



Bioakumulasi Kadmium pada Ikan Bandeng di Tambak Wilayah Tapak Semarang

Hasti Apri Sanjivanie[✉], Nana Kariada Tri Martuti, Sri Ngabekti

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Diterima: 1 Februari 2017

Disetujui: 1 Maret 2017

Dipublikasikan: 1 April 2017

Keywords:

Cadmium (Cd), milkfish, bioaccumulation.

Abstrak

Wilayah Tapak merupakan muara dari Sungai Tapak yang sebagian besar wilayahnya berupa area pertambakan ikan bandeng. Berkembangnya industri di DAS Tapak telah mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas perairan Tapak akibat pencemaran limbah yang mengandung logam berat Cd. Hal itu mempengaruhi kualitas ikan bandeng yang dipelihara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan Cd dalam air tambak dan ikan bandeng di tambak wilayah Tapak Semarang. Penelitian bersifat *observasional analitik* menggunakan analisis komparatif, metode *purposive random sampling*. Metode analisis data menggunakan AAS. Kandungan Cd pada air Sungai Tapak adalah <0,004mg/l, nilai tersebut masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan PPRI No.82 Tahun 2001 yaitu sebesar 0,01mg/l. Rerata kandungan Cd pada air tambak Tapak <0,0045mg/l, nilai tersebut telah melebihi ambang batas yang ditetapkan KepMen LH No.51 Tahun 2004 yaitu sebesar 0,001mg/l. Rerata kandungan Cd pada daging ikan bandeng di ketiga stasiun adalah <0,01mg/l, nilai tersebut masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan SNI 7287:2009 yakni sebesar 0,1 mg/kg. Simpulan dari penelitian ini adalah kandungan Cd pada air tambak Tapak telah melebihi ambang batas. Kandungan Cd pada ikan bandeng masih berada di bawah ambang batas, namun tetap perlu diwaspadai keberadaan logam berat Cd karena logam berat bersifat toksik dan akumulatif.

Abstract

Tapak is the estuary of the Tapak River which is mostly covered in the form of milkfish aquaculture area. Development industry in the Tapak watershed have resulted in a decrease in Tapak water quality due to pollution waste containing heavy metals Cd. It affects the quality of the fish is maintained. This study aims to determine the content of Cd in pond water and fish in the pond area Tapak Semarang. Observational analytic study using a comparative analysis, purposive random sampling method. Methods of data analysis using AAS. Cd content Tapak is <0,004mg / l, the value is still below the threshold set PPRI No.82 year 2001 which was 0,01mg / l. The mean Cd content in the Tapak water pond <0,0045mg/l, the value has exceeded the threshold KepMen LH No.51 year 2004 which was 0,001 mg / l. The mean Cd content in meat fish at all three stations is <0,01mg / l, the value is still below the threshold set ISO 7287:2009 which amounted to 0.1 mg/kg. The conclusion from this study was that the content of cadmium in the Tapak water pond has exceeded the threshold. Cd content in fish is still below the threshold, but still need to be careful because heavy metals are toxic bioaccumulative.

© 2017 Universitas Negeri Semarang

[✉] Alamat korespondensi:
Gedung D6 Lt.1 Jl Raya Sekaran Gunugpati, Semarang
E-mail: hastiaprii@gmail.com

p-ISSN 2052-6277

e-ISSN 2338-7610

PENDAHULUAN

Ikan bandeng merupakan salah satu jenis ikan yang menjadi komoditas utama pertambakan di wilayah Tapak, yang terletak di pesisir pantai utara Kota Semarang dimana sebagian besar wilayahnya berupa area pertambakan. Perairan tambak relatif tenang sehingga cocok untuk tempat budidaya bandeng dan udang. Wilayah Tapak merupakan muara dari Sungai Tapak yang mengalir dari bagian hulu yang berada di Taman Lele.

Berkembangnya beberapa Industri di hulu daerah aliran sungai (DAS) Tapak yang disertai dengan belum optimalnya pengelolaan serta pembuangan limbah yang tidak terkontrol, telah mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas air. Adanya limbah tersebut secara tidak langsung akan mempengaruhi tambak ikan bandeng yang ada pada muara sungai yang selanjutnya akan mempengaruhi kualitas dari ikan bandeng yang dipelihara. Berdasarkan data yang tercatat di Kantor Wilayah Departemen Perindustrian Provinsi Jawa Tengah disebutkan bahwa sejumlah industri yang beroperasi di wilayah Tugu diantaranya yaitu industri yang menghasilkan produk makanan, bumbu masak (penyedap masakan), kecap, sabun, tekstil, galvanis, baterai, produk-produk kertas, kemasan karton, pengecatan keramik, garmen, mebel, *cold storage* ikan dan udang (Yusuf & Handoyo 2004.) BLH Kota Semarang menyatakan, terdapat kurang lebih 14 industri yang berada di sekitar Sungai Tapak, diantaranya bergerak dibidang pengolahan keramik, bengkel, pengolahan kayu dan pengolahan makanan (Susilowati 2015). Beberapa limbah buangan industri seperti industri porselen dan keramik, industri sabun, industri tekstil, proses pewarnaan dan pengecatan serta industri mebel, memiliki potensi mengandung persenyawaan logam berat yang perlu mendapatkan penanganan khusus. Hal tersebut dikarenakan logam berat yang berada dalam perairan dengan ukuran atau kadar yang relatif kecil pun dapat bersifat toksik (beracun) dan dapat menyebabkan terjadinya akumulasi dalam tubuh organisme (Palar 2008).

Menurut Berman (1980), logam kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik dan zat pencemar yang sangat berbahaya bagi organisme perairan. Kadmium sukar mengalami proses pelapukan baik secara kimiawi, fisika maupun biologi. Dalam perairan, kadar kadmium yang relatif rendah pun sudah mampu terabsorpsi dan terakumulasi secara biologis oleh organisme yang ada di perairan, dan akan terlibat dalam sistem jaringan makanan. Hal tersebut menyebabkan terjadinya proses yang dinamakan bioakumulasi, dimana logam berat akan terkumpul dan meningkat kadarnya dalam jaringan tubuh organisme yang hidup di perairan. Kemudian melalui proses biotransformasi akan terjadi perpindahan dan peningkatan kadar logam berat tersebut pada tingkat pemangsa (*trophic level*) yang lebih tinggi melalui rantai makanan. Dalam suatu rantai makanan logam berat dapat berpindah dari satu tingkat trofik ke satu tingkat trofik lainnya sehingga kadarnya pun mengalami peningkatan (Prabowo 2005).

Berdasarkan hasil analisis Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Semarang, Sungai Tapak mengandung logam berat kadmium sebesar $<0,01\text{mg/l}$ berdasarkan PP RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, akan tetapi dimungkinkan bisa terjadi akumulasi pada tubuh ikan bandeng yang hidup di tambak yang mendapat pasokan air dari sungai dan laut tersebut. Oleh karena itu, kiranya perlu dilakukan penelitian mengenai bioakumulasi logam kadmium pada ikan bandeng yang dipelihara atau dibudidayakan di tambak daerah Tapak Semarang.

METODE

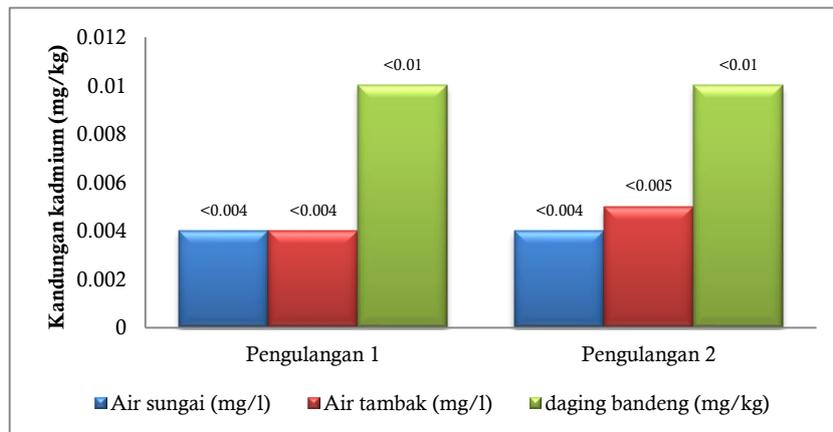
Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret-Mei 2016 di tambak yang berada di Dukuh Tapak, Kelurahan Tugurejo, Kecamatan Tugu Kota Semarang. Populasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah seluruh ikan bandeng yang dibudidayakan di tambak wilayah Tapak Semarang. Sampel dalam penelitian ini adalah ikan bandeng berumur ± 5 bulan dengan panjang tubuh 20-28 cm yang tertangkap dengan jaring di 3 stasiun penelitian yang telah ditentukan. Sampel yang digunakan adalah sebanyak 3-4 ekor ikan bandeng tiap stasiun dengan dua kali pengulangan.

Penelitian ini bersifat *observasional analitik*, menggunakan analisis komparatif (Purnomo & Muchyiddin 2007). Teknik pengambilan data di lapangan dilakukan dengan *purposive random sampling*. Metode analisis data dilakukan dengan menganalisis kadar Cd dalam air tambak dan daging ikan bandeng dengan metode AAS.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Kandungan Cd pada air sungai, air tambak, dan ikan bandeng

Berdasarkan Gambar 2, kandungan Cd pada air Sungai Tapak diperoleh hasil yang sama di ketiga stasiun yaitu <0,004 mg/l. Hasil tersebut masih jauh di bawah ambang batas PP RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air yaitu sebesar 0,01mg/l. Kandungan Cd pada air tambak wilayah Tapak Semarang yaitu <0,0045 mg/l. Hasil tersebut telah melebihi ambang batas Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota laut, nilai ambang batas kandungan Cd adalah 0,001 mg/l.

Kandungan Cd dalam air tambak pada pengulangan pertama hasilnya lebih kecil daripada pengulangan kedua. Hal tersebut dimungkinkan karena pada saat pengambilan sampel kedua kondisi air laut sedang pasang dan pergerakan air lautnya dinamis. Daerah pertambakan merupakan bagian dari muara sungai kecil maupun sungai besar. Laut menjadi tempat berkumpulnya zat-zat pencemar yang terbawa oleh aliran sungai maka pada saat pasang arus air laut yang telah tercemar oleh zat pencemar yang mengandung logam berat tersebut menuju ke arah sungai sehingga secara tidak langsung terjadi

proses penambahan zat akumulasi pada air tambak tersebut. Hasil tersebut didukung oleh hasil penelitian Yusuf & Handoyo (2004) di Perairan Pulau Tirangcawang wilayah Tapak Semarang yang menunjukkan kandungan logam berat Cu, Cd, Pb, Ni yang nilainya telah melebihi baku mutu yang ditetapkan. Rata-rata kandungan Cd di Pulau Tirangcawang tersebut sebesar 0,0428 mg/l.

Gambar 2 menunjukkan, kandungan Cd pada air tambak sedikit lebih tinggi dibandingkan rerata kandungan Cd pada air sungai. Hal tersebut dikarenakan tambak berada di daerah muara Sungai Tapak yang merupakan tempat terkumpulnya limbah-limbah domestik maupun non domestik yang terbawa oleh arus sungai dari hulu menuju ke hilir sungai Tapak. Hal tersebut secara tidak langsung mempengaruhi kualitas perairan tambak di wilayah Tapak.

Adanya peningkatan kadar logam berat Cd dalam air tambak akan diikuti oleh peningkatan logam berat Cd dalam tubuh ikan bandeng, sehingga pencemaran air tambak ini oleh logam berat Cd telah mengakibatkan ikan bandeng yang hidup di dalam tambak tersebut tercemar. Meskipun kadar logam berat Cd dalam aliran sungai dan tambak itu relatif kecil akan tetapi sangat mudah diserap dan terakumulasi secara biologis oleh ikan bandeng dan akan terlibat dalam sistem jaring makanan. Menurut Darmono (2001), adanya bioakumulasi menyebabkan terkumpul dan meningkatnya kadar logam berat dalam tubuh suatu organisme air yang hidup, kemudian melalui transformasi akan terjadi pemindahan dan peningkatan kadar logam berat secara tidak langsung melalui rantai makanan.

Kandungan Cd pada daging ikan bandeng yang dipelihara di tambak wilayah Tapak untuk ketiga stasiun hasilnya sama yaitu $<0,01$ mg/kg. Hasil tersebut masih jauh dibawah ambang batas yang ditentukan oleh SNI 7287:2009 Tahun 2009 tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan yaitu sebesar 0,1 mg/kg. Tidak adanya perbedaan yang sangat berarti di ketiga stasiun mungkin disebabkan oleh kesamaan umur ikan di ketiga stasiun, jarak antar stasiun yang tidak terlalu jauh yaitu sekitar ± 1 km, dan juga waktu antara pengambilan pertama dan kedua yang hanya terpaut 2 minggu.

Kandungan Cd pada daging ikan bandeng lebih tinggi dari air sungai dan air tambak, hal tersebut dimungkinkan karena pada tambak atau stasiun penelitian air tambaknya memiliki pH berkisar 7-8 sehingga Cd yang semula ada dalam air sungai dan air tambak akan mengalami pengendapan (Ashar *et al.* 2014). Kelarutan logam berat Cd rendah apabila pH air tinggi sehingga toksisitas logam beratnya kecil, begitu pula sebaliknya. Selain itu, melalui proses biokonsentrasi, ikan bandeng mengambil zat akumulasi Cd dari medium air melalui kulit, insang, maupun organ lainnya. Setelah itu, zat akumulasi Cd akan terbawa oleh sistem darah dan didistribusikan ke dalam jaringan tubuh sehingga dapat terakumulasi pada jaringan dan organ tubuh lainnya (Harteman 2011).

Nilai BCF kadmium daging ikan bandeng di tambak Tapak Semarang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai BCF daging ikan bandeng terhadap logam berat cadmium

Pengambilan	Nilai BCF	Kategori Akumulatif
1	2,5	Rendah
2	2	Rendah

Menurut Lamai *et al.* (2005) *bioconcentration factor* (BCF) merupakan parameter yang berguna untuk mengevaluasi potensi biota dalam mengakumulasi logam. Nilai BCF dihitung berdasarkan hasil bagi antara kadar logam berat yang terakumulasi pada daging ikan bandeng dengan kadar logam berat di air. Amriani *et al.* (2011) menyatakan bahwa nilai BCF memiliki tiga kategori yaitu 1) Nilai BCF lebih >1000 masuk dalam kategori sifat akumulatif tinggi, 2) Nilai BCF 100-1000 masuk dalam kategori sifat akumulatif sedang, 3) Nilai BCF <100 masuk dalam kategori sifat akumulatif rendah. Hasil analisa diketahui bahwa ikan bandeng yang diperoleh di ketiga stasiun memiliki tingkat akumulatif rendah.

Atobatele & Godwin (2015) melaporkan, bahwa bioakumulasi kadmium paling tinggi terdapat di ginjal selanjutnya diikuti oleh hati, insang, usus, dan daging (otot). Daging (otot) merupakan bagian yang dapat dimakan dari ikan dimana dia memerankan peranan penting dalam nutrisi manusia. Hal tersebut dikarenakan manusia berperan sebagai konsumen terakhir dalam sistem rantai makanan. Saat logam berat Cd yang terkandung dalam daging ikan bandeng sudah masuk ke dalam tubuh, logam berat tersebut mulai tertimbun dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi. Apabila keadaan

tersebut terus berlangsung dan telah mencapai ambang tertentu akan membahayakan kesehatan dari makhluk hidup itu sendiri.

Menurut Bugis *et al.* (2012), logam berat Cd akan terdistribusi masuk ke dalam tubuh ikan dan akan ditransportasikan ke seluruh bagian tubuh ikan melalui peredaran darah. Meskipun ditransportasikan ke seluruh tubuh, logam berat Cd tidak langsung terakumulasi di dalam otot ikan. Akan tetapi bioakumulasinya membutuhkan waktu yang cukup lama untuk ditransportasikan ke otot ikan. Setelah Cd terakumulasi dalam otot ikan bandeng, Cd akan berikatan dengan protein metalothionin (disintesis di hati) yang mengandung unsur sistein. Adanya ikatan antara Cd dengan metalothion menyebabkan terjadinya hambatan terhadap aktivitas kerja enzim dalam tubuh sehingga proses metabolisme pun juga ikut terhambat.

Kadar logam berat yang terdapat dalam tubuh organisme perairan lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar logam berat yang terdapat dalam lingkungan hidupnya (Istarani & Pandebesie 2014). Menurut Oost *et al.* (2003), suatu logam berat yang bersifat hidrofobik (molekul zat tersebut tidak larut dalam air) yang secara terus-menerus dapat menumpuk di organisme air melalui mekanisme yang berbeda, yaitu melalui penyerapan langsung dari air dengan insang atau kulit (biokonsentrasi), melalui penyerapan partikel tersuspensi (konsumsi) dan melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi (biomagnifikasi).

Yulaipi dan Aunurohim (2013) menyatakan, bahwa akumulasi biologis dapat terjadi melalui absorpsi langsung terhadap logam berat yang ada di dalam air. Akumulasi juga terjadi karena kecenderungan logam berat untuk membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang ada di dalam tubuh organisme. Harteman (2011) menyatakan, bahwa akumulasi logam berat pada bagian tubuh tertentu dimungkinkan dengan keberadaan gugus *metallotionin* (sulfhidril -SH) dari protein dan purin yang dapat mengikat logam berat secara kovalen. Logam berat masuk ke dalam sel dan ikut didistribusikan oleh darah ke seluruh jaringan tubuh sehingga dapat terakumulasi pada organ tubuh. Sirkulasi darah menyebabkan logam berat terakumulasi di dalam dinding pembuluh darah dan jaringan ikat yang terdapat disekitar otot atau daging ikan.

Prasatio *et al* (2010) menyatakan, proses bioakumulasi logam berat pada ikan bisa terjadi secara fisis maupun biologis. Proses fisis berupa menempelnya senyawa logam berat pada bagian tubuh, luar tubuh, insang dan lubang-lubang membran lainnya yang berasal dari air maupun dari senyawa yang menempel pada partikel. Proses biologis terjadi melalui proses rantai makanan dan tidak menutup kemungkinan terabsorpsinya logam berat yang sebelumnya hanya menempel sehingga apabila perairan tambak telah tercemar, maka diduga ikan bandeng yang dipelihara pun akan ikut tercemari. Purnomo dan Muchyiddin (2007) menyatakan, proses akumulasi logam dalam jaringan ikan bandeng terjadi setelah absorpsi logam dari air atau melalui pakan yang terkontaminasi. Logam akan terbawa oleh sistem darah dan didistribusikan ke dalam jaringan.

Namun demikian, adanya bioakumulasi logam berat Cd di perairan Tapak ini tetap harus diwaspadai karena logam berat yang terlarut dalam perairan pada konsentrasi tertentu dapat berubah fungsi menjadi sumber toksik bagi kehidupan perairan. Meskipun daya toksik yang ditimbulkan oleh satu jenis logam berat terhadap semua biota perairan berbeda, namun hilangnya dari suatu kelompok dapat menjadikan terputusnya satu mata rantai kehidupan.

Faktor kimia dan fisika lingkungan perairan tambak tapak Semarang

Selama penelitian, pengukuran suhu pada air tambak yaitu 34°C-36°C, kisaran ini masih berada dalam kisaran normal untuk kehidupan ikan bandeng yaitu pada suhu 30-35°C. Derajat keasaman (pH) yaitu sebesar 7-8, kisaran pH air yang baik untuk pertumbuhan dan produksi ikan bandeng yaitu pada pH air 6,5-9,0. Kelarutan logam berat akan lebih tinggi pada saat pH air rendah dan toksisitas logam beratnya akan semakin besar, begitu pula sebaliknya. Salinitas rata-ratanya yaitu 8-8,2 ppm. Pertumbuhan optimal ikan bandeng hanya memerlukan salinitas sekitar 12-20%. Salinitas yang rendah toksisitas Cd dan tingkat bioakumulasinya akan meningkat dibanding pada salinitas yang tinggi. O₂ terlarut (DO) pada saat penelitian yaitu 1,38-5,03mg/l, kadarnya rendah disebabkan karena dalam air digunakan atau diserap oleh

mikroorganisme untuk mendegradasi bahan buangan organik menjadi bahan yang mudah menguap. CO₂ terlarut pada saat penelitian yaitu 4,669-28,96 mg/l. Apabila ≤ 25 mg/l sangat berbahaya bagi biota air, karena keberadaannya di dalam darah dapat menyebabkan pengikatan oksigen oleh hemoglobin menjadi terhambat. Total alkalinitas rata-ratanya yaitu 5,075-65,98 mg/l, alkalinitas merupakan kapasitas air untuk menetralkan tambahan asam tanpa penurunan nilai pH larutan.

SIMPULAN

Kandungan logam berat kadmium (Cd) pada air tambak Tapak telah melebihi ambang batas yang ditetapkan pada Keputusan Menteri LH Nomor 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota laut. Bioakumulasi logam berat kadmium (Cd) pada daging ikan bandeng yang berasal dari tambak Tapak Semarang masih jauh berada di bawah ambang batas yang telah ditetapkan SNI 7287:2009 Tahun 2009. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) ikan bandeng masih termasuk dalam kategori akumulatif rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Amriani BH & Hadiyanto A. 2011. Bioakumulasi logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) pada kerang darah (*Anadara granosa* L.) dan kerang bakau (*Polymesoda bengalensis* L.) di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 9(2): 45-50.
- Ashar YK, Naria E & Dharma S. 2014. Analisis kandungan kadmium (Cd) dalam udang windu (*Penaeus Monodon*) yang berada di tambak sekitar tempat pembuangan akhir (TPA) sampah Kelurahan Terjun Kota Medan tahun 2014. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*.
- Atobatele OE & Olutona GO. 2015. Distribution of three non-essential trace metals (cadmium, mercury and lead) in the organs of fish from Aiba Reservoir, Iwo, Nigeria. *Toxicology Reports* 2: 896-903.
- Berman E. 1980. *Toxic Metals and Their Analysis*. London: Heyden.
- Bugis H, Daud A & Birawida A. 2012. Studi kandungan logam berat kromium VI (Cr VI) pada air dan sedimen disungai Pangkajene Kabupaten Pangkep. *Jurnal Penelitian Kesehatan Lingkungan Universitas Hasanuddin Makassar*.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup Dan Pencemaran*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Dewi NK. 2004. *Penurunan Derajat Toksisitas Kadmium terhadap Ikan Bandeng menggunakan Eceng Gondok dan Fenomena Transportsnya*. Tesis. Universitas Diponegoro.
- Harteman E. 2011. Dampak kandungan logam berat terhadap kemunculan polimorfisme ikan badukang (*Arius maculatus* fis & bian) dan sembilang (*plotosus canius* web & bia) di Muara Sungai Kahayan serta Katingan, Kalimantan Tengah. ITB Bogor.
- Istarani F & Pandebesie ES. 2014. Studi dampak arsen (As) dan kadmium (Cd) terhadap penurunan kualitas lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits* 3(1):53-58.
- Lamai M, Kruatrachue P, Pokethitiyooka E, Suchart U & Varasaya S. 2005. Toxicity and accumulation of lead and cadmium in the filamentous green alga *Cladophora fracta* Lo. f. muller ex vah kotzing: a laboratory study. *Journal of Sciens Asia*: 121-127.
- Oost RJB & Nico PEV. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 13: 57-149.
- Palar H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Prabowo R. 2005. Akumulasi Kadmium Pada Daging Ikan Bandeng. *Jurnal Ilmu Pertanian* 1(2): 58-74.
- Prasetyo AB, Albasri H & Rasidi. 2010. Perkembangan Budidaya Bandeng di Pantai Utara Jawa Tengah (Studi Kasus: Kendal, Pati dan Pekalongan). *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur*. Pusat Riset Perikanan Budidaya. Jakarta. 123-137.
- Purnomo T & Muchyiddin. 2007. Analisis kandungan timbal (Pb) pada ikan bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik. *Majalah Ilmiah Kelautan Neptunus Universitas Negeri Surabaya* 14(1): 68-77.
- Susilowati SME, Irsyadi A & Martuti NKT. 2015. Analisis Pola Akumulasi Logam Cu Ikan Bandeng Selama Periode Pertumbuhan di Tambak. *Laporan Kemajuan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi*. Universitas Negeri: Semarang.
- Weiner ER. 2008. *Applications of Environmental Aquatic Chemistry*. A practical guide. Second edition. CRC Press. Taylor and Francis Group.
- Yulaipi S & Anurohim. 2013. Bioakumulasi logam berat timbal (Pb) dan hubungannya dengan laju pertumbuhan ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains Dan Seni Pomits* 2(2): 166-170.
- Yusuf M & Handoyo G. 2004. Dampak pencemaran terhadap kualitas perairan dan strategi adaptasi organisme makrobenthos di perairan Pulau Tirangcawang Semarang. *Jurnal Ilmu Kelautan* 9(1): 12-42.