

DANAU MANINJAU MASA DEPAN: EVALUASI LINGKUNGAN DAN SOSIAL EKONOMI

Hafrijal Syandri dan Azrita
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Bung Hatta
Jl. Sumatera Ulak Karang Padang-Sumatera Barat
syandri_1960@yahoo.com

ABSTRAK

Danau Maninjau merupakan salah satu lokasi penting untuk kegiatan budidaya ikan dengan keramba jaring apung di Sumatera Barat. Tujuan riset adalah mengevaluasi lingkungan dan sosial ekonomi masyarakat di selingkar Danau Maninjau. Metode riset yang digunakan adalah metode survei dengan menggunakan kuesioner. Data dianalisis dengan regresi linear sederhana memakai program SPSS versi 17. Hasil riset memprediksi bahwa pada tahun 2022 jumlah keramba jaring apung akan mencapai 25.228 petak, kebutuhan pakan 60.740 ton dan produksi ikan 44.329 ton. Selanjutnya beban nitrogen (N) dan phosphorus (P) yang dilepaskan ke badan air Danau Maninjau dari produksi ikan masing-masing adalah 2.178,41 dan 887,18 ton. Sedangkan dari pakan yang dikonsumsi oleh ikan akan dilepaskan N dan P ke badan air Danau Maninjau masing-masing 1.764,66 dan 450,56 ton. Kematian ikan secara masal pada tahun 2022 diprediksi sebanyak 883,38 ton dengan nilai kerugian Rp 21.63 milyar. Skenario yang harus dilakukan untuk mengurangi beban pencemaran dari N dan P serta kerugian masyarakat adalah (1) mengurangi padat tebar ikan dari 135 ekor/m³ menjadi 65 ekor/m³, (2) penebaran benih antara bulan Maret-Oktobre, (3) memberikan pakan dengan kadar protein <20%, (3) memelihara ikan (komoditi) basis terhadap kualitas air buruk, (4) memelihara ikan berdasarkan zoning yang toleransi terhadap kualitas buruk. dan (5) implementasi Perda Kabupaten Agam No.5/2015 dan Peraturan Bupati No.30/2017. Jika skenario ini dilakukan maka beban pencemaran dari N dan P serta kerugian ekonomi dan sosial masyarakat akan berkurang.

Kata Kunci : Akuakultur, keramba jaring apung, limbah N and P, faktor lingkungan, masyarakat

PENDAHULUAN

Ditemukan bukti kuat bahwa cadangan air danau yang masih utuh memiliki kelentingan lebih baik dibandingkan dengan air danau yang telah tercemar (Syandri et al, 2016a; Corrales et al, 2017). Oleh karena itu pengurangan tingkat pencemaran air harus menjadi kunci utama bagi ketahanan air (Zhaoxia et al, 2017). Ditemukan petunjuk bahwa kebijakan yang terkait dengan pengelolaan daratan dan air danau dapat meningkatkan kelentingan air terhadap perubahan yang terjadi (Meng et al, 2016; Ye et al, 2017). Lahan basah danau merupakan ekosistem yang sangat unik di muka bumi. Telah sering disebut sebagai "Ginjal Bumi" karena perannya yang sangat penting dalam pengentasan polusi air yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Fungsi danau tidak hanya menyediakan makanan, bahan baku dan sumber air bagi umat manusia (Maimaitihan et al, 2016), tetapi juga menjaga keseimbangan ekologis, keanekaragaman hayati dan spesies langka (Jiang et al, 2016), tempat budidaya ikan dengan KJA (Syandri et al, 2016a; Syandri et al, 2016b). Selain itu, lahan basah danau memegang peranan penting dalam konservasi air, pengendalian banjir dan kekeringan (Aguilera et al, 2016), degradasi dari polusi (Zeng et al, 2016), mengatur/menjaga perubahan iklim (Deng et al, 2016), dan sumber air bawah tanah (Agboola et al, 2016). Meskipun luas permukaan Danau Maninjau 99.5 km² dengan luas daerah tangkapan air 13,26 km², namun volume air mencapai 10,33 milyar m³. Ini membuktikan bahwa air bawah tanah sangat berperan (Fakhruddin et al, 2002; Syandri et al, 2014).

Air danau yang tidak tercemar berat secara alami memiliki kelentingan yang lebih baik terhadap biota air, terutama terhadap ikan yang dibudidayakan, termasuk manusia yang memanfaatkan air tersebut. Hal tersebut menjadi alasan yang lebih kuat diperlukannya budidaya ikan pada KJA yang ramah lingkungan dengan komoditi basis (Syandri et al, 2017), yang terkait dengan pengurangan sedimen dan ketahanan ekonomi dan kualitas hidup masyarakat lokal dan kesehatan ekosistem perairan (Henderson et al, 2009; Chohen et al, 2014; Zhao et al, 2016).

Jika air Danau Maninjau masih utuh, tentu tidak akan menimbulkan dampak negatif terhadap aktifitas ekonomi antara lain kematian massal ikan majalaya (*Cyprinus carpio*) dan nila (*Oreochromis niloticus*) di dalam keramba jaring apung, penurunan keanekaragaman hayati ikan, dan produksi perikanan tangkap, berkurangnya kunjungan wisatawan dan menurunnya kualitas air untuk PLTA (Syandri et al, 2015b; Syandri et

al, 2016b; Syandri et al, 2017). Sebaliknya karena danau ini sedang mengalami kerusakan air beserta kawasannya akibatnya telah berdampak negatif terhadap komponen ekonomi dan sosial masyarakat. Oleh karena itu perlu dievaluasi kondisi saat ini dan masa depan Danau Maninjau sehingga disusun skenario untuk penyelamatan danau ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode kuantitatif yang lebih menekankan pada aspek pengukuran secara objektif terhadap fenomena yang terjadi di Danau Maninjau. Informasi data diperoleh dari data primer dan sekunder. Sedangkan untuk estimasi data tahun 2017-2022 sesuai dengan parameter yang diukur (KJA Produktif, kebutuhan pakan, produksi ikan, total nitrogen (N) dan phosphorus (P) yang dilepaskan ke badan air, estimasi kematian ikan dan kerugian ekonomi). Data dianalisis dari angka 2010-2016 dengan memakai analisis regresi linear. Skenario yang disusun untuk penyelamatan Danau Maninjau dianalisis dari data hasil-hasil riset yang telah dilakukan sebelum ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Danau Maninjau Saat Kini

Danau Maninjau tergolong tecto-vulkanik dengan luas permukaan air 99.5 km², berada pada elevasi 463 m.dpl (Apip et al, 2003). Merupakan satu dari lima belas danau prioritas yang sangat penting diselamatkan di Indonesia (KLH, 2012). Danau ini dijadikan sebagai kawasan strategis Provinsi Sumatera Barat. Berperan penting sebagai tempat dinasti wisata, pembangkit listrik tenaga air (PLTA), aktivitas budidaya ikan dengan keramba jaring apung (KJA), serta kawasan konservasi plasma nutfah ikan lokal endemik (Syandri et al, 2016a; Syandri et al, 2016b).

Air Danau Maninjau dengan volume 10,33 milyar m³ (Apip et al, 2003), saat ini sudah tercemar berat, berbau busuk, kecerahan hanya 1,2 meter sehingga tidak layak digunakan untuk kehidupan manusia dan biota danau (Syandri et al, 2017), biota danau (ikan) tercemar logam berat (Syandri et al, 2015a). 93,45% beban pencemaran air danau berasal dari limbah budidaya ikan KJA (Syandri et al, 2016b). Total KJA tahun 2011 (15.000 unit), 2012 (15.860 unit), 2014 (16.580 unit), dan 2015 (20.608 unit) (Junaidi et al, 2014; Syandri et al, 2015). Menurut Syandri et al (2016b) daya dukung Danau Maninjau terhadap produksi ikan KJA adalah 15.432,90 ton/tahun, setara dengan 8.230 petak KJA.

Berdasarkan data di atas, pemanfaatan Danau Maninjau untuk budidaya ikan dengan KJA telah melebihi daya dukung danau (Syandri et al, 2016b). Akibatnya telah terakumulasi limbah budidaya ikan KJA dalam bentuk sedimen di dasar danau sebanyak 111.889,94 ton (Junaidi et al, 2014). Limbah KJA terdiri senyawa nitrogen (N) dan phosphorus (P) (Gondwe et al, 2011; Abou et al, 2012; Koçer et al, 2013; Kawasaki et al, 2016; Yang et al, 2017). Menurut Syandri et al (2017a) setiap ton produksi ikan nila dari KJA menghasilkan N dan P masing-masing sebesar 50,14±8,34 kg dan 12,86±1,74 kg. Asir dan Pulatsu (2008) menyatakan bahwa setiap ton produksi budidaya ikan Rainbow trout menghasilkan limbah N dan P masing-masing 25.97 kg dan 62.92 kg.

Senyawa N dan P yang berasal dari ikan mati massal telah menyebabkan bencana kerusakan air dan biota Danau Maninjau, seperti dipresentasikan pada Tabel 1&2 (Syandri et al, 2017), selain itu telah menimbulkan efek blooming phytoplankton (Syandri et al, 2014), sebagaimana juga terjadi di danau lain di seantara dunia (Horppila et al, 2017; Li et al, 2016; Ho and Anna, 2017), yang dapat menghasilkan racun, bau busuk dan membuat airnya tidak bisa digunakan untuk aktivitas rekreasi (Azevedo *et al.*, 2015), sehingga menimbulkan kerugian secara ekonomi (das Neves Almeida et al, 2017). Selain itu, pengaruh eutrofikasi dapat menyebabkan ikan mati dan pada akhirnya dapat menyebabkan pengurangan keanekaragaman hayati (Lapointe et al, 2015).

Tragedi yang terjadi pada usaha budidaya ikan KJA di Danau Maninjau adalah kematian massal ikan KJA sejak tahun 1997-2015 sebanyak 17.643 ton dengan nilai kerugian sebesar Rp 212,175 milyar (Syandri et al, 2016). Pada bulan Agustus dan September 2016 kembali terjadi tragedi kematian ikan KJA secara massal sebanyak 600 ton. Semua bangkai ikan tenggelam ke dasar danau sehingga berdampak buruk terhadap kualitas air, bau busuk, termasuk dampak ekonomi dan sosial masyarakat (Syandri et al, 2017). Menurut Motallebi et al, (2017) program penyelamatan pencemaran air akibat pembebanan bahan nutrisi organik sangat penting dilakukan di danau, waduk dan sungai, termasuk di Danau Maninjau (Syandri et al, 2017).

Tabel 1. Level nitrogen (N) dan phosphorus (P) di Permukaan Air Danau Maninjau (Syandri *et al.*, 2017)

Stasiun	N (mg L ⁻¹)		P (mg L ⁻¹)	
	Februari 2016	Februari 2017	Februari 2016	Februari 2017
Muko-Muko	0.85±0.015 ^{aA*}	1.83±0.015 ^{aB}	0.16±0.015 ^{aA}	0.91±0.010 ^{aB}
Pasa	1.16±0.025 ^{bA}	2.15±0.025 ^{bB}	0.23±0.030 ^{bA}	0.72±0.010 ^{bB}
Pandan	0.71±0.015 ^{cA}	2.09±0.020 ^{cB}	0.14±0.015 ^{cA}	0.50±0.020 ^{cB}
Sungai Tampang	1.13±0.030 ^{dA}	1.95±0.020 ^{dB}	0.53±0.020 ^{dA}	0.74±0.010 ^{dB}

Surface water samples were taken at a depth of 0.10 m

Data are presented as the mean (±SD) of triplicate samples.

Tabel 2. Level nitrogen (N) and phosphorus (P) pada air di bawah KJA di Danau Maninjau (Syandri *et al.*, 2017).

Stations	N (mg L ⁻¹)		P (mg L ⁻¹)	
	Februari 2016	Februari 2017	Februari 2016	Februari 2017
Muko-Muko	0.96±0.017 ^{aA*}	2.11±0.035 ^{aB}	0.36±0.015 ^{aA}	0.72±0.010 ^{bB}
Pasa	1.23±0.015 ^{bA}	2.30±0.020 ^{bB}	0.37±0.030 ^{bA}	0.97±0.010 ^{bB}
Pandan	0.90±0.010 ^{cA}	2.60±0.030 ^{cB}	0.34±0.015 ^{cA}	0.81±0.020 ^{bB}
Sungai Tampang	1.43±0.010 ^{dA}	2.41±0.025 ^{dB}	0.63±0.020 ^{dA}	0.85±0.010 ^{aB}

Surface water samples were taken at a depth of 30 m

Data are presented as the mean (±SD) of triplicate samples.

Evaluasi Lingkungan Danau Maninjau Masa Depan

Total KJA, kebutuhan pakan, total produksi ikan, total N dan P yang dilepaskan ke badan air dari produksi ikan dan dari pakan yang konsumsi ikan dari tahun 2017 - 2022 dipresentasikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Estimasi total KJA, pakan, produksi ikan, total N dan P yang dilepaskan ke badan air

Tahun	KJA Produktif (petak)	Kebutuhan Pakan (ton)	Produksi ikan (ton)	Total N yang dilepas ke badan air dari produksi ikan (ton)	Total P yang dilepaskan ke badan air dari produksi ikan (ton)	Total N yang dilepas ke badan air dari pakan yang dikonsumsi (ton)	Total P yang dilepas ke badan air dari pakan yang dikonsumsi (ton)
2017	21.594,00	52.019	34.640,90	1.710,59	693,28	1124,24	287,04
2018	22.805,00	54.926	36.578,60	1.804,15	732,05	1284,48	327,96
2019	24.016,00	57.833	38.516,30	1.897,72	770,84	1358,12	346,76
2020	25.228,00	60.740	40.454,00	1.991,28	809,62	1380,38	352,45
2021	26.439,00	63.647	42.391,70	2.084,84	848,40	1419,78	362,51
2022	27.650,00	65.740	44.329,40	2.178,41	887,18	1.764,66	450,56

Estimasi total nitrogen (N) dan phosphorus (P) yang akan dilepaskan ke badan air Danau Maninjau dari produksi ikan dari tahun 2017 – 2022 akan terus meningkat. Hubungannya sangat kuat jika dihubungkan dengan produksi ikan (R^2) masing-masing adalah 0,79 dan 0,84. Selanjutnya dari pakan yang dikonsumsi oleh ikan maka diestimasi total N dan P yang akan dilepaskan ke badan air Danau Maninjau setiap tahun juga meningkat. Hubungan sangat kuat (R^2) masing-masing adalah 1.

Total N dan P di perairan Danau Maninjau yang berasal dari operasional budidaya ikan KJA lebih dominan jika dibandingkan dengan aktifitas lainnya. Peningkatan muatan N dan P sebagai sumber bahan pencemaran ke badan air danau dapat disebabkan oleh aktifitas budidaya ikan keramba jaring apung (Junaidi *et al.*, 2015; Syandri *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2017).

Dampak aktifitas budidaya ikan di perairan dapat berupa pelepasan sisa pakan dalam bentuk N, P, dan antibiotik yang terdapat di dalam pakan (Kawasaki *et al.*, 2016). Pakan ikan mengandung 25-65% protein (Lovell, 1988), terdiri 4,1-10,7% N organik, hanya sekitar 20-30% N dari pakan yang disimpan dalam tubuh ikan, sedangkan sisanya dilepaskan ke badan air (Islam, 2005; Sandu and Hellerman, 2013. Menurut Islam

(2005) setiap ton produksi ikan Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) melepaskan 132.5 kg N dan 25 kg P ke badan air. Sedangkan Asir and Palatsu, (2008) setiap ton produksi ikan Rainbow trout yang diberi pakan komersial melepaskan N dan P masing-masing 56 kg dan 12,17 kg. Sedangkan Syandri et al (2018) menyatakan bahwa setiap ton produksi ikan mas akan dilepaskan N dan P ke badan air Danau Maninjau masing-masing adalah 37.93 ± 2.59 dan 18.30 ± 0.12 kg.

Akumulasi nutrient N dan P di bagian dasar danau tergantung kepada aliran air masuk dan keluar, morfometrik cekungan dan laju sirkulasi air (Søndergaard et al, 2003), penumpukan nutrient sisa pakan dan faces biasanya dalam bentuk sedimen (Pettersen, 1998). Sedimen terdiri atas total organic matter (TOM), protein, karbohidrat dan lipid (Li et al, 2016). Nutrien sedimen sering berimplikasi terhadap kualitas air, karena terjadi proses pembalikan ke permukaan air (Horppila et al, 2017), akibatnya danau menjadi kotor karena meningkatnya muatan P di badan air (Lindim et al, 2015; Tianzhi et al, 2016). Gejala ini di Danau Maninjau diistilahkan dengan “*Tubo Balerang*”.

Unsur P mempunyai peran penting dalam metabolisme biologis, dibandingkan dengan mikronutrien lain yang dibutuhkan oleh biota (Nurnberg, 2009). Senyawa P merupakan unsur pertama pembatas produktivitas biologis, karena memiliki kadar minimum di badan air. Keberadaan P di perairan dalam bentuk fosfat-phosphorus (PO_4-P), dapat digunakan secara langsung oleh komponen nabati (Rahman, 2015). Blooming fitoplankton di danau Erie dapat disebabkan oleh pembebanan dari P (Ho and Anna, 2017).

Dampak Ekonomi dan Sosial Akibat Kematian Massal Ikan

Kematian ikan secara massal tidak hanya berdampak secara ekonomi tetapi juga menyebabkan dampak sosial kepada masyarakat setempat. Estimasi kematian ikan dan kerugian ekonomi di Danau Maninjau dari tahun 2017-2022 dipresentasikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi ikan mati massal dan kerugian ekonomi

Tahun	Estimasi ikan mati massal (ton)	Estimasi harga ikan/ton	Estimasi kerugian ekonomi (Rp.milyar)
2017	546	24.000.000	13,10
2018	586	25.000.000	14,65
2019	626	26.000.000	16,28
2020	666	27.000.000	17,98
2021	706	28.000.000	19,77
2022	746	29.000.000	21.63

Tenaga kerja yang terkait langsung dengan usaha budidaya ikan KJA antara lain tenaga kerja pemberi pakan ikan, tenaga kerja untuk melaksanakan panen ikan dan sopir yang menghantarkan ikan dari Danau Maninjau ke pasar tujuan pemasaran ikan. Tenaga kerja pemberi pakan ikan adalah tenaga kerja yang dibayar dengan tugas utamanya memberikan pakan kepada ikan-ikan di dalam KJA. Setiap satu orang tenaga kerja dapat ditugaskan untuk memberi pakan sebanyak 16 petak KJA. Tenaga kerja ini biasanya digaji sebesar Rp 700.000 per bulan. Kematian ikan sebanyak 600 ton (diestimasi 400 petak) pada bulan Agustus-September 2016, maka tenaga kerja yang kehilangan pekerjaan adalah 25 orang. Jika tiga bulan saja tenaga kerja tidak bekerja maka potensi upah yang hilang adalah Rp 52.500.000.

Tenaga kerja pemanen ikan untuk melakukan seluruh aktivitas panen rata-rata 10 orang per truk yang akan mengantarkan hasil ke pasar tujuan. Upah yang diberikan oleh pedagang setiap melakukan panen adalah Rp 600.000 per petak KJA dengan jumlah rata-rata ikan yang dipanen 1.500 kg (upah tenaga kerja Rp 60.000/hari). Total ikan yang tidak jadi dipanen sebanyak 600 ton dan total potensi upah tenaga kerja yang hilang akibat kematian ikan sebanyak 600 ton pada bulan Agustus-September 2016 adalah $400 \text{ truk} \times \text{Rp } 600.000 = \text{Rp } 240.000.000$ juta.

Tenaga kerja lainnya yang merasakan dampak kematian masal ikan ini adalah sopir yang mengantarkan ikan hasil produksi ke pasar. Rata-rata muatan truk yang mengantar ikan hasil panen ke daerah/pasar tujuan adalah 1.500 kg. Rata-rata upah sopir untuk mengangkut ikan supaya sampai ke pasar tujuan adalah Rp 300.000 per trip. Potensi upah sopir yang hilang akibat ikan mati masal sebanyak 600 ton adalah Rp 120.000.000,- .

Tenaga kerja lain yang juga merasakan dampak kematian masal ikan di KJA adalah tenaga kerja pembenih ikan nila di areal persawahan yang terdapat di selingkar Danau Maninjau yaitu di Nagari Bayur,

Maninjau, Sungai Batang dan Koto Malintang. Dari hasil penelitian jumlah pembenih ikan nila adalah sebanyak 51 orang. Setiap pembenih ikan mempunyai anggota rata-rata sebanyak 2 (dua) orang dengan upah Rp 50.000 per hari. Jika kegiatan pembenihan ikan terhenti selama 3 (tiga) bulan, maka total upah yang tidak diterima oleh seluruh tenaga kerja pembenih ikan nila adalah Rp 63.750.000,-. Total secara keseluruhan potensi pendapatan yang hilang seperti dicantumkan pada Tabel 5.

Skenario Penyelamatan Danau Maninjau

Kematian masal ikan yang sudah berulang-ulang, terlihat bahwa belum ada suatu tindakan nyata yang dapat memberikan dampak positif jangka panjang dalam menanggulangi akar permasalahan yang terjadi di Danau Maninjau. Akar permasalahan yang mengakibatkan ikan mati masal adalah pengaruh faktor alami yang tidak dapat dikendalikan yaitu angin kencang yang dapat mengaduk perairan yang datangnya tidak dapat diprediksi waktunya secara tepat. Skenario yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

a) Mengurangi padat tebar ikan di dalam KJA

Padat tebar ikan nila yang umum dilakukan oleh pembudidaya ikan di KJA berkisar 10.000-15.000 ekor/petak KJA (133-200 ekor/m³). Padat tebar ini sangat tinggi sehingga berdampak negatif terhadap hasil budidaya ikan. Menurut Moniruzzaman et al, (2015) dan Osefero et al, (2009) pada tebar ikan nila tilapia yang terbaik dengan KJA adalah 50 ekor/m³. Padat tebar adalah salah satu variabel penting di dalam budidaya ikan, karena menimbulkan stres terhadap ikan (de las Heras et al., 2015; Façanha et al., 2016; Liu et al., 2016) dan mempunyai efek negatif terhadap laju pertumbuhan spesifik (Narejo et al., 2005; Aksungur et al., 2007; Millán-Cubillo et al., 2016), sintasan, rasio konversi pakan, rasio efisiensi pakan dan komposisi kaskas (Oliva et al., 2014; Ronald et al., 2014; Moniruzzaman et al., 2015; Chatvijitkul et al, 2017).

b) Pengaturan waktu tebar benih

Budidaya ikan nila dan mas pada KJA di Danau Maninjau dilakukan sepanjang waktu dalam periode satu tahun. Belajar dari waktu terjadi pembalikan massa air (*Tubo balereng*) sering terjadi antara bulan November–Februari, namun pada tahun 2016 pembalikan massa air terjadi pada bulan Agustus dan September 2016. Untuk menghindari kerugian pelaku perikanan KJA sebaiknya waktu yang baik untuk budidaya ikan dengan KJA di Danau Maninjau antara bulan Maret hingga Agustus.

c) Memberikan pakan dengan kadar protein <20% dan mengatur feeding rate

Pakan yang diberikan oleh pembudidaya terhadap ikan di KJA berbagai jenis merek dagang yaitu Confeed, Bintang, Mabar, Complete, Shinta, Malindo, Kargil dan Goldgoin. Semua jenis pakan ini mengandung kadar protein kasar di atas 25%. Kondisi danau Maninjau saat ini berada pada status eutrophic yang dapat menyediakan pakan alami berlimpah untuk pertumbuhan ikan nila. Selain itu itu persentase pemberian pakan (*feeding rate*) dianjurkan cukup 3%, meskipun sebelum ini berkisar antara 3-5%. Ketidak efisiensi dalam menentukan asupan pakan dapat berdampak negatif terhadap inefisiensi biaya dan kerusakan lingkungan perairan. Menurut Asche et al (2009) bahwa dampak lingkungan utama karena ketidakefisien dari industri akuakultur salmon di Norwegia berasal dari inefisiensi teknis.

d) Memelihara ikan berdasarkan zoning yang toleransi terhadap kualitas buruk

Untuk mengurangi kematian ikan secara massal di dalam KJA, maka direkomendasikan spesies ikan basis yang tahan terhadap kekurangan oksigen pada saat terjadi pembalikan masa air (istilah lokal *Tubo Balerang*) antara lain ikan gurami (*Osphronemus gurami*), ikan lele (*Clarias batrachus*) dan ikan patin (*Pangasius sutchii*) dan ikan lokal (native species) dengan zonasi daerah pemeliharaan berdasarkan parameter kualitas air (Tabel 6).

Tabel 5. Total Potensi Keuntungan /pendapatan yang Hilang bagi Pelaku Perikanan KJA akibat Kematian Masal Ikan Sebanyak 600 ton

No	Pelaku Perikanan KJA	Total potensi pendapatan yang hilang (Rp)	Persentase
1	Pendapatan kotor pembudidaya ikan	14.400.000.000	77,37
2	Pendapatan kotor pedagang pakan (FCR 1,5), 50% pakan yang hilang	3.735.000.000	20,06
4	Tenaga kerja pemanen ikan	240.000.000	1,29
5	Sopir pengantar ikan	120.000.000	0,65
6	Tenaga kerja pemberi pakan ikan	75.000.000	0,02
7	Tenaga kerja pembenih ikan	63.750.000	0,34
	Jumlah total	18.611.250.000	100

Sumber : Data dianalisis dari kematian ikan tahun 2016

Tabel 6. Zonasi perairan Danau Maninjau untuk budidaya ikan dengan KJA Berbasis Komoditi

No	Nagari/Desa	Spesies ikan yang direkomendasikan
1	Bayur, Maninjau, Duo Koto	gurami, lele dan patin
2	Koto Kaciek, Koto Gadang, Koto Malintang	nila, gurami dan lele
4	Tanjung Sani	nila, lele, majalaya
5	Sungai Batang	nila, lele, majalaya

Dianalisis dari parameter kualitas air dan topografi danau

KESIMPULAN

Menurunkan tingkat degradasi lingkungan harus menjadi kunci utama bagi ketahanan air Danau Maninjau. Oleh karena itu, kebijakan yang terkait dengan pengelolaan Danau Maninjau dapat meningkatkan kelentingan air terhadap perubahan yang terjadi. Jika air danau yang tidak tercemar berat akan memiliki kelentingan yang lebih baik terhadap biota air, terutama terhadap ikan yang dibudidayakan di dalam keramba jaring apung, termasuk manusia yang memanfaatkan air tersebut untuk berbagai kepentingan. Hal tersebut memberikan alasan penting diperlukannya skenario penyelamatan Danau Maninjau untuk budidaya ikan pada KJA yang ramah lingkungan dengan mengurangi padat tebar ikan, asupan pakan dengan protein rendah dan feeding rate yang optimum, termasuk memelihara ikan dengan komoditi basis sesuai zonasi dan daya tampung beban pencemaran air dengan tidak mengabaikan perlindungan pada konversi hutan alam di daerah tangkapan air.

Tidak ada alasan untuk tidak menyelamatkan ekosistem Danau Maninjau, karena dari aspek hukum pengelolaan kawasan Danau Maninjau untuk ketahanan air dan ekonomi masyarakat yang berwawasan lingkungan layak dilakukan karena dilindungi oleh Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, Keputusan Menteri, Peraturan Daerah Provinsi Sumatera Barat dan Peraturan Daerah Kabupaten Agam serta Peraturan Bupati Kabupaten Agam. Implementasi dari Peraturan Daerah Kabupaten Agam Nomor 5/2014 dan Peraturan Bupati Nomor 30/2017 sangat penting dilaksanakan, termasuk rencana program super prioritas dan prioritas gerakan penyelamatan Danau Maninjau yang telah disusun secara bersama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini adalah bagian dari riset “Model Dinamik Pengelolaan Kawasan Danau Maninjau Untuk Ketahanan Ekonomi Masyarakat” yang dibiayai oleh Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan RI dengan No: 11/LPDP/2017. Untuk itu kami mengucapkan terima kasih atas pendanaan riset ini dan memfasilitasi mengikuti kegiatan Kongres dan Seminar Nasional Masyarakat Limnologi Indonesia 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguilera, H., L. Moreno, J.G Wesseling, M.E Jimenez-Hernandez, S. Castano. 2016. Soil moisture prediction to support management in semiarid wetlands during drying episodes. *Catena* 147: 709-724.
- Agboola, J.I., P.E. Ndimele, S. Odunuga, A Akanni, B. Kosemani, M.A Arove. 2016. Ecological health status of the Lagos wetland ecosystems: implications for coastal risk reduction. *Estuarine, Coast. Shelf Sci.* 183: 73-81.
- Ackefors, H., and M Enell. 1990. Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas. *Ambio*, 19: 28-35.
- Aksungur, N., M. Aksungur, B. Akbulut, I. Kutlu, 2007. Effects of stocking density on growth performance, survival and food conversion ratio of Turbot (*Psetta maxima*) in the net cages on the Southeastern Coast of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 7: 147-152
- Apip., M. Fakhruddin, Sulastri, L. Subehi, dan I. Ridwansyah. 2003. Telaah Unsur Iklim dalam Proses Fisika Perairan Danau Maninjau. *Limnotek*, X (1):1-10.
- Asche, F, K.H.Roll, R.Tveteras, 2009. Economic inefficiency and environmental impact: An application to aquaculture production. *Journal of Environmental Economics and Management*, 58:93-105.
- Asir, U and R.Palatsu. 2008. Estimation of the nitrogen-phosphorus load caused by Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) cage-culture farms in Kesikköprü Dam Lake: A comparison of pelleted and extruded Feed. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 32(6): 417-422.
- Azevedo, L.B., R. Van Zelm, R.S.E.W Leuven, A.J Hendriks, M.A.J. Huijbregts, 2015. Combined ecological risks of nitrogen and phosphorus in European freshwaters. *Environ. Pollut.* 200, 85-92.

- Chatvijitkul, S, C. E. Boyd, D. A. Davis, A. A.McNevin. 2017. Pollution potential indicators for feed-based fish and shrimp culture. *Aquaculture*, 477: 43-49.
- Cohen, E., G.J. Levy, M Borisover, 2014. Fluorescent components of organic matter in wastewater: efficacy and selectivity of the water treatment. *Water Res.* 55: 323–336.
- Corrales.J, G.M. Naja, M.G.Bhat, F.M. Wielhem. 2017. Water quality trading opportunities in two sub-watersheds in the northern Lake Okeechobee watershed. *Journal of Environmental Management*, 196:544-549.
- das Neves Almeida, L. Cruz, E.Barata, I. M. Carcía-Sánchez.2017. Economic growth and environmental impacts: An analysis based on a composite index of environmental damage. *Ecological Indicators*, 76:119-130.
- de las Heras,V, J.A. Martos-Sitch, M. Yúfera, J.M. Mancera, G. Martínez-Rodríguez, 2015. Influence of stocking density on growth, metabolism and stress of thick-lipped grey mullet (*Chelon labrosus*) juveniles.*Aquaculture*, 448:29-37.
- Façanha,F.N, A.R. Oliveira-Neto, C. Figueiredo-Silva and A.J.P. Nunes, 2016. Effect of shrimp stocking density and graded levels of dietary methionine over the growth performance of *Litopenaeus vannamei* reared in a green-water system. *Aquaculture*, 463:16-21.
- Fakhruddin M., H. Wibowo, L.Subehi & I. Ridwansyah, 2002.*The 1st Seminar National Limnology*,65-75.
- Gondwe, M.J.S., S.J. Guildford and R.E. Hecky, 2011. Carbon, nitrogen and phosphorus loadings from tilapia fish cages in Lake Malawi and factors influencing their magnitude. *Journal of Great Lakes Research*, 37: 93-101.
- Ho,J.C, M.M Anna, 2017. Phytoplankton blooms in lake Erie impacted by both long-term and springtime phosphorus loading. *Journal of Great Lakes Research*, 43:221-228.
- Horpila, J., H. Holmroos, J Niemisto, I .Massa, N Nygrorg, P. Schonach, P Tapio, O Tommeorg. 2017. Variations of internal phosphorus loading and water quality in a Hypertrophic lake during 40 years of different management efforts. *Ecological Engineering*, 103: 264-272.
- Islam, M.S., 2005. Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Mar. Pollut. Bull.* 50 (1): 48–61.
- Jiang, H.B., Y. Wen, L.F. Zou, Z.Q. Wang, C.G. He, C.L. Zou. 2016. The effects of a wetland restoration project on the Siberian crane (*Grus leucogeranus*) population and stopover habitat in momoge national nature reserve, China. *Ecol. Eng.*96: 170-177.
- Junaidi, H. Syandri and Azrita, 2014. Loading and distribution of organic materials in Maninjau lake West Sumatra Province-Indonesia. *J.Aqua. Res & Development*, 5: 7.
- Kawasaki. N., M.R.M. Kushairi, N. Nagao, F. Yusoff, A. Imai and A. Kohzu, 2016. Release of Nitrogen and Phosphorus from Aquaculture Farms to Selangor River, Malaysia. *International Journal of Environmental Science and Development*, 7 (2): 113-116.
- Lapointe, B.E, L.W Herren, D.D. Debortoli, M.A.Vogel, 2015. Evidence of sewage driven eutrophication and harmful algal blooms in Florida's Indian River Lagoon. *Harmful Algae* 43, 82-102.
- Li.H, Chun-Lei S, Xiu-Yun C, Yi-Yong Z. 2016. The phosphorus release pathways and their mechanisms driven by organic carbon and nitrogen in sediments of eutrophic shallow lakes. *Science of the Total Environment*, 572:280-288.
- Li. Z, Y.Sheng, J. Yang, E.D. Burton, 2017. Phosphorus release from coastal sediments: Impacts of the oxidation-reduction potential and sulfide. *Marine Pollution Bulletin*, (*Article in press*).
- Lindim, C., Becker, A., Grüneberg, Fisher, H. 2015. Modelling the effects of nutrient loads reduction and testing the N and P control paradigm in a German shallow lake. *Ecological Engineering*, 82:415-427.
- Lovell, T., 1988. Nutrition and Feeding of Fish. Chapman & Hall, New York.
- Maimaitihan, M., Rusuli, Y., Abudureyimu, A., Jiapaer, T., 2016. Dynamic variation of *Phragmites australis* wetland in the Bosten lake basin and its driving factors in recent 26 years. *Arid Zone Res.* 33 (4): 797-804.
- Millán-Cubillo, A.F., J.A. Martos-Sitcha, I. Ruiz-Jarobo, S. Cardenàs and J.M. Mancera, 2016. Low stocking density negatively affects growth, metabolism and stress pathways in juvenile specimens of meagre (*Argyrosomus regius*, Asso 1801). *Aquaculture*, 451:87-92.
- Moniruzzaman, M, K.B. Uddin, S. Basak, Y. Mahmud, M. Zaher, S.C. Bai, 2015. Effects of stocking density on growth body composition, Yield and economic return of monosex tilapia (*Oreochromis niloticus*) under cage culture system in Kaptai lake in Bangladesh. *Journal Aquaculture Research & Development*, 6: 357.

- Meng, H., Wang, L., Zhang, Z.S., Xue, Z.S., Lu, X.G., Zou, Y.C., 2016. Researches on the impacts of climate change on spatial distribution and main ecological functions of inland wetland ecosystem in China. *Wetland Sci.* 14 (5): 710-716.
- Motallebi, M., Hoag, D.L., Tasdighi, A., Arab, M., Osmond, D.L. 2017. An economic inquisition of water quality trading programs, with a case study of Jordan Lake, NC. *Journal of Environmental Management*, 193:483-490.
- Narejo, N.T., M.A. Salam, M.A. Sabur, S.M. Rahmatullah, 2005. Effect of stocking density on growth and survival of indigenous catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch) reared in cemented cistern fed on formulated feed. *Pakistan J Zool.* 37(1): 49-52.
- Nürnberg, G.K., 2009. Assessing internal phosphorus load – problems to be solved. *Lake Reserv. Manage.* 25, 419-432.
- Pettersson, K., 1998. Mechanisms for internal loading of phosphorus in lakes. *Hydrobiologia*, 373/374: 21-25.
- Oliva, D., A.A. Barca, H. Gutierrez, A. Celis, L.R. Duran, 2014. Effect of stocking density and food ration on growth and survival of veliger and pediveliger larvae of the taquilla clam *Mulinia edulis* reared in the laboratory. *Revista de Biología Oceanografía*, 49 (3): 567-575.
- Ronald, N., B. Gladies, E. Gasper, 2014. The effects of stocking density on the growth and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry at son fish farm, Uganda. *Journal Aquacultur Research & Development*, 5: 2
- Shauna M. D, Alex P, Jessica F. 2017. The development and application of a sustainable diets framework for policy analysis: A case study of Nepal. *Food Policy*, 70:40-49
- Sandu, S., Hallerman, E., 2013. Biodegradation of nitrogen in a commercial recirculating aquaculture facility. In: Chamy, R. (Ed.), *Biodegradation –Engineering and Technology*. InTech, pp. 341–364.
- Søndergaard, M., J. P. Jensen, E. Jeppesen, 2003. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia* 506–509: 135–145
- Syandri, H., Junaidi, Azrita and T. Yunus, 2014. State of aquatic resources Maninjau lake West Sumatra Province, Indonesia. *J. Ecology and Env. Sci.* 1 (5): 109-113.
- Syandri, H., Junaidi, Azrita, 2015a. Heavy metals in Maninjau lake, Indonesia: water column, sediment and biota. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 3(2): 273-278.
- Syandri, H., Elfiondri, Azrita and Junaidi, 2015b. Social status of the fish-farmers of floating net cages in Maninjau lake, Indonesia. *J. Aquac. Research & Development* 7:1.
- Syandri, H., Azrita and A. Mardiah, 2015c. Analisis perkembangan keramba jaring apung, kualitas air dan sedimentasi di danau Maninjau. *Prosiding Tantangan terkini perairan darat di wilayah regional tropis menyongsong world lake conference 201. LIPI-ILEC. Masyarakat Limnologi Indonesia.* halaman 1-12.
- Syandri, H., Azrita and Niagara, 2016a. Trophic status and load capacity of water pollution waste fish culture with floating net cages in Maninjau lake, Indonesia. *Eco.Env.& Cons.*, 22 (1): 469-476.
- Syandri, H., Elfiondri, A. Mardiah and Azrita, 2016b. Social status of Nile tilapia hatchery fish-farmers at Maninjau lake areas, Indonesia. *Journal of Fisheries and Aquatic Science.*, 11 (6): 411-417.
- Syandri, H., A. Azrita, Junaidi and A. Mardiah. 2017. Levels of available nitrogen-phosphorus before and after fish mass mortality in Maninjau lake of Indonesia. *Journal of Fisheries and Aquatic Science, J. Fish. Aquat. Sci.*, 12 (4): 191-196.
- Syandri, H., Azrita and A. Mardiah. 2018. Nitrogen and phosphorus waste production from different fish species cultured at floating net cages in Lake Maninjau, Indonesia. *Asian Journal of Scientific Research (Article in press)*.
- Tianzhi W, X. Zhenci, L. Yunkai, L. Mingchao, W. Zhenhua, 2016. Biofilm growth kinetics and nutrient (N/P) adsorption in an urban lake using reclaimed water: A Quantitative base line for ecological health assessment. *Ecological Indicators*, 71:598-607.
- Yang, Y., B. Gao, H. Hao, H. Zhou, J. Lu, 2017. Nitrogen and phosphorus in sediments in China: A national-scale assessment and review. *Science of the Total Environment*, 576:840-849.
- Ye, Z., W. Li, Y. Chen, J. Qiu, D. Aji, 2017. Investigation of the safety threshold of eco-environmental water demands for the Bosten Lake wetlands, western China. *Quaternary*, 440 part B : 130-136.
- Yue, W.F., X.Z. Liu, T.J. Wang, X.H. Chen. 2016. Impacts of water saving on groundwater balance in a large-scale arid irrigation district, Northwest China. *Irrig. Sci.*, 34 (4): 297–312.
- Zhao, Y., Song, K.S., Li, S.J., 2016. Characterization of CDOM from urban waters in Northern-Northeastern China using excitation-emission matrix fluorescence and parallel factor analysis. *Environ. Sci. Pollut. Res.*

- Zhaoxia Ye, Weihong Li, Yaning Chen, Jingjun Qiu, Dilinuer Aji. 2017. Investigation of the safety threshold of eco-environmental water demands for the Bosten Lake wetlands, western China. *Quaternary International*, xxx: 1-7 (*Article in press*).
- Zeng, X.T., Huang, G.H., Yang, X.L., Wang, X., Fu, H., Li, Y.P., Li, Z., 2016. A developed fuzzy-stochastic optimization for coordinating human activity and ecoenvironmental protection in a regional wetland ecosystem under uncertainties. *Ecol. Eng.* 97: 207-230.