



**BIOAKUMULASI KADMIUM
PADA IKAN BANDENG
DI TAMBAK WILAYAH TAPAK SEMARANG**

**Skripsi
disusun sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Biologi**

**oleh
Hasti Apri Sanjivanie
4411412024**

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2016

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Bioakumulasi Kadmium pada Ikan Bandeng di Tambak Wilayah Tapak Semarang” disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di perguruan tinggi manapun.

Semarang, 19 Agustus 2016



Hasti Apri Sanjivanie
4411412024

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ABSTRAK

Sanjivanie, HA. 2016. Bioakumulasi Kadmium pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Wilayah Tapak Semarang. Skripsi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Ir. Nana Kariada TM, M.Si. dan Dr. Sri Ngabekti, M.S.

Tapak merupakan sebuah dukuh yang terletak di pesisir pantai utara yang sebagian besar wilayahnya berupa area pertambakan ikan bandeng dan udang. Berkembangnya beberapa Industri di hulu daerah aliran sungai Tapak, mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas air yang secara tidak langsung mempengaruhi tambak ikan bandeng yang dipelihara di sekitar muara Sungai Tapak. Beberapa limbah buangan industri, mengandung persenyawaan logam berat dimana pada kadar yang relatif kecil logam berat tersebut dapat bersifat toksik, karsinogenik, bioakumulasi dan biomagnifikasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan kadmium dalam air tambak dan mengetahui besarnya akumulasi kadmium pada daging ikan bandeng di tambak Dukuh Tapak Semarang. Penelitian ini bersifat *observasional analitik*, menggunakan analisis komparatif. Teknik pengambilan data di lapangan dilakukan dengan *purposive random sampling*. Pengumpulan data dengan menggunakan metode AAS dan untuk mengetahui terjadinya akumulasi logam pada ikan bandeng dilakukan dengan cara menghitung *Bio Concentration Factor (BCF)*.

Hasil penelitian menunjukkan adanya kandungan kadmium dalam air tambak sebesar $<0,004$ - $<0,005$ mg/l, nilai tersebut berada di atas ambang batas Kep Men LH No.51 Tahun 2004 yakni sebesar 0,01 mg/l. Sedangkan akumulasi kadmium dalam daging ikan bandeng $<0,01$ mg/kg, nilai tersebut juga masih berada di bawah ambang batas SNI 7287:2009 yakni sebesar 0,1 mg/kg dan nilai BCF adalah sebesar 2-2,5 termasuk dalam kategori akumulatif rendah. Meskipun kadarnya masih rendah, namun apabila logam tersebut terus terakumulasi dalam tubuh dan dikonsumsi oleh manusia maka akan mengakibatkan keracunan dan gangguan kesehatan pada manusia.

Simpulan dari penelitian ini yaitu kandungan kadmium pada air tambak di dukuh Tapak telah melebihi ambang batas yang ditetapkan. Kandungan kadmium daging ikan bandeng yang berasal dari tambak dukuh Tapak Semarang masih jauh berada di bawah ambang batas, namun harus diwaspadai mengingat sifat logam berat kadmium dan logam berat lainnya bersifat toksik, karsinogenik, bioakumulatif dan biomagnifikasi. Adanya kandungan Cd pada ikan bandeng dapat dijadikan sebagai bioindikator bahwa lingkungan perairan di wilayah Tapak sudah terkontaminasi oleh logam berat.

Kata Kunci : akumulasi, dukuh Tapak, ikan Bandeng, Kadmium

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul

**Bioakumulasi Kadmium pada Ikan Bandeng di Tambak Wilayah
Tapak Semarang**

disusun oleh

Hasti Apri Sanjivanie

4411412024

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang pada tanggal 19
Agustus 2016

Panitia Ujian,
Ketua



Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.
NIP. 1964 1223 1988031001

Sekretaris

Dra. Endah Penlati, M.Si.
NIP. 196511161991032001

Ketua Penguji

Dr. Nur Kusuma Dewi, M.Si.
NIP. 196004101984032001

Anggota Penguji/Pembimbing I

Ir. Nana Kariada Tri Martuti, M.Si.
NIP. 1966603161993102001

Anggota Penguji/Pembimbing II

Dr. Sri Ngabekti, M.S.
NIP. 195909011986012001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Bioakumulasi Kadmium pada Ikan Bandeng di Tambak Wilayah Tapak Semarang”. Dalam penyusunan skripsi ini tidak mungkin terselesaikan dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, motivasi, dan pengalaman dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk belajar dan menyelesaikan studi di UNNES.
2. Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang yang telah memberi kemudahan dan perijinan untuk melaksanakan penelitian.
3. Ketua jurusan Biologi FMIPA UNNES yang telah memberi motivasi, kemudahan dalam perijinan penelitian skripsi, serta kelancaran dalam penyusunan skripsi.
4. Ir. Nana Kariada Tri Martuti, M.Si. selaku dosen pembimbing I dan dosen wali yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan motivasi dengan sabar kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Dr. Sri Ngabekti, M.S. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan motivasi dengan sabar sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Dr. Nur Kusuma Dewi, M.Si. selaku dosen penelaah utama yang telah membimbing dan memberikan masukan dan arahan untuk perbaikan isi skripsi, menguji dengan penuh kesabaran, sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
7. Ir. Tyas Agung Pribadi, M.Sc. yang telah memberikan motivasi dan bantuan kepada penulis.
8. Pimpinan dan teknisi Balai Besar Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri Semarang yang telah membantu penulis dalam menganalisis data di laboratorium.

9. Bapak Ibu dosen dan karyawan FMIPA Universitas Negeri Semarang khususnya Jurusan Biologi yang telah memberikan ilmu dan kemudahan selama menempuh kuliah.
10. Orang tuaku tercinta Bapak Harno dan Ibu Sri Mulyani, serta Dek Ria yang selalu ada dan memberikan motivasi, semangat, serta doa sehingga skripsi ini terselesaikan.
11. Teman sekaligus sahabatku Gagah R. Fachry yang selalu memberikan semangat, bantuan dan doa skripsi ini terselesaikan.
12. Kelompok nelayan dan keluarga lingkungan Prenjak yang sudah membantu pada saat penelitian di lapangan.
13. Teman-teman Rombel 1 Biologi Murni dan teman-teman *environment* 2012 yang telah memberikan semangat dan kebersamaannya dalam berjuang.
14. Semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan memberikan motivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Namun demikian penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, segala saran dan masukan dari semua pihak selalu diharapkan untuk perbaikan dan penyempurnaannya. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi masyarakat, semua pihak yang terkait pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Semarang, 12 Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
ABSTRAK	iii
PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Penegasan Istilah	3
D. Tujuan	4
E. Manfaat	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN HIPOTESIS	
A. Tinjauan Pustaka	6
1. Bioakumulasi	6
2. Logam Berat Kadmium (Cd)	8
3. Bioakumulasi pada Ikan Bandeng	10
4. Dampak Akumulasi Kadmium (Cd) terhadap Ikan	13
B. Hipotesis	16
BAB III. METODE PENELITIAN	

A. Lokasi dan Waktu Penelitian	17
B. Populasi dan Sampel	17
C. Variabel Penelitian	17
D. Rancangan Penelitian	18
	Halaman
E. Alat dan Bahan Penelitian	20
F. Prosedur Penelitian	20
G. Data dan Metode Pengumpulan Data	21
H. Metode Analisis Data	22
I. Alur Penelitian	23
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian	24
B. Pembahasan	29
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	45
B. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	54



DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1.	Hasil Pemeriksaan terhadap Faktor Lingkungan Ikan Bandeng ...	26
2.	BCF Daging Bandeng terhadap Logam Berat Kadmium	27
3.	Kandungan Cd pada air sungai Tapak wilayah Semarang	62
4.	Kandungan Cd pada daging ikan badeng di Tambak Tapak Semarang	62
5.	Kandungan Cd pada air tambak di wilayah Tapak Semarang	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi stasiun penelitian	19
2. Diagram batang rerata kandungan Cd pada air Sungai Tapak, air tambak, dan daging ikan bandeng	24
3. Morfologi sampel penelitian	38
4. Stasiun Penelitian 1	63
5. Stasiun Penelitian 2	63
6. Stasiun Penelitian 3	64
7. Penebaran jala di stasiun penelitian	65
8. Pengambilan sampel ikan di tambak	65
9. Sampel penelitian	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1.	
Surat Izin Penelitian di BBT PPI Semarang	55
2.	
Surat Izin Penelitian di Tapak Semarang	56
3.	
Hasil Uji Laboratorium Sungai Tapak	57
4.	
Hasil Uji Laboratorium Cd pada Air Tambak Tapak	58
5.	
Hasil Uji Laboratorium Cd pada Daging Ikan Bandeng	60
6.	
Tabel kandungan Cd pada air sungai Tapak, air tambak, dan ikan bandeng	62
7.	
Foto Lokasi Penelitian	63
8.	
Foto Pengambilan Sampel	65



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ikan bandeng merupakan salah satu jenis ikan yang menjadi komoditas utama pertambakan di wilayah Tapak, hal ini dikarenakan wilayah ini terletak di pesisir pantai utara dimana sebagian besar berupa area pertambakan. Perairan tambak merupakan perairan tergenang yang digunakan untuk 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. Yusuf & Handoyo (2004) menyatakan, 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. Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Semarang menyatakan, terdapat kurang lebih 14 industri yang berada di sekitar Sungai Tapak, diantaranya bergerak dibidang pengolahan keramik, pengolahan kayu dan pengolahan makanan (Susilowati *et al.* 2014).

Beberapa limbah buangan industri seperti industri porselen dan keramik, baterai, industri sabun, industri tekstil, proses pewarnaan, proses pengecatan pada industri mebel, dan galvanis diduga 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). Dewi (2004) menyampaikan, adanya peningkatan kadar logam berat di dalam perairan akan diikuti oleh peningkatan kadar logam tersebut pada organisme yang berada di perairan.

Salah satu unsur logam berat pada limbah yang bersifat toksik, karsinogenik, bioakumulasi dan biomagnifikasi adalah kadmium (Cd). Menurut Berman (1980) sebagaimana dikutip oleh Dewi (2004), logam kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik dan zat pencemar yang sangat berbahaya bagi organisme perairan. Menurut Martuti (2001), 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.

Kadmium memiliki waktu paruh yang panjang terhadap organisme hidup (Patrick 2003). Pada manusia, kadmium memiliki waktu paruh biologi yakni berkisar 10-30 tahun (Dewi *et al.* 2014). Kadmium dapat bersifat karsinogenik, merusak kelenjar endokrin, sistem kardiovaskular dan juga terdapat pada sistem saraf yang memicu kerusakan neurologis dan berasosiasi dengan kanker paru-paru, prostat, pankreas dan ginjal (Bobocea *et al.* 2008). Palar (2006) menjelaskan bahwa pada konsentrasi yang tinggi, kadmium merupakan logam berat yang bersifat karsinogenik, mutagenik dan teratogenik pada beberapa jenis hewan. Hal ini menunjukkan bahwa logam berat kadmium memberikan efek terhadap proses *genomic* dan *postgenomic* pada liver, ginjal, paru-paru, dan otak. Sifat karsinogenik kadmium menyebabkan logam berat tersebut diurutkan sebagai

peringkat pertama (*Class 1*) agen mutagenik bagi organisme hidup (Nordic 2003 dan Flora *et al.* 2008).

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 berada di tambak daerah Tapak Semarang.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah penelitian ini yaitu :

- a. Seberapa besar konsentrasi logam berat kadmium dalam air tambak wilayah Tapak Semarang ?
- b. Seberapa besar akumulasi kadmium pada daging ikan bandeng di tambak wilayah Tapak Semarang ?

C. Penegasan Istilah

Untuk menghindari adanya perbedaan pengertian dalam penelitian ini maka perlu diberi penjelasan tentang beberapa istilah. Istilah yang perlu diberi penjelasan adalah sebagai berikut.

- a. Bioakumulasi

Bioakumulasi merupakan proses terkumpul dan meningkatnya kadar logam berat dalam tubuh organisme di dalam suatu perairan akibat ketidakmampuan organisme tersebut mendegradasi suatu logam berat yang kemudian akan mengalami transformasi dan peningkatan logam berat secara tidak langsung melalui suatu proses rantai makanan (Darmono 2001).

Bioakumulasi pada penelitian ini yaitu akumulasi logam berat dalam ikan bandeng yang dilihat dari konsentrasi logam berat kadmium pada daging ikan bandeng berasal dari tambak wilayah Tapak Semarang.

b. Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan logam yang berwarna putih keperakan, lunak, dan tahan korosi serta sering digunakan dalam proses pengecatan, *stabilizer* dalam pabrik plastik dan baterai serta sebagai campuran logam (*alloy*). Kadmium relatif aktif dalam lingkungan akuatik dan garam-garamnya dapat larut dalam air. Kadmium juga mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup. Kadmium bersifat toksik dan dalam badan perairan kelarutan kadmium pada konsentrasi tertentu dapat membunuh biota perairan (Apriliani 2010).

Kadmium dalam penelitian ini adalah kadmium yang terkandung dalam air dan daging ikan bandeng yang berasal dari tambak wilayah Tapak Tugu Semarang.

c. Ikan Bandeng

Ikan Bandeng banyak dipelihara di tambak wilayah pesisir pantai. Ikan bandeng dapat dijadikan spesies indikator di suatu perairan. Bila di suatu perairan tempat ikan bandeng tersebut tercemar oleh logam berat, maka secara tidak langsung logam berat tersebut akan terakumulasi di dalam tubuh ikan bandeng.

Ikan bandeng yang dimaksud dalam penelitian ini yaitu ikan bandeng berumur ± 5 bulan dengan panjang tubuh $\pm 20-28$ cm yang berasal dari tambak wilayah Tapak Tugu Semarang. Pengambilan ikan bandeng tersebut berdasar pada masuknya air sungai dan laut ke tambak ikan bandeng.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu

- a. Untuk mengetahui konsentrasi logam berat kadmium dalam air tambak daerah Tapak Semarang.

- b. Untuk mengetahui akumulasi kadmium pada ikan bandeng di tambak wilayah Tapak Semarang.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu sebagai berikut:

1. Kegunaan bagi ilmu pengetahuan

Penelitian ini dapat menjadi acuan dalam mengkaji atau melakukan kegiatan penelitian tentang bioakumulasi kadmium dan juga memperluas khasanah keilmuan khususnya ilmu biologi lingkungan.

2. Kegunaan bagi masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu sumber informasi kepada masyarakat mengenai pencemaran yang terjadi di wilayah Tapak. Selain itu, untuk petani tambak agar lebih meningkatkan tatacara pengelolaan tambak yang baik dan aman untuk budidaya bandeng.

3. Kegunaan bagi Pemerintah.

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan perhatian Pemda Kota Semarang termasuk Bapeda, Dinas Kelautan dan Perikanan Kota Semarang dan instansi terkait terhadap penanganan limbah industri khususnya logam berat kadmium di DAS Tapak Semarang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN HIPOTESIS

A. Tinjauan Pustaka

1. Bioakumulasi

Bioakumulasi merupakan proses penumpukan suatu zat di dalam atau sebagian tubuh organisme. Bioakumulasi pada dasarnya merupakan gabungan dari dua proses yaitu bikonsentrasi dan biomagnifikasi. Biokonsentrasi adalah masuknya bahan pencemar secara langsung dari air oleh makhluk hidup melalui jaringan seperti insang atau kulit. Sedangkan bioakumulasi adalah masuknya bahan pencemar oleh makhluk hidup dari suatu lingkungan melalui suatu mekanisme atau lintasan. Sementara biomagnifikasi adalah proses dimana bahan pencemar konsentrasinya semakin meningkat dengan meningkatnya posisi makhluk hidup pada suatu rantai makanan (Hidayah *et al.* 2014).

Menurut Utama (2011), zat yang meningkatkan konsentrasi dalam organisme hidup saat mereka mengambil di udara, air, atau makanan yang terkontaminasi dimana zat tersebut sangat lambat dimetabolisme atau dikeluarkan disebut dengan bioakumulasi. Meskipun terkadang bioakumulasi dan biokonsentrasi digunakan secara bergantian, perbedaan penting yang dapat ditarik antara keduanya yaitu jika bioakumulasi terjadi dalam tingkat trofik, dan merupakan peningkatan konsentrasi dari zat bioakumulasi tertentu dalam jaringan tubuh suatu organisme karena penyerapan dari makanan dan lingkungan, sedang biokonsentrasi terjadi ketika serapan dari air lebih besar daripada ekskresinya.

Proses bioakumulasi suatu zat logam berat pada ikan dapat terjadi melalui dua cara yaitu secara fisis dan biologis. Secara fisis zat logam berat tersebut menempel pada bagian tubuh luar ikan, insang, dan juga lubang membran lainnya dimana logam berat tersebut nantinya akan menyebabkan terganggunya proses absorpsi dan pertukaran zat melalui insang dan kulit ikan. Bioakumulasi secara biologis, terjadi melalui proses rantai makanan (Purnomo dan Muchyiddin 2007).

Menurut Wisnu dan Hartati (2000), bioakumulasi logam berat oleh ikan di lingkungan perairan dapat terjadi melalui tiga cara akumulasi, yaitu:

- a. Akumulasi logam berat dari partikulat tersuspensi
- b. Akumulasi logam berat dari makanan ikan
- c. Akumulasi logam berat yang terlarut dalam air

Menurut Akbar (2002), logam berat masuk ke dalam jaringan tubuh organisme secara umum melalui 3 cara yaitu:

- a. Endositosis, dimana pengambilan partikel dari permukaan sel dengan membentuk wahana perpindahan oleh membran plasma, proses ini sepertinya berperan dalam bentuk tidak terlarut.
- b. Diserap dari media air, sebanyak 90% kandungan logam berat dalam jaringan berasal dari penyerapan oleh sel-sel epitel insang.
- c. Diserap dari makanan dan sedimen, penyerapan logam berat dari makanan dan sedimen oleh organisme air tergantung pada strategi untuk mendapatkan makanan.

Menurut Oost *et al.* (2003), suatu logam berat yang bersifat hidrofobik (molekul zat tersebut tidak larut dalam air) 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). Bahkan tanpa terdeteksi efek akut atau kronisnya dalam tes ekotoksitas standar, bioakumulasi dianggap sebagai peristiwa yang cukup berbahaya untuk suatu organisme, karena beberapa efeknya hanya dapat dilihat pada fase kehidupan selanjutnya, efek multi-generasi atau hanya pada organisme yang lebih tinggi pada jaring-jaring makanan.

Bioakumulasi merupakan suatu proses yang dinamik dan melibatkan banyak variabel maupun faktor yang saling berhubungan diantaranya yaitu pH, suhu, oksigen terlarut, CO₂ bebas dan alkalinitas. Menurut Konasewich (1982) dalam Suseno (2007), potensi suatu polutan (termasuk kadmiun) terakumulasi dalam tubuh biota laut dan jaring-jaring makanannya tergantung dari sifat kimiawi

antara lain *hydrophobicity*, *lipophilicity*, dan faktor-faktor lingkungan seperti salinitas, suhu, pH, O₂ terlarut dan CO₂ terlarut. Faktor biotik juga menentukan proses bioakumulasi, antar lain: cara makan, posisi dalam trofik, konsentrasi dalam lemak dan metabolisme serta *bioavailability*.

Tingkat kontaminasi biota air terutama ditentukan oleh proses penyerapan dan akumulasi serta proses pelepasan melalui sekresi. Dalam proses bioakumulasi hal penting tersebut disebut dengan strategi akumulasi bersih (*net accumulation strategy*), yang mana proses tersebut khas untuk logam dan juga biota air (Gobas *et al.* 1988). Diadaptasi dari Ron van der Oost *et al.* (2003), proses bioakumulasi logam berat yang bersumber dari air dan mengikuti kaidah *net accumulation strategy* ditunjukkan pada persamaan :

$$\frac{dC_t}{dt} = k_u C_w - k_e C_t$$

C_t adalah konsentrasi pencemar dalam organisme pada waktu *t*, C_w adalah konsentrasi pencemar dalam lingkungan sekeliling, *k_u* adalah konstanta pengambilan (hari⁻¹), *k_e* adalah konstanta pelepasan (hari⁻¹) (Suseno 2007).

Menurut Weigel (2009), dampak dari bioakumulasi diantaranya rusaknya sistem kesehatan makhluk hidup, baik pada manusia atau hewan, dan rusaknya keseimbangan ekosistem karena dampak panjang yang diberikan pada rantai makanan. Setiap bagian pada tubuh organisme memiliki tingkat akumulasi logam yang berbeda-beda. Sebagai contoh pada ikan, konsentrasi akumulasi logam tertinggi ditemukan pada hati dan insang, sedangkan yang ada di dalam jaringan otot atau daging logam berat yang terakumulasi lebih sedikit. Jaringan otot pada ikan merupakan salah satu bagian terpenting karena bagian tersebut merupakan salah satu bagian ikan yang mayoritas banyak dikonsumsi oleh manusia.

2. Kadmium

Logam berat secara umum masuk ke lingkungan dengan dua cara, yakni secara natural dan antropogenik (terlepas ke lingkungan dengan campur tangan manusia atau tidak alami). Logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan adalah merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (Ar), kadmim (Cd),

kloronium (Cr) dan nikel (Ni). Selain itu, logam berat di perairan dapat masuk dalam sedimen dengan cara absorpsi.

Bugis *et al.* (2012) juga menyatakan bahwa logam-logam berat umumnya bersifat racun walaupun diantaranya itu dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah kecil. Melalui berbagai perantara seperti udara, air, maupun makanan yang terkontaminasi logam berat, logam-logam tersebut akan terdistribusi ke bagian tubuh makhluk hidup dan nantinya akan terakumulasi. Selain itu, logam-logam tersebut dapat menggumpal di dalam tubuh organisme dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi yang mana apabila keadaan tersebut terus berlangsung dan telah mencapai ambang tertentu akan membahayakan kesehatan dari makhluk hidup itu sendiri.

Kadmium merupakan jenis logam berat yang banyak ditemukan di lingkungan perairan. Kadmium memiliki karakteristik berwarna putih keperakan, lunak, dan tahan korosi. Oleh karena sifat-sifatnya, kadmium banyak dipakai sebagai stabilizer dalam pembuatan *polyvinyl* dan *clorida*. Kadmium juga didapat pada limbah berbagai jenis pertambangan logam yang tercampur Cd seperti Pb dan Zn. Dengan demikian, kadmium dapat ditemukan dalam perairan baik di dalam perairan sedimen maupun di penyediaan air minum (Palar 2008).

Kadmium memiliki titik didih yang relatif rendah yaitu 767°C sehingga membuatnya mudah terbakar, membentuk asap kadmium oksida. Kadmium dan bentuk garamnya banyak digunakan pada beberapa jenis pabrik untuk proses produksinya. Industri pelapisan logam adalah pabrik yang paling banyak menggunakan kadmium murni sebagai pelapis, begitu juga pabrik yang membuat Ni-Cd baterai (50-55% konsumsi dunia). Bentuk garam Cd banyak digunakan dalam proses fotografi, gelas, dan campuran perak, produksi foto elektrik, foto konduktor dan juga fosforus. Kadmium asetat banyak digunakan pada proses industri porselen dan keramik (Sudarwin 2008).

Menurut SNI 7287 : 2009 (2009), kadmium memiliki nomor atom 48; bobot atom 112,41; bobot jenis 8,642 g/cm³ pada 20°C; titik leleh 320,9°C dan titik didih 767°C ; tekanan uap 0,013Pa pada suhu 180°C. Kadmium merupakan logam berat yang ditemukan alami dalam kerak bumi. Sejauh ini belum pernah

ditemukan kadmium dalam keadaan logam murni di alam. Kadmium biasa ditemukan sebagai mineral yang terikat dengan unsur lain seperti oksigen, klorin, atau sulfur. Kadmium sendiri tidak memiliki rasa maupun aroma yang spesifik.

Kadmium dapat berasal dari beberapa sumber diantaranya yaitu pertambangan dan industri, apabila kadmium masuk ke dalam tubuh dapat terakumulasi di dalam tubuh dan menyebabkan racun serta logam tersebut dapat menghalangi kerja enzim dalam melakukan aktivitas metabolisme. Kadmium merupakan logam berat yang sangat berbahaya bagi lingkungan dan manusia terkait dengan sifat toksiknya dan mempunyai waktu paruh atau jangka hidupnya yang lama. Toksisitas kadmium sebagai polutan industri dan kontaminan makanan dapat menyebabkan beberapa luka dalam organ organisme seperti insang, paru-paru, otot atau daging, ginjal, testis, jantung, hati, otak, tulang, dan juga sistem peredaran darah (Sunarto 2012).

Pada lingkungan akuatik, kadmium relatif mudah berpindah. Sebagian besar berupa senyawa Cd^{2+} , $Cd(OH)^3$, $Cd(OH)_4^{2-}$, $CdCO_3$ dan berbagai jenis senyawa kompleks organik dan anorganik lainnya. Kelarutan kompleks kadmium hidroksida berkurang pada saat pH meningkat, ditandai dengan pembentukan padatan $Cd(OH)_2$ (Weiner 2008).

Kadmium memasuki lingkungan akuatik terutama dari deposisi atmosferik dan efluen industri yang menggunakan logam ini dalam proses produksinya. Di perairan, umumnya kadmium hadir dalam bentuk ion-ionnya yang terhidrasi, garam-garam klorida, terkomplekskan dengan ligan anorganik atau membentuk kompleks dengan ligan organik (Weiner 2008). Cd di sedimen perairan yang tidak terkontaminasi berkisar diantara 0,1 hingga 1,0 $\mu g/g$ bobot kering. Pada umumnya di air permukaan, baik kadmium terlarut maupun partikulatnya secara rutin dapat terdeteksi. Sampai sekarang belum ada bukti bahwa kadmium berguna secara signifikan untuk makhluk hidup.

3. Bioakumulasi pada ikan bandeng (*Chanos chanos* Forsk.)

Ikan bandeng adalah ikan yang sering dijumpai dan dibudidayakan di Indonesia. Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) adalah ikan pangan yang populer di

Asia Tenggara. Ikan ini merupakan satu-satunya spesies yang masih ada dalam familia *Chanidae* (bersama enam genus tambahan dilaporkan pernah ada namun sudah punah).

Menurut Kartamiharja (2009), ikan bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) merupakan jenis ikan pemakan plankton. Ikan bandeng bersifat *euryhaline* dimana dia dapat hidup pada toleransi salinitas yang luas atau lebar sehingga dapat dibudidayakan di tambak berair payau. Ikan bandeng bersifat diurnal yaitu mencari makanan pada siang hari. Selain bersifat *euryhaline*, ikan bandeng juga mampu hidup pada suhu yang tinggi sehingga cocok untuk dikembangbiakkan di Indonesia.

Kadmium masuk ke dalam tubuh ikan bandeng melalui beberapa cara yaitu melalui proses endositosis, melalui media air, dan diserap melalui makanan serta sedimen (Akbar 2002). Kadmium tersebut di transportasikan ke seluruh tubuh dan nantinya akan terakumulasi di insang, hati, ginjal, dan juga otot (daging). Kadmium dalam organ-organ tersebut terutama terikat sebagai metalotionin. Metalotionin mengandung unsur sistein (disintesis di hati) yang nantinya akan di bawa ke ginjal. Interaksi antara metalotionin dengan kadmium dapat menyebabkan aktivitas kerja enzim menjadi terhambat.

Menurut Kusnoputranto sebagaimana dikutip Sudarwin (2008), sebagian besar kadmium masuk melalui saluran pencernaan, tetapi keluar lagi melalui *faeces* sekitar 3 – 4 minggu kemudian dan sebagian kecil dikeluarkan melalui urin. Kadmium dalam tubuh terakumulasi dalam hati dan ginjal terutama terikat sebagai *metalotionein*. *Metalotionein* mengandung unsur sistein, di mana kadmium terikat dalam gugus sulfhidril (-SH) dalam enzim seperti *karboksil sisteinil*, *histidil*, *hidroksil*, dan *fosfatil* dari protein dan purin. Kemungkinan besar pengaruh toksisitas kadmium disebabkan oleh interaksi antara kadmium dan protein tersebut, sehingga menimbulkan hambatan terhadap aktivitas kerja enzim dalam tubuh.

Sebagai salah satu contoh mekanismenya, plasma enzim yang diketahui dihambat Cd adalah aktivitas dari enzim *alfa-antitripsin*. Terjadinya defisiensi

enzim ini dapat menyebabkan *emfisema* dari paru dan hal ini merupakan salah satu gejala gangguan paru karena toksisitas akumulasi kadmium.

Suatu substansi toksik atau suatu substansi racun umumnya mempunyai kemampuan untuk menimbulkan kanker, mampu menyebabkan terjadinya perubahan permanen dari suatu keturunan atau perubahan genetik baik pada manusia ataupun hewan. Selain itu, juga dapat mengakibatkan terjadinya kematian bila substansi tersebut masuk ke dalam tubuh.

Bioakumulasi kadmium diambil pada level tropik dan ditemukan paling tinggi pada ikan. Selain itu jenis organ yang berbeda pada ikan konsentrasi kadmium yang terakumulasi pun juga berbeda. Sumet dan Blust (2001), melaporkan bahwa akumulasi kadmium dalam jaringan *Cyprinus carpio* urutannya sebagai berikut : ginjal > hati > insang. Kumar *et al.* (2007), juga melaporkan hal yang sama yaitu pola akumulasi pada *Clarias batrachus* di percobaan studinya. Ginjal merupakan organ target yang pertama dari kadmium. Kadmium di distribusikan langsung ke beberapa organ, diambil melalui insang dan usus, akan tetapi kadmium bisa juga di distribusikan kembali ke organ-organ yang lainnya.

Berdasarkan hasil penelitian Prabowo (2005) tentang akumulasi kadmium pada daging ikan bandeng menunjukkan bahwa terjadi peningkatan akumulasi dalam berbagai perlakuan seiring meningkatnya konsentrasi kadmium maupun waktu pendedahan. Hasil menunjukkan akumulasi tertinggi yaitu 22,32mg/kg terdapat pada perlakuan dengan pemberian Cd sebanyak 45,55 ppm pada jangka waktu pendedahan tiga minggu.

Menurut Moreno *et al.* (2000), penyerapan logam berat oleh fitoplankton dapat melalui dua jalur yaitu pengikatan pada dinding sel atau adsorpsi sel dan penyerapan logam ke dalam sel atau absorpsi. Pada dinding sel terdapat protein dan polisakarida yang dapat mengikat ion logam seperti amino, karboksilat, fosfat, sulfidril dan hidrosil. Logam kadmium yang telah melewati dinding sel melalui penyerapan pasif maka akan masuk ke dalam sel melalui membran sel. Masuknya logam berat melintasi membrane sel dapat terjadi jika logam berat tersebut bersifat *lipofilik* (Kumar *et al.* 2006).

Menurut Purbonegoro *et al.* (2008), kadmium termasuk logam yang susah larut dalam lemak. Guna dapat melintasi membrane sel, ion logam berat tersebut mengalami proses difusi dipermudah (*facilitated diffusion*). Protein membran sel berikatan dengan ion logam berat sehingga ion logam berat tersebut dapat melintasi lapisan lipid bilayer membran sel. Setelah ion logam berat melewati membran sel, enzim-enzim dan organel sel dalam sitoplasma menjadi tujuan ion tersebut.

4. Dampak Akumulasi Kadmium (Cd) Terhadap Ikan

Kadmium (Cd) termasuk kelompok logam berat yang banyak digunakan dalam industri, seperti pabrik tekstil, cat, baterai, dan kertas. Pada umumnya limbah industri tersebut masih mengandung Cd yang cukup tinggi. Apabila limbah tersebut tidak diolah secara baik dan buangnya masuk ke perairan, maka dapat mengganggu keseimbangan ekosistem.

Unsur Cd merupakan unsur *non esensial* atau tidak dibutuhkan sama sekali pada proses biologis-akuatik bahkan Cd adalah racun bagi manusia maupun organisme lain. Kadmium bersifat racun, karena dapat mengganggu keseimbangan tubuh, yaitu gangguan aktivitas enzim sulfuril yang mempunyai aktivitas untuk pertumbuhan sel. Sifat akumulatif unsur Cd dalam air dapat terserap dan terakumulasi secara biologis dalam biota air, meskipun pada kadar yang rendah sekalipun (Yumiarti 1996).

Pada umumnya, akumulasi logam berat yang besar dari suatu organisme dan konsumsinya di rantai makanan menyebabkan masalah kesehatan yang sangat fatal bagi organisme. Akumulasi Cd dapat memberikan dampak patomorfologi pada ikan. Dampak akumulasi Cd secara garis besar dapat dibedakan menjadi dua yaitu dampak patofisiologi dan dampak patomorfologi. Dampak patofisiologi Cd terhadap ikan antara lain ditunjukkan oleh adanya perubahan tingkah laku ikan yaitu berupa perubahan aktivitas gerak, keseimbangan tubuh, *ram jet ventilation*, produksi mukus dan perubahan warna morfologi.

Berdasarkan hasil penelitian Dewi (2004), ikan yang terakumulasi logam Cd pada awalnya akan mengalami perubahan pergerakan menjadi lebih aktif, dan

cenderung memiliki gerakan yang tidak teratur. Hal tersebut diduga merupakan suatu manifestasi gerak menghindar pada ikan, sebagai reaksi terhadap kualitas lingkungannya yang memburuk dan menunjukkan bahwa pusat kontrol keseimbangannya mulai terganggu. Ikan cenderung mengeluarkan mukus lebih banyak. Mukus yang dikeluarkan diduga merupakan reaksi terhadap rangsangan logam berat Cd yang bersifat iritatif terhadap organ-organ tubuh yang bersentuhan dengannya. Persenyawaan antara logam berat Cd dengan mukus diduga membentuk ikatan yang tidak larut dalam air (hidrofobik) sehingga makin menutup permukaan *branchia*, sehingga menyebabkan frekuensi respirasi semakin meningkat. *Branchia* merupakan salah satu organ utama yang bersentuhan langsung dengan logam berat Cd. Sunarto (2012) menyatakan bahwa *branchia* merupakan organ respirasi yang mengalami kontak dengan bahan pencemar, kontak tersebut terjadi pada saat inspirasi. Pada waktu air mengalir melalui *branchia*, filamen branchialis merentang, sehingga air dan zat pencemar langsung bersentuhan dengan lamela, masuk dalam pembuluh darah dan selanjutnya dapat merusak jaringan tubuh lain yang dilalui.

Peningkatan frekuensi respirasi akan meningkatkan introduksi logam berat Cd ke dalam tubuh ikan. Terganggunya proses respirasi pada ikan menyebabkan ikan mengalami perubahan adaptasi di dalam tubuhnya. Adaptasi yang pertama yaitu adaptasi fungsional terhadap kerja respirasi yaitu dengan cara memasukkan air sebanyak-banyaknya ke dalam tubuh. Adaptasi yang kedua yaitu adaptasi terhadap lingkungan dilakukan dengan cara membuka mulut lebar-lebar dan operkulum terbentang dengan maksud guna memberikan kesempatan aliran air secara kontinyu untuk mengambil oksigen dari dalam air sebanyak-banyaknya.

Akumulasi Cd pada ikan juga dapat menyebabkan terjadinya dampak patomorfologi. Dampak patomorfologi dapat dipelajari dengan melihat adanya perubahan bentuk luar maupun perubahan yang terjadi secara histologik dan sitologik. Berdasarkan hasil penelitian Dewi (2004), yang melakukan pengujian Cd dengan perlakuan eceng gondok pada ikan, ikan pada perlakuan dengan eceng gondok maupun tanpa eceng gondok warna morfologi ikan menjadi lebih gelap terutama pada sisik. Hal tersebut disebabkan oleh adanya penyebaran butir

pigmen dalam *chromatophora* akibat bersebutuhan langsung dengan polutan Cd. Dalam *chromatophora* terdapat kandungan *melanophora* yang berperan sebagai pembentuk warna hitam. Adanya Cd dalam perairan diduga dapat menyebabkan terjadinya kerusakan membrane sel *melanophora* akibat bersentuhan langsung dengan Cd, sehingga kandungan *melanophora* yaitu *melanin* yang semula terkonsentrasi menjadi tersebar (Lagler *et al.* 1997). Akumulasi kadar Cd yang telah jauh melebihi ambang batas yang telah ditetapkan, dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur dari lamella primer. Perubahan struktur tersebut dapat mengganggu sistem respiratori ikan sehingga dapat mengakibatkan kematian. Akumulasi mukus yang terjadi di permukaan lamella diduga semakin memperberat terjadinya gangguan respiratori pada ikan.

Darmono (2001) menyatakan bahwa perairan tawar maupun laut, logam berat selalu hadir dan masih di bawah ambang untuk membahayakan kehidupan organisme air di sekitarnya. Hal tersebut dikarenakan perairan mempunyai sifat melarutkan dan mengendapkan logam berat. Namun, apabila kandungan logam berat dalam air naik sedikit demi sedikit baik secara natural maupun antropogenik, maka logam itu dapat terserap dalam jaringan organisme dan tertimbun dalam jaringan organisme tersebut. Penimbunan logam dalam jaringan organisme air berjalan sedikit demi sedikit dan tidak menimbulkan apa-apa pada organisme tersebut. Jika ikan itu dimakan oleh manusia, mungkin tidak menimbulkan pengaruh, tetapi sejak saat itu logam sudah masuk dalam tubuh orang yang bersangkutan dan mulai tertimbun. Apabila orang itu makan ikan yang tercemar terus-menerus, ia akan mengalami keracunan secara kronis.

Berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No.5 Tahun 2012 tentang baku mutu air limbah, nilai ambang batas daerah untuk konsentrasi kadmium di alam adalah sebesar 0,05 mg/l. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota laut, nilai ambang batas kandungan kadmium adalah 0,001 mg/l. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air batas maksimum cemaran kadmium untuk kelas I sampai IV yaitu sebesar 0,01mg/L.

Batas maksimum cemaran kadmium dalam ikan bandeng dan hasil olahannya berdasarkan SNI 7287:2009 yaitu sebesar 0,1 mg/kg. Apabila jumlah kadmium melebihi nilai ambang batas atau baku mutu sifatnya dapat berubah menjadi toksik dan akan menyebabkan kematian apabila terakumulasi di dalam tubuh organisme.

B. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini yaitu

- a. Konsentrasi logam berat kadmium pada air tambak wilayah Tapak Semarang masih di bawah ambang batas yang ditetapkan KepMen LH Nomor 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota laut.
- b. Akumulasi logam berat kadmium pada daging ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) yang berasal dari tambak wilayah Tapak Semarang masih termasuk dalam kategori akumulatif rendah.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Konsentrasi logam berat kadmium (Cd) pada air tambak di Dukuh Tapak yaitu berkisar $<0,004$ - $<0,005$ mg/l, hasil tersebut telah melebihi ambang batas yang ditetapkan pada Keputusan Menteri LH Nomor 51 Tahun 2004 tentang baku mutu air laut untuk biota laut yaitu sebesar 0,001mg/l.
2. Bioakumulasi logam berat kadmium (Cd) pada daging ikan bandeng yang berasal dari tambak di Dukuh Tapak Semarang mempunyai konsentrasi $<0,01$ mg/kg. konsentrasi tersebut masih jauh berada di bawah ambang batas yang telah ditetapkan SNI 7287:2009 Tahun 2009 sebesar 0,1 mg/kg. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) ikan bandeng berkisar antara 2-2,5 hasil tersebut masih termasuk dalam kategori akumulatif rendah.

B. Saran

1. Meskipun kandungan logam kadmium (Cd) pada daging ikan bandeng yang berasal dari tambak Tapak Semarang masih di bawah ambang batas yang ditetapkan, setidaknya masyarakat lebih waspada dalam mengonsumsi ikan tersebut, mengingat logam berat Cd bersifat toksik, karsinogenik, bioakumulatif, dan biomagnifikasi serta dapat mengganggu kesehatan tubuh manusia.
2. Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut guna mengetahui adanya jenis-jenis logam berat lainnya di perairan sungai, tambak, dan juga ikan bandeng yang berasal dari wilayah Dukuh Tapak Semarang.
3. Diperlukan adanya upaya untuk mengurangi polutan logam berat di perairan Tapak Semarang, sehingga perairan Tapak Semarang terbebas dari pencemaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar HS. 2002. Pendugaan Tingkat Akumulasi Logam Berat Cd, Pb, Cu, Zn dan Ni pada Kerang Hijau (*Penna viridis* L) ukuran > 5 cm di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. (*Skripsi*). Bogor.
- 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.
- Apriliani A. 2010. Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cu, dan Pb dalam Air Limbah. (*Skripsi*). Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Ali H, Khan E & Sajad MA. 2013. Phytoremediation of Heavy Metals- Concepts and Applications. *Chemosphere* 91:869-881.
- Almeida JA, Barreto RE, Novelli LB, Castro FJ & Moron SE. 2009. Oxidative Stress Biomarkers and Aggressive Behavior in Fish Exposed to Aquatic Cadmium Contamination. *Neotropical Ichthyology* 7:103-108.
- 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*. Universitas Sumatera Utara.
- 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* 2:896903.
- Aziz R, Nirmala K, Affandi R & Prihadi T. 2015. Kelimpahan plankton penyebab bau lumpur pada budidaya ikan bandeng menggunakan pupuk N:P berbeda. *Jurnal Akuakultur Indonesia* 14 (1):58-68.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 2354. 5:2011 Penentuan kadar logam berat Pb dan Cd pada produk perikanan. Jakarta:Badan Standardisasi Nasional. Jakarta:Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2009. SNI 7387:2009 Batas maksimum cemaran logam berat pada pangan. Jakarta:Badan Standardisasi Nasional.

- Beek B. 2000. *Bioaccumulation: New Aspects and Developments*. New York: Springer.
- Berman E. 1980. *Toxic Metals and Their Analysis*. Heyden: London. PP 65-73.
- Bobocea AC, Fertig ET, Pislea M, Seremet T, Katona G, Mocanu M, Doaga IO, Radu E, Horvath J, Tanos E, Katona L & Katona E. 2008. Cadmium and Soft Laser Radiation Effects on Human T Cells Viability and Death Style Choices. *Romanian Journal biophys* 18:179–193.
- Budiati SR, Dewi NK, Pribadi TA. Akumulasi Kandungan Logam Berat Chromium (Cr) Pada Ikan Betok (*Anabas Testudineus*) Yang Terpapar Limbah Cair Tekstil Di Sungai Langsur Sukoharjo. *Unnes Journal of Life* 3(1):18-23.
- 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 Makasar.
- Connell DW & Miller GJ. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Terjemahan Y. Koestoer. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup Dan Pencemaran*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Mahluk Hidup*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Das N, Vimala R & Karthika P. 2008. Biosorption of Heavy Metal. An Overview: *Indian Journal of Biotechnology* 7:159-169.
- Dewi, Nur Kusuma. 2004. *Penurunan Derajat Toksisitas Kadmium terhadap Ikan Bandeng menggunakan Eceng Gondok dan Fenomena Transportnya*. (Tesis). Semarang: Universitas Diponegoro.
- Dewi NK, Purwanto & Sunoko HR. 2010. *Biomarker pada Ikan Sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam Berat Kadmium di Perairan Kaligarang Semarang*. Jakarta: Laporan Penelitian Hibah Doktor. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan Nasional.

- Dewi NK, Purwanto & Sunoko HR. 2014. Metallothionein Pada Hati Ikan Sebagai Biomarker Pencemaran Kadmium (Cd) di Perairan Kaligarang Semarang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 21(3):304-309.
- Fardiaz S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fasset & Irish D. 1962. *Industrial Hygiene and Toxicology* Ed. 2nd Vol II. Interscience Publishers.
- Flora SJS, Mittal M, & Mehta A. 2008. Heavy Metal Induced Oxidative Stress & Its Possible Reversal by Chelation Therapy. *Indian Journal Med Res* 128:501-523.
- Gobas FAPC, Muir DCG & Mackay D. 1988. Dynamics of dietary bioaccumulation and fecal elimination of hydrophobic organic chemicals in fish. *Chemosphere* 17:943-962.
- Hafiluddin, Perwitasari Y, Budiarto S. 2014. Analisis Kandungan Gizi dan Bau Lumpur Ikan Bandeng dari Dua Lokasi yang Berbeda. *Jurnal Kelautan* 7(1): 30-40.
- Handayani RI. 2015. Akumulasi Logam Berat Kromium (Cr) Pada Daging Ikan Nila Merah (*Oreochromis Sp*) Dalam Karamba Jaring Apung (KJA) Di Sungai Winongo Yogyakarta. (Skripsi). Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Hoole D, Bucke D, Burgess P & Wellby I. 2001. Disease of Carp and Other Cyprinid Fishes. *Blackwell Science Ltd* : United Kingdom.
- Hughes GM & Nyhlom. 1978. Ventilation in Rainbow Trout (*salmo gairdneri*, Richardson) with Damaged Gills. *Journal Fish Biology* 14:285-288.
- Jumriah N, Saraswati TR & Soeprbowati TR. 2015. Bioakumulasi Logam Berat Pb, Cd, Dan Cr Pada Insang Ikan Bandeng (*Chanos chanos*. Froskal) Di Pertambakan Trimulyo Semarang. *Seminar Nasional Biologi II tahun 2015* :147-151.
- Kartamiharja ES. 2009. Mengapa ikan bandeng diintroduksi di Waduk Djuanda, Jawa Barat. Dalam: *Prosiding Forum Nasional Pemacuan Sumber Daya Ikan II*.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2014. Permen LH RI Nomor 5 Tahun 2014 tentang *Baku Mutu Air Limbah*

- Kesehatan Masyarakat Universitas Jenderal Sudirman. 2012. Logam Berat Kadmium. *On line at* <http://kesmas-unsoed.com/2012/11/logam-berat-kadmium.cd.html>. [diakses tanggal 29 Maret 2015].
- Konasewich DE, Chapman PM, Gerencher E, Vigers G & Treloar N. 1982. Effects, pathways, processes, and transformation of Puget Sound contaminants of concern. *NOAA technical memorandum OMPA* 20:357.
- Kountur R. 2003. *Metode Penelitian Untuk Penulisan Skripsi dan Tesis*. Jakarta:Penerbit PPM.
- Kumar KK, Prasad MK, Sarma GVS & Murthy VR. 2006. Biosorption Studies for Removal of Chromium Using Immobilized Marine Alga *Isochrysis galbana*. *Indian Journal of Marine Sciences* 35:263-267.
- Kumar P, Prasad Y, Patra AK & Swarup D .2007. Levels of Cadmium and Lead in Tissues of Freshwater Fish (*Clarias batrachus* L.) and Chicken in Western UP (India). *Bull. Environment Contaminant and Toxicology* 79: 396-400.
- Kumar P & Singh A. 2010. Cadmium toxicity in fish. An overview. *GERF Bulletin of Biosciences* 1(1):41-47.
- Kusnoputranto H. 1996. *Toksikologi Lingkungan*. Jakarta:Dirjen Dikti.
- Lagler KE, Bardach JE, Miller RR & Maypassino DR. 1997. *Ichthyology*. Second Edition John Wiley and Sons. New York:128-259.
- Lamai M, Pokethitiyooka KPE, Upathame S & Sounthomsarathoola V. 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.
- Lestari AP, Murtiati T dan Puspitaningrum R.2014. Pengaruh Paparan Hipoksia terhadap Aktivitas Antioksidan Katalase dan Kadar MDA pada Jaringan Hati Tikus. *BIOMA* 9(2):27-33.
- Martuti NKT, Liesnoor D & Dewi NK. 2014. Akumulasi Logam Cu pada *Avicennia marina* di wilayah Tapak, Tugurejo, Semarang. *Jurnal Sainsteknologi* 11(2):167-178.

- Martuti NKT . 2012. Kandungan Logam Berat Cu Dalam Ikan Bandeng, Studi Kasus Di Tambak Wilayah Tapak Semarang. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 11 September 2012. Hlm 88-94.
- Moreno G, Lubian LM & Soares AMVM. 2000. Influence of Cellular Density on Determination of EC50 in Microalgal Growth Inhibition Tests. *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety* 47:112-116.
- Murtidjo BA. 2002. Bandeng. Yogyakarta:Kanisius. *On line at [google books.com](http://googlebooks.com)* [diakses tanggal 12 April 2015].
- Nordic. 2003. Cadmium Review. Denmark:Prepared by COWI A/S on behalf of the Nordic Council of Ministers.
- Oost RJB & Nico PEV. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment:a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 13:57-149.
- Palar M, Horvarth E, Janda T, Paldi E & Szalai G. 2006. Physiological Changes and Defense Mechanisme Induced by Cadmium Stress in Maize. Review article. *Journal Plant. Nutrition Soil Science* 159:230-246.
- Palar Heryandon. 2008. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta:Rineka Cipta.
- Panjaitan GY. 2009. Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon *Avicennia marina* di Hutan Mangrove. (Skripsi). Medan:Universitas Sumatera Utara.
- 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). Jakarta. *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur*. Pusat Riset Perikanan Budidaya. Hal. 123-137.
- Prosoeryanto BP, Ersa IM, Tiuria R & Handayani SU. 2010. Gambaran Histopatologi Insang, Usus, dan Otot Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) yang Berasal dari daerah Ciampea, Bogor. *Indonesian Journal of Veterinary Science and Medicine*. Vol II Nomor 1.
- Purbonegoro TT. 2008. Pengaruh Logam Berat Kadmium (Cd) Terhadap Metabolisme dan Fotosintesis di Laut Oseana. *Oseana*. 33 (1):25-31.

- 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.
- Rahmadiani WDD & Aunurohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) oleh *Chaetoceros calcitrans* pada Konsentrasi Subletal. *Jurnal Sains dan Seni Pomits* 2(2):202-206.
- Rochyatun E & Rozak A. 2007. Pemantauan Kadar Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *Makara Sains* 11(1):28-36.
- Rumahlatu D, Corebima AD, Amin M & Rachman F. 2012. Kadmium dan Efeknya terhadap Ekspresi Protein Metallothionein pada *Deadema setosum* (Echinoidea; Echinodermata). *Jurnal Penelitian Perikanan* 1(1):26-35.
- Samsundari S & Perwira IY. 2011. Kajian Dampak Pencemaran Logam Berat Di Daerah Sekitar Luapan Lumpur Sidoarjo Terhadap Kualitas Air Dan Budidaya Perikanan. *Jurnal Budidaya Perairan* 6(2):129 – 136.
- Sanusi, Harpasis. 2006. Kimia Laut Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan. Institut Pertanian Bogor:Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Bogor.
- Sitepu MV, Suryono CA, & Suryono. 2014. Studi Kandungan Logam Berat Pb dan Cd dalam Sedimen di Perairan Pesisir Kecamatan Genuk Semarang. *Journal Of Marine Research* 3(1):1-10.
- Sudarwin. 2008. Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb Dan Cd) Pada Sedimen Aliran Sungai Dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang. (Tesis). Semarang:Universitas Diponegoro.
- Sumet HDe & Blust R. 2001. Stress responses and changes in protein metabolism in carp *Cyprinus carpio* during cadmium exposure. *Ecotoxicology Environment Saf.* 48(30):255-262.
- Supriyanto, Samin C & Kamal Z. 2007. Analisis Cemar Logam Berat Pb, Cu, Dan Cd Pada Ikan Air Tawar Dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). Yogyakarta:Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN.

- Sunarto. 2012. Kadmium (Cd) Heavy Metal Pollutant Bioindicator with Microanatomy Structure Gill Analyses Of *Anodonta Woodiana*, Lea. *Jurnal ekosains IV* (1):25-40.
- Suseno, Heny. 2007. Bioakumulasi Kromium oleh *Perna viridis* Teluk Jakarta Berdasarkan Studi Menggunakan Perunut Radioaktif ¹⁵Cr. Dalam: *Prosiding PPI – PDIPTN*. Pustek Akselerator dan Proses Bahan BATAN.
- 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. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Utama BA. 2011. Biomagnifikasi. *On line at www.Wikipedia.org* [Di akses tanggal 18 November 2015].
- Van Esch, G.J. 1997. Aquatic Pollutant and Their Potensial Ecological Effects. In Hutzinger, O.I.H. Van Lelycid and B.C.J. Zoefemen, Ed. *Aquatic Pollution: Transformation and Biological effect*, Proceed of the 2 end Int. Symp on Aquatic Pollutions, Amsterdam Pergamon Press, New York.
- Weigel S. 2009. Bioaccumulation. *On line at <http://www.pollutionissues.com/A-Bo/Bioaccumulation.html>* [Diakses tanggal 11 November 2015].
- Weiner ER. 2008. *Applications of Environmental Aquatic Chemistry*. A practical guide. Second edition. CRC Press. Taylor and Francis Group.
- Widowati, Astiono & Raymond. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. ANDI Offset. Yogyakarta
- UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
- Wisnu MA & Hartati A. 2000. Penyerapan Logam Berat Merkuri Dan Kadmium Pada Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal Purifikasi ITS Surabaya* 1 (2).
- WWF Perikanan Indonesia. 2014. BMP Budidaya Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) versi 1. Jakarta Selatan: WWF Indonesia.
- Yulaipi S & Aunurohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains Dan Seni Pomits* 2 (2):166-170.

- Yumiarti JM & Suwirma S. 1996. Akumulasi, Distribusi, dan Toksisitas Cd terhadap Ikan Lele dalam Air. *Jurnal Aplikasi isotop dan radiasi*: 109-113.
- Yusuf M dan 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.
- Zubcov E, Ungureanu L, Ene A, Bagrin N & Borodin N. 2009. Influence of nutrient substances on phytoplankton from Prut River. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle II—Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics* 32: 68–72.

