

Beban Cemar Fosfor dari Kegiatan Budidaya dan Dampaknya Terhadap Status Kesuburan Danau Maninjau, Sumatera Barat

The load of Phosphorus from Cultivation Activities and Its Impact on Trophic State of Lake Maninjau, West Sumatera

Andri Warsa dan Joni Haryadi

Balai Riset Pemulihan Sumber Daya Ikan Padang Sumatera Barat

(Diterima tanggal 3 Agustus 2018, Disetujui tanggal 27 Mei 2019)

ABSTRAK

Danau Maninjau yang terletak di Kabupaten Agam, Sumatera Barat merupakan badan air dengan keanekaragaman ikan yang tinggi. Kegiatan perikanan budidaya dalam Keramba Jaring Apung (KJA), yang merupakan kegiatan sekunder di Danau Maninjau, telah melebihi daya dukung ekologi. Sisa pakan dan hasil metabolime dari ikan yang dipelihara merupakan sumber fosfor total (P) yang masuk ke perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beban P dari kegiatan budidaya dan dampaknya terhadap status kesuburan perairan di Danau Maninjau, Sumatera Barat. Penelitian dilakukan pada bulan Februari dan September 2016, dimana pengambilan contoh air dilakukan pada enam stasiun pengamatan. Data parameter kegiatan budidaya diperoleh dari wawancara dan penelusuran pustaka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban masukan P dari kegiatan budidaya sebesar 693,4 tonP/tahun sedangkan dari daerah tangkapan air sebanyak 20 tonP/tahun. Dampak beban P dari kegiatan budidaya menyebabkan perairan Danau Maninjau menjadi sangat subur (Hipertrofik).

Kata kunci: budidaya, Beban P, Danau Maninjau, eutrofikasi

ABSTRACT

Lake Maninjau located in Agam District, West Sumatera is a water body with high fish diversity. The aquaculture activity at floating net cage, which is the secondary utilization in Lake Maninjau, has exceeded the limit of ecology carrying capacity. Leftover feed and fish metabolism residue were the resources of phosphorus (P) loading to the water body. The objective of this research was to determine the P loading from aquaculture and its impact for Lake Maninjau trophic state. The research was conducted on February and September 2016, while the sampling was carried out at six stations. The data of aquaculture parameters were obtained from interview with farmer and desk study. The result of the research shown that P loading from aquaculture and catchment area were 693,4 and 20 tonP/year, respectively. The effect of P loading from aquaculture activity has caused trophic state of Lake Maninjau became hypertrophic.

Keywords: aquaculture, loading P, Lake Maninjau, eutrophication

PENDAHULUAN

Danau Maninjau dengan luas 9.950 ha dan kedalaman rata-rata 105 m secara administratif terletak di Kecamatan Tanjung Raya Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Danau ini merupakan sarana untuk pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas 205 GWH per tahun.

Fungsi lain dari danau ini sebagai sumber air irigasi, perikanan tangkap dan budidaya serta pariwisata (Yuniarti *et al.*, 2009). Danau Maninjau memiliki keragaman jenis ikan yang tinggi dimana ditemukan sebanyak 14 spesies ikan (Roesma, 2013). Ikan bada

(*Rasbora argyrotaenia*) merupakan jenis ikan yang dominan tertangkap selain betutu (*Oxyeleotris marmorata*), baung (*Mystus* spp) dan nila (*Oreochromis niloticus*) (Yuniarti *et al.*, 2010). Selain berasal dari kegiatan perikanan budidaya, sumber pencemaran di Danau Maninjau berasal dari limbah rumah tangga dan pertanian (Fakhrudin, 2003). Aktivitas perikanan di Danau Maninjau didominasi oleh kegiatan perikanan budidaya yang berkembang dengan pesat dan telah melebihi daya dukung perairan (Sulastri *et al.*, 2012). Kegiatan budidaya merupakan kegiatan perikanan dengan keuntungan yang besar menyebabkan pesatnya pertambahan jumlah KJA yang beroperasi pada suatu badan air (Tamba *et al.*, 2014; Sitompul *et al.*, 2015). Pada tahun 2008, Produksi ikan budidaya di Danau Maninjau sebesar 2.885 ton/tahun dengan nilai ekonomi Rp 21,6 milyar (Yuniarti *et al.*, 2009). Daya dukung kegiatan budidaya ikan di Danau Maninjau sebesar 15.433 ton/tahun atau setara dengan 8.230 petak KJA (Syandri *et al.*, 2016). Jumlah KJA yang beroperasi telah melebihi daya dukung ekologi perairan sebesar 174%. Hal ini berdampak pada akumulasi bahan organik yang berasal dari pakan yang digunakan dalam kegiatan budidaya (Neumeier *et al.*, 2007; Suyani *et al.*, 2016). Perkembangan yang tidak terkendali telah menimbulkan dampak negatif bagi budidaya itu sendiri (Triyanto *et al.*, 2005).

Pemberian pakan yang tidak efisien dalam kegiatan budidaya di Danau Maninjau menyebabkan banyaknya pakan yang terbuang dan terakumulasi di dasar perairan (Afrin *et al.*, 2015). Dampak yang timbul adalah peningkatan kesuburan perairan di Danau Maninjau sehingga sering terjadinya

kematian massal ikan (Nasution *et al.*, 2011) serta pertumbuhan fitoplankton yang tidak terkendali (Garino *et al.*, 2002). Dampak lain yang timbul akibat adanya peningkatan kesuburan adalah penurunan produktivitas produksi ikan budidaya (Krismono, 1992). Hasil penelusuran pustaka menunjukkan belum adanya kajian secara langsung mengenai dampak beban fosfor (TP) dari kegiatan budidaya terhadap status kesuburan perairan. Oleh karena itu perlu adanya suatu kajian untuk mengetahui dampak beban TP yang dihasilkan dari kegiatan budidaya terhadap kesuburan perairan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung beban total fosfor (TP) dari kegiatan budidaya dan dampaknya terhadap kesuburan perairan di Danau Maninjau, Sumatera Barat.

METODOLOGI

1. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan di Danau Maninjau pada Februari dan September 2016. Pengambilan contoh air dilakukan pada enam stasiun yaitu (Gambar 1) pada kedalaman 0,5 m dari permukaan dengan menggunakan *Kemmerer Water Sampler* 3,1 L dengan metode sampling berstrata (Johnson & Nielson, 1985). Contoh air yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam botol polyetilen 500 mL dan diberi pengawet. Untuk analisa fosfor total contoh air diberi pengawet Asam Sulfat pekat hingga pH 2, sedangkan untuk analisa klorofil-*a* diberi pengawet MgCO₃. Kecerahan perairan diukur dengan menggunakan Sechi disk (diameter 30 cm) (APHA, 2005). Analisa klorofil-*a* dilakukan di Laboratorium Kimia Balai Penelitian Pemulihan Sumber Daya Ikan, sedangkan untuk parameter fosfor total

dilakukan di Laboratorium BBIA, Bogor. Untuk data hasil panen setiap petak dan jumlah pakan yang digunakan diperoleh dari wawancara dengan 15 pembudidaya. Wawancara dilakukan dengan bantuan kuisioner dengan metode *purposive sampling methods* (Palys, 2008). Jumlah petak KJA yang ada di Danau Maninjau dihitung berdasarkan peta citra dari *google earth* tahun 2016.

Data produksi total ikan budidaya diperoleh dari Dinas Kelautan dan Perikanan, Kabupaten Agam dan Junaidi *et al.* (2013). Konsentrasi fosfor pada pakan dan ikan yang dibudidayakan diperoleh dari Syandri *et al.* (2016).

2. Analisa data

Estimasi beban fosfor (TP)

Perhitungan beban P dari kegiatan budidaya dihitung berdasarkan konsentrasi P pada pakan yang digunakan serta retensi P pada ikan yang dibudidayakan (Kibria *et al.*, 1996). Beban cemar TP yang berasal dari kegiatan budidaya

dihitung dengan persamaan Beveridge (2004) yaitu:

$$LP_{ling} = P_{pakan} - P_{ikan} \dots\dots\dots (1)$$

$$LP_{pakan} = RKP \times \%P_{pakan} \times 1000 \dots\dots\dots (2)$$

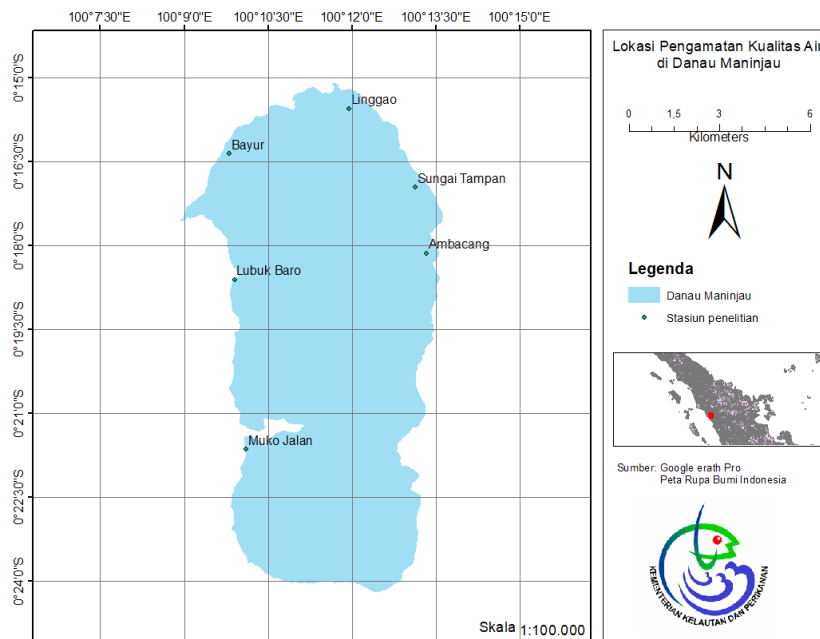
$$LP_{ikan} = \%P_{ikan} \times 1000 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- LP_{ling} = fosfor yang terbuang ke lingkungan (kgP/ton ikan)
- LP_{pakan} = beban cemar TP dari pakan (kgP/ton pakan)
- LP_{ikan} = beban cemar TP dari ikan (kgP/ton ikan)
- RKP = rasio konversi pakan
- %P_{pakan} = konsentrasi fosfor total pada pakan (%)
- %P_{ikan} = konsentrasi fosfor total pada ikan (%)

Estimasi Konsentrasi TP, Klorofil-a dan kecerahan

Besarnya konsentrasi P di perairan ditentukan oleh besarnya beban cemar P dan hidromorfologi badan air yaitu luas, kedalaman dan volume air keluar (*Flushing rate*) (Badr & Hussein, 2010). Dampak beban cemar P dari kegiatan budidaya terhadap parameter status kesuburan perairan yaitu total fosfor (Rast *et al.*, 1983), klorofil-a (Jones *et al.*, 1979) dan kecerahan (Lee *et al.* 1978)



Gambar 1. Lokasi Pengamatan kualitas air di Danau Maninjau

dihitung berdasarkan persamaan:

$$[P] = 1,81 [(L(P)/q_s)/(1 + \sqrt{t_w})]^{0,81} \dots\dots (4)$$

$$\log [\text{chl}o - a] = 0,76 \log[(L(P)/q_s)/(1 + \sqrt{t_w})] - 0,259 \dots\dots (5)$$

$$\log SD = -0,359 \log[(L(P)/q_s)/(1 + \sqrt{t_w})] + 0,925 \dots\dots (6)$$

Keterangan:

- = konsentrasi fosfor total diperairan ($\mu\text{g L}^{-1}$)
- = beban cemar fosfor total ke badan air ($\text{kgP km}^{-2} \text{tahun}^{-1}$)
- t_w = waktu tinggal air (tahun)
- Z = kedalaman rata-rata (m)
- Chl-a = konsentrasi klorofil-a ($\mu\text{g L}^{-1}$)
- SD = kecerahan (m)
- q_s = rasio kedalaman rata-rata terhadap waktu tinggal air (m tahun^{-1})

Status kesuburan perairan

Kesuburan perairan dianalisa berdasarkan indeks TSI_{tsr} (Cunha *et al.*, 2013) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$TSI (TP)_{tsr} = 10 \left[6 - \left(\frac{-0,27637 \ln TP + 1,329766}{\ln 2} \right) \right] \dots\dots (7)$$

$$TSI (CHL)_{tsr} = 10 \left[6 - \left(\frac{-0,2512 \ln CHL + 0,842257}{\ln 2} \right) \right] \dots\dots (8)$$

$$TSI_{tsr} = \frac{1}{2}(TSI (TP)_{tsr} + TSI (CHL)_{tsr}) \dots\dots (9)$$

Keterangan:

- TP = Konsentrasi fosfor total ($\mu\text{g/L}$)
- CHL = Konsentrasi klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)
- TSI_{tsr} = Indeks status kesuburan

Status trofik berdasarkan indeks TSI_{tsr} diklasifikasikan sebagai berikut $TSI_{tsr} \leq 51,1$: ultraoligotrofik; $TSI_{tsr} 51,2-53,1$: oligotrofik; $TSI_{tsr} 53,2-55,7$: mesotrofik; $TSI_{tsr} 55,8-58,1$: eutrofik; $TSI_{tsr} 58,2-59,0$: supereutrofik dan $TSI_{tsr} \geq 59,1$: hipereutrofik.

Status kesuburan Danau Maninjau ditentukan berdasarkan estimasi parameter fosfor total, klorofil-a dan kecerahan. Parameter tersebut dibandingkan dengan nilai status kesuburan pada Tabel 1. (Smith *et al.* 1999).

Tabel 1. Kesuburan perairan waduk

Status trofik	Fosfor total (mg m^{-3})	Klorofil-a (mg m^{-3})	Kecerahan (m)
Oligotrofik	< 10	< 3,5	>4
Mesotrofik	10-30	3,5-9	2-4
Eutrofik	30-100	9-25	1-2
Hipertrofik	>100	>25	<2

Beban cemar yang berasal dari luar badan air dihitung berdasarkan tata guna lahan pada daerah tangkapan air (DTA) (Ryding & Rast, 1989). Masing-masing tata guna lahan menyumbang fosfor total ke dalam badan air dengan besaran yang berbeda. Pendekatan koefisien ekspor dapat digunakan untuk memprediksi beban cemar TP dari DTA yang berasal dari sumber *nonpoint* (Jhones 1996; De Anda *et al.* 2001). Beban cemar fosfor total dari tata guna lahan dihitung dengan persamaan Jorgensen (1988):

$$I_{pl} = \sum_{i=1}^m A_i x E_p \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

- = fosfor total dari setiap tata guna lahan (g tahun^{-1})
- m = jumlah dari tipe tata guna lahan
- = luas tata guna lahan (m^2)
- = koefisien ekspor fosfor total ($\text{g m}^{-2} \text{tahun}^{-1}$)

Koefisien ekspor yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari penelusuran pustaka. Nilai koefisien ekspor P dari masing-masing tata guna lahan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien ekspor dari tata guna lahan

Tata guna lahan	Koefisien ekspor ($\text{g/m}^2 \text{tahun}$)
Pemukiman	0,1
Rumput	0,025
Pertanian	0,09
Hutan	0,01
Kebun	0,3

Sumber: Rast & Lee 1983

HASIL DAN PEMBAHASAN

KJA yang beroperasi di Danau Maninjau berjumlah 22.600 petak dengan ikan yang dibudidayakan adalah ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Jumlah KJA ini mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan jumlah KJA yang beroperasi tahun 2015 yaitu 16.120 petak (Syandri *et al.*, 2016). Beban cemar TP yang berasal dari kegiatan budidaya sebesar 693,4 tonP/tahun (Tabel 3). Besarnya beban TP yang berasal dari kegiatan budidaya sebesar 69-86% dari kandungan TP dalam pakan (Lazzari & Baldisserotto, 2008).

Tabel 3. Perhitungan beban P dari budidaya ikan nila di Danau Maninjau

No	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Padat tebar	kg/petak/siklus	50-250
2.	Jumlah pakan	kg/siklus/petak	1.424
3.	Jumlah panen	kg/siklus/petak	1.00
4.	Konversi pakan (RKP)		1,60
5.	TP pakan	%	1,2
6.	TP ikan nila	%	0,377
7.	Beban TP	kg P/ton ikan	15,43
8.	Produksi	ton ikan/tahun	45.2000
9.	Total beban TP	Ton P/tahun	705,1

Sumber: Parameter 1-6 (Syandri *et al.*, 2016); 7-9 hasil perhitungan

Hasil penelitian menunjukkan beban cemar TP dari kegiatan budidaya di Danau Maninjau sebesar 14,61 kg/ton. Beban cemar TP untuk setiap petak KJA ini lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil uji coba dari Syandri *et al* (2018) yaitu sebesar 20 kg/tahun ikan. Namun beban cemar TP dalam satu tahun lebih besar jika dibandingkan dengan hasil penelitian Syandri *et al.* (2016) yaitu 294,2 ton/tahun. Hasil penelitian Fakhruddin (2003) menunjukkan bahwa beban TP yang berasal dari kegiatan budidaya di Danau Maninjau sebesar 2000-3000 ton/tahun dengan konsentrasi P pada pakan

sebesar 1,3% dan nilai FCR sebesar 2,5. Hal ini berkaitan dengan jumlah KJA yang beroperasi dan produksi total ikan budidaya yang lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian ini. Beban cemar TP dari kegiatan budidaya dipengaruhi oleh komposisi N dan TP pada pakan serta produksi total ikan yang dihasilkan dalam kegiatan budidaya tersebut (Kibria *et al.*, 1996). Beban cemar TP yang dapat ditampung oleh Danau Maninjau pada kondisi perairan menjadi mesotrofik adalah 223,4 ton/tahun (Machbub, 2010). Hal ini menunjukkan bahwa beban P akibat kegiatan budidaya ini telah melebihi kemampuan pulih diri badan air pada kondisi mesotrofik. Beban TP yang masuk ke perairan Danau Maninjau telah melebihi kemampuan asimilasi perairan Danau Maninjau (Marganof *et al.*, 2007).

Beban cemar TP yang berasal dari aktivitas budidaya berdampak pada peningkatan status kesuburan perairan di Danau Maninjau (Sulastris *et al.*, 2012). Estimasi konsentrasi TP rata-rata di perairan Danau Maninjau berdasarkan beban cemar TP dari kegiatan budidaya sebesar 596 µg/L dengan konsentrasi klorofil-a 41,4 µg/L dan nilai kecerahan 1,1 m (Tabel 4). Konsentrasi TP pada suatu badan air dipengaruhi oleh besarnya beban cemar P ke dalam badan air (Brett & Benjamin, 2008). Parameter TP, kolrofil-a dan kecerahan hasil estimasi menunjukkan bahwa beban cemar P dari kegiatan budidaya menyebabkan perairan Danau Maninjau menjadi sangat subur (hipertrofik). Beban TP yang berasal dari kegiatan budidaya berdampak pada peningkatan status kesuburan perairan menjadi hipereutrofik dengan nilai TSI_{tsr} 63,3. Kegiatan budidaya nila di Waduk North Shoa di Afrika berdampak pada peningkatan kesuburan

perairan menjadi eutrofik-hipertrofik (Ahmed *et al.*, 2010; Degefu *et al.*, 2011). Hal ini disebabkan beban cemar P yang melebihi daya dukung perairan (True *et al.*, 2004).

Tabel 4. Estimasi konsentrasi P, Klorofil-a dan kecerahan

No	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Luas (A)	Ha	9.737,5
2.	Volume (V)	juta m ³	10.226,2
3.	Kedalaman rata-rata (z)	m	105,2
4.	Waktu tinggal air	tahun	25,05
5.	Laju pembilasan	per tahun	0,039
6.	Total P	µg/L	540
7.	Klorofil-a	µg/L	41,4
8.	Keccerahan	m	1,1

Sumber: Parameter 1-5 (Fakhrudin, 2003); 6-7 hasil perhitungan

Hasil pengukuran pada contoh air menunjukkan bahwa konsentrasi fosfor total, klorofil-a masing-masing adalah 680-820 µg/L dengan rata-rata 743 µg/L dan 33,97-74,80 µg/L dengan rata-rata 47,89 µg/L serta nilai kecerahan berkisar 0,9-1,3 m dengan rata-rata 1,08 m. Beban nutrien dari kegiatan budidaya berdampak pada konsentrasi nutrient dan klorofil-a (Guo & Li, 2003). Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran, konsentrasi total P dan klorofil-a hasil estimasi lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh belum dimasukkannya beban cemar TP dari air hujan dan air tanah. Hasil penelitian Lukman *et al* (2013) menunjukkan bahwa kecerahan Danau Maninjau berkisar 0,4-1,7 m. Hasil analisa berdasarkan indeks Storet menunjukkan bahwa kualitas air Danau Maninjau termasuk kedalam kategori tercemar berat dengan kecerahan dan klorofil-a masing-masing 0,7-1,1 m dan 81,1-155 mg/m³ (Aries *et al.*, 2015) dengan tingkat kesuburan perairan tinggi (eutrofik) (Junaidi *et al.*, 2013; Sulastri *et al.*, 2016). Kondisi kualitas air menyebabkan

sering terjadinya kematian massal ikan serta penurunan produktivitas KJA di Danau Maninjau (Syandri *et al.*, 2015).

Tata guna lahan pada daerah tangkapan air disekitar Danau Maninjau didominasi oleh kawasan hutan. Beban cemar TP dari daerah tangkapan air berdasarkan tata guna lahan sebesar 20.725,9 kg/tahun atau setara dengan 20,7 tonP/tahun (Tabel 5). Beban cemar TP dari daerah tangkapan juga dapat dihitung berdasarkan konsentrasi TP dan debit air sungai yang masuk ke dalam danau (Ryding & Rast, 1989). Perhitungan besaran beban TP berdasarkan konsentrasi TP dan debit air sungai (Fakhrudin, 2003). Debit air masuk ke Danau Mnainjau yang berasal dari sungai inlet rata-rata sebesar 54,8 L/det dengan konsentrasi TP rata-rata 0,051 mg/L. Beban cemar TP dari sungai inlet sebesar 27 ton/tahun. Estimasi beban cemar TP dari DTA ini lebih kecil dari hasil penelitian Machbub (2010) yaitu 70,8 tonP/tahun. Perhitungan beban cemar TP dari daerah tangkapan air disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan beban masukan P dari daerah tangkapan air

Tata guna lahan	Luasan (ha)	Beban P (kg P/tahun)
Hutan	5.436,8	543,7
Ladang	1.827,4	5.482,1
Kebun	4.552,7	13.657,9
Padang rumput	647,8	161,9
Sawah	934,9	467,5
Pemukiman	409,9	412,7
Total	13.809,5	20.725,9

Sumber: tata guna lahan: Antomi *et al.*, 2016; Beban P hasil perhitungan

Hal ini mengindikasikan bahwa beban cemar TP dari kegiatan budidaya lebih besar yaitu 97,5% jika dibandingkan dengan beban cemar dari daerah tangkapan air. Beban cemar TP di Danau Taechung, Korea Selatan yang

merupakan lokasi budidaya ikan menunjukkan bahwa beban TP dari luar perairan sebesar 68% (Kwang-Guk & Dong-Su, 2003). Beban cemar TP di Danau Maninjau sebesar 95% berasal dari kegiatan budidaya (Henny & Nomosatryo, 2016). Estimasi konsentrasi TP diperairan sebagai akibat beban cemar TP dari DTA yaitu 16,14 $\mu\text{g/L}$. Jika beban cemar hanya berasal dari daerah tangkapan air maka status kesuburan perairan Danau Maninjau adalah mesotrofik. Beban cemar TP yang rendah ini karena DTA didominasi oleh kawasan hutan dan kebun yaitu masing-masing sebesar 39,4 dan 33,3%. Badan air dengan tata guna lahan yang didominasi oleh hutan cenderung mempunyai status kesuburan yang rendah (Sulastri *et al.*, 2008).

Untuk menurunkan status trofik Danau Maninjau perlu adanya suatu upaya untuk mengurangi beban cemar TP (Nikolai & Dzialowski, 2014). Beban cemar TP yang maksimal yang dapat ditampung pada kondisi kesuburan perairan mesotrofik adalah sebesar 32 ton/tahun. Jika beban cemar TP dari daerah tangkapan air sebesar 20 tonP/tahun maka alokasi untuk kegiatan budidaya adalah sebesar 12 tonP/tahun. Alokasi Beban TP ini sebanding dengan produksi ikan sebesar 821 ton ikan/tahun. Jika mengacu pada produksi untuk setiap petak KJA maka jumlah KJA yang boleh beroperasi sebanyak 781 petak.

SIMPULAN

Beban fosfor dari kegiatan budidaya di Danau Maninjau sebesar 693,4 ton/tahun sedangkan dari daerah tangkapan air sebesar 20 ton/tahun. Hal ini berdampak pada status kesuburan perairan Danau Maninjau

menjadi hipertrofik dengan konsentrasi total P, klorofil-*a* masing-masing adalah 540 dan 41,4 $\mu\text{g/L}$ dengan tingkat kecerahan 1,1 m. Hal ini menggambarkan bahwa beban cemar TP telah melebihi daya dukung ekologi perairan Danau Maninjau yaitu sebesar 223,4 ton/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

1. Afrin, J. Hendrik. Nugroho F. 2015. Analisis usaha pembesaran ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dalam keramba jaring apung (KJA) di Nagari Tanjung Sani Kecamatan Tanjung Raya Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat. *JOM* 8: 1-11
2. Ahmed R. Shahabuddin AM. Habib MAB. & Yasmin M S. 2010. Impact of aquaculture practices in Naogaon District of Bangladesh. *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology* 5(2): 56-65
3. AntomiY. Martono DM. Suparmoko M. Koestoer RH. 2016. Water quality index in Lake Maninjau as a parameter to determine the optimum economic growth of floating net cages and Land-based Livelihood. *OIDA International Journal of Sustainable Development* 9(2): 51-62
4. APHA (American Public Health Association). 2005. *Standar Methods for the Examination of Water and Waste Water Including Bottom Sediment and Sludges. 21st edition*. In: Eaton AD, Clesceri LS, Rice EW, Grennberg AE. Amer. Publ. Health Association Inc. New York. 1296p
5. Aries SA. Syandri H. Suparno. 2015. Kondisi fisika-kimia dan pembebanan sedimen di perairan Danau Maninjau untuk kelangsungan usaha perikanan keramba jaring apung. *Jurnal Program Pasca Sarjana Universitas Bung Hatta* 7(1): 1-14

6. Badr NBE. Hussein MA. 2010. An input/output model of total phosphorus in Lake Edku, a Northern Eutrophic Nile Delta Lake. *Global Journal of Environmental Research* 4(2): 64-75
7. Beveridge MCM. 2004. *Cage Culture*. Third Edition. Blackwell Publishing. 368p
8. Brett MT. Benjamin MM. 2008. A review and reassessment of lake phosphorus retention and the nutrient loading concept. *Freshwater Biology* 53: 194-211
9. Cunha DGF. Calijuri MDC. Lamparelli MC. 2013. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tsr}). *Ecological Engineering* 60: 126-134
10. Degefu F. Mengistu S. Schagerl M. 2011. Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds: A case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia. *Aquaculture* 316: 129-135
11. De Anda J. Shear H. Maniak U. Riedel G. 2001. Phosphate in Lake Chapala, Mexico. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 6: 313-321
12. Fakhrudin M. 2003. Kajian ekohidrologi sebagai dasar untuk pengelolaan Danau Maninjau Sumatera Barat. Tanjung, S. D., Hadisusanto, S., Puspito, A. (editors). *Prosiding Seminar Nasional Limnologi*: 191-209.
13. Garno YS. 2002. Beban pencemaran limbah perikanan budidaya dan yutrofikasi di perairan waduk Das Citarum. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 3(2): 112-120
14. Guo L. Li Z. 2003. Effect of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on communities of shallow lake in middle Yangtze River basin of China. *Aquaculture* 226: 201-212
15. Henny C. Nomosatryo S. 2016. Changes in water quality and trophic status associated with cage aquaculture in Lake Maninjau, Indonesia. *Conf. Series: Earth and Environmental Science* 31: 1-9
16. Jhones PJ. 1996. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modelling approach. *Journal of Hydrology* 183: 323-349
17. Jones RA. Rast W. Lee GF. 1979. Relationship between summer mean and maximum chlorophyll *a* concentration in lakes. *Environmental Science & Technology* 13: 869-870
18. Johnson DL. Nielsen LA. 1985. Sampling considerations. In: Nielson LA. Johnson DL, Editors. *Fisheries Techniques*. Maryland: American Fisheries Society: 1-21
19. Jorgensen SE. 1988. *Fundamental of ecological modelling*. Elsevier. Amsterdam. 391
20. Junaidi. Syandri H. Azrita. Basri Y. 2013. Trophic status and potensial production estimates of fish littoral waters Maninjau Lake West Sumatra. *Dalam Hutahuruk, R., et al (Editors). Proceeding 2nd National and International Seminar of Fisheries and Marine*: 85-91
21. Kibria G. Nugegoda D. Lam P. Fairclough, R. 1996. Fairclough. Aspect of phosphorus pollution from aquaculture. *Naga The ICLARM Quarterly* 19(3): 20 – 24p
22. Krismono. 1992. Hubungan antara tingkat trofik dengan produksi keramba jaring apung mini di suatu bdan air. *Bull. Pen. Perikanan* 1: 45-50
23. Kwang-Guk A. Dong Su K. 2003. Response of reservoir water quality to nutrient inputs from streams and in-Like Fishfarms. *Water, Air, and Soil Pollution* 149: 27-49

24. Lazzari R. Baldisserotto. 2008. Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. *B. Inst. Pasca, Sao Paulo* 34(4): 591-600.
25. Lee GF. Rast W. Jones RA. 1978. Eutrophication of water bodies: Insights for an age-old problem: New information enables water quality managers to predict reliably water quality changes that result from various phosphate control management practice. *Environmental Science and Technology* 12:900-908
26. Lukman. Sutrisno. Hamdani A. 2013. Pengamatan pola stratifikasi di Danau Maninjau sebagai potensi Tubo Belerang. *Limnotek* 20(2): 129-140
27. Machbub B. 2010. Model perhitungan daya tampung beban pencemaran air danau dan waduk. *Jurnal Sumber Daya Air* 6(2): 103-204
28. Marganof. Darusman. LK. Riani E. Pramudya, B. 2007. Analisis beban cemar, kapasitas asimilasi dan tingkat pencemaran dalam upaya pengendalian pencemaran perairan Danau Maninjau. *Jurnal Perikanan dan Kelautan* 12(1): 8-14
29. Nasution Z. Sari YD. Huda HM. 2011. Perikanan budidaya di Danau Maninjau: Antisipasi kebijakan penanganan dampak kemayian masal ikan. *J. Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan* 1(1): 19-31
30. Neumeier U. Friend PL. Gangelhof U. Lunding J. Lundkvist M. Bergamasco A. Amos CL. Flindt M. 2007. The influence of fish feed pellets on the stability of seabed sediment: A laboratory flume investigation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 75: 347-357
31. Nikolai, SI. Dzialowski AR. 2014. Effect of internal phosphorus loading on nutrient limitation in a eutrophic reservoir. *Limnologica* 49: 33-41
32. Palys T. 2008. Purposive sampling. In Given, L. M (Edt). *The Sage Encyclopedia of Qualitative Research Methods 2* Sage. Los Angeles: 697-698
33. Rast W. Lee GF. 1983. Nutrient loading estimates for lakes. *Journal of Environmental Engineering* 109(2): 502-518
34. Rast W. Jones RA. Lee GF. 1983. Predictive capability of U.S.OECD phosphorus loading-eutrophication response models. *Journal WPCF* 55(7): 990-1003
35. Roesma DW. 2013. Evaluasi keanekaragaman spesies ikan di Danau Maninjau. *Prosiding Semarang FMIPA Universitas Lampung* 1(1): 197-2014
36. Ryding SO. Rast W. 1989. *The control of of eutrophication of lakes and reservoirs*. The Parthenon Publishing Group. United Kingdom: 314
37. Sitompul F. Ramli M. Bathara L. 2015. Analisa keadaan usaha budidaya ikan sistem keramba jaring apung (KJA) di Danau Toba (Kasus Desa Untemungkur Kecamatan Muara Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara. *JOM* 2(1): 1-10
38. Smith VH. Tilman GD. Nekola JC. 1999. Eutrophication: impact of excess nutrient input on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100: 179-196
39. Sulastri. Harsono E. Suryono T. Ridwansyah I. 2008. Relationship of land use, water quality and phytoplankton community of some small lakes in West Java. *Oceanologi dan Limnologi di Indonesia* 34(2): 307-332
40. Sulastri. Hartoto DI. Yuniarti I. 2012. Environmental condition, fish resources and management of Maninjau Lake of West Sumatera. *Ind. Fish Res. J.* 18(1): 1-15

41. Sulastrri. Nomosatryo S. Hamdani A. 2016. Kondisi lingkungan perairan dan keanekaragaman sumberdaya ikan di Danau Maninjau, Sumatera Barat. *Bawal 8(1)*: 1-12
42. Suyani H. Deswati. Refilda. Sutopo J. 2016. Water quality analysis of post-event up welling and step anticipation in aquaponics locations of Maninjau Lake. *Der Pharma Chemica 8(10)*: 102-108
43. Syandri H. Elfiondri. Azrita. 2015. Social status of fish farmers of floating net cages in Lake Maninjau, Indonesia. *J. Aquac Res Development 7(1)*: 1-5
44. Syandri H. Azrita. Niagara. 2016. 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
45. Syandri H. Azrita. Mardiah A. 2018. Nitrogen and phosphorus waste production from different fish species cultured at floating net cages in Lake Maninjau, Indonesia. *Asian Journal of Scientific Research 11*: 287-294
46. Tamba S. Ramli M. Hendrik. 2014. Analisa kelayakan budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dalam keramba jaring apung di Desa Silalahi III Kecamatan Silahibungan Kabupaten Dairi Provinsi Sumatera Utara. *JOM 1(1)*: 1-11
47. Triyanto. Lukman. Meutia AA. 2005. Introduksi keramba jaring apung berlapis sebagai alternative sistem pemeliharaan ikan dalam keramba ramah lingkungan di Danau Maninjau Sumatera Barat. *Limnotek XII (2)*: 61-67
48. True B. Johnson W. Chen S. 2004. Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluent characterization. *Aquaculture Engineering 32*: 129-144
49. Yuniarti I. Hartoto DI. Sulastrri. Triyanto. Sutrisno. 2009. KO-Manajemen dalam pengelolaan perairan darat Indonesia: sebuah pembelajaran dari pengelolaan Danau Maninjau secara ko-manajemen. *Prosiding Forum Nasional Pemacuan Sumberdaya Ikan II*: 1-12
50. Yuniarti I. Sulastrri. Sutrisno. 2010. Jaring-jaring makanan di Danau Maninjau. *Dalam Wibowo, H., Lukman & Sulastrri (Edits). Prosiding Seminar Limnologi V*: 135-144