

**Kadar Senyawa Kimia Toksik dalam Darah Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)
Saat Musim *Up-Welling* di Danau Maninjau, Sumatera Barat**

***The Concentration of Toxic Chemical Substances in the Blood of Nile Tilapia
(Oreochromis niloticus) during Up-Welling Season in Maninjau Lake,
West Sumatera***

Ade Dewi Maharani¹, Silvi Susanti^{1*}, Fachrul Reza¹

¹Program Studi Pendidikan Biologi STKIP PGRI Sumatera Barat, Jl. Gunung Pangilun Kota Padang

*Email: silvisusanti@gmail.com

Naskah diterima: 25 Oktober 2017, direvisi: 15 Maret 2020, disetujui: 30 Maret 2020

Abstract

Maninjau lake is the largest center for the freshwater floating-net-cage fisheries system in West Sumatra. Every year, during the up-welling season, a huge number of fish suffered to death in the lake including Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), a common species cultivated in the floating-net cages. This current study aimed to determine the factors contributing to the death of fish by measuring the concentration of toxic chemical substances in the blood plasma of Nile tilapia as well as in the substrate collected from the bottom of the lake. The samples were collected in the sites with higher number of floating-net cages as well as higher number of mass death of fish (Tanjung Sani, Pakan Raba'a dan Maninjau) during the up-welling season. The result revealed that the levels of phosphate, nitrate, nitrite, and ammonium were higher in the blood plasma of the fish (87, 216, 13.9, 0.6, dan 5.5 mg/l). Moreover, the levels of those chemical substances were also higher in the substrate of the lake (82.150, 0.546, 33.166, 23.954 dan 0.0776 mg/l). The higher concentration of the toxic chemical substances might contribute to the mass death of fish living in the floating-net cages during the up-welling season.

Key words: blood plasma; floating-net cages; lake substrate; Nile tilapia; up-welling season

Abstrak

Danau Maninjau merupakan pusat budidaya ikan keramba air tawar terbesar di Sumatera Barat. Setiap tahunnya, pada musim pengadukan (*up-welling*), terjadi kematian massal ikan-ikan di danau tersebut termasuk juga ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang merupakan spesies budidaya utama. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor penyebab kematian ikan dengan mengukur senyawa-senyawa kimia di dalam plasma darah ikan nila dan di dalam substrat di dasar danau saat musim *up-welling* (pengadukan). Pengambilan sampel dilakukan pada tiga lokasi yang padat keramba dan mengalami tingkat kematian massal ikan yang sangat tinggi (Tanjung Sani, Pakan Raba'a, dan Maninjau). Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa konsentrasi fosfat, nitrat, nitrit, sulfur, dan amonia di dalam darah ikan nila tergolong tinggi (87; 216; 13,9; 0,6; dan 5,5 mg/l). Kadar senyawa-senyawa tersebut juga tinggi pada substrat di dasar danau (82,150; 0,546; 33,166; 23,954; dan 0,0776 mg/l). Tingginya level substansi kimia yang bersifat toksik tersebut diduga memicu kematian massal ikan-ikan keramba pada musim *up-welling*.

Kata kunci: ikan nila; keramba; musim *up-welling*; plasma darah; substrat danau

Pendahuluan

Danau Maninjau adalah danau kedua terluas di provinsi Sumatera Barat setelah Danau Singkarak. Danau ini menjadi habitat ikan-ikan endemik seperti ikan rinuak (*Psilopsis sp.*) dan ikan badah (*Rasbora maninjau*) (Roesma, 2013; Lumantobing, 2014). Hasil penelitian Roesma (2013) menemukan sekurangnya terdapat 16 jenis spesies ikan yang hidup di danau Maninjau. Aliran keluar Danau Maninjau digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga air (PLTA), sedangkan lahan di sekitar danau digunakan sebagai ladang pertanian, pemukiman dan aktivitas pasar (Nontji, 2016). Danau Maninjau telah menjadi sentra budidaya ikan keramba terbesar di Sumatra Barat sejak tahun 1990 (Noor, 2002).

Salah satu ikan yang dibudidayakan dalam keramba di Danau Maninjau adalah ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Ikan ini memiliki daya toleransi yang tinggi terhadap perubahan lingkungan sehingga mudah dibudidayakan dimana saja (Peterson, dkk., 2005). Bentuk pembudidayaan ikan di danau Maninjau berupa budidaya keramba jala apung (KJA). Peningkatan jumlah unit KJA terjadi pada setiap tahun, dimana hingga tahun 2015 tercatat jumlah keramba mencapai 20.658 unit (Syandri, 2016). Peningkatan pembudidayaan KJA dengan pola budidaya yang tidak ramah lingkungan akan menghasilkan limbah organik yang berasal dari sisa pakan, feses ikan, bangkai ikan, dan sisa metabolisme yang akan mengendap di dasar danau. Limbah organik yang dihasilkan akan terdekomposisi oleh bakteri anaerob di dasar perairan yang akan menghasilkan senyawa kimia toksik. Peningkatan limbah organik sudah tercatat sejak tahun 2001 sampai 2013 yang mencapai 111.889,84 ton (Syandri, Junaidi, & Azrita, 2014). Senyawa kimia toksik yang mengendap di dasar perairan akan naik dan terlarut dalam air, ketika terjadi *up-welling* (pengadukan) yang memicu kematian massal pada ikan (Rasidi, dkk., 2010).

Kasus kematian massal pada ikan sudah mulai tercatat sejak tahun 1997 yang mengakibatkan kerugian hingga milyaran rupiah per tahunnya (Nasution, dkk., 2011). Penelitian untuk menanggulangi masalah kematian massal ikan di Danau Maninjau sudah banyak dilakukan baik dari segi analisa kebijakan (Nasution, dkk., 2011; Asnil, dkk., 2013), maupun evaluasi terhadap

kualitas perairan danau (Rasidi, dkk., 2010; Yusuf, dkk., 2011; Sulastrri, dkk., 2011; Syandri, dkk., 2014; Syandri, 2016). Informasi berkenaan dengan kondisi fisiologis ikan-ikan yang hidup di danau tersebut sehubungan dengan kondisi senyawa toksik di lingkungannya pada musim *up-welling* hingga saat ini masih sangat terbatas.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Maharani, dkk., 2017), diketahui bahwa polusi di Danau Maninjau telah berdampak kepada perubahan kondisi fisiologis darah ikan nila. Jumlah sel darah merah dan kadar hemoglobin ikan nila yang ditangkap di luar keramba berada di bawah batas ambang normal saat musim *up-welling*. Hal ini mengindikasikan bahwa tingkat polusi perairan Danau Maninjau telah menyebabkan gangguan fisiologis ikan bahkan terhadap ikan nila yang terkenal tinggi daya toleransinya.

Pada penelitian ini telah dilakukan analisis lanjut dengan mengukur konsentrasi senyawa-senyawa kimia toksik di dalam darah ikan nila dan pada substrat di dasar danau. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa kimia toksik yang berkontribusi terhadap kematian massal ikan-ikan di Danau Maninjau pada musim *up-welling*. Senyawa-senyawa kimia yang diukur dalam penelitian ini adalah amonia, nitrit, nitrat, fosfat, dan sulfur. Senyawa-senyawa tersebut merupakan polutan organik yang umumnya dihasilkan dari limbah keramba dalam perairan.

Materi dan Metode

Lokasi dan Waktu Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel ikan terdiri atas tiga titik yang berbeda yaitu di wilayah Tanjung Sani, Pakan Raba'a, dan Maninjau (Gambar 1). Penentuan lokasi pengambilan sampel ini berdasarkan kepada lokasi KJA yang terdapat pada danau Maninjau. Sampel dikoleksi di luar keramba dengan menggunakan jasa nelayan saat musim *up-welling* yaitu pada bulan Januari 2017 dimana terjadi kematian massal pada ikan-ikan di dalam keramba.

Koleksi Sampel Darah dan Pengukuran Konsentrasi Senyawa Kimia

Darah ikan nila dikoleksi dari individu dewasa (5-6 ekor ikan per lokasi) dengan cara mengambil

darah di belakang sirip anal menggunakan jarum suntik. Kemudian dimasukkan kedalam tabung sampel darah sebanyak 3 ml. Sampel selanjutnya dibawa ke Laboratorium dasar kopertis wilayah X menggunakan kontainer kecil suhu 15°C dan disentrifugasi dengan kecepatan 1.000 rpm untuk memisahkan plasmanya. Langkah selanjutnya yaitu dilakukan pengukuran konsentrasi senyawa amonia, nitrit, nitrat, fosfat, dan sulfur dengan menggunakan *spectroquant test kit* (Merck & Co., Inc., New Jersey, USA).

Koleksi Sampel Substrat dan Pengukuran Konsentrasi Senyawa Kimia

Sampel substrat sebanyak 1 kg dari dasar danau dikoleksi pada masing-masing lokasi pengambilan sampel substrat dengan cara:

1. Menggunakan alat *Ekmandrage* pada substrat yang berlumpur.
2. Menyelam langsung ke dasar danau jika substrat berpasir halus.

Langkah selanjutnya yaitu pengukuran konsentrasi senyawa amonia, nitrit, nitrat, fosfat, dan sulfur di laboratorium Tanah Fakultas

Pertanian Universitas Andalas Padang dengan menggunakan *atomic absorption spectroscopy* (AAS) (Evianti dan Sulaeman, 2009).

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Berdasarkan hasil pengukuran kadar senyawa-senyawa kimia di dalam plasma darah ikan nila (Tabel 1) dan di dalam substrat dasar Danau Maninjau (Tabel 2) pada saat musim *up-welling*, diketahui bahwa level senyawa fosfat, nitrat, nitrit, amonia, dan sulfur termasuk dalam kategori tinggi. Konsentrasi senyawa fosfat, nitrat, nitrit dan sulfur dalam plasma darah ikan yang tertinggi adalah di daerah Maninjau (masing-masingnya 87; 216; 13,9; 0,6; dan 5,5 mg/l). Sedangkan untuk substrat di dasar danau, konsentrasi fosfat dan amonia tertinggi di kawasan Maninjau (masing-masingnya 82,150 dan 0,546 mg/l), dan konsentrasi nitrat, nitrit, dan sulfur tertinggi di kawasan Tanjung Sani (masing-masingnya 33,166; 23,954 ;dan 0,0776 mg/l). Level senyawa-senyawa kimia di plasma darah dan di substrat dasar danau di kawasan Pakan Raba'a cenderung lebih rendah jika dibandingkan kawasan lainnya.

Tabel 1. Kadar senyawa kimia dalam plasma darah ikan nila (*O. niloticus*) yang dikoleksi saat musim *up-welling* di Danau Maninjau, Sumatra Barat.

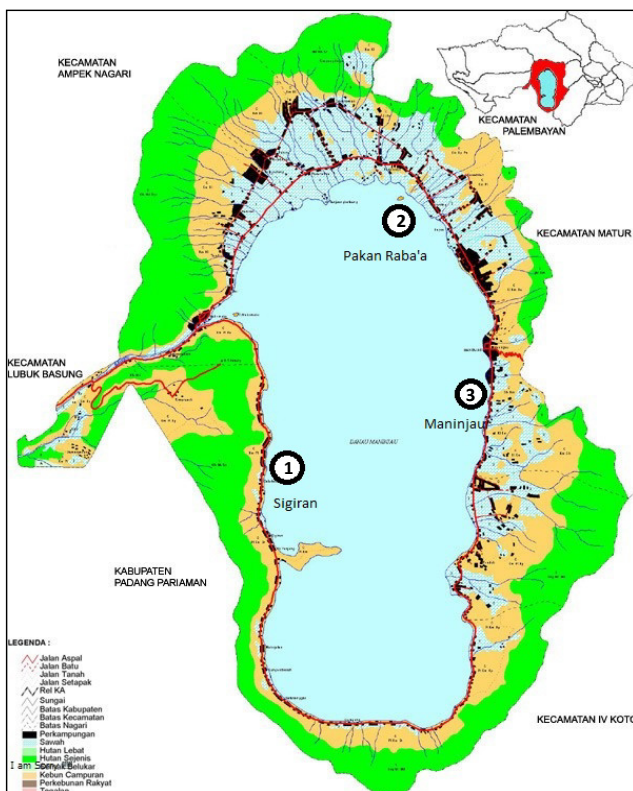
Parameter Kimia Darah	Kadar Normal	Lokasi		
		Tanjung Sani	Pakan Raba'a	Maninjau
Fosfat (mg/l)	2,0	58,2	67,2	87
Nitrat (mg/l)	0,28	79,6	11,8	216
Nitrit (mg/l)	0,28	3,52	4,32	13,9
Amonia (mg/l)	0,071	0,2	0,48	0,6
Sulfur (mg/l)	0.11	2,72	1,64	5,4

Jumlah sampel (n) = 5-6 ekor ikan per lokasi.

Tabel 2. Konsentrasi senyawa kimia dalam substrat di dasar danau saat musim *up-welling* di Danau Maninjau, Sumatra Barat.

Parameter kimia air	Baku mutu Lingkungan*	Lokasi		
		Tanjung Sani	Pakan Raba'a	Maninjau
Fosfat (mg/l)	0,2	44,373	34,805	82,150
Nitrat (mg/l)	10	33,166	29,852	25,452
Nitrit (mg/l)	0,06	23,954	19,740	18,452
Amonia (mg/l)	0,02	0,196	0,329	0,546
Sulfur (mg/l)	0,02	0,0776	0,0624	0,0482

* Peraturan pemerintah no 82 tahun 2001



Gambar 1. Peta lokasi titik pengambilan sampel ikan nila di Danau Maninjau Sumatra Barat. Keterangan: (1) Tanjung Sani, (2) Pakan Raba'a dan (3) Maninjau.

Pembahasan

Penelitian ini mengungkap kondisi fisiologis darah ikan nila yang masih bertahan hidup di luar keramba pada musim *up-welling* di Danau Maninjau. Walaupun tetap hidup, ikan-ikan tersebut ternyata memiliki kandungan senyawa toksik yang berlebih di dalam plasma darahnya yang mengindikasikan telah terjadinya gangguan fisiologis yang parah sehingga dapat memicu kematian. Tingginya kandungan senyawa kimia toksik di dalam tubuh ikan juga merefleksikan tingginya level senyawa-senyawa kimia toksik tersebut di lingkungannya.

Level senyawa-senyawa kimia toksik di dalam plasma darah dan di substrat dasar danau relatif berbeda antar lokasi pengoleksian sampel (Tanjung Sani, Pakan Raba'a, dan Maninjau). Hal tersebut diduga terkait dengan perbedaan tingkat kepadatan keramba di masing-masing lokasi. Jumlah keramba di kawasan Pakan Raba'ah lebih sedikit dibandingkan dengan lokasi lainnya sehingga tingkat buangan sisa pakan, feses, dan polutan lainnya akan lebih sedikit pula daripada lokasi lain. Kurangnya sumber cemaran dalam badan perairan akan tercermin dari lebih rendahnya kadar senyawa kimia toksik di dalam tubuh ikan-ikan yang hidup di dalamnya (Fadhil, 2011; Larrison, dkk., 1985).

Ikan-ikan yang berada di luar keramba pada dasarnya memiliki kesempatan untuk menghindari (*avoidance*) terhadap paparan senyawa toksik dan kondisi hipoksia ke wilayah yang lebih luas di dalam danau jika dibandingkan dengan ikan-ikan yang terkurung dalam keramba. Akibatnya, ikan-ikan di luar keramba kemungkinan masih banyak yang bertahan hidup sampai musim *up-welling* berakhir. Berdasarkan penelitian ini didapati bahwa jumlah ikan nila yang hidup di luar keramba sangat terbatas. Hal tersebut mengindikasikan parahnya kondisi toksik perairan di seluruh wilayah Danau Maninjau saat musim *up-welling*.

Kematian massal ikan-ikan di Danau Maninjau semula hanya dikaitkan dengan peningkatan kadar sulfur terlarut dalam air pada musim *up-welling*. Dugaan ini muncul sehubungan dengan tipe Danau Maninjau sebagai danau vulkanik (danau kaldera) yang kaya dengan sedimen sulfur (Lehmusluoto, dkk., 1997). Oleh sebab itu, tidak mengherankan jika masyarakat

sekitar danau menamakan fenomena *up-welling* dan kematian massal ikan dengan istilah *tubo balerang* (tuba belerang atau sulfur). Penelitian-penelitian selanjutnya mengungkap bahwa kematian massal tersebut berhubungan erat dengan kondisi hipoksia (rendahnya kadar oksigen dalam air) dan tingginya kadar senyawa kimia toksik terlarut dalam air sebagai konsekuensi pengadukan dari sedimen sisa-sisa pakan ikan yang menumpuk sangat tebal di dasar danau (Nontji, 2016; Sulastri, dkk., 2011; Effendi, 2000). Berdasarkan penelitian kami terindikasi bahwa keracunan terhadap senyawa fosfat, nitrat, nitrit, sulfur, dan amonia memiliki kemungkinan besar memicu kematian ikan. Semua kadar senyawa yang terdapat dalam darah ikan memiliki kadar yang lebih tinggi dibandingkan dengan kadar normalnya. Seperti kadar normal senyawa fosfat 2 mg/l (Rodehutscord, 1995) sedangkan kadar pada titik pengambilan adalah 58,2; 67,2; dan 87. Kadar normal senyawa nitrat 0,28 (Williams, dkk., 2008) dibandingkan dengan kadar pada titik pengambilan 79,6; 11,8; dan 216. Kadar normal senyawa nitrit 0,28 (Williams, dkk., 2008) dibandingkan dengan kadar pada titik pengambilan 3,52; 4,32; dan 13,9. Kadar normal senyawa amonia 0,071 (Fromm dan Gillette, 1969) dibandingkan dengan kadar pada titik pengambilan 0,2; 0,48; dan 0,6. Dan kadar normal senyawa sulfur 0,11 (Bagarinao dan Vetter, 1992) dibandingkan dengan kadar pada titik pengambilan 2,72; 1,64; dan 5,4.

Tingginya kadar senyawa toksik dalam darah yang mengakibatkan mekanisme toksisitas senyawa-senyawa fosfat, nitrat, nitrit, sulfur, dan amonia terhadap ikan berhubungan dengan kegagalan proses regulasi sistem tubuhnya (Larrison, dkk., 1985). Ikan akan mengekskresikan senyawa-senyawa kimia yang berlebih dari dalam tubuh melalui insang dan feses dalam kondisi normal (Wilkie, 2000). Jika konsentrasi senyawa-senyawa kimia toksik tersebut sudah sangat tinggi baik di dalam tubuh maupun di dalam air, maka proses detoksifikasi melalui proses ekskresi tidak lagi berlangsung normal. Hal tersebut akan diperparah dengan rendahnya konsentrasi oksigen terlarut di dalam air yang memicu hipoksia pada ikan. Selain itu, kerusakan sistematis pada insang dan ginjal juga akan menurunkan daya detoksifikasi ikan di lingkungan yang tercemar.

Penelitian sebelumnya menemukan adanya kerusakan struktur insang yang parah pada ikan asang (*Osteochilus hasseltii*) di Danau Maninjau (Saputra, dkk., 2013). Penelitian lainnya juga menemukan bahwa ikan asang di Danau Maninjau telah mengalami kerusakan struktur histologis ginjal (Mandia, dkk., 2013). Gangguan-gangguan struktural dan fisiologis dari ikan-ikan yang hidup di Danau Maninjau tersebut berkonsekuensi nyata terhadap tingginya tingkat kematian ikan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kadar senyawa kimia toksik berupa fosfat, nitrat, nitrit, amonia, dan sulfur yang terkandung di dalam plasma darah ikan nila yang hidup di luar keramba tergolong tinggi saat musim *up-welling* di Danau Maninjau. Tingginya konsentrasi senyawa-senyawa tersebut memiliki kemungkinan menjadi salah satu pemicu kematian massal ikan.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat (DRPM) DIKTI yang telah mendanai penelitian ini serta kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

Daftar Pustaka

- Asnil, Mudikdjo, K., Hardjoamidjojo, S., dan Ismail, A. (2013). Analysis of Lake Resources Sustainable Utilization Policy (Case Study of Maninjau Lake in West Sumatera). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* (3):1, 1-9.
- Bagarinao, Teodora dan Vetter, Russel D. (1992). Sulfide-hemoglobin interactions in the sulfide-tolerant salt marsh resident, the California killifish *Fundulus parvipinnis*. *Journal of Comparative Physiology B*. 614-624.
- Effendi, H. (2000). *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Evianti dan Sulaeman. (2009). *Petunjuk Teknis Edisi ke-2 Analisis Kimia Tanah, Air dan Pupuk*. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Fadil, M. S. (2011). *Kajian Beberapa Aspek Fisika Kimia Air dan Aspek Fisiologis Ikan yang Ditemukan pada Aliran Buangan Pabrik Karet di Sungai Batang Arau*. Padang: Universitas Andalas.
- Fromm, Paul O., Gillette, Janet R. (1968). Effect of ambient ammonia on blood ammonia and nitrogen excretion of rainbow trout (*salmo gairdneri*). *Comparative Biochemistry and Physiology* 26(3). 887-896.
- Larrison, A., Haux, dan Sjobeck, M. (1985). Fish Physiology and Metal Pollution. Result and Experience from Laboratory and Field Study. *Ecotoxicol Environ. Saf.* 9, 250-281.
- Lehmusluoto, P., B. Machbub, N. Terangna, S. Rusmiputro, F. Achmad, L. Boer, S.S. Brahmana, B. Priadi, B. Setiadji, O. Sayuman dan A. Margana. (1997). *Expedition Indodanau Technical Report*. National inventory of the major lakes and reservoirs in Indonesia. Revised Edition: 71 pp.
- Lumantobing, D. N. (2014). Four New Species of Rasbora of the sumatrana group (Teleostei: Cyprinidae) from northern Sumatra, Indonesia. *Zootaxa* 376 4(1): 10-25.
- Maharani, A. D., Susanti, S., dan Reza, F. (2017). Studi Hematologi Darah Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dalam Upaya Mengungkap Kematian Massal Ikan di Danau Maninjau. *Prosiding Seminar Nasional Biologi Edukasi 2017* (pp. 429-435). Padang: Program Studi Biologi STKIP PGRI Sumatera Barat.
- Mandia, S., Marusin, N., Santoso, P. (2013). Analisis Histologis Ginjal Ikan Asang (*Osteochilus hasseltii*) di Danau Maninjau dan Singkarak, Sumatera Barat. *J. Bio. UA*. 2(3): 194-200.
- Nasution, Z., Yesi, D., dan Hakim, M. H. (2011). Perikanan Budidaya di Danau Maninjau: Antisipasi Kebijakan Penanganan Dampak Kematian Massal Ikan. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*

- (1): 19-30.
- Nomosatryo, S. dan Lukman. (2011). Ketersediaan Hara Di Perairan Danau Toba Sumatera Utara. *Limnotek* 18 (2), 20-29.
- Nontji, A. (2016). *Danau Maninjau*. www.limnologi.lipi.go.id. Diakses 9 Oktober 2017.
- Noor, M. (2002). Bioeconomic of the Culture for Common Carp in Floating Net Cage in the Maninjau Lake West Sumatera. *Jurnal Ekonomi Pembangunan* 7 (1), 21-31.
- Peterson, M. S., Slack, W. T., dan Woodley, C. M. (2005). The Occurrence of Non-Indigenous Nile Tilapia, *Oreochromis Niloticus* (Linnaeus) in Coastal Mississippi, USA: Ties to Aquaculture and Thermal Influent. *Wetlands* (25): 1, 112-121.
- Rasidi, Erlania, dan Prasetio, A. B. (2010). Evaluasi dan Status Perkembangan Usaha Budidaya Ikan dalam Keramba Jaring Apung di Danau Maninjau, Sumatera Barat. *Media Akuakultur* (5): 1, 51-56.
- Rodehutsord, Markus. (1995). Response of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Growing from 50 to 200 g to Supplements of Dibasic Sodium Phosphate in a Semipurified Diet^{1,2,3}. *American Institute of Nutrient*. 324-331.
- Roesma, D. I. (2013). Evaluasi Keanekaragaman Spesies Ikan Danau Maninjau. *Semirata 2013 FMIPA Unila* (pp. 197-204). Lampung: Universitas Lampung.
- Saputra, H.M., Marusin, N., Santoso, P. (2013). Struktur Histologis Insang dan Kadar Hemoglobin Ikan Asang (*Osteochilus hasseltii* C.V) di Danau Singkarak dan Maninjau, Sumatera Barat. *J. Bio. UA*. 2(2): 138-144
- Sulastrri, Dede, I. H., dan Ivana, Y. (2011). *Environmental Conditon, Fish Resources and Management of Maninjau Lake of West Sumatera*. Bogor: Research Centre for Limnology, Indonesian Institute of Sciences.
- Syandri, H. (2016). Social Status of Nile Tilapia Hatchery Fish-farmers at Maninjau Lake Areas, Indonesia. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 411-417.
- Syandri, H., Junaidi, dan Azrita. (2014). Loading and Distribution of Organik Materials in Maninjau Lake West Sumatera. *Journal Aquatic Res Development*, 5-7.
- Wilkie, M. P. (2002). Ammonia Excretion and Urea Handling by Fish Gills: Present Understanding and Future Research Challenges. *Exp. Zool.* 293, 284-301.
- Williams, Donna A., Flood, Mary H., Lewis, Debra A., Miller, Virginia M., dan Krause, William J. (2008). Plasma Levels of Nitrite and Nitrate in Early and Recent Classes of Fish: *Comparative Medicine* 58 (5), 431-439.
- Yusuf, Y., Zuki, Z., Lukman, U., dan Rahmi, F. (2011). Analisis Sedimen Sekitar Keramba Jaring Apung di Perairan Danau Maninjau Terhadap Kandungan Logam Berat Fe, Cu, Pb dan Cd. *J. Ris. Kim.* (5): 1, 94-100.