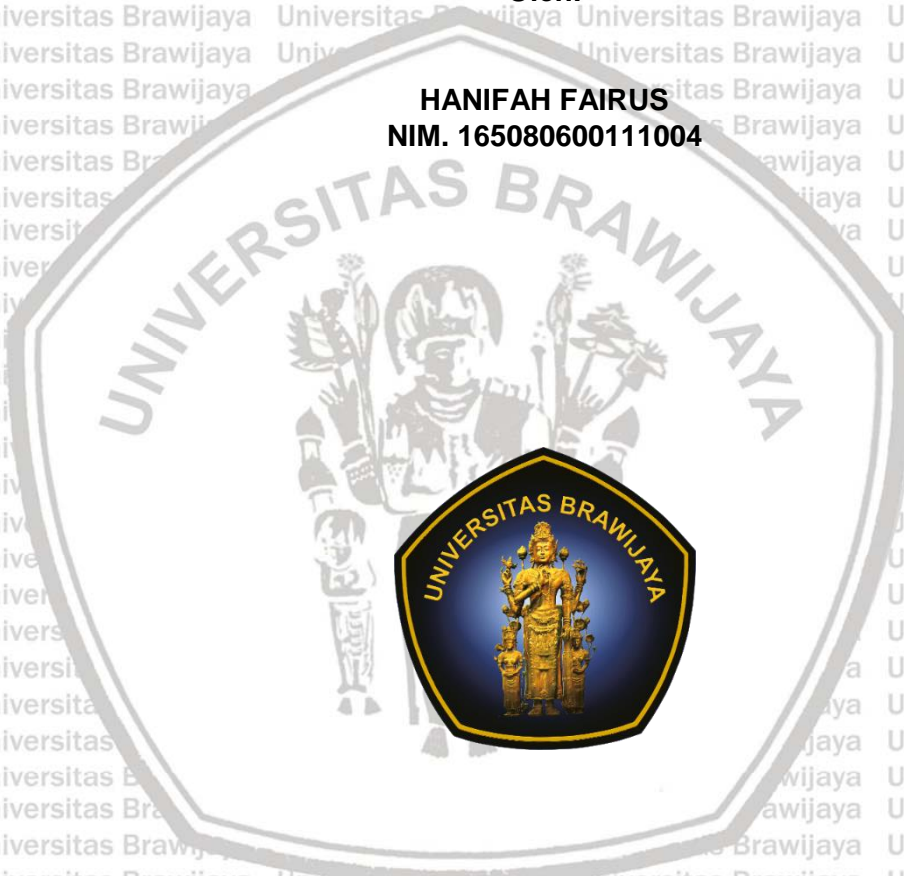


REVIEW: BIOAKUMULASI LOGAM BERAT PADA BIVALVIA

SKRIPSI

Oleh:

HANIFAH FAIRUS
NIM. 165080600111004



PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN
KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2021



REVIEW: BIOAKUMULASI LOGAM BERAT PADA BIVALVIA

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan
di Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya**

Oleh:

**HANIFAH FAIRUS
NIM. 165080600111004**



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN
KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2021**



SKRIPSI

REVIEW: BIOAKUMULASI LOGAM BERAT PADA BIVALVIA

Oleh:

HANIFAH FAIRUS
NIM. 165080600111004

Telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal 16 Juni 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Pembimbing 1

Menyetujui,
Dosen Pembimbing 2



Rarasrum D.K, S.Kel.,M.Si., M.Sc
NIP. 201304 860915 2 001

Defri Yona, S.Pi, M.Sc.stud.,D.Sc
NIP. 19781229 200312 2 002

Tanggal: 6/24/2021

Tanggal: 6/27/2021

Mengetahui:
Ketua Jurusan
Jurusan PSPK



Dr. Eng Abu Bakar Sambah, S.Pi., M.T
NIP. 19780717 200501 1 002

Tanggal: 6/27/2021



PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hanifah Fairus

NIM : 165080600111004

Judul Skripsi : *Review*: Bioakumulasi Logam Berat Pada Bivalvia

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan *Review* sebagai pengganti skripsi ini berdasarkan hasil kajian, analisis, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri yang berasal dari telaah berbagai sumber pustaka. Sedangkan baik untuk naskah, tabel, gambar maupun ilustrasi lainnya yang tercantum sebagai bagian dari skripsi ini yang berasal dari sumber pustaka atau dari karya/ pendapat/ penelitian dari orang lain, maka saya telah mencantumkan sumber yang jelas dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Brawijaya, Malang. Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa adanya paksaan dari pihak manapun.

Malang,

Hanifah Fairus

NIM.165080600111004

IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul : *Review*. Bioakumulasi Logam Berat Pada Bivalvia

Nama Mahasiswa : Hanifah Fairus

NIM : 165080600111004

Program Studi : Ilmu Kelautan

PENGUJI PEMBIMBING:

Pembimbing 1 : Rarasrum Dyah Kasitowati, S.Kel., M.Si., M.Sc

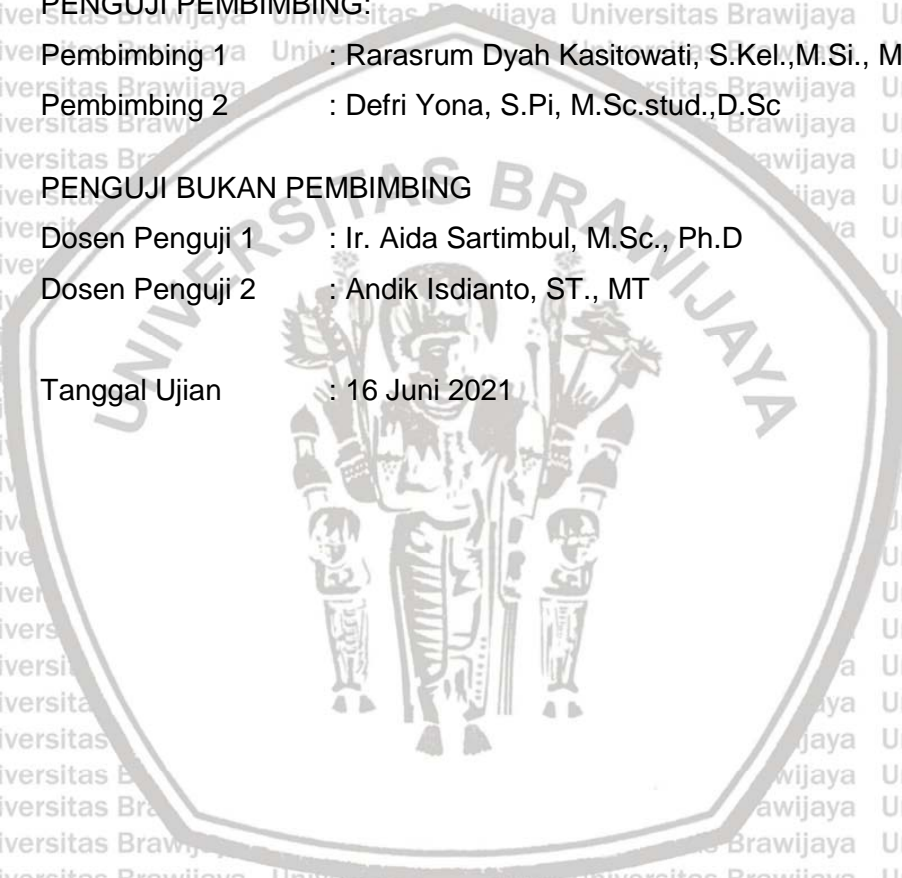
Pembimbing 2 : Defri Yona, S.Pi, M.Sc.stud., D.Sc

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING

Dosen Penguji 1 : Ir. Aida Sartimbul, M.Sc., Ph.D

Dosen Penguji 2 : Andik Isdianto, ST., MT

Tanggal Ujian : 16 Juni 2021



RINGKASAN

HANIFAH FAIRUS. *Review.* Bioakumulasi Logam Berat Pada Bivalvia (di bawah bimbingan **Rarasrum Dyah Kasitowati** dan **Defri Yona**)

Logam berat merupakan polutan yang dapat bersumber dari alam maupun kegiatan manusia. Sumber yang memberikan banyak masukan logam berat adalah limbah antropogenik. Bivalvia memiliki potensi yang tinggi terhadap bioakumulasi logam berat sebab sifatnya yang *sessile* dan memiliki sistem *filter feeder*. Logam berat yang masuk dalam tubuh bivalvia selama masa hidupnya akan terakumulasi di dalam organ yang dimilikinya. Logam berat dalam bivalvia dapat berpindah melalui rantai makanan sehingga dapat menjadi ancaman bagi kesehatan manusia sebagai predator puncak yang mengonsumsi bivalvia. Berbagai gangguan kesehatan dapat ditimbulkan oleh toksisitas logam berat sehingga perlu dilakukan *review* untuk mengidentifikasi metode penelitian dan memaparkan bioakumulasi logam berat pada bivalvia. Metode yang digunakan dalam *review* artikel ini adalah *Systematic Literature Review* dan metode ini memiliki tujuan untuk menyajikan daftar selengkap mungkin dari semua studi yang dipublikasikan serta berkaitan dengan bidang tertentu.

Metode yang digunakan dalam penelitian bioakumulasi logam berat memiliki beberapa tahapan, antara lain pengumpulan sampel, preservasi sampel, preparasi sampel, dan analisis dengan instrumen. Terdapat beberapa perbedaan dan kesamaan pada metode yang digunakan tiap artikel. Pengumpulan sampel dapat dilakukan secara langsung menggunakan tangan, menggunakan jaring nelayan secara tradisional, dan dapat pula membeli pada nelayan, pemilihan metode disesuaikan dengan kondisi masing-masing penelitian. Pada langkah preservasi, sampel dibersihkan dari kotoran dan disimpan pada suhu rendah hingga analisis selanjutnya. Tahapan preparasi sampel dapat diklasifikasikan menjadi 2 macam, yaitu destruksi kering dan destruksi basah. Destruksi kering menjadi metode yang paling sering digunakan. Langkah terakhir pada metode penelitian adalah analisis menggunakan instrumen. Instrumen yang digunakan cukup beragam dan disesuaikan dengan kebutuhan penelitian, namun instrumen yang kerap digunakan oleh peneliti adalah Flame-AAS sebab efektifitasnya.

Penelitian bioakumulasi logam berat pada bivalvia tersebar di seluruh penjuru dunia namun penelitian lebih terkonsentrasi pada Benua Asia, tepatnya di negara Indonesia, Malaysia, dan China. Lokasi penelitian yang dipilih merupakan daerah yang memiliki banyak aktifitas di sekitarnya sebagai sumber pencemaran logam berat. Beberapa penelitian meneliti konsentrasi logam berat spesifik pada organ bivalvia namun lebih banyak yang meneliti konsentrasi logam berat pada seluruh jaringan lunak bivalvia. Penelitian yang menganalisis konsentrasi logam berat spesifik pada organ memberikan informasi organ bivalvia yang paling akumulatif terhadap logam berat, yaitu *digestive gland* dan *gill*. Sedangkan penelitian yang menganalisis konsentrasi logam berat pada keseluruhan jaringan lunak memiliki tujuan untuk mengetahui keamanan konsumsi bivalvia yang diteliti, sebab bagian bivalvia yang dikonsumsi oleh masyarakat adalah seluruh jaringan lunaknya. Adanya konsentrasi logam berat dalam bivalvia tidak dapat diabaikan, terutama pada daerah dengan banyak aktifitas yang berpotensi menyumbangkan konsentrasi logam berat kedalam habitat bivalvia. Sehingga penting dilakukan *biomonitoring* agar masyarakat dapat terhindar dari dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh konsumsi logam berat dalam bivalvia.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat yang dilimpahkan-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan laporan

Skripsi dengan judul "Review: Bioakumulasi Logam Berat Pada Bivalvia" sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana kelautan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya.

Laporan skripsi ini diharapkan dapat menjadi pegangan dalam penelitian selanjutnya sekaligus menambah wawasan ataupun gambaran dan informasi mengenai bioakumulasi logam berat di dalam bivalvia. Penulis menyadari banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini. Oleh karena itu, saya berharap kepada berbagai pihak khususnya dosen pembimbing untuk memberikan masukan yang bersifat membangun untuk menjadikan laporan ini lebih baik.

Malang, 11 Mei 2021

Hanifah Fairus
NIM. 165080600111004

DAFTAR ISI

Halaman

PERNYATAAN ORISINALITAS..... i

IDENTITAS TIM PENGUJI..... ii

UCAPAN TERIMA KASIH..... iii

RINGKASAN..... iv

KATA PENGANTAR..... v

DAFTAR ISI..... vi

DAFTAR TABEL..... viii

DAFTAR GAMBAR..... ix

DAFTAR LAMPIRAN..... x

1. PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Tujuan..... 4

1. METODE *REVIEW*..... 5

1.1 *Literature Review*..... 5

1.2 Tahapan Pembuatan *Literature Review*..... 6

3. HASIL *REVIEW*..... 10

3.1 Pencemaran Logam Berat 10

3.1.1 Definisi dan Karakter Logam Berat 10

3.1.2 Sifat Logam Berat..... 12

3.1.3 Sumber Logam Berat..... 13

3.1.4 Dampak Logam Berat..... 14

3.2 Metode Penelitian Bioakumulasi Logam Berat pada Bivalvia 20

3.2.1 Pengumpulan sampel kerang 21

3.2.2 Preservasi Sampel..... 22

3.2.3 Preparasi Sampel..... 23

3.2.4 Analisis Instrumen..... 25

3.3 Logam Berat Pada Bivalvia 28

3.3.1 Taksonomi dan Morfologi Bivalvia 28

3.3.2 Habitat dan Persebaran Bivalvia..... 30

3.3.3 Hubungan Bivalvia dengan Logam Berat..... 32

3.3.4 Bioakumulasi Logam Berat dalam Bivalvia..... 33

4. KESIMPULAN DAN SARAN..... 46



4.1 Kesimpulan 46
4.2 Saran 47

DAFTAR PUSTAKA..... 48

LAMPIRAN 58

Lampiran 1. Tabel Konsentrasi Logam Berat yang tidak melebihi ambang batas aman pada jaringan lunak (*soft tissue*) bivalvia..... 58
Lampiran 2. Tabel Konsentrasi Logam Berat pada spesifik organ bivalvia ... 59



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Hasil Pencarian Pustaka.....	9
Tabel 2. Ringkasan analytical performance dan karakteristik instrumen terpenting yang digunakan dalam analisis logam.....	26
Tabel 3. Konsentrasi Logam Berat yang melebihi ambang batas aman pada jaringan lunak (<i>soft tissue</i>) bivalvia.....	43



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Langkah - langkah review artikel.....	7
Gambar 2. Tabel Periodik.....	11
Gambar 3. Ilustrasi perilaku logam berat di lingkungan (Dokumen penulis).....	15
Gambar 4. Bagian - bagian bivalvia (FAO, 1998; Helm <i>et al.</i> , 2004).....	29
Gambar 5. Habitat Bivalvia (McLeod <i>et al.</i> , 2019).....	32
Gambar 6. Jenis logam berat yang diteliti dari tahun 2011-2020 (Dokumen penulis).....	34
Gambar 7. Sebaran Lokasi Penelitian Bioakumulasi Logam Berat Pada Bivalvia tahun 2011-2020 (Dokumen penulis).....	35
Gambar 8. Bagian Bivalvia yang diuji pada 30 artikel tahun 2008-2020 (Dokumen penulis).....	36



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Tabel Konsentrasi Logam Berat yang tidak melebihi ambang batas aman pada jaringan lunak (<i>soft tissue</i>) bivalvia.....	58
Lampiran 2. Tabel Konsentrasi Logam Berat pada spesifik organ bivalvia.....	59



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam berat sudah dikenal sebagai salah satu jenis polutan lingkungan yang paling umum dijumpai dalam perairan (Gabrielyan *et al.*, 2018; Mohiuddin *et al.*, 2011). Terdapatnya kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga masuk ke dalam tubuh organisme (Ghosh *et al.*, 2020; Muthu, 2017). Sumber logam berat diantaranya adalah limbah antropogenik (Choi *et al.*, 2007; Rajaram *et al.*, 2020), limbah perindustrian (Wang *et al.*, 2018; Weng & Wang, 2019), limbah pertambangan (Gabrielyan *et al.*, 2018; Ning *et al.*, 2011; Obasi & Akudinobi, 2020; Yi *et al.*, 2020), amunisi militer (Strehse & Maser, 2020), residu pembakaran kendaraan bermotor (Adamiec *et al.*, 2016; Pulles *et al.*, 2012), dan *oil spill* kapal (Zhang *et al.*, 2020). Banyaknya pemanfaatan logam berat baik sebagai bahan baku maupun media tambahan dalam berbagai jenis industri menghasilkan banyaknya limbah dan berakhir masuk ke dalam perairan (Dahuri, 2003; Haspullah *et al.*, 2018; Obasi & Akudinobi, 2020; Verma & Dwivedi, 2013).

Logam berat dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah tertentu untuk membantu proses metabolisme (Ansari *et al.*, 2004; Tasharrofi *et al.*, 2018). Berbeda dengan logam berat non esensial yang belum diketahui manfaatnya bagi tubuh serta memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dan bersifat persisten, sehingga hanya dengan konsentrasi yang kecil pun dapat menimbulkan masalah kesehatan (Rini *et al.*, 2014; Sall *et al.*, 2020; Suryono, 2016). Karena karakteristiknya yang stabil dan sulit terdegradasi, logam berat

yang sudah masuk ke dalam lingkungan akan menjadi polutan. Logam berat dapat terakumulasi ke dalam lingkungan dan biota seperti bivalvia (Abreo *et al.*, 2015; Permanawati *et al.*, 2013).

Bivalvia memiliki potensi resiko yang tinggi terhadap paparan logam berat sebab hidupnya *sessile* (menetap pada satu tempat, tidak banyak berpindah) dan memiliki sistem *filter feeder* (mencari makan dengan menyaring air di tempat tinggalnya) (Abreo *et al.*, 2015; Azhar *et al.*, 2012; Rajeswari & Sailaja, 2014).

Logam berat yang masuk ke dalam tubuh bivalvia selama masa hidupnya terakumulasi di dalam organ-organ bivalvia dan peristiwa ini disebut bioakumulasi. (Edward *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2017a; Suratno *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2020).

Penelitian bioakumulasi logam berat pada bivalvia telah banyak dilakukan di berbagai penjuru dunia baik Indonesia (Rayyan *et al.*, 2019; Yona *et al.*, 2016; Haryono *et al.*, 2017) maupun luar negeri (Liu *et al.*, 2017; Edward *et al.*, 2019; Zuykov *et al.*, 2013). Penelitian-penelitian tersebut menarget jenis-jenis bivalvia dan juga logam berat yang berbeda. Metode yang digunakan dalam penelitian bioakumulasi logam berat dalam bivalvia cukup bervariasi. Mulai dari cara mendapatkan sampel yang akan diuji, preparasi sampel, hingga analisis konsentrasi logam berat menggunakan instrumen yang beragam. Metode yang dipilih masing-masing peneliti ditentukan sesuai kebutuhan penelitian dan kondisi yang ada. Penelitian yang membutuhkan hasil kuantitatif konsentrasi logam berat tergolong penelitian yang membutuhkan biaya relatif besar sebab membutuhkan analisis instrumen seperti Flame-AAS, GF-AAS, ICP-MS, atau ICP-OES. Oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui berbagai metode yang mungkin untuk dilakukan dalam penelitian logam berat.

Beberapa penelitian menemukan konsentrasi logam berat pada bivalvia telah melebihi batas aman (Andayani *et al.*, 2020; Cruz *et al.*, 2020; Indrawan *et*

al., 2018; Liu *et al.*, 2017a), namun ada juga yang menemukan konsentrasi logam berat masih di bawah batas aman (Anandkumar *et al.*, 2019; Ragi *et al.*, 2017; Rayyan *et al.*, 2019; Yuan *et al.*, 2020). Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan tersebut, terbukti bivalvia merupakan hewan bioakumulator yang baik karena sifat *filter feeder* yang dimilikinya. Bioakumulasi logam berat pada bivalvia dapat menjadi berbahaya atau tidak ditentukan konsentrasinya yang dibawah atau melebihi ambang batas aman. Lingkungan tempat hidup bivalvia menjadi faktor yang sangat berpengaruh terhadap nilai konsentrasi logam berat yang terakumulasi (Ma'rifah *et al.*, 2016; Ziyaadini *et al.*, 2017).

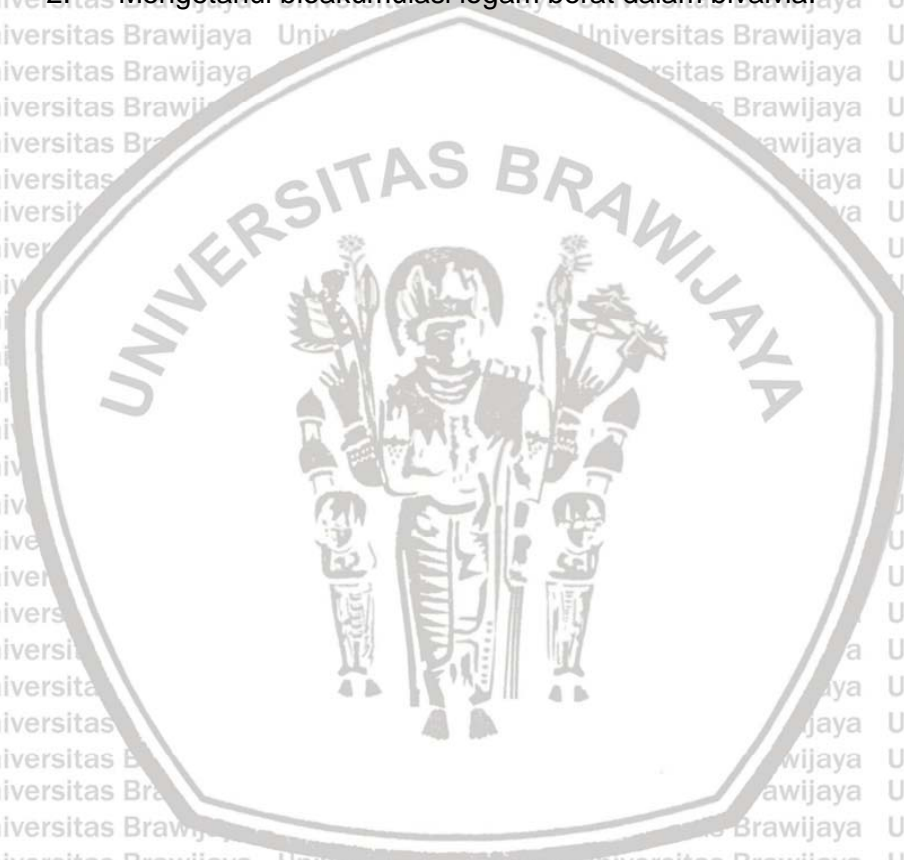
Keberadaan logam berat pada bivalvia dapat mengakibatkan perpindahan polutan ini melalui rantai makanan (Ali & Khan, 2018; Liu *et al.*, 2017a; NOAA, 2020a). Ketika organisme yang lebih besar memangsa organisme bentik seperti bivalvia, logam berat yang terakumulasi akan berpindah ke organisme yang lebih besar dan akan semakin terkonsentrasi pada top predator (Cahyani *et al.*, 2016; NOAA, 2020a). Peristiwa ini disebut biomagnifikasi dan akan menjadi sangat mengkhawatirkan apabila terus terjadi di lingkungan sekitar kita, sementara bivalvia masih berperan sebagai biota konsumsi yang amat digemari manusia (Drouillard, 2008). Pada kasus ini manusia menjadi top predator yang memiliki resiko tertinggi terhadap toksisitas logam berat (Vieira *et al.*, 2011; Wani *et al.*, 2015). Masalah kesehatan yang mungkin terjadi sebab paparan logam berat sangat beragam seperti gangguan kesehatan secara fisik (Bernard, 2008), gangguan kesehatan secara mental (Bernhoft, 2012), gangguan pertumbuhan dan perkembangan serta sistem reproduksi (SIKERNAS, 2010; Taylor *et al.*, 2012), perubahan materi genetik (DNA) (Grazuleviciene *et al.*, 2009), sel (Brochin *et al.*, 2008; Mathew *et al.*, 2011), hingga kecacatan (Mudgal *et al.*, 2010). Karena pentingnya penelitian logam berat, *review* ini bertujuan untuk mengetahui metode yang mungkin digunakan dalam penelitian bioakumulasi

logam berat. Review ini juga bertujuan untuk mengetahui bioakumulasi logam berat dalam bivalvia.

1.2 Tujuan

Tujuan review ini adalah sebagai berikut :

1. Memaparkan metode penelitian terkait bioakumulasi logam berat pada bivalvia.
2. Mengetahui bioakumulasi logam berat dalam bivalvia.



1. METODE REVIEW

1.1 Literature Review

Literature review merupakan evaluasi terhadap beberapa jurnal atau artikel ilmiah secara mendalam dan kritis pada penelitian-penelitian sebelumnya dan bertujuan untuk mengidentifikasi serta menganalisis “*state of the art*” dari suatu penelitian pada suatu topik tertentu. (Shuttleworth, 2009). Literatur yang direview dapat berupa paper jurnal ilmiah, buku (*textbook*), paper dari *conference* (*proceedings*), tesis dan disertasi, report (laporan) dari organisasi terpercaya.

Terdapat empat metode *literature review*, diantaranya *traditional review*, *Systematic Mapping Study* (*scoping study*), *Systematic Literature Review* atau *Systematic Review* dan *Tertiary Study*. Metode yang paling umum digunakan oleh para peneliti adalah *Traditional Review*. Metode *Traditional Review* memberikan gambaran umum tentang suatu penemuan pada topik tertentu.

Pada metode ini peneliti memilih jurnal-jurnal ilmiah berdasarkan pengetahuan dan pengalamannya sendiri pada satu topik penelitian. Namun metode ini memiliki kekurangan sebab bergantung pada pengetahuan dan pengalaman peneliti, kekurangan dari metode ini adalah berpotensi untuk terjadinya bias pada saat proses pemilihan jurnal, interpretasi jurnal, dan pengaturan konten yang direview. Di samping kekurangan yang mungkin terjadi, terdapat keuntungan dari *Traditional Review* yaitu menghasilkan sintesis literatur penelitian yang kaya akan informasi dan valid apabila dilakukan oleh pakar.

Metode yang kedua adalah *Systematic Mapping Study*. Metode *Systematic Mapping Study* sesuai untuk topik yang sangat luas. Metode ini memiliki tahapan-tahapan yang sudah ditentukan sebelumnya secara sistematis. Pemilihan jurnal dilakukan sesuai filter dan protokol yang ditentukan di depan, tidak berdasarkan

pandangan subyektif peneliti. Pada umumnya metode *Systematic Mapping Study* dilakukan pada penelitian yang lebih luas daripada *traditional review*. Biasanya hasilnya dapat berupa klasifikasi temuan-temuan yang didapatkan pada satu topik penelitian. Metode ini juga dapat bertujuan untuk mengidentifikasi tren topik penelitian didepan.

Metode yang ketiga adalah *Systematic Literature Review*. Metode *Systematic Literature Review* memiliki tujuan untuk menyajikan daftar selengkap mungkin dari semua studi yang dipublikasikan serta berkaitan dengan bidang tertentu. Metode ini dilakukan secara sistematis dengan mengikuti protokol sehingga terhindar dari bias dan menghindari pemahaman subyektif penulis.

Systematic Literature Review mengidentifikasi, menilai, dan menginterpretasi hasil-hasil temuan pada jurnal dengan tujuan menjawab pertanyaan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya. Metode ini merupakan metode yang digunakan dalam tulisan ini.

Metode yang keempat adalah *Tertiary Study*. Metode ini serupa dengan metode *Systematic Literature Review* namun bahasanya lebih luas karena topik yang dibahas seluas satu bidang penelitian. Metode ini digunakan untuk menjawab pertanyaan yang lebih luas. Metode ini sering dikatakan sebagai *Systematic Literature Review* dari *Systematic Literature Review*. Berpotensi lebih sedikit artikel yang dibahas. Metode ini dapat memberikan rangkuman dari satu bidang penelitian dan dapat menjawab pertanyaan yang lebih luas.

1.2 Tahapan Pembuatan Literature Review

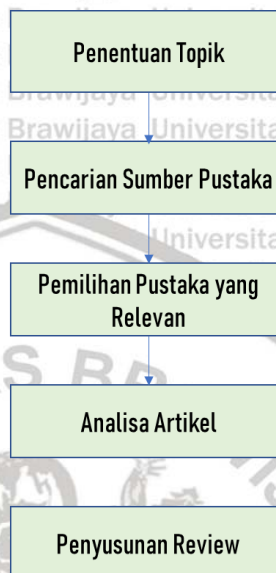
Terdapat beberapa langkah atau tahapan yang dilakukan dalam penyusunan *literature review* yang ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1.

Tahapan pembuatan *literature review* dimulai dengan penentuan topik yang akan dibahas. Setelah memastikan topik yang akan digunakan, dilakukan pencarian

sumber pustaka sebanyak-banyaknya terkait dengan topik yang sudah dipilih.

Setelah mendapatkan sumber pustaka, dilakukan pemilihan pustaka yang paling relevan dengan topik yang akan dibahas dan dilanjutkan untuk analisisnya.

Kemudian tahap yang terakhir adalah penyusunan *review*.



Gambar 1. Langkah - langkah *review* artikel

2.2.1 Penentuan Topik *Review*

Topik yang digunakan penulis dalam *literature review* ini adalah bioakumulasi logam berat dalam bivalvia. Topik tersebut dipilih sebab bivalvia memiliki sifat yang mudah mengakumulasi logam berat dan beberapa jenis bivalvia dikonsumsi oleh masyarakat. Pencemaran lingkungan yang semakin marak pada habitat hidup bivalvia menjadikan semakin besarnya urgensi dilakukannya penelitian pada topik ini. Atas beberapa pertimbangan tersebut, penulis memilih topik bioakumulasi logam berat dalam bivalvia sebagai kajian utama dalam *literature review* ini.

2.2.2 Pencarian Pustaka

Pencarian sumber pustaka yang dilakukan oleh penulis menggunakan

mesin pencarian secara daring. Penulis menggunakan beberapa situs terpercaya yang menjadi sumber pustaka untuk direview. Situs-situs yang digunakan diantaranya adalah *Science Direct*, *Springer*, *Elsevier*, *Google Book*, *Hindawi*, dan lain sebagainya. Penulis memasukkan kata kunci yang berhubungan dengan topik yang telah ditentukan sebelumnya. Kata kunci yang digunakan berhubungan dengan bioakumulasi logam berat dalam bivalvia.

Jurnal internasional menjadi prioritas dalam pencarian pustaka, sehingga kata kunci yang digunakan pada saat pencarian pustaka menggunakan bahasa Inggris agar didapatkan jurnal yang relevan. Beberapa kata kunci yang digunakan yaitu "*heavy metal bioaccumulation*", "*heavy metal in marine bivalve*", "*bioaccumulation of heavy metals in bivalve tissue*", "*heavy metal effect in marine environment*", "*health effect of heavy metal consumption*", "*heavy metal character*".

2.2.3 Pemilihan Pustaka

Hasil pencarian pustaka yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan pada tabel tersebut, terdapat total 162 artikel yang didapatkan dari pencarian, namun setelah dilakukan pendalaman artikel didapatkan 30 artikel yang membahas bioakumulasi logam berat pada bivalvia. Artikel yang didapatkan merupakan artikel yang dipublikasikan pada rentang waktu 2011 sampai 2020. Batasan dalam pemilihan pustaka yang digunakan adalah artikel dipublikasikan dalam rentang waktu 10 tahun terakhir, sebab data dalam 10 tahun terakhir merupakan data terkini yang baik untuk penulisan karya tulis ilmiah dan dapat dijadikan acuan terhadap kondisi saat ini (Scitable, 2014). Jumlah artikel yang digunakan untuk penyusunan *review* artikel setingkat *undergraduate review* adalah sebanyak 5-20 judul (Canberra, 2013).

Tabel 1. Hasil Pencarian Pustaka

No	Kata Kunci Pencarian	Search engine/ penerbit	Jumlah Artikel
1	<i>heavy metal bioaccumulation</i>	Science Direct	40
2	<i>heavy metal in marine bivalve</i>	Science Direct	29
3	<i>bioaccumulation of heavy metals in bivalve tissue</i>	Springer	31
4	<i>heavy metal effect in marine environment</i>	Science Direct	21
5	<i>health effect of heavy metal consumption</i>	Science Direct	15
6	<i>health effect of heavy metal consumption</i>	Hindawi	13
7	<i>heavy metal character</i>	Google Book	7
8	<i>Heavy metal bioaccumulation in specific organ of bivalve</i>	Science Direct	4
9	<i>Heavy metal bioaccumulation in specific organ of bivalve</i>	Springer	2
Total			162

2.2.4 Analisis Pustaka

Pada tahapan analisa pustaka, penulis membaca dan mendalami artikel untuk menggali informasi penting. Saat proses membaca serta memahami, penulis juga mencatat poin-poin penting yang sekiranya dapat menunjang penulisan *review*. Poin-poin penting yang didapatkan penulis dicatat dan dikelompokkan sesuai dengan sub-sub bahasan dan kemudian penulis merangkai semua intisari yang sudah didapatkan hingga menjadi *review* yang baik.

3. HASIL REVIEW

3.1 Pencemaran Logam Berat

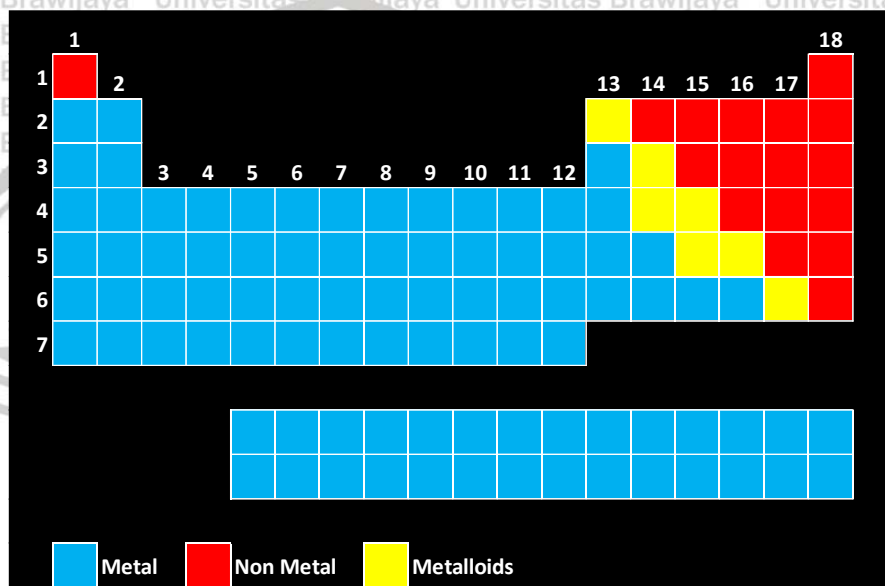
3.1.1 Definisi dan Karakter Logam Berat

Logam merupakan zat dengan konduktivitas listrik, kelenturan, dan kilauan yang tinggi (Dérobert *et al.*, 2018; Russel & Lee, 2005). Pada umumnya logam memiliki densitas di atas 5 g/cm^3 dan logam dapat dengan mudah melepaskan elektronnya untuk membentuk kation (Koller & Saleh, 2018).

Keberadaan logam sangat penting untuk keberlangsungan fungsi biokimia dan fisiologis pada organisme hidup ketika dalam konsentrasi yang sangat rendah, namun logam akan menjadi sangat berbahaya apabila konsentrasinya melampaui ambang batas aman (Järup, 2003; Khlifi & Hamza-Chaffai, 2010). Di sisi lain istilah logam berat menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) merupakan “*meaningless term*” atau istilah yang tidak berarti karena tidak ada definisi yang terstandarisasi untuk logam berat. Tidak ada korelasi yang dapat ditemukan antara berat jenis logam dengan konsep fisikokimia dan begitu banyak definisi yang dibuat oleh banyak penulis yang berbeda sehingga secara efektif tidak berarti. Beberapa logam dengan densitas rendah memiliki toksisitas yang tinggi sementara beberapa logam dengan densitas tinggi tidak bersifat *toxic*. Contohnya kadmium dengan nomor atom 48 dan berat jenis $8,65 \text{ g/cm}^3$ memiliki tingkat toksisitas yang tinggi, sementara emas yang tidak bersifat toksik memiliki nomor atom 79 dan berat jenis $18,88 \text{ /cm}^3$. Toksisitas logam berat sangat bervariasi dan bergantung pada bilangan oksidasinya. Bentuk heksavalen kromium dapat sangat mematikan, namun bentuk trivalennya dapat berperan sebagai nutrisi bagi banyak organisme

termasuk manusia (IUPAC, 2002).

Logam berat dapat didefinisikan berdasar densitas, nomor atom, dan berat atom. Pada Gambar 2 ditunjukkan bahwa unsur logam (*metals*) pada tabel periodik merupakan unsur yang paling banyak jenisnya jika dibandingkan dengan unsur non logam. Unsur-unsur pada tabel periodik dibedakan berdasarkan karakteristiknya, diantaranya adalah unsur *metals*, *non metals*, dan *metalloids* (semi metal).



Gambar 2. Tabel Periodik

Logam berat dapat dibedakan menjadi dua kategori berdasarkan perannya terhadap makhluk hidup, yaitu logam esensial dan logam non esensial. Logam esensial merupakan logam yang memiliki manfaat untuk metabolisme makhluk hidup pada konsentrasi yang tepat (Ansari *et al.*, 2004; Tasharrofi *et al.*, 2018).

Sebaliknya, logam non esensial belum diketahui manfaatnya dan memiliki sifat toksik yang dapat memberikan efek negatif pada kesehatan (Rini *et al.*, 2014; Sall *et al.*, 2020; Suryono, 2016). Tiap logam berat memiliki batas aman yang berbeda-beda (Badan Standardisasi Nasional, 2010). Logam berat akan menjadi berbahaya apabila melebihi batas aman konsumsinya, bahkan logam esensial

pun dapat menjadi berbahaya apabila konsentrasinya melebihi batas aman yang telah ditentukan (Fayez & Childress, 2020; Ikechukwu *et al.*, 2020; Sandstead, 2015; Yuen & Becker, 2020).

3.1.2 Sifat Logam Berat

Logam berat bersifat persisten, yaitu bentuknya yang stabil, sulit untuk terurai atau terdegradasi sehingga menjadi sangat mudah terakumulasi dalam lingkungan (Ali *et al.*, 2019; Ika & Said, 2012). Logam berat juga memiliki sifat akumulatif baik di dalam lingkungan, biota maupun dalam rantai makanan (Ali *et al.*, 2019; NOAA, 2020a). Kandungan logam berat di dalam biota seiring waktu akan semakin bertambah karena sifat bioakumulatif yang dimilikinya (Ali & Khan, 2018; Liu *et al.*, 2017a). Beberapa peneliti menyebutkan bahwa logam berat yang sudah masuk di dalam tubuh, akan terakumulasi di dalam jaringan tubuh dan kecil kemungkinannya untuk dapat diekskresikan ke luar tubuh (Huseen & Mohammed, 2019; Kahlon *et al.*, 2018).

Adanya tingkatan rantai makanan mengakibatkan logam berat dapat berpindah dari lingkungan ke organisme, kemudian berlanjut dari organisme satu ke organisme yang lain seiring perjalanan memakan dan dimakan (NOAA, 2020a). Peristiwa ini merupakan bentuk nyata dari sifat biomagnifikatif yang dimiliki oleh logam berat, kondisi dimana konsentrasi kimiawi dalam suatu organisme melebihi konsentrasi kimiawi makanannya (Dodds & Whiles, 2020).

Istilah biomagnifikasi pada jaring makanan digunakan untuk mendeskripsikan pengayaan kontaminan dalam jaring makanan yang peningkatannya progresif berurutan seiring meningkatnya trofik hewan (Drouillard, 2008). Dalam konsep biomagnifikasi ini dapat diartikan bahwa predator puncak menumpuk toksikan dalam jumlah yang lebih nyata dan lebih berbahaya daripada hewan yang lebih rendah tingkat trofiknya dalam rantai makanan (Drouillard, 2008; Jakfar & Manan, 2014; NOAA, 2020a; Palar, 2004; Yalcin *et al.*, 2008)

Logam berat juga memiliki sifat toksik atau beracun (Ali *et al.*, 2019; IUPAC, 2002; MENLHK, 2020; Wani *et al.*, 2015). Sifat toksik logam lebih cenderung kepada logam non esensial, sebagai contohnya antara lain Hg, Pb, Cd, Sn, Cr(IV), Ni, As, yang belum diketahui peran serta manfaatnya baik bagi sistem kehidupan biologis maupun bagi tubuh (Adhani & Husaini, 2017; Ali & Khan, 2018). Berbeda dengan logam esensial, sebagai contoh antara lain Zn, Cu, Fe, Co, Mn, Se, yang masih bisa memberikan peran biologisnya dalam sistem kehidupan dan bisa memberi manfaat bagi tubuh dalam jumlah tertentu (Oves *et al.*, 2016). Namun meskipun logam esensial masih memiliki manfaat untuk tubuh, jika kadarnya berlebihan atau diluar batas toleransi maka dapat dipastikan bersifat toksik pula (Rajeswari & Sailaja, 2014). Sifat toksik yang dimaksudkan disini adalah jika logam berat terkonsumsi maka keberadaan logam berat tersebut akan mengakibatkan dampak negatif pada tubuh atau makhluk hidup (Fayez & Childress, 2020; Ikechukwu *et al.*, 2020; Yuen & Becker, 2020). Dampak negatif yang kerap terjadi adalah munculnya gangguan kesehatan, menghambat pertumbuhan, atau menimbulkan abnormalitas pada makhluk hidup (Ali & Khan, 2018; Laskowski, 1991; MENLHK, 2020; NOAA, 2020a; Palar, 2004; Shakir *et al.*, 2017).

3.1.3 Sumber Logam Berat

Keberadaan logam berat dilingkungan dapat terjadi secara alami di kerak bumi dan dapat pula berasal dari sumber antropogenik (Choi *et al.*, 2007; Rajaram *et al.*, 2020). Sumber alami logam berat pada alam dapat terjadi dengan beberapa proses terutama saat peristiwa gunung meletus yang menghasilkan material-material dengan konsentrasi logam berat (Adhani & Husaini, 2017; Masindi & Muedi, 2018). Sedangkan sumber antropogenik dapat berasal dari berbagai aplikasi industri, kegiatan domestik, rumah tangga, pertanian, medis, dan teknologi yang menyumbangkan konsentrasi logam berat pada lingkungan

(Abreo *et al.*, 2015; Choi *et al.*, 2007; Komarawidjaja *et al.*, 2017; Rajaram *et al.*, 2020; Tchounwou *et al.*, 2014; Yona *et al.*, 2020).

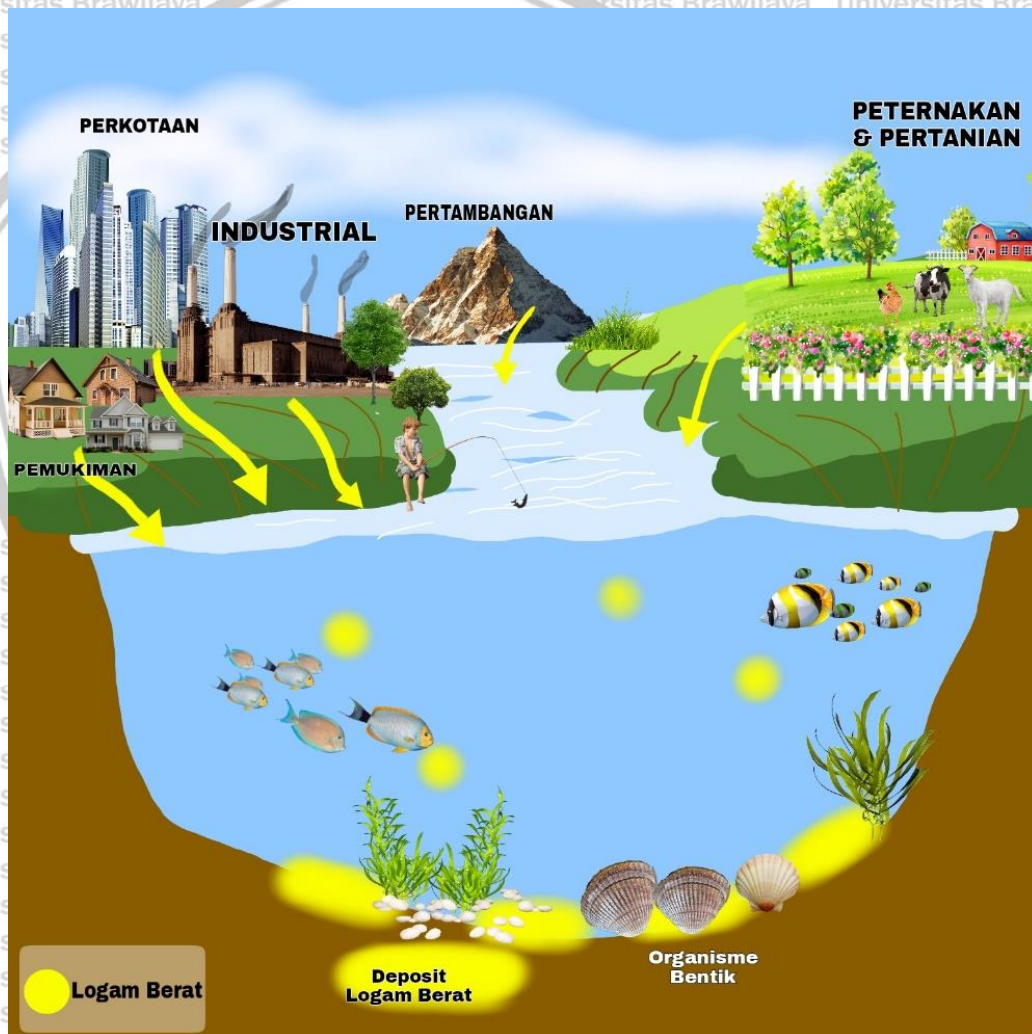
Kegiatan antropogenik sangat berkaitan dengan peningkatan signifikan logam berat di atas nilai ambang batas kelimpahan logam pada lingkungan, dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Christophoridis *et al.*, (2019), Nour & Sorogy, (2020), Karim *et al.*, (2014) dan Masindi & Muedi, (2018). Penelitian Christophoridis *et al.*, (2019) pada Teluk Thessaloniki dipaparkan bahwa daerah penelitiannya merupakan wilayah terbesar kedua di Yunani dengan populasi >1.500.000 jiwa yang sudah pasti banyak menyumbang limbah antropogenik pada Teluk Thessaloniki. Terbukti daerah tersebut sangat tercemar dilihat dari nilai *Pollution Load Index* (PLI) >1 yang artinya polusi antropogenik sebagai penyumbang utama, dan nilai *Ecological Risk* (ER) yang tergolong *high to extreme risk* untuk 50% sampelnya. Pada penelitian Nour & Sorogy, (2020) yang dilakukan pada Teluk Suez Egypt ditemukan bahwa sumber utama polutannya adalah dari polutan antropogenik seperti pabrik gypsum dan mangan, deposit kaolin, limbah rumah tangga, limbah industrial, limpasan limbah perkotaan, dan irigasi. Menurut Karim *et al.*, (2014) dan Masindi & Muedi, (2018) *Anthropogenic heavy-metal* (HMs), yang masuk ke lautan disebabkan oleh aliran sungai, *atmospheric transport*, dan resapan air tanah. Peristiwa ini menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan manusia, organisme hidup, dan habitat alami. Karena toksisitas, persistensi, dan bioakumulasi logam berat menyebabkan pengurangan keanekaragaman spesies dan kelimpahan, sementara itu juga terakumulasi dalam organisme hidup dan dengan demikian memasuki rantai makanan (Abreo *et al.*, 2015; Chakraborty *et al.*, 2013).

3.1.4 Dampak Logam Berat

a. Dampak Logam Berat Pada Lingkungan

Perjalanan bagaimana logam berat bisa masuk kedalam lingkungan

ditunjukkan dengan ilustrasi perilaku logam berat di lingkungan ditampilkan pada Gambar 3. Pada ilustrasi tersebut dapat dilihat bahwa dari berbagai sumber logam berat seperti limbah industri, pertambangan, pertanian, peternakan, dan aktivitas antropogenik, berakhir masuk ke dalam perairan. Kegiatan antropogenik seperti penambangan, peleburan, dan pertanian secara lokal dapat meningkatkan kadar logam berat pada lingkungan sekitarnya sehingga berpotensi menimbulkan dampak negatif baik pada lingkungan, biota, maupun manusia.



Gambar 3. Ilustrasi perilaku logam berat di lingkungan (Dokumen penulis)

Logam berat bersifat persisten dan sifat ini dapat membuat logam berat

terakumulasi pada tanah, tanaman dan juga lingkungan perairan (Dodds & Whiles, 2020; Violante *et al.*, 2010; Wolińska *et al.*, 2013). Logam non esensial yang belum diketahui kegunaannya biologisnya dan diketahui sangat beracun, jika tersebar di biosfer tidak dapat dipulihkan atau didegradasi, oleh karena itu efek dari polusi logam berat pada lingkungan dapat dikatakan permanen (Briffa *et al.*, 2020; Sall *et al.*, 2020). Persistensi logam berat juga dapat dihubungkan pada *residence time* mayoritas logam berat yang cukup lama. Sebagai contoh logam Cs dan TI memiliki waktu $>10^5$ tahun. Kemudian logam seperti Cd, Cr, Ni, Zn memiliki *residence time* $10^3 - 10^5$ tahun dan konsentrasinya meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Berbeda dengan logam Al, Co, Pb, Hg, As, Mn yang memiliki *residence time* yang lebih singkat selama $<10^3$ tahun sebab sangat mudah berinteraksi dengan partikel lain (Ansari *et al.*, 2004; Selvi *et al.*, 2019).

b. Dampak Logam Berat Pada Biota

Dampak logam berat terhadap organisme akuatik terjadi ketika logam berat memasuki lingkungan perairan. Konsentrasi logam berat dapat berasal dari sumber alami maupun polutan dari berbagai sumber yang terdifusi ke dalam perairan dan tercampur secara tidak sengaja (Rule *et al.*, 2006; Yi *et al.*, 2020).

Logam berat yang mencemari organisme akan memberikan dampak negatif seperti menghambat pertumbuhan, mengganggu sistem reproduksi, dan mengganggu sistem imun (Authman *et al.*, 2015; Javed & Usmani, 2017; Mehmood *et al.*, 2019). Pada kondisi yang baik tanpa cemaran logam berat, pertumbuhan larva dan juvenil ikan terbilang sangat cepat (Djurickovic *et al.*, 2019; May *et al.*, 2019; Widyantoko & Herawati, 2015). Namun apabila lingkungan pertumbuhan organisme akuatik tercemar oleh logam berat maka pertumbuhan organisme akuatik akan terhambat (Mehmood *et al.*, 2019).

Pertumbuhan yang terhambat merupakan gejala yang paling jelas dari efek

toksik logam pada larva ikan. Oleh karena itu panjang dan massa tubuh ikan dapat dijadikan indikator dalam menilai kondisi lingkungan (Khayatzaheh & Abbasi, 2010; Sarnowski & Jezierska, 2007).

Sedimen yang tercemar oleh toksikan akan mengancam organisme benthik (Begum *et al.*, 2009; Borja *et al.*, 2011). Kontaminan yang berada pada sedimen dan perairan akan terkumpul didalam tubuh organisme benthik hingga terjadi bioakumulasi (Ali *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2017a). Ketika organisme benthik ini dikonsumsi oleh organisme yang lebih besar maka konsentrasi logam berat akan berpindah mengikuti aliran rantai makanan dan terjadi biomagnifikasi (Cahyani *et al.*, 2016; NOAA, 2020a).

Logam berat didalam organisme benthik berpotensi untuk menimbulkan beberapa masalah seperti pada DNA, dapat terjadi DNA adduct, *chromosomal aberrations*, pemutusan untai DNA (Fagr *et al.*, 2008; Sun *et al.*, 2010). Jika toksikan yang terakumulasi pada sedimen menyebabkan populasi organisme benthik berkurang, maka berpotensi mengurangi ketersediaan makanan untuk biota yang lebih besar seperti ikan (Begum *et al.*, 2009; Borja *et al.*, 2011).

Kemudian masalah selanjutnya yang ditemukan pada ikan adalah *vertebral deformities*, anomali perilaku pada ikan yang dapat menurunkan kemampuan lokomotor dan berakibat meningkatkan kerentanan pada predator (Fagr *et al.*, 2008). Pada suatu penelitian membuktikan paparan logam berat dapat menurunkan pertumbuhan dan menurunkan *survival rate* (Athar & Vohora, 2001; Kacaniova *et al.*, 2007; Sarnowski & Jezierska, 2007; Stomińska & Jezierska, 2000).

c. Dampak Logam Berat Pada Manusia

Logam berat dapat memberikan dampak yang sangat merugikan bagi keberlangsungan hidup manusia baik anak-anak maupun dewasa, khususnya

logam berat non-esensial yang saat ini jumlahnya semakin bertambah dilingkungan hidup kita (Briffa *et al.*, 2020; Flora *et al.*, 2012; Khlifi & Hamza-Chaffai, 2010; Martin & Griswold, 2009; Morais *et al.*, 2012; Mudgal *et al.*, 2010; Obasi & Akudinobi, 2020; Regoli, 2005; Sall *et al.*, 2020; Sandstead, 2015; Shakir *et al.*, 2017). Masalah kompleks yang besar kemungkinannya untuk timbul karena paparan logam berat pada manusia sangat beragam, berbagai bagian tubuh yang terserang sangat bermacam-macam. Hal ini disebabkan karena beberapa logam non esensial terdistribusi melalui aliran darah dan mencapai jaringan-jaringan tubuh dan hingga 95% tersimpan didalam dalam tubuh (Papanikolaou *et al.*, 2005). Pada mayoritas jurnal yang membahas tentang penelitian hubungan logam berat dan kesehatan manusia selalu disebutkan bahwa logam-logam non-esensial bersifat karsinogenik, yang mana dapat menimbulkan penyakit kanker pada tubuh manusia. Terdapat beberapa golongan untuk mengklasifikasikan zat karsinogen, golongan 1 merupakan zat karsinogenik untuk manusia, golongan 2A merupakan zat yang berkemungkinan besar karsinogenik untuk manusia, golongan 2B dicurigai berpotensi karsinogenik untuk manusia, dan golongan 3 tidak termasuk karsinogenik untuk manusia. Sedangkan *the International Agency for Research on Cancer* menyebutkan beberapa logam non-esensial merupakan karsinogen golongan 1 untuk manusia (Bernard, 2008; Martin & Griswold, 2009; SIKERNAS, 2010; Singh *et al.*, 2007; Taylor *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2011).

Masalah-masalah yang mungkin timbul pada manusia karena paparan logam berat dalam beberapa kategori, diantaranya adalah gangguan kesehatan secara fisik, gangguan kesehatan secara mental, gangguan pertumbuhan perkembangan serta sistem reproduksi, perubahan tingkat DNA dan sel, hingga kecacatan. Pertama gangguan kesehatan secara fisik yang ditimbulkan oleh toksisitas logam berat sangat beragam, diantaranya adalah dapat menurunkan

tingkat energi, menurunkan fungsi otak dan syaraf, perubahan morfopatologis dan disfungsi ginjal (Martin & Griswold, 2009; Taylor *et al.*, 2012; Velickova, 2017), hingga menyebabkan kerusakan skeletal seperti osteoporosis, radang sendi, mengganggu kerja paru-paru, malfungsi respirasi sel seperti bronkitis, asma (Bernard, 2008), kerusakan *liver* (Castagnetto *et al.*, 2002). Kerusakan yang terjadi merata pada banyak organ sebab logam berat menyerang darah yang terdistribusi keseluruh tubuh. Logam berat mengacaukan komposisi darah seperti produksi eritrosit dan leukosit (Velickova, 2017) dan penyakit pembuluh darah perifer (*peripheral vascular disease*) (Plaza *et al.*, 2014). Dampak yang ditimbulkan sangat beragam, mulai dari gangguan pada ginjal seperti gagal ginjal, pembentukan batu ginjal dan *hypercalciuria* (Brochin *et al.*, 2008; Orr & Bridges, 2017; WHO, 2021). Sebagai salah satu contoh kronologi gangguan logam berat secara fisik pada jaringan tubuh oleh kadmium. Konsentrasi kadmium meningkat 3000 kali lipat ketika berikatan dengan protein kaya akan sistein, seperti metallothionein (Bernard, 2008; Genchi *et al.*, 2020).

Selanjutnya adalah masalah kesehatan secara mental yang ditimbulkan logam berat diantaranya adalah retardasi mental, psikosis, autisme dan hiperaktif, disleksia, halusinasi, *shyness*, gangguan ingatan, dan temperamental, eretisme yang ditunjukkan dengan perilaku rasa malu tidak normal, tidak sadarkan diri, depresi atau putus asa, tersinggung karena menerima kritikan, mudah marah atau perasaan gembira, sakit kepala, keletihan dan insomnia (Alina *et al.*, 2012; Kelair, 2020; Martin & Griswold, 2009). Dalam kasus parah dapat terjadi halusinasi, penurunan daya ingat, kemunduran mental dan biasanya gangguan-gangguan ini disebabkan paparan kronis (Velickova, 2017).

Sebagai contoh salah satu logam berat yang paling mempengaruhi pada kategori ini adalah merkuri. Merkuri dikenal sebagai logam berbahaya dan toksisitasnya merupakan penyebab umum keracunan logam berat akut dengan kasus 3.596

pada tahun 1997 menurut *American Association of Poison Control Center*. *Methylmercury* adalah senyawa neurotoksin yang dapat menghancurkan mikrotubulus, menyebabkan kerusakan mitokondria, peroksidasi lipid, dan akumulasi molekul neurotoksik seperti serotonin, aspartat, dan glutamat. Diperkirakan bahwa 8-10% wanita Amerika memiliki kadar merkuri yang akan menyebabkan gangguan neurologis pada anak yang mereka lahirkan, menurut *Environmental Protection Agency* dan *National Academy of Science* (EPA, 2020; Haley, 2005; NRC, 2000). Merkuri memiliki kemampuan untuk bergabung dengan elemen lain. Saat merkuri bergabung dengan elemen lain, merkuri membentuk merkuri organik dan merkuri anorganik. EPA menyatakan bahwa metil merkuri (MeHg) dan merkuri klorida (HgCl_2) bersifat sangat karsinogenik. Sistem saraf sangat sensitif terhadap semua jenis merkuri (Alina *et al.*, 2012; EPA, 2020; Kelair, 2020; Martin & Griswold, 2009).

Kemudian selanjutnya adalah gangguan pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi yang pada umumnya terjadi pada anak-anak, bayi, dan orang dewasa pada masa reproduksi. Gangguan pertumbuhan dan perkembangan yang disebabkan oleh logam berat diantaranya adalah penurunan IQ, keterlambatan pertumbuhan anak, gangguan neurologis pada anak-anak atau bayi yang baru dilahirkan, kerusakan pada janin yang sedang berkembang, kelahiran prematur, dan penurunan berat badan pada janin (Guo *et al.*, 2020). Salah satu kasus yang ditemukan adalah pengaruh logam timbal (Pb) pada IQ anak, semakin tinggi konsentrasi timbal maka semakin rendah nilai IQ yang didapatkan. Sedangkan gangguan pada reproduksi adalah fertilitas (Mudgal *et al.*, 2010; SIKERNAS, 2010; Taylor *et al.*, 2012)

3.2 Metode Penelitian Bioakumulasi Logam Berat pada Bivalvia

Metode yang digunakan dalam penelitian bioakumulasi logam berat dibagi

menjadi beberapa tahapan, diantaranya adalah sampling atau pengumpulan sampel kerang, preservasi sampel, preparasi sampel, dan analisis konsentrasi logam berat. Pada setiap artikel yang didapatkan terdapat beberapa perbedaan dan persamaan pada setiap tahapannya.

3.2.1 Pengumpulan sampel kerang

Langkah pertama yang dilakukan adalah sampling, kegiatan ini bertujuan untuk mendapatkan objek yang akan diteliti. Pada penelitian bioakumulasi logam berat dalam bivalvia, sampling yang dilaksanakan adalah mengumpulkan bivalvia sebagai objek yang akan diteliti lebih lanjut. Metode sampling yang ditemukan dalam penelitian bioakumulasi logam berat terdapat beberapa macam, yang pertama peneliti membeli bivalvia dari nelayan setempat setelah kapal penangkap ikan mendarat (Andayani *et al.*, 2020; Denil *et al.*, 2017; Edward *et al.*, 2009; Suratno *et al.*, 2020). Peneliti membeli kerang secara acak pada nelayan dari masing-masing lokasi pengambilan sampel. Setelah mendapatkan sampel bivalvia peneliti mengelompokkan sejumlah bivalvia berukuran sama dari setiap lokasi pengambilan sampel, jumlah yang dikumpulkan 25-30 ekor (Andayani *et al.*, 2020; Edward *et al.*, 2009). Hanya individu berukuran komersial dari setiap spesies yang dikumpulkan untuk menghindari perbedaan kandungan logam, karena ukuran dan tahap reproduksinya (Saavedra *et al.*, 2004).

Metode sampling yang kedua, peneliti mengumpulkan sampel langsung dengan menggunakan tangan (Amriani *et al.*, 2011; Ansari *et al.*, 2014; Cruz *et al.*, 2020; Lan *et al.*, 2020; Ponnusamy *et al.*, 2014) saat sedang surut (Amriani *et al.*, 2011; Ponnusamy *et al.*, 2014). Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Lan *et al.*, (2020), sampel dikumpulkan dari sepanjang pantai berbatu teluk Xiamen. Begitu pula pada penelitian Ansari *et al.*, (2014) yang mengumpulkan sampelnya dari bawah batuan di daerah intertidal pantai berpasir dan berbatu.

Namun ditemukan sedikit perbedaan pada penelitian yang dilakukan oleh Yuan

et al., (2020), pengumpulan sampel yang dilakukan menggunakan *sampling frame* berukuran 0.25 m×0.25 m persegi dan sampel di dalam *frame* dikumpulkan dengan tangan. Metode kedua ini juga sering ditemukan sebab mudah untuk dilakukan dan peneliti dapat langsung memilih sampel yang sesuai dengan rencana penelitiannya.

Metode *sampling* yang ketiga, peneliti menumpulkan sampel dengan bantuan alat seperti jaring dan alat tradisional nelayan (Azhar *et al.*, 2012; Yona *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2020). Pada penelitian Azhar *et al.*, (2012) dan Zhang *et al.*, (2020), pengumpulan sampel dilakukan dengan menggunakan jaring, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Yona *et al.*, (2018), pengumpulan sampel dilakukan dengan bantuan alat tradisional nelayan. Pengambilan sampel ini biasanya dilakukan pada titik *sampling* dengan kedalaman perairan, sehingga membutuhkan alat bantu.

3.2.2 Preservasi Sampel

Setelah mendapatkan sampel langkah yang pasti dilakukan adalah preservasi sampel. Preservasi sampel bertujuan untuk menjaga kondisi sampel tetap baik hingga tiba saatnya untuk analisis lebih lanjut di laboratorium. Preservasi yang dilakukan disetiap artikel cukup mirip, yaitu dengan membersihkan sampel terlebih dahulu dari kotoran seperti lumpur yang menempel, barnacles, dan kotoran lainnya pada permukaan cangkang bivalvia menggunakan air laut (Yap *et al.*, 2016; Yona *et al.*, 2016, 2018), air suling (Anandkumar *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2020) atau sikat *stainless steel* (Liu *et al.*, 2017). Sampel yang sudah dibersihkan, dipisahkan antara jaringan lunak dan cangkangnya menggunakan pisau *stainless steel* (AbdElGhany, 2017). Pada penelitian yang menganalisis konsentrasi logam spesifik pada organ tertentu, jaringan kerang dibedah sesuai organ yang akan dianalisis (Anandkumar *et al.*, 2019; Edward *et al.*, 2009; Ponnusamy *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2020). Selanjutnya

sampel kerang ditimbang dan disimpan dalam plastik zip lock kemudian dibekukan hingga analisis berikutnya (Liu *et al.*, 2017a; Taboada-Lopez *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2020).

3.2.3 Preparasi Sampel

Langkah dari metode penelitian yang berikutnya adalah preparasi sampel.

Preparasi sampel pada beberapa artikel ditemukan terdapat beberapa perbedaan. Perbedaan preparasi ini dapat diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu destruksi basah dan destruksi kering. Destruksi basah dilakukan pada penelitian Amriani *et al.*, (2011) dan Indrawan *et al.*, (2018). Pada penelitian tersebut, sampel jaringan lunak bivalvia sebanyak 2 gram langsung ditambahkan dengan pereaksi. Amriani *et al.*, (2011) memberikan HNO_3 (asam nitrat) pekat dan HClO_4 (asam perklorat) pada sampel dan dipanaskan pada suhu $60\text{-}70^\circ\text{C}$ selama 2-3 jam hingga larutan menjadi jernih. Berbeda dengan Indrawan *et al.*, (2018) memberikan 10 ml HNO_3 (asam nitrat) dan 2 ml H_2SO_4 (asam sulfat) pekat pada sampel. Sampel dipanaskan perlahan hingga berwarna gelap, kemudian ditambahkan HNO_3 sedikit demi sedikit hingga tidak berwarna gelap. Larutan sampel yang sudah jadi ditambahkan aquadest hingga mencapai volume 100 ml. Perbedaan pereaksi yang digunakan tidak menjadi masalah sebab tujuan utamanya tetap sama, yaitu mendestruksi komposisi organik sampel menggunakan asam sehingga didapatkan konsentrasi logam berat yang dibutuhkan.

Preparasi yang berikutnya adalah destruksi kering. Destruksi kering merupakan metode yang paling sering ditemukan dalam penelitian. Metode preparasi destruksi kering dilakukan dengan mengeringkan sampel terlebih dahulu untuk mendapatkan berat keringnya (*dry weight*). Suhu dan waktu yang digunakan pada setiap penelitian sangat beragam. Suhu yang paling banyak digunakan sebesar 60°C (Amriani *et al.*, 2011; Cruz *et al.*, 2020; Edward *et al.*,

2009; Lan *et al.*, 2020; Nour, 2020; Ponnusamy *et al.*, 2014; Usmani & Patil, 2015; Yap *et al.*, 2016; Yona *et al.*, 2018) sedangkan waktunya pun beragam, ada yang berpatokan hingga berat konstan sampel (Edward *et al.*, 2009), 48 jam (Amriani *et al.*, 2011; Usmani & Patil, 2015; Yap *et al.*, 2016; Yona *et al.*, 2018), dan 72 jam (Cruz *et al.*, 2020; Lan *et al.*, 2020). Suhu lain yang digunakan peneliti untuk mendapatkan *dry weight* diantaranya, 105 °C selama 24 jam (Denil *et al.*, 2017; Rayyan *et al.*, 2019; Suratno *et al.*, 2020), dan 80°C selama 48 jam (AbdElGhany, 2017; Yona *et al.*, 2016). Pada umumnya diantara keragaman suhu dan waktu yang digunakan para peneliti, masih ditemukan beberapa kesamaan dari beberapa artikel.

Selain menggunakan suhu panas untuk mendapatkan berat kering (*dry weight*), suhu dingin juga dapat digunakan untuk mendapatkan berat kering. Metode ini dikenal dengan istilah *freeze dried* (Ragi *et al.*, 2017; Weng & Wang, 2019; Zhang *et al.*, 2020). Suhu yang digunakan pada penelitian Weng & Wang, (2019) adalah -46°C.

Setelah mendapatkan berat kering, sampel masih harus diberi pereaksi sehingga dapat dilakukan tahap analisis berikutnya. Pereaksi yang umumnya digunakan pada penelitian adalah HNO₃ (asam nitrat) sebanyak 10 ml (Edward *et al.*, 2009; Indrawan *et al.*, 2018; Yap *et al.*, 2016; Yona *et al.*, 2016, 2018).

Namun pada beberapa penelitian ada yang menggunakan pereaksi lain seperti HCl (Denil *et al.*, 2017; Suratno *et al.*, 2020), HClO₄ (asam perklorat) (Denil *et al.*, 2017; Navarro *et al.*, 2017; Ponnusamy *et al.*, 2014; Ragi *et al.*, 2017; Usmani & Patil, 2015), dan H₂SO₄ (asam sulfat) (Indrawan *et al.*, 2018). Setelah menambahkan pereaksi, sampel dipanaskan hingga larut. Larutan yang sudah jadi diencerkan dengan aquadest atau aquabidest untuk mendapatkan volume akhir. Volume akhir yang dipilih peneliti pun beragam, diantaranya 10 ml (Usmani

& Patil, 2015), 15 ml (Lino *et al.*, 2016), 25 ml (Ansari *et al.*, 2014; Navarro *et al.*, 2017; Nemr *et al.*, 2012; Nour, 2020; Ragi *et al.*, 2017; Suratno *et al.*, 2020), 35 ml (Denil *et al.*, 2017), 40 ml (Edward *et al.*, 2009; Yap *et al.*, 2016), dan 100 ml (Indrawan *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2017a). Perbedaan volume akhir tidak menjadi masalah sebab akan dikalkulasi menggunakan rumus persamaan volume dan konsentrasi. Sampel yang sudah diberi perlakuan hingga pengenceran, siap untuk dilanjutkan pada analisis logam berat menggunakan instrumen.

3.2.4 Analisis Instrumen

Sampel yang sudah melalui tahap preparasi siap untuk dilanjutkan pada tahap selanjutnya, yaitu diuji menggunakan instrumen analisis konsentrasi logam berat. Instrumen yang dapat digunakan untuk analisis logam berat sangat beragam, namun setiap instrumen memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam pengaplikasiannya. Keidealan instrumen pada suatu penelitian ditentukan oleh jenis sampel yang akan diuji sebab kemampuan instrumen berbeda-beda baik dari segi karakter sampel maupun dari segi ketelitian yang dapat dihasilkan. Ringkasan *analytical performance* dan karakteristik instrumen terpenting yang digunakan dalam analisis logam disajikan pada Tabel 2. Untuk sampel yang berbentuk cair, instrumen yang paling ideal digunakan adalah Flame-AES (*Flame Atomic Emission Spectrometry*), ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry*), Flame-AAS (*Flame Atomic Absorption Spectrometry*), GF-AAS (*Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry*), TIMS (*Thermionization Mass Spectrometry*), ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*), Furnace-RIMS, dan GF-LIFS (*Graphite Furnace Laser Induced Fluorescence Spectroscopy*), namun Arc-AES (*Arc Atomic Emission Spectrometry*) dan WD-XRF (*Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectroscopy*) juga masih memungkinkan untuk menganalisis sampel cair.

Sedangkan untuk analisis sampel *solid* instrumen yang ideal untuk digunakan diantaranya adalah Spark-AES (*Spark Atomic Emission Spectrometry*), Arc-AES, GDL-AES (*Glow Discharge Lamp Atomic Emission Spectrometry*), SSMS, GDMS, dan WD-XRF, namun ICP-AES, GF-AAS, ICP-MS, Furnace-RIMS, dan GF-LIFS masih memungkinkan juga untuk menganalisa sampel *solid* (Ansari *et al.*, 2004; Edward *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2017a; Suratno *et al.*, 2020; Taboada-Lopez *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2020).

Tabel 2. Ringkasan *analytical performance* dan karakteristik instrumen terpenting yang digunakan dalam analisis logam

Sistem	Sampel Cair	Sampel Padat	Volume Sampel (mL)	Konsentrasi Maksimum Matriks (g L ⁻¹)	Limit Deteksi (ng mL ⁻¹)	Limit Deteksi (ppm)	Sequential Multielement	Simultaneous Multielement	Efek Matriks	Gangguan Spektral	%RSD
Spark-AES	a)	Ideal	a)	a)	a)	1-10	Iya	Iya	Besar	Signifikan	1
Arc-AES	Mungkin	Ideal	a)	c)	a)	0,1-1	Iya	Iya	Besar	Signifikan	5-10
Flame-AES	Ideal	a)	5-10	30	1-100	-	Iya	Iya	Besar	Signifikan	0,5-1
ICP-AES	Ideal	Mungkin	1-10	10-100	0,1-10	-	Iya	Iya	Kecil	Besar	a)
GDL-AES	Mungkin	Ideal	a)	a)	a)	-	Iya	Iya	Kecil	Signifikan	0,5-1
Flame-AAS	Ideal	a)	5-10	30	1-10 ³	-	Mungkin	Tidak	Besar	Beberapa	3-10
GF-AA	Ideal	Mungkin	0,01-0,1	200	10 ⁻² -0,1	-	Mungkin	Iya	Sedang	Beberapa	0,05-0,5
TIMS	Ideal	a)	0,002	1	d)	-	Iya	Iya	c)	Beberapa	1-3
ICP-MS	Ideal	Mungkin	1-10	0,1-0,5	10 ⁻³ -10 ⁻²	-	Iya	Iya	Sedang	Signifikan	a)
SSMS	a)	Ideal	a)	a)	d)	10 ⁻³ -10 ⁻²	Tidak	Iya	Besar	Sedang	a)
GDMS	a)	Ideal	a)	a)	a)	10 ⁻³ -10 ⁻²	Iya	Iya	Kecil	Signifikan	b)
Furnace-RIMS	Ideal	Mungkin	0,001-1	b)	b)	-	Tidak	Tidak	b)	Diabaikan	5
GF-LIFS	Ideal	Mungkin	0,01-0,1	10	10 ⁻³ -10 ⁻²	-	Tidak	Tidak	Sedang	Diabaikan	1
WD-XRF	Mungkin	Ideal	c)	c)	c)	0,1-10 ⁴	Iya	Iya	Besar		

a) tidak dapat diaplikasikan; b) hasil tidak dapat diterima karena masih diteliti; c) tergantung pada masalah analitis dan preparasi sampel; d) tidak digunakan untuk tujuan ini (Ansari *et al.*, 2004).

Instrumen yang paling banyak digunakan adalah Flame-AAS (*flame atomic absorption spectrophotometer*) (Anandkumar *et al.*, 2019; Jalius *et al.*, 2008; Lino *et al.*, 2016; Nembr *et al.*, 2012; Ragi *et al.*, 2017; Yap *et al.*, 2016; Yona *et al.*, 2016, 2018). Flame-AAS memiliki prinsip kerja dengan mengatomisasi sampel menggunakan nyala api kemudian disinari lampu katoda (*hollow cathode lamp*) dan hasilnya dideteksi oleh detektor. Flame AAS yang digunakan tiap peneliti bermacam-macam tipe. Tipe Flame-AAS yang ditemukan

diantaranya, Flame-AAS Shimadzu AA-6800 (Nemr *et al.*, 2012; Yona *et al.*, 2018), Flame-AAS Perkin Elmer AAnalyst 400 (Anandkumar *et al.*, 2019), Flame-AAS Perkin Elmer AAnalyst 800 (Yap *et al.*, 2016), Flame-AAS Perkin Elmer 3110 (Ragi *et al.*, 2017), Flame-AAS 240FS Santa Clara (Lino *et al.*, 2016).

Meskipun ditemukan berbagai tipe Flame-AAS, namun prinsip kerja yang dimiliki sama. Instrumen ini paling sering digunakan sebab efisiensi dan efektifitas yang dimilikinya, selain itu harga analisisnya relatif lebih murah dibandingkan dengan instrumen yang lain.

Instrumen yang dapat digunakan selanjutnya adalah ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) (Lan *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2017a; Weng & Wang, 2019; Xu *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020). Tipe ICP-MS yang ditemukan diantaranya adalah ICP-MS Agilent (Lan *et al.*, 2020; Weng & Wang, 2019; Zhang *et al.*, 2020), ICP-MS NexION 350X PerkinElmer (Xu *et al.*, 2020), dan ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer (Liu *et al.*, 2017a). Prinsip dari ICP adalah ketika sampel dibakar pada tungku atau *burner*, maka api tersebut akan memancarkan emisi dan emisi tersebut diterima detektor berupa plasma. Prinsip kerja yang dimiliki ICP-MS membuat cakupan deteksinya lebih luas, yakni hampir semua unsur dalam tabel periodik karena pendeteksiannya menggunakan plasma. Selain itu ICP-MS juga sangat cepat dalam proses analisisnya, memiliki batas deteksi yang sangat baik, dan lebih mudah digunakan. Namun ICP-MS dipatok dengan harga analisis yang jauh lebih mahal dibandingkan FAAS.

Instrumen ini akan sangat tepat digunakan untuk pengukuran sampel yang sangat banyak atau unsur logam yang bermacam-macam karena memiliki produktivitas tinggi dalam waktu yang singkat. Meskipun mahal akan tetap menjadi ekonomis apabila penggunaannya tepat sasaran.

Instrumen yang ditemukan berikutnya adalah ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometer*) (Denil *et al.*, 2017; Navarro

et al., 2017; Ponnusamy et al., 2014; Suratno et al., 2020). Tipe ICP-OES yang ditemukan diantaranya adalah ICP-OES 7400 Thermo (Suratno et al., 2020), ICP-OES Perkin Elmer Optima 5300DV (Denil et al., 2017), dan ICP-OES ICAP 6500 Duo Thermo Scientific, with One Fast System (Navarro et al., 2017). ICP-OES tidak menggunakan lampu katoda dan menggunakan detektor dalam sistem array (multi detektor), prinsip yang digunakan ICP-OES membuat kecepatan analisisnya tidak bisa dibandingkan dengan AAS. Sampel yang biasa dianalisis dengan FAAS selama 4 hari, akan mampu dianalisis ICP selama 4 jam. Bahan bakar yang digunakan ICP-OES adalah argon sementara satu tabung argon hanya bisa digunakan selama 4 jam, biaya yang dibutuhkan pun menjadi jauh lebih besar.

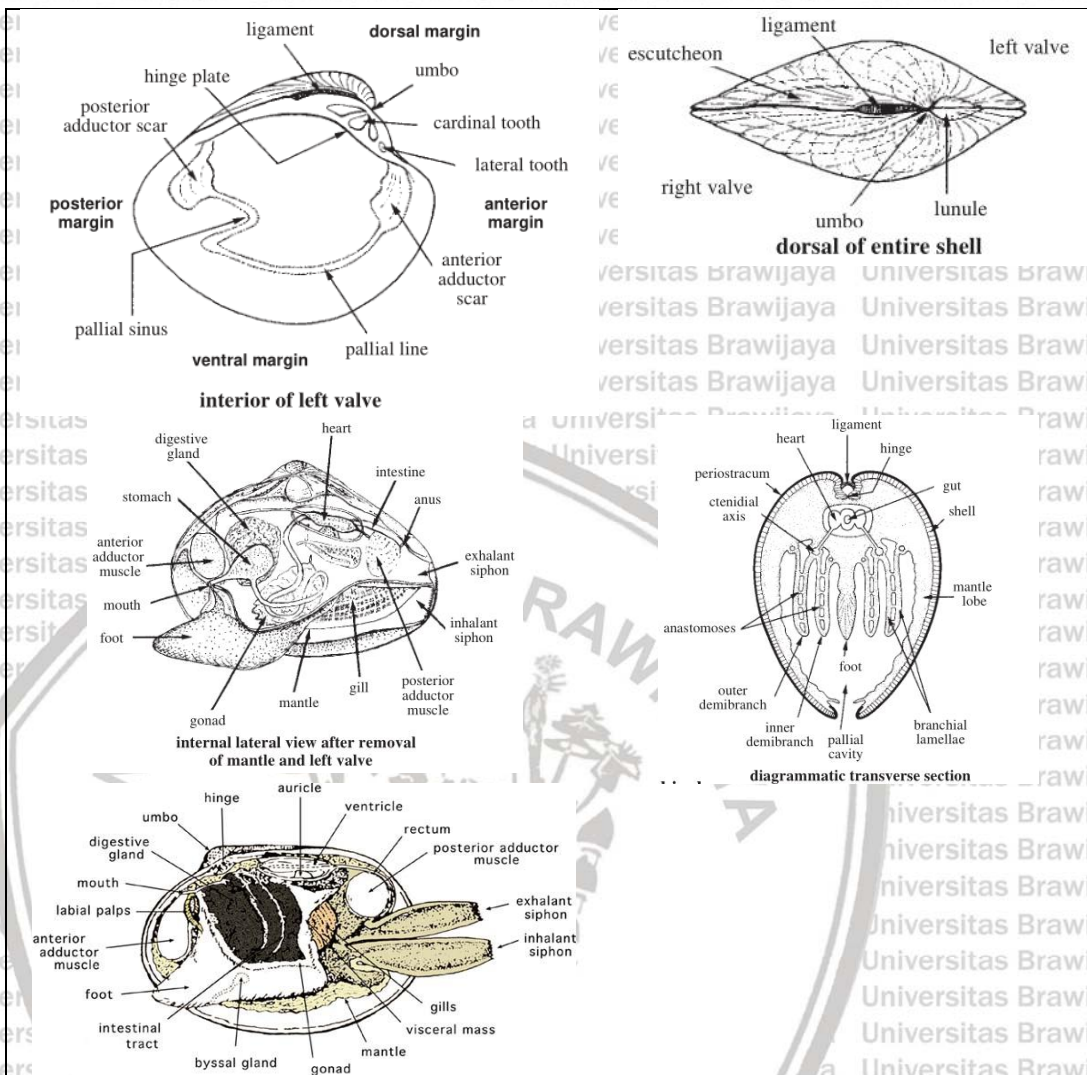
Instrumen yang ditemukan selanjutnya adalah GF-AAS (*Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry*) (Ansari et al., 2014). Prinsip kerja GF-AAS tidak jauh berbeda dengan FAAS, perbedaannya terletak pada cara atomisasi sampelnya yang menggunakan tungku grafit. Sampel yang dibutuhkan pun jauh lebih sedikit dibandingkan dengan FAAS. Harga yang dipatok untuk analisis menggunakan GF-AAS pun lebih mahal jika dibandingkan dengan FAAS.

3.3 Logam Berat Pada Bivalvia

3.3.1 Taksonomi dan Morfologi Bivalvia

Kelas bivalvia merupakan kelas yang tergabung dalam filum moluska (ITIS, 2020) yang merupakan kelas paling dominan nomor dua pada filum moluska (Venkatesan & Mohamed, 2015). Bivalvia dicirikan dengan memiliki cangkang setangkup dan pada umumnya simetri bilateral dengan memanfaatkan ligamen yang menyambung pada otot aduktor dan reduktornya (Ginting et al., 2017; Morton, 2020). Pada bagian dorsal terdapat gigi engsel dan ligamen, mulut dilengkapi dengan *labial-palp*, tanpa rahang dan *radula* seperti pada Gambar 5. Mulut dan anus terletak pada ujung tubuh yang berlawanan (Venkatesan &

Mohamed, 2015).



Gambar 4. Bagian - bagian bivalvia (FAO, 1998; Helm *et al.*, 2004)

Organ lunak bivalvia dilapisi oleh mantel yang terdiri dari dua selubung jaringan tipis yang menebal ditepinya. *Mantle lobes* yang dimiliki bivalvia dapat terhubung ataupun tidak terhubung pada bagian ventralnya (Venkatesan & Mohamed, 2015). Pada mantel beberapa spesies kerang terdapat tentakel.

Mantel bivalvia sangat sensitif terhadap kondisi lingkungannya dan ini berfungsi untuk mengontrol aliran air ke ruang tubuh serta mendukung pergerakan bivalvia (Helm *et al.*, 2004).

Kedua keping cangkang bivalvia dihubungkan dengan otot adduktor (*Adductor muscle*). Otot adduktor pada *dimyarian species* (*clams* dan *mussels*)

berjumlah dua dan terletak didekat tepi anterior dan posterior katup cangkang.

Sedangkan otot adduktor pada *monomyarian species* (*oysters* dan *scallops*)

berjumlah satu berukuran besar dan terletak ditengah (Helm *et al.*, 2004;

Poutiers, 1998).

Organ selanjutnya adalah insang (*gill*) atau *ctenidia* yang menonjol

merupakan ciri utama *lamellibranch*. Organ berukuran besar seperti daun,

berfungsi untuk pernafasan dan menyaring makanan dari air seperti plankton,

bahan organik tersuspensi dan ion-ion. Dua pasang insang terletak di setiap sisi

tubuh (Helm *et al.*, 2004; Jebali *et al.*, 2014; Poutiers, 1998)

Dibawah *visceral mass* terdapat kaki (*foot*) yang berfungsi untuk menggali

substrat dan sebagai jangkar dari tubuh bivalvia itu sendiri. Pada scallop dan

mussels, kaki ini memiliki fungsi yang penting sebagai organ penggerak saat

pada fase *juvenile*. Pada kakinya terdapat kelenjar *byssal* yang menghasilkan zat

elastis seperti benang yang disebut "byssus" dan berfungsi untuk menempel

pada substrat dan memungkinkan bivalvia berlabuh diposisinya (Helm *et al.*,

2004; NOAA, 2020b).

Banyak spesies bivalvia yang memainkan peran penting dalam ekosistem

suatu perairan dan laut karena perannya dalam menyaring air serta perannya

dalam rantai makanan (NOAA, 2020b). Kemampuan bivalvia dalam

mengumpulkan zat dalam tubuhnya atau bioakumulasi polutan air menjadikan

mereka bioindikator yang sangat baik untuk pemantauan kontaminasi dan

transfer polutan antar media pada lingkungan akuatik (Putri *et al.*, 2012; Strehse

& Maser, 2020; Won *et al.*, 2016).

3.3.2 Habitat dan Persebaran Bivalvia

Bivalvia adalah spesies bentik yang tersebar luas di seluruh dunia yang

sebagian besar hidupnya mendiami wilayah pesisir dan muara. Habitatnya

adalah perairan laut, payau, danau, sungai, kolam, serta rawa. Diperkirakan

terdapat 9.200 spesies bivalvia yang menghuni hampir seluruh lautan dunia, mulai dari daerah tropis yang tenang hingga Kutub Utara, dan dari laut dalam hingga pantai berpasir dan berbatu (NOAA, 2020a). Bahkan menurut *Encyclopedia Britannica* terdapat lebih dari 15.000 spesies bivalvia (Morton, 2020). Beberapa jenis bivalvia bahkan hidup di sekitar lubang *hydrothermal vents* yang ditemukan jauh di Samudera Pasifik, dibawah 13.000 kaki (Ginting *et al.*, 2017; NOAA, 2020b; Won *et al.*, 2016).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ansari *et al.*, (2014) ditemukan bivalvia yang hidup pada pantai berbatu dan berpasir. Selain itu bivalvia juga dapat ditemukan di kawasan pantai berpasir dan berlumpur serta daerah pohon mangrove (Cruz *et al.*, 2020; Edward *et al.*, 2009; Ponnusamy *et al.*, 2014). Bivalvia terbukti dapat hidup di berbagai macam habitat dan substrat.

Kekayaan bivalvia pada suatu perairan dapat membentuk sebuah habitat yang dimakan habitat bivalvia. Habitat ini adalah habitat penting yang berada di daerah estuari. Habitat bivalvia terdiri dari agregat padat bivalvia, cangkangnya, spesies yang berasosiasi, dan sedimen terakumulasi. Kumpulan bivalvia menggambarkan struktur yang sangat kompleks yang dibentuk oleh generasi ke generasi bivalvia hingga membentuk "*barriers*" atau "*banks*" yang luas seperti pada Gambar 6. *Bivalves reef* dan *bivalves beds* adalah struktur biogenik kompleks yang dibentuk oleh generasi bivalvia yang menetap dan bertumbuh diatas bivalvia terdahulu (McLeod *et al.*, 2019).



Gambar 5. Habitat Bivalvia (McLeod *et al.*, 2019).

(A) Intertidal Sydney rock oyster, *Saccostrea glomerata*, tumbuh di tepi lumpur, Port Stephens, New South Wales, Australia. (B) Subtidal green-lipped mussel, *Perna canaliculus*, bed tumbuh diatas pasir di saluran muara, Teluk Hauraki Selandia Baru. (C) Subtidal eastern oyster, *Crassostrea virginica*, dengan juvenile black sea bass, *Centropristis striata* (terletak ditengah gambar), Block Island, Rhode Island, Amerika Serikat. (D) Hooded oyster, *Saccostrea cucullata*, tumbuh di garis pantai berbatu, Hong Kong, China (E) *S. Glomerata*, tumbuh di dermaga Port Stephens, Australia. (F) Leaf oysters, *Isognomon ehippium*, tumbuh di tepi lumpur, Hinchinbrook Channel, Queensland, Australia. (G) Liyashan Reef, terdiri dari *Crassostrea sikamea* tumbuh di dataran lumpur, Provinsi Jiangsu, China. (H) *S. glomerata*, tumbuh pada akar bakau dan pneumatophore di Port Stephens, New South Wales, Australia. (I) Subtidal flat oyster, *O. angasi*, reef di Tasmania, Australia.

3.3.3 Hubungan Bivalvia dengan Logam Berat

Bivalvia adalah hewan yang memiliki sistem *filter-feeding* (mencari makan dengan menyaring air di tempat tinggalnya) dan mengakumulasi semua elemen yang dimakan, termasuk partikulat anorganik. Hal ini dapat menghasilkan bioakumulasi zat beracun yang ada (Abreo *et al.*, 2015; Azhar *et al.*, 2012; Rajeswari & Sailaja, 2014). Sistem *filter feeding* dan kehidupan yang *sessile* (menetap pada satu tempat, tidak banyak berpindah) yang dimiliki bivalvia inilah yang membuat keamatan hubungan diantara bivalvia dan logam berat yang bersifat bioakumulatif (Ali & Khan, 2018; Liu *et al.*, 2017a). Bivalvia memiliki resiko yang tinggi terhadap paparan logam berat pada habitat hidupnya sebab

sifat-sifat yang dimilikinya. Kemampuan bivalvia dalam mengumpulkan zat dalam tubuhnya atau bioakumulasi logam berat serta cara hidupnya yang sessile menjadikan mereka bioindikator yang sangat baik untuk pemantauan kontaminasi dan transfer polutan antar media pada lingkungan akuatik (Abreo *et al.*, 2015; Azhar *et al.*, 2012; Rajeswari & Sailaja, 2014; Vieira *et al.*, 2011; Won *et al.*, 2016).

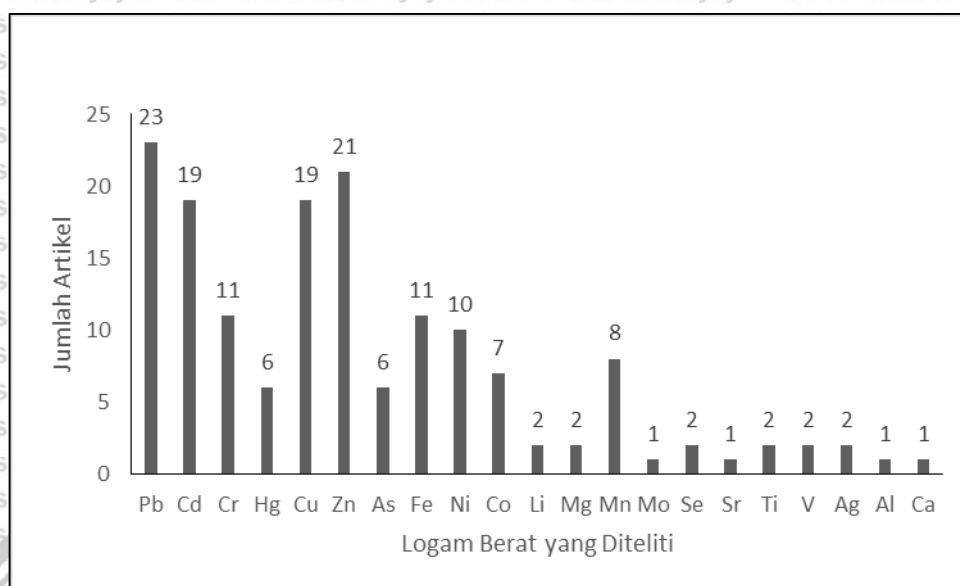
3.3.4 Bioakumulasi Logam Berat dalam Bivalvia

a. Logam Berat yang diteliti Pada Artikel tahun 2011-2020

Berbagai jenis logam berat telah diteliti keberadaannya pada bivalvia selama 10 tahun kebelakang sejak tahun 2011-2020 (Gambar 6). Logam berat yang paling banyak diteliti adalah logam timbal (Pb) sebanyak 23 artikel dari 28 artikel yang meneliti bioakumulasi logam berat dalam bivalvia. Logam berat Pb menjadi perhatian utama penelitian sebab sifat toksiknya yang berpotensi memberikan banyak dampak negatif bagi kesehatan biota maupun kesehatan manusia. Keberadaan logam Pb dilingkungan yang semakin banyak dan berasal dari berbagai sumber juga menjadi salah satu alasan banyaknya penelitian logam timbal (Amriani *et al.*, 2011; Anandkumar *et al.*, 2019; Azhar *et al.*, 2012; Cruz *et al.*, 2020; Denil *et al.*, 2017; Lan *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2017a; Nembr *et al.*, 2012; Nour, 2020; Suratno *et al.*, 2020; Yap *et al.*, 2016; Yona *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2020).

Sebaliknya, logam Al, Ca, Sr, dan Mo yang paling jarang diteliti dalam penelitian bioakumulasi logam berat (Nembr *et al.*, 2012; Ragi *et al.*, 2017; Suratno *et al.*, 2020). Logam Al dan Ca tidak terlalu menjadi perhatian dalam penelitian bioakumulasi logam berat dalam bivalvia. Hal ini disebabkan karena logam Al dan Ca tergolong kedalam logam esensial dan memiliki potensi yang kecil untuk menimbulkan dampak negatif pada kesehatan (ATSDR, 2008; Zoroddu *et al.*, 2019). Logam Sr dan Mo jarang ditemukan

pada daerah yang ditinggali bivalvia karena penggunaannya hanya pada sebagian industri saja (Gao *et al.*, 2020; RSC, 2021).

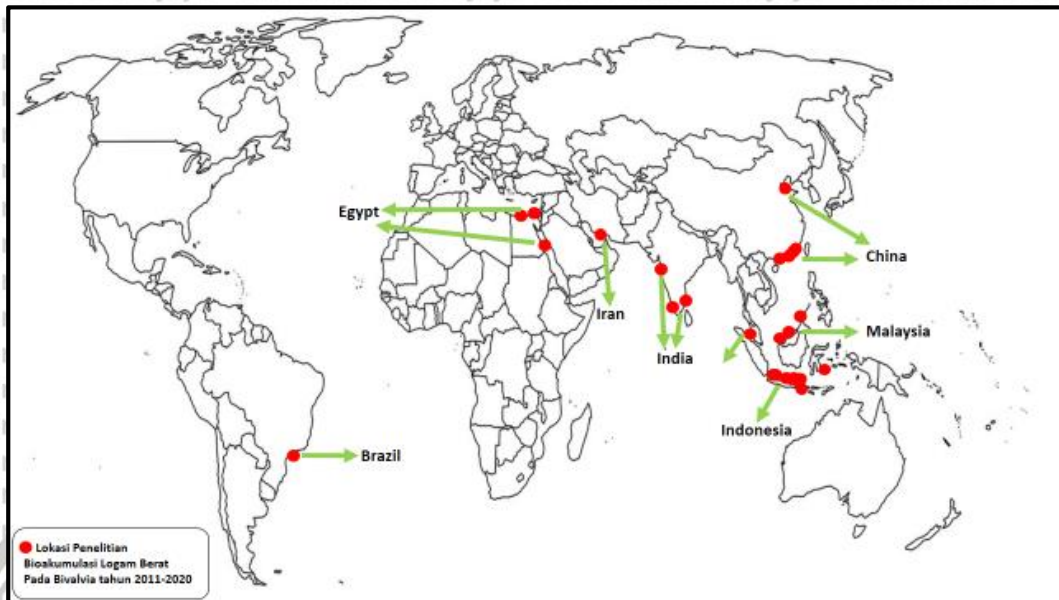


Gambar 6. Jenis logam berat yang diteliti dari tahun 2011-2020 (Dokumen penulis)

b. Sebaran Lokasi Penelitian Bioakumulasi Logam Berat Pada Bivalvia

Penelitian bioakumulasi logam berat pada bivalvia telah dilakukan baik dalam negeri (Amriani *et al.*, 2011; Andayani *et al.*, 2020; Azhar *et al.*, 2012; Haryono *et al.*, 2017; Indrawan *et al.*, 2018; Rayyan *et al.*, 2019; Suratno *et al.*, 2020; Yona *et al.*, 2016, 2018) maupun luar negeri (AbdElGhany, 2017; Anandkumar *et al.*, 2019; Cruz *et al.*, 2020; Denil *et al.*, 2017; Lan *et al.*, 2020; Lino *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2017a; Navarro *et al.*, 2017; Nemr *et al.*, 2012; Nour & Sorogy, 2020; Ponnusamy *et al.*, 2014; Ragi *et al.*, 2017; Usmani & Patil, 2015; Weng & Wang, 2019; Yap *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020). Sebaran lokasi penelitian bioakumulasi logam berat pada bivalvia tahun 2011-2020 dapat dilihat pada Gambar 7. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa lokasi penelitian bioakumulasi logam berat pada bivalvia tersebar dari wilayah Benua Asia hingga Benua Amerika Selatan. Berbagai negara menjadi lokasi penelitian bioakumulasi logam berat

pada bivalvia, seperti Indonesia, Malaysia, China, India, Iran, Egypt, dan Brazil. Namun lokasi penelitian lebih terkonsentrasi pada wilayah Asia, tepatnya di negara Indonesia, Malaysia, dan China.



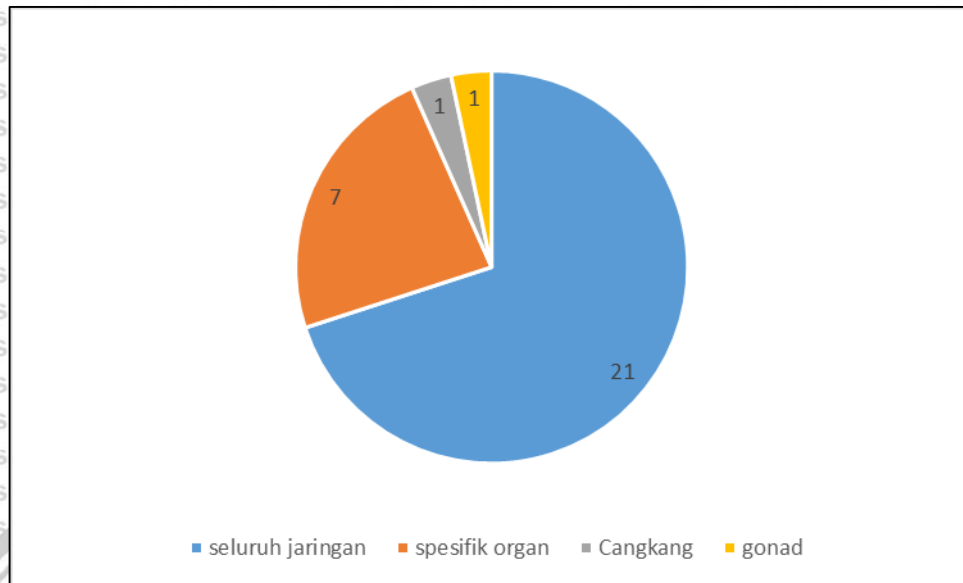
Gambar 7. Sebaran Lokasi Penelitian Bioakumulasi Logam Berat Pada Bivalvia tahun 2011-2020 (Dokumen penulis)

c. Organ Bioakumulasi Logam Berat pada Bivalvia

Setiap penelitian memiliki masing-masing cakupan penelitiannya, seperti bagian yang diuji pada obyek penelitian. Bagian yang diuji pada penelitian bioakumulasi logam berat dalam bivalvia dapat dibedakan menjadi beberapa klasifikasi, diantaranya adalah seluruh jaringan lunak bivalvia, spesifik organ bivalvia, cangkang bivalvia saja, dan gonad bivalvia saja. Sebaran klasifikasi bagian yang diteliti dalam artikel dapat dilihat pada Gambar 8. Keputusan peneliti untuk menentukan bagian apa saja yang akan diteliti bergantung pada tujuan dari masing-masing penelitian.

Sebanyak 70 % penelitian bioakumulasi logam berat bivalvia menguji konsentrasi logam berat dari seluruh jaringan lunak (*soft tissues*) bivalvia. Seluruh jaringan lunak menjadi bagian yang paling sering diteliti sebab seluruh jaringan lunak bivalvia dikonsumsi oleh masyarakat (Azhar *et al.*,

2012; Liu *et al.*, 2017a; Xu *et al.*, 2020; Yap *et al.*, 2016). Hal ini membuat urgensi penelitian untuk mengetahui keamanan konsumsi bivalvia.



Gambar 8. Bagian Bivalvia yang diuji pada 30 artikel tahun 2008-2020 (Dokumen penulis)

Bagian yang diteliti selanjutnya adalah spesifik organ bivalvia. Tidak sebanyak penelitian pada seluruh jaringan lunak, penelitian pada spesifik organ yang ditemukan hanya sepertiganya. Setiap penelitian memiliki pembagian yang berbeda-beda, ada yang dibagi menjadi 2 bagian, 3 bagian, 4 bagian, 7 bagian, dan 8 bagian. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Suratno *et al.*, (2020) dan Liu *et al.*, (2017) yang meneliti 2 bagian, *muscel* dan *visceral mass* bivalvia. Anandkumar *et al.*, (2019) dan Navarro *et al.*, (2017) sama-sama meneliti 3 bagian bivalvia namun pembagiannya pun berbeda, Anandkumar *et al.*, (2019) meneliti bagian *muscle*, *gill*, dan *gonad* sedangkan Navarro *et al.*, (2017) meneliti bagian *digestive gland*, *gill*, dan *remainder* (sisa jaringan lunak). Penelitian yang dilakukan oleh Xu *et al.*, (2020) meneliti 4 bagian, *adductor*, *muscle mantle*, *gill*, dan *remainder*. Ponnusamy *et al.*, (2014) meneliti 7 bagian bivalvia, *gonad*, *mantle*, *adductor*, *shell*, *byssus*, *gill*, dan *foot*. Penelitian Edward *et al.*, (2009) adalah yang

paling banyak pembagiannya, sebanyak 8 bagian diteliti diantaranya *byssus*, *foot*, *gill*, *gonad*, *mantle*, *muscle*, *remainder*, dan *shell*.

Penelitian bioakumulasi logam berat spesifik pada organ bivalvia masih tergolong jarang. Penyebab jarangnya penelitian yang dilakukan spesifik pada organ disebabkan karena dibutuhkan kemampuan untuk membedah bivalvia dan mengidentifikasi organ-organ bivalvia (Anandkumar *et al.*, 2019; Edward *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2017a; Suratno *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2020).

Membedah bivalvia dapat dikatakan sulit sebab ukuran bivalvia yang kecil.

Penelitian spesifik pada organ bivalvia biasanya bertujuan untuk mengetahui organ apa yang paling akumulatif terhadap logam berat (Anandkumar *et al.*, 2019; Edward *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2017a; Navarro *et al.*, 2017; Suratno *et al.*, 2020). Konsentrasi logam paling banyak terakumulasi pada *digestive gland* (Liu *et al.*, 2017a; Navarro *et al.*, 2017; Suratno *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2020) diikuti *gill* (Anandkumar *et al.*, 2019; Edward *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2020) dan *gonad* (Boateng *et al.*, 2011; Edward *et al.*, 2009).

d. Konsentrasi Logam Berat Pada Bivalvia

Konsentrasi logam berat yang ditemukan pada beberapa penelitian sangat beragam. Beberapa tergolong dibawah nilai ambang batas aman, dan beberapa melebihi nilai ambang batas aman. Nilai konsentrasi logam berat yang melebihi batas aman pada jaringan lunak (*soft tissue*) bivalvia ditampilkan pada Tabel 3. Penilaian ambang batas aman yang digunakan pada artikel sangat beragam, yaitu penilaian berdasarkan *World Health Organization* (WHO) (Cruz *et al.*, 2020; Denil *et al.*, 2017; Nembr *et al.*, 2012; Usmani & Patil, 2015; Yap *et al.*, 2016), *Food and Agriculture Organization* (FAO) (Denil *et al.*, 2017; Nembr *et al.*, 2012; Yap *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2020), *European Commission* (EC) (Yap *et al.*, 2016), *European Union* (EU)

(AbdElGhany, 2017), U.S. Food and Drug Administration (USFDA) (Nemr et al., 2012; Yap et al., 2016), Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) (Yap et al., 2016), United States Environmental Protection Agency (USEPA) (AbdElGhany, 2017; Lan et al., 2020; Nemr et al., 2012; Rayyan et al., 2019), Malaysian Food and Regulations (MFR) (Denil et al., 2017), MSQ (grade of the Marine Seawater Quality Standard issued by the China State Bureau of Quality and Technical Supervision) (Yuan et al., 2020), Brazilian Health Regulatory Agency (ANVISA) (Lino et al., 2016), Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) (Andayani et al., 2020; Indrawan et al., 2018).

Konsentrasi Pb yang ditemukan dalam bivalvia baik dari dalam negeri (Andayani et al., 2020; Haryono et al., 2017; Indrawan et al., 2018) maupun luar negeri (Denil et al., 2017; Yap et al., 2016), melampaui ambang batas aman yang ditetapkan WHO/FAO sebesar 1,5 mg per minggu sehingga besar kemungkinannya dapat memberikan dampak buruk bagi kesehatan. Pada penelitian yang meneliti konsentrasi logam pada spesifik organ bivalvia, ditemukan konsentrasi Pb paling banyak terakumulasi pada *digestive gland* (Liu et al., 2017a; Navarro et al., 2017; Suratno et al., 2020; Xu et al., 2020) diikuti *gill* (Anandkumar et al., 2019; Edward et al., 2009; Xu et al., 2020) dan *gonad* (Boateng et al., 2011; Edward et al., 2009). Logam yang terakumulasi dalam gonad berpotensi menimbulkan masalah fertilitas bivalvia seperti gangguan *spermatogenesis* dan berpotensi menjadi sebab perubahan morfologi pada bivalvia (Jalius et al., 2008). Perairan asal sampel bivalvia yang memiliki konsentrasi Pb melebihi batas aman merupakan daerah yang menerima berbagai pencemaran baik limbah rumah tangga, perindustrian, maupun limbah yang dibawa oleh aliran sungai (Andayani et al., 2020; Edward et al., 2009; Yap et al., 2016). Perairan tersebut diantaranya adalah

Teluk Jakarta (Andayani *et al.*, 2020), Selat Malaka serta Selat Johore (Edward *et al.*, 2009; Yap *et al.*, 2016).

Beberapa penelitian menemukan konsentrasi Cd pada bivalvia melebihi ambang batas aman yang telah ditentukan oleh WHO (AbdElGhany, 2017; Andayani *et al.*, 2020; Denil *et al.*, 2017; Lan *et al.*, 2020; Lino *et al.*, 2016; Nemr *et al.*, 2012; Weng & Wang, 2019; Yap *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2020).

Batas aman yang ditentukan WHO untuk logam Cd yaitu sebesar 0,001 mg.

Pada tubuh biota, kadmium dapat terakumulasi dalam beberapa organ yaitu

digestive gland, gill, byssus, foot, visceral mass, mantle, muscle, gonad, dan

shell. Namun *digestive gland* (Liu *et al.*, 2017a; Navarro *et al.*, 2017; Suratno

et al., 2020; Xu *et al.*, 2020) dan *gill* (Anandkumar *et al.*, 2019; Edward *et al.*,

2009; Xu *et al.*, 2020) mampu mengakumulasi Cd lebih banyak daripada

organ yang lain (Anandkumar *et al.*, 2019; Edward *et al.*, 2009; Liu *et al.*,

2017a; Navarro *et al.*, 2017; Suratno *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2020). Tingginya

konsentrasi Cd pada perairan dapat diakibatkan oleh lokasinya yang berada

pada daerah estuari sehingga mengakumulasi Cd pada lokasinya atau dapat

berasal dari daratan atau antropogenik (Denil *et al.*, 2017; Weng &

Wang, 2019). Daerah penelitian Weng & Wang, (2019) sekitarnya banyak

berdiri pabrik hingga dijuluki dengan sebutan "the factory of the world". Begitu

juga dengan penelitian Denil *et al.*, (2017), pada daerah penelitiannya banyak

dilakukan aktifitas ekonomi maupun rumah tangga. Tidak jauh berbeda

dengan penelitian di Daya Bay (South China Sea), Houshi Power Plant

China, Egyptian Mediterranean coast, Southeast Brazilian coast, dan

Perairan Pesisir Jawa juga didapati bivalvia dengan nilai Cd melebihi ambang

batas karena banyaknya aktifitas pada daerah tersebut (AbdElGhany, 2017;

Andayani *et al.*, 2020; Lan *et al.*, 2020; Lino *et al.*, 2016; Nemr *et al.*, 2012;

Yuan *et al.*, 2020).

Logam Cu ditemukan dalam jaringan lunak (*soft tissue*) bivalvia melebihi batas aman pada beberapa penelitian (Denil *et al.*, 2017; Lan *et al.*, 2020; Lino *et al.*, 2016; Weng & Wang, 2019). Pada penelitian yang meneliti konsentrasi logam pada spesifik organ bivalvia, ditemukan konsentrasi Cu paling banyak terakumulasi pada *digestive gland* (Liu *et al.*, 2017a; Navarro *et al.*, 2017; Suratno *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2020) dan *gill* (Anandkumar *et al.*, 2019; Edward *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2020). Tingginya konsentrasi Cu yang ditemukan, merupakan pada daerah estuari dan mayoritas sumber polutan yang masuk berasal dari daratan atau antropogenik (Denil *et al.*, 2017; Lan *et al.*, 2020; Lino *et al.*, 2016; Weng & Wang, 2019). Daerah penelitian Weng & Wang, (2019) merupakan daerah yang terkonsentrasi pabrik-pabrik sehingga menyumbang banyak polutan pada lingkungan sekitarnya. Begitu juga dengan penelitian Denil *et al.*, (2017) di Teluk Marudu dan Lino *et al.*, (2016) di Teluk Guanara (Southeast Brazilian coast), pada daerah penelitiannya banyak dilakukan aktifitas ekonomi maupun rumah tangga sehingga menerima banyak masukan limbah antropogenik.

Logam Zn dalam bivalvia ditemukan dengan konsentrasi yang tinggi dan melebihi batas aman (Denil *et al.*, 2017; Weng & Wang, 2019). Tingginya konsentrasi Zn merupakan pada daerah estuari dan mayoritas disebabkan oleh sumber polutan yang berasal dari daratan atau antropogenik (Denil *et al.*, 2017; Weng & Wang, 2019). Daerah penelitian Weng & Wang, (2019) merupakan daerah pabrik yang besar sehingga menghasilkan polutan yang melimpah. Begitu juga dengan penelitian Denil *et al.*, (2017), pada daerah penelitiannya banyak dilakukan aktifitas ekonomi maupun rumah tangga sehingga banyak polutan yang masuk pada perairan tersebut.

Ditemukan bivalvia dengan konsentrasi logam Cr (kromium) dengan nilai yang tinggi pada beberapa penelitian (Lino *et al.*, 2016; Nemr *et al.*, 2012;

Weng & Wang, 2019). Tingginya konsentrasi Cr ditemukan pada lokasi-lokasi penelitian yang memiliki kesamaan, yaitu setiap lokasi merupakan daerah yang sangat sibuk dan terdapat banyak aktifitas disekitarnya. Banyaknya aktifitas ini mengakibatkan banyaknya masukan polutan atau sumber logam Cr pada daerah tersebut (Lino *et al.*, 2016; Nembr *et al.*, 2012; Weng & Wang, 2019). Lokasi dengan konsentrasi Cr pada bivalvia paling tinggi di Egyptian Mediterranean Coast, memiliki beberapa sumber polutan seperti limbah antropogenik, *oil spill*, *ballast water*, polusi petroleum, tempat rekreasi, dan aktifitas perikanan (Nembr *et al.*, 2012).

Logam Fe dalam bivalvia ditemukan dalam konsentrasi yang tinggi pada penelitian yang dilakukan di Mandovi Estuary, West Coast of India. Ditemukan spesies *Perna viridis* dengan konsentrasi Fe sebesar 2233,300 ppm (Usmani & Patil, 2015). Tingginya konsentrasi Fe dalam bivalvia ini disebabkan oleh lokasi dimana bivalvia tersebut tinggal terletak pada daerah pertambangan. Pada penelitian yang meneliti konsentrasi logam pada spesifik organ bivalvia ditemukan konsentrasi Fe paling tinggi terakumulasi pada *byssus* spesies *Perna viridis* yang berasal dari Pantai Lido (Johore) dan Telok Mas 2 (Malacca) (Edward *et al.*, 2009).

Ditemukan bivalvia dengan konsentrasi merkuri (Hg) melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh FAO/WHO sebesar 0,5 mg/kg (Andayani *et al.*, 2020; Lan *et al.*, 2020). Pada penelitian yang meneliti konsentrasi logam pada spesifik organ bivalvia, ditemukan konsentrasi Hg paling banyak terakumulasi pada *visceral mass* (Liu *et al.*, 2017a; Suratno *et al.*, 2020).

Tingginya konsentrasi Hg pada bivalvia disebabkan oleh lokasi dimana bivalvia didapat menerima masukan berbagai limbah seperti Teluk Jakarta dan Houshi Power Plant China, hal ini sangat mengkhawatirkan sebab dalam jumlah tersebut akan memberikan dampak negatif bagi yang

mengonsumsinya (Andayani *et al.*, 2020; Lan *et al.*, 2020).

Logam As, Mn, dan Co masing-masing ditemukan satu penelitian yang menunjukkan nilai yang tinggi untuk logam tersebut (Denil *et al.*, 2017; Nemr *et al.*, 2012; Weng & Wang, 2019). Logam As, Mn, dan Co jarang ditemukan melebihi batas aman sebab jumlah penelitian terhadap logam tersebut tidak terlalu banyak seperti logam Pb dan Cd yang hampir diseluruh penelitian bioakumulasi logam berat menelitinya.

Semua penelitian yang ditemukan meneliti konsentrasi logam Ni pada bivalvia, membuktikan bahwa konsentrasi Ni yang ditemukan tidak ada yang melebihi batas aman menurut USFDA sebesar 80 mg/kg (Denil *et al.*, 2017; Lino *et al.*, 2016; Nemr *et al.*, 2012; Weng & Wang, 2019; Yap *et al.*, 2016).

Namun Weng & Wang, (2019) mengatakan dalam penelitiannya didapatkan spesies *Crassostrea hongkongensis* dengan konsentrasi Ni sebesar 7,29 mg/kg, nilai ini disebut tinggi jika dibandingkan dengan nilai rata-rata nasional China.

Tabel 3. Konsentrasi Logam Berat yang melebihi ambang batas aman pada jaringan lunak (*soft tissue*) bivalvia

SPEKIES	LOKASI	Satuan	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	keterangan	Referensi
<i>Perna viridis</i>	Straits of Malacca & Straits of Johore	mg/kg	10,70	1,47	12,90	92,10		579,00	18,90					Pb beresiko (penilaian berdasarkan European Comission, USFDA, FAO, WHO, JECFA)	Yap <i>et al.</i> , (2016)
<i>O. glomerata</i>	Daya Bay (South China Sea)	mg/kg	0,47	0,41	12,04	10,59	0,76			0,02	0,48			semua BCF diatas 100, sangat tinggi, terbukti akumulatif (penilaian berdasarkan USEPA, FAO, MSQ)	Yuan <i>et al.</i> , (2020)
<i>P. viridis</i>			0,48	0,31	1,58	11,95	0,78			0,02	0,50				
<i>C. scripta</i>			0,34	0,07	0,90	9,79	1,79			0,02	0,29				
<i>M. edulis</i>			0,44	0,06	1,49	10,36	1,08			0,01	0,22				
<i>G. divaricatum</i>			0,24	1,14	1,10	10,64	0,78			0,02	0,50				
<i>B. virescens</i>			0,83	0,66	1,32	11,32	0,23			0,03	0,39				
<i>Meretrix meretrix</i>	Teluk Marudu, Malaysia	mg/kg	0,90		6,57	45,25		276,50	4,92			6,92		Mn melebihi batas aman (penilaian berdasarkan MFR, FAO, WHO)	Denil <i>et al.</i> , (2017)
<i>Crassostrea gigas</i>			2,77	2,34	74,90	822,90		285,50	4,23			20,30		Pb, Cu, Zn, Mn melebihi batas aman	
<i>Polymesoda expansa</i>			0,95	0,24	6,42	135,50		783,00	2,58			66,10		Zn, Mn melebihi batas aman	
<i>Perna viridis</i>			0,56	2,72	11,29	37,92		313,60	3,10			28,81		Mn melebihi batas aman	
<i>Perna viridis</i>	Ujung Pangkah Gresik	mg/kg				4,28		4,35						nilai EDI tinggi, bisa beresiko (penilaian berdasarkan USEPA)	Rayyan <i>et al.</i> , (2019)
<i>Crassostrea hongkongensis</i>	Pearl River Estuary ,Yeli site	µg/g dw	0,57	24,30	2141,00	3810,00	0,19		2,21		5,45		0,72	Cu, Zn, Cd & Ag tinggi, lebih tinggi daripada rerata nasional	Weng & Wang, (2019)
	Pearl River Estuary ,Hengshi site		0,56	23,10	2247,00	8321,00	0,62		5,18		5,88		1,03	Zn tinggi	
	Pearl River Estuary ,Shenzhen site		0,90	17,50	4108,00	6091,00	0,56		7,29		5,23		1,13	Cu, Ni, Pb and Cr tinggi	
<i>Crassostrea gigas</i> (oysters)	Houshi Power Plant, China	µg/g ww	0,05	0,39	71,70	152,06				0,75	0,41			Cu & Cd beresiko (penilaian berdasarkan USEPA)	Lan <i>et al.</i> , (2020)

SPESES	LOKASI	Satuan	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	keterangan	Referensi
Semua Bivalvia Konsumsi yang ditemukan	Egyptian Mediterranean coast, El-Mex	µg/g dw	0,43	0,13	11,58	51,83	12,2 5		14,95				4,25	Kromium paling mengkhawatirkan dan beresiko (penilaian berdasarkan FAO, WHO, EPA, USFDA)	Nemr <i>et al.</i> , (2012)
	Western Harbor		0,05	0,04	1,54	8,35	11,0 3		10,21				1,13		
	El-Dekhila		0,14	0,13	1,92	9,72	4,18		13,70				1,53		
	Eastern Harbor		0,29	0,12	3,46	14,13	5,24		9,02				2,45		
	Abu-Qir		0,49	0,14	5,97	66,05	12,0 2		15,02				3,93		
	Rashid		0,12	0,07	3,40	12,34	5,00		8,70				1,02		
	El-Jamil		0,19	0,08	1,91	11,43	3,72		5,43				2,86		
	Damietta		0,19	0,03	1,59	10,41	4,42		3,42				1,21		
	Port Said		0,28	0,09	2,77	12,60	18,5 8		12,08				3,64		
Polymesoda erosa	Zuari Estuary, west coast of India	Ppm	2,00			280,00		0,15				373,00	berpotensi bahaya berdasarkan WHO	(Cruz <i>et al.</i> , 2020)	
Perna perna	Southeast Brazilian coast, Guanara Bay	µg/g dw			698,00	62,00	2,80	197,00	2,30			22,00	Cu, Cr tidak aman untuk kesehatan (penilaian berdasarkan Brazilian Agency (ANVISA))	(Lino <i>et al.</i> , 2016)	
	Sepetiba Bay			0,15 0	42,000	48,000	3,60 0	193,00 0	1,800			17,000			
	Ilha Grande Bay				12,000	43,000	2,40 0	477,00 0	2,100			12,000			
	Arraial do Cabo			0,60 0	37,000	51,000	3,60 0	183,00 0	2,300			6,000			
Nodipecten nodosus	Ilha Grande Bay			1,20 0	3,300	52,000	2,60 0	40,000				76,000			
	Arraial do Cabo			0,80 0	9,000	49,000	2,50 0	44,000				15,000			
Perna viridis	West coast of India -mandovi estuary	Ppm						2233,3 00				140,20 0	Fe melebihi standar WHO	Usmani & Patil, (2015)	
Venerupis decussate	Port Said, Egypt	µg/g dw	1,24 0	1,22 3	15,510	0,481		440,59 6					0,97 45	Pb bahaya (penilaian berdasarkan USEPA, European Agency)	AbdElGha ny, (2017)



SPESES	LOKASI	Satuan	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	keterangan	Referensi
														Union)	
Marcia opima	Perairan Serangan Bali	mg/kg	2,57 1											Pb melebihi batas aman (penilaian berdasarkan BPOM)	Indrawan <i>et al.</i> , (2018)
Marcia hiantina			2,42 2												
Perna sp.			2,09 3												
Perna viridis	Perairan Pesisir Jawa - Suranenggala	mg/kg	2,66 0	0,73 0						0,01 0				semua tidak layak konsumsi kecuali panimbang saja (penilaian berdasarkan BPOM)	Andayani <i>et al.</i> , (2020)
	Losari		3,52 0	0,40 0						0,01 0					
	Teluk Jakarta		29,4 00	0,42 0						11,7 00					
	Panimbang			0,06 8						0,22 0					
Perna viridis	Muara Sungai Rejoso Pasuruan	mg/kg	1,57											Terbukti sebagai akumulator	Haryono <i>et al.</i> , (2017)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Metode pada penelitian bioakumulasi logam berat memiliki beberapa tahapan, antara lain pengumpulan sampel, preservasi sampel, preparasi sampel, dan analisis dengan instrumen. Terdapat beberapa perbedaan dan persamaan pada metode yang digunakan setiap penelitian. Pengumpulan sampel dapat dilakukan secara langsung menggunakan tangan, menggunakan jaring nelayan secara tradisional, dan dapat membeli pada nelayan. Pada langkah preservasi, sampel dibersihkan dan disimpan pada suhu rendah hingga dilakukan analisis selanjutnya. Tahapan preparasi sampel dapat diklasifikasikan menjadi 2 macam, yaitu destruksi kering dan destruksi basah. Destruksi kering menjadi metode yang paling sering digunakan. Instrumen yang digunakan cukup beragam dan disesuaikan dengan kebutuhan penelitian, namun instrumen yang kerap digunakan oleh peneliti adalah Flame-AAS sebab efektifitas dan efisiensinya.

Bivalvia yang digunakan sebagai objek penelitian merupakan spesies bentik yang sering ditemukan pada daerah estuari. Penelitian bioakumulasi logam berat pada bivalvia tersebar di seluruh penjuru dunia namun lebih terkonsentrasi pada Benua Asia, tepatnya di negara Indonesia, Malaysia, dan China. Lokasi penelitian memiliki banyak aktifitas di sekitarnya sebagai sumber pencemaran logam berat. Sumber pencemaran logam berat yang paling sering ditemukan adalah limbah antropogenik. Penelitian yang menganalisis konsentrasi logam berat spesifik pada organ memberikan informasi organ bivalvia yang paling akumulatif terhadap logam berat, yaitu *digestive gland* dan *gill*. Sedangkan penelitian yang menganalisis logam berat pada keseluruhan jaringan lunak bertujuan untuk mengetahui keamanan konsumsi bivalvia yang

diteliti, sebab seluruh jaringan lunak bivalvia dikonsumsi oleh masyarakat.

Adanya konsentrasi logam berat dalam bivalvia tidak dapat diabaikan, terutama pada daerah dengan banyak aktifitas yang berpotensi menyumbangkan konsentrasi logam berat kedalam habitat bivalvia. Sehingga penting dilakukan *biomonitoring* agar masyarakat dapat terhindar dari dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh konsumsi logam berat dalam bivalvia.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil ulasan yang telah dilakukan, setiap penelitian konsentrasi logam berat dalam spesifik organ bivalvia memiliki pembagian organ yang berbeda-beda. Jika setiap penelitian yang dibandingkan memiliki pembagian organ yang berbeda-beda, hal tersebut dapat menimbulkan kerancuan. Namun apabila pembagian organ bivalvia yang diteliti seragam, maka jika dibandingkan akan lebih representatif. Oleh karena itu perlu dilakukan pembagian organ yang sama pada penelitian konsentrasi logam berat dalam spesifik organ bivalvia jika akan dibandingkan.

DAFTAR PUSTAKA

- AbdElGhany, S. R. (2017). Heavy metal bioaccumulation in the edible bivalve *Venerupis decussata* collected from Port Said, Egypt. *Wulfenia Journal*, Vol. 24(5), 48–62.
- Abreo, N. A. S., Macusi, E. D., Cuenca, G. C., Ranara, C. T. B., Cardona, L. T., & Arabejo, G. F. P. (2015). Nutrient Enrichment, Sedimentation, Heavy Metals And Plastic Pollution In The Marine Environment And Its Implications On Philippine Marine Biodiversity: A Review. *IAMURE Int. J. Ecol. Conserv*, 15, 111–167.
- Adamiec, E., Krzeminska, E. J., & Wieszala, R. (2016). Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188:369.
- Adhani, R., & Husaini. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lampung Mangkurat University Press.
- Ali, H., & Khan, E. (2018). Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. *Springer: Environmental Chemistry Letters*. <https://doi.org/http://doi.org/10.1007/s10311-018-0734-7>
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry Hindawi*.
- Alina, M., Azrina, A., Mohd Yunus, A. S., Mohd Zakiuddin, S., Mohd Izuan, E. H., & Muhammad Rizal, R. (2012). Heavy metals (mercury, arsenic, cadmium, plumbum) in selected marine fish and shellfish along the Straits of Malacca. *International Food Research Journal*, 19(1), 135–140.
- Amriani, Hendrarto, B., & 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*, Vol. 9(2), 45–50.
- Anandkumar, A., Nagarajan, R., Prabakaran, K., Bing, C. H., Rajaram, R., Li, J., & Du, D. (2019). Bioaccumulation of trace metals in the coastal Borneo (Malaysia) and health risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 145, 56–66.
- Andayani, A., Koesharyani, I., Fayumi, U., Rasidi, & Sugama, K. (2020). Akumulasi Logam Berat Pada Kerang Hijau di Perairan Pesisir Jawa. *Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia*, Vol. 5(2), 135–144.
- Ansari, Marr, I. L., & Tariq, N. (2004). Heavy Metals in Marine Pollution Perspective. *Journal of Applied Sciences*, Vol. 4 No. 1, 1–20.
- Ansari, Z., Rahimi, M., Bakhtiari, A. R., & Ebrahimi, M. H. (2014). Comparative Assessment of Metal (Zn, Cu, Pb, Cd, Hg) Concentrations in Soft Tissue and Shell of *Barbatia helblingii* (family: Arcidae) from Qeshm Island (Persian Gulf) during Winter and Spring. *Indian Journal of Geo-Marine Science*, Vol. 43 (9), 1770–1780.
- Athar, M., & Vohora, S. B. (2001). Heavy metals and environment. *New Age International Publisher*, 3–40.
- ATSDR. (2008). Public Health Statement: Aluminium. *Agency For Toxic Substances and Disease Registry*.

- Authman, M. M. N., Zaki, M. S., Khallaf, E. A., & Abbas, H. H. (2015). Fish as Bio-indicator of the Effects of Heavy Metals Pollution. *Journal of Aquaculture Research & Development*, Vol. 6(4).
- Azhar, H., Widowati, I., & Suprijanto, J. (2012). Studi Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Cd, Cr, Pada Kerang Sumping (*Amusium pleuronectes*), Air dan Sedimen Di Perairan Wedung, Demak Serta Analisis Maximum Tolerable Intake Pada Manusia. *Journal Of Marine Research*, Vol. 1 No. 2, 35–44.
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). *SNI 3556-2010 tentang garam beryodium*.
- Begum, A., HariKrishna, S., & Khan, I. (2009). Analysis of Heavy metals in Water, Sediments and Fish samples of Madivala Lakes of Bangalore, Karnataka. *International Journal of ChemTech Research*, Vol. 2 (1), 245–249.
- Bernard, A. (2008). Cadmium & its adverse effects on human health. *Indian Journal of Medical Research*, 128(4), 557–564.
- Bernhoft, R. A. (2012). Mercury Toxicity and Treatment. *Journal of Environmental and Public Health*.
- Boateng, D. A., Obirikorang, K. A., & Othchere, F. A. (2011). Relationship Between Gonad Maturation and Heavy Metal Accumulation in the Clam, *Galatea paradoxa* (Born 1778) from the Volta Estuary, Ghana. *Bulletin Of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 87, 626–632.
- Borja, A., Garmendia, J. M., Belzunce, M. J., & Rodriguez, J. G. (2011). Impact of Pollutants on Coastal and Benthic Marine Communities. *Ecological Impacts of Toxic Chemicals*.
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy Metal Pollution in the Environment and Their Toxicological Effects on Humans. *Heliyon (Science Direct)*, Vol. 6.
- Brochin, R., Leone, S., Phillips, D., Shepard, N., Zisa, D., & Angerio, A. (2008). The cellular effect of lead poisoning and its clinical picture. *George Town University Journal of Health Sciences*, 5(2), 1–8.
- Cahyani, N., Djamar, T. F., & Sulistiono. (2016). Kandungan Logam Berat Pb, Hg, Cd, Dan Cu Pada Daging Ikan Rejung (*Sillago sihama*) di Estuari Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, Vol. 19 No. 3.
- Canberra. (2013). Writing a Literature Review. *Canberra University*. <http://www.canberra.edu.au/studyskills/writing/literature>
- Castagnetto, J. M., Hennessy, S. W., Roberts, V. A., Getzoff, E. D., Trainer, J. A., & Pique, M. E. (2002). MDB: the metalloprotein database and browser at the Scripps Research Institute. *Nucleic Acids Research*, 30(1), 379–382.
- Chakraborty, S., Dutta, A. R., Sural, S., Gupta, D., & Sen, S. (2013). Ailing bones and failing kidneys: A case of chronic cadmium toxicity. *Annals of Clinical Biochemistry*, 50(5), 492–495.
- Choi, H. J., Ji, J., Chung, K. H., & Ahn, I. Y. (2007). Cadmium bioaccumulation and detoxification in the gill and digestive gland of the Antarctic bivalve *Laternula elliptica*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 145, 227–235.
- Christophoridis, C., Bourliva, A., Evgenakis, E., Papadopoulou, L., & Fytianos, K. (2019). Effects of Anthropogenic Activities on the Levels of Heavy Metals in Marine Surface Sediments of the Thessaloniki Bay, Northern Greece: Spatial distribution, Sources and Contamination Assessment. *Microchemical Journal*, Vol. 149.
- Cruz, T. C., Nayak, G. N., Tiwari, A. K., & Nasnodkar, M. R. (2020). Assessment of metal pollution and bioaccumulation of metals by edible bivalve

- Polymesoda erosa in the Zuari Estuary, west coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 158.
- Dahuri, R. (2003). Keanekaragaman Hayati Laut. Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia. *PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.*
- Denil, D. J., Fui, C. F., & Ransangan, J. (2017). Health Risk Assessment Due to Heavy Metals Exposure via Consumption of Bivalves Harvested from Marudu Bay, Malaysia. *Open Journal of Marine Science*, Vol. 7, 494–510.
- Dérobot, X., Balayssac, J. P., Sbartai, Z. M., & Dumoulin, J. (2018). 3—Electromagnetic Methods. In *Non-Destructive Testing and Evaluation of Civil Engineering Structures* (pp. 87–137).
- Djurichkovic, L. D., Donelson, J. M., Fowler, A. M., Feary, D. A., & Booth, D. J. (2019). The Effects of Water Temperature on the Juvenile Performance of Two Tropical Damselfishes Expatriating to Temperate Reefs. *Scientific Reports Nature Research*, 9:13937.
- Dodds, W. K., & Whiles, M. R. (2020). Chapter 16—Responses to Stress, Toxic Chemicals, and Other Pollutants in Aquatic Ecosystems. In *Aquatic Ecology: Vol. Freshwater Ecology (Third Edition)* (pp. 453–502).
- Drouillard, K. G. (2008). *Encyclopedia of Ecology (Second Edition) - Biomagnification*. Elsevier.
- Edward, F. B., Yap, C. K., Ismail, A., & Tan, S. G. (2009). Interspecific Variation of Heavy Metal Concentrations in the Different Parts of Tropical Intertidal Bivalves. *Water Air and Soil Pollution Springer Science*, 196, 297–309.
- EPA. (2020). Health Effects of Exposures to Mercury. *United States Environmental Protection Agency*.
- Fagr, K. A., Saber, A. E., Farag, A. S., & Wagdy, K. B. K. (2008). Effect of water pollution on expression of immune response genes of *Solea aegyptiaca* in Lake Qarun. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 7 (10), 1418–1425.
- FAO. (1998). FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes. *Food and Agriculture Organization of The United Nations*, 1. *Seaweeds, corals, bivalves, and gastropods*.
- Fayez, A. A., & Childress, J. M. (2020). Magnesium Toxicity. *StatPearls Publishing*.
- Flora, S. J. S., Mittal, M., & Mehta, A. (2012). Heavy Metal Induced Oxidative Stress & its Possible Reversal by Chelation Therapy. *Indian Journal of Medical Research*, 128, 501–523.
- Gabrielyan, A. V., Shahnazaryan, G. A., & Mnasyan, S. H. (2018). Distribution and Identification of Sources of Heavy Metals in the Vogjhi River Basin Impacted by Mining Activities (Armenia). *Journal of Chemistry Hindawi*.
- Gao, S., Cui, X., Kang, S., & Ding, Y. (2020). Sustainable Applications for Utilizing Molybdenum Tailings in Concrete. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 266.
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17.
- Ghosh, S., Mal, M., & Mandal, S. (2020). A dynamic model of cadmium bioaccumulation in *Lamellidens marginalis*, an edible shellfish in India. *Ecological Modelling*, 419.
- Ginting, E. D. D., Susetya, I. E., Patana, P., & Desrita. (2017). Identifikasi Jenis Jenis Bivalvia di Perairan Tanjungbalai, Provinsi Sumatera Utara. *Acta Aquatica Aquatic Sciences Journal*, 13–20.
- Grazuleviciene, R., Nadisauskiene, R., Buinauskiene, J., & Grazulevicius, T. (2009). Effects of Elevated Levels of Manganese and Iron in Drinking

- Water on Birth Outcomes. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 18(5), 819–825.
- Guo, J., Wu, C., Zhang, J., Qi, X., Lv, S., Jiang, S., Zhou, T., Lu, D., Feng, C., Chang, X., Zhang, Y., Cao, Y., Wang, G., & Zhou, Z. (2020). Prenatal Exposure to Mixture of Heavy Metals, Pesticides and Phenols and IQ in Children at 7 years of Age: The SMBCS study. *Environmental International*, 139.
- Haley, B. E. (2005). Mercury toxicity: Genetic susceptibility and synergistic effects. *Medical Veritas*, 2(2), 535–542.
- Haryono, M. G., Mulyanto, & Kilawati, Y. (2017). Heavy Metal Pb Content In The Seawater, Sediment And Green Mussel Tissue *Perna viridis*. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 9 (1), 1–7.
- Haspullah, R., Ambeng, Hasyim, Z., & Soekendarsi, E. (2018). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kromium (Cr), Dan Kadmium (Cd) Pada Kerang Darah *Anadara granosa* L. Di Wilayah Pesisir Kabupaten Pangkep. *Departemen Biologi, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin*.
- Helm, M. M., Bourne, N., & Lovatelli, A. (2004). *Hatchery Culture of Bivalves, A Practical Manual*. FAO Fisheries Technical Paper 471.
- Huseen, H. M., & Mohammed, A. J. (2019). Heavy Metal Causing Toxicity In Fishes. *IOP Publishing. Journal of Physics: Conference Series*.
- Ika, T., & I. Said. (2012). Analisis Logam timbal (Pb) dan besi (Fe) dalam air laut di wilayah pesisir pelabuhan ferry Taipa Kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akademika Kimia*, Vol. 1 (4), 181–186.
- Ikechukwu, O. I., Ephraim, I., & Igbokwe, N. A. (2020). Aluminium Toxicosis: A review of toxic actions and effects. *Interdisciplinary Toxicology*, Vol. 12(2), 45–70.
- Indrawan, G. S., Arthana, I. W., & Yusup, D. S. (2018). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Kerang di Kawasan Perairan Serangan Bali. *Jurnal Metamorfosa*, Vol. 2, 144–150.
- ITIS. (2020). *Bivalvia. ITIS Standard Report Page*.
https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=79118#null/
- IUPAC. (2002). "Heavy Metals"-A Meaningless Term? *International Union of Pure and Applied Chemistry*, Vol. 74, No. 5, 793–807.
- Jakfar, A., & A. Manan. (2014). Deteksi Logam timbal (Pb) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di sepanjang sungai Kalimas Surabaya. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, Vol. 6(1), 43–48.
- Jalius, Setiyanto, D. D., Sumantadinata, K., Riani, E., & Ernawati, Y. (2008). The Heavy Metal of Accumulation and Its Effects to Spermatogenesis on the Green Mussel (*Perna viridis*). *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan Dan Perikanan Indonesia*, Vol. 15 (1), 77–83.
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, Vol 68(1), 167–182.
- Javed, M., & Usmani, N. (2017). An Overview of the Adverse Effects of Heavy Metal Contamination on Fish Health. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section B: Biological Sciences*, 89, 389–403.
- Jebali, J., Chouba, L., Banni, M., & Bousetta, H. (2014). Comparative study of the bioaccumulation and elimination of trace metals (Cd, Pb, Zn, Mn and Fe) in the digestive gland, gills and muscle of bivalve *Pinna nobilis* during a field transplant experiment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, Vol. 28, 212–217.

- Kacániová, M., Andreji, J., Stránai, I., Hascík, P., Cubon, J., & Felsöciová, S. (2007). Microbiological quality of fish meal and the effect on the heavy metals contents. *Slovak Journal Animal Science*, Vol. 40 (4), 185–188.
- Kahlon, S., Sharma, G., Julka, J. M., Kumar, A., Sharma, S., & Stadler, F. J. (2018). Impact of Heavy Metals and Nanoparticles on Aquatic Biota. *Environmental Chemistry Letters*, Vol. 16 (4), 1–28.
- Karim, N. E. A., Deraman, S., & Mohamed, K. N. (2014). Heavy Metals Distribution in Seabed Sediment at Golok Central and Golok Barat Gas Fields, Sarawak. *Bulletin Of Environmental Science And Management. Hibiscus Publisher*, 2(2), 48–52.
- Kelair. (2020). Mercury (Hg). *Direktorat Pengawasan Produk Dan Bahan Berbahaya Deputi Bidang Pengawasan Keamanan Pangan Dan Bahan Berbahaya, Badan POM*.
- Khayatzadeh, J., & Abbasi, E. (2010). The Effects of Heavy Metals on Aquatic Animals. *The 1 St International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University - Mashad Branch, Iran*.
- Khlifi, R., & Hamza-Chaffai, A. (2010). Head and neck cancer due to heavy metal exposure via tobacco smoking and professional exposure: A review. *Toxicology and Applied Pharmacology*, Vol 248, 71–88.
- Koller, M., & Saleh, H. M. (2018). Introductory Chapter: Introducing Heavy Metals. *Intech Open*.
- Komarawidjaja, W., Riyadi, A., & Garno, Y. S. (2017). Status Kandungan Logam Berat Perairan Pesisir Kabupaten Aceh Utara dan Kota Lhokseumawe. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 18(2), 251–258.
- Lan, W. R., Huang, X. G., Lin, L. X., Li, S. X., & Liu, F. J. (2020). Thermal discharge influences the bioaccumulation and bioavailability of metals in oysters: Implications of ocean warming. *Environmental Pollution*, Vol. 259.
- Laskowski, R. (1991). Are the top carnivores endangered by heavy metal biomagnification? *Oikos*, Vol. 60, 387–390. <https://doi.org/10.2307/3545083>
- Lino, A. S., Galvão, P. M. A., Longo, R. T. L., Silva, C. E. A., Dorneles, P. R., Torres, J. P. M., & Malm, O. (2016). Metal bioaccumulation in consumed marine bivalves in Southeast Brazilian coast. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, Vol. 34, 50–55.
- Liu, J., Cao, L., & Dou, S. (2017a). Bioaccumulation of heavy metals and health risk assessment in three benthic bivalves along the coast of Laizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*.
- Liu, J., Cao, L., & Dou, S. (2017b). Bioaccumulation of heavy metals and health risk assessment in three benthic bivalves along the coast of Laizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, xxx, 1–13.
- Ma'rifah, A., Siswanto, A., & Romadhon, A. (2016). Karakteristik dan Pengaruh Arus Terhadap Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Sedimen di Perairan Kalianget Kabupaten Sumenep. *Universitas Trunojoyo Madura*.
- Martin, S., & Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology Briefs for Citizens*, vol 15, 1–6.
- Masindi, V., & Muedi, K. L. (2018). Environmental Contamination by Heavy Metals. *Intech Open*.
- Mathew, B. B., Tiwari, A., & Jatawa, S. K. (2011). Free Radicals and Antioxidants. *Journal of Pharmacy Research*, 4(12), 4340–4343.
- May, C. J., Ludsin, S. A., Glover, D. C., & Marschall, E. A. (2019). The Influence of Larval Growth Rate on Juvenile Recruitment in Lake Erie Walleye (Sander vitreus). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*.

- McLeod, I. M., Ermgassen, P. S. E., Gillies, C. L., Hancock, B., & Humphries, A. (2019). *Coast and Estuaries: The Future—Can Bivalve Habitat Restoration Improve Degraded Estuaries?* Elsevier.
- Mehmood, M. A., Qadri, H., Bhat, R. A., Rashid, A., Ganie, S. A., Dar, G. H., & Rehman, S. (2019). Heavy Metal Contamination In Two Commercial Fish Species of a Trans-Himalayan Freshwater Ecosystem. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191:104.
- MENLHK. (2020). Mengenal Logam Berat. *Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, Direktorat Pengelolaan B3*.
- Mohiuddin, K. M., Ogawa, y, Zakir, H. M., Otomo, k, & Shikazono, n. (2011). *Heavy metals contamination in water and sediments of an urban river in a developing country*. *Environ. Sci. Tech.*, 8 (4), 723-736.
- Morais, S., Costa, F. G., & Pereira, M. L. (2012). Heavy metals and human health, in *Environmental health – emerging issues and practice. Environmental Health – Emerging Issues and Practice (Oosthuizen J Ed)*, 227–246.
- Morton, B. (2020). Bivalve. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/animal/bivalve>
- Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., Singh, R. B., & Mishra, S. (2010). Effect of toxic metals on human health. *Open Nutraceuticals Journal*, 3, 94–99.
- Muthu, S. S. (2017). *Sustainable Fibres and Textiles: Vol. A volume in The Textile Institute Book Series*.
- Navarro, J. G., Franco, L., & Romero, D. (2017). Differences in the accumulation and tissue distribution of Pb, Cd, and Cu in Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) exposed to single, binary, and ternary metal mixtures. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Nemr, A. E., Khaled, A., Moneer, A. A., & Sikaily, A. E. (2012). Risk probability due to heavy metals in bivalve from Egyptian Mediterranean coast. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, Vol. 38, 67–75.
- Ning, L., Liyuan, Y., Jirui, D., & Xugui, P. (2011). Heavy Metal Pollution in Surface Water of Linglong Gold Mining Area, China. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 914–917.
- NOAA. (2020a). Biomagnification. *National Oceanic and Atmospheric Administration*.
- NOAA. (2020b). What is a Bivalve Mollusk? *National Oceanic and Atmospheric Administration*, <https://oceanservice.noaa.gov/facts/bivalve.html>.
- Nour, H. E. S. (2020). Distribution and accumulation ability of heavy metals in bivalve shells and associated sediment from Red Sea coast, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192:353.
- Nour, H. E., & Sorogy, A. S. E. (2020). Heavy Metal Contamination in Seawater, Sediments and Seashells of the Gulf of Suez, Egypt. *Environmental Earth Sciences*, 79:274.
- NRC. (2000). *Toxicological Effects of Methylmercury*. National Research Council. The National Academic Press.
- Obasi, P. N., & Akudinobi, B. B. (2020). Potential Health Risk and Levels of Heavy Metals in Water Resources of Lead-Zinc Mining Communities of Albakaliki, Southeast Nigeria. *Appl Water Sci*.
- Orr, S. E., & Bridges, C. C. (2017). Chronic Kidney Disease and Exposure to Nephrotoxic Metals. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 18(5).
- Oves, M., Saghir, K. M., Huda, Q. A., Nadeen, F. M., & Almeelbi, T. (2016). Heavy Metals: Biological Importance and Detoxification Strategies. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*, 7:334.

- Palar, H. (2004). Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. *Jakarta: Rineka Cipta*.
- Papanikolaou, N. C., Hatzidaki, E. G., Belivanis, S., Tzanakakis, G. N., & Tsatsakis, A. M. (2005). Lead toxicity update. A brief review. *Medical Science Monitor, Vol. 11(10)*.
- Permanawati, Y., Zuraida, R., & Ibrahim, A. (2013). Kandungan Logam Berat (Cu, Pb, Zn, Cd, dan Cr) Dalam Air dan Sedimen Di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Geologi Kelautan, 11(1)*, 9–16.
- Plaza, M. T., Guallar, E., Fabsitz, R. R., Howard, B. V., Umans, J. G., Francesconi, K. A., Goessler, W., Devereux, R. B., & Acien, A. N. (2014). Cadmium Exposurenand Incident Peripheral Arterial Disease. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*.
- Ponnusamy, K., Sivaperumal, P., Suresh, M., Arularasan, S., Munilkumar, S., & Pal, A. K. (2014). Heavy Metal Concentration from Biologically Important Edible Species of Bivalves (*Perna viridis* and *Modiolus metcalfei*) from Vellar Estuary, South East Coast of India. *Journal of Aquaculture Research & Development, 5:258*.
- Poutiers, J. M. (1998). *The Living Marine Resources of the Western Central Pacific-FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes*. Food And Agriculture Organization Of The United Nations.
- Pulles, T., Gon, H. A. C. D., Appelman, W., & Verheul, M. (2012). Emission Factors for Heavy Metals from Diesel and Petrol Used in European Vehicles. *Atmospheric Environment, 61*, 641–651.
- Putri, L. S. E., Prasetyo, A. D., & Arifin, Z. (2012). Green mussel (*Perna viridis* L.) as bioindicator of heavy metals pollution at Kamal estuary, Jakarta Bay, Indonesia. *Journal of Environmental Research And Development, 6(3)*, 389–396.
- Ragi, A. S., Leena, P. P., Cherian, E., & Nair, S. M. (2017). Heavymetal concentrationsin some gastropodsand bivalves collected fromthe fishing zone of South India. *Marine Pollution Bulletin*.
- Rajaram, R., Ganeshkumar, A., & Vinothkannan, A. (2020). Health risk assessment and bioaccumulation of toxic metals in commercially important finfish and shellfish resources collected from Tuticorin coast of Gulf of Mannar, Southeastern India. *Marine Pollution Bulletin, 159*.
- Rajeswari, T. R., & Sailaja, N. (2014). Impact of Heavy Metals On Environmental Pollution. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, Issue 3*, 175–181.
- Rayyan, M. F., Yona, D., & Sari, S. H. J. (2019). Health Risk Assessments Of Heavy Metals Of *Perna viridis* From Banyuurip Waters In Ujung Pangkah, Gresik. *Journal of Fisheries and Marine Research, Vol.3 (2)*, Hal 135-143.
- Regoli, L. (2005). The Relative Contributions of Different Environmental Sources to Human Exposure and the EU Cadmium Risk Assessment Meeting of UNECE Task Force on Heavy Metals. *European Chemicals Bureau, 74*.
- Rini, A., Daud, A., & Ibrahim, E. (2014). Analisis Risiko Kromium (Cr) Dalam Ikan Kembung Dan Kerang Darah Pada Masyarakat Wilayah Pesisir Kota Makassar. *Dinas Kesehatan Kabupaten Kepulauan Selayar*.
- RSC. (2021). *Royal Society of Chemistry: Strontium*.
- Rule, K. L., Comber, S. D. W., Ross, D., Thornton, A., Makropoulos, C. K., & Rautiu, R. (2006). Diffuse Sources of Heavy Metals Entering an Urban Wastewater Catchment. *Chemosphere Elsevier, Vo. 63*, 64–72.
- Russel, A. M., & Lee, K. L. (2005). Structure-Property Relations in Nonferrous Metals. *Wiley Interscience*.

- Saavedra, Y., González, A., Fernández, P., & Blanco, J. (2004). Interspecific variation of metal concentrations in three bivalve molluscs from Galicia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 47, 341–351.
- Sall, M. L., Diaw, A. K. D., Gningue-Sall, D., Aaron, S. E., & Aaron, J. J. (2020). Toxic Heavy Metals: Impact on the Environment and Human Health, and Treatment with Conducting Organic Polymers, a review. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Sandstead, H. H. (2015). Chapter 61—Zinc. In *Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition): Vol. 2* (pp. 1369–1385).
- Sarnowski, P., & Jezierska, B. (2007). A new coefficient for evaluation of condition of fish. *Electronic Journal of Ichthyology*, 2, 69–76.
- Scitable. (2014). Writing Scientific Papers. In *English Communication for Scientists*.
- Selvi, A., Rajasekar, A., Theerthagiri, J., Ananthaselvam, A., Sathishkumar, K., Madhavan, J., & Rahman, P. K. S. M. (2019). Integrated Remediation Processes Towards Heavy Metal Removal/Recovery From Various Environments-A Review. *Frontiers in Environmental Science*, Vol. 7.
- Shakir, S. K., Azizullah, A., Murad, W., Khan, D., Nabeela, F., Rahman, H., Rehman, S., & Hader, D. (2017). Toxic metal pollution in Pakistan and its possible risk to public health. *Springer: Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 242, 1–60.
- Shuttleworth, M. (2009). Peer review process. *Experiment- Resources.Com*.
- SIKERNAS. (2010). Arsenic. *Sentra Informasi Keracunan Nasional (SiKer Nas) Pusat Informasi Obat Dan Makanan, Badan POM RI*.
- Singh, N., Kumar, D., & Sahu, A. (2007). Arsenic in the environment: Effects on human health and possible prevention. *Environment Biology Journal*, 28, 359–365.
- Stomińska, I., & Jezierska, B. (2000). The effect of Heavy metals on post embryonic development of COMMON CARP, *Cyprinus carpio* L. *Archives of Polish Fisheries*, Vol. 8, 123–128.
- Strehse, J. S., & Maser, E. (2020). Marine bivalves as bioindicators for environmental pollutants with focus on dumped munitions in the sea: A review. *Marine Environmental Research*, 158.
- Sun, L. N., Zhang, Y. F., He, L. Y., Chen, Z. J., Wang, Q. Y., Qian, M., & Sheng, X. F. (2010). Genetic Diversity and Characterization of Heavy Metal Resistance Endophytic Bacteria From Two Copper-Tolerant Plant Species on Copper Mine Wasteland. *Bioresource Technology*, Vol. 101, 501–509.
- Suratno, Puspitasari, R., Purnadayanti, Z., & Sandra, N. (2020). Metals Accumulation in Muscle Tissues and Digestive Contents of *Periglypta reticulata* (Kerang Geton) from Lancang Island, Jakarta. *Indonesian Journal of Chemistry*, Vol. 20, 1131–1142.
- Suryono, C. A. (2016). Polusi Logam Berat Antropogenik (As, Hg, Cr, Pb, Cu dan Fe) pada Pesisir Kecamatan Tugu Kota Semarang Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, Vol. 19 No. 1, 37–42.
- Taboada-Lopez, M. V., Herbelo-Hermelo, P., Iglesias-Lopez, S., Bermejo-Barrera, P., & Moreda-Pineiro, A. (2018). Ultrasound assisted enzymatic hydrolysis for isolating titanium dioxide nanoparticles from bivalve mollusk before sp-ICP-MS. *Analytica Chimica Acta*, 1018, 16–25.
- Tasharrofi, S., Sadegh, H., Taghdisian, H., & Sobat, Z. (2018). Environmentally Friendly Stabilized nZVI-Composite for Removal of Heavy Metals. *New Polymer Nanocomposites for Environmental Remediation*.

- Taylor, M. P., Winder, C., & Lanphear, B. P. (2012). Eliminating childhood lead toxicity in Australia: A call to lower the intervention level. *Medical Journal of Australia*, 197(9), 493.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., & Sutton, D. J. (2014). Heavy Metals Toxicity and the Environment. *National Institute of Health*.
- Usmani, S. M. P. A., & Patil, T. G. J. D. N. (2015). Trace metals in water, sediment and bivalves of a tropical estuary, west coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 99, 328–331.
- Velickova, N. (2017). Environmental Impact of Heavy Metals on the Blood Cells in Professionally Exposed Workers. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, Vol. 18(1), 363–374.
- Venkatesan, V., & Mohamed, K. S. (2015). Bivalve Classification and Taxonomy. *Molluscan Fisheries Division, Central Marine Fisheries Research Institute*, 42–48.
- Verma, R., & Dwivedi, P. (2013). Heavy Metal Water Pollution—A Case Study. *Recent Research in Science and Technology*, Vol. 5(5), 98–99.
- Vieira, C., Morais, S., Ramos, S., Delerue-Matos, C., & Oliveira, M. B. P. P. (2011). Mercury, cadmium, lead and arsenic levels in three pelagic fish species from the Atlantic Ocean: Intra- and inter-specific variability and human health risks for consumption. *Food and Chemical Toxicology*, 49, 923–932.
- Violante, A., Cozzolino, V., Perelomov, L., Caporale, A. G., & Pigna, M. (2010). Mobility and Bioavailability of Heavy Metals and Metalloids in Soil Environments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 10(3), 268–292.
- Wang, N. W., Gu, Y. G., Wang, Z. H., Ke, C. L., & Mo, M. S. (2018). Biological risk assessment of heavy metals in sediments and health risk assessment in bivalve mollusks from Kaozhouyang Bay, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 312–319.
- Wani, A. L., Ara, A., & Usmani, J. A. (2015). *Lead Toxicity: A Review. Interdisciplinary Toxicology*. 8(2), 55–64.
- Weng, N., & Wang, W. X. (2019). Seasonal fluctuations of metal bioaccumulation and reproductive health of local oyster populations in a large contaminated estuary. *Environmental Pollution*, 250, 175–185.
- WHO. (2021). WHO Lead Poisoning and Health. *World Health Organisation*. <http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Widyantoko, W., & Herawati, V. I. (2015). Optimalisasi Penambahan Tepung Rumput Laut Coklat (*Sargassum* sp.) Yang Berbeda Dalam Pakan Terhadap Pertumbuhan dan Kelulushidupan Juvenil Udang Windu (*Penaeus monodon*). *Journal of Aquaculture Management and Tecnology*, Vol. 4(2), 9–17.
- Wolińska, A., Stepniewska, Z., & Włosek, R. (2013). The influence of old leather tannery district on chromium contamination of soils, water and plants. *Journal of Natural Sciences Research*, 5(2A), 253–258.
- Won, E. J., Kim, K. T., Choi, J. Y., Kim, E. S., & Ra, K. (2016). Target organs of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* for studying metal accumulation and biomarkers in pollution monitoring: Laboratory and in-situ transplantation experiments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 10.
- Xu, L., Wang, Z., Zhao, J., Lin, M., & Xing, B. (2020). Accumulation of metal-based nanoparticles in marine bivalve mollusks from offshore aquaculture as detected by single particle ICP-MS. *Environmental Pollution*, Vol. 260.

- Yalcin, G., Narin, I., & Soylak, M. (2008). Multivariate analysis of heavy metal contents of sediments from Gumusler Creek, Nigde, Turkey. *Environmental Geology*, Vol. 54, 1155–1163.
- Yap, C. K., Cheng, W. H., Karami, A., & Ismail, A. (2016). Health Risk Assessments of Heavy Metal Exposure via Consumption Marine Mussels Collected From Anthropogenic Sites. *Science of the Total Environment*, 553, 285–296.
- Yi, L., Gao, B., Liu, H., Zhang, Y., Du, C., & Li, Y. (2020). Characteristics and Assessment of Toxic Metal Contamination in Surface Water and Sediments Near a Uranium Mining Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17.
- Yona, D., Andira, & Sari, S. H. J. (2016). Lead (Pb) Accumulation in Water, Sediment and Mussels (*Hiatulachinensis*) from Pasir Panjang Coast, Lekok-Pasuruan. *Research Journal of Life Science*, VOLUME 03 NO. 01.
- Yona, D., Sari, S. H. J., Iranawati, F., Rayyan, M. F., & Rini, N. M. (2018). Heavy metals accumulation and risk assessment of *Anadara granosa* from eastern water of Java Sea, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 416.
- Yona, D., Vernandes, D., Kasitowati, R. D., & Sari, S. H. J. (2020). Spatial Distribution and Contamination Assessment of Lead (Pb) in the Seawater and Surface Sediments of the Coastal Area of Prigi Bay, Trenggalek, East Java. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, Vol. 12 (1).
- Yuan, Y., Sun, T., Wang, H., Liu, Y., Pan, Y., Xie, Y., Huang, H., & Fan, Z. (2020). Bioaccumulation and health risk assessment of heavy metals to bivalve species in Daya Bay (South China Sea): Consumption advisory. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 150.
- Yuen, H. W., & Becker, W. (2020). Iron Toxicity. *StatPearls Publishing*.
- Zhang, L., Yan, W., Xie, Z., Cai, G., Mi, W., & Xu, W. (2020). Bioaccumulation and changes of trace metals over the last two decades in marine organisms from Guangdong coastal regions, South China. *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 98, 103–108.
- Zhang, S., Guo, H., & Zhang, S. (2020). Are Oil Spills an Important Source of Heavy Metal Contamination in the Bohai Sea, China? *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 3449–3461.
- Zhang, X. H., Zhang, X., Wang, X. C., Jin, Z. P. Y., Jiang, C. X., Chen, Q., Ren, X. B., Cao, J. Z., Wang, Q., & Zhu, Y. M. (2011). Chronic Occupational Exposure to Hexavalent Chromium Causes DNA Damage in Electroplating Workers. *BMC Public Health*, Vol. 11.
- Ziyaadini, M., Yousefiyanpour, Z., Ghasezadeh, J., & Zahedi, M. M. (2017). Biota-sediment Accumulation Factor and Concentration of Heavy Metals (Hg, Cd, As, Ni, Pb and Cu) in Sediments and Tissues of *Chiton lamyi* (Mollusca: Polyplacophora: Chitonidae) in Chabahar Bay, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16(4), 1123–1134.
- Zoroddu, M. A., Aaseth, J., Crisponi, G., Medici, S., Peana, M., & Nurchi, V. M. (2019). The Essential Metals for Humans: A brief overview. *Journal of Inorganic Biochemistry*, Vol. 195, 120–129.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Konsentrasi Logam Berat yang tidak melebihi ambang batas aman pada jaringan lunak (*soft tissue*) bivalvia

SPESES	LOKASI	Satuan	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Mn	Co	keterangan	Referensi
A. pleuronectes	Wedung, Demak	ppm		6,9 7	9,47		0,7 3					aman	Azhar <i>et al.</i> , (2012)
Anadara granosa	eastern water of Java Sea	mg/kg				5,48		8,95				aman, permissible tolerant	Yona <i>et al.</i> , (2018)
Mussels (Hiatulachinensis)	Pasir Panjang Coast, Lekok-Pasuruan	ppm	0,43									masih aman	Yona <i>et al.</i> , (2016)
Barbatia helblingii soft tissue	Qeshm Island (Persian Gulf)-spring	µg/g dry weight	0,23	1,0 3	12,4 5	170, 93							Ansari <i>et al.</i> , (2014)
	winter		0,51	1,3 5	9,89	315, 93							
Polymesoda bengalensis L.	Perairan Teluk Kendari	mg/kg	0,98			5,97						BCF. Pb tinggi pada P. bengalensis/ Cd tinggi pada A. Granosa	Amriani <i>et al.</i> , (2011)
Anadara granosa			1,40			5,39							
P. viridis	Fishing zone of South India	mg/kg	1,33 0	0,1 40	9,54 0	83,0 60	7,5 90	55,7 40	0,94 0	4,6 40	0,09	aman	Ragi <i>et al.</i> , (2017)
Paphia gallus	Leizhou Bay Guangdong coastal regions, South China	µg/g dry weight	0,99 0	1,1 10	6,31 0	81,9 00	2,2 20		4,39 0			biakumulator metal yang baik	Zhang <i>et al.</i> , (2020)
Ostrea rivularis Gould			0,70 0	3,0 80	67,9 00	149, 330	1,2 80		2,01 0				

Lampiran 2. Tabel Konsentrasi Logam Berat pada spesifik organ bivalvia

SPESES	LOKASI	ORGAN	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	Referensi
Periglypta reticulata	Lancang Island, Indonesia	muscle	0,04	0,04	0,47	4,93	0,49	11,59		0,03	4,41	0,71		Suratno <i>et al.</i> , (2020)
		visceral mass	0,19	0,10	0,94	8,76	0,41	99,87		0,08	6,93	3,91		
S, subcrenata	Longkou, Laizhou Bay	muscle	0,47	5,97	8,28	106,89	0,68			0,07	35,01			(Liu <i>et al.</i> , 2017b)
		visceral mass	1,39	2,83	18,71	81,74	2,03			0,10	45,37			
S, subcrenata	Sanshandao, Laizhou Bay	muscle	0,74	6,32	6,34	95,38	1,93			0,07	18,70			
		visceral mass	1,25	3,73	20,95	74,92	2,14			0,12	29,76			
R, philippinarum		muscle	2,14	1,81	11,83	163,18	1,42			0,20	31,99			
		visceral mass	2,35	1,00	47,64	137,48	2,97			0,20	39,24			
R, philippinarum	Zhuwang, Laizhou Bay	muscle	3,74	1,86	12,37	166,00	2,79			0,04	17,63			
		visceral mass	3,58	1,10	31,31	174,26	3,25			0,15	22,07			
S, subcrenata	Xiaying, Laizhou Bay	muscle	0,43	7,76	3,94	71,20	1,06			0,03	4,52			
		visceral mass	1,03	3,59	10,11	48,98	3,37			0,04	13,63			
M, Veneriformis		muscle	2,31	2,41	9,35	93,75	3,90			0,07	9,85			
		visceral mass	4,13	1,39	32,70	97,57	12,17			0,15	16,35			
R, philippinarum		muscle	1,16	2,67	12,58	175,91	1,91			0,09	19,38			
		visceral mass	1,49	3,16	23,85	242,82	1,83			0,16	28,36			
M, Veneriformis	Yangzi, Laizhou Bay	muscle	1,18	1,35	9,24	72,69	3,60			0,03	7,70			

SPESES	LOKASI	ORGAN	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	Referensi
		visceral mass	2,70	1,43	38,98	85,54	8,90			0,09	14,04			
R, philippinarum		muscle	0,97	1,29	11,68	131,04	2,16			0,04	13,57			
		visceral mass	0,49	0,67	55,58	130,43	1,59			0,06	20,45			
S, subcrenata	Yangkou, Laizhou Bay	muscle	0,50	7,89	6,72	104,62	1,65			0,04	7,31			
		visceral mass	0,75	2,72	13,62	86,77	1,07			0,06	14,01			
M, Veneriformis		muscle	1,17	1,28	6,63	72,20	2,11			0,03	10,63			
		visceral mass	1,34	0,97	20,00	108,17	2,69			0,06	18,10			
R, philippinarum		muscle	0,88	1,59	16,15	159,57	3,23			0,04	21,38			
		visceral mass	0,58	0,89	18,03	158,10	2,79			0,05	24,14			
M, Veneriformis	Guanglihe, Laizhou Bay	muscle	1,88	2,26	9,33	80,14	4,45			0,07	8,92			
		visceral mass	6,07	1,01	23,68	62,26	11,66			0,11	15,80			
R, philippinarum		muscle	1,38	1,46	9,54	164,33	2,88			0,04	12,52			
		visceral mass	1,11	0,48	20,97	90,09	1,90			0,08	28195,00			
M, Veneriformis	Yongfenghe, Laizhou Bay	muscle	2,23	1,67	8,37	81,66	4,47			0,05	9,21			
		visceral mass	4,26	1,69	24,10	92,00	12,27			0,10	16,81			
R, philippinarum		muscle	1,82	2,89	15,23	143,74	4,27			0,07	18,57			
		visceral mass	3,49	1,79	28,86	109,15	9,47			0,10	20,11			
M, Veneriformis	Xiaodaohe, Laizhou Bay	muscle	1,40	1,51	9,85	68,69	4,03			0,04	8,70			
		visceral mass	4,96	1,28	32,29	111,74	9,65			0,17	20,35			

SPESES	LOKASI	ORGAN	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	Referensi			
R,philippinarum		muscle	1,61	1,45	11,4 4	143,5 6	4,5 1			0,0 4	14,57						
		visceral mass	0,49	0,72	26,1 0	148,6 4	0,5 7			0,1 2	44,28						
perna viridis	pantai lido, johore	byssus	46,5 00	2,64 0	13,6 00	52,10 0			1795,0 00	23,6 00				Edward <i>et al.</i> , (2009)			
		foot	35,2 00	1,20 0	8,77 0	49,30 0			57,000	7,30 0							
		gill	28,6 00	1,53 0	11,0 00	89,80 0			372,00 0	9,79 0							
		Gonad	31,1 00	1,27 0	9,29 0	59,60 0			102,00 0	7,00 0							
		mantle	23,1 00	1,29 0	12,0 00	47,60 0			91,100	5,85 0							
		muscle	12,4 00	0,85 0	5,16 0	67,50 0			42,900	6,25 0							
		remainder	6,47 0	0,92 5	12,3 00	92,80 0			332,00 0	9,58 0							
		shell	59,4 00	6,67 0	8,41 0	5,960			48,300	40,4 00							
		perna viridis	Telok Mas 2, Malacca	byssus	11,5 00	2,41 0	28,4 00	77,30 0			4895,0 00	18,5 00					Amriani <i>et al.</i> , (2011)
				foot	0,67 3	1,31 0	5,94 0	51,60 0			85,000	6,61 0					
gill	2,82 0			1,76 0	11,7 00	78,90 0			953,00 0	10,8 00							
Gonad	0,55 8			1,51 0	8,76 0	58,50 0			262,00 0	7,17 0							
mantle	1,34 0			1,23 0	6,69 0	48,70 0			299,00 0	6,47 0							
muscle	2,40 0			0,99 8	5,51 0	61,30 0			140,00 0	5,33 0							
remainder	9,08 0			0,94 2	13,6 00	61,30 0			895,00 0	6,55 0							
Polymesoda erosa	Parit Jawa,Batu Pahat, Johore	byssus															

SPESES	LOKASI	ORGAN	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	Referensi
		foot	2,18 0	1,47 0	3,77 0	92,10 0		110,00 0	7,83 0					
		gill	2,56 0	1,46 0	12,8 00	263,0 00		1088,0 00	11,1 00					
		Gonad												
		mantle	6,44 0	2,40 0	9,34 0	270,0 00		1625,0 00	15,1 00					
		muscle	3,11 0	1,79 0	3,58 0	104,0 00		1186,0 00	7,76 0					
		remainder	2,07 0	1,17 0	11,8 00	79,20 0		594,00 0	6,22 0					
		shell	61,6 00	7,07 0	3,17 0	6,470		58,600	28,9 00					
Polymesoda erosa	Sg, Sepang Kecil, Selangor	byssus												
		foot	2,10 0	0,47 6	3,36 0	87,50 0		114,00 0	3,98 0					
		gill	4,61 0	1,22 0	21,0 00	349,0 00		790,00 0	23,5 00					
		Gonad												
		mantle	4,79 0	1,36 0	13,2 00	365,0 00		460,00 0	12,6 00					
		muscle	3,41 0	0,77 6	5,76 0	150,0 00		750,00 0	5,28 0					
		remainder	4,35 0	0,72 9	14,9 00	154,0 00		1125,0 00	5,26 0					
		shell	55,8 00	3,64 0	2,37 0	3,840		19,300	30,0 00					
Polymesoda erosa	Telok Mas 1, Malacca	byssus												
		foot	0,93 7	0,25 3	1,80 0	105,0 00		93,500	0,65 6					
		gill	6,51 0	2,86 0	8,81 0	263,0 00		1620,0 00	10,7 00					
		Gonad												
		mantle	7,09 0	1,64 0	5,82 0	264,0 00		1304,0 00	11,8 00					



SPESES	LOKASI	ORGAN	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	Referensi
		muscle	1,890	0,698	1,860	129,000		713,000	2,610					
		remainder	3,590	0,605	8,600	138,000		800,000	1,870					
		shell	59,600	6,600	3,290	8,780		34,600	26,200					
Donax fuba	Pantai Pasir Panjang, Negri Sembilan	byssus												
		foot	2,360	3,680	38,800	5,980		104,000	1,580					
		gill	2,090	3,920	12,900	93,400		470,000	4,760					
		Gonad												
		mantle	1,470	2,950	6,860	46,800		282,000	3,250					
		muscle	2,510	3,740	4,710	28,300		109,000	2,030					
		remainder	0,954	2,740	15,100	42,600		687,000	2,700					
		shell	5,270	7,200	9,880	4,560		64,100	28,500					
		siphon	2,340	3,280	5,410	42,800		325,000	2,240					
Gelonia (Polymesoda expansa)	Kampung Pasir Puteh, Johore	byssus												
		foot	19,500	0,360	79,800	124,000		70,9	9,470					
		gill	39,700	1,210	26,200	379,000		1,567	15,400					
		Gonad												
		mantle	4,530	0,706	61,600	275,000		1,677	11,400					
		muscle	4,720	0,302	7,730	214,000		616,000	10,400					
		remainder	56,700	0,585	19,700	180,000		740,000	8,580					

SPESES	LOKASI	ORGAN	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	Referensi
		shell	17,200	6,990	2,800	6,670		39,900	25,000					
Scpharca broughtonii	Pantai Remis, Perak	byssus												
		foot	1,840	2,950	3,920	62,700		298,000	2,570					
		gill	29,300	22,400	8,150	157,000		872,000	8,920					
		Gonad												
		mantle	11,700	15,300	5,210	105,000		625,000	5,050					
		muscle	17,400	9,960	2,910	82,700		198,000	4,290					
		remainder	16,700	8,540	7,290	73,600		992,000	3,920					
		shell	63,700	8,410	8,060	7,900		65,900	5,050					
Trisidos kiyonoi	Pantai Remis, Perak	byssus	30,300	4,690	66,100	53,100		2,256	16,400					
		foot	2,950	1,690	7,020	58,100		555,000	0,901					
		gill	4,080	3,740	5,730	58,800		750,000	3,550					
		Gonad	4,250	1,720	3,380	45,700		312,000	1,140					
		mantle	4,220	2,340	3,920	73,400		587,000	2,760					
		muscle	2,910	1,930	3,310	57,500		348,000	1,740					
		remainder	2,840	1,340	6,450	50,700		376,000	2,200					
		shell	40,200	3,590	3,220	6,300		186,000	28,300					
Oysters		adductor	0,320	0,400	0,340	0,120								
		muscle mantle	0,450	0,470	0,560	0,230								

SPESES	LOKASI	ORGAN	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	Referensi
		gill	0,61 0	0,56 0	0,75 0	0,370								
		digestive gland	0,92 0	0,61 0	0,99	0,460								
		total	2,61 0	2,52	3,02	1,45								
Mussels		adductor	0,17 0	0,37 0	0,27 0	0,130								
		muscle mantle	0,32 0	0,59 0	0,78 0	0,150								
		gill	0,59 0	0,74 0	0,87 0	0,250								
		digestive gland	0,75 0	1,05 0	0,98 0	0,310								
		total	2,36	2,94	3,26	1,06								
Scallops		adductor	0,22 0	0,23 0	0,24 0	0,130								
		muscle mantle	0,34 0	0,36 0	0,53 0	0,300								
		gill	0,66 0	0,49 0	0,63 0	0,340								
		digestive gland	0,68 0	0,64 0	0,67 0	0,320								
		total	2,25	2,13	2,47	1,31								
Clams		adductor	0,12 0	0,22 0	0,23 0	74,90 0								
		muscle mantle	0,35 0	0,47 0	0,34 0	80,20 0								
		gill	0,58 0	0,64 0	0,64 0	86,70 0								
		digestive gland	0,79 0	0,56 0	0,64 0	78,90 0								
		total	2,1	2,07	2,08	79,3								
Ark Shells		adductor	0,19 0	0,28 0	0,38 0	80,30 0								

SPESES	LOKASI	ORGAN	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	Referensi
		muscle	0,21	0,27	0,49	78,50								
		mantle	0	0	0	0								
		gill	0,97	0,77	0,75	83,10								
		digestive gland	1,08	0,82	0,80	90,60								
		total	2,76	2,42	2,58	86,6								
Polymesoda erosa	Miri coast	muscle	2,3	0,25	7,5	160,5	14,25		10,25			41,7	2,05	(Anandkumar <i>et al.</i> , (2019))
		gill	4,25	0,45	20,8	435	15,7		12,2			48,85	4,15	
		gonad	3,4	0,45	15,2	185	16,6		11,15			51,95	2,8	
Mytilus galloprovincialis (Mediterranean mussels)	laboratorium (mg/kg wet weight)	digestive gland	3,8	14,21	4,03									Navarro <i>et al.</i> , (2017)
		gill	1,12	9,58	0,86									
		remainder	0,96	5,33	1,02									
		overall soft tissues	1,27	7,23	1,36									
Perna viridis	Vellar Estuary, South East Coast of India	Gonad	1,57	0,057	0,314	2,57	0,447							Ponnusamy <i>et al.</i> , (2014)
		mantle	0,736	0,035	0,126	1,164	0,234							
		adductor	0,362	0,025	0,187	1,514	0,269							
		shell	0,355	0,038	0,356	0,964	0,184							
		byssus	0,199	0,071	0,281	2,246	0,334							
		Gill	0,145	0,023	0,153	4,445	0,196							
		Foot	0,209	0,091	0,239	8,607	0,147							
Modiolus metcalfei		Gonad	0,327	0,042	0,295	2,374	0,383							

SPESES	LOKASI	ORGAN	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Fe	Ni	Hg	As	Mn	Co	Referensi
		mantle	0,19 4	0,04 4	0,32 4	5,795	0,0 97							
		adductor	0,19 5	0,01 5	0,07 3	11,11 3	0,1 24							
		shell	0,17 5	0,01 4	0,12 5	3,626	0,0 92							
		byssus	0,16 4	0,01 3	0,06 3	2,172	0,4 95							
		Gill	1,26 3	0,02 3	0,22 7	4,324	0,1 42							
		Foot	0,52 8	0,09 5	0,36 7	5,343	0,1 23							