

DISERTASI

**DEPURASI PERENDAMAN KERANG DARAH (*Anadara Granosa*) DENGAN
KULIT PISANG KEPOK (*Musa acuminata*) TERHADAP
EFISIENSI REMOVAL KANDUNGAN LOGAM BERAT
TIMBAL (Pb) DAN KROMIUM (Cr)**

**DEPURATION OF BLOOD COCKLE (*Anadara granosa*) SOAKING WITH
BANANA PEEL (*Musa acuminata*) AGAINST REMOVAL EFFICIENCY
HEAVY METAL CONTENT LEAD (Pb) AND CHROMIUM (Cr)**



**ABD. GAFUR
P1000316018**

**PROGRAM DOKTOR ILMU KESEHATAN MASYARAKAT
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

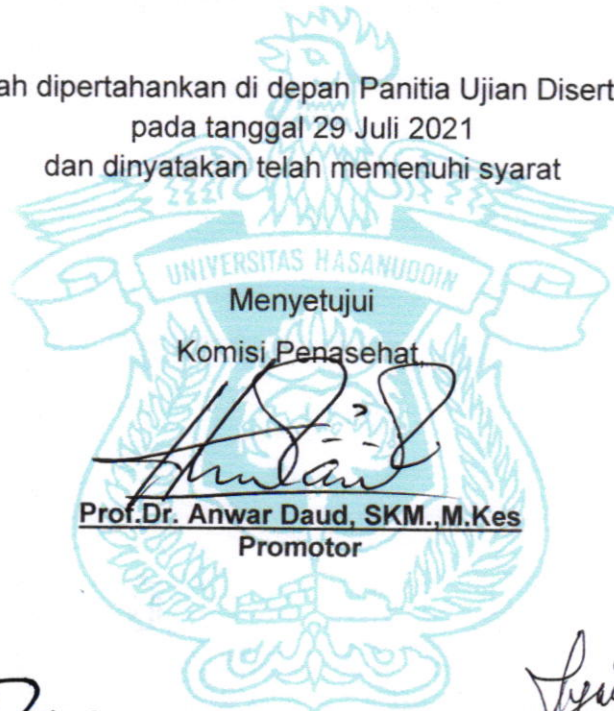
DISERTASI

DEPURASI PERENDAMAN KERANG DARAH (*ANADARAGRANOSA*) DENGAN
KULIT PISANG KEPOK (*MUSA ACUMINATA*) TERHADAP EFISIENSI
REMOVAL KANDUNGAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN KROMIUM (Cr)

Disusun dan diajukan oleh


ABD. GAFUR
Nomor Pokok P1000316018

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi
pada tanggal 29 Juli 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

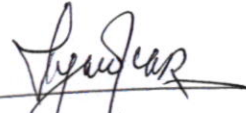


Menyetujui

Komisi Penasehat


Prof. Dr. Anwar Daud, SKM., M.Kes
Promotor



Prof. Dr. Anwar Mallongi, SKM., M.Sc., Ph.D
Ko-Promotor


Dr. dr. Syamsiar S. Russeng, MS
Ko-Promotor

Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Hasanuddin,

Ketua Program Studi Doktor (S3)
Ilmu Kesehatan Masyarakat


Dr. Aminuddin Syam, SKM, M. Kes, M. Med. Ed.


Prof. Dr. Ridwan A, SKM, M. Kes, M. Sc. PH

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abd. Gafur

NIM : P1000316018

Program Studi : Doktor Ilmu Kesehatan Masyarakat

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan disertasi yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dengan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika pedoman penulisan disertasi.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 29 Agustus 2021

Yang menyatakan,



Abd. Gafur

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. atas segala karuaniaNya penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul “Depurasi Perendaman Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Dengan Kulit Pisang Kepok (*Musa Acuminata Balbisiana Colla*) Terhadap Efisiensi Removal Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr)”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad Saw. sebagai uswatun hasanah dalam meraih kesuksesan di dunia dan akhirat.

Penulis sangat menyadari bahwa disertasi ini diselesaikan tidak dengan mudah, tetapi melalui berbagai tantangan yang cukup berat. Namun berkat dukungan pemikiran, moril dan materil dari berbagai pihak, akhirnya disertasi dapat dirampungkan sebagaimana adanya. Oleh karena itu penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang tidak terhingga kepada Ayahanda almarhum H. Muhammad Djafri Dg. Sese dan Ibunda almarhumah Hj. Kursiah Dg. Tonji yang selalu mendorong kesuksesan anak-anaknya; kemudian kepada isteri tercinta Suchi Avnalurini Sharief, S.SiT., SKM.,M.Keb., yang setiap saat tanpa henti memberikan semangat dan dorongan lahir dan batin, serta kepada ketiga buah cinta kami Muhammad Akhtar Ar-Rayyan Asgar, Muhammad Ahsan Asgar, dan Muhammad Arsyil Asgar, yang dengan penuh pengertian memahami kesibukan orang tuanya.

Ucapan terima kasih secara tulus disampaikan kepada semua pihak yang telah member bantuan dalam penyelesaian disertasi ini, yaitu:

1. Prof. Dr. Anwar Daud, SKM,.M.Kes. EHS. selaku promotor dan pembimbing akademik, ditengah-tengah kesibukannya sebagai konsultan sangat luar biasa. Namun dalam tugasnya sebagai promotor telah mencurahkan tenaga, pikiran, keilmuan, dan waktunya yang sangat berharga untuk membantu dan memotivasi penulis untuk segera menyelesaikan pendidikan sekaligus menjadi inspirator dan teladan bagi penulis sebagai ilmuwan. Terimakasih atas kesabaran dan dorongan motivasi demi keberhasilan dan kesuksesan penulis.
2. Prof. Anwar Mallongi, SKM, M.Sc. Ph.D. selaku Ko-promotor yang telah banyak menyempurnakan beberapa konsep dan teori, serta memberikan inspirasi, dorongan semangat, segala bantuan dan bimbingan yang telah diberikan untuk menyelesaikan studi S3, terima kasih atas segala pengetahuan, pengalaman dan dorongan moril yag diberikan.
3. Dr. Hj. Syamsiar S. Russeng. selaku Ko-promotor yang telah banyak menyempurnakan beberapa konsep dan teori, membimbing dan memotivasi penulis dengan segala pengetahuan, pengalaman dan dorongan semangat untuk menyelesaikan studi S3. Terima kasih atas segala pengetahuan, pengalaman dan dorongan moril yag diberikan.

4. Prof. Dr. HJ. Mukono, MD., MS., MPH selaku penguji eksternal, yang telah menyempurnakan konsep, memberikan masukan dan arahan untuk penyempurnaan disertasi ini.
5. Dr. Furqaan Naiem, M.Sc.,Ph.D., sebagai anggota penilai yang telah menyempurnakan beberapa konsep dan teori dalam penelitian ini, memberi koreksi, masukan serta arahan untuk perbaikan penyelesaian disertasi ini.
6. Prof. Dr. Ir. Andi Aladin, MT sebagai anggota penilai, yang telah banyak member masukan dan bantuan literatur terutama ilmu kimia yang berhubungan dengan penelitian ini, serta memberi inspirasi, semangat dan mengayomi penulis untuk tetap berkarya.
7. Dr. Agus Bintara Birawida, S.Kel., M.Kes. selaku anggota tim penilai yang telah menyempurnakan konsep dan memberikan masukan serta arahan untuk perbaikan penyelesaian disertasi ini.
8. Dr. Aminuddin Syam, SKM., M.Kes. M. Med. Ed. Selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
9. Prof. Dr. Ridwan Amiruddin, SKM., M.Kes., M.Sc.PH selaku Ketua Program Studi S3 Ilmu Kesehatan Masyarakat Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
10. Pimpinan Universitas Muslim Indonesia, Pimpinan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Muslim Indonesia dan Pimpinan Program Studi

FKM Universitas Muslim Indonesia yang telah memberikan izin untuk melanjutkan studi S3.

11. Ummi Kalsum, SKM., Fitriani Kasim, SKM., M.Kes. Rahmatullah, SKM, selaku laboran Laboratorium Terpadu Kesehatan Masyarakat Universitas Muslim Indonesia, yang telah membantu penelitian
12. Kepala Laboratorium Terpadu Kesehatan Masyarakat FKM UMI yang telah memfasilitasi ruangan Laboratorium.
13. Seluruh staf Dosen Sekolah Pascasarjana Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menggali pengetahuan, pengalaman dan wawasan di bidang Ilmu Kesehatan Lingkungan.
14. Seluruh mahasiswa angkatan 2016 terima kasih atas semangat dan kebersamaan dalam perkuliahan selama masa studi
15. Seluruh karyawan Sekolah Pascasarjana Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin yang telah membantu kelancaran penyelesaian studi penulis.
16. Pimpinan Yayasan Wakaf Universitas Muslim Indonesia yang telah memberikan dana studi lanjut S3.

Terima kasih yang tulus dan tak terhingga kepada segenap keluarga, mertua tercinta Ayahanda Syarifuddin Amin dan Ibunda Aguslia Sianding, Almarhum H. Syamsul Bahri, SH., yang selaku paman dan selaku orang tua yang telah memberikan bantuan moril dan materiel mulai dari SD sampai

peneliti melanjutkan S3, Semoga ini menjadi amal jariah buat beliau. Aamiin. Kakak Almarhumah Nasra Djafri, SE., Kakak Gazali Djafri, ST., adik-adikku Gunawan, A.Md., dan Nisrina Djafri, S.Pd., adik-adik iparku Rhoma Idris, S.Pd.i, Asrani Tahir, S.Pd., Tirta Chiantalia Sharief, S.Kom dan Sheila Fhebrianti Sharief, S.Pd. atas segala dukungannya baik moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini.

Akhirnya terima kasih yang tulus dan tak terhingga kepada segenap pihak yang telah membantu dan member inspirasi kepada penulis sehingga disertasi ini dapat diselesaikan dengan baik, namun peneliti menyadari bahwa disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan oleh karena itu kontribusi yang bersifat konstruktif sangat diharapkan dari semua pihak untuk kesempurnaan disertasi ini. Akhirnya, diharapkan agar hasil penelitian ini dapat bermanfaat dan menambah khasanah ilmu pengetahuan.

Aamiin Ya Rabbal Alamin

Makassar, 29 Agustus 2021

Abd. Gafur Djafri

ABSTRAK

ABD.GAFUR. Depurasi Perendaman Kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*) Terhadap Efisiensi Removal Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) (Dibimbing oleh **Anwar Daud, Anwar Mallongi dan Syamsiar S. Russeng**)

Depurasi menggunakan absorben Kulit Pisang Kepok menurunkan kandungan logam Berat Timbal dan Kromium pada Kerang Darah (*Anadara granosa*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh depurasi perendaman kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan kulit Pisang Kepok di Muara Sungai Tallo dan Perairan Untia Kota Makassar.

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *True Experiment Design* dengan bentuk desain *Posttest-Only Control Design*. Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi removal depurasi logam berat Pb dalam Kerang Darah dengan perendaman kulit Pisang Kepok berkisar antara 81,89%-99,62%. Efisiensi removal depurasi logam berat Cr dalam kerang Darah dengan rendaman kulit pada replikasi kedua lebih baik dibandingkan replikasi yang lain. Disimpulkan bahwa hasil uji lanjut Duncan Multiple Range Test (DMRT) 5 % terlihat bahwa depurasi perendaman Kerang Darah dengan perlakuan berbagai variasi berat (jumlah sisir) Pisang kapok memberikan pengaruh nyata Logam Berat Timbal (Pb) Dalam Kerang Darah pada replikasi keempat, sedangkan pada logam berat Kromium dalam Kerang Darah memberikan pengaruh nyata pada replikasi kedua (kontrol), dan replikasi ketiga. Waktu perendaman dengan jarak waktu 5, 10, 15, 20 dan 25 jam tidak memberikan pengaruh nyata dengan efisiensi removal logam berat Pb dan Cr dalam kerang Darah. Perlunya diadakan penyuluhan tentang depurasi perendaman kulit pisang kepok pada masyarakat nelayan di Kelurahan Tallo Kecamatan Tallo Kota Makassar melalui kegiatan pengabdian masyarakat dan untuk peneliti selanjutnya meneliti range waktu perendaman lebih kecil dari waktu perendaman yang telah dilakukan dan perendaman kulit pisang kepok dengan *flow system*.

Kata kunci: Depurasi Perendaman, Efisiensi Removal, Timbal (Pb), Kromium (Cr), Kulit Pisang Kepok, Kerang Darah



ABSTRACT

ABD.GAFUR. Soaking Depuration of Blood Cockle (*Anadara granosa*) with Kepok Banana Peel (*Musa acuminata*) on the Removal Efficiency of Lead (Pb) and Chromium (Cr) Heavy Metal Content (Supervised by Anwar Daud, Anwar Mallongi and Syamsiar S. Russeng)

Depuration using the Banana Kepok Peel absorbent reduces the heavy metal content of Lead and Chromium in Blood Cockle (*Anadara granosa*). This study aims to determine the effect of soaking depuration of Blood Cockle (*Anadara granosa*) with Kepok Banana peels in the Tallo Estuary and Untia Waters, Makassar City.

The type of research used in this research is True Experiment Design in the form of Posttest-Only Control Design. The research design used in the study was a completely randomized design (CRD).

The results showed that the removal efficiency of Pb heavy metal depuration in Blood Cockle by soaking Banana Kepok peels ranged from 81.89%-99.62%. The removal efficiency of heavy metal Cr depuration in blood cockle with skin bath in the second replication was better than the other replications. It was concluded that the results of the Duncan Multiple Range Test (DMRT) 5% further test showed that the depuration of immersion of Blood Cockle with various weight variations (number of combs). The weight of Chromium in Blood Cockle had a significant effect on the second replication (control), and the third replication. The immersion time at intervals of 5, 10, 15, 20 and 25 hours did not significantly affect the removal efficiency of heavy metals Pb and Cr in blood clams. It is necessary to hold counseling about the depuration of soaking kepok banana peels in fishing communities in Tallo Village, Tallo District, Makassar City through community service activities and for further researchers to examine the immersion time range that is smaller than the soaking time that has been done and soaking the kepok banana peel with a flow system.

Keywords: Soaking Depuration, Removal Efficiency of Lead (Pb), Chromium (Cr), Kepok Banana Peel, Blood Cockle



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	12
C. Tujuan Penelitian.....	12
D. Manfaat Penelitian.....	14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	15
A. Tinjauan Umum tentang Logam Berat.....	15
B. Tinjauan Umum tentang Timbal, dan Kromium (Cr).....	25
C. Tinjauan Umum tentang Kerang Anadara <i>granosa</i>	45
D. Tinjauan Umum tentang Batas Aman Konsumsi Kerang.....	50
E. Tinjauan Umum Tentang Bio-Concentration Factor (BCF)....	53
F. Tinjauan Umum tentang Depurasi.....	55
G. Tinjauan Umum tentang Pisang.....	59
BAB III KERANGKA KONSEP.....	69
A. Dasar Pemikiran Variabel yang diteliti.....	69
B. Kerangka Teori.....	71

C. Kerangka Konsep.....	72
D. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif.....	73
E.. Hipotesis Penelitian.....	74
BAB IV METODE PENELITIAN.....	75
A. Jenis dan Desain Penelitian.....	75
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	77
C. Populasi dan Sampel Penelitian	80
D. Bahan dan Alat.....	81
E. Prosedur Penelitian.....	83
F. Parameter Penelitian.....	85
G. Analisis Data.....	86
H. Penyajian Data.....	86
I. Alur Penelitian.....	87
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	88
A. Hasil Penelitian.....	88
B. Pembahasan	109
C. Keterbatasan Penelitian.....	130
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	131
A. Kesimpulan.....	131
B. Saran	132
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data-Data Hasil Penelitian logam Berat Timbal Dalam Kerang	37
Tabel 2.2	Data-Data Hasil Penelitian logam Berat Kromium Dalam Kerang	44
Tabel 2.3	Angka Toleransi Batas Konsumsi Per Minggu yang Diterbitkan Badan JECFA dan WHO	51
Tabel 2.4	Daftar RfD Logam Berat	53
Tabel 2.5	Tabel Sintesa Tentang Depurasi Logam Berat	58
Tabel 2.6	Data-Data Hasil Penelitian Depurasi Kulit Pisang dalam menurunkan logam berat	68
Tabel 4.1	Matriks rancangan penelitian	77
Tabel 4.2	Lokasi Pengambilan dan Jumlah Sampel Kerang <i>Anadara granosa</i> untuk Depurasi Perendaman	81
Tabel 5.1	Parameter Kualitas Perairan di Muara Sungai Tallo dan Perairan Kelurahan Untia Kota Makassar 2021	89
Tabel 5.2	Kandungan Pb, Cd dan Cr (ppm) di Lingkungan Perairan dan Kerang <i>Anadara granosa</i> Tahun 2021	90
Tabel 5.3	Nilai Faktor Bioakumulasi Kerang <i>Anadara granosa</i> pada Logam Berat Pb dan Cr	90
Tabel 5.4	Batas aman konsumsi kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>) yang mengandung Pb dan Cr di Muara Sungai Tallo dan Perairan Kelurahan Untia Kota Makassar	91
Tabel 5.5	Perhitungan Batasan maksimum konsumsi harian Kerang <i>Anadara granosa</i> di Muara Sungai Tallo dan Perairan Untia	92
Tabel 5.6	Kandungan Kerang <i>Anadara granosa</i> Setelah Depurasi Perendaman Kulit Pisang Kepok	95
Tabel 5.7	Kandungan Logam Berat Pb dan Cr dalam Air Rendaman Kulit Pisang Kepok	98
Tabel 5.8	Batasan maksimum konsumsi harian (safety level) Kerang <i>Anadara granosa</i> Setelah Depurasi Perendaman Pisang Kepok Tahun 2021	99
Tabel 5.9	Efisiensi Removal Depurasi Perendaman Kulit Pisang Kepok Terhadap Kandungan Logam Berat Pb dan Cr Dalam Kerang <i>Anadara granosa</i> Tahun 2021	100
Tabel 5.10	Hasil Uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) Pengaruh interaksi antara variasi berat Kulit Pisang Kepok Terhadap Kandungan Logam Berat Pb dalam Kerang <i>Anadara granosa</i> Tahun 2021	103

Tabel 5.11	Hasil Uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) Pengaruh interaksi antara variasi berat Kulit Pisang Kepok Terhadap Kandungan Logam Berat Cr dalam Kerang <i>Anadara granosa</i> Tahun 2021	103
Tabel 5.12	Hasil Uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) Pengaruh interaksi antara Waktu Perendaman Kerang <i>Anadara granosa</i> dengan Kulit Pisang Kepok terhadap Kandungan Logam Berat Pb Tahun 2021	104
Tabel 5.13	Pengaruh interaksi antara variasi berat Kulit Pisang Kepok Terhadap Kandungan Logam Berat Cr dalam Kerang <i>Anadara granosa</i> Tahun 2021	105
Tabel 5.14	Hasil Uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) Pengaruh Variasi Berat Kulit Pisang Kepok Terhadap Efisiensi Removal Logam Berat Timbal Dalam Kerang <i>Anadara granosa</i> Tahun 2021	106
Tabel 5.15	Hasil Uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) Pengaruh Variasi Berat Pisang Kepok Terhadap Efisiensi Removal Logam Berat Kromium Dalam Kerang <i>Anadara granosa</i> Tahun 2021	107
Tabel 5.16	Hasil Uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Efisiensi Removal Logam Berat Timbal Dalam Kerang <i>Anadara granosa</i> Tahun 2021	107
Tabel 5.17	Hasil Uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Efisiensi Removal Logam Berat Kromium Dalam Kerang <i>Anadara granosa</i> Tahun 2021	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>)	46
Gambar 2.2	Pisang kepok (<i>Musa acuminata balbisiana Colla</i>)	60
Gambar 2.3	Pektin pada jaringan tanaman	63
Gambar 2.4	Senyawa Asam Pektinat atau Pektin	63
Gambar 2.5	Struktur Kimia Asam α -Galakturonat	64
Gambar 2.6	Ilustrasi Perendaman kerang darah dengan pisang Kepok	66
Gambar 2.7	Mekanisme absorbs ion metal ke dalam absorben pectin	67
Gambar 3.1	Bagan Kerangka Teori	71
Gambar 3.2	Bagan Kerangka Konsep	72
Gambar 4.1	Peta Pengambilan Sampel Kerang <i>Anadara granosa</i> di Muara Sungai Tallo dan Perairan Untia	79
Gambar 4.2	Alur Penelitian	87

DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1	Hasil Analisis Kandungan Pb dalam Kerang <i>Anadara granosa</i> Setelah Depurasi Perendaman Kulit Pisang Kepok	96
Grafik 5.2	Hasil Analisis Kandungan Cr dalam Kerang <i>Anadara granosa</i> Setelah Depurasi Perendaman Kulit Pisang Kepok	97
Grafik 5.3	Efisiensi Removal Depurasi Perendaman Kulit Pisang Kepok Terhadap Kadar Logam Berat Pb Dalam Kerang <i>Anadara granosa</i>	101
Grafik 5.4	Efisiensi Removal Depurasi Perendaman Kulit Pisang Kepok Terhadap Kadar Logam Berat Cr Dalam Kerang <i>Anadara granosa</i>	102

DAFTAR SINGKATAN

AAS	: <i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i>
ANOVA	: Analysis of variance
BPS	: Badan Pusat Statistik
BPTP	: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian
BSAF	: Biosediment accumulation factor
BSN	: Badan Standardisasi Nasional
BW	: Body Weight/Berat badan (kg)
BWAF	: Bio-Water Accumulation Factor
Cm	: Konsentrasi logam berat dalam kerang (mg/kg)
Cr	: Chromium
CRlim	: Batas maksimum tingkat konsumsi Kerang(kg/hari)
DMRT	: Duncan's Multiple Range Test
EPA's IRIS	: EPA's Integrated Risk Information System
FAO	: <i>Food and Agriculture Organization</i>
JECFA	: The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives
KAN	: Komite Akreditasi Nasional
LC50	: Lethal Concentration 50%
MTI	: <i>Maximum Tolerable Intake</i>
MWI	: <i>Maximum Weekly Intake</i>
Pb	: <i>Plumbum</i>
PBT	: <i>Persistent, Bioaccumulative and Toxic</i>
PLTU	: Pembangkit Listrik Tenaga Uap
PTWI	: <i>Provisional Tolerable Weekly Intake</i>
PVC	: <i>Polyvinyl Chloride</i>
RfD	: reference dose/Referensi dosis (mg/kg-hari)
TEL	: <i>Tetra Ethyl Lead</i>
TML	: <i>Tetra Methyl Lead</i>
USEPA	: U.S. Environmental Protection Agency
WHO	: World Health Organization

DAFTAR LAMPIRAN

- | No. | Nama Lampiran |
|-----|--|
| 1. | Permohonan Izin Penelitian |
| 2. | Izin Penelitian Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan |
| 3. | Izin Penelitian Walikota |
| 4. | Surat Keterangan |
| 5. | Data Analisis Penelitian |
| 6. | Hasil Pemeriksaan Laboratorium |
| 7. | Data Pengukuran Kualitas Air |
| 8. | Dokumentasi Penelitian |
| 9. | Biodata |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kontaminasi logam berat terhadap ekosistem perairan telah menjadi masalah dalam kesehatan lingkungan selama beberapa dekade. Pencemaran logam berat lingkungan perairan telah menjadi perhatian besar dalam beberapa tahun terakhir (Olujimi *et al.*, 2015). Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi peningkatan kepedulian terhadap ekologi dan kesehatan masyarakat global terkait dengan pencemaran lingkungan oleh logam-logam ini. Juga, paparan manusia telah meningkat secara dramatis sebagai hasil dari peningkatan eksponensial penggunaannya dalam beberapa aplikasi industri, pertanian, rumah tangga dan teknologi (Bradl, 2005).

Kontaminasi logam berat pada ekosistem perairan secara intensif berhubungan dengan pelepasan logam berat oleh limbah domestik, industri dan aktivitas manusia lainnya. Kontaminasi logam berat dapat menyebabkan efek mematikan terhadap organisme laut dan menyebabkan ketidakseimbangan ekologis dan keanekaragaman organisme laut (Akbar, dkk., 2014). Keberadaan logam berat dalam air, sedimen, ikan dan kerang, mengindikasikan kemungkinan adanya gangguan kesehatan pada manusia lewat konsumsi ikan dan kerang tersebut. Gangguan kesehatan yang diakibatkan oleh logam berat memiliki efek sistemik dengan gejala klinis yang

muncul setelah mengkonsumsi dalam waktu yang lama. Menurut Widowati dkk., (2008), logam berat dapat menimbulkan efek gangguan terhadap kesehatan manusia, tergantung pada bagian mana dari logam berat tersebut yang terikat dalam tubuh serta besarnya dosis paparan. Efek toksik dari logam berat mampu menghalangi kerja enzim sehingga mengganggu metabolisme tubuh, menyebabkan alergi, bersifat mutagen, dan karsinogen bagi manusia maupun hewan.

Produksi dan konsumsi kerang dunia telah meningkat secara signifikan selama beberapa tahun terakhir, dari total gabungan untuk tangkapan liar dan akuakultur sekitar 10,7 juta ton pada tahun 1999 menjadi 14 juta ton pada tahun 2006 (statistik perikanan FAO). Demikian pula, perkembangan angkutan melalui udara dan laut serta teknik pengawetan telah memungkinkan konsumen di berbagai belahan dunia untuk menikmati makan bivalvia yang diproduksi di perairan yang jauh. Perkembangan distribusi dan perdagangan tersebut pada gilirannya menimbulkan tantangan yang muncul untuk perlindungan konsumen, khususnya terkait dengan keamanan kerang dari mikro-organisme patogen. Beberapa spesies kerang sebaiknya dikonsumsi hidup atau mentah (misalnya tiram), atau dimasak sedikit (misalnya kerang) yang menjadikannya sebagai kategori produk makanan berisiko tinggi yang memerlukan tindakan pengendalian yang tepat untuk menghilangkan atau mengurangi potensi bahaya biologis, kimia dan fisik ke tingkat yang dapat diterima. Selain itu, distribusi produk mentah beku juga

secara nyata memperpanjang periode waktu konsumsi yang terkontaminasi (Lee et al, 2008).

Logam berat dalam perairan menjadi masalah yang serius karena sifat toksiknya dan mempunyai kecenderungan untuk terakumulasi dalam rantai makanan (Friligos, 1985; Mason & Barak, 1990; Parlak et al, 1999; Barlas, 2002). Kandungan logam berat terdapat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia (Mohiuddin *et al.*, 2011). Kegiatan industri yang intensif dan aktivitas manusia telah banyak mengakibatkan pelepasan limbah logam berat ke lingkungan (Karbassi *et al.*, 2008).

Di Indonesia terdapat beberapa penelitian tentang pencemaran logam berat pada kerang darah. Berbagai penelitian tentang logam berat telah dilakukan di sepanjang pantai utara Pulau Jawa misalnya kadar Cd, Cu, Pb, Zn, dan Ni dalam sedimen Teluk Jakarta (bagian barat Pulau Jawa), konsentrasi logam berat pada ikan dari Pantai Utara Jawa Tengah, fraksinasi Pb, Cd, Cu dan Zn dalam sedimen dan bioavailabilitasnya untuk biota perairan di Teluk Jakarta, kandungan Hg dan Cd dalam air, sedimen dan kerang darah (*Anadara granosa*). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar logam cenderung meningkat baik pada media (air dan sedimen) maupun hewan air di sepanjang pantai utara Jawa. Hasil penelitian tersebut menunjukkan kerang darah *Anadara granosa* mengandung kadar Pb tertinggi (9,050 mg/kg). Kadar Pb dalam bivalvia melebihi nilai BM dari WHO, FAO dan

otoritas Indonesia. Untuk menghindari dampak logam pada kesehatan manusia, maka berat bivalvia yang diizinkan untuk dikonsumsi adalah 0,10 kg/minggu untuk *Anadara granosa* (Yulianto dkk., 2019). Jika biota laut yang telah terkontaminasi logam berat tersebut dikonsumsi, dapat merusak sistem biokimia, dan merupakan ancaman serius bagi kesehatan manusia dan hewan (Khan *et al.*, 2009). Kerang dapat mengakumulasi logam lebih besar dari pada hewan air lainnya karena sifatnya yang menetap, lambat untuk dapat menghindarkan diri dari pengaruh polusi, dan mempunyai toleransi yang tinggi terhadap konsentrasi logam tertentu. Karena itu jenis kerang merupakan indikator yang sangat baik untuk memonitor suatu pencemaran lingkungan (Darmono, 2010). Secara umum, kerang bersifat *filter feeder non selective* (menyaring makanannya) dan menetap, maka kandungan logam berat yang relatif cukup tinggi ditemukan dalam tubuhnya karena adanya akumulasi logam berat tersebut (Buwono, 2005).

Pencemaran Sungai Tallo pada umumnya berasal dari berbagai sumber, utamanya berasal dari pemukiman disekitarnya serta perusahaan yang membuang limbahnya ke Sungai. Sungai Tallo merupakan salah satu sungai utama di Kota Makassar yang mengalir ke Selat Makassar. Perairan muara Sungai Tallo mengalami tekanan yang tinggi karena keberadaan pemukiman, Kawasan Industri Makassar (KIMA), PLTU, industri pabrik tripleks, pertambangan dan pertanian, yang menyebabkan Sungai Tallo tercemar oleh limbah-limbah industri. Dan di Perairan Kelurahan Untia

terdapat juga Muara Sungai Salodong yang mengalir ke Selat Makassar dan Pelabuhan Perikanan Untia, yang merupakan tempat berlabuhnya kapal-kapal nelayan. Hal yang mendasar bahwa banyak warga yang cenderung mengkonsumsi kerang yang berasal dari Muara Sungai Tallo karena mengingat harga sembakau yang cukup tinggi khususnya masyarakat yang bermukim di sekitar Muara Sungai Tallo Kota Makassar, sehingga dikhawatirkan apabila kerang yang dikonsumsi terkontaminasi logam berat (Hidayat dan Zainal, 2019). Masyarakat umumnya kurang menyadari bahwa mengkonsumsi kekerangan perlu waspada, karena adanya fenomena biomagnifikasi logam berat yang membahayakan kesehatan masyarakat. Berdasarkan observasi awal yang telah dilakukan di Sungai Tallo khususnya pada masyarakat Kelurahan Tallo, dengan melihat secara langsung kondisi warga sekitar, masih ada masyarakat yang mengkonsumsi kerang yang berasal dari Muara Sungai Tallo yang kemungkinan tercemar oleh logam diakibatkan oleh buangan limbah pabrik industri disekitar Sungai Tallo. Dan ada kelompok nelayan penangkap kerang yang menjual hasil tangkapannya yang berasal dari muara Sungai Tallo dan perairan Kelurahan Untia Makassar. Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan sampel kerang darah dari Muara Sungai Tallo terukur mengandung 0,77-0.79 ppm Kadmium dan 0,01-11.45 ppm Kromium dan pada sampel kerang hijau mengandung sebesar 0,76-2,95 ppm arsenik. Sementara itu batas aman konsumsi tidak boleh melebihi 1,00 ppm (Badan Standardisasi Nasional, 2009).

Kerang darah banyak dikonsumsi oleh masyarakat di Kota Makassar khususnya masyarakat muara sungai Tallo, bahkan kerang Darah merupakan salah satu makanan favorit di masyarakat karena memiliki kandungan gizi sangat baik dan ekonomis, namun sampai saat ini masih kurang dilakukan penelitian terkait bioakumulasi, batas aman konsumsi dan depurasi logam berat (Pb dan Cr) pada jenis kerang tersebut. Untuk keperluan perlindungan kesehatan manusia, maka diperlukan suatu penelitian terkait bioakumulasi, batas aman dan depurasi sehingga dapat digunakan dalam monitoring pencemaran logam berat, keamanan pangan serta pemaparan logam berat Pb dan Cr pada manusia melalui konsumsi kerang, dan upaya penyesihan logam dari kerang tersebut. Hal ini sangat penting untuk menjawab keresahan masyarakat karena kerang darah merupakan makanan favorit dan sangat digemar. Untuk itu perlu dilakukan proses depurasi sebelum kerang dijual dan dikonsumsi oleh masyarakat.

Konsumsi kerang darah di Indonesia terbilang cukup tinggi, karena harga kerang darah yang terjangkau dan ketersediaan yang melimpah. Pada umumnya masyarakat mengkonsumsi kerang darah dengan cara pengolahan direbus dan digoreng. Proses pengolahan kerang dapat mempengaruhi kandungan logam. Menurut Oke et al., (2017) penggorengan merupakan proses pengolahan yang dapat menaikkan kadar mineral termasuk kandungan logam berat. Berdasarkan SNI No. 7387:2009 mengenai batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan dinyatakan bahwa batas

maksimum timbal dalam kekerangan (*bivalve*) moluska dan teripang adalah 1,5 mg/kg. Apabila manusia mengonsumsi kerang yang mengandung logam berat dalam jumlah yang melebihi batas maksimum akan berdampak negatif terhadap kesehatan manusia. Batas aman konsumsi mingguan bahan makanan yang tercemar logam berat timbal yang direkomendasikan oleh FAO (*Food and Agriculture Organization*) atau WHO (*World Health Organization*) adalah sebesar 0,025 mg/kg berat badan atau setara dengan 1,5 mg/minggu atau 0,214 mg/hari untuk orang dewasa dengan berat badan 60 kg (FAO,2000).

Studi tentang kerang banyak dilakukan di Indonesia dimulai dari pemanfaatan *waste product* dari industri kerang hingga pemanfaatan kerang sebagai bioindikator pencemaran (Suryono, 2006b). Berkaitan dengan akumulasi logam berat pada kerang, beberapa studi di Indonesia berusaha menemukan metode dalam mengurangi logam berat pada tubuh kerang sehingga laik dikonsumsi oleh manusia. Metode tersebut didasarkan pada penambahan senyawa kimia pada kerang. Beberapa metode telah diuji coba untuk menghilangkan kandungan logam berat yang terdapat di dalam kerang, diantaranya ozonisasi, penyerapan dengan karbon aktif, pertukaran ion (*ion exchange*), pengendapan secara elektrolisis dan pemisahan dengan membran telah dilakukan untuk menurunkan kadar logam berat dalam batas maksimum yang dipersyaratkan, tetapi cara ini membutuhkan biaya yang besar dalam pengoperasiannya. Dalam penelusuran literatur tentang

depurasi, peneliti mengkaji dan mengumpulkan informasi terkait alternatif absorben-absorben alami yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar logam berat terutama Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) dalam kerang.

Menurut Ashraf et al., (2010), proses pemisahan ion logam berat umumnya memerlukan biaya yang cukup besar dan mempunyai efektivitas yang rendah apabila diterapkan pada konsentrasi rendah. Oleh sebab itu, alternatif pengolahan limbah logam berat yang efektif dan efisien serta ekonomis masih sangat dibutuhkan sampai saat ini dan bisa diterapkan pada masyarakat nelayan penangkap kerang. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah biosorpsi. Biosorpsi merupakan metode alternatif untuk menghilangkan logam berat dari limbah perairan karena menggunakan bahan biomaterial yang mudah didapat dan biayanya relatif murah (Alluri et al., 2007).

Menurut Susilawaty dkk., (2015), kulit pisang kepok (*Musa acuminata*) merupakan salah satu bahan biomaterial yang dapat menyerap ion logam. Salah satu senyawa yang terkandung dalam kulit pisang kepok yaitu selulosa. Komposisi korteks pisang kaya akan zat tepung dan selulosa. Dilaporkan bahwa bahan-bahan ini bisa mengikat Cd dan Pb lebih baik daripada logam-logam lain (Khalil et al, 2006). Keberadaan selulosa ini yang menyebabkan kulit pisang kepok dapat menyerap ion logam. Ion logam yang bermuatan positif akan terikat oleh gugus hidroksil yang kaya dengan elektron. Limbah kulit pisang kepok dapat menurunkan kadar Fe^{2+} dalam

larutan berair. Kulit pisang kepok juga dapat mengikat ion Mangan dalam air sumur (Thuraidah dkk., 2015). Dengan demikian, limbah kulit pisang kepok dimungkinkan dapat digunakan sebagai bahan yang mampu mengurangi kadar logam berat seperti logam Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) dalam kerang yang ada di Muara Sungai Tallo dan perairan Untia.

Produksi pisang di Indonesia selama tiga tahun berturut-turut mulai dari 2018 hingga 2020 terus mengalami peningkatan. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Direktorat Jenderal Hortikultura pada tahun 2018 Indonesia memproduksi pisang sebanyak 7,26 juta ton, di tahun 2019 sebanyak 7,26 juta ton dan di tahun 2020 meningkat kembali sebanyak 8,18 juta ton. Potensi ketersediaan Pisang yang cukup melimpah inilah yang turut menghasilkan limbah. Kulit pisang yang merupakan bagian dari buah pisang yang umumnya hanya dibuang sebagai sampah. Limbah yang berasal dari pisang salah satunya yaitu kulit pisang. Masih belum ada penanganan limbah kulit pisang yang dimanfaatkan sebagai absorben dalam sektor industri, mengingat ketersediaan kulit pisang yang cukup berlimpah. Kulit pisang adalah limbah yang paling sering dibuang (Emaga et al., 2008). Di Sulawesi Selatan khususnya di Kota Makassar, kulit pisang kepok lebih banyak berakhir di tempat sampah, yang sering diabaikan dan jarang dimanfaatkan. Limbah kulit pisang kepok melimpah dimana jenis Pisang kepok bisa ditemukan di seluruh Indonesia. Sama dengan buahnya, kulit pisang mengandung selulosa yang sangat tinggi. Selulosa ini menyebabkan kulit

pisang bermanfaat sebagai absorben dalam penyerapan logam yang terdapat pada air limbah. Kandungan pada selulosa yang menyebabkan kulit pisang dapat menyerap ion logam yaitu adanya asam galakturonat. Asam galakturonat ini dapat mengikat ion logam, muatan negatif pada asam galakturonat, mengikat ion positif dari logam yang terdapat di dalam air sehingga unsur pencemaran dalam air dapat terikat (Hewet, 2011). Kandungan lain dari selulosa adalah zat pektin, zat pektin itu sendiri merupakan sumber dari media penyerapan dimana zat pektin mengandung gugus karboksilat yang membentuk senyawa kompleks apabila bereaksi dengan ion logam.

Pektin merupakan polimer yang mempunyai kemampuan untuk mengikat ion logam di dalam air sehingga unsur pencemar dalam air dapat dihilangkan. Beberapa penelitian telah dilakukan terkait penggunaan pektin sebagai biosorben logam berat. Diantaranya adalah penggunaan pektin dan pektin termodifikasi dari kulit durian untuk biosorpsi logam Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} dan Ni^{2+} (Wong *et al.*, 2008). Menurut Hariyati (2006), pektin terdiri dari gugus-gugus fungsional yaitu karboksil, hidroksil, amida dan metoksil. Keempat gugus tersebut ikut berperan dalam proses penyerapan logam berat, terutama gugus karboksil yang memiliki kemampuan paling besar berikatan dengan logam. Salah satunya yang memiliki pektin yang dapat menyerap logam berat adalah kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca forma typica*). Kulit pisang kepok mengandung pektin yang dapat menyerap logam

berat karena mengandung gugus karboksil (Kupchik *et al.*, 2006). Menurut penelitian Bana (2014), Pektin kulit pisang kepok mempunyai kemampuan dalam menyerap logam berat kadmium sebesar 87,46% pada air limbah.

Berdasarkan penelitian terdahulu mulai dari Castro *et al.* (2011), di Brazil membahas tentang kulit pisang dapat dimanfaatkan dalam mengikat Tembaga (Cu^{2+}) dan timbal (Pb^{2+}) dari air Sungai Prana Brazil yang tercemar dengan tembaga, Ashraf *et al.* (2011) di Malaysia menggunakan Kulit pisang dalam penelitiannya juga untuk pengurangan logam Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} dan Ni^{2+} dalam air limbah dengan *system batch*, di Indonesia, Sherly & Cahyaningrum (2014) melakukan penelitian terkait penggunaan kulit pisang kepok teraktivasi H_2SO_4 yang diaplikasikan untuk mengabsorpsi ion logam Cr^{6+} dan Hakim dkk., (2016) melakukan penelitian terkait dengan penggunaan kulit pisang kepok sebagai absorben untuk menurunkan kadar logam Cd^{2+} dan Cu^{2+} dalam air. Semua penelitian tersebut menggunakan kulit pisang untuk mengabsorpsi ion-ion logam berat dalam air dan air limbah. Berdasarkan hasil tersebut, maka penelitian ini menggunakan perendaman limbah kulit pisang kepok dalam proses depurasi kandungan logam berat Pb^{2+} dan Cr^{6+} dalam kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan *system batch* yaitu menggunakan wadah pot tanah liat sebagai wadah perendaman. Proses depurasi ini sangat mudah diterapkan pada masyarakat khususnya nelayan dalam mengurangi kandungan logam berat dalam kerang sebelum dijual

ataupun dikonsumsi sehingga kualitas produk kerang dapat terjaga dan aman untuk kesehatan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

“Bagaimanakah pengaruh depurasi perendaman kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan kulit pisang kepek terhadap efisiensi removal kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr)?”

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh depurasi perendaman kerang darah (*Anadara granosa*) dengan kulit pisang kepek terhadap efisiensi removal kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr).

2. Tujuan Khusus

- a. Untuk menentukan kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) pada kerang Darah (*Anadara granosa*) di Muara Sungai Tallo dan di Perairan Kelurahan Untia Kota Makassar.
- b. Untuk menentukan Nilai Faktor Bioakumulasi (BCF) logam berat logam Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) dalam kerang Darah (*Anadara*

granosa) di Muara Sungai Tallo dan di Perairan Kelurahan Untia Kota Makassar.

- c. Untuk menentukan batas aman konsumsi Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Muara Sungai Tallo dan di Perairan Kelurahan Untia Kota Makassar.
- d. Untuk menentukan pengaruh variasi berat kulit pisang kepok terhadap kandungan logam Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) dalam kerang Darah (*Anadara granosa*).
- e. Untuk menentukan pengaruh waktu depurasi Perendaman Kulit pisang kepok terhadap kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) dalam kerang Darah (*Anadara granosa*).
- f. Untuk menentukan pengaruh variasi berat kulit pisang kepok terhadap efisiensi removal kandungan logam Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) dalam kerang Darah (*Anadara granosa*).
- g. Untuk menentukan pengaruh waktu depurasi Perendaman Kulit pisang kepok terhadap efisiensi removal kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) dalam kerang Darah (*Anadara granosa*).

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini berguna untuk baik untuk kepentingan ilmiah, pemerintah/instansi, masyarakat maupun peneliti selanjutnya:

1. Manfaat Ilmiah

Penelitian ini menjadi tambahan pengetahuan dalam penerapan ilmu kesehatan masyarakat dan memperkaya kajian ilmu kesehatan lingkungan terkhusus pada pengetahuan tentang depurasi perendaman kerang dengan Pisang kepok untuk menurunkan kandungan logam beratnya.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai salah satu cara untuk mengurangi kadar berat logam berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) pada kerang darah (*Anadara granosa*) hingga batas yang aman untuk dikonsumsi manusia yaitu dengan cara depurasi perendaman kerang dengan Pisang kepok.

3. Manfaat Institusi

Diharapkan dapat menambah wawasan ilmu pengetahuan kesehatan masyarakat khususnya di bidang keamanan pangan dan memperkaya khasanah kepustakaan serta dapat dijadikan bahan referensi yang selanjutnya dapat dikembangkan oleh para peneliti lainnya untuk menurunkan kandungan logam berat pada kerang yang dikonsumsi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum Tentang logam Berat

1. Pengertian Logam Berat

Istilah logam berat (*heavy metals*) pertama kali digunakan oleh Leopold Gmelin pada tahun 1817 dengan membagi elemen-elemen logam menjadi logam berat (*heavy metals*), logam ringan (*light metals*) dan bukan logam (*non metal*) (Habashi, 2009). Menurut Gmelin (1849), Logam ringan yang memiliki densitas 0,860-5,0 gm/cm³ dan logam berat yang memiliki densitas 5.308-22.000 gm/cm³. Logam-logam berat seperti arsenik, tembaga, seng, besi dan mangan yang secara alami terkandung dalam air minum dapat membahayakan kesehatan manusia (Sembel, 2015). Logam berat adalah semua metalloid yang berhubungan dengan masalah lingkungan. Pemberian definisi tentang logam berat juga berawal dari referensi tentang pengaruh merusak dari logam-logam berat seperti Kadmium, Merkuri, Timbal, dimana semuanya lebih ringan dibandingkan dengan besi. Logam berat lainnya yang disebut metalloid adalah logam-logam beracun seperti Arsen, kromium (*chromium*), kobalt (*Cobalt*), Nikel (*nickel*), tembaga (*copper*), Seng (*zinc*), selenium (Se), Perak (*silver*), antimoni (*antimony*), talium (*thallium*) dan timah (*tin*) (Duffus, 2002). Logam berat didefinisikan sebagai elemen logam yang

memiliki kerapatan relatif tinggi dibandingkan dengan air (Fergusson, 1990). Dengan asumsi bahwa berat dan toksisitas saling terkait, logam berat yang juga termasuk metaloida, seperti arsenik, yang mampu menginduksi toksisitas pada tingkat rendah paparan (Duffus, 2002).

Menurut Palar (2012), Istilah logam berat telah dipergunakan secara luas terutama dalam perpustakaan ilmiah, sebagai suatu istilah yang menggambarkan bentuk dari logam tertentu. Menurut (Effendi, 2003), logam berat adalah unsur logam yang mempunyai densitas $>5 \text{ g/cm}^3$ dalam air laut, logam berat terdapat dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Dalam kondisi alam ini, logam berat dibutuhkan oleh organism untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya.

Karakteristik dari kelompok logam berat adalah sebagai berikut :

- a. Memiliki densitas $>5 \text{ g/cm}^3$
- b. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida dan aktinida.
- c. Mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup.

Pada tahun 1980, Nieboer & Richardson menggunakan istilah logam berat untuk menggantikan pengelompokan ion-ion logam ke dalam 3 kelompok biologi dan kimia (bio-kimia), pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan *oxygen seeking metal*.
- b. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur belerang (sulfur) atau disebut juga *nitrogen/sulfur seeking metal*.
- c. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus (spesifik) sebagai logam pengganti (ion pengganti) untuk logam-logam atau ion-ion logam dari kelas A dan logam dari kelas B.

Biokimia dapat diartikan sebagai peranan kimia (unsur-unsur kimia) dalam kehidupan makhluk hidup, diantaranya adalah unsur-unsur logam. Beberapa unsur logam sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk mempertahankan kehidupannya, sebagai contoh adalah unsur logam besi (Fe), unsur ini berikatan dengan Hb darah membentuk haemoglobin yang berfungsi sebagai pengikat oksigen (O₂) dalam darah.

Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat dapat menjadi bahan beracun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup. Kebutuhan tersebut berada dalam jumlah yang sangat sedikit. Tetapi bila kebutuhan dalam jumlah yang sangat kecil itu tidak terpenuhi, maka dapat berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari setiap makhluk hidup. Karena tingkat kebutuhan sangat dipentingkan

maka logam-logam tersebut juga dinamakan sebagai logam-logam atau mineral-mineral esensial tubuh. kemudian, bila jumlah dari logam-logam esensial masuk kedalam tubuh dalam jumlah berlebihan, maka akan berubah fungsi menjadi zat racun bagi tubuh.

2. Sumber-Sumber Logam Berat

Logam merupakan bahan pertama dikenal manusia dan digunakan sebagai alat-alat yang berperan penting dalam peradaban manusia. Logam mula-mula diambil dari pertambangan di bawah tanah (kerak bumi), yang kemudian dicairkan dan dimurnikan dalam pabrik menjadi logam murni kemudian dibentuk sesuai yang dikehendaki manusia misalnya perhiasan, alat-alat pertanian (besi) dan bahkan logam jenis tertentu dalam ukuran tertentu dalam ukuran yang sangat kecil dapat digunakan sebagai bahan pengganti energi minyak. Dalam proses pemurnian logam tersebut yaitu dari pencairan sampai menjadi logam, sebagian darinya terbuang kedalam lingkungan. Secara alami siklus perputaran logam adalah dari kerak bumi kemudian ke lapisan tanah, kemudian ke makhluk hidup (tanaman, hewan dan manusia), kedalam air, mengendap dan akhirnya kembali ke kerak bumi. Logam itu sendiri dalam kerak bumi dibagi menjadi logam makro dan logam mikro, dimana logam makro ditemukan lebih dari 1.000 mg/kg dan logam mikro jumlahnya kurang dari 500 mg/kg (Darmono, 1995).

Pada tahun 1974, Waldichuk membagi urutan toksisitas logam berat paling tinggi ke paling rendah adalah: $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$. Dan pada tahun 1984, Moore & Ramamoorthy mengelompokkan sifat toksisitas logam berat dalam tiga kelompok, yaitu

- a. Logam bersifat toksik tinggi yang terdiri dari atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn.
- b. Logam bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co.
- c. Logam bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe.

Adanya logam berat di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Pada tahun 1982, Sutamihardja et al mengemukakan sifat-sifat logam berat sebagai berikut:

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan).
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut.
3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan masa air yang akan melarutkan

kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

3. Absorpsi Logam Berat oleh Organisme Air

Logam berat diserap oleh hewan air melalui insang dan saluran pencernaan, karena sifatnya toksik logam ini dapat mematikan. Jika hewan air tersebut tahan terhadap kandungan logam yang tinggi, maka logam itu dapat tertimbun dalam jaringannya terutama hati dan ginjal (Darmono, 2010).

Absorpsi logam, selain melalui insang dapat juga masuk melalui kulit (kutikula) dan lapisan mukosa. Logam menempel pada permukaan sel, cairan tubuh dan jaringan internal. Hubungan antara jumlah absorpsi logam dan kandungan logam dalam jaringan sesuai dengan kenaikan kandungan logam dalam air. Pada logam-logam esensial kandungannya dalam jaringan biasanya melalui regulasi (diatur, pada batas-batas konsentrasi tertentu kandungan logam konstan) tetapi pada logam-logam non esensial kandungan logam tersebut dalam jaringan naik terus sesuai kenaikan konsentrasi logam dalam air lingkungannya (non regulasi) (Darmono, 2010).

Absorpsi ion-ion logam dari air laut oleh organisme air, seperti ikan dan udang biasanya melalui insang. Aktifitas dari logam masuk ke dalam tubuh hewan biasanya dengan cara difusi membran sel (*membrane fenomenal*), ada pula yang terikat dengan protein. Lapisan

sel atau membran pada biota air biasanya berlapis dua dan membentuk lipida (*lipid bilayer*) yang ada pada permukaannya mengandung beberapa lapisan yang mengikat ion-ion yang akan diserap. Ion logam masuk ke dalam sel dengan cara penetrasi ke dalam lapisan lipida (Darmono, 2010).

Logam berat diserap oleh tubuh hewan perairan kebanyakan dalam bentuk ion. Penyerapan tersebut dalam bentuk ion, melalui insang dan saluran pencernaan. Logam dapat tertimbun dalam jaringan terutama di hati dan ginjal. Ion logam yang masuk ke dalam jaringan makhluk hidup bersenyawa dengan bahan kimia membentuk senyawa kompleks organik protein disebut metalotionin. Masyarakat pada umumnya belum mengetahui bahwa kerang yang dikonsumsi dapat sebagai perantara memindahkan penyakit kepada manusia, baik ringan maupun berat. Penyakit ini berhubungan erat dengan cara hidupnya yang relatif menetap, sehingga kecil kemungkinan untuk menghindari dari perubahan lingkungan perairan yang membahayakan dan juga sifat *filter feeder* dari kerang. Cara makan seperti ini menyebabkan terakumulasinya jenis-jenis polutan sampai jumlah yang membahayakan bagi tubuh manusia. Polusi logam-logam berat terdapat pada kerang mentah atau kerang yang setengah masak sehingga menyebabkan keracunan bagi orang yang memakannya.

Organisme perairan yang mengalami keracunan logam berat akan mengalami gangguan pada proses pernapasan dan metabolisme tubuhnya, hal ini terjadi karena bereaksinya logam berat dengan fraksi dari lendir insang sehingga insang diselimuti oleh gumpalan lendir logam berat yang mengakibatkan proses pernapasan dan metabolisme tidak berfungsi sebagaimana mestinya (Palar, 2012).

Berdasarkan berbagai sumber tentang keberadaan logam berat yang berlebih pada lingkungan perairan dan darat disebabkan oleh aktifitas manusia seperti perindustrian, pariwisata serta pembangunan yang tidak dikelola dengan baik serta kurangnya kesadaran masyarakat khususnya yang mendiami wilayah pesisir pantai dan sungai untuk tidak membuang sampah langsung ke perairan. Jadi sudah jelas bahwa pencemaran perairan oleh limbah dan logam berat disebabkan oleh manusia itu sendiri. Sebagaimana firman Allah SWT dalam QS. Ar-Rum (30): 41 sebagai berikut:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي
عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Terjemahnya: Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan Karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)."

Pernyataan Allah dalam ayat ini menunjukkan bahwa kerusakan itu insidental sifatnya. Sebelum ada manusia tidak ada kerusakan, namun setelah muncul manusia barulah timbul kerusakan di darat maupun di lautan. Menurut Tafsir Al-Qurtubi (juz 14 hal. 4), Tafsir Al-Maraghi (juz 21 hal. 54), Tafsir Alusi (Ruhul Ma'ani juz 21 hal. 48), dan Tafsir Ibnu Katsir (juz 3 hal. 435) sepakat memaknai darat dalam ayat itu sebagai perkampungan atau desa yang terdapat di darat atau padang pasir. Sementara laut yang dimaksud adalah desa atau kota yang berada di pinggir laut.

Di sini jelas bahwa kerusakan itu adalah kerusakan yang akibatnya menimpa pada manusia yaitu pada desa atau kota yang mereka bangun melalui 'tangan-tangan' mereka. Namun manusia melakukan penyelewengan terhadap tugasnya sebagai khalifah di bumi. Manusia tak lagi memelihara lingkungan, melakukan perbuatan yang menyeleweng, saling berkelahi, saling khianat, saling memerah satu dengan yang lain. Akhirnya terjadilah bencana itu, yang oleh Allah di akhir ayat ini dijadikan sebagai *warning* (peringatan) bagi manusia. Agar manusia kembali ke jalan yang benar sebagai khalifah di bumi yang bertanggung jawab terhadap pemeliharaan alam semesta.

Menurut Syaikh Abdurrahman bin Nashir as-Sa'di, pakar tafsir abad 14 H dalam Tafsir As-Sa'di, maksudnya, menjadi jelas "kerusakan di darat dan laut," yaitu, rusaknya kehidupan mereka, berkurang dan

terjadinya berbagai wabah penyakit padanya, dan juga pada diri mereka, berupa penyakit, wabah dan lain-lain. Itu semua disebabkan apa yang telah dilakukan oleh tangan mereka berupa pekerjaan-pekerjaan yang rusak dan merusak. Yang disebutkan ini “supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari akibat perbuatan mereka,” maksudnya, agar mereka tahu bahwasannya Allah memberikan balasan atas amal perbuatan. Jadi, Allah menyegerakan contoh (terlebih dahulu) dari balasan amal perbuatan mereka di dunia, “agar mereka kembali,” dari perbuatan mereka yang telah menimbulkan kerusakan bagi mereka sendiri, sehingga keadaan mereka menjadi baik, urusan mereka menjadi bersinar. Maka Maha Suci Allah yang telah memberikan nikmat dan cobaanNya dan memberikan karunia dengan hukumNya. Sebab, jika tidak maka kalau Dia merasakan kepada mereka seluruh balasan (amal) yang mereka lakukan, tentu Dia akan menyisakan satu binatang melata (pun) manusia di muka bumi. Dari terjemahan ayat di atas bahwa pencemaran lingkungan perairan maupun darat itu disebabkan karena ulah tangan manusia itu sendiri. Manusia yang dimaksudkan tentu saja manusia yang tidak memiliki kesadaran tentang kelestarian lingkungan dan juga tidak adanya pengetahuan yang mapang mengenai dampak dari kerusakan lingkungan. Seperti halnya pencemaran logam berat yang bersumber dari kegiatan industri yang menggunakan pembakaran dan bahan logam, limbah yang dihasilkan akan masuk

perairan karena tidak ditangani dengan baik sehingga laut menjadi tercemar.

B. Tinjauan Umum Tentang Logam Berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr)

1. Timbal (Pb)

a. Karakteristik logam timbal (Pb)

Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan nama timah hitam, dalam bahasa ilmiahnya adalah plumbum (Pb) (Palar, 2012). Timbal pada awalnya adalah logam berat yang secara alami terdapat di kerak bumi. Namun juga berasal dari kegiatan manusia bahkan mampu mencapai jumlah 300 kali lebih banyak dibandingkan Pb alami (Widowati, Sastiono and Rumamuk, 2008). Timbal merupakan logam lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat serta mudah dimurnikan dari pertambangan. Timbal meleleh pada suhu 328°C, titik didih pada 1740°C dan memiliki gravitasi 11,34 dengan berat atom 207,20 (Widowati, Sastiono and Rumamuk, 2008). Menurut Palar (2012), pada suhu 550-600°C timbal menguap dan bereaksi dengan oksigen dalam udara membentuk timbal oksida. Secara kimiawi, timbal mempunyai titik uap yang rendah dan dapat menstabilkan senyawa lain sehingga berguna pada ratusan produk industri. Secara klinis, timbal merupakan bahan toksik murni, tidak ada organisme yang fungsinya bergantung pada timbal (Markowitz, 2000; Harper and Shannon, 2007). Timbal termasuk ke dalam kelompok logam berat

golongan IVA di dalam Sistem Periodik Unsur kimia. Timbal mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,2 berbentuk padat pada suhu kamar dan memiliki berat jenis sebesar 11,4/l. Timbal jarang ditemukan di alam dalam keadaan bebas, melainkan dalam bentuk senyawa dengan molekul lain, misalnya dalam bentuk PbBr_2 dan PbCl_2 (Gusnita, 2012).

Timbal bersifat lentur, timbal sangat rapuh dan mengkerut pada pendinginan, sulit larut dalam air dingin, air panas dan air asam. Timbal dapat larut dalam asam nitrit, asam asetat dan asam sulfat pekat. Bentuk oksidasi yang paling umum adalah timbal (II) dan senyawa organometalik yang terpenting adalah timbal tetra etil (TEL: *tetra ethyl lead*), timbal tetra metil (TML: *tetra methyl lead*) dan timbal stearat. Timbal merupakan logam yang tahan terhadap korosi atau karat, sehingga sering digunakan sebagai bahan coating (Amalia, 2016).

Menurut Darmono (2001) timbal mempunyai sifat persisten dan toksik serta dapat terakumulasi dalam rantai makanan. Absorpsi timbal di dalam tubuh sangat lambat, sehingga terjadi akumulasi dan menjadi dasar keracunan yang progresif. Keracunan timbal ini menyebabkan kadar timbal yang tinggi dalam aorta, hati, ginjal, pankreas, paru-paru, tulang, limpa, testis, jantung dan otak.

b. Manfaat timbal

Oleh karena sifatnya yang tahan panas, tidak mudah korosi dan mudah dibentuk, timbal banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh timbal digunakan dalam pembuatan baterai, produk-produk logam seperti amunisi, pelapis kabel, pipa *Polyvinyl Chloride* (PVC), solder, bahan kimia dan pewarna. Beberapa produk logam dibuat dari timbal murni yang diubah menjadi berbagai bentuk, dan sebagian besar terbuat dari alloy timbal. Solder mengandung 50-95% timbal, sedangkan sisanya adalah timah. Logam pencetak yang digunakan dalam percetakan terdiri dari timbal, timah dan antimony, dimana komposisinya pada umumnya terdiri dari 85% timbal, 12% antimony, dan 3% timah.

Penggunaan timbal dalam bentuk lainnya terbatas pada produk-produk yang harus tahan karat, seperti pipa yang mengalirkan bahan-bahan kimia yang korosif dan air. Timbal juga digunakan sebagai pelapis kabel listrik yang akan ditanam di dalam tanah dan dibawah permukaan air. Komponen timbal juga digunakan sebagai pewarna cat karena kelarutannya di dalam air rendah sehingga dapat melindungi warna.

c. Sumber dan kegunaan timbal

Timbal telah tersebar luas di lingkungan sejak ditemukan dan digunakan oleh manusia untuk waktu yang lama (Bränvall et al., 2001; Hong et al., 2014; Pompeani et al., 2013; Renberg et al., 2000). Pencemaran Timbal yang terjadi akibat ledakan vulkanik dan kebakaran hutan. Sumber non alam berasal dari aktivitas manusia, terutama mengacu pada emisi timbal dari industri dan transportasi. Sejak penggunaan bensin bertimbal, kendaraan bermotor menjadi sumber utama emisi timbal ke udara dan beberapa juta ton timbal telah disimpan di tanah di Amerika Serikat (Zhang et al., 2015)

Kadar timbal udara tertinggi terjadi di dekat smelter timbal. Sumber lain berasal dari baterai pabrikan, pembakaran batu bara, typecasting, dan di rumah dan bangunan yang lebih tua (*American Academy of Paediatrics Committee on Environmental Health*, 2005; Woof et al.2007; Zhang et al.2009) Karena timbal tidak terdegradasi oleh aktivitas mikroba, timbal menetap di lingkungan dan terakumulasi di tanah, badan air dan sedimen melalui pengendapan, pencucian dan erosi (Shotyk et al. 1998; Maja-Lena et al. 1999).

Timbal secara alamiah terdapat dalam jumlah kecil pada batuan, penguapan lava, tanah dan tumbuhan. Timbal komersial dihasilkan melalui penambangan, peleburan, pengilangan dan pengolahan ulang sekunder (Darmono, 2010). Sumber-sumber lain

yang menyebabkan timbal terdapat dalam udara ada bermacam-macam. Diantara sumber alternatif ini yang tergolong besar adalah pembakaran batu bara, asap dari pabrik-pabrik yang mengolah senyawa timbal alkil, timbal oksida, peleburan biji timbal dan transfer bahan bakar kendaraan bermotor, karena senyawa timbal alkil yang terdapat dalam bahan bakar tersebut dengan sangat mudah menguap. Kadar timbal dari sumber alamiah sangat rendah dibandingkan dengan timbal yang berasal dari pembuangan gas kendaraan bermotor (Palar, 2012).

Timbal tidak pernah ditemukan dalam bentuk murninya, selalu bergabung dengan logam lain (Anies, 2005). Timbal terdapat dalam 2 bentuk yaitu bentuk anorganik dan organik. Dalam bentuk anorganik timbal dipakai dalam industri baterai (digunakan persenyawaan Pb-Bi); untuk kabel telepon digunakan persenyawaan timbal yang mengandung 1% stibium (Sb); untuk kabel listrik digunakan persenyawaan timbal dengan As, Sn dan Bi; percetakan, gelas, polivinil, plastik dan mainan anak-anak. Disamping itu bentuk-bentuk lain dari persenyawaan timbal juga banyak digunakan dalam konstruksi pabrik-pabrik kimia, kontainer dan alat-alat lainnya. Persenyawaan timbal dengan atom N (nitrogen) digunakan sebagai detonator (bahan peledak). Selain itu timbal juga digunakan untuk industri cat (PbCrO_4), pengkilap keramik (Pb-Silikat), insektisida (Pb-arsenat), pembangkit

tenaga listrik (Pb-telurium). Penggunaan persenyawaan timbal ini karena kemampuannya yang sangat tinggi untuk tidak mengalami korosi (Palar, 2012).

Dalam bentuk organik timbal dipakai dalam industri perminyakan. Alkil timbal (TEL dan TML) digunakan sebagai campuran bahan bakar bensin. Fungsinya selain meningkatkan daya pelumasan, meningkatkan efisiensi pembakaran juga sebagai bahan aditif anti ketuk (anti-knock) pada bahan bakar yaitu untuk mengurangi hentakan akibat kerja mesin sehingga dapat menurunkan kebisingan suara ketika terjadi pembakaran pada mesin-mesin kendaraan bermotor. Sumber inilah yang saat ini paling banyak memberi kontribusi kadar timbal dalam udara (Palar, 2012).

Bahan aditif yang biasa dimasukkan ke dalam bahan bakar kendaraan bermotor pada umumnya terdiri dari 62% timbal tetra etil, dan bahan *scavenger* yaitu 18% etilendiklorida ($C_2H_4Cl_2$), 18% etilendibromida ($C_2H_4Br_2$) dan sekitar 2% campuran tambahan dari bahan-bahan yang lain. Senyawa scavenger dapat mengikat residu timbal yang dihasilkan setelah pembakaran, sehingga di dalam gas buangan terdapat senyawa timbal dengan halogen. Jumlah senyawa timbal yang jauh lebih besar dibandingkan dengan senyawa-senyawa lain dan tidak terbakar musnahnya timbal dalam peristiwa pembakaran

pada mesin menyebabkan jumlah timbal yang dibuang ke udara melalui asap buangan kendaraan menjadi sangat tinggi.

d. Toksikokinetika Timbal (Pb)

1) Absorpsi

Pajanan Pb dapat berasal dari makanan, minuman, udara, lingkungan umum, dan lingkungan kerja yang tercemar Pb. Pajanan non okupasional biasanya melalui tertelannya makanan dan minuman yang tercemar Pb. Timbal dan senyawanya masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan dan saluran pencernaan, sedangkan absorpsi melalui kulit sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Bahaya yang ditimbulkan oleh Pb tergantung oleh ukuran partikelnya.

Timbal (Pb) adalah logam yang bersifat toksik terhadap manusia, yang berasal dari tindakan mengonsumsi makanan, minuman, atau melalui inhalasi dari udara, debu yang tercemar Pb, kontak lewat kulit, kontak lewat mata, dan lewat parenteral (Rahde, 1994; Widowati dkk, 2008).

Absorpsi Pb melalui saluran pernafasan dipengaruhi oleh tiga proses yaitu deposisi, pembersihan mukosiliar, dan pembersihan alveolar. Deposisi terjadi di nasofaring, saluran trakeobronkial, dan alveolus. Deposisi tergantung pada ukuran partikel Pb volume pernafasan dan daya larut. Partikel yang lebih besar banyak di

deposit pada saluran pernafasan bagian atas dibanding partikel yang lebih kecil (DeRoss FJ, 1997). Pembersihan mukosiliar membawa partikel di saluran pernafasan bagian atas ke nasofaring kemudian di telan. Rata-rata 10-30% Pb yang terinhalasi diabsorpsi melalui paru-paru, dan sekitar 5-10% dari yang tertelan diabsorpsi melalui saluran cerna (Palar, 2012).

2) Distribusi

Timbal yang diabsorpsi diangkut oleh darah ke organ-organ tubuh sebanyak 95% Pb dalam darah diikat oleh eritrosit. Sebagian Pb plasma dalam bentuk yang dapat berdifusi dan diperkirakan dalam keseimbangan dengan pool Pb tubuh lainnya. Yang dibagi menjadi dua yaitu ke jaringan lunak (sumsum tulang, sistem saraf, ginjal, hati) dan ke jaringan keras (tulang, kuku, rambut, gigi) (Palar, 2012). Gigi dan tulang panjang mengandung Pb yang lebih banyak dibandingkan tulang lainnya. Pada gusi dapat terlihat lead line yaitu pigmen berwarna abu-abu pada perbatasan antara gigi dan gusi (Goldstein BD and HM Kipen, 2000). Hal itu merupakan ciri khas keracunan Pb. Pada jaringan lunak sebagian Pb disimpan dalam aorta, hati, ginjal, otak, dan kulit. Timbal yang ada di jaringan lunak bersifat toksik.

3) Metabolisme

Timbal adalah logam berat yang dapat menyebabkan keracunan dan terakumulasi dalam tubuh manusia. Proses masuknya timbal ke dalam tubuh dapat melalui makanan dan minuman, udara, dan penetrasi pada kulit. Timbal yang masuk ke dalam tubuh melalui makanan dan minuman, masuk ke saluran pencernaan dan akan diikutkan dalam proses metabolisme tubuh (Palar, 2012). Timbal masuk ke dalam tubuh terikat pada gugus –SH dalam molekul protein dan menyebabkan hambatan pada aktivitas kerja sistem enzim. Timbal bersirkulasi pada darah setelah diabsorpsi dari usus. Awalnya didistribusi ke dalam jaringan lunak seperti tubulus ginjal dan sel hati, tetapi berikorporasi dalam tulang, rambut dan gigi untuk dideposit, dimana 90% terjadi pada tulang dan tersimpan pada otak sebagian kecil. Timbal yang terikat dalam tulang tidak menyebabkan rasa sakit tetapi berbahaya jika toksisitas timbal diakibatkan oleh gangguan absorpsi Ca yang menyebabkan penarikan deposit timbal dari tulang (Darmono, 2010).

4) Ekskresi

Ekskresi Pb melalui beberapa cara, yang terpenting adalah melalui ginjal dan saluran cerna. Ekskresi Pb melalui urine sebanyak 75-80%, melalui feces 15% dan lainnya melalui empedu,

keringat, rambut, dan kuku (Palar, 2012). Ekskresi Pb melalui saluran cerna dipengaruhi oleh saluran aktif dan pasif kelenjar saliva, pankreas dan kelenjar lainnya di dinding usus, regenerasi sel epitel, dan ekskresi empedu. Sedangkan Proses ekskresi Pb melalui ginjal adalah melalui filtrasi glomerulus. Kadar Pb dalam urine merupakan cerminan pajanan baru sehingga pemeriksaan Pb urin dipakai untuk pajanan okupasional. Pada umumnya ekskresi Pb berjalan sangat lambat.

e. Dampak Timbal (Pb) terhadap Ekologi dan Kesehatan

1) Dampak Timbal (Pb) terhadap Ekologi

Kondisi perairan yang terkontaminasi oleh berbagai macam logam akan berpengaruh nyata terhadap ekosistem perairan baik perairan darat maupun perairan laut. Timbal (Pb) merupakan logam yang banyak dimanfaatkan oleh manusia sehingga logam ini juga menimbulkan dampak kontaminasi terhadap lingkungan (Wulandari, Herawati and Arfiati, 2012). Hal ini karena senyawa yang bertahan lama di dalam suatu badan air sebelum akhirnya mengendap atau terabsorpsi oleh adanya berbagai reaksi fisik dan kimia perairan (Mukhtasor, 2007).

2) Dampak Timbal (Pb) terhadap Kesehatan

Sumber-sumber timbal antara lain cat usang, debu, udara, air, makanan, tanah yang terkontaminasi dan bahan bakar

bertimbal. Penggunaan senyawa-senyawa timbal antara lain pembuatan gelas, penstabil pada senyawa-senyawa PVC, cat berbasis minyak, zat pengoksidasi, bahan bakar. Di dalam tubuh, timbal diperlakukan seperti halnya Kalsium. Tempat penyerapan pertama adalah plasma dan membran jaringan lunak. Selanjutnya didistribusikan ke bagian-bagian dimana Kalsium memegang peranan penting seperti gigi pada anak-anak dan tulang pada semua umur. Sekitar 99% timbal yang masuk ke dalam tubuh orang dewasa dapat diekskresikan setelah beberapa minggu, sedangkan untuk anak-anak hanya 32 % yang dapat diekskresikan (BSN, 2009).

Timbal dapat masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan dan makanan. Konsumsi timbal dalam jumlah banyak secara langsung menyebabkan kerusakan jaringan, termasuk kerusakan jaringan mukosal. Sistem yang paling sensitif adalah sistem sintesis jaringan darah (hematopoietik) sehingga biosintesis hema terganggu. Semua sel-sel yang sedang aktif berkembang sensitif terhadap timbal. Timbal juga dapat merusak syaraf (BSN, 2009). Daya racun timbal (Pb) yang akut pada perairan alami menyebabkan kerusakan hebat pada ginjal, hati, otak dan sistem reproduksi, sistem saraf sentral, serta dapat menghambat perkembangan mental pada anak-anak dan bisa menyebabkan

kematian (Achmad, 2004). Menurut Darmono (2010), Timbal (Pb) bersifat kumulatif sehingga mekanisme toksiknya dibedakan menurut beberapa organ yang dipengaruhi yaitu:

- a) Sistem hemopoietik : timbal menghambat sistem pembentukan hemoglobin sehingga menyebabkan anemia.
- b) Sistem saraf pusat dan tepi : timbal dapat menyebabkan gangguan ensefalopati dan gejala gangguan saraf perifer.
- c) Sistem ginjal : dapat menyebabkan aminoasiduria, fosfaturia, glukosuria, nefropati, fibrosis, dan atrofi glomerular.
- d) Sistem gastro-intestinal : menyebabkan kolik dan konstipasi
- e) Sistem kardiovaskuler : menyebabkan peningkatan permeabilitas kapiler pembuluh darah.
- f) Sistem reproduksi : dapat menyebabkan kematian janin waktu melahirkan pada wanita serta hipospermi dan teratospermia pada pria.
- g) Sistem endokrin : mengakibatkan gangguan fungsi tiroid dan fungsi adrenal.

Tabel 2.1 : Tabel Sintesa tentang Penelitian logam Berat Timbal Dalam Kerang

No	Peneliti/tahun	Korelasi Studi			Temuan
		Subyek	Lokasi	Metode	
1.	Murtini & Ariyani/2005	Kerang Darah	Perairan di Tanjung Pasir, Jawa Barat	AAS	Kandungan logam merkuri, arsen, tembaga, kadmium dan timbal dalam kerang masih dalam batas aman untuk dikonsumsi.
2.	Rahmawati dkk./ 2015	Kerang Bakau (Polymesoda Erosa) Dan Kerang Darah(Anadara granosa)	Perairan Salule Pasangkayu Sulawesi Barat	AAS	Konsentrasi logam timbal dalam kerang darah (Anadara granosa) dan kerang bakau (Polymesoda erosa) adalah sebesar 3,81 mg/kg berat dan 5,12 mg/kg berat kering.
3.	Sasnita dkk/ 2017	Kerang Darah	Pelabuhan Nelayan Gampong Deah Glumpang Kota Banda Aceh	AAS	Anadara granosa pada ketiga stasiun pengamatan teridentifikasi tidak tercemar logam berat Pb
4.	Barokah et al./2019	Kerang Hijau	Teluk Jakarta	AAS	Kandungan Hg, Cd dan Pb pada kerang hijau budidaya di semua lokasi pengambilan sampel masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh Peraturan Kepala BPOM No 8 Tahun 2018
5.	Mirah dkk/ 2019	Kerang Hijau	Kerang Hijau Yang Beredar Di Pasar Badung	AAS	Kandungan logam berat Pb dan Cd melebihi batas ambang normal yang telah ditetapkan oleh Balai Pengawas Obat dan Makanan (BPOM).

Sumber Data : Diolah dari Berbagai Sumber

2. Kromium (Cr)

Kata kromium berasal dari bahasa Yunani (= *Croma*) yang berarti warna. Dalam bahan kimia khromium dilambangkan dengan "Cr". Sebagai salah satu unsur logam berat, khromium mempunyai nomor atom (NA) 24 dan mempunyai berat atom (BA) 51,996. Logam Cr pertama kali ditemukan oleh Vagueline pada tahun 1797 (Palar, 2012).

Kromium adalah salah satu unsur penting, kelimpahannya di alam menempati urutan ke 21 diantara unsur lain yang terdapat di kerak bumi. Titik lebur k sekitar 1857 °C (3375 F), titik didih sekitar 2672 °C (4842 F) dan berat jenis 7,2 gram/cm³.

Kromium (Cr) merupakan unsur yang melimpah yang terdapat di alam dengan berbagai bentuk oksida, yaitu Cr, Cr³⁺ atau Cr trivalent, Cr⁶⁺ atau Cr heksavalen. Kromium secara alami bisa ditemukan di batuan, tumbuhan, hewan, tanah dan gas, serta debu gunung berapi. Kromium Cr³⁺ secara alami terjadi di alam, sedangkan Cr dan Cr⁶⁺ pada umumnya berasal dari proses industri.

Kromium yang ditemukan di perairan adalah kromium trivalen (Cr³⁺) dan (Cr⁶⁺).di dalam tanah, kromium hexavalen (Cr⁶⁺) dengan cepat akan direduksi menjadi kromium trivalen (Cr³⁺) dengan melibatkan bahan organik. Akan tetapi, jika kromium trivalen masuk ke dalam perairan akan dioksidasi menjadi kromium hexavalen yang lebih toksik. Kromium trivalen biasanya terserap ke dalam bentuk partikel sedangkan kromium

hexavalen tetap berada dalam bentuk larutan (Effendi, 2003). Dalam bidang pengobatan, bentuk lain dari khromium juga banyak digunakan. Radioisotop kromium dapat menghasilkan sinar gamma digunakan untuk pendataan sel-sel darah merah, studi-studi mengenai hemoglobin. Isotop ini juga banyak digunakan sebagai penjinak sel-sel tumor (Palar, 2012).

Effendi (2003) lebih lanjut mengemukakan bahwa garam-garam kromium digunakan dalam industri besi baja, cat, bahan celupan, bahan peledak, tekstil, kertas, keramik, gelas, fotografi, sebagai penghambat korosi dan sebagai campuran lumpur pengeboran. Kromium di laut biasanya dalam bentuk senyawa trivalen dan heksavalen, namun umumnya didominasi oleh senyawa heksavalen. Sumber utama cemaran Cr di laut adalah buangan perkotaan. Kromium dapat menggantikan keberadaan aluminium dan besi pada beberapa mineral dengan memberikan warna warna yang unik. Sejumlah batuan menunjukkan warna yang berbeda sesuai dengan kandungan senyawa kromium.

Pada kromite dan garam krom, kromium bervalensi +3, sebagian besar senyawa ini berwarna hijau sedang yang lainnya berwarna merah atau ungu. *Oksida khrom* (Cr_2O_3) adalah padatan berwarna hijau. Pada kromat atau dikromat, khromium bervalensi +6. *Kalsium bikromat* ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) berwarna orange, padatan dapat larut dalam air dan bila bercampur dengan gelatin membentuk permukaan halus yang mengkilap dan sangat bermanfaat pada proses fotografi. Umumnya kromat berwarna

kuning dan paling dikenal adalah *timbal kromat* (PbCrO_4) yaitu suatu padatan yang tak larut dan digunakan secara luas sebagai zat pewarna yang disebut sebagai kuning krom.

a. Efek Toksik Logam Kromium (Cr)

Logam Cr adalah bahan kimia bersifat persisten, bioakumulatif dan toksik (*Persistent, Bioaccumulative and Toxic* (PBT)) yang tinggi serta tidak mampu terurai di dalam lingkungan, sulit diuraikan, dan akhirnya diakumulasi di dalam tubuh manusia melalui makanan.

Kestabilan kromium akan mempengaruhi toksisitasnya terhadap manusia secara berurutan, mulai dari tingkat toksisitas terendah, yaitu Cr, Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Cr^{6+} pada umumnya 1.000 kali lipat lebih toksik dibandingkan dengan Cr^{3+} . Kromium Cr^{3+} bersifat kurang toksik dibandingkan Cr^{6+} , tidak bersifat iritatif, serta tidak korosif. Namun, senyawa Cr^{3+} lebih toksik pada ikan dan binatang air lainnya dibandingkan Cr^{6+} . LC50 Cr^{3+} pada Ikan sebesar 2-7,5 mg/L, sedangkan LC50 Cr^{6+} sebesar 35-75 mg/L. Toksisitas Cr pada ikan dipengaruhi oleh sifat fisiko-kimia perairan, yaitu pH, kadar Ca, Mg. Perairan dengan pH rendah, tetapi kadar Ca dan Mg cukup tinggi, menyebabkan toksisitas Cr terhadap ikan menjadi rendah (Svobodova et al., 2003; Drew et al., 2006).

Logam atau persenyawaan kromium yang masuk ke dalam tubuh akan ikut dalam proses fisiologis atau metabolisme tubuh.

Logam atau persenyawaan kromium akan berinteraksi dengan bermacam-macam unsur biologis yang terdapat dalam tubuh. Interaksi yang terjadi antara kromium dengan unsur-unsur biologis tubuh, dapat menyebabkan terganggunya fungsi-fungsi tertentu yang bekerja dalam proses metabolisme tubuh (Palar, 2012).

Sebagai logam berat, Cr termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun yang dimiliki oleh logam Cr ditentukan oleh valensi ion-nya. Ion Cr^{6+} merupakan bentuk logam Cr yang paling banyak dipelajari sifat racunnya, bila dibandingkan dengan ion-ion Cr^{2+} dan Cr^{3+} . Sifat racun yang dibawa oleh logam ini juga dapat mengakibatkan terjadinya keracunan.

Banyaknya jumlah kromium dengan lambatnya proses penghapusan kromium dari paru-paru menjadi dasar suatu hipotesis bahwa kromium merupakan salah satu bahan yang dapat menyebabkan timbulnya kanker paru-paru (Palar, 2012).

b. Efek toksik terhadap alat pencernaan

Bukti Cr(VI) bisa menyebabkan kanker alat pencernaan yang masih sangat sedikit. Pekerja yang bekerja di industri kromium sangat sedikit yang menderita kanker alat pencernaan. Toksisitas akut Cr melalui alat pencernaan bisa menyebabkan nekrosis tubulus renalis. Para pekerja di lingkungan kerja industri kromium menunjukkan tingginya kadar Cr dalam darah, terutama sel darah merah. Cr(VI)

bersifat toksik karena memiliki kemampuan mengurangi ketersediaan Cr(III) dan Cr(VI) sehingga membentuk kompleks makromolekul intraseluler.

Mencerna makanan yang mengandung kadar Cr(VI) tinggi bisa menyebabkan gangguan pencernaan, berupa sakit lambung, muntah dan pendarahan, luka pada lambung, konvulsi, kerusakan ginjal dan hepar, bahkan dapat menyebabkan kematian.

c. Efek toksik terhadap alat pernafasan

Alat pernafasan merupakan organ target utama dari Cr(VI), baik akut maupun kronis, melalui paparan inhalasi. Gejala toksisitas akut Cr(VI) meliputi nafas pendek, batuk-batuk, serta kesulitan bernafas. Sementara itu, toksisitas kronis Cr(VI) berupa lubang dan ulserasi septum nasal, bronkitis, penurunan fungsi paru-paru, dan berbagai gejala pada alat pernafasan. Ulserasi kronis permukaan kulit bisa menyebabkan kanker paru-paru. Apabila terinhalasi Cr lewat saluran pernapasan, maka akibatnya adalah iritasi dan kanker paru-paru.

Menghirup udara yang mengandung Cr tinggi bisa menyebabkan iritasi hidung, hidung berlendir, pendarahan hidung dan timbul pada nasal septum. Manusia terpapar Cr(IV) melalui rantai makanan, minuman serta inhalasi udara yang mengandung Cr. Rata-rata intake Cr dari udara adalah sebesar 0,2-0,4 µg; intake dari air

minum sebesar 2 µg; dan intake dari makanan sebesar 60 µg/kg berat badan (*U.S. Environmental Protection Agency, 2007*).

Cr(VI) lebih toksik dibandingkan Cr(III), baik paparan akut maupun kronis. Paparan inhalasi akut Cr(VI) pada dosis tinggi bisa mengakibatkan gangguan neurologis maupun pencernaan. Toksisitas kronis dari Cr(VI) pada manusia menunjukkan beberapa gejala, antara lain gangguan alat pernafasan berupa perforasi dan gangguan pada septum nasal, bronkitis, penurunan fungsi paru-paru, asma dan *nasal itching*. Toksisitas kronis Cr(VI) melalui inhalasi atau per oral bisa menyebabkan gangguan pada hati, ginjal, alat pencernaan dan sistem imunitas.

d. Efek toksik terhadap kulit dan mata

Kulit yang alergi terhadap Cr akan cepat bereaksi dengan adanya paparan Cr meskipun dalam dosis rendah. Kromium (Cr) bisa menyebabkan kulit gatal dan luka yang tidak lekas sembuh. Senyawa Cr(VI) bisa menyebabkan iritasi mata, luka pada mata, iritasi kulit dan membran mukosa.

Paparan Cr melalui kulit bisa berasal dari berbagai produk yang mengandung Cr, seperti kayu yang diawetkan menggunakan Cr dikromat, produk kulit yang diawetkan menggunakan kromit sulfat, serta bahan bangunan antara lain semen dan tekstil. Paparan Cr

melalui kulit bisa menyebabkan kemerahan dan pembengkakan pada kulit.

Tabel 2.2 : Tabel Sintesa Tentang Penelitian logam Berat Kromium Dalam Kerang

No	Peneliti/tahun	Korelasi Studi			Temuan
		Subyek	Lokasi	Metode	
1.	Fang et al./2003	Tiram, Kerang	Estuarine Delta Sungai Mutiara, Cina Selatan	AAS	konsentrasi Cd dan Cr pada ketiga spesies kerang tersebut melebihi batas atas
2.	Suprapti/ 2008	Air, sedimen dan Kerang darah (<i>Anadara granosa</i>)	Wilayah Pantai Sekitar Muara Sungai Sayung Desa Morosari Kabupaten Demak, Jawa Tengah	AAS	Kandungan Chromium pada sedimen dan Kerang darah (<i>Anadara granosa</i>) ditemukan 0,1278-0,1617ppm berarti telah melebihi batas ambang yang ditentukan (0,0500 ppm)
3.	Tapia et al./ 2010	<i>Ameghinomya antiqua</i> , <i>Aulacomya atra</i> and <i>Mytilus chilensis</i>	Pantai Region de Maule, Chili	ASS	Konsentrasi kadmium dan kromium masih dibawah ambang batas FAO/WHO, sedangkan timbal sudah melewati ambang batas
4.	Haspullah dkk./2018	Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>)	Di Wilayah Pesisir Kabupaten Pangkep	AAS	Konsentrasi logam berat (Pb, Cd, dan Cr) pada <i>Anadara granosa</i> L. tidak melewati batas baku mutu keamanan pangan yang ditentukan secara nasional maupun internasional
5.	Romero-estévez et al./ 2020	<i>Anadara tuberculosa</i>	Pulau Santa Rosa, Ecuador	AAS	konsentrasi logam di bivalvia antara 0,211 dan 0,948 mgkg ⁻¹ untuk Cd, 0,038, dan 0,730 mg kg ⁻¹ untuk Cr, dan 0,067 dan 0,923 mgkg ⁻¹ untuk Pb

Sumber Data : Diolah dari Berbagai Sumber

C. Tinjauan Umum Tentang Kerang *Anadara granosa*

1. Pengertian tentang Kerang *Anadara granosa*

Kerang (*bivalvia*) merupakan salah satu kelas dari tujuh *fillum mollusca*. Kerang masuk kedalam kelas *pelecypoda* dengan jumlah kerang lebih dari 20.000 jenis, kerang mempunyai dua buah cangkang yang setangkup, dengan variasi pada bentuk maupun ukurannya, tidak berkepala, dan tidak mempunyai mulut, kaki berbentuk seperti kapak (*pelecypoda*), insang tipis dan berlapis-lapis terletak diantara mantel, kedua cangkang ditutup buka dengan cara mengencangkan dan mengendurkan otot-otot aduktor dan retraktor. Anggota kelas ini mempunyai cara hidup yang beragam seperti membenamkan diri dalam lumpur atau pasir, menempel pada substract dengan benang bysus. Ada kerang yang bisa merangkak dalam substracnya, adapula yang bisa berenang dengan cara menyemburkan air. Habitatnya adalah perairan bahari, payau, danau, sungai, kolam serta rawa (Wardana, 2001).

Kira-kira 2/3 bagian dari seluruh jenis kerang hidup di laut, sisanya hidup di air tawar seperti danau, sungai dan rawa-rawa. Kerang bernafas dengan insang yang terdapat dalam rongga mantelnya., kerang yang membenamkan diri dalam pasir atau lunpur mempunyai tabung yang disebut sifon. Makin dalam membenamkan diri, makin panjang sifonnya. Bentuk cangkang mempunyai kaitan dengan dalamnya kerang tersebut membenamkan diri.

Jenis kerang besar (*clam*) dan kerang kecil (*Oister*) mempunyai pergerakan sangat lambat dalam air, mereka biasanya hidup menetap disuatu lokasi tertentu didasar air. Stadium larva dari jenis kerang ini yang disebut fase pelagik biasanya peka terhadap pengaruh polusi logam daripada stadium dewasa, sehingga bila terjadi polusi di perairan maka akan menunjukkan kecenderungan kepunahan spesies hewan ini sangat mungkin terjadi (Darmono, 2010).

Sistematika kerang *Anadara Granosa*

Kerang *Anadara Granosa*

Kingdom : Animalia
Phylum : Mollusca
Class : Bivalvia
sub class : Pteriomorphia
Ordo : Arcoida
Family : *Arcidae*
Genus : *Anadara*
Specias : *Anadara granosa*



Gambar 2.1 Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Secara umum siklus hidup kerang sebagai berikut :

- a. Fase *gonad* (kandung kelamin), dikeluarkan sel–sel telur dan sperma sehingga terjadi pembuahan secara eksternal (luar tubuh). Telur yang telah dibuahi akan mengalami perubahan bentuk, mula–mula terjadi penonjolan polar, lalu membentuk polar lobe yang merupakan awal proses pembelahan sel, dan akhirnya menjadi multisel.
- b. Fase *trocofor*, dengan bantuan bulu–bulu getar, trocofor dapat berenang dan bergerak berputar-putar
- c. Fase *planktonis*, tahap ini larva sudah mulai makan dan tubuhnya telah ditutupi cangkang tipis.
- d. Fase *umbo*, cangkang ikut berkembang dengan sepasang cangkang yang sama.
- e. Fase *pediveliger*, ditandai dengan berkembangnya kaki dan pelen–pelen velu makan menghilang, lembaran–lembaran insang mulai tampak jelas.
- f. Fase *plantigrade*, ditandai dengan pertumbuhan awal cangkang terlihat pada bagian tepi cangkang yang bentuknya sangat tipis transparan dan tersusun oleh selaput tipis.
- g. Spat atau kerang muda telah mempunyai engsel, auricular (bilik hati) depan dan belakang serta terdapat takik bisus pada bagian anterior.

2. Toksitas Logam Berat Pada Kerang

Anadara granosa mempunyai bentuk dan panjang cangkang sangat beragam, tergantung jenisnya. *Anadara granulose*, *Anadara Inflata* dan *Anadara cornea* mempunyai bentuk cangkang yang hampir membulat dengan ukuran lebar 3-4 cm. sedangkan *Anadara mocososa* mempunyai bentuk cangkang yang lonjong dengan ukuran 7–8 cm, lapisan luar cangkang umumnya berwarna putih, berselaput, satu loasin berwarna kecoklatan, jalur–jalur radial terputus kearah *umbo* terlihat jelas dan hidup dengan cara membenamkan diri.

Hewan air jenis kerang-kerangan (*bivalvia*) atau jenis binatang lunak (*mollusca*) baik jenis *clam* (kerang besar) atau *Oyster* (kerang kecil) pergerakannya sangat lambat di dalam air. Mereka biasanya hidup menetap disuatu lokasi tertentu di dasar air. Stadium larva dari jenis kerang ini yang disebut fase pelagik biasanya peka terhadap pengaruh polusi logam dari pada masa dewasanya sehingga bila terjadi polusi dalam perairan kecenderungan kepunahan spesies ini sangat mungkin terjadi.

Jenis kerang baik yang hidup di air tawar maupun yang hidup di laut banyak digunakan sebagai indikator pencemaran logam. Hal ini disebabkan karena habitat hidupnya yang menetap atau sifat biokumulatifnya terhadap logam berat, karena kerang banyak

dikomsumsi oleh manusia, maka sifat biokumulatifnya inilah yang menyebabkan kerang harus diwaspadai bila di konsumsi terus menerus.

Masa pertumbuhan dan perkembangan larva kerang untuk menjadi dewasa akan menjadi terhambat karena pengaruh toksistas logam dalam konsentrasi subletal (*kronis*). Hambatan pertumbuhan tersebut akan menjadi lebih lama pada fase *pelagic*, larva kerang akan dengan mudah menjadi mangsa predator dan menimbulkan banyak kematian sehingga pada akhirnya menurunkan populasi kerang pada daerah yang tercemar.

Beberapa penelitian mengenai toksisitas logam pada jenis kerang telah dilakukan dan ternyata fase *embrio* lebih peka dari pada fase larva. Dengan demikian dalam proses pertumbuhan kerang, pada awal pertumbuhan telur (embriologi) banyak terjadi kematian pada konsentrasi logam berat yang ada.

Darmono (2010) melaporkan adanya gejala patologi pada larva kerang *mercenaria-mercenaria*. Gejala tersebut jelas terlihat adanya hambatan fase pertumbuhan dari larva sampai 31,9%. Disamping itu konsentrasi nikel pada dosis tertentu memperlihatkan terjadinya penonjolan jaringan lunak sampai keluar dari cangkangnya walaupun dapat berenang secara normal. Kejadian tersebut merupakan gejala yang aneh dan khas serta merupakan pengaruh toksisitas nikel yang sering

terjadi dan tidak akan terjadi karena pengaruh toksisitas dari logam lain (*pecelie effect*).

Bivalva seperti kerang telah digunakan sebagai bioindikator untuk memonitor pencemaran senyawa *trace* beracun di perairan pantai dikarenakan penyebarannya yang begitu luas, sifat hidupnya yang menetap, mudah di sampling, toleransinya pada perubahan salinitas, tahan pada kondisi adanya tekanan lingkungan dan kemampuannya mengakumulasi berbagai bahan kimia. Kandungan logam berat pada kerang disebabkan oleh sifat atau cara hidup yang sedikit melakukan pergerakan atau hidup menetap dan memperoleh makanannya dengan cara "*scavenger, deposit feeder, dan filter feeder*", sehingga dapat mengakumulasi logam-logam yang terendapkan pada dasar substrat (Mukhtasor, 2007).

D. Tinjauan Umum Tentang Batas Aman Konsumsi Kerang

1. Maksimum Konsumsi Kerang Per Minggu

Nilai *safety level* atau batasan aman untuk konsumsi dijadikan acuan untuk menghindari dampak buruk yang dapat ditimbulkan logam berat jika masuk ke dalam tubuh. Batas aman untuk mengonsumsi kerang Darah yang sudah mengandung logam berat pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan batasan toleransi jumlah kontaminan logam berat pada daging kerang yang dapat ditoleransi oleh tubuh

manusia selama satu minggu (*provisional tolerable weekly intake*-PTWI). Persamaan perhitungan PTWI yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada metode FAO/WHO (2017).

Batas maksimum konsentrasi dari bahan pangan terkonsentrasi logam berat yang boleh dikonsumsi per minggu (*maximum weekly intake*) menggunakan angka ambang batas yang diterbitkan oleh WHO untuk logam berat Kadmium (Cd) sebesar 7 µg/kg berat badan per minggu dan Kromium (Cr) sebesar 23,3 µg/kg berat badan per minggu. Perhitungan ini menggunakan rumus:

$$\text{Maximum Weekly Intake (MWI) (mg/kg)} = \text{Berat Badan}^{\text{a)}} \times \text{PTWI}^{\text{b)}})$$

Keterangan :

- a. Untuk asumsi berat badan laki-laki rata-rata 60 kg dan berat badan wanita rata-rata 45 kg per minggu.
- b. PTWI (*Provisional Tolerable Weekly Intake*)/angka toleransi batas maksimum per minggu yang dikeluarkan lembaga pangan dalam satuan µg/kg berat badan yang ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 : Angka Toleransi Batas Konsumsi Per Minggu yang Diterbitkan Badan JECFA dan WHO

No.	Jenis Logam	PTWI (µg/kg Berat Badan per Minggu)
1	Cr	23,3 ^{a)}
2	Pb	25 ^{b)}

Sumber.

^{a)}WHO dalam Zazouli et al., (2006)

^{b)}JEFCA dalam FAO/WHO (2004)

*PTWI : *Provisional Tolerable Weekly Intake*

Nilai *maximum tolerable intake* (MTI) dihitung dengan perumusan (Türkmen *et al.*, 2009):

$$MTI = \frac{MWI}{Ct}$$

Keterangan:

MWI : *Maksimum Weekly Intake* (μg asumsi rata-rata berat badan laki-laki 60 kg dan rata-rata berat badan wanita 45 kg /minggu)

Ct: Konsentrasi logam berat yang ditemukan di dalam jaringan lunak kerang ($\mu\text{g/g}$).

2. Maksimum Konsumsi Kerang Per Hari

Dalam menghitung konsumsi harian kerang (CRLim) yang telah terkontaminasi logam berat parameter yang digunakan menurut US EPA (*Environmental Protection Agency*) adalah RfD (*reference dose*), Cm (konsentrasi logam berat dalam kerang yang terukur) dan berat badan orang yang umum digunakan adalah 60 kg. CRLim merupakan perhitungan konsumsi seumur hidup harian maksimum dalam kilogram kerang yang diharapkan tidak menyebabkan efek yang merugikan bagi manusia yang mengkonsumsinya. Penggunaan RfD dalam menghitung batas konsumsi dikarenakan konsentrasi kontaminan yang dibutuhkan untuk menghasilkan efek kesehatan kronis umumnya jauh lebih rendah dibandingkan dengan yang menyebabkan efek kesehatan akut. Penerapan RfD ini juga untuk melindungi resiko konsumen dari efek kesehatan yang akut (EPA, 2000)

Untuk mengetahui batasan konsumsi kerang yang telah terkontaminasi oleh logam berat untuk mencegah efek negatif bagi kesehatan manusia yang mengkonsumsinya dihitung dengan menggunakan rumus (EPA, 2000):

$$CR \text{ lim} = \frac{RfD \times BW}{Cm}$$

Keterangan:

CRlim = Batas maksimum tingkat konsumsi kerang (kg/hari)

RfD = Referensi dosis (mg/kg-hari)

BW = Berat badan (kg)

Cm = Konsentrasi logam berat dalam kerang (mg/kg)

Tabel 2.4 : Daftar RfD Logam Berat

No.	Logam Berat	RfD (mg/kg/hari)
1.	Timbal (Pb)	0.0035
2.	Besi (Fe)	0.007
3.	Kadmium (Cd)	0.0005
4.	Kromium (Cr)	0.0003

Sumber : USEPA IRIS (2011)

E. Tinjauan Umum tentang *Bio-Concentration Factor* (BCF)

Bioaccumulation Factor (BAF) pada kerang Darah dianalisis dengan menghitung rasio antara kandungan logam berat pada daging kerang darah terhadap kandungan logam berat terlarut pada air laut (*bio water accumulation factor*), dan logam berat terendapkan pada sedimen (*bio sediment accumulation factor*) pada lokasi pengambilan sampel kerang (Januar, Dwiyitno, Hidayah, & Hermana, 2019; Ziyaadini, Yousefiyanpour, Ghasemzadeh, & Zahedi, 2016; Szefer et al., 1999).

Bio-Concentration Factor (BCF) adalah nisbah konsentrasi rata-rata dari suatu bahan kimia uji yang terakumulasi dalam jaringan organisme yang terpapar terhadap konsentrasi bahan kimia uji yang terukur di dalam air (LaGrega et al., 2010). Faktor konsentrasi dihitung dengan menggunakan rumus (Carson, 2002).

$$BCF = \frac{\text{Konsentrasi Logam di kerang (mg/kg)}}{\text{Konsentrasi logam di air (mg/l)}}$$

Berdasarkan nilai biosediment accumulation factor (BSAF), organisme perairan diklasifikasikan menjadi 3 kelompok (Dallinger, 1993), yaitu

- a. Jika nilai BSAF > 2, maka organisme diklasifikasikan sebagai organisme macro-concentrator.
- b. Jika nilai BSAF > 1 dan < 2 ($1 < \text{BSAF} < 2$), maka organisme dikelompokkan sebagai organisme micro-concentrator.
- c. Jika nilai BSAF < 1 maka organisme tersebut dikelompokkan sebagai organisme de-concentrator.

Connell dan Miller (2006) menyatakan bahwa biokonsentrasi adalah masuknya bahan pencemar secara langsung dari air oleh makhluk hidup melalui jaringan seperti insang atau kulit, sedangkan bioakumulasi adalah masuknya bahan pencemar oleh makhluk hidup dari suatu lingkungan melalui suatu mekanisme atau lintasan. Sementara biomagnifikasi adalah

proses dimana bahan pencemar konsentrasinya semakin meningkat dengan meningkatnya posisi makhluk hidup pada suatu rantai makanan.

Bioakumulasi terjadi dalam jaringan tubuh setelah terjadi absorpsi logam dari air atau melalui pakan yang terkontaminasi. Akumulasi logam berat tertinggi umumnya terdapat pada jaringan hati dan ginjal. Menurut Ivanciuc et al., (2006) menyatakan bahwa bioakumulasi bahan kimia dalam suatu perairan merupakan kriteria penting dalam mengevaluasi ekologi dan tingkat pencemaran suatu lingkungan. Untuk mengukur tingkat pencemaran suatu perairan oleh bahan kimia yang disebabkan oleh kegiatan industri, pertanian dan limbah rumah tangga adalah dengan mengukur biokonsentrasi biota yang hidup di dalamnya. Menurut Van Esch (1977), terdapat tiga kategori faktor konsentrasi, yaitu tingkat akumulasi rendah (<100), tingkat akumulasi sedang ($100-1000$), dan tingkat akumulasi tinggi (>1000).

F. Tinjauan Umum Tentang Depurasi

1. Pengertian Depurasi

Depurasi merupakan istilah yang digunakan untuk membersihkan biota dari perairan tercemar. Negara-negara maju pecinta *seafood* seperti Jepang, China, dan Australia juga Uni Eropa sendiri telah menetapkan standar keamanan pangan dan metode depurasi sebelum komoditas perairan masuk ke pasar. Untuk melindungi konsumen, maka belanja penelitian mereka diperbesar, regulasi pasar diperketat, dan implementasi oleh industri jelas.

Depurasi pada awalnya dikembangkan sebagai salah satu dari sejumlah cara untuk mengatasi masalah sejumlah besar wabah tipus yang terkait dengan kerang (disebabkan oleh bakteri *Salmonella typhi*), yang menyebabkan penyakit dan kematian di banyak negara Eropa dan di Amerika Serikat. pada akhir abad kesembilan belas dan awal abad kedua puluh. Depurasi efektif dalam menghilangkan banyak kontaminan bakteri tinja dari kerang. Seperti yang saat ini dipraktikkan secara komersial, cara ini kurang efektif dalam menghilangkan kontaminan virus seperti norovirus dan hepatitis A. Hal ini tidak efektif secara konsisten, atau tidak efektif, dalam menghilangkan kontaminan lain seperti vibrio laut yang terjadi secara alami (misalnya *Vibrio parahaemolyticus* dan *Vibrio vulnificus*), biotoksin seperti yang menyebabkan PSP menyebabkan keracunan paralitik pada kerang, DSP yang menyebabkan diare pada kerang dan ASP yang menyebabkan keracunan amnesik pada kerang (Lee, et al, 2008).

Depuration (pemurnian) menurut Lee et al (2008) adalah proses dimana kerang disimpan dalam tangki air laut bersih dalam kondisi yang memaksimalkan aktivitas penyaringan alami yang menghasilkan pengusiran isi usus, yang meningkatkan pemisahan kontaminan yang dikeluarkan dari bivalvia, dan yang mencegah kontaminasi ulang pada bivalvia.

Depurasi atau dapat disebut juga dengan “pemurnian” adalah teknik yang digunakan untuk menghilangkan kontaminan dari organisme yang terkontaminasi sedang dengan cara menempatkannya dalam tangki air untuk periode waktu tertentu. Periode depurasi dapat berkisar dari beberapa jam hingga beberapa hari. Hal ini biasanya dilakukan karena diwajibkan oleh regulasi regional, nasional atau lokal. Depurasi dilakukan karena adanya kontaminan kimia, seperti logam berat, pestisida dan zat petrokimia yang memiliki potensi bahaya di area tertentu (Sriyono, 2019). Begitu pula menurut Brite dkk., (2006) mengatakan bahwa depurasi merupakan salah satu langkah untuk mengurangi kandungan berbahaya seperti logam berat dan bakteri pathogen. Secara spesifik dalam riset yang digunakan dalam penelitian ini, depurasi adalah suatu proses ekstraksi (pemisahan) kontaminasi logam berat Pb dan Cr dari tubuh kerang dengan cara absorpsi menggunakan absorben kulit pisang Kepok.

Ada dua metode untuk menurunkan kandungan logam berat dari tubuh biota akuatik, yaitu metode transplantasi dan depurasi. Metode transplantasi dilakukan dengan memindahkan kerang tercemar ke perairan bersih (bebas pencemar), dan memberikan waktu bagi kerang untuk membersihkan diri sendiri melalui proses ekskresi. Metode ini memakan waktu lama, minimal satu musim pemijahan, dan dinilai efektif menghilangkan pencemar bakteri E. coli pada kerang, namun kurang efektif menghilangkan jenis pencemar lain seperti logam berat..

Tabel 2.5 : Tabel Sintesa Tentang Depurasi Logam Berat

No	Peneliti/ tahun	Korelasi Studi			Temuan
		Subyek	Lokasi	Metode	
1.	Murtini dkk., /2008	Karboksimetil Kitosan Untuk Menurunkan Kandungan Logam Berat Hg, Cd, Dan Pb Pada Kerang Hijau	Laboratorium	Eksperimen	Karboksimetil kitosan dapat digunakan sebagai absorben logam berat Hg dan Pb pada daging kerang hijau (Perna viridis Linn.)
2.	Herawati & Soedaryo/ 2017	Perendaman Larutan Jeruk Nipis (Citrus aurantifolia) pada kerang	Laboratorium penelitian Balai Riset dan Standarisasi Surabaya (BARISTAN).	Eksperimen	Hasil bahwa perendaman dengan jeruk nipis dapat menurunkan kadar merkuri dan kadmium sebanding dengan lama perendaman.
3.	Alyani dkk./ 2017	Perendaman kerang Darah dengan Asam Jawa	Laboratorium Kesehatan FKM Universitas Negeri Airlangga	Eksperimen	Larutan asam jawa dapat menurunkan kadar logam berat kadmium dengan persentase tertinggi pada perendaman konsentrasi 90%
4.	Al Chusein & Ibrahim/ 2012	Kerang Darah, Larutan Alginat, Kadmium	Laboratorium	Eksperimen	Perendaman daging kerang darah rebus dalam larutan alginat penurunan kadar kadmium secara sangat nyata
5.	Mahardika dkk/2016	Kerang Hijau (Perna Viridis) Menggunakan Buah Tomat (Lycoperdicum Esculentum) Timbal (Pb)	Laboratorium	Eksperimen	lama waktu perendaman 90 menit kerang hijau menggunakan larutan buah tomat memberikan pengaruh nyata (P<0,05) terhadap kadar timbal,

Sumber Data : Diolah dari Berbagai Sumber

G. Tinjauan Umum tentang Pisang

1. Pengertian Pisang

Pisang kepok (*Musa paradisiaca Linn*) adalah tanaman buah yang berasal dari kawasan Asia Tenggara (termasuk Indonesia). Pisang kepok merupakan jenis buah yang paling umum ditemui tidak hanya di perkotaan tetapi sampai ke pelosok desa. Buah pisang kepok merupakan buah yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia, yang dapat dikonsumsi kapan saja dan pada segala tingkatan usia. Pisang kepok dapat digunakan sebagai alternatif pangan pokok karena mengandung karbohidrat yang tinggi, sehingga dapat menggantikan sebagian konsumsi beras dan terigu. Pisang kepok merupakan pisang berbentuk agak gepeng, bersegi dan kulit buahnya sangat tebal dengan warna kuning kehijauan dan kadang bernoda coklat.

Pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*) merupakan jenis pisang olahan yang paling sering diolah terutama dalam olahan pisang goreng dalam berbagai variasi, sangat cocok diolah menjadi keripik, buah dalam sirup, aneka olahan tradisional, dan tepung. Pisang dapat digunakan sebagai alternatif pangan pokok karena mengandung karbohidrat yang tinggi, sehingga dapat menggantikan sebagian konsumsi beras dan terigu (Prabawati dkk 2008). Kata pisang berasal dari bahasa Arab yaitu maus. Linneus kemudian memasukkan pisang (maus-bahasa Arab) ke dalam

keluarga *Musaceae*, sekaligus sebagai penghormatan kepada Antonius Musa, seorang dokter pribadi Kaisar Romawi, Octaviani Agustinus. Antonius Musa yang menganjurkan untuk makan buah pisang. Sebab itu, nama ilmiah pisang dalam bahasa latin disebut *Musa paradisiaca*. Berdasarkan klasifikasi taksonomi pisang kepok termasuk ke dalam *family Musaceae* yang berasal dari India Selatan. Kedudukan taksonomi, tanaman pisang kepok adalah sebagai berikut (Supriyadi and Satuhu, 2008):

Kingdom : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Liliopsida

Ordo : Zingiberales

Famili : Musaceae

Genus : Musa

Spesies : *Musa paradisiaca* forma typica



Gambar 2.2 Pisang kepok (*Musa acuminata*)

Sewaktu pisang masih mentah asam organik utamanya adalah asam oksalat, tetapi setelah tua dan matang asam organik yang utama adalah asam malat. Perubahan tersebut mengakibatkan pH menurun dari 5,4 (mentah) menjadi 4,5 ketika pisang menjadi matang.

2. Kegunaan Pisang

Pisang merupakan tanaman yang memiliki banyak kegunaan, mulai dari buah, batang, daun, kulit hingga bonggolnya. Tanaman pisang yang merupakan suku *Musaceae* termasuk tanaman yang besar memanjang. Tanaman pisang sangat menyukai sekali pada daerah yang beriklim tropis panas dan lembab terlebih didataran rendah. Ditemui pula di kawasan Asia Tenggara, seperti Malaysia, Indonesia serta termasuk pulau Papua, Australia Topika, Afrika Tropi. Pisang dapat berubah sepanjang tahun pada daerah dengan hujan merata sepanjang tahun. Umumnya, kebanyakan orang memakan buah pisang saja dan kulitnya akan dibuang begitu saja.

3. Kandungan Pisang kepok

Kulit pisang yang kandungan karbohidratnya banyak digunakan sebagai adsorban untuk menurunkan kadar logam berat dalam air yang tercemar logam berat. Penurunan logam berat paling baik dari Kulit pisang diperoleh pada perlakuan terhadap penyerapan Cd^{2+} . Senyawa karbohidrat tersebut memiliki gugus fungsi bersifat hidrofilik dan bermuatan negatif yang dapat menyerap ion positif dari logam berat

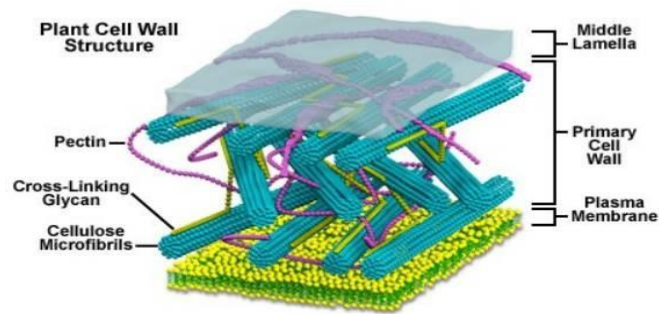
untuk membentuk senyawa kompleks. Selain itu senyawa pektin yang terkandung dalam kulit pisang setelah diionisasi dengan NaOH memberikan gugus dengan muatan-muatan negatif sehingga dapat mengikat kation logam berat. Kulit buah pisang mengandung pektin dalam jumlah yang cukup banyak, sekitar 10-21% (Mohapatra, Mishra and Sutar, 2010).

Pektin merupakan salah satu jenis karbohidrat dari turunan senyawa polisakarida yang terdapat pada dinding sel tanaman. Pektin menjadi komponen penting pada jaringan tanaman karena memberikan fleksibilitas dan kekuatan mekanik pada tanaman. Pektin terdiri atas residu asam α galakturonat yang sebagian diesterifikasi dengan gugus metil dan asetil ester dengan sebagian kecil L-rhamnosa (Güzel and Akpınar, 2019).

Senyawa pektin terdiri atas asam pektat, asam pektinat dan protopektin. Asam pektat yakni senyawa asam galakturonat yang bersifat koloid tanpa kandungan metil ester. Asam pektinat yakni asam poligalakturonat yang bersifat koloid dan mengandung metil ester, sedangkan protopektin yakni substansi pektat yang tidak larut dalam air (Hanum dkk., 2012).

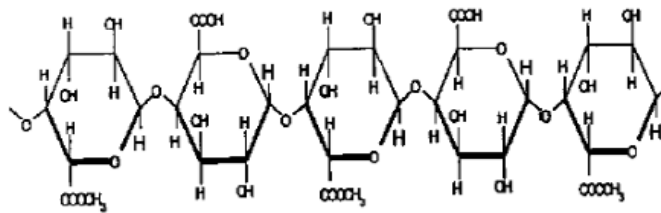
Pektin umumnya terdapat pada dinding sel tanaman tingkat tinggi dan berkontribusi pada banyak fungsi sel dinding. Dinding sel menentukan ukuran dan bentuk sel dan menyebabkan integritas dan kekakuan

jaringan tanaman. Selain itu, pektin memainkan peran dalam retensi transportasi dan air ion, menentukan ukuran pori dinding sel dan terlibat dalam mekanisme pertahanan terhadap infeksi patogen, luka, dan stress atau tekanan. Fungsi spesifik pektin di bagian yang berbeda dari dinding sel atau jaringan tanaman sangat dipengaruhi oleh jumlah dan sifat molekul pektin.



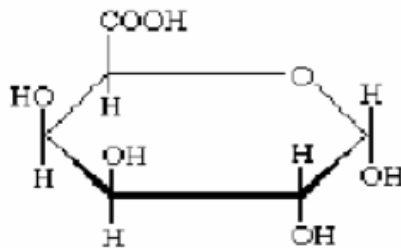
Gambar 2.3 Pektin pada jaringan tanaman

Pektin merupakan polimer dari asam D-galakturonat yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4 glikosidik. Asam D-galakturonat memiliki struktur yang sama seperti struktur D-galaktosa, perbedaannya terletak pada gugus alkohol primer C6 yang memiliki gugus karboksilat seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Senyawa Asam Pektinat atau Pektin

Pektin tersusun atas molekul asam galakturonat yang berikatan dengan ikatan α - (1-4)-glikosida sehingga membentuk asam poligalakturonat. Gugus karboksil sebagian teresterifikasi dengan methanol dan sebagian gugus alkohol sekunder terastilasi. Gambar 2.5 menunjukkan struktur kimia unit asam α -galakturonat.



Gambar 2.5. Struktur Kimia Asam α -Galakturonat

Menurut Hariyati (2006), pektin terdiri dari gugus-gugus fungsional yaitu karboksil, hidroksil, amida dan metoksil. Keempat gugus tersebut ikut berperan dalam proses penyerapan logam berat, terutama gugus karboksil yang memiliki kemampuan paling besar berikatan dengan logam. Gugus karboksil dapat bereaksi dengan ion logam berat untuk membentuk senyawa kompleks yang tidak larut air. Pektin dapat mengikat logam karena adanya gugus-gugus aktif yang memiliki pasangan elektron bebas terhadap kation logam (seperti gugus karboksilat dan hidroksil) sehingga kation logam tertarik dan berikatan membentuk kompleks pektin dan logam (Ina, Yulianti and Pranata, 2013).

Kulit pisang memiliki gugus fungsi yang berperan dalam pengikatan ion logam berat seperti gugus fungsi hidroksil, asam karboksilat, dan gugus amina (Castro *et al.*, 2011). Gugus fungsional dari rantai polisakarida karbohidrat kulit pisang ialah gugus hidroksil (-OH). Ikatan yang terjadi antara ion logam dan gugus (-OH) pada polisakarida ini dapat terjadi melalui ikatan hidrogen, hal ini lah yang menyebabkan kulit pisang dapat dimanfaatkan menjadi karbon aktif (Suhartini, 2013).

Derajat esterifikasi juga sangat mempengaruhi reaktivitas pektin terhadap ion logam berat. Pektin di dalam larutan akan berkumpul dan membentuk kantung-kantung dimana kantung tersebut dapat membentuk kompleks dengan kation logam. Kantung-kantung tersebut memiliki muatan negatif sehingga memiliki daya tarik yang kuat terhadap muatan positif dari kation logam (Eliaz dkk, 2007).

Kulit pisang dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat arang aktif karena memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi. Menurut Sukowati *et al.*, (2014), komposisi kulit pisang mentah berdasarkan analisis dinding sel (% berat kering) yaitu: 37,52% hemiselulosa, 12,06% selulosa, dan 7,04% lignin. Kulit pisang juga dapat dibuat menjadi biosorben, hal ini dikarenakan zat pektin yang terkandung pada kulit pisang yang tua jauh lebih banyak. Kulit pisang dapat dibuat menjadi biosorben. Hal ini dikarenakan zat pektin yang terkandung pada kulit pisang yang tua jauh lebih banyak. Pektin merupakan polimer yang

mempunyai kemampuan untuk mengikat ion logam di dalam air sehingga unsur pencemar dalam air dapat dihilangkan.

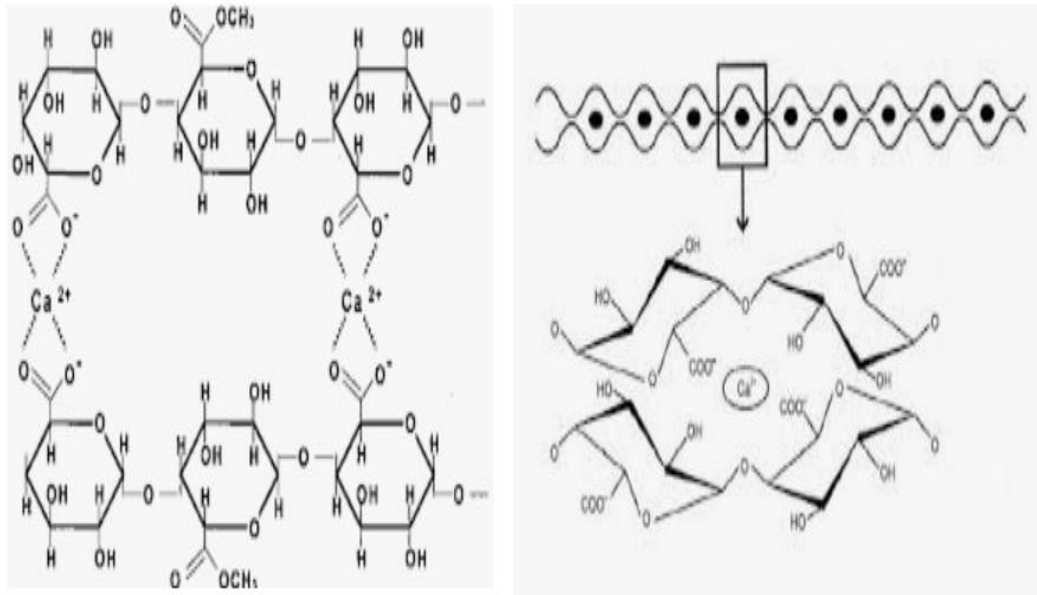
Di dalam kulit pisang juga terkandung selulosa yang memiliki kemampuan mengikat logam, dengan menggunakan prinsip absorpsi. Selulosa memiliki dua gugus yaitu gugus fungsi karboksil dan gugus fungsi hidroksil. Selulosa merupakan polimer yang bersifat selektif terhadap senyawa polar. Air adalah senyawa polar sehingga air dapat melewati pori-pori selulosa namun senyawa polutan akan tertahan (Hewet, 2011). Komposisi korteks pisang yang kaya zat tepung dan selulosa, yang mana dilaporkan bahwa bahan-bahan ini bisa mengikat Cd^{2+} dan Pb^{2+} lebih baik daripada logam-logam lain (Khalil, Alwani and Omar, 2006).



Gambar 2.6 Ilustrasi Perendaman Kerang Darah dengan Pisang Kepok

Dari gambar dijelaskan bahwa kandungan logam Pb dan Cr dalam kerang darah terlarut atau terionisasi dalam air rendaman, kemudian logam berat dalam bentuk ion (Pb^{2+} dan Cr^{6+}) terabsorpsi ke dalam kulit

pisang kepok. Hal ini bisa dilihat dalam mekanisme absorpsi ion metal ke dalam absorben pektin



Gambar 2.7 mekanisme absorpsi ion metal ke dalam absorben pektin

Tabel 2.6 : Tabel Sintesa tentang Depurasi Kulit pisang dalam menurunkan logam berat

No	Peneliti/ Tahun	Korelasi Studi			Temuan
		Subyek	Lokasi	Metode Penelitian	
1.	Castro et al., (2011)	kulit pisang Tembaga (Cu ²⁺)	Sungai Prana Brazil	Eksperimen	Hasilnya lebih baik dibandingkan dengan bahan penyaring yang biasa digunakan seperti silika dan karbon. Kulit pisang ini dapat digunakan hingga 11 kali proses penjernihan
2.	Sherly & Cahyaningrum, (2014)	Pisang kepok sebagai Absorben	Laboratorium	Eksperimen	Bisa mengabsorpsi ion logam Cr (VI) 10 mg/L dengan pengaruh konsentrasi activator Cr
3.	Hakim dkk., (2016)	Limbah Kulit pisang kepok (<i>Musa Acuminata</i>) sebagai absorban Cd ²⁺	Laboratorium	Eksperimen	Absorban kulit pisang sangat efektif digunakan untuk menurunkan kadar logam Cd ²⁺ dibandingkan dengan logam Cu ²⁺
4.	Ashraf et al., (2011)	Kulit pisang sebagai Biobsorbent Pb	Laboratorium	Eksperimen	Pengurangan logam Pb (II), Cu ²⁺ , Zn ²⁺ dan Ni ²⁺ dengan system batch
5.	Vargas et al., (2012)	limbah kulit pisang dari daerah Maroko	Laboratorium	Eksperimen	Menurunkan kadar logam berat Cu, Cd dan Pb yang terkandung dalam air dengan signifikan.

Sumber Data : Diolah dari Berbagai Sumber