Frazier, 2019; Gouda *et al.*, 2020).

Forensik satwa liar adalah bidang ilmu yang berguna dalam identifikasi spesies dan penegakan kasus kejahatan terhadap satwa liar, juga dapat diaplikasikan dalam monitoring kesehatan dan dampak faktor lingkungan terhadap kesejahteraan populasi satwa liar. Forensik satwa liar merupakan kombinasi dari teknik sekuensing DNA inti dan mitokondria, DNA forensik, taksonomi, filogenetik, bioinformatika, dan genetika evolusi. (Ogden, 2010;

Iyengar, 2014). Aplikasi DNA forensik dimulai dengan memeriksa karakter morfologi dan anatomi barang bukti, baik utuh maupun potongan tubuh, hidup maupun mati. Data hasil pemeriksaan morfologi dan anatomi kemudian divalidasi dengan organisme hidup, foto organisme maupun spesimen yang tersimpan di museum rujukan. Tahapan berikutnya adalah pemeriksaan menggunakan marka molekuler/DNA barcode. Hasil pemeriksaan DNA barcode akan dapat diketahui jenis ikan yang sedang diperiksa. Kedua hasil ini (identifikasi jenis berdasarkan karakter morfologi-anatomi dan marka molekuler) saling dikorfirmasi untuk memvalidasi jenis barang bukti yang sedang diperiksa.

Strategi Pengawasan dan Pengendalian SDI di Indonesia

Strategi pengawasan dan pengendalian SDGi dapat dilakukan dalam dua ruang lingkup utama, yaitu pertama pengawasan dan pengendalian dalam konteks menekan potensi ancaman, dan kedua pengawasan dan pengendalian dalam konteks penegakan peraturan di tempat pemasukan dan pengeluaran.

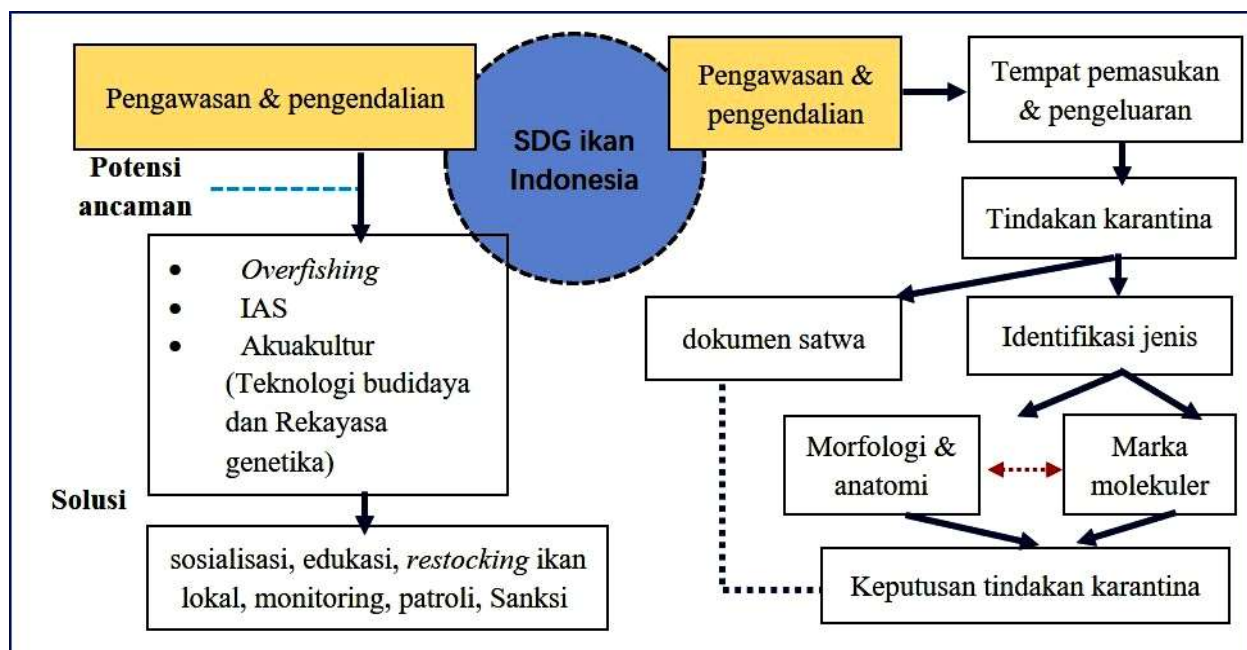
Dalam konteks pengawasan dan pengendalian terhadap ancaman *overfishing*, akuakultur, masuknya JAI serta kegiatan rekayasa genetika dapat dilakukan sosialisasi dan edukasi kepada para pelaku usaha, melakukan monitoring dan patroli di wilayah perairan tangkap, serta memberikan sanksi tegas kepada pihak-pihak yang melanggar regulasi terkait perlindungan sumber daya perikanan. Pada tahapan lebih lanjut untuk mengatasi *overfishing* dapat dilakukan melalui penetapan kawasan suaka perikanan (*reservat*) terhadap jenis-jenis ikan ekonomis penting. Pada umumnya kawasan suaka perikanan terbagi menjadi zona inti, zona penyangga, dan zona penangkapan. Dengan demikian populasinya dapat terjaga dan hasil tangkapan dapat berkelanjutan. Bahkan di beberapa wilayah terdapat kearifan lokal yang secara turun temurun menjaga kelestarian jenis ikan tertentu, misalnya di wilayah Sumatra Barat dan Jambi banyak ditemukan “Lubuk Larangan” dimana pada area tersebut disepakati secara adat tidak boleh melakukan penangkapan ikan. Jenis ikan yang dijaga kelestariannya terutama adalah ikan garieng atau semah (*Tor spp.*). Jenis ikan yang sama juga dikeramatkan di wilayah Kabupaten Kuningan Jawa Barat melalui kolam keramat. Masyarakat dan Pemerintah setempat memanfaatkannya melalui kegiatan wisata air (akuawisata). Selain tiket masuk, para pengunjung juga membeli pakan (kacang tanah kering, pellet, dan jagung) untuk memberi makan pada ikan yang dilindungi secara adat.

Pemulihan populasi juga dapat ditempuh melalui upaya penebaran kembali (*Restocking*) ke habitat aslinya. Dalam hal *restocking* perlu kehati-hatian agar jangan sampai menebar ikan yang bukan merupakan ikan asli sehingga kategorinya adalah introduksi. Kegiatan introduksi jenis ikan asing baik sengaja maupun tidak sengaja sudah sering terjadi di perairan Indonesia dan ada beberapa yang telah nyata mengancam kelestarian populasi ikan asli, misalnya ikan red devil (*Amphilophus labiatus*) dan sapu-sapu (*Pterygoplichthys spp.*) yang sudah tersebar dari Aceh sampai ke Papua. Untuk mengatasi masuknya JAI tersebut dapat dilakukan melalui eradikasi dan lomba

tangkap ikan tersebut dengan diberikan hadiah atau dibeli oleh panitia. Cara seperti ini pernah dilakukan di Waduk Sermo Kabupaten Kulonprogo. Untuk itu dalam pelaksanaan *restocking* harus dilakukan dengan prosedur dan ketentuan yang telah diatur oleh pihak/instansi yang berwenang, diantaranya berupa petunjuk teknis/juknis pelepasliaran (*restocking*). Pada juknis tersebut umumnya mencakup prosedur pemilihan lokasi *restocking*, pemilihan jenis ikan dan kualitasnya, pemasangan tagging/penanda, pengemasan, pengangkutan, aklimatisasi, dan penebarannya, serta pemantauannya.

Penggunaan alat tangkap ikan yang tidak ramah lingkungan juga masih sering digunakan oleh masyarakat di banyak tempat, misalnya setroom, racun, bom ikan, jaring insang dan bagan dengan *mesh size* yang kecil. Untuk mengatasi permasalahan tersebut selain edukasi juga perlu dilakukan melalui bantuan alat tangkap pengganti yang ramah lingkungan agar para nelayan masih dapat melakukan penangkapan ikan sesuai kaidah pemanfaatan berkelanjutan. Selain itu, pembatasan ukuran atau stadia ikan yang boleh ditangkap juga perlu disampaikan kepada para nelayan secara terus menerus. Sebagai contoh di Kabupaten Merauke yang merupakan daerah sebaran/habitat ikan Arwana Irian (*Scleropages jardinii*), semula masyarakat setempat menangkap ikan tersebut baik yang ukuran anakan maupun indukan, akan tetapi saat ini mereka hanya menangkap stadia yang anakan. Mereka telah menyadari bila indukannya juga ditangkap maka akan mengancam kelestarian dari populasi ikan Arwana yang merupakan komoditas penting untuk ikan hias.

Dalam hal pengawasan, pengetahuan para petugas di lapangan juga perlu ditingkatkan agar dapat melakukannya dengan baik. Salah satunya yang sudah dilakukan adalah melalui bimbingan teknis pengenalan terhadap jenis-jenis ikan yang bersifat invasif atau yang dalam perundangan lebih dikenal dengan jenis ikan yang membahayakan dan merugikan, serta jenis ikan yang dilindungi atau masuk appendix CITES (Gambar 3).



Gambar 3. Strategi pengawasan dan pengendalian SDG ikan di tempat pemasukan dan pengeluaran serta upaya menekan potensi ancaman terhadap SDG ikan Indonesia.

Figure 3. Strategy for monitoring and controlling fish genetic resources at entry and exit points as well as efforts to reduce potential threats to Indonesia's fish genetic resources.

Sedangkan pelanggaran administrasi terkait dokumen operasi, pelanggaran larangan berupa penyelundupan jenis yang dilarang masuk ke wilayah Indonesia, pemasukan dan pengeluaran jenis yang dilindungi oleh peraturan perundangan nasional maupun konvensi internasional perlu ditindak tegas di area pemasukan dan pengeluaran seperti di pelabuhan laut, pelabuhan sungai, pelabuhan penyeberangan, pelabuhan darat, bandar udara, kantor pos, pos perbatasan dengan negara lain. Dalam mengefektifkan tugas di atas, petugas harus memahami kelengkapan/kesesuaian dokumen yang dibutuhkan dan mengetahui jenis ikan dengan melakukan tindakan identifikasi lapangan. Setelah diketahui jenis dari produk ikan, maka dapat dilanjutkan dengan tindakan dan keputusan sesuai dengan regulasi karantina yang diamanatkan dalam Undang-Undang RI Nomor 21 Tahun 2019.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Pengawasan dan pengendalian terhadap SDGi merupakan satu kesatuan sebagai organisme ikan, termasuk bagian sel. Pengawasan dan pengendalian juga dilakukan terhadap organisme hidup maupun yang sudah mati, termasuk bagian-bagian tubuhnya yang mengandung material genetik. Strategi pengawasan dan pengendalian SDGi dilakukan dengan meminimalisir potensi ancaman dengan melalui sosialisasi, edukasi, *restocking* ikan lokal,

monitoring, patroli dan memberikan sanksi. Strategi pengawasan dan pengendalian SDG ikan di tempat pengeluaran dan pemasukan dapat dilakukan dengan memeriksa kelengkapan dokumen dan validasi jenis produk ikan. DNA barcode dan DNA forensik dapat diaplikasikan untuk mengidentifikasi jenis, serta bermanfaat untuk pembuktian dan *tracing* terhadap dugaan tindak kejahatan pada tumbuhan dan satwa liar.

Rekomendasi

Tulisan ini diharapkan dapat menambah wawasan khususnya bagi petugas pelaksana di lapangan agar lebih memahami konsep SDG ikan sehingga mampu melaksanakan tugas pengawasan terhadap SDG sesuai amanat dalam UU No. 21 Tahun 2019. Selain itu, uraian ini juga dapat dijadikan salah satu rujukan ilmiah bagi kementerian/lembaga terkait dalam upaya menyusun petunjuk teknis maupun peraturan turunan lainnya dalam konteks pengawasan dan pengendalian SDG ikan.

PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Pusat Karantina Ikan, Badan Karantina Ikan Pengendalian Mutu Hasil Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan yang telah memfasilitasi kegiatan diskusi dengan KIPM di masing-masing daerah. Rusdianto sebagai kontributor utama penulisan artikel ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander Kenekwaku N, Li M, An L, Cui M, Wang C, Wang A, Chen Y, Du S, Feng C, Zhong S, Gao Y, Cao X, Wang L, Obinna EM, Mei X, Song Y, Li Z and Qi D (2019) Comparative Analysis of the Complete Mitochondrial Genomes for Development Application. *Front. Genet.* 9:651. doi: 10.3389/fgene.2018.00651
- Alimuddin, Yoshizaki, G., Kiron, V., Satoh, S., & Takeuchi, T. (2005). Enhancement of EPA and DHA biosynthesis by over-expression of masu salmon D6-desaturase-like gene in zebrafish. *Transgenic Res.* 14, 159–165. <https://doi.org/10.1007/s11248-004-7435-7>
- Alves C, Pereira R, Prieto L, Aler M, Amaral CRL, Arévalo C, et al. (2017). Species identification in forensic samples using the SPInDel approach: A GHEP-ISFG inter-laboratory collaborative exercise. *Forensic Science International: Genetics* 28: 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2017.03.003>
- Arifin, O. Z., Ath-thar, M. H. F., & Gustiano, R. (2009). Aplikasi rekayasa genetik pada budidaya ikan di Indonesia. *Media Akuakultur* 4(1): 76-83. <http://dx.doi.org/10.15578/ma.4.1.2009.76-83>
- Atmaja, S B., Sadhotomo, B., dan Nugroho, D. (2011). Overfishing pada perikanan pukat cincin semi industri di laut Jawa dan implikasi pengelolannya. *J. Kebijak. Perikan. Ind.* Vol.3 (1): 51-60. <http://dx.doi.org/10.15578/jkpi.3.1.2011.51-60>
- Beardmore, J.A., Porter, J.S. (2003). Genetically modified organisms and aquaculture. *FAO Fisheries Circular*. No. 989. Rome, FAO. 38p. ISSN 0429-9329. https://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2008/674/pdf/C_989.pdf
- Bellard, C., Leroy, B., Thuiller, W., Rysman, J. F., & Courchamp, F. (2016). Major drivers of invasion risks throughout the world. *Ecosphere* 7, 1–14. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1241>
- Bergtrom, G. (2020). Basic Cell and Molecular Biology 4e: What We Know and How Found Out. Cell and Molecular Biology 4e: What We Know and How We Found Out - All Versions. 12. https://dc.uwm.edu/biosci_facbooks_bergtrom/12.
- Blundell, T. L. (2021). The first resolution revolution in protein structure analysis: X-ray diffraction of polypeptide conformations and globular protein folds in 1950s and 1960s. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2021.09.002
- Carmelite, M. A. (2019). Konsep ketahanan pangan pada kasus overfishing pada kawasan laut Jawa. *Dinamika Global : Jurnal Ilmu Hubungan Internasional*, 4(01), 158-177. <https://doi.org/https://doi.org/10.36859/jdg.v4i01.103>
- Chourrout, D., Guyomard, R., Houdebine, L.M., (1986). High-efficiency gene transfer in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) by microinjection into the egg cytoplasm. *Aquaculture* 51, 143–150. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90135-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90135-3)
- Davies, D. (1965). X-ray Diffraction Studies of Polypeptide Conformations, *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 15, 189-222. Doi:10.1016/0079-6107(65)90008-8
- Devlin, R. H., Leggatt R. A., and Benfey T. J. . . 2020. Chapter 7 - Genetic modification of growth in fish species used in aquaculture: phenotypic and physiological responses. In: Benfey T. J., Farrell A. P., and Brauner C. J., editors, *Fish physiology*, 38. Academic Press. p. 237–272.
- Dewantoro, G. W., & Rachmatika, I. (2016). *Jenis ikan introduksi dan invasif asing di Indonesia*. Jakarta: LIPI Press. 192 halaman.<http://penerbit.lipi.go.id/data/naskah1433295239.pdf>
- Dulvy, N. K., Pacoureau, N., Rigby, C. L., Pollom, R. A., Jabado, R. W., & Ebert, D. A. (2021). Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. *Current Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.062>.
- Dunham, R.A., Eash, J., Askins, J., Townes, T.M., (1987). Transfer of the metallothionein-human growth hormone fusion gene into channel catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 116, 87–91. DOI: 10.1577/1548-8659(1987)116<87:TOTMGH>2.0.CO;2
- Early, R., Bradley, B., & Dukes, J. (2016). Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nat Commun* 7, 12485. <https://doi.org/10.1038/ncomms12485>
- FAO/UNEP, 1981 Conservation of the genetic resources of fish: problems and recommendations. Report of the Expert Consultation on the genetic resources of fish. Rome, 9–13 June 1980. FAO Fish.Tech.Pap., (217):43 p.

- FAO. (2016). Marine species biological data collection manual: an illustrated manual for collecting biological data at sea. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. vi + 53 pp.
- Fletcher, G., & Davies, P.L., (1991). Transgenic fish for aquaculture. *Genet. Eng.* 13, 331–369. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3760-1_15
- Franco, C. M., Ambrosio, R. L., Cepeda, A., & Anastasio, A. (2021). Fish intended for human consumption: from DNA barcoding to a next-generation sequencing (NGS)-based approach. *Current Opinion in Food Science*, 42, 86–92. DOI:10.1016/j.cofs.2021.05.005
- Froese, R., & Pauly, D. (2021). FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org
- Gallardo, B., & Aldridge, D. C. (2013). The “dirty dozen”: socio-economic factors amplify the invasion potential of 12 high-risk aquatic invasive species in Great Britain and Ireland. *Journal of Applied Ecology*, 50(3), 757–766. <http://www.jstor.org/stable/24031541>
- Gouda S, Kerry RG, Das A, Chauhan NS. Wildlife forensics: A boon for species identification and conservation implications. *Forensic Sci Int.* Volume 317: doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110530.
- Gratacap, R., Wargelius, A., Edvardsen, R., & Houston, R. (2019). Potential of genome editing to improve aquaculture breeding and production. *Trends Genet.* 35, 672–684. DOI: 10.1016/j.tig.2019.06.006
- Gustiano, R., Kurniawan, K., & Haryono, H. (2021). Optimizing the Utilization of Genetic Resources of Indonesian Native Freshwater Fish. *Asian Journal of Conservation Biology* 10 (2), 189-196. DOI:10.53562/ajcb.67022.
- Gustiano, R., Kristanto, A.H., Tahapari, E., & Iswanto, B. (2012). Evaluation of *Pangasius djambal* Bleeker 1846 and *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage 1878) hybrids: Biometric, growth, and ovarian maturation. *Buletin Plasma Nutfah* 18 (1), 32-37. DOI:10.21082/blpn.v18n1.2012.p32-37
- Gustiano, R., Ath-thar, M.H.F., Kristanto, A.H., Prakoso, V.A., & Kusmini, I.I. (2020). Controlling gonad maturation on snakehead (*Channa striata*, Bloch 1793) for eliminating impact of climate change. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 521 (1), 012028. doi:10.1088/1755-1315/521/1/012028
- Gustiano, R, Prakoso, V.A., Radona, D., Dewi, R.R.S.P.S., Saputra, A., & Nurhidayat. (2021). A sustainable aquaculture model in Indonesia: multibiotechnical approach in *Clarias* farming. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 718 (012039), 1-1. doi:10.1088/1755-1315/718/1/012039
- Han, Y.C. & Chen, T.T. (2019). A pathway-focused RT-qPCR array study on immune relevant genes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) harboring cecropin P1 transgene. *Fish Shellfish Immunol.* 89, 1–11. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.03.027
- Hardijanto, S. Susilowati, T. Hernawati, T. Sardjito, & Suprayogi, T. W. (2010). *Buku Ajar Inseminasi Buatan*. Universitas Airlangga: Surabaya.
- Haryono, Totong., & Jumadi. (2020). Pedoman Identifikasi Jenis Ikan dilarang, dilindungi dan dibatasi. Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- Haryono., & Gustiano, R. (2022). Diversity, threats and its behavior on freshwater fishes In *Advance in animal science and zoology* 19, 93-128. *Nova Sci. Publ.*, NY, USA. P.93-128
- Hebert, P.D., Cywinska, A., & Ball, S.L. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. Biol. Sci., R. Soc.* 270 (1512). Doi: 10.1098/rspb.2002.2218
- Helyar SJ, Lloyd HaD, de Bruyn M, Leake J, Bennett N, Carvalho GR (2014) Fish Product Mislabelling: Failings of Traceability in the Production Chain and Implications for Illegal, Unreported and Unregulated (IUU) Fishing. *PLoS ONE* 9(6): e98691. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098691>
- Hostetler, H., Collodi, P., Devlin, R., & Muir, W. (2005). Improved phytate phosphorus utilization by Japanese medaka transgenic for the *Aspergillus niger* phytase gene. *Zebrafish* 2, 19–31. DOI:10.1089/zeb.2005.2.19
- Imtiaz, A., Nor, S A M., & Naim, D. M. D. (2017). Review: Progress and potential of DNA barcoding for species identification of fish species. *Biodiversitas*, 18(4): 1394-1405 <https://doi.org/10.13057/biodiv/d180415>
- Iyengar, A. (2014). Forensic DNA analysis for animal protection and biodiversity conservation: A review. *Journal for Nature Conservation* 22: 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2013.12.001>

- Jabin, G., Singh, S.K., Ghosh, A., Basu, S., Chandra, K., & Thakur, M. (2019). Illegal trade of obscured bear parts: A case study of identifying the suspected bear gall bladders. *Forensic Science International: Reports* 1 100001. <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2019.100001>
- Johnson, R. N., Wilson-Wilde, L., & Linacre, A. (2014). Current and future directions of DNA in wildlife forensic science. *Forensic Science International: Genetics*, 10, 1–11. DOI: 10.1016/j.fsigen.2013.12.007
- Kabeya, N., Takeuchi, Y., Yazawa, R., Haga, Y., Satoh, S., Yoshizaki, G., (2016). Transgenic modification of the n-3 HUFA biosynthetic pathway in nibe croaker larvae: improved DPA (docosapentaenoic acid; 22:5n-3) production. *Aquacult. Nutr.* 22, 472–478. <https://doi.org/10.1111/anu.12273>
- Kepmen-KP Nomor 1 Tahun 2021 Tentang Jenis Ikan yang Dilindungi
- Kress, W. J., García-Robledo, C., Uriarte, M., & Erickson, D. L. (2015). DNA barcodes for ecology, evolution, and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(1), 25–35. DOI: 10.1016/j.tree.2014.10.008
- Kurniasih T, R Gustiano. 2007. Hibridisasi sebagai alternatif untuk penyediaan ikan unggul. *Media Akuakultur* 2, 173-176 <http://dx.doi.org/10.15578/ma.2.1.2007.173-176>
- Kurniawan, K., Gustiano, R., Kusmini, I.I., Prakoso, V.A. (2021). Genetic resources preservation and utilization of Indonesian native freshwater fish consumption. *Eco. Env. & Cons.* 27 (1), 227-233 <http://www.envirobiotechjournals.com/EEC/v27i121/EEC-33.pdf>
- Lestari S, Abinawanto, A Bowolaksono, R Gustiano, AH Kristanto. 2020. The Percentage of embryo viability after 48h sperm cryopreservation: effect of various natural cryoprotectant. *Earth and Environmental Science* 441, 012070
- Li, Y., Tang, W., & Guo, M. (2021). The cell as matter: Connecting molecular biology to cellular functions. *Matter*, 4(6), 1863–1891. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2021.03.013>
- Lo, J.H., Lin, C.M., Chen, M.J., Chen, T.T., (2014). Altered gene expression patterns of innate and adaptive immunity pathways in transgenic rainbow trout harboring Cecropin P1 transgene. *BMC Genomics* 15, 887. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-887>
- Maclean, N. (2011). Cellular, molecular, genomics, and biomedical approaches | Transgenesis and Chromosome Manipulation in Fish. *In Encyclopedia of fish physiology/ : from genome to environment* (pp. 1998–2008). <https://doi.org/info:doi/>.
- McGeoch, M. A. (2010). Global indicators of biological invasion: species numbers, biodiversity impact and policy responses. *Divers. Distrib.* 16, 95–108 (2010). <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00633.x>
- Moore MK, Frazier K. (2019). Humans are animals, too: critical commonalities and differences between human and wildlife forensic genetics. *Journal of Forensic Science*, 64(6). <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14066>
- Motomura, Hiroyuki & Ishikawa, Satoshi (eds.). (2013). *Fish collection building and procedure manual*. English edition. The Kogoshima University Museum, Kogoshima and the research institute for humanity and nature, Kyoto. 70 pp.
- Nainggolan, Hermina., Rahmantya, Krisna Fery., Asianto, Anggie Destiti.....Malika, Rosna. (2018). *Kelautan dan perikanan dalam angka tahun 2018 marine and fisheries in figures 2018*. Pusat Data, Statistik dan Informasi. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- North A.C.T., Phillips D.C. (1969). X-ray studies of crystalline proteins. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 19: 1-132. PMID 4988891. DOI: 10.1016/0079-6107(69)90003-0
- Novianto, Bagus Rizki., Sudarno dan Masithah, Endang Dewi. (2014). Pengaruh perbedaan konsentrasi gliserol dalam susu skim kuning telur untuk proses penyimpanan sperma beku terhadap motilitas dan viabilitas spermatozoa ikan patin (*Pangasius pangasius*). *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 6 (1). 1-6. <https://doi.org/10.20473/jipk.v6i1.11356>
- Ogden R. (2010). Forensic science, genetics and wildlife biology: getting the right mix for a wildlife DNA forensics lab. *Forensic Science and Medical Pathology*. 6(3). DOI:10.1007/s12024-010-9178-5
- Permen-Kp Nomor 19 Tahun 2020 Tentang Larangan Pemasukan, Pembudidayaan, Peredaran, Dan Pengeluaran Jenis Ikan Yang Membahayakan

- Dan/Atau Merugikan Ke Dalam dan Dari Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia *Genomics* (2016) 17, 719 <https://doi.org/10.1186/s12864-016-3054-y>
- Permen-Kp Nomor 18 Tahun 2021 Tentang Penempatan Alat Penangkapan Ikan Dan Alat Bantu Penangkapan Ikan Di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia Dan Laut Lepas Serta Penataan Andon Penangkapan Ikan Undang-Undang RI Nomor 21 Tahun 2019 tentang Karantina Hewan, Ikan dan Tumbuhan.
- Permen-Kp Nomor 61 Tahun 2018 Tentang Pemanfaatan Jenis Ikan Yang Dilindungi Dan/Atau Jenis Ikan Yang Tercantum Dalam Appendiks CITES Undang-Undang RI Nomor 31 Tahun 2004 tentang Perikanan.
- Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2002 tentang Karantina Ikan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2002 Nomor 36, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4197); Undang-Undang RI Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Peraturan Pemerintah Nomor 60 Tahun 2007 tentang Konservasi Sumber Daya Ikan (Lembaran Negara RI Tahun 2007 Nomor 134, Tambahan Lembaran Negara RI Nomor 4779); Verma, P.S. & Agarwal V.K. (2005). *Molecular Biology, Evolution and Ecology*. S. Chand & Company Ltd. Ram Nagar, New Delhi
- Rahman, M.A. & Maclean, N., (1992). Production of transgenic tilapia *Oreochromis niloticus* by one-cell-stage microinjection. *Aquaculture* 105, 219–232. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90088-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90088-3) Wahyudewantoro, Gema., Haryono., Utama, Ilham Vemandra., Rusdianto, Oktaviyani, Selvia,...., Sulistiono. (2020). *Biota perairan terancam punah di Indonesia prioritas perlindungan seri ikan*. Direktorat Konservasi dan Keanekaragaman Hayati Laut, Ditjen PRL- KKP
- Rejeki, Sri., Aryati, Restiana Wisnu., Widowati., Lestari., & Laksmi. (2019). *Pengantar akuakultur*. Semarang: Undip Press Wilson JJ, Sing KW, Jaturas N. (2019). DNA barcoding: bioinformatics workflows for beginners. *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology* 3: 985-995 DOI:10.1016/B978-0-12-809633-8.20468-8
- Shears, M.A., Fletcher, G.L., Hew, C.L., Gauthier, S., Davies, P.L., (1991). Transfer, expression, and stable inheritance of antifreeze protein genes in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.* 1, 58–63. Yahara, T., Donoghue, M., Zardoya, R., Faith, D. P., & Cracraft, J. (2010). Genetic diversity assessments in the century of genome science. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(1-2), 43–49. Doi:10.1016/j.cosust.2010.03.008
- Smart, U., Cihlar, J. C., & Budowle, B. (2021). International Wildlife Trafficking: A perspective on the challenges and potential forensic genetics solutions. *Forensic Science International: Genetics*, 54, 102551. DOI: 10.1016/j.fsigen.2021.102551 Yazawa, R., Hirono, I., Aoki, T., (2006). Transgenic zebrafish expressing chicken lysozyme show resistance against bacterial diseases. *Transgenic Res.* 15, 385–391. <https://doi.org/10.1007/s11248-006-0009-0>
- Sugianti, Budi., Hidayat, Enjang Hernandi., Japet, Nuah., Anggraeni, Yeni. (2014). *Daftar pisces yang berpotensi menjadi spesies asing invasif di Indonesia*. Cetakan ke-2. Jakarta: KKP Zhang, P., Hayat, M., Joyce, C., Gonzalez-Villasenor, L.I., Lin, C.M., Dunham, R.A., Chen, T.T., Powers, D.A., (1990). Gene transfer, expression and inheritance of pRSV-rainbow trout-GH cDNA in the common carp, *Cyprinus carpio* (Linnaeus). *Mol. Reprod. Dev.* 25, 3–13. DOI: 10.1002/mrd.1080250103
- Takashi P. Satoh, Masaki Miya, Kohji Mabuchi¹ and Mutsumi Nishida. (2016). Structure and variation of the mitochondrial genome of fishes. *BMC* Zhu, Z., Li, G., He, L., Chen, S., (1985). Novel gene transfer into the fertilized eggs of gold fish (*Carassius auratus* L. 1758). *J. Appl. Ichthyol.* 1, 31–34. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1985.tb00408.x>