



Tersedia online di: <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jkpi>

e-mail: jkpi.puslitbangkan@gmail.com

JURNAL KEBIJAKAN PERIKANAN INDONESIA

Volume 12 Nomor 2 November 2020

p-ISSN: 1979-6366

e-ISSN: 2502-6550

Nomor Akreditasi Kementerian RISTEK-BRIN: 85/M/KPT/2020



UPAYA PENCEGAHAN DAN PENANGGULANGAN KEMATIAN MASSAL IKAN DI DANAU DAN WADUK

THE EFFORTS ON PREVENTION AND COUNTERMEASURES OF FISH MASS MORTALITY IN LAKES AND RESERVOIRS

Priyo Suharsono Sulaiman*¹, Puput Fitri Rachmawati¹, Reny Puspasari¹ dan Ngurah N. Wiadnyana¹

*Pusat Riset Perikanan, Gedung BRSDMKP II, Jl. Pasir Putih II Ancol Timur, Jakarta Utara 14430

Teregistrasi I tanggal: 26 Oktober 2019; Diterima setelah perbaikan tanggal: 16 April 2020;

Disetujui terbit tanggal: 30 April 2020

ABSTRAK

Degradasi kualitas perairan di danau dan waduk semakin meningkat menyebabkan terjadinya kasus kematian ikan secara massal. Untuk itu dilakukan kajian yang bertujuan untuk merumuskan upaya pencegahan dan penanganan kematian massal ikan di danau dan waduk, terutama bagi ikan-ikan budidaya, melalui telaah dan analisis berbagai literatur. Hasil kajian menunjukkan bahwa kasus kematian massal ikan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya: i) perairan kekurangan oksigen; ii) ikan mengalami keracunan akibat gas-gas beracun; iii) serangan penyakit pada ikan; iv) kelebihan daya dukung perairan; v) perubahan suhu perairan; serta vi) lokasi keramba jaring apung (KJA) berada di perairan waduk yang dangkal. Untuk meminimalkan kasus kematian massal ikan, upaya pencegahannya antara lain: (a) memahami penyebab kematian ikan; (b) fokus pada pencegahan; (c) perhatikan sanitasi ikan yang dibudidayakan; (d) pengecekan rutin kesehatan ikan; (e) memahami jenis parasit/pathogen, dan perlunya diagnosa dan perlakuan terhadap penyakit ikan yang diketahui; (f) pengurangan kepadatan ikan budidaya; (g) pemberian pakan ikan tidak berlebihan untuk meminimalkan buangan limbah organik ke perairan; (h) pemasangan sistem aerasi darurat; dan (i) pemindahan unit KJA ke perairan yang lebih dalam. Langkah-langkah penanganan jika terjadi kematian massal ikan diuraikan dalam tulisan ini. Diperlukan kolaborasi diantara pemangku kepentingan dalam upaya penanganan kematian ikan untuk mencegah terjadinya dampak yang lebih buruk pada ikan yang belum mengalami kematian massal.

Kata Kunci: Kematian massal ikan; danau; waduk; pencegahan; penanggulangan

ABSTRACT

Water quality degradation which caused mass fish mortality has increased in lakes and reservoirs. This study aimed to provide information on efforts of prevention and to handle the fish mass mortality through reviewing and analyzing various literatures. Results showed that the mass mortality of fish was caused by several factors, including: i) oxygen-deficient waters; ii) fish poisoning due to toxic gases; iii) disease attack on fish; iv) excess waters carrying capacity; v) water temperature changes; and vi) the location of floating net cages (KJA) in shallow waters reservoir. To minimize the fish mass mortality, preventive measures that can be taken include: (a) understanding the causes of fish mass mortality; (b) focus on prevention; (c) paying attention on sanitation of cultivated fish; (d) routine checks on the fish health; (e) understanding the types of parasites or pathogens and the need for diagnosis and treatment of the typed fish diseases; (f) reduction in the abundance of cultivated fish; (g) reduction in fish feeding for minimizing organic waste disposal; (h) installation of emergency aeration systems; and (i) transferring the cages net to other deeper water areas. Furthermore, handling efforts in the event of a mass mortality occurrence of fish are described in this paper. Collaboration and coordination among stakeholders are needed in efforts to deal with the mass mortality of fish in lakes and reservoirs, to prevent a worse impact for fish which are still alive in cages net.

Keywords: Fish mass mortality; lake; reservoir; preventive; countermeasures

Korespondensi penulis:

e-mail: priyo.sulaiman@gmail.com

Telp. +62 813-3461-6727

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jkpi.12.1.2020.59-73>

PENDAHULUAN

Degradasi kualitas perairan telah menjadi masalah utama bagi kehidupan ikan dan dalam pengembangan budidaya ikan di banyak perairan danau dan waduk, padahal aktivitas ini mensyaratkan kondisi kualitas perairan yang baik agar ikan budidaya dapat tumbuh dan berkembang secara optimal. Kualitas air yang baik sangat penting untuk menjamin kehidupan ikan sehat sepanjang periode budidaya (Maulana *et al.*, 2015). Salah satu penyebab kualitas perairan danau dan waduk sering kali memburuk adalah masuknya bahan pencemar yang berasal dari daerah hulu (daratan) dan adanya bahan pencemar yang berasal dari badan air itu sendiri.

Dari aspek kegiatan perikanan budidaya tampak bahwa intensifnya perkembangan budidaya ikan dalam keramba jaring apung (KJA) juga berpotensi meningkatkan akumulasi beban pencemar di perairan danau dan waduk. Pertumbuhan KJA yang tak terkendali umumnya disertai dengan pemberian pakan yang berlebihan (*over feeding*) sehingga banyak sisa pakan yang terbuang ke perairan dan mengakibatkan pengkayaan unsur hara (Nontji, 2016; Zulfia & Aisyah, 2013; Aida & Utomo, 2012; Maulana *et al.*, 2015). Sisa pakan yang mengendap di dasar perairan berpotensi menjadi sumber racun bagi ikan-ikan di permukaan ketika terjadi umbalan atau *upwelling*. Umbalan dengan massa air beracun atau beroksigen rendah dapat berdampak fatal bagi usaha perikanan di danau dan waduk karena memicu munculnya peristiwa kematian massal ikan baik ikan-ikan liar dan/atau ikan-ikan yang dibudidayakan dalam KJA.

Fenomena umbalan umumnya banyak terjadi pada musim penghujan, saat cuaca mendung berlangsung sehari-hari. Adanya hujan yang terus-menerus dan tidak adanya penetrasi cahaya matahari akan mengakibatkan suhu permukaan air menjadi lebih rendah, sehingga massa air di bagian permukaan menjadi lebih berat dan tenggelam ke dasar perairan. Air permukaan digantikan dengan air di bagian bawah (yang lebih hangat) naik ke atas dan membawa senyawa beracun seperti NH_3 dan H_2S serta oksigen rendah. Proses umbalan dapat secara kuat mengubah kondisi fisika dan kimia (contoh: sebaran suhu, salinitas, kecerahan, komposisi kimia air dan pencemaran perairan), termasuk juga mempengaruhi proses biologi yang ada (contoh: siklus bakteri dan fitoplankton) yang ada di dalam perairan (Troitskaya *et al.*, 2015). Umbalan dengan proses perubahan massa air permukaan akhirnya mengakibatkan terjadinya kematian massal pada ikan.

Kejadian kematian massal ikan di danau dan waduk di Indonesia telah banyak dikaji mulai dari tahun 2008 sampai dengan 2017 di beberapa lokasi, seperti di Danau Maninjau, Danau Toba, Danau Singkarak, Waduk Wadaslintang, Waduk Gajah Mungkur, Waduk Cirata dan Jatiluhur, Waduk Kedung Ombo, dan Waduk Saguling (Kartamihardja & Krismono, 2016; Coubout, 2015; Sachoemar & Wahjono, 2007; Muawanah *et al.*, 2004; Widyastuti *et al.*, 2009). Dari informasi yang diperoleh ternyata sebagian besar kejadian kematian massal ikan yang terjadi di danau dan waduk, disebabkan oleh fenomena umbalan akibat kelebihan nutrisi dampak dari kegiatan budidaya ikan di KJA (Kartamihardja, 2013). Tidak hanya akibat faktor kegiatan budidaya KJA yang melebihi daya dukung, penyebab kematian massal ikan dapat juga disebabkan karena faktor alam (tuba belerang), seperti yang pernah terjadi di Danau Maninjau (Kartamihardja & Krismono, 2016).

Tulisan ini bertujuan untuk menelaah fenomena dan upaya pencegahan kematian ikan secara massal dan penanggulangan kematian massal ikan yang terjadi pada usaha budidaya ikan dalam KJA di perairan danau dan waduk di Indonesia. Adapun metode pengumpulan dan penelaahan data yang digunakan meliputi diskusi pakar dan kajian literatur terkait.

KONDISI TERKINI BEBERAPA DANAU DAN WADUK

Hasil telaah menunjukkan bahwa terdapat lebih dari 740 danau di Indonesia dengan luas genangan lebih dari 685.700 ha (Haryani, 2013). Adapun jumlah badan air yang berupa waduk diperkirakan sebanyak 231 waduk. Lukman (2011) selanjutnya merinci bahwa danau yang berukuran besar banyak ditemukan di Pulau Sumatera (8 danau), di Kalimantan (4 danau) dan di Sulawesi (6 danau), dengan kisaran luas masing-masing danau antara 3.200 ha sampai 112.970 ha.

Danau dan waduk merupakan badan air yang sangat potensial dikembangkan sebagai lahan budidaya ikan dalam KJA. Aktivitas budidaya di danau dan waduk mensyaratkan kondisi perairan yang memiliki tingkat kesuburan miskin (*oligotrofik*) sampai sedang (*mesotrofik*). Pada kenyataannya KJA juga dipasang pada perairan dengan tingkat kesuburan tinggi (*eutrofik* hingga *hipereutrofik*) seperti di sentra budidaya KJA di Danau Toba, Maninjau, Tondano, Waduk Djuanda, Cirata dan Kedung Ombo, kecuali Danau Singkarak dan Waduk Koto Panjang yang masih dalam kondisi *mesotrofik* (Tabel 1).

Tabel 1. Tingkat kesuburan perairan beberapa danau dan waduk di Indonesia
 Table 1. The trophic levels in some lakes and reservoirs in Indonesia

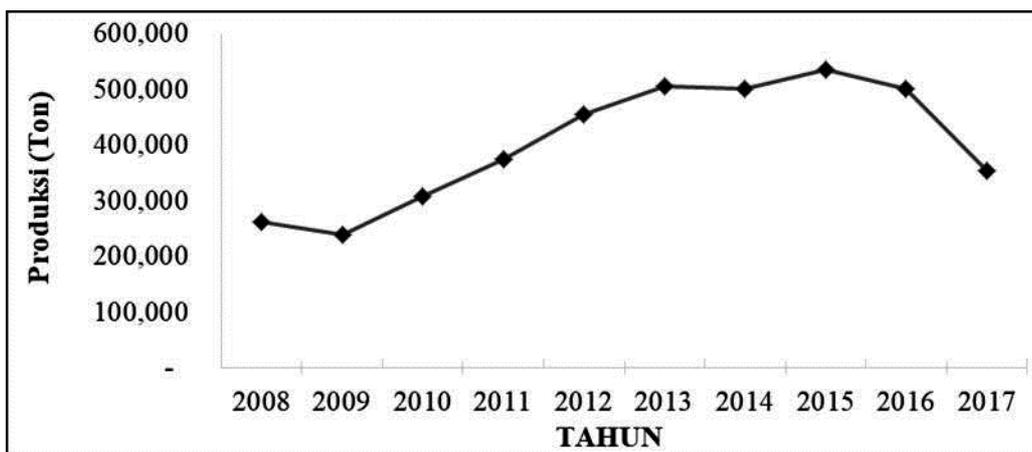
Nama Danau & Waduk/ Lake & Reservoir Names	Luasan (ha)/ Area (ha)	Status Trofik/ Trophic Status	Sumber/ Source
D. Toba	112.400	<i>eutrofik</i>	Kartamihardja et al. (2015); Pratiwi et al. (2016)
D. Maninjau	9.950	<i>eutrofik-hipereutrofik</i>	Badjoeri (2013); Sulastri et al. (2019)
D. Singkarak	11.220	<i>mesotrofik</i>	Suryono et al. (2006)
D. Tondano	5.100	<i>eutrofik</i>	Sittadewi (2008); Wantasen (2012)
W. Koto Panjang	12.400	<i>mesotrofik-eutrofik</i>	Siagian & Simarmata (2018)
W. Saguling	5.400	<i>eutrofik</i>	Hart et al. (2002)
W. Cirata	6.200	<i>eutrofik-hipereutrofik</i>	Purnamaningtyas & Tjahjo (2008)
W. Djuanda	8.300	<i>hipereutrofik</i>	Tjahjo & Purnamaningtyas (2008)
W. Gajah Mungkur	7.600	<i>eutrofik</i>	Utomo et al. (2011)
W. Kedung Ombo	4.800	<i>eutrofik</i>	Aida & Utomo (2012)

Perairan danau dan waduk yang terlalu subur (*eutrofik-hipereutrofik*) tidak cocok dipilih sebagai lokasi usaha budidaya KJA karena peluang terjadinya umbalan cukup tinggi. Selain itu, tingkatan *eutrofik* juga dapat menjadi indikasi telah terlampauinya daya dukung suatu perairan untuk menunjang kegiatan budidaya perikanan.

PERKEMBANGAN BUDIDAYA SISTEM KJA DAN DAYADUKUNGNYA

Usaha ekonomi di bidang perikanan melalui kegiatan budidaya ikan dalam KJA telah berkembang

cukup pesat. Hal ini didukung dengan cukup banyaknya perairan danau dan waduk di Indonesia. Faktor pendukung lain adalah sistem budidaya ini juga cukup mudah dilakukan dan cukup produktif serta efisien untuk diterapkan pada perairan danau maupun waduk, selama kualitas perairan tersebut masih dalam kondisi yang baik. Terjadi tren peningkatan jumlah produksi ikan dari budidaya KJA, dimana pada 2008 total produksinya sekitar 250.000 ton dan terus meningkat menjadi sekitar 450.000 ton pada 2012 meskipun akhirnya terjadi penurunan produksi sejak 2016 dan 2017 (Gambar 1).



Gambar 1. Trend produksi ikan budidaya KJA selama periode 2008-2017.

Sumber: <http://sidatik.kkp.go.id/>

Figure 1. Trend production of cultured fish at floating net cages in 2008-2017.

Source: <http://sidatik.kkp.go.id/>

Jika dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya, jumlah unit KJA di beberapa danau dan waduk di Sumatera dan Jawa telah berkembang pesat. Peningkatan jumlah KJA tertinggi terjadi di Waduk Djuanda, Jawa Barat yang merupakan salah satu sentra budidaya pembesaran ikan nila dan mas

terbesar di Pulau Jawa. Peningkatan jumlah KJA di waduk ini terus terjadi sejak tahun 2000 dan mencapai hampir sembilan belas kali lipat pada 2016. Selain itu, terdapat perkembangan peningkatan jumlah KJA di danau dan waduk lainnya dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perkembangan jumlah budidaya ikan dengan KJA di beberapa perairan danau dan Waduk di Pulau Sumatera dan Jawa, periode 2006-2016

Table 2. The increase of fish culture using floating net cages (FNC) in several lakes and reservoirs of Sumatera and Java during 2006-2016

Danau & Waduk/ Lake & Reservoir	Periode Waktu/ Time Period	Perkembangan Jumlah KJA/ The Development of The Number of FNC	Sumber/ Source
D. Toba	2006-2016	215%	Khairunnisa <i>et al.</i> (2014); Hutapea (2018)
D. Maninjau	1999-2008	527%	Tanjung & Hamdani (2015)
D.Tondano	1996-2010	167%	Diskan Kab. Minahasa (1996); Nontji (2016)
W. Djuanda	2000-2016	1930%	Astuti <i>et al.</i> (2014; 2016)
W. Cirata	1998-2002	400%	Nastiti <i>et al.</i> (2018)
W. Kedung Ombo	2010-2016	300%	Utomo <i>et al.</i> (2016)

Di beberapa danau dan waduk yang berlokasi di Sumatera dan Jawa, produksi ikan dari KJA telah mencapai 1-9 kali lipat dari daya dukungnya (Tabel 3). Sebagai contoh, di Waduk Juanda mencapai 9 kali daya dukungnya, di Waduk Cirata mencapai 7

kali daya dukungnya, serta di Waduk Darma dan Danau Maninjau mencapai 3 kali daya dukungnya. Jika kondisi ini dibiarkan, dapat diprediksi untuk masa mendatang potensi frekuensi kejadian kematian masal ikan akan semakin meningkat.

Tabel 3. Daya dukung dan kondisi terkini budidaya KJA di beberapa danau dan waduk di Indonesia

Table 3. Carrying capacity and actual conditions of floating net cages (FNC) in some lakes and reservoirs in Indonesia

Danau & Waduk/ Lake & Reservoir	Daya Dukung (DD)/ Carrying Capacity (CC)		Kondisi Aktual (KA)/ Actual Condition (AC)		Rasio DD & KA/ CC & AC Ratio	
	Produksi Ikan (ton/th)/ Fish Prod. (ton/year)	KJA/ FNC	Produksi Ikan (ton/th)/ Fish Prod. (ton/year)	KJA/ FNC	Produksi Ikan (ton/th)/ Fish Prod. (ton/year)	KJA/ FNC
D. Toba	50.000	16.700	75.559	11.417	151%	47%
D. Maninjau	1.080	6.000	2.702	15.051	250%	251%
W. Djuanda	5.676	2.364	52.102	21.700	918%	918%
W. Cirata	5.967	7.037	35.359	53.031	593%	754%
W. Saguling	3.074	3.625	5.919	6.980	193%	193%
W. Darma	651	181	4.000	1.117	614%	617%
W. Gajah Mungkur	14.673	4.891	5.445	1.296	37%	26%
W. Wadaslintang	4.439	1.268	4.179	398	94%	31%
W. Koto Panjang	27.929	7.758	3.240	900	12%	12%
W. Kedung Ombo	4.425	1.134	5.845	1.506	132%	133%

Sumber/Source: Kartamiharja *et al.* (2015); Kartamiharja & Krismono (2016); Utomo *et al.* (2016)

Dalam konteks lingkungan perikanan, daya dukung suatu danau atau waduk didefinisikan sebagai tingkat maksimum produksi ikan yang dapat dihasilkan oleh badan air selama jangka waktu yang panjang tanpa mengalami penurunan mutu dan mempengaruhi kelangsungan usahanya (berkelanjutan) (Abery *et al.*, 2005; Rachmansyah *et al.*, 2005; Anrosana & Gemaputri, 2017; Marpaung *et al.*, 2018). Daya dukung ini akan berbeda-beda untuk setiap badan air bergantung pada luas area dan tingkat kesuburannya. Sebagai contoh, Waduk Djuanda dan Waduk Cirata memiliki daya dukung produksi ikan yang tidak jauh berbeda yaitu sebesar 5.700-6.000 ton/tahun, padahal memiliki luas perairan yang berbeda cukup signifikan. Waduk Djuanda memiliki luas sekitar 8.300 Ha sedangkan Waduk Cirata sekitar 6.200 Ha.

FENOMENA KEMATIAN MASSAL IKAN

Fenomena kematian massal ikan di perairan umum daratan lebih banyak terjadi di danau dan waduk, meskipun pada beberapa kasus pernah terjadi di perairan estuaria, seperti di Mimika, Papua (Husnah *et al.*, 2018). Dari telaah yang dilakukan menunjukkan bahwa kasus kematian massal ikan di danau dan waduk yang pernah terjadi dominan di Pulau Sumatera (Tabel 4). Penyebab kematian massal ikan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain: 1) kekurangan oksigen; 2) keracunan oleh gas-gas beracun; 3) serangan penyakit ikan; 4) kelebihan daya dukung perairan; 5) perubahan suhu; serta 6) lokasi KJA berada di perairan waduk yang dangkal (Barril, 2014; Kartamihardja & Krismono, 2016).

Tabel 4. Kejadian kematian massal ikan dan penyebabnya di beberapa perairan danau dan waduk di Pulau Sumatera dan Jawa pada periode 2013-2019

Table 4. The incidence of fish mass mortality and its causes in some waters of lakes and reservoirs on Sumatra and Java during 2013-2019

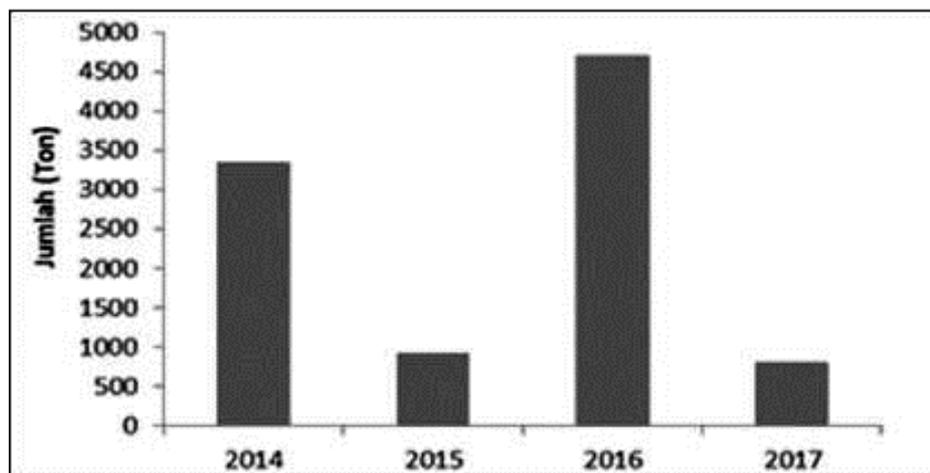
Area/ Area	Lokasi/ Location	Frekuensi Kejadian (2013- 2019)/ Occurrence Frequency (2013-2019)	Penyebab/ Causes	Sumber/ Source
Sumatera	Danau Toba	8	Umbalan, defisit oksigen	BP2KSI (2016) Karokaro (2016) Damanik (2017) Karokaro (2018)
	Danau Maninjau	22	Umbalan, hujan deras, angin kencang, defisit oksigen, tuba belerang	Maulana (2014; 2016) Putra (2014) Mandiri (2014) Ilham (2016) Maulana (2015) Faruqi (2016) Purnama (2016) Murdaningsih (2016) Admin (2016) Hazliansyah (2016) Candra (2018) Mutiah (2018)
	Danau Singkarak	3	Destratifikasi massa air, umbalan	Coubout (2015) Damanik (2016)
Jawa	Waduk Jatiluhur dan Cirata	4	Umbalan, angin kencang, hujan deras	Admin (2017) Jalaludin (2017).
	Waduk Saguling	3	Umbalan, hujan deras, cuaca ekstrim	Asyari (2017) Oche (2017) Husodo (2019)
	Waduk Darma	4	Umbalan, hujan deras, angin kencang	Khazanah (2013) Kuningan (2018) Nuryaman (2019) Toiskandar (2019)
	Waduk Wonogiri	4	Defisit oksigen, cuaca ekstrim	Wicaksono (2014) Ali (2019) Perdana (2019) Santoso (2019)

Sebagian besar kejadian kematian massal ikan di perairan danau dan waduk, disebabkan oleh fenomena umbalan akibat penumpukkan bahan organik dan nutrisi berlebih dari kegiatan budidaya ikan di KJA yang mengakibatkan terjadinya kondisi defisit oksigen (Kartamihardja, 2013). Selanjutnya Kusumaningtyas *et al.* (2014); Nastiti & Krismono (2003); Krismono *et al.* (1996) menambahkan bahwa terdapat beberapa tanda/indikasi yang dapat digunakan sebagai peringatan dini bahwa fenomena umbalan di perairan danau dan waduk akan terjadi yaitu:

- Hujan terus menerus selama beberapa hari, cuaca mendung/hujan disertai angin dan tidak ada sinar matahari selama 3 hari berturut-turut.
- Tingkat tutupan awan selama dua hari terakhir sebelum kejadian kematian ikan mencapai > 90%.
- Terdapat tanda-tanda penurunan kualitas air sebelum terjadi kematian massal ikan, diantaranya kadar oksigen terlarut kurang dari 3 mg/liter.

- Suhu permukaan perairan cenderung dingin dan terus menurun akibat tidak adanya penetrasi cahaya matahari dan hujan yang berlangsung terus menerus.
- Ikan-ikan cenderung muncul ke permukaan perairan untuk menghirup oksigen akibat rendahnya oksigen terlarut di dalam air, dan/atau
- Mulai terjadi kejadian kematian ikan pada area-area tertentu secara sporadis.

Peristiwa kematian massal pada ikan di perairan umum daratan seperti danau dan waduk menimbulkan kerugian yang besar pada usaha budidaya ikan, karena pada umumnya ikan yang mengalami kematian adalah ikan yang berada dalam KJA. Sejak 2013 hingga 2017 terjadi lebih dari 35 kasus kematian massal ikan yang tercatat. Total volume kematian massal ikan bervariasi untuk setiap tahunnya, dengan kejadian tertinggi pada 2016, sebanyak 4.735 ton ikan (Gambar 2).



Gambar 2. Volume kematian massal ikan dalam KJA yang tercatat secara nasional
Figure 2. The quantity in volume of fish mass mortality at floating net cages at national level.
(Sumber: Direktorat Kawasan dan Kesehatan Ikan, DJPB-KKP, 2017).
(Source: Directorate of Aquaculture Development Area, DGA-MMAF, 2017).

PENCEGAHAN KEMATIAN MASSAL IKAN

Usaha perikanan budidaya di danau/waduk seyogyanya dilaksanakan dengan mengacu pada Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor KEP. 02/MEN/2007 Tentang Cara Budidaya Ikan Yang Baik, dengan tujuan agar ikan budidaya sehat dan tumbuh secara optimal, namun lingkungan perairan tetap terjaga kualitasnya. Dari analisis berbagai kasus kematian massal ikan diperoleh langkah-langkah preventif yang dapat dilakukan untuk meminimalkan terjadinya kasus kematian massal ikan di danau dan waduk, antara lain:

- Pahami penyebab kematian massal ikan. Pada saat terjadi kasus kematian massal ikan, perlu dilakukan pengamatan kualitas perairan meliputi kecerahan, suhu, DO, pH, NH₃, BOD/COD, dan klorofil (Barril, 2014) dan kondisi cuaca serta biologi ikan. Pengamatan ini dilakukan untuk menentukan penyebab terjadinya kasus kematian massal ikan.
- Fokus pada pencegahan dibandingkan dengan perlakuan saat kejadian, seperti: (i) menghentikan kegiatan budidaya saat puncak musim hujan berlangsung; (ii) melakukan pengurangan padat tebar ikan budidaya; dan (iii) mengganti spesies

- ikan budidaya (saat mendekati musim penghujan) dengan komoditas ikan yang lebih tahan perubahan lingkungan berupa penurunan kandungan oksigen terlarut yang rendah (contoh: patin dan nila).
3. Sanitasi ikan yang akan dibudidayakan
Sanitasi ikan yang akan dibudidayakan dapat dilakukan dengan melakukan *screening* benih, untuk memastikan benih ikan yang akan dibudidayakan dalam kondisi sehat dan tidak membawa penyakit. *Screening* dapat dilakukan dengan cara merendam ikan benih dalam larutan garam 1% selama 2 menit (Bayusetiaji *et al.*, 2015).
 4. Pengecekan secara rutin terhadap kesehatan ikan budidaya
Ikan yang telah dibudidayakan secara berkala perlu dilakukan pengecekan kesehatannya melalui pengamatan fisik maupun pengamatan terhadap respon pakan yang diberikan. Ikan yang sehat akan berenang aktif dan memberikan respon yang agresif terhadap pakan yang diberikan.
 5. Ketahui jenis parasit atau pathogen yang menyebabkan kematian massal ikan dan perlunya diagnosa serta perlakuan terhadap penyakit ikan yang muncul.
Bila ditemukan ikan dalam kondisi sakit, maka ikan harus dikarantina dalam KJA yang terpisah untuk dilakukan *treatment* pengobatan. Pada kondisi tertentu (terserang virus KHV), ikan budidaya sebaiknya dimusnahkan. Hal ini dilakukan agar penyakit dapat dilokalisir dan ditekan penyebarannya. Untuk mengetahui penyebab kematian massal ikan karena penyakit (parasit atau patogen), perlu dilakukan pengamatan fisik dan laboratorium. Dengan semakin cepat diketahuinya suatu penyakit, maka upaya penanggulangan yang tepat dapat segera dilakukan.
 6. Kurangi kepadatan jumlah ikan yang dibudidayakan.
Mengurangi kepadatan tebar akan dapat meningkatkan persentase sintasan ikan budidaya. Padat tebar yang terlalu tinggi akan mengakibatkan kompetisi dalam memperebutkan ruang, makanan dan oksigen. Sebagai contoh, padat tebar optimal untuk budidaya jenis ikan nila di dalam KJA adalah sekitar 20-109 ekor/m² (Nugroho, 2011; Muhamat & Hidayaturrahmah, 2017).
 7. Kurangi pemberian pakan ikan agar sedapat mungkin menekan buangan limbah organik ke perairan.
Menurut Kartamihardja (2014), teknologi pemberian pakan ikan dengan menggunakan pakan ikan terapung dengan kandungan P dalam pakan maksimal 1% akan mengurangi dampak penyuburan perairan waduk dan danau. Selain itu, pengurangan dampak negatif dari pakan yang tidak termakan ikan budidaya dapat dilakukan dengan menerapkan budidaya ikan dalam KJA ganda, dimana ikan yang dipelihara dalam jaring lapis dua tidak diberi makan dan hanya mengandalkan makanan yang tidak termakan oleh ikan utama yang dipelihara pada jaring lapisan bagian dalam. Contoh penerapan teknologi budidaya ini adalah pemeliharaan ikan mas di kantong jaring bagian dalam dan ikan nila di lapisan jaring bagian luar yang dilakukan di Waduk Djuanda dan Cirata (Abery *et al.*, 2005).
 8. Pasang sistem aerasi darurat.
Pada saat kondisi oksigen mengalami penurunan yang signifikan, injeksi oksigen melalui pemasangan sistem aerasi di KJA dapat dilakukan. Hal ini dilakukan dengan tujuan meningkatkan kandungan oksigen terlarut di dalam KJA budidaya yang menurunkan akibat proses umbalan tersebut.
 9. Pemindahan unit KJA.
Pada saat muncul tanda-tanda akan terjadi umbalan, salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah memindahkan KJA ke daerah perairan yang lebih dalam. Pada perairan ini, diharapkan proses pengadukan alami saat umbalan terjadi tidak mencapai dasar perairan sehingga senyawa beracun yang ada di dasar perairan tidak teraduk dan mengakibatkan kematian massal ikan di dalam KJA.
 10. Pemasangan *Early Warning System (EWS)*
Dengan memanfaatkan teknologi EWS, diharapkan mampu melakukan antisipasi dalam pencegahan kematian massal ikan. Pemasangan teknologi ini dengan *buoy PLUTO* pernah dicobakan di Waduk Jatiluhur, Waduk Cirata, dan Danau Maninjau pada 2015 oleh Pusat Pengkajian dan Perekayasaan Teknologi Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Prinsip kerja teknologi EWS adalah merekam parameter perairan seperti kondisi oksigen, suhu, TDS (*Total Dissolved Solid*), DO (*Dissolved Oxygen*), H₂S (Hidrogen Sulfida), dan pH. Berdasarkan perubahan kondisi parameter dari normal menjadi tidak normal atau prediksi akan adanya ledakan populasi fitoplankton (fenomena "umbalan"), dapat dilakukan antisipasi dengan cara melakukan pemanenan ikan di KJA lebih awal. Sistem pencegahan ini akan dapat dilaksanakan bila data yang diterima sensor *buoy* diinformasikan oleh pengelola sistem pemantauan dengan teknologi EWS ke pemilik usaha KJA. Kelemahan dari teknologi ini adalah dari segi biaya yang tidak murah dan pemeliharannya harus dilakukan secara kontinu sepanjang tahun.

PENANGGULANGAN PASCA KEMATIAN MASSAL IKAN

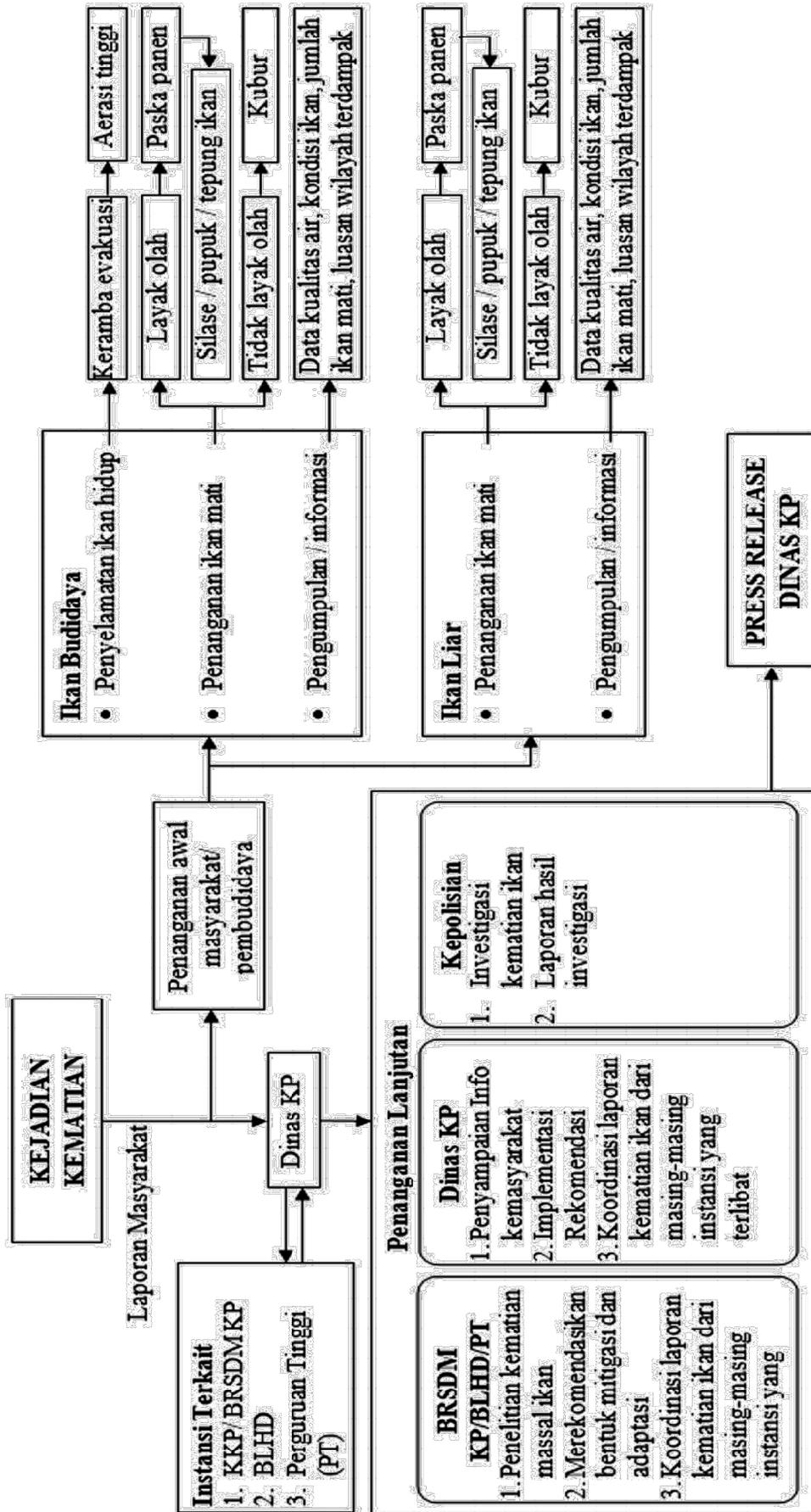
Pengalaman di lapangan dari berbagai lokasi upaya telah dilakukan oleh pembudidaya ikan/masyarakat atau Dinas Kelautan dan Perikanan setempat saat terjadi kasus kematian massal ikan pada KJA adalah sebagai berikut:

- a. Bila kematian terjadi di dalam KJA, maka pada tahap awal adalah melakukan penyelamatan ikan yang masih hidup ke keramba evakuasi, yaitu keramba yang ditempatkan dengan jarak yang cukup jauh dari lokasi kejadian. Keramba evakuasi dilengkapi dengan mesin aerasi yang menginjeksikan udara ke keramba agar kandungan oksigen meningkat.
- b. Membuang atau mengangkat bangkai ikan yang sudah mati sesegera mungkin, untuk menghindari terjadinya pembusukan ikan di perairan.
- c. Melakukan mobilisasi pengangkutan bangkai dari danau atau waduk ke darat.
- d. Menyediakan lahan untuk pemusnahan bangkai ikan melalui penguburan/pembakaran bangkai.
- e. Melakukan sterilisasi alat budidaya melalui penjemuran jaring KJA untuk menghindari penyebaran bakteri, parasit atau jamur penyebab penyakit yang mungkin muncul akibat pembusukan ikan, sebelum jaring KJA digunakan lagi.

- f. Melakukan monitoring pelaksanaan evakuasi bangkai ikan sampai dengan penguburan/pembakaran, serta monitoring kualitas air pasca kematian ikan.

Alur Penanganan Kematian Massal Ikan

Peristiwa kematian massal ikan umumnya tidak terjadi secara tiba-tiba. Pembudidaya ikan harus melapor kepada otoritas perikanan setempat (Dinas Perikanan Kabupaten/Kota) apabila menemukan tanda-tanda akan terjadinya kematian massal ikan (Gambar 3). Selanjutnya otoritas perikanan berkoordinasi dengan *resource agency* (Kementerian Kelautan dan Perikanan, Badan Lingkungan Hidup Daerah, dan Perguruan Tinggi dan Kepolisian) untuk melakukan kajian dan investigasi penyebab kematian massal ikan. Hasil kajian selanjutnya digunakan sebagai dasar penentuan kebijakan penanganan dan mitigasi kematian massal ikan. Sementara itu, otoritas perikanan bekerja sama dengan pembudidaya ikan melakukan penanganan kematian ikan berupa pembersihan lingkungan perairan dari bangkai-bangkai ikan yang mati. Pada proses ini, kegiatan pengawasan perlu dilakukan untuk memastikan bahwa upaya pembersihan lingkungan perairan dilakukan sesuai dengan prosedur yang sudah ditetapkan.



Gambar 3. Bagan alir penanganan kematian ikan di danau dan waduk (Puspasari, et. al., 2017).
Figure 3. The diagram for handling of fish mass mortality in lake and reservoir (Puspasari, et. al., 2017).

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Kematian massal ikan di perairan danau dan waduk umumnya lebih banyak terjadi pada badan air yang daya dukung perairannya telah berlebih penggunaannya. Kematian massal ikan lebih banyak dan sering disebabkan karena fenomena umbalan (*upwelling*). Untuk menghindari terjadinya kematian massal ikan di perairan danau/waduk, sebaiknya usaha budidaya ikan dalam KJA tidak dikembangkan di perairan dengan kondisi *eutrofik* atau *hiper eutrofik* dan biomassa ikan yang dipelihara tidak boleh melebihi daya dukung waduk/danau tersebut. Selain itu, usaha budidaya KJA yang dilakukan juga harus mengacu pada Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor KEP. 02/MEN/2007 Tentang Cara Budidaya Ikan Yang Baik.

Rekomendasi

Untuk mengantisipasi dan meminimalkan dampak kasus-kasus kematian massal ikan di danau dan waduk, diperlukan kolaborasi dan koordinasi diantara pemangku kepentingan dalam upaya penanganan kematian massal ikan di danau dan waduk, untuk mencegah terjadinya dampak yang lebih buruk akibat kematian ikan dalam KJA. Langkah-langkah yang perlu dilakukan oleh berbagai pihak terkait, meliputi:

1. Kementerian Kelautan dan Perikanan perlu mengkoordinasikan pelaksanaan pengelolaan budidaya ikan sistem KJA dan lingkungannya: (i) segera membuat peraturan mengenai kegiatan budidaya ikan di perairan umum daratan yang mengacu pada UU No 45/2009, tentang perikanan; PP 28/2017 tentang pembudidayaan ikan; PERMEN LH No 28/2009 tentang daya tampung beban pencemaran air, danau dan atau waduk; (ii) mendorong sosialisasi pelaksanaan Keputusan Gubernur Jawa Barat Nomor 41 Tahun 2002 tentang Perairan Umum, Lahan Pertanian dan Kawasan Waduk Cirata untuk 3 Kabupaten; dan (iii) harus melakukan pengendalian bahan cemaran yang berasal dari DAS yang masuk ke perairan umum daratan, yang mengacu pada UU No. 32/2009 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup; PP No. 82/2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air;
2. Melalui Dinas Perikanan, Pemerintah Daerah perlu melakukan: (i) penyiapan juknis budidaya ikan yang ramah lingkungan dengan mengacu pada juknis yang telah dibuat oleh KKP; (ii) pembinaan kepada pelaku usaha pembudidaya ikan agar bersedia menerapkan teknologi anjuran dan penerapan tata laksana budidaya ikan yang ramah lingkungan dengan pendekatan ekosistem; (iii)

kegiatan mitigasi kematian massal ikan melalui penebaran jenis ikan lokal pemakan plankton, penerapan sistem peringatan dini antisipasi kematian massal dan melakukan diseminasi teknologi budidaya; dan (iv) melibatkan masyarakat untuk melakukan pengelolaan sumber daya perikanan dalam bentuk kemitraan antara masyarakat dan pemerintah (ko-manajemen).

3. Untuk mencegah kondisi perairan menjadi lebih buruk saat terjadi kematian massal ikan, pemerintah daerah perlu melakukan penanganan melalui langkah-langkah sebagai berikut: (i) membentuk Satuan Tugas penanganan kematian massal ikan yang terdiri dari unsur Dinas Perikanan, Dinas Lingkungan Hidup, otoritas perairan, asosiasi pengusaha pakan ikan, perwakilan pembudidaya, kelompok pengawas masyarakat (pokwasmas), Polisi Air, Dinas Pariwisata dan lembaga terkait lainnya. Satgas ini bertanggungjawab melakukan pembersihan ikan mati sesegera mungkin untuk menghindari pembusukan ikan di perairan, memobilisasi pengangkutan ikan mati ke darat, dan mendorong upaya pemanfaatan ikan mati yang masih layak olah, serta mengkoordinir penguburan ikan yang membusuk; (ii) menyediakan lahan untuk pemusnahan bangkai ikan; (iii) mengkoordinasikan pembudidaya ikan untuk membersihkan perairan dan alat budidaya (jaring dan keramba) untuk menghindari penyebaran penyakit (bakteri, parasit atau jamur) yang dapat muncul akibat proses pembusukan ikan di perairan; dan (iv) melalui Instansi/Dinas yang menangani pengelolaan lingkungan hidup daerah, dengan melakukan monitoring kualitas air secara periodik dan pasca kematian ikan.

PERSANTUNAN

Tulisan ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian di Pusat Riset Perikanan T.A. 2017, dengan judul "Policy Brief Kajian Rehabilitasi Habitat Sebagai Upaya Mitigasi Dampak Perubahan Iklim". Semua penulis merupakan kontributor utama.

DAFTAR PUSTAKA

Abery, N. W., Sukadi, F., Budhiman, A. A., Kartamihardja, E. S., Koeshendrajana, S., Budhiman., & De Silva, S. S. (2005). Fisheries and cage culture of three reservoirs in West Java, Indonesia; a case study of ambitious development and resulting interactions. *Fisheries Management and Ecology*, 12, 315-330. doi: 10.1111/j.1365-2400.2005.00455.x

- Aida, S. N., & Utomo, A. D. (2012). Tingkat kesuburan perairan Waduk Kedung Ombo di Jawa Tengah. *BAWAL*, 4(1), 59-66. doi: 10.15578/bawal.4.1.2012.56-66
- Ali, M. (2019, 19 Januari). Ribuan ikan nila mati mendadak di Waduk Gajah Mungkur. Retrieved from <https://www.liputan6.com/news/read/3874691/ribuan-ikan-nila-mati-mendadak-di-waduk-gajah-mungkur> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Anrosana, I. A., & Gemaputri, A. A. (2017). Kajian daya dukung (*carrying capacity*) lingkungan perairan Pantai Pasir Putih Situbondo bagi pengembangan usaha karamba jaring apung. *Jurnal Ilmiah INOVASI*, 17 (2), 73-79. doi: 10.25047/jii.v17i2.546
- Astuti, L. P., Adiwilaga, E. M., Setiawan B. I., & Pratiwi, N. T. M. (2014). Kondisi hipoksia dan laju dekomposisi bahan organik di lokasi budidaya ikan Waduk Ir. H. Djuanda. *BAWAL*, 6(3), 147-154. doi: 10.15578/bawal.6.3.2014.147-154
- Astuti, L.P., Nurfiarini, A., Sugianti, Y., Warsa, A., Rahman, A., Hendrawan, A.L.S. (2016). *Tata kelola perikanan perikanan berkelanjutan di Waduk Jatiluhur*. Yogyakarta, Deepublish. Xxii+260 hal. ISBN: 978-602-453-112-6.
- Asyari, Y. (2017, 19 Februari). Satu ton ikan nila di Waduk Saguling mati. Retrieved from <https://www.jawapos.com/jpg-today/19/02/2017/satu-ton-ikan-nila-di-waduk-saguling-mati/> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Badjoeri, M. (2013). Kajian status trofik perairan Danau Maninjau berdasarkan kelimpahan populasi bakteri heterotrofik. In *Pertemuan Ilmiah Tahunan MLII, Perkembangan Limnologi dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia: Tantangan dan Harapan* (Hal 53-64). Bogor, Indonesia: Pusat Penelitian Limnologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
- Barril, C. R. (2014). Fish kill: causes, control, and impact mitigation. *Presentation at Special Seminar on Fish Kill*, 28th October 2014. University of The Philippines, Los Banos.
- Bayusetiaji, A. S., Basuki, F., & Hadiutomo, A. H. C. (2015). Kajian perbedaan konsentrasi larutan garam pada perendaman rGH dan vaksin terhadap kelulushidupan dan pertumbuhan benih ikan lele sangkuriang (*Clarias gariepinus*). *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 4(4), 1-10. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jamt/article/view/9798>
- BP2KSI (2016). Kematian ikan secara massal di Danau Toba penyebab dan antisipasinya. Retrieved from <http://bp2ksi.litbang.kkp.go.id/index.php/8-halaman-depan/49-kematian-ikan-secara-massal-di-danau-toba-penyebab-dan-antisipasi> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Candra, S.A. (2018, 13 Maret). Agar ikan Danau Maninjau tak mabuk lagi. Retrieved from <https://republika.co.id/berita/p5hg8u335/agar-ikan-danau-maninjau-tak-mabuk-lagi> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Coubout, R. (2015). Tiba-tiba ikan mati di Danau Singkarak. Diunduh 17 April 2019. [<https://www.mongabay.co.id/2015/02/18/tiba-tiba-ikan-mati-di-danau-singkarak-kenapa/>].
- Coubout, R. (2015, 18 Februari). Tiba tiba ikan mati di Danau Singkarak kenapa. Retrieved from <https://www.mongabay.co.id/2015/02/18/tiba-tiba-ikan-mati-di-danau-singkarak-kenapa/> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Damanik, C. (2016, 15 Desember). Air Danau Singkarak menghitam. Retrieved from <https://regional.kompas.com/read/2016/12/15/16543041/air.danau.singkarak.menghitam?page=all> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Damanik, C. (2017, 15 Desember). Ratusan ton ikan di Danau Toba mati. Retrieved from <https://regional.kompas.com/read/2017/01/13/15010031/ratusan.ton.ikan.di.danau.toba.mati?page=all> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Dinas Perikanan Kab. Minahasa. (1996). Laporan Tahunan Dinas Perikanan Kabupaten Minahasa Propinsi Sulawesi Utara. Dinas Perikanan Kab. Minahasa, Tondano, Sulawesi Utara.
- Faruqi, A.E. (2016, 28 Januari). Angin kencang 20 ton ikan mati di Danau Maninjau. Retrieved from <https://nasional.tempo.co/read/740092/angin-kencang-20-ton-ikan-mati-di-danau-maninjau/full&view=ok> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Hart, B. T., van Dok, W., & Djuangsih, N. (2002). Nutrient budget for Saguling Reservoir, West Java, Indonesia. *Water Research*, (36), 2152-2160. doi: 10.1016/S0043-1354(01)00428-6

- Haryani. (2013). Kondisi danau di Indonesia dan strategi pengelolaannya. In *Pertemuan Ilmiah Tahunan MLI I, Perkembangan Limnologi dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia: Tantangan dan Harapan* (Hal 1-19). Bogor, Indonesia: Pusat Penelitian Limnologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
- Hazliansyah (2016, 8 Desember). 100 ton ikan keramba mati keracunan di Danau Maninjau. Retrieved from <https://www.republika.co.id/berita/nasional/daerah/16/12/08/ohumwv280-100-ton-ikan-keramba-mati-keracunan-di-danau-maninjau> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Husnah, Umar, C., & Rais, A. H. (2018). Chronology and cause of mass mortality event on fish in The Lower Part of Yamaima River, Mimika Regency, Papua. *Ind.Fish.Res.J.*, 24(1), 49-59. doi: 10.15578/ifrj.24.1.2018.65-73
- Husodo, H.S. (2019, 23 Juli). Ribuan ikan d Waduk Saguling ditemukan mati. Retrieved from <https://www.pikiran-rakyat.com/bandung-raya/pr-01315850/ribuan-ikan-di-waduk-saguling-ditemukan-mati> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Hutapea. (2018). Pengurangan KJA Danau Toba Berpotensi Timbulkan Kerugian Rp1,7 Triliun. Diunduh 4 Maret 2019. [<https://daerah.sindonews.com/read/1351040/191/pengurangan-kja-danau-toba-berpotensi-timbulkan-kerugian-rp17-triliun-1541053808>].
- Ilham (2016, 22 Februari). Puluhan ton ikan di Danau Maninjau mati mendadak. Retrieved from <https://republika.co.id/berita/o2wqmm361/puluhan-ton-ikan-di-danau-maninjau-mati-mendadak> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Jalaludin, D. (2017, 5 Desember). Ratusan ton ikan di Waduk dan Jatiluhur mati akibat fenomena cuaca buruk. Retrieved from <https://news.okezone.com/read/2017/12/05/525/1825334/ratusan-ton-ikan-di-waduk-cirata-dan-jatiluhur-mati-akibat-fenomena-cuaca-buruk> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Karokaro, A.S. (2016, 11 Mei). Misteri kematian jutaan ikan di Danau Toba. Retrieved from <https://www.mongabay.co.id/2016/05/11/misteri-kematian-jutaan-ikan-di-danau-toba/> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Karokaro, A.S. (2018, 24 Agustus). Terjadi lagi jutaan ekor ikan mati di Danau Toba. Retrieved from <https://www.mongabay.co.id/2018/08/24/terjadi-lagi-jutaan-ekor-ikan-mati-di-danau-toba/> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Kartamihardja, E. S., & Krismono. (2016). Fenomena, penyebab dan pengendalian kematian massal ikan serta pengembangan budidaya ikan dalam keramba jaring apung berkelanjutan di perairan waduk dan danau. *Policy Brief*. Pusat Riset Perikanan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan. (tidak dipublikasikan).
- Kartamihardja, E. S., Fahmi, Z., & Umar, C. (2015). Zonasi ekosistem perairan Danau Toba untuk pemanfaatan perikanan berkelanjutan. *J.Kebijak.Perik.Ind.*, 7(1), 1-8. doi: 10.15578/jkpi.7.1.2015.1-8
- Kartamihardja, E. S. (2014). Kebijakan pengelolaan budidaya ikan dalam KJA berkelanjutan di Waduk Kaskade Sungai Citarum, Jawa Barat. *Policy Brief*. Pusat Penelitian Pengelolaan Perikanan dan Konservasi Sumber Daya Ikan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan.
- Kartamihardja, E. S. (2013). Fenomena dampak upwelling pada usaha budidaya ikan dengan KJA di danau dan waduk. Disampaikan pada *Workshop Pengelolaan Lingkungan Perikanan Budidaya di Perairan Umum*. Bogor, 2-4 Oktober 2013. Diunduh 6 Mei 2019. [<https://docplayer.info/29956763-Fenomena-dampak-upwelling-pada-usaha-budidaya-ikan-dengan-kja-di-danau-dan-waduk.html>].
- Keracunan sulfur 100 ton ikan mati di Danau Maninjau (2016, 29 Agustus). Retrieved from <https://www.batamtimes.co/2016/08/29/keracunan-sulfur-100-ton-ikan-mati-di-danau-maninjau/> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Khairunnisa, Barus, T. A., & Harahap, Z. A. (2014). Analisis kesesuaian wilayah untuk budidaya ikan keramba jaring apung di Perairan Girsang, Sipangan Bolon, Danau Toba. *Aquacoastmarine*, (93-103). Retrieved from <http://www.academia.edu/download/50071046/3834.pdf>.
- Khazanah, N. (2013, 4 Juni). Puluhan ton ikan mati, petani ikan japing Waduk Darma merugi. Retrieved from <http://kuninganmedia.com/buka/baca/1370355832> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].

- Krismono, A., Sarnita, A., & Rukyani. (1996). 1600 ton ikan mati di Waduk Jatiluhur. *Warta Penelitian Perikanan Indonesia*, 1(1), 1-7.
- Kuningan (2018, 11 November). Suhu permukaan air alami penurunan puluhan ton ikan kja Waduk Darma mati massal. Retrieved from <https://www.kuningankab.go.id/berita/berita-mc-ikp/suhu-permukaan-air-alami-penurunan-puluhan-ton-ikan-kja-waduk-darma-mati-masal> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Kusumaningtyas, D. I., Sukamto, Muryanto, T. (2014). Aktifitas penangkapan dan kondisi lingkungan menjelang periode kematian masal ikan di Waduk IR. H. Djuanda. *Buletin Teknis Litkayasa*, 11(1), 23-29. doi: 10.15578/btl.12.1.2014.23-29
- Lukman. (2011). Pengembangan jaring apung: pertimbangan daya dukung dan ancumannya terhadap lingkungan perairan danau. *Makalah pada buku "Perspektif terhadap Kebencanaan dan Lingkungan di Indonesia"*. Sub Kegiatan Kompetitif Kebencanaan dan Lingkungan. LIPI. Hal. 173-193.
- Mandiri, A. (2014, 30 Desember). Mati mendadak ratusan ton ikan di Danau Maninjau. Retrieved from <https://www.suara.com/bisnis/2014/12/30/024900/mati-mendadak-ratusan-ton-ikan-di-danau-maninjau> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Marpaung, L. S., Wardiatno, Y., Setyobudiandi, I & Arifin, T. (2018). Daya dukung budidaya ikan kerapu pada keramba jaring apung di Teluk Awang dan Teluk Bumbang, NTB. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 9(1), 43-53. doi: 10.24319/jtpk.9.43-53
- Maulana, A. (2014, 11 Agustus). Kematian 50 ton ikan mas di Tanjung Raya akibat belerang. Retrieved from <https://www.antaraneews.com/berita/447886/kematian-50-ton-ikan-mas-di-tanjung-raya-akibat-belerang> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Maulana, A. (2015, 4 Februari). Sekitar 150 ton ikan Danau Maninjau mati mendadak. Retrieved from <https://www.antaraneews.com/berita/478107/sekitar-165-ton-ikan-danau-maninjau-mati-mendadak> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Maulana, Y. Y., Mahmudin, D., Widjaya R. I., & Wiranto, G. (2015). Monitoring kualitas air secara real-time terintegrasi. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, 15(1), 23-27. doi: 10.14203/jet.v15.23-27
- Maulana, A. (2016, 29 September). 20 ton ikan di Danau Maninjau mati pascagempa. Retrieved from <https://www.antaraneews.com/berita/587398/20-ton-ikan-di-danau-maninjau-mati-pascagempa> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Muawanah, Sari N., Triana, A. K., & Hendrianto. (2004). Kelimpahan plankton penyebab *red tide*, *Pyrodinium bahamense* di Teluk Hurun, Lampung Selatan. *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, 3(2), 1-5. doi: 10.15578/blta.3.2.2004.1-5
- Muhamat., & Hidayaturrahmah. (2017). Kematian ikan nila pada budi daya keramba jaring apung di Desa Aranio dan Tiwingan Lama, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan. In *Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia* (Hal 28-32). Surakarta, Indonesia: Departemen Biologi, Universitas Sebelas Maret. doi: 10.13057/psnmbi/m030106
- Murdaningsih, D. (2016, 3 September). 3000 ton ikan mati mendadak di Danau Maninjau. Retrieved from <https://www.republika.co.id/berita/nasional/daerah/16/09/03/ocwtjd368-3000-ton-ikan-mati-mendadak-di-danau-maninjau> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Mutiah, D. (2018, 8 Februari). 160 ton ikan di Danau Maninjau pusing lalu mati. Retrieved from <https://www.liputan6.com/regional/read/3268725/160-ton-ikan-di-danau-maninjau-pusing-lalu-mati> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Nastiti, A. S. & Krismono. (2003). Indikator umbalan dilihat dari aspek kualitas air di Perairan Waduk Djuanda, Jatiluhur Jawa Barat. *J.Lit.Perikan.Ind.*, 9(4), 73-85. doi: 10.15578/jppi.9.4.2003.73-85
- Nastiti, A. S., Hartati, S. T., & Nugraha, B. (2018). Analisis degradasi lingkungan perairan dan keterkaitannya dengan kematian massal ikan budidaya di Waduk Cirata, Jawa Barat. *BAWAL*, 10(2), 99-109. doi: 10.15578/bawal.10.2.2018.83-93
- Nontji, A. (2016). Danau Tondano. Diunduh 17 Februari 2019. [http://www.limnologi.lipi.go.id/file/file_nonji/DANAU%20TONDANO.pdf].
- Nugroho, E. (2011). Kajian lapang budidaya keramba jaring apung ikan nila "Mandiri" di Waduk Cirata dan Jatiluhur. *Media Akuakultur*, 6(1), 54-58. doi: 10.15578/ma.6.1.2011.54-58

- Nuryaman (2019, 22 Oktober). Puluhan ton ikan kja di Waduk Darma ditemukan mati. Retrieved from <https://www.pikiran-rakyat.com/jawa-barat/pr-01321608/puluhan-ton-ikan-kja-di-waduk-darma-ditemukan-mati> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Oche (2017, 30 September). Kerugian ikan mati Waduk Saguling. Retrieved from <https://jabar.pojoksatu.id/bandung/2017/09/30/kerugian-ikan-mati-waduk-saguling/> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Perdana (2019, 26 November). Ikan keramba Waduk Gakah Mungkur mati sekejap modal puluhan juta amblas dalam semalam. Retrieved from <https://radarsolo.jawapos.com/read/2019/11/26/167428/ikan-karamba-wgm-mati-sekejap-modal-puluhan-juta-amblas-dalam-semalam> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Pratiwi, N. T. M., Rahman, A., Hariyadi, S., Ayu, I. P., & Iswanti, A. (2016). Relationship between trophic states and nutrients load in Waters Surrounding Samosir Island, Lake Toba, North Sumatera. In *16th World Lake Conference* (pp. 469-475). Bali, Indonesia: Research Center for Limnology, Indonesian Institute of Sciences. Retrieved from <https://www.ilec.or.jp/wp-content/uploads/Proceedings-of-the-16th-WLC.pdf>
- Purnama, B.E. (2016, 22 Februari). Ikan mati di Danau Maninjau jadi 20 ton. Retrieved from <https://mediaindonesia.com/read/detail/29970-ikan-mati-di-danau-maninjau-jadi-20-ton> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Purnamaningtyas, S. E., & Tjahjo, D. W. H. (2008). Pengamatan kualitas air untuk mendukung perikanan di Waduk Cirata, Jawa Barat. *J.Lit.Perik.Ind*, 14 (2), 173-180. doi: 10.15578/jppi.14.2.2008.173-180
- Puspasari, R., Wiadnyana, N.N., Hartati, S.T., Dharmadi, Sulaiman, P.S., Rachmawati, P.F., & Samusamu, A.S. (2017). Policy Brief Kajian Rehabilitasi Habitat Sebagai Upaya Mitigasi Dampak Perubahan Iklim. *Laporan Teknis*. Pusat Riset Perikanan. Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan. Kementerian Kelautan dan Perikanan. 61 hal.
- Putra, Y.M. (2014, 30 Desember). Kerugian akibat ikan mati di Maninjau carai Rp 22 miliar. Retrieved from <https://nasional.republika.co.id/berita/nasional/daerah/nhe6ro/kerugian-akibat-ikan-mati-di-maninjau-capai-rp-22-miliar> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Rachmansyah, Makmur, & Tarunamulia. (2005). Pendugaan daya dukung Perairan Teluk Awarange bagi pengembangan budidaya bandeng dalam keramba jaring apung. *J.Lit.Perik.Ind.*, 11(1), 81-93. doi: 10.15578/jppi.11.1.2005.81-93
- Sachoeemar, I. S., & Wahjono, H. D. (2007). Kondisi pencemaran perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Air Indonesia*, 3(1), 1-14. doi: 10.29122/jai.v3i1.2312
- Santoso, R.P. (2019, 14 Desember). Jutaan ikan mati di Waduk Gajah Mungkur Sekdes Sendang dinas sudah tahu. Retrieved from <https://solo.tribunnews.com/2019/12/14/jutaan-ikan-mati-di-waduk-gajah-mungkur-sekdes-sendang-dinas-sudah-tahu> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Siagian, M., & Simarmata, A. H. (2018). Trophic status of the lacustrine zone around the dam site of Koto Panjang Reservoir, Riau Province, Indonesia. *AACL Bioflux*, 11(1), 1-9. Retrieved from <http://www.bioflux.com.ro/docs/2018.1-9.pdf>
- Sittadewi, E. H. (2008). Fungsi strategis Danau Tondano, perubahan ekosistem dan masalah yang terjadi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(1), 59-66. doi: 10.29122/jtl.v9i1.444
- Sulastrri, Henny, C., & Nomosatryo, S. (2019). Keanekaragaman fitoplankton dan status trofik perairan Danau Maninjau di Sumatera Barat, Indonesia. In *Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, (Hal 242-250). Surakarta, Indonesia: Departemen Biologi, Universitas Sebelas Maret. doi: 10.13057/psnmbi/m050217
- Suryono, T., Nomosatryo, S., & Mulyana, E. (2006). Tingkat Kesuburan Perairan Danau Singkarak, Padang, Sumatera Barat. In *Seminar Nasional Limnologi* (Hal. 155-162). Bogor, Indonesia: Pusat Penelitian Limnologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
- Tanjung, L. V., & Hamdani, A. (2015). Kajian awal efektivitas kantong penampung limbah pada keramba jaring apung. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 41(2), 191-203. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/289854381_PRELIMINARY_STUDY_OF_THE_EFFECTIVENESS_OF_WASTE_CONTAINER_BAGS_ON_FLOATING_NET_CAGES

- Tjahjo, D. W. H., & Purnamaningtyas, E. (2008). Kajian kualitas air dalam evaluasi pengembangan perikanan di Waduk Ir. H. Djuanda, Jawa Barat. *J.Lit.Perikan.Ind*, 14(1), 15-30. doi: 10.15578/jppi.14.1.2008.15-30
- Toiskandar (2019, 3 Juni). Puluhan ikan ton siap panen di Waduk Darma mati akibat perubahan cuaca. Retrieved from <https://jabar.sindonews.com/read/7625/1/puluhan-ton-ikan-siap-panen-di-waduk-darma-mati-akibat-perubahan-cuaca-1559567190> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Troitskaya, E., Blinov, V., Ivanov, V., Zhdanov, A., Gnatovsky, R., Sutyryna, E., & Shimaraev, M. (2015). Cyclonic circulation and upwelling in Lake Baikal. *Aquatic Sciences*, 77, 177-182. doi: 10.1007/s00027-014-0361-8
- Upaya pencegahan kematian massal ikan di Waduk Jatiluhur dan Cirata (2017, 16 Februari). Retrieved from <https://jabarprov.go.id/index.php/news/21370/2017/02/16/Upaya-Pencegahan-Kematian-Massal-Ikan-di-Waduk-Jatiluhur-dan-Cirata> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Utomo, A. D., Aida, S.N., & Hidayah, T. (2016). Tata Ruang dan Daya Dukung Perairan Untuk Budidaya Ikan pada Keramba Jarung Apung di Waduk Kedung Ombo Jawa Tengah. *Laporan Teknis*. Balai Penelitian Perikanan Perairan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Utomo, A. D., Ridho, M. R., Putranto, D. D. A., & Saleh, E. (2011). Keanekaragaman plankton dan tingkat kesuburan perairan di Waduk Gajah Mungkur. *BAWAL*, 3(6), 415-422. doi: 10.15578/bawal.3.6.2011.415-422
- Wantasen, S (2012). Sebaran Spasial Ekologi Nitrogen di Danau Tondano Provinsi Sulawesi Utara. *Disertasi*. Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wicaksono, B.E. (2014, 26 November). Pancaroba 35 ton ikan di keramba Waduk Gajah Mungkur mati. Retrieved from <https://www.solopos.com/perikanan-wonogiri-pancaroba-35-ton-ikan-di-keramba-wgm-mati-555304> [diunduh pada tanggal 4 Januari 2020].
- Widyastuti, E., Piranti, A.S., & Rahayu, D. R. U. S. (2009). Monitoring status daya dukung Perairan Waduk Wadaslintang bagi budidaya keramba jaring apung. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 16(3), 133-140. doi: 10.22146/jml.18700
- Zulfia, N & Aisyah. (2013). Status trofik Perairan Rawapening ditinjau dari kandungan unsur hara (NO₃ dan PO₄) serta klorofil-a. *BAWAL*, 5(3), 189-199. doi: 10.15578/bawal.5.3.2013.189-199