

Tersedia online di: <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jkpt>

## AKUMULASI LOGAM BERAT Pb, Cd, Ni DAN Zn PADA DAGING IKAN DI TELUK KAO, HALMAHERA

## ACCUMULATION OF HEAVY METALS Pb, Cd, Ni AND Zn ON FISH MEAT IN KAO, HALMAHERA

Edward

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI

Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta Utara

E-mail: ekewe07@gmail.com

(Diterima: 26 Juli 2019; Diterima setelah perbaikan: 1 September 2019; Disetujui: 1 September 2019)

### ABSTRAK

Ikan merupakan sumber protein, mineral, vitamin dan asam lemak omega-3-tidak jenuh (poly unsaturated), yang dianggap bermanfaat bagi kesehatan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat akumulasi logam berat timbal (Pb), cadmium (Cd), seng (Zn) dan nikel (Ni) pada beberapa jenis ikan yang berbeda di Teluk Kao, Halmahera. Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2015. Contoh ikan yang dianalisis adalah ikan suo (*Sphyraena jello*), tatameri (*Gazza minuta*), gaca (*Lutjanus argentimaculatus*), totodi (*Synodus foetens*) bubara (*Caranx* sp), ngafi (*Stolephorus indicus*) dan biji nangka (*Upeneus vittatus*). Kadar Pb, Cd, Zn dan Ni ditentukan dengan alat Spektrofotometer Serapan Atom (AAS). Hasilnya menunjukkan kadar Pb, Cd, Zn dan Ni masih sesuai dengan nilai ambang batas aman yang ditetapkan oleh Standard Nasional Indonesia (SNI) 2009. Untuk mengoptimalkan perlindungan terhadap kesehatan manusia, perlu dilakukan pemantauan kadar Pb, Cd, Zn dan Ni dalam daging ikan yang hidup di Teluk Kao, mengingat Teluk Kao merupakan satu-satunya perairan yang menerima masukan limbah yang berasal dari kegiatan masyarakat dan penambangan emas. Strategi manajemen risiko harus fokus pada pengurangan paparan potensial yang berasal dari konsumsi ikan.

**KATA KUNCI:** Teluk Kao; ikan; logam berat; akumulasi

### ABSTRACT

Fish is a source of protein, minerals, vitamins and omega-3-not saturated (poly unsaturated) fatty acids, which are considered beneficial for health. The purpose of this study was to determine the level of accumulation of heavy metals lead (Pb), cadmium (Cd), zinc (Zn) and nickel (Ni) in several different fish species in Kao Bay, Halmahera. This research was carried out in November 2015. Fish samples analyzed were suo (*Sphyraena jello*), tatameri (*Gazza minuta*), gaca (*Lutjanus argentimaculatus*), totodi (*Synodus foetens*) bubara (*Caranx* sp), ngafi (*Stolephorus indicus*) and biji nangka (*Upeneus vittatus*). Pb, Cd, Zn and Ni levels were determined by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed the levels of Pb, Cd, Zn and Ni are still in accordance with the safe threshold values set by the 2009 Indonesian National Standard (SNI). To optimize the protection of human health, it is necessary to monitor the levels of Pb, Cd, Zn and Ni in fish meat live in Kao Bay, considering that Kao Bay is the only water that receives waste inputs from community activities and gold mining. The risk management strategy must focus on reducing potential exposure from fish consumption.

**KEYWORDS:** Teluk Kao; fish; heavy metals; accumulation

### PENDAHULUAN

Teluk Kao (Halmahera) merupakan salah satu lokasi penangkapan ikan bagi nelayan untuk memenuhi

kebutuhan protein hewani. Teluk ini kaya akan sumberdaya ikan seperti kepiting kenari, cumi-cumi, mutiara, ubur-ubur, ikan teri, udang dan sebagainya. Kehadiran penambangan emas di daratan Kao sejak tahun 1997, telah menimbulkan masalah terhadap lingkungan, selain membawa pengaruh yang positif

# Korespondensi: Pusat Penelitian Oseanografi  
E-mail: ekewe07@gmail.com

pada masyarakat yang bermukim di Kecamatan Kao, khususnya pada sektor ekonomi, pendidikan, dan kesehatan, juga membawa pengaruh negatif yakni berupa pencemaran. Pencemaran terjadi akibat limbah tambang yang masuk ke Teluk Kao. Limbah ini mengandung berbagai bahan kimia yang berbahaya, diantaranya adalah logam berat (Edward, 2017).

Beberapa dari logam berat bersifat racun terhadap organisme akuatik bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah sekalipun, sedangkan yang lain penting secara biologis namun menjadi racun pada konsentrasi yang relatif tinggi (Duruibe et al., 2007). Logam berat akan terakumulasi dalam jaringan ikan dan melalui rantai makanan dapat mempengaruhi kesehatan manusia, karena itu penting untuk mengetahui kadar logam berat pada daging ikan dan sehingga tidak berbahaya bagi kesehatan manusia.

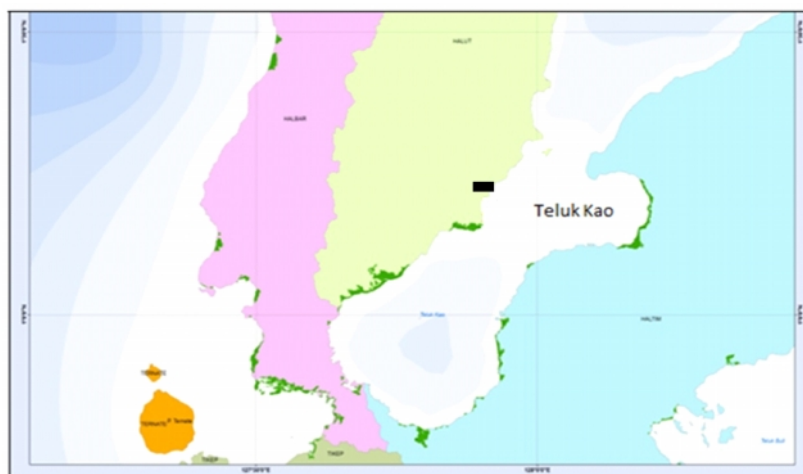
Ikan merupakan organisme air yang dapat bergerak dengan cepat. Ikan pada umumnya mempunyai kemampuan menghindarkan diri dari pengaruh pencemaran air. Namun demikian, pada ikan yang hidup dalam habitat yang terbatas (seperti sungai, danau dan teluk), ikan itu sulit melarikan diri dari pengaruh pencemaran tersebut. Akibatnya, unsur-unsur pencemaran itu masuk ke dalam tubuh ikan. Secara umum, logam berat masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan, yaitu saluran pernafasan, pencernaan, dan penetrasi melalui kulit. Di dalam tubuh hewan, logam diabsorpsi oleh darah, berikatan dengan protein darah yang kemudian didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh. Akumulasi logam yang tertinggi biasanya dalam detoksikasi (hati) dan ekskresi (ginjal) (Suyanto et al., 2010).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan adanya akumulasi logam berat dalam ikan. Misalnya Purnomo et al., (2016) melaporkan adanya akumulasi Pb pada ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) yang dipelihara di Tambak Kecamatan Gresik, Hidayah et al., (2014) melaporkan adanya akumulasi Cd pada ikan Nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) yang dibudidayakan di Danau di Rawabening dan Lihan et al., (2006) melaporkan kadar Ni pada 10 jenis ikan laut di Tanjung Karang, selanjutnya Suyanto et al., (2010) melaporkan adanya akumulasi Zn pada ikan yang dipelihara di tambak-tambak di Pati, Semarang dan Tegal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akumulasi logam berat Pb, Cd, Zn dan Ni pada beberapa jenis ikan yang berbeda yang hidup di Teluk Kao. Metode penelitian yang digunakan adalah metode survey, dimana pengambilan contoh langsung dilakukan di lapangan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada pemda dan masyarakat setempat tentang kesehatan makanan hasil laut yang berasal dari Teluk Kao, sehingga dampak negatif yang mungkin timbul akibat mengkonsumsi makanan hasil laut yang berasal dari Teluk dapat diantisipasi sedini mungkin.

#### BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2015 di perairan Teluk Kao, Pulau Halmahera, Maluku Utara. Contoh ikan dibeli dan diambil di Teluk Kao (Gambar 1), disimpan dalam *ice box* pada suhu 4°C, selanjutnya dibekukan dalam lemari pendingin dan dibawa ke laboratorium Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI Jakarta. Di laboratorium contoh ikan dipisahkan masing-masing 3 ekor dengan ukuran yang relatif sama, diukur panjang dan ditimbang beratnya, kemudian dicatat panjang dan berat rerata dari masing-masing ikan.



■ : Desa Malifud (Lokasi pembelian dan pengambilan contoh)

Gambar 1. Lokasi Penelitian (Teluk Kao, Halmahera).

Figure 1. Map of Research Location (Kao Bay, Halmahera).

Selanjutnya contoh ditimbang secara analitis sebanyak 5 gram, dimasukkan dalam cawan teflon, didestruksi dengan menggunakan HNO<sub>3</sub>/ HCl pekat dan biarkan pada suhu ruang ± 4 jam. Destruksi dilanjutkan pada suhu 90<sup>o</sup> C selama 8 jam dan disaring. Kadar Pb, Cd, Zn dan Ni ditentukan dengan AAS Varian SpectraAA-20 Plus menggunakan nyala campuran udara–asetilen (Hutagalung et al., 1997). Kadar dinyatakan dalam ppm (mg/kg, berat basah).

Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan membandingkannya dengan hasil penelitian lain dan dengan kriteria yang ditetapkan untuk kesehatan makanan yang berasal dari laut.

Batas maksimum kadar logam berat yang terakumulasi dalam contoh yang diperbolehkan dikonsumsi per minggu (*Maximum Weekly Intake*) ditentukan dengan menggunakan nilai ambang batas yang ditetapkan oleh US National Research Council (Kuras et al., 2017), WHO/ FAO dan JEFCA (Peycheva et al., 2016).

Asupan maksimum per minggu (*Maximum Weekly Intake*) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$MWI(g) = \text{Berat Badan}^a \times PTWI^b$$

Tabel 1. Contoh ikan dan kerang yang berasal dari Teluk Kao

Table 1. Fishes and Shells Sample from Kao Bay

Nama Ikan	Panjang Rerata cm (N=3)	Berat gr (Rerata)
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	25,5	97,092
Gaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	24,3	187,550
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	25,4	124,446
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	17,3	87,612
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	19,2	86,170
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	8,9	11,991
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	17,2	88,342
Bubara ( <i>Caranx sp</i> )	24,2	147,732

Tabel 2. Asupan yang diperkenankan per minggu

Table 2. Provisional tolerable weekly intake

Jenis Logam	PTWI (µg/kg berat badan) per minggu	Referensi
Pb	25	Cahyani et al., (2016)
Cd	7	Cahyani et al., (2016)
Zn	7000	Peycheva et al., (2016)
Ni	35	Peycheva et al., (2016)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Hasil pengukuran kadar Pb, Cd, Zn dan Ni dalam beberapa jenis ikan di Teluk Kao disajikan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Pb tertinggi dijumpai pada ikan Totodi (*Synodus foetens*) dan terendah pada ikan suo (*Sphyraena jello*) dan

Keterangan:

- a) Rerata berat badan orang dewasa Indonesia 50 kg (Kemenkes RI, 2010 dalam Cahyani et al., 2016) dan anak-anak adalah 15 kg
- b) PTWI (*Provisional Tolerable Weekly Intake*) atau asupan yang diperkenankan per minggu dalam satuan µg/kg berat badan (Tabel 2)

Batas maksimum berat daging ikan dan kerang yang dapat ditolerir untuk dikonsumsi dalam waktu satu minggu (*Maximum Tolerable Intake*, MTI) dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Turkmen et al., 2008):

$$MTI = MWI/Ct$$

Keterangan:

MWI = *Maximum Weekly Intake* (mg untuk berat badan orang dewasa Indonesia 50 kg dan anak-anak 15 kg per minggu). Ct = Konsentrasi logam berat yang ditemukan di dalam daging ikan (ppm atau mg/kg) (Cahyani et al., 2016).

Bubara(*Caranx sp*) dan ikan Suo (*Sphyraena jello*). Kadar Cd tertinggi dijumpai pada Totodi (*Synodus foetens*) dan terendah pada Ngafi (*Stolephorus indicus*), dan kadar Zn tertinggi dijumpai pada Totodi (*Synodus foetens*) dan terendah pada ikan tatameri (*Gazza minuta*), kadar Ni tertinggi dijumpai pada ikan tatameri (*Gazza minuta*) dan terendah pada ikan ikan gaca (*Lutjanus argentimaculatus*). Data di atas menunjukkan

kadar logam berat Pb, Cd, Zn dan Ni bervariasi pada setiap jenis ikan.

### Pembahasan

#### Plumbum (Pb)

Logam Pb merupakan logam non esensial yang belum diketahui kegunaannya dalam tubuh makhluk hidup, sehingga keberadaannya lebih dari kadar normal dapat menyebabkan keracunan. Keberadaan logam Pb dalam tubuh seringkali menggantikan logam esensial dalam aktivitas kerja enzim dan bersifat menghambat kerja enzim (Purnomo *et al.*, 2016). (Palar, 2004 dalam Hidayah *et al.*, 2014).

Dari Tabel 3 di atas dapat dilihat kadar Pb dalam setiap jenis ikan berbeda. Kadar Pb tertinggi dijumpai pada daging Totodi (*Synodus foetens*) yakni 0,49 ppm dan terendah pada daging ikan suo (*Sphyaena jello*) dan Bubara (*Caranx sp*) yang kadarnya masing-masing adalah 0,08 ppm. Data di atas menunjukkan bahwa Totodi (*Synodus foetens*) mengakumulasi Pb lebih banyak dibandingkan dengan yang lainnya. Data di atas juga menunjukkan kadar Pb pada ikan terlihat bervariasi sesuai dengan jenisnya.

Kadar Pb ini masih lebih rendah dibandingkan dengan nilai ambang batas yang aman untuk makanan hasil laut yang ditetapkan beberapa negara, kecuali European Commission, FAO dan SNI relatif lebih tinggi (Tabel 4).

Tabel 3. Rerata kadar Pb, Cd, Zn dan Ni dalam daging ikan di Teluk Kao

Table 3. Average concentration of Pb, Cd, Zn and Ni in fish meat in Kao Bay

Biota Laut Ikan	Kadar, ppm			
	Pb	Cd	Zn	Ni
Suo ( <i>Sphyaena jello</i> )	0,08	0,13	21,37	0,33
Gaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	0,28	0,19	41,84	0,28
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	0,49	0,36	42,55	0,60
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	0,09	0,22	16,0	0,47
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	0,28	0,15	14,64	0,83
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	0,09	0,07	31,79	0,81
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	0,28	0,15	13,76	1,18
Bubara( <i>Caranx sp</i> )	0,08	0,18	16,00	1,13

Tabel 4. Perbandingan kadar Pb pada Ikan di Teluk Kao dengan kriteria dari beberapa negara

Table 4. Comparison of Pb concentrations in fish in Kao Bay with criteria from several countries

Jenis	Kadar, ppm
Suo ( <i>Sphyaena jello</i> )	0,08
Gaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	0,28
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	0,49
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	0,09
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	0,28
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	0,09
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	0,28
Bubara( <i>Caranx sp</i> )	0,08
Nilai Ambang Batas	
European Commission (2001)*	0,20-0,40
USFDA (1993)*	0,5
WHO (1985)*	2,0
FAO (2003)*	0,20
MFA (1993)*	2
SNI (2009)	0,3-0,4

Hasil perhitungan *Maximum Weekly Intake* untuk Pb disajikan pada Tabel 5. *Maximum Weekly Intake* adalah asupan maksimum kontaminan logam berat yang diperbolehkan masuk ke tubuh selama satu minggu. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Pb maksimum yang diperbolehkan dikonsumsi untuk orang dewasa dengan berat 50 kg adalah 1,250 mg.

Kadar tertinggi Pb dijumpai pada ikan Totodi (*Synodus foetens*) yakni 0,49 ppm atau 0,49 mg/kg, artinya dalam 1 kg daging ikan Totodi (*Synodus foetens*) terdapat 0,49 mg Pb.

Febrianto (2018) menyatakan konsumsi ikan orang dewasa Indonesia per orang per tahun adalah 47

kg (0,979 kg per minggu). Maka asupan Pb per minggu ke dalam tubuh adalah  $(0,979:1) \times 0,49 \text{ mg} = 0,479 \text{ mg}$ . Kadar ini lebih rendah dari asupan maksimum per minggu (MWI) Pb untuk orang dewasa dengan berat badan 50 kg per minggu yakni 1,250 mg. Nilai MTI (*maximum Tolerable Intake*) didapat dengan membagi nilai MWI (1,250) mg dengan kadar Pb yang terdapat dalam 1 kg ikan yakni 0,49 mg sebagai berikut:  $(1,250 : 0,49) \times 1 \text{ kg} = 2,551 \text{ kg}$  atau 2551 g per minggu untuk orang dengan berat badan 50 kg.

Dengan cara yang sama diperoleh nilai MTI untuk ikan yang lain (Tabel 6). Dengan demikian bila orang dewasa dengan berat badan rerata 50 kg mengkonsumsi daging ikan sesuai dengan nilai MTI nya, maka belum berbahaya bagi kesehatan tubuh.

Dari Tabel 5 di atas dapat dilihat kadar Pb maksimum yang diperbolehkan dikonsumsi untuk anak dengan berat badan 15 kg adalah 0,375 mg. Kadar

tertinggi Pb dijumpai pada ikan Totodi (*Synodus foetens*) yakni 0,49 ppm atau 0,49 mg/kg, artinya dalam 1 kg daging ikan Totodi (*Synodus foetens*) terdapat 0,49 mg Pb.

Bila konsumsi ikan anak-anak dengan berat badan 15 kg rerata per minggu sepertiganya orang dewasa yakni 0,326 kg, maka asupan Pb nya ke dalam tubuh adalah  $(0,326:1) \times 0,49 \text{ mg} = 0,159 \text{ mg}$ . Kadar ini lebih rendah dari MWI Pb untuk anak-anak dengan berat badan 15 kg per minggu yakni 0,375 mg.

Nilai MTI (*maximum Tolerable Intake*) didapat dengan membagi nilai MWI (0,375) mg dengan kadar Pb yang terdapat dalam 1 kg ikan yakni 0,49 mg sebagai berikut:  $(0,375 : 0,49) \times 1 \text{ kg} = 0,765 \text{ kg}$  atau 765 g per minggu untuk orang dengan berat badan 15 kg. Dengan cara yang sama diperoleh nilai MTI untuk ikan yang lain (Tabel 7).

Tabel 5. Asupan maksimum Pb yang diperkenankan per minggu

Table 5. Tolerable maximum weekly intake of Pb

Jenis Logam	PTWI ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ b.b) per minggu*	MWI (orang dewasa, 50 kg) per Minggu
Pb	25	1,250 mg
Pb	25	MWI (anak-anak, 15 kg) per Minggu 0,375 mg

\*Cahyani et al. (2016)

Tabel 6. Asupan maksimum Pb yang diperkenankan per minggu untuk dewasa dengan berat badan 50 kg

Table 6. Tolerable maximum weekly intake of Pb for adults with 50 kg body weight

Jenis Ikan	Pb, mg/kg = Ct	MTI = MWI/Ct (g), MWI Pb: 1,250 mg
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	0,08	15625
Kaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	0,28	4467
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	0,49	2551
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	0,09	13888
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	0,28	4464
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	0,09	13888
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	0,28	4464
Bubara ( <i>Caranx</i> sp)	0,08	15625

Tabel 7. Asupan maksimum Pb yang diperkenankan per minggu untuk anak dengan berat badan 15 kg

Table 7. Tolerable maximum weekly intake of Pb for children with 15 kg body weight

Jenis Ikan	Pb, mg/kg = Ct	MTI = MWI/Ct (g), MWI Pb: 0,375 mg
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	0,08	4687
Kaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	0,28	1339
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	0,49	765
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	0,09	4166
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	0,28	1339
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	0,09	4166
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	0,28	1339
Bubara ( <i>Caranx</i> sp)	0,08	4687

Dengan demikian bila anak dengan berat badan rerata 15 kg mengkonsumsi daging ikan di atas sesuai dengan nilai MTI nya, maka belum berbahaya bagi kesehatan tubuh.

### Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan logam kebiruan yang lunak dan merupakan racun bagi tubuh manusia. Cd lebih mudah diakumulasi oleh tanaman. Cd yang terdapat dalam tubuh manusia sebagian besar diperoleh melalui saluran pernapasan dan pencernaan dan dapat terakumulasi pada ginjal sehingga ginjal mengalami disfungsi. Sumber kontaminasi Cd di lingkungan akibat aktivitas manusia yaitu penggunaan bahan bakar, kebakaran hutan, limbah industri serta penggunaan pupuk dan pestisida (Agustina, 2010; Widaningrum, et al., 2007; Dewi, 2011).

Keberadaan cadmium di lingkungan relatif kecil, namun pengaruh nya terhadap kehidupan sangat buruk, yang dapat menyebabkan keracunan akut dan kronik. Cadmium dapat beraksi dengan ligan-ligan dalam tubuh yang akan memperlambat atau mengganggu kerja enzim atau bahkan dapat dilepaskan oleh ligan sehingga terakumulasi dalam tubuh

Dari Tabel 3 di atas dapat dilihat kadar Cd dalam daging ikan berkisar 0,07-0,36 ppm dengan rerata 0,181 ppm. Kadar tertinggi dijumpai dalam daging ikan Totodi (*Synodus foetens*) yakni 0,36 ppm dan terendah dalam daging ikan Ngafi (*Stolephorus indicus*) yakni 0,07 ppm. Data ini menunjukkan bahwa ikan Totodi

(*Synodus foetens*) mengakumulasi Cd lebih banyak dibandingkan dengan ikan lainnya. Kadar Cd ini juga bervariasi dalam setiap jenis ikan. Kadar Cd pada ikan di Teluk Kao ini relatif lebih rendah dari nilai ambang batas untuk makanan hasil laut yang ditetapkan oleh WHO, Malaysia dan SNI, namun lebih tinggi dibandingkan dengan kriteria yang ditetapkan oleh EC dan FAO (Tabel 8).

Hasil perhitungan *Maximum Weekly Intake* untuk Cd disajikan pada Tabel 9. Dari tabel tersebut dapat dilihat kadar Cd maksimum yang diperbolehkan dikonsumsi untuk orang dewasa dengan berat 50 kg adalah 0,350 mg.

Kadar tertinggi Cd dijumpai pada ikan Totodi (*Synodus foetens*) yakni 0,36 ppm atau 0,36 mg/kg, artinya dalam 1 kg daging ikan Totodi (*Synodus foetens*) terdapat 0,36 mg Cd. Konsumsi ikan orang dewasa Indonesia per orang per tahun adalah 47 kg (0,979 kg per minggu) dengan berat badan, misalnya untuk Indonesia rerata 50 kg. Maka asupan Cd per minggu ke dalam tubuh adalah  $(0,979:1) \times 0,36 \text{ mg} = 0,352 \text{ mg}$ . Kadar ini lebih tinggi dari MWI Cd untuk orang dewasa dengan berat badan 50 kg per minggu yakni 0,350 mg. Nilai 0,350 mg ini hanya akan tercapai apabila orang memakan daging ikan Totodi sebanyak  $(0,350 : 0,36) \times 1 \text{ kg} = 0,972 \text{ kg}$  atau 972 g per minggu untuk orang dengan berat badan 50 kg. Dengan cara yang sama diperoleh nilai MTI untuk masing-masing ikan (Tabel 10).

Tabel 8. Perbandingan Kadar Cd dalam daging Ikan dengan kriteria dari beberapa negara

Table 8. Comparison of Cd concentration in meat fish in Kao Bay with criteria from several countries

Lokasi	Cd, ppm
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	0,13
Gaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	0,19
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	0,36
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	0,22
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	0,15
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	0,07
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	0,15
Bubara ( <i>Caranx</i> sp)	0,18
Nilai Ambang Batas	
EC (2001)*	0,05-0,10
WHO (1985)*	2
FAO (2003)*	0,05
MFA (1993)*	1
SNI (2009)	0,1-0,5

Ket : \* Hasyim et al., (2014)

Tabel 9. Asupan maksimum Cd yang diperkenankan per minggu

Table 9. Tolerable maximum weekly intake of Cd

Jenis Logam	PTWI ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ b.b) per minggu*	MWI (orang dewasa, 50 kg) per Minggu
Cd	7	0,350 mg
Cd	7	MWI (anak-anak, 15 kg) per Minggu 0,105 mg

Tabel 10. Asupan maksimum Cd yang diperkenankan per minggu untuk orang dewasa dengan Berat badan 50 kg

Table 10. Tolerable maximum weekly intake of Cd for adults with 50 kg body weight

Jenis Ikan	Cd, mg/kg = Ct	MTI = MWI/Ct (g), MWI Cd: 0,350 mg
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	0,13	2692
Kaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	0,19	1842
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	0,36	972
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	0,22	1590
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	0,15	2333
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	0,07	5000
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	0,15	2333
Bubara( <i>Caranx</i> sp)	0,18	1944

Tabel 11. Asupan maksimum Cd per minggu yang diperkenankan untuk anak dengan berat badan 15 kg

Table 11. Tolerable maximum weekly intake of Pb for children with 15 kg body weight

Jenis Ikan	Cd, mg/kg = Ct	MTI = MWI/Ct (g), MWI Cd: 0,105 mg
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	0,13	807
Kaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	0,19	552
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	0,36	291
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	0,22	477
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	0,15	700
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	0,07	1500
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	0,15	700
Bubara( <i>Caranx</i> sp)	0,18	583

Dengan demikian bila orang dewasa dengan berat badan rerata 50 kg mengkonsumsi daging ikan di atas sesuai dengan nilai MTI nya, maka belum berbahaya bagi kesehatan tubuh.

Konsumsi ikan anak dengan berat badan 15 kg per minggu adalah 0,326 kg, maka asupan Cd ke tubuhnya adalah  $(0,326:1) \times 0,36 \text{ mg} = 0,117 \text{ mg}$ . Kadar ini lebih tinggi dari kadar maksimum yang diperkenankan yakni 0,105 mg. Kadar 0,105 ini akan diperoleh bila anak mengkonsumsi ikan Totodi sebanyak  $(0,105:0,36) \times 1 \text{ kg} = 0,291 \text{ kg}$  atau 291 g. Dengan cara yang sama didapat MTI untuk jenis ikan lainnya (Tabel 11).

Dengan demikian bila anak dengan berat badan rerata 15 kg mengkonsumsi daging ikan di atas sesuai dengan nilai MTI nya, maka belum berbahaya bagi kesehatan tubuh.

### Zincum (Zn)

Seng (Zn) merupakan nutrisi esensial manusia, sebuah kofaktor untuk lebih dari 300 enzim, dan

ditemukan dalam semua jaringan. Pada manusia, konsentrasi tertinggi seng ditemukan pada tulang, otot, prostat, hati dan ginjal (EPA, 2005). Zn dalam dosis tinggi dapat berbahaya dan bersifat toksik. Absorpsi berlebih mampu menekan absorpsi Co dan Fe. Zn memiliki fungsi untuk mengkatalisis kerja enzim, memiliki peran untuk struktur protein dan membran sel, juga untuk mengatur ekspresi gen yaitu bertindak sebagai faktor transkripsi (Nurhayati et al., 2014). Myers et al., (2012) menyatakan bahwa sinyal seng yang tidak berfungsi berasosiasi dengan sejumlah penyakit kronis yaitu kanker, kardiovaskular, Alzheimer, dan diabetes. Seng mempunyai peranan penting dalam sintesis, sekresi, dan aksi insulin.

Dari Tabel 3 di atas dapat dilihat kadar Zn tertinggi dijumpai pada daging Totodi (*Synodus foetens*) yakni 42,55 ppm dan terendah pada daging ikan Tatameri (*Gazza minuta*) yakni 13,76 ppm. Data di atas menunjukkan bahwa Totodi (*Synodus foetens*) mengakumulasi Zn lebih banyak dibandingkan dengan yang lainnya.

Seperti halnya logam berat lainnya, kadar Zn pada ikan juga terlihat bervariasi, jenis dan lokasi yang berbeda cenderung memiliki kadar Zn yang berbeda pula. Kadar Zn dalam ikan di Teluk Kao ini masih lebih rendah dari nilai ambang batas yang aman untuk makanan hasil laut yang ditetapkan beberapa negara kecuali Taiwan dan Tasmanian Food and-Drug dan EPA (1973) (Tabel 12).

Hasil perhitungan *Maximum Weekly Intake* untuk Zn disajikan pada Tabel 13. *Maximum Weekly Intake* adalah asupan maksimum kontaminan logam berat yang diperbolehkan masuk ke tubuh selama satu minggu. Dari Tabel 13 dapat dilihat kadar Zn maksimum yang diperbolehkan dikonsumsi untuk orang dewasa dengan berat 50 kg adalah 350 mg. Kadar tertinggi Zn dijumpai pada ikan Totodi (*Synodus foetens*) yakni 42,55 ppm atau 42,55 mg/kg, artinya dalam 1 kg daging ikan Totodi (*Synodus foetens*) terdapat 42,55 mg Zn.

Febrianto (2018) menyatakan konsumsi ikan orang dewasa Indonesia per orang per tahun adalah 47 kg (0,979 kg per minggu). Maka asupan Pb per minggu ke dalam tubuh adalah  $(0,979:1) \times 42,55 \text{ mg} = 41,656 \text{ mg}$ .

Kadar ini lebih rendah dari asupan maksimum per minggu (MWI) Zn untuk orang dewasa dengan berat badan 50 kg per minggu yakni 350 mg. Nilai MTI (*maximum Tolerable Intake*) didapat dengan membagi nilai MWI (350) mg dengan kadar Zn yang terdapat dalam 1 kg ikan yakni 42,55 mg sebagai berikut:  $(350 : 42,55) \times 1 \text{ kg} = 8,225 \text{ kg}$  atau 8255 g per minggu untuk orang dengan berat badan 50 kg. Dengan cara yang sama diperoleh nilai MTI untuk ikan yang lain (Tabel 14).

Tabel 12. Perbandingan kadar Zn pada daging Ikan di Teluk Kao dengan kriteria dari beberapa negara

Table 12. Comparison of Zn in fish meat in Kao Bay with criteria of several centuries

Jenis	Kadar, ppm
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	21,37
Gaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	41,84
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	42,55
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	16,0
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	14,64
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	31,79
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	13,76
Bubara ( <i>Caranx sp</i> )	16,00
Nilai Ambang Batas	
Ditjend POM DepKes RI (Blesstino et al., 2017)	100
Bulgarian Food Codes (Peycheva et al., 2017)	50
WHO (1989)*	150
FAO (1992)*	30-100
MFR (1985)*	100
Tasmanian Food and-Drug dan EPA (1973)**	40
Taiwan (Chen et al., 2001)	4-7,28
England (Moselhy et al., 2014)	50

\*Bashir et al. (2012), \*\*Hadinoto et al. (2014)

Tabel 13. Asupan maksimum Zn yang diperkenankan per minggu

Table 13. Tolerable maximum weekly intake of Zn

Jenis Logam	PTWI ( $\mu\text{g}/\text{kg b.b}$ ) per minggu	MWI (orang dewasa, 50 kg) per Minggu
Zn	7000	350 mg
Zn	7000	MWI (anak-anak, 15 kg) per Minggu 105 mg

Dengan demikian bila orang dewasa dengan berat badan rerata 50 kg mengkonsumsi daging ikan sesuai dengan nilai MTI nya, maka belum berbahaya bagi kesehatan tubuh.

Dari Tabel 13 di atas dapat dilihat kadar Zn maksimum yang diperbolehkan dikonsumsi untuk anak dengan berat badan 15 kg adalah 105 mg. Kadar tertinggi Zn dijumpai pada ikan Totodi (*Synodus*



*foetens*) yakni 42,55 ppm atau 42,55 mg/kg, artinya dalam 1 kg daging ikan Totodi terdapat 42,55 mg Zn. Bila konsumsi ikan anak-anak dengan berat badan 15 kg rerata per minggu sepertiganya orang dewasa yakni 0,326 kg, maka asupan Pb nya ke dalam tubuh adalah  $(0,326:1) \times 42,55 \text{ mg} = 13,871 \text{ mg}$ .

Kadar ini lebih rendah dari MWI Zn untuk anak-anak dengan berat badan 15 kg per minggu yakni 105 mg.

Nilai MTI (*maximum Tolerable Intake*) didapat dengan membagi nilai MWI (105) mg dengan kadar Zn yang terdapat dalam 1 kg ikan yakni 42,55 mg sebagai berikut:  $(105 : 42,55) \times 1 \text{ kg} = 2,467 \text{ kg}$  atau 2467 g per minggu untuk orang dengan berat badan 15 kg. Dengan cara yang sama diperoleh nilai MTI untuk ikan yang lain (Tabel 15). Dengan demikian bila anak dengan berat badan rerata 15 kg mengkonsumsi daging ikan dan kerang di atas sesuai dengan nilai MTI nya, maka belum berbahaya bagi kesehatan tubuh.

Tabel 14. Asupan maksimum Zn per minggu yang diperbolehkan untuk orang dewasa dengan berat badan 50 kg  
 Table 14. *Tolerable maximum weekly Intake of Zn for adults with 50 kg bodyweight*

Jenis Ikan	Zn, mg/kg = Ct	MTI = MWI/Ct (g), MWI Zn: 350 mg
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	21,37	16378
Kaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	41,84	8365
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	42,55	8255
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	16,0	21875
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	14,64	23907
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	31,79	11009
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	13,76	25436
Bubara( <i>Caranx sp</i> )	16,00	21875

Tabel 15. Asupan maksimum Zn per minggu yang diperbolehkan untuk anak dengan berat badan 15 kg  
 Table 15. *Tolerable maximumweekly intake of Zn for childrem with 15 kg body weight*

Jenis Ikan	Zn, mg/kg = Ct	MTI = MWI/Ct (g), MWI Zn: 105 mg
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	21,37	4913
Kaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	41,84	2509
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	42,55	2647
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	16,0	6562
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	14,64	7172
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	31,79	3302
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	13,76	7630
Bubara( <i>Caranx sp</i> )	16,00	6562

### Nikel

Nikel (Ni) adalah logam esensial dan biasanya terdapat di lingkungan pada kadar yyang sangat kecil. Namun belum ada laporan dampak kekurangan Ni pada manusia (Barceloux, 1999). Ni diketahui bersifat karsinogenik (Salnikow et al., 2005) . Selain itu, fibrosis, tumor, radang paru-paru dan emfisema terjadi juga disebabkan oleh Ni (Forti et al., 2011).

Dari Tabel 3 di atas dapat dilihat kadar Ni dalam daging ikan tertinggi dijumpai dalam daging ikan tatameri (*Gazza minuta*) yakni 1,18 ppm dan terendah dalam daging kaca (*Lutjanus argentimaculatus*) yakni 0,28 ppm. Data ini menunjukkan bahwa ikan tatameri (*Gazza minuta*) mengakumulasi Ni lebih tinggi dibandingkan dengan ikan lainnya. Kadar Ni pada ikan di atas juga bervariasi sesuai dengan jenis.

Pada Tabel 16 berikut dapat dilihat perbandingan kadar Ni pada ikan di Teluk Kao dengan baku mutu dari beberapa negara. Dari tabel tersebut terlihat kadar Ni dalam ikan di Teluk Kao ini masih lebih rendah dari nilai ambang batas yang aman untuk makanan hasil laut yang ditetapkan beberapa negara. Hasil perhitungan *Maximum Weekly Intake* untuk Ni disajikan pada Tabel 17. Dari tabel di atas dapat dilihat kadar Ni maksimum yang diperbolehkan dikonsumsi untuk orang dewasa dengan berat 50 kg berturut-turut adalah 1,75 mg. Kadar tertinggi Ni dijumpai pada ikan tatameri (*Gazza minuta*) yakni 1,18 ppm atau 1,18 mg/kg, artinya dalam 1 kg daging ikan tatameri (*Gazza minuta*) terdapat 1,18 mg Ni. Konsumsi ikan orang dewasa Indonesia per orang per tahun adalah 47 kg (0,979 kg per minggu). Maka asupan Ni per minggu ke dalam tubuh adalah  $(0,979:1) \times 1,18 \text{ mg} = 1,155 \text{ mg}$ .

Kadar ini lebih rendah dari MWI Ni untuk orang dewasa dengan berat badan 50 kg per minggu yakni 1,75 mg. Nilai 1,75 mg ini hanya akan tercapai apabila orang memakan daging tatameri (*Gazza minuta*) sebanyak  $(1,75 : 1,18) \times 1 \text{ kg} = 1,483 \text{ kg}$  atau 1483 g per minggu untuk orang dengan berat badan 50 kg. Pada tabel berikut dapat dilihat *Maximum Tolerable Intake* (MTI) untuk masing-masing ikan (Tabel 18). Dengan demikian bila orang dewasa dengan berat badan rerata 50 kg mengkonsumsi daging ikan di atas sesuai dengan nilai MTI nya, maka belum berbahaya bagi kesehatan tubuh.

Dari Tabel 17 dapat dilihat kadar Ni yang diperbolehkan dikonsumsi untuk anak dengan berat badan 15 kg adalah 0,525 mg. Kadar Ni tertinggi pada ikan dijumpai pada ikan tatameri yakni 1,18 ppm atau 1,18 mg per kg, artinya dalam 1 kg daging ikan tatameri terdapat 1,18 mg Ni. Kadar Ni yang diperkenankan masuk per minggu ke tubuh anak

dengan berat badan 15 kg adalah 0,525 mg. Kadar ini akan tercapai bila anak mengkonsumsi daging ikan tatameri sebanyak  $(0,525 : 1,18) \times 1 \text{ kg} = 0,4449 \text{ kg}$  atau 444 g. Bila konsumsi anak sepertiganya orang dewasa yakni 0,326 kg, maka asupan Ni ke tubuhnya adalah  $(0,326 : 1) \times 1,18 \text{ mg} = 0,384 \text{ mg}$ . Kadar ini lebih rendah dari kadar yang diperbolehkan untuk anak dengan berat badan 15 kg yakni 0,525 mg. Nilai 0,525 mg ini akan diperoleh bila anak mengkonsumsi ikan sebanyak  $(0,525 : 1,18) \times 1 \text{ kg} = 444,915 \text{ g}$ . Dengan cara yang sama didapat MTI untuk jenis ikan lainnya (Tabel 18).

Dengan demikian bila anak dengan berat badan rerata 15 kg mengkonsumsi daging ikan dan kerang di atas sesuai dengan nilai MTI nya, maka belum berbahaya bagi kesehatan tubuh.

Tabel 16. Perbandingan kadar Ni pada daging Ikan di Teluk Kao dengan kriteria dari beberapa negara

Table 16. Comparison of Ni concentration in meat fishes in Kao Bay with criteria of several countries

Jenis	Kadar, ppm
Suo ( <i>Sphyaena jello</i> )	0,08
Gaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	0,28
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	0,49
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	0,09
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	0,28
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	0,09
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	0,28
Bubara ( <i>Caranx sp</i> )	0,08
Nilai Ambang Batas	
Bulgharian Food Codex (Peycheva et al., 2016)	0,5
USFDA (Javed et al., 2013)	70
WHO (1989 dalam Kumar et al., 2012)	0,5-1,0
FAO/WHO (1984, 2011 dalam Shovon et al., 2017)	80
Canadian Food Standard (Papagiannis et al., 2004)	1,0

Tabel 17. Asupan maksimum Ni yang diperkenankan per minggu

Table 17. Tolerable maximum weekly intake of Ni

Jenis Logam	PTWI ( $\mu\text{g/kg b.b}$ ) per minggu	MWI (orang dewasa, 50 kg) per Minggu
Ni	35	1,75 mg
Ni	35	MWI (anak-anak, 15 kg) per Minggu 0,525 mg

Tabel 18. Asupan maksimum Ni per minggu yang diperbolehkan untuk orang dewasa dengan berat badan 50 kg  
 Table 18. Tolerable maximum weekly Intake of Ni for adults with 50 body weight

Jenis Ikan	Ni, mg/kg = Ct	MTI = MWI/Ct (g), MWI Ni: 1,75 mg
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	0,33	5303
Kaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	0,28	6250
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	0,60	2916
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	0,47	3723
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	0,83	2108
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	0,81	2160
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	1,18	1483
Bubara( <i>Caranx</i> sp)	1,13	1548

Tabel 19. Asupan maksimum Ni per minggu yang diperbolehkan untuk anak dengan berat badan 15 kg  
 Table 19. Tolerable maximum weekly intake of Ni for children with 15 kg body weight

Jenis Ikan	Ni, mg/kg = Ct	MTI = MWI/Ct (g), MWI Ni: 0,525 mg
Suo ( <i>Sphyraena jello</i> )	0,33	1590
Kaca ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	0,28	1875
Totodi ( <i>Synodus foetens</i> )	0,60	875
Gurara ( <i>Nemipterus japonicus</i> )	0,47	1117
Biji Nangka ( <i>Upeneus vittatus</i> )	0,83	632
Ngafi ( <i>Stolephorus indicus</i> )	0,81	648,148
Tatameri ( <i>Gazza minuta</i> )	1,18	444
Bubara( <i>Caranx</i> sp)	1,13	464

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan kadar Pb, Cd, Zn dan Ni dalam setiap jenis ikan. Perbedaan kadar ini dapat disebabkan oleh perbedaan lingkungan perairan pada saat penelitian, jenis spesies dan kelamin, panjang, berat, dan umur ikan (Nady et al., 1984)(Grieb et al., 1990)(Ahmad et al., 2015). Pola akumulasi logam berat dalam tubuh organisme laut tidak hanya dipengaruhi oleh ukuran tubuh saja, faktor eksternal seperti pilihan makanan dan faktor internal seperti kecepatan metabolisme juga mempengaruhi akumulasi logam berat (Louma et al., 2008). Faktor makanan pada ikan laut sangat menentukan akumulasi logam berat dalam daging (Velusamy et al., 2016).

Ikan yang terpapar senyawa beracun namun tidak mati, organ tubuhnya dapat mengalami kerusakan jaringan. Resiko yang dapat terjadi antara lain adalah ikan tidak menghasilkan keturunan dan walaupun menghasilkan keturunan akan mengalami cacat fisik, misalnya pergerakannya tidak normal/disorientasi. Logam berat yang masuk melalui makan, selanjutnya akan didistribusikan oleh darah ke organ-organ tubuh lainnya seperti daging dan tulang dan ada pula yang masuk ke dalam hati untuk kemudian diekskresikan (Houser et al., 2012).

Kiranya hal-hal tersebut di ataslah yang menyebabkan adanya perbedaan kadar logam berat pada setiap jenis ikan yang hidup di Teluk Kao.

## KESIMPULAN

Kadar Pb, Cd, Zn dan Ni pada ikan masih sesuai dengan nilai ambang batas yang ditetapkan oleh beberapa negara sehingga belum berbahaya bila dikonsumsi, asal sesuai dengan MTI nya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah, Provinsi Maluku Utara (2015), yang telah memberikan dana dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya juga di sampaikan kepada Bp. Fasmu Ahmad. S.Pi (alm) mantan Kepala Stasiun Penelitian P2O-LIPI Ternate dan Prof. Dr. Muhajir. MSi dari Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UNHAIR yang telah banyak berpartisipasi dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I.N., Noh, M.F.M., Mahiyuddin, W.R.W., H. Jaafar, H., Ishak, I., Azmi, W.N.F.W., Veloo, Y., & Hairi, M.H. (2015). Mercury Levels in marine Fish Commonly Consumed in Peninsular Malaysia. *Enviro Sci Pollut Res Int*; 22(5): 3672-3686.
- Agustina, T. (2010). Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan dan Dampaknya pada Kesehatan. *Teknubuga*, 2 (2): hal. 53–65.
- Barceloux, D. G. (1999). Nickel. *Clin. Toxicol.* 37: 239.

- Bashir, A.F., Othman, M.S., & Mazlan, A.G. (2012). Evaluation of Trace Metal Levels in Tissues of Two Commercial Fish Species in Kapar and Mersing Coastal Waters, Peninsular Malaysia. Hindawi Publishing Corporation Journal of Environmental and Public Health Volume 2012, Article ID 352309, 10 pages.
- Blesstino, G.A., Maddusa, S.S., & Joseph, W.B.S.J. (2017). Analisis Kandungan (Zn) dalam Air, Sedimen, Kerang dan Ikan di Sungai Tondano Tahun 2017. Makalah: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sam Ratulangi: 8 hal.
- Cahyani, N., Batu, DTFL., & Sulistiono. (2016). Kandungan Logam Berat Pb, Hg, Cd dan Cu Pada Daging Ikan Rejung (*Silago sihama*) di Estuari Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *JPHPI*, Vol 19 No 5: 267-276.
- Chen, C.T., & Chen, M.H. (2001). Heavy Metal Concentrations in Nine Species of Fishes Caught in Coastal Waters off Ann-Ping, S.W. Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, Vol. 9, No. 2, Pages 107-114
- Dewi. (2011). *Analisis Cemaran Logam Timbal (Pb), Tembaga (Cu), dan Kadmium (Cd) Dalam Tepung Gandum Secara Spektrofotometri Serapan Atom*. Skripsi. Jakarta: FMIPA Program Studi Farmasi Universitas Indonesia.
- Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.C., & Ekwurugwu, J.N. (2007). Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects. *International Journal of Physical Sciences*, (2), 112-118.
- Edward. (2017). Prediksi Kualitas Sedimen di Teluk Koa, Halmahera dengan Pendekatan Analisis Indeks. *Prosiding Semnaskan UGM XV*, Yogyakarta: 252- 261.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2005). *Toxicological Review of Zinc and Compound*. Washington (US) : Environmental Protection Agency.
- Febrianto. F. (2018). Kondisi Terumbu Karang Indonesia Jelek, KKP: Segera Kami Pulihkan. Reporter: Fajar Febrianto, Editor: Kodrat Setiawan. Minggu, 3 Juni 2018 13: 44 WIB (<https://bisnis.tempo.co/read/1094997/kkp-konsumsi-ikan-ditargetkan-508-kg-per-kapita-pa-pa-2018>).
- Forti, E., Salovaara, S., Cetin, Y., Bulgheroni, A., Tessadri, R., Jennings, P., & Prieto, P. (2011). In Vitro Evaluation of the Toxicity Induced by Nickel Soluble and Particulate Forms in Human Airway Epithelial Cells. *Toxicology in Vitro*. 25(2): 454-461.
- Grieb, M.T., Driscoll, C.T., Gloss, S.V., Schofield, C.L., Bowie, G.L., & Porcella, D.B. (1990). Factor Affecting Mercury Accumulation in Fish in The Upper Michigan Peninsula. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol 9: 919-930.
- Hutagalung, H., Riyono, S.H., & Setiapermana, D. (1997). *Metode Analisis Air Laut, Sedimen, dan Biota*. Buku 2. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi. LIPI. 81 hlm.
- Hauser-Davis, R.A., Bastos, F.F., de Oliveira, T. F., Zioli, R.L., & de Campos, R.C. (2012). Fish bile as a biomarker for metal exposure. *Marine Pollution Bulletin*, (64): 1589-1595.
- Hidayah, A.M., Purwanto, M.A., & Soeprbowati, T.R. (2014). Biokonsentrasi Faktor Logam Berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawa Pening. *BIOMA* Vol. 16, No. 1, Hal. 1-9.
- Hashim, R., Song, T.H., Muslim, N.Z Md & Yen, T.P. (2014). Determination of Heavy Metal Levels in Fishes from the Lower Reach of the Kelantan River, Kelantan, Malaysia *Tropical Life Sciences Research*, 25(2), 21–39.
- Hadinoto, S., & Dewi, N.M.S. (2014). Analisis kandungan logam berat dari beberapa jenis ikan hasil budidaya kerambah sebagai sumber olahan pangan. *Majalah Biam* Vol. 10, No. 1, Hal. 8-15.
- Javed., Mehjbeen., & Usmani, N. (2013). Assessment of heavy metal (Cu, Ni, Fe, Co, Mn, Cr, Zn) pollution in effluent dominated rivulet water and their effect on glycogen metabolism and histology of *Mastacembelus armatus* Springer Plus 2013(2): 390.
- Kumar, B., Sajwan, K. S., & Mukherjee, D. P. (2012). Distribution of Heavy Metals in Valuable Coastal Fishes from North East Coast of India. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* (12): 81-88.
- Kuras, R., Wasowicz, W., & Janasik, B. (2017). Assessment of Mercury Intake from Fish Meals Based on Intervention Research in the Polish Subpopulation. *Biol Trace Elem Res* (179): 23–31.
- Lihan, T., Ismail, N., Mustapha, M.A., & Rahim, S.A. (2006). Kandungan Logam Berat dalam Makanan Laut dan Kadar Pengambilannya oleh Penduduk di Tanjung Karang, Selangor. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* Vol 10 No 2 : 197-204.
- Luoma, S. N., & Rainbow, P.S. (2008). *Metal contamination in aquatic environment: science and lateral management*. Cambridge University Press : 126 p.
- Myers, S.A., Nield, A., & Myers, M. (2012). Zinc transporters, mechanisms of action and therapeutic utility: implications for type 2 diabetes mellitus. *Journal of Nutrition and Metabolism*, Volume 2012:1-13. doi:10.1155/2012/173712.
- Moselhy-El. M.Kh., Othman, A.I., El-Azem, H. Abd., & El-Metwally, M.E.A. (2014). Bioaccumulation of

- heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Basic and Applied Science* 1: 97-105.
- Nady-El Sayed-El, P. (1984). Bioaccumulation of Mercury in Some Coastal Marine Fishes from Alexandria Waters. Paper presented at FAO/ UNEP/WHO /IOC/IAEA Meeting in The Biochemical Cycle of Mercury in The Mediterranean. Siena, Italy 27-31 August 1984. FAO. Fish. Report (325) Suppl: 187 p.
- Nurhayati T., Nurjanah., & Zamzami, A.H. (2014). Komposisi mineral mikro dan logam berat pada ikan bandeng dari tambak Tanjung Pasir Kabupaten Tangerang. *Depik*, 3(3): 234-240.
- Papagiannis, I., Kagalou, I., Leonardos, J., Petridis, D., & Kalfakakou, V. (2004). Copper and zinc in four freshwater fish species from Lake Pamvotis (Greece). *Environ. Int.*, 30: 357-362.
- Purnomo, T., & Muchyiddin. (2016). Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik. *Neptunus*, Vol. 14, No. 1 : 68 – 77.
- Peycheva, K., Panayotova, V., & Stancheva, M. (2016). Assessment of human health risk for copper, arsenic, zinc, nickel, and mercury in marine fish species collected from Bulgarian black sea coast. *Int Jour of Fisheries and Aquatic Studies*; 4(5): 41-46.
- Salnikow, K., & Kasprzak, K. S. (2005). Ascorbate Depletion: A Critical Step in Nickel Carcinogenesis? *Environmental Health Perspectives*. 113(5): 577–584.
- Shovon, M.N.H., Majumdar, B.C., & Rahman Z. (2017). Heavy Metals (Lead, Cadmium and Nickel) Concentration in Different Organs of Three Commonly Consumed Fishes in Bangladesh. Fisheries and Aqua culture. *Fish Aqua J, an open access journal*. 5 p.
- SNI (Standar Nasional Indonesia). 2009. *Batas Maksimum Cemar Logam Berat dalam pangan* : 25 hal.
- Suyanto, A., Kusmiyati, S., Retnaningsih, Ch. (2010). Residu Logam Berat Ikan dari Perairan Tercemar di Pantai Utara Jawa Tengah (Residual Heavy Metals in Fish from Contaminated Water in North Coast of Central Java) *Jurnal Pangan dan Gizi* Vol 01 No. 02 :1-9.
- Turkmen, M., Turkmen, A., & Tepe, Y. (2008). Metal contaminations in five species from, Marmara, Aegean, and Mediteranean Sea. Turkey. *Journal Chil Chem Soc* 53 (1): 1435-1439.
- Velusamy, A., Kumar, P.S., Ram, A., & Chinnadurai, S. (2016). Bioaccumulation of heavy metals in commercially important marine fishes from Mumbai Harbor, India. *Marine Pollution Bulletin*, 81: 218-224.
- Widaningrum., Miskiyah., & Suismono. (2007). Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* (3): hal. 16–27.