

**IDENTIFIKASI CEMARAN LOGAM BERAT (Cd, Hg, dan Pb)
PRODUK OLAHAN KERANG HIJAU (*Perna viridis*)
DI KOTA BANDAR LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD ALFARIZI GUMAY

1814051064



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF HEAVY METAL POLLUTION (Cd, Hg, and Pb) PROCESSED PRODUCTS OF GREEN MUSSEL (*Perna viridis*) IN BANDAR LAMPUNG CITY

By

MUHAMMAD ALFARIZI GUMAY

The purpose of this study was to examine heavy metal contamination in green mussels as seafood products sold in Bandar Lampung City. This research was conducted from February to March 2022 by collecting samples from various seafood seller in several districts, such as Way Halim Permai, Gulak Galik, Central Tanjung Karang, Kedamaian, Rajabasa, and East Tanjung Karang. Green mussel samples were analyzed in integrated laboratory and centre for technological innovation (LTSIT), Lampung University and Water Quality Laboratory, BBPBL Lampung, to determine the concentration of Cd, Hg, and Pb using AAS and MP-AES methods. The result showed that all green mussel samples contained Cd, Hg, and Pb in various concentration. These heavy metals concentrations were 1.75 ppm (Cd), .0021 ppm (Hg), and 5.90 ppm (Pb). The content of Cd and Pb had exceeded treshold based on BPOM regulation No. 5 Tahun of 2018, i.e. 0.10 mg/kg, while Hg was still below the treshold. This condition caused this seafood was not safe for consumption because it had potential impact on health problems.

Keywords: *Bandar Lampung, green mussels (*Perna viridis*), and heavy metals*

ABSTRAK

IDENTIFIKASI CEMARAN LOGAM BERAT (Cd, Hg, dan Pb) PRODUK OLAHAN KERANG HIJAU (*Perna viridis*) DI KOTA BANDAR LAMPUNG

Oleh

MUHAMMAD ALFARIZI GUMAY

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui cemaran logam berat pada kerang hijau sebagai produk seafood yang dijual di Kota Bandar Lampung. Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari sampai Maret 2022 dengan mengambil sampel dari berbagai penjual seafood di beberapa kelurahan, seperti Way Halim Permai, Gulak Galik, Tanjung Karang Tengah, Kedamaian, Rajabasa, dan Tanjung Karang Timur. Sampel kerang hijau dianalisis di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi dan Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung dan Laboratorium Kualitas Air BPBBL Lampung untuk menentukan Cd, Hg, dan Pb menggunakan metode AAS dan MP-AES. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua sampel kerang hijau mengandung Cd, Hg, dan Pb dalam berbagai konsentrasi. Konsentrasi logam berat tersebut adalah 1,75 ppm (Cd), 0,0021 ppm (Hg), dan 5,90 ppm (Pb). Kandungan Cd dan Pb sudah melebihi ambang batas berdasarkan peraturan BPOM No. 5 Tahun 2018, yaitu 0,10 mg/kg, sedangkan Hg masih di bawah ambang batas. Kondisi ini menyebabkan seafood ini tidak aman untuk dikonsumsi karena berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan.

Kata Kunci : Bandar Lampung, Kerang hijau (*Perna viridis*), dan logam berat

**IDENTIFIKASI CEMARAN LOGAM BERAT (Cd, Hg, dan Pb)
PRODUK OLAHAN KERANG HIJAU (*Perna viridis*)
DI KOTA BANDAR LAMPUNG**

Oleh

MUHAMMAD ALFARIZI GUMAY

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI CEMARAN LOGAM BERAT
(Cd, Hg, dan Pb) PRODUK OLAHAN
KERANG HIJAU (*Perna viridis*)
DI KOTA BANDAR LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Alfarizi Gumay**

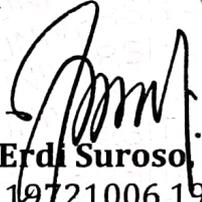
Nomor Pokok Mahasiswa : **1814051064**

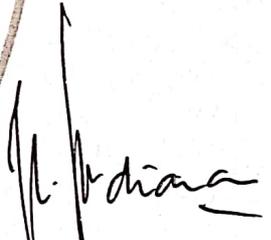
Jurusan : **Teknologi Hasil Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**

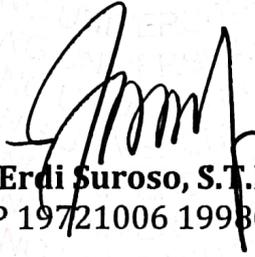


1. **Komisi Pembimbing**


Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.
NIP 19721006 199803 1 005


Novita Herdiana, S.Pi., M.Si.
NIP 1976118 200112 2 001

2. **Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian**


Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.
NIP 19721006 199803 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.



Sekretaris : Novita Herdiana, S.Pi., M.Si.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Suharyono, A.S., M.S.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Juni 2022

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Alfarizi Gumay

NPM : 1814051064

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 20 Juli 2022
Yang membuat pernyataan



Muhammad Alfarizi Gumay
NPM. 1814051064

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung, Lampung pada 11 Maret 2000. Sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari Bapak Indra Gumay Yudha dan Ibu Yuli Ambarwati. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Kartika II-5 Bandar Lampung (2006-2012), menyelesaikan pendidikan menengah di SMP Global Madani Bandar Lampung (2012-2015) dan SMA YP UNILA Bandar Lampung (2015-2018). Penulis melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada bulan Februari hingga Maret 2021, penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) yang berlokasi di desa Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Pada bulan Agustus hingga September 2021, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) yang bertempat di PT. Sungai Bungur Indo Perkasa, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung dengan judul “Mempelajari Proses Quality Control dan Analisa Laboratorium Produk Tapioka di PT. Sungai Bungur Indo Perkasa Kabupaten Lampung Timur”. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif menjadi komando tingkat (Komti) angkatan 2018 dan berperan serta dalam keanggotaan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian (HMJ THP)

SANWACANA

Bismillaahirrahmaanirrahiim. Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul “ Identifikasi Cemaran Logam Berat (Cd, Hg, dan Pb) Produk Olahan Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Kota Bandar Lampung” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknologi Pertanian di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung sekaligus pembimbing utama atas bantuan, fasilitas, arahan, saran, motivasi, dan bimbingan yang telah diberikan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi;
3. Novita Herdiana, S Pi., M. Si., selaku pembimbing kedua sekaligus pembimbing akademik atas bantuan, saran, motivasi, dan bimbingan yang telah diberikan selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.
4. Dr. Ir. Suharyono, A.S., selaku penguji atas saran, bimbingan, dan evaluasi terhadap karya skripsi penulis.
5. Bapak dan ibu dosen dan staf administrasi, yang telah memberikan ilmu, wawasan dan bantuan kepada penulis selama kuliah;
6. Bapak dan Ibu staf Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) serta Laboratorium Kualitas Air BBPBL Lampung yang telah memberikan ilmu, wawasan dan bantuan kepada penulis selama penelitian

7. Keluargaku tercinta, Ayah, Bunda serta Adik yang selalu senantiasa memberikan dukungan, motivasi, materi dan doa yang selalu menyertai penulis selama ini;
8. Teman-teman terbaik saya yang tidak dapat disebutkan satu per satu dan teman-teman seperjuangan THP 2018. Terimakasih atas waktu, kebersamaan, bantuan, dan dukungannya selama ini;
9. Sahabat terbaik saya; Nira, Qinar, Sekar, Lisa, Sela, Deni, Febri, Aldo, Faza, dan lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu-satu, yang selalu senantiasa turut membantu penulis selama pengerjaan skripsi. Terima kasih atas doa, bantuan, semangat, dan kebersamaan yang menyertai penulis selama ini.
10. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun, bermanfaat, dan dipergunakan dengan sebaik-baiknya bagi penulis serta pembaca.

Bandar Lampung, Juni 2022

Muhammad Alfarizi Gumay

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	3
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Kerangka Penelitian	4
1.5. Hipotesis	7
1.6. Batasan Penelitian	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>).....	9
2.2. Keamanan Pangan.....	12
2.3. Cemaran Logam Berat	17
2.4. Analisis Logam Berat pada Perairan Teluk Lampung	19
2.5. Timbal (Pb)	22
2.6. Kadmium (Cd)	24
2.7. Merkuri (Hg).....	26
2.8. Kadar Maksimal Cemaran Logam Berat Menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM).....	28
III. METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1. Waktu dan Tempat	30
3.2. Alat dan Bahan.....	30
3.3. Metode Penelitian	30
3.4. Prosedur Penelitian	32
3.4.1. Pengambilan Sampel	32
3.4.2. Pengujian Kadar Logam Berat (Cd, Hg, dan Pb).....	33
3.5. Prosedur Pengamatan.....	43
IV. HASIL PENELITIAN	46

4.1. Konsentrasi Logam Cd pada Daging Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	46
4.2. Konsentrasi Logam Pb pada Daging Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	50
4.3. Konsentrasi Logam Cd pada Daging Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	55
V. SIMPULAN DAN SARAN	59
5.1. Simpulan	59
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rata-rata kandungan Pb dan Cu di badan air	21
2. Rata-rata kandungan Pb dan Cu pada jaringan tubuh kerang hijau	21
3. Data cemaran maksimal pada produk perikanan	29
4. Kode sampel dan wilayah pengambilan sampel	31
5. Data cemaran maksimal pada produk perikanan	43
6. Batas cemaran maksimal pada produk perikanan	44
7. Akumulasi kandungan logam berat kadmium (Cd) pada sampel daging kerang hijau (<i>Perna viridis</i>) yang telah diolah	47
8. Akumulasi kandungan logam berat timbal (Pb) pada sampel daging kerang hijau (<i>Perna viridis</i>) yang telah diolah	51
9. Akumulasi kandungan logam berat merkuri (Hg) pada sampel daging kerang hijau (<i>Perna viridis</i>) yang telah diolah	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram alir kerangka pikir penelitian	7
2. <i>Bysus</i> pada kerang	10
3. Cangkang bagian dalam dan luar	11
4. Bagian-bagian cangkang kerang hijau	11
5. Proses respirasi dan penyerapan nutrisi kerang	12
6. Asal-usul atas bahaya yang mungkin terjadi dalam proses produksi makanan.....	14
7. Jumlah insidensi kasus keracunan di Indonesia berdasarkan penyebab pada tahun 2016.....	15
8. Insidensi keracunan pangan berdasarkan data dari Sikernas	16
9. Lokasi teluk Lampung.....	22
10. Sintesis heme.....	24
11. Akumulasi senyawa Cd pada tubulus proksimal	26
12. Lokasi pengambilan sampel olahan kerang hijau (<i>Perna viridis</i>) di wilayah Kota Bandar Lampung	32
13. Diagram alir proses pengambilan sampel	33
14. Rangkaian alat spektrofotometer serapan atom (SSA)	35
15. Preparasi sampel untuk pengukuran kadar Cd dan Pb	36
16. Skema alir pengukuran sampel atas kadar Cd dan Pb pada olahan daging kerang hijau (<i>Perna viridis</i>)	37
17. Preparasi sampel untuk pengukuran kadar Hg.....	39

18. Pengukuran kadar Hg dengan alat atomic absorbance spectrophotometry (AAS)	41
19. Preparasi sampel awal dengan pengovenan selama 30 menit dengan oven konvensional.....	67
20. Proses pengeringan sampel dengan oven laboratorium	67
21. Penimbangan sampel daging kerang yang sudah dihaluskan	68
22. Pemasukan sampel pada labu destruksi	68
23. Proses destruksi menggunakan heavy metal digester	68
24. Hasil akhir dari proses heavy metal digester.....	69
25. Proses pembacaan sampel dengan microwave plasma atomic emission spectrophotometry	69
26. Proses penimbangan sampel (metode Hg)	69
27. Pengovenan sampel pada T 105°C.....	70
28. Proses pendinginan sampel dalam desikator t 18 jam.....	70
29. Proses penimbangan sampel seberat W 0,2 gram	70
30. Pemasukan sampel dalam labu didih	71
31. Penambahan asam sulfat 10 mL, asam nitrat 10 mL, vanadium oxide 20 mg, dan batu didih 3 g.....	71
32. Pemanasan larutan dalam lemari asam dengan bantuan alat heat mantle.....	71
33. Pemanasan larutan hingga asap berwarna amber keluar dari tabung.	72
34. Penambahan larutan H ₂ O ₂ 2 tetes dan aquabidest sebanyak 30 mL pada larutan	72
35. Diagram proses kerja alat AAS.....	73
36. Hasil pengukuran sampel Cd dan Pb pada LTSIT	74

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pangan merupakan kebutuhan dasar dan tidak bisa tergantikan. Gagasan tersebut didasarkan karena hak atas pangan adalah hak asasi (dasar) bagi setiap manusia yang penting setelah hidup. Oleh karena itu, setiap manusia berhak atas pangan yang memadai dari segi kualitas dan kuantitasnya. Pangan yang memadai dari segi kualitas dan kuantitasnya meliputi pangan yang aman dan bergizi, yang merupakan faktor yang penting untuk meningkatkan derajat kesehatan masyarakat. Urgensi atas pangan yang aman dan bergizi diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia no 18 Tahun 2012 yang berbunyi, “keamanan pangan didefinisikan sebagai kondisi dan upaya yang diperlukan untuk mencegah pangan dari kontaminasi biologis, kimia, dan benda lain yang dapat mengganggu, merugikan, dan membahayakan kesehatan manusia”

Keamanan pangan erat kaitannya dengan pangan yang aman untuk dikonsumsi. Mengingat bahwasanya dapat saja terjadi resiko atas penyakit yang ditimbulkan dari mengkonsumsi bahan pangan atau dalam istilah asingnya disebut dengan food borne disease. (Suwondo, 2004 dalam Alsuendra dan Ridawati, 2013). Food borne disease merupakan istilah untuk penyakit yang disebabkan dan ditularkan dengan vektor makanan yang terkontaminasi oleh agen patogen penyebab penyakit (Naully & Mathilda, 2018). Salah satu faktor terjadinya food borne disease disebabkan oleh bahan kimia (kimiawi) meliputi timah, merkuri, dan kadmium. Senyawa ini umumnya ditemukan baik dalam lingkungan udara hingga lingkungan perairan (badan perairan) yang diakibatkan adanya cemaran atau polusi. Salah satu produk pangan yang berisiko tinggi terkontaminasi oleh cemaran kimia tersebut adalah kerang hijau (*Perna viridis*).

Kerang hijau (*Perna viridis*) adalah salah satu produk perikanan yang digemari oleh masyarakat. Umumnya, kerang hijau yang diolah menjadi produk pangan meliputi kerang hijau rebus yang dijual di beberapa sekolah di Kota Bandar Lampung. Olahan kerang hijau yang dijual di beberapa sekolah di Kota Bandar Lampung selain mudah didapat juga memiliki citarasa yang cocok dengan selera masyarakat, terutama anak-anak. Peningkatan pola konsumsi kerang hijau didominasi oleh citarasa (sensori) yang dinilai baik oleh konsumen. Adanya penambahan bumbu berupa rempah-rempah pada olahan kerang hijau meningkatkan nilai sensori produk pangan olahan tersebut.

Kerang hijau (*Perna viridis*) yang diolah di Kota Bandar Lampung bersumber dari Pulau Pasaran. Pulau Pasaran terletak di Kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung dan menjadi tempat budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) dimana telah mengalami perkembangan secara pesat menjadi 77 unit saat ini, menghasilkan 8 ton kerang hijau per tahun (Noor *et.al.* 2016). Sebagai wilayah pesisir, letak dari Pulau Pasaran yang berada di Teluk Lampung memiliki berbagai aktivitas yang berpotensi membahayakan terhadap lingkungan pesisir dan laut (Sembel, 2012).

Salah satu hal yang berpotensi membahayakan ekosistem pesisir dan laut Teluk Lampung yaitu adanya pembuangan limbah berbahaya beracun (B3) yang dihasilkan dari beberapa industri yang terletak di sepanjang wilayah pesisir Kota Bandar Lampung, meliputi industri galangan kapal, industri pelayaran dan peti kemas, industri batu bara, serta pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Limbah B3 adakalanya mengandung unsur atau senyawa logam berat yang diketahui dapat menyebabkan keracunan, kelumpuhan, kelainan genetik, hingga kematian. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Yudha (2009) dalam Safitri (2018) diketahui adanya pencemaran logam berat Pb, Hg, dan Cd dalam jumlah yang bervariasi di badan sungai, sumur penduduk, dan perairan laut di wilayah Pesisir Kota Bandar Lampung.

Pencemaran yang terjadi di wilayah sekitar Pulau Pasaran diduga disebabkan oleh limbah industri. Penelitian yang dilakukan oleh Sembel (2012) mengenai kandungan logam Pb di Sungai Way Belau telah melebihi baku mutu, namun nilai logam berat Pb dan Cu pada ikan kembung di Pulau Pasaran masih di bawah baku

mutu (Rahmadani, 2015 dan Sari, 2017). Sifat kerang hijau adalah filter feeder, yaitu dapat menyaring semua material yang ada di dalam perairan. Kerang hijau memiliki sifat merespon bahan organik dan mengabsorpsi zat terlarut sangat tinggi sehingga terakumulasi di dalam tubuh kerang hijau (Kragulj, 2018). Akumulasi yang terjadi akibat logam berat dapat menyebabkan mutasi gen (Lestari, 2020). Dampak yang ditimbulkan dari mengkonsumsi kerang hijau yang terkontaminasi oleh logam berat meliputi keracunan, kelainan genetik, dan dapat berujung pada kematian (Badan Pengawas Obat dan Makanan, 2018).

Secara umum, kerang hijau ditemukan dalam kondisi yang sudah diolah. Proses pengolahan pangan diketahui dapat mengurangi kadar cemaran logam berat yang terkandung di dalamnya. Proses pemasakan yang baik dan disertai dengan penambahan bumbu dan rempah-rempah diduga mampu mengurangi cemaran logam berat yang terkandung di dalam kerang hijau. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar cemaran logam berat (Pb, Hg, Cd) dalam produk olahan kerang hijau di Kota Bandar Lampung.

1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi cemaran logam berat (Pb, Hg, dan Cd) pada produk olahan kerang hijau (*Perna viridis*) di Kota Bandar Lampung.

1.3. Manfaat Penelitian

Tersedianya data dan informasi ilmiah tentang cemaran logam berat Cd, Hg, dan Pb pada produk olahan kerang hijau sehingga dapat dijadikan sebagai dasar penyusunan kebijakan oleh pemerintah dan masyarakat dapat mengetahui kandungan logam berat tersebut sehingga diharapkan tidak mengonsumsi produk pangan tersebut.

1.4. Kerangka Penelitian

Manusia membutuhkan makanan yang aman dan bergizi untuk menunjang kesehatan dan kualitas hidupnya. Makanan yang bergizi adalah makanan yang mengandung zat (bahan kimia) yang dibutuhkan oleh tubuh untuk menjaga kesehatan dan daya tahan tubuh. Status gizi ditentukan dari konsumsi pangan yang mengandung karbohidrat, lemak, vitamin, dan protein serta mineral (Debnath *et al*, 2019). Hampir semua produk pangan baik hewani dan nabati menyediakan berbagai kebutuhan status gizi yang dibutuhkan oleh tubuh. Salah satu produk hewani yang digemari adalah kerang hijau (*Perna viridis*).

Menurut Setiyono dkk. (2012), kerang hijau (*Perna viridis*) adalah spesies kerang yang termasuk ke dalam binatang lunak (*Molusca*) yang hidup di daerah litoral (sepanjang estuaria, muara sungai, dan pesisir pantai), memiliki sepasang cangkang dengan warna hijau agak kebiruan. Kerang hijau umumnya dibudidayakan secara tradisional dengan menggunakan bambu, kayu, batu, atau substrat keras dimana benang byssus akan menempel pada benda tersebut. Kerang hijau memiliki sifat yang tahan dengan tekanan ekologis yang tinggi tanpa perubahan yang berarti (Alsuhendra dan Ridawati, 2013). Adanya sifat kerang hijau yang mudah dibudidayakan tersebut, menyebabkan banyak budidaya kerang hijau di sepanjang wilayah pesisir, termasuk di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung seperti di Pulau Pasaran.

Pulau Pasaran adalah salah satu pulau yang termasuk ke dalam wilayah Kota Bandar Lampung. Pulau Pasaran menjadi pusat untuk menyuplai berbagai macam produk perikanan tangkap dan budi daya untuk selanjutnya dijual ke pasar lokal ataupun domestik. Letak Pulau Pasaran yang berada di Teluk Lampung dan muara sungai Way Belau serta lokasi-lokasi industri berat seperti galangan kapal, pembangkit listrik, industri batu bara, menyebabkan resiko pencemaran terhadap produk perikanan yang dibudidayakan di sekitar Pulau Pasaran, salah satunya adalah budidaya kerang hijau. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sembel (2012) diketahui bahwa Pulau Pasaran yang terletak di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung memiliki kandungan cemaran logam berat meliputi kadmium (Cd), air raksa (Hg), dan timbal (Pb). Hal ini diketahui adanya cemaran

logam berat yang diakibatkan karena lokasi dari wilayah pesisir Kota Bandar Lampung dikelilingi oleh industri berat meliputi pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), lokasi bongkar muat batu bara, pelabuhan kontainer peti kemas, dan perusahaan galangan kapal. Perusahaan-perusahaan tersebut umumnya menghasilkan limbah cair dan padat. Limbah cair yang dihasilkan dari PLTU berupa timbal (Pb) yang dialirkan langsung muara sungai dan berakhir di wilayah pesisir.

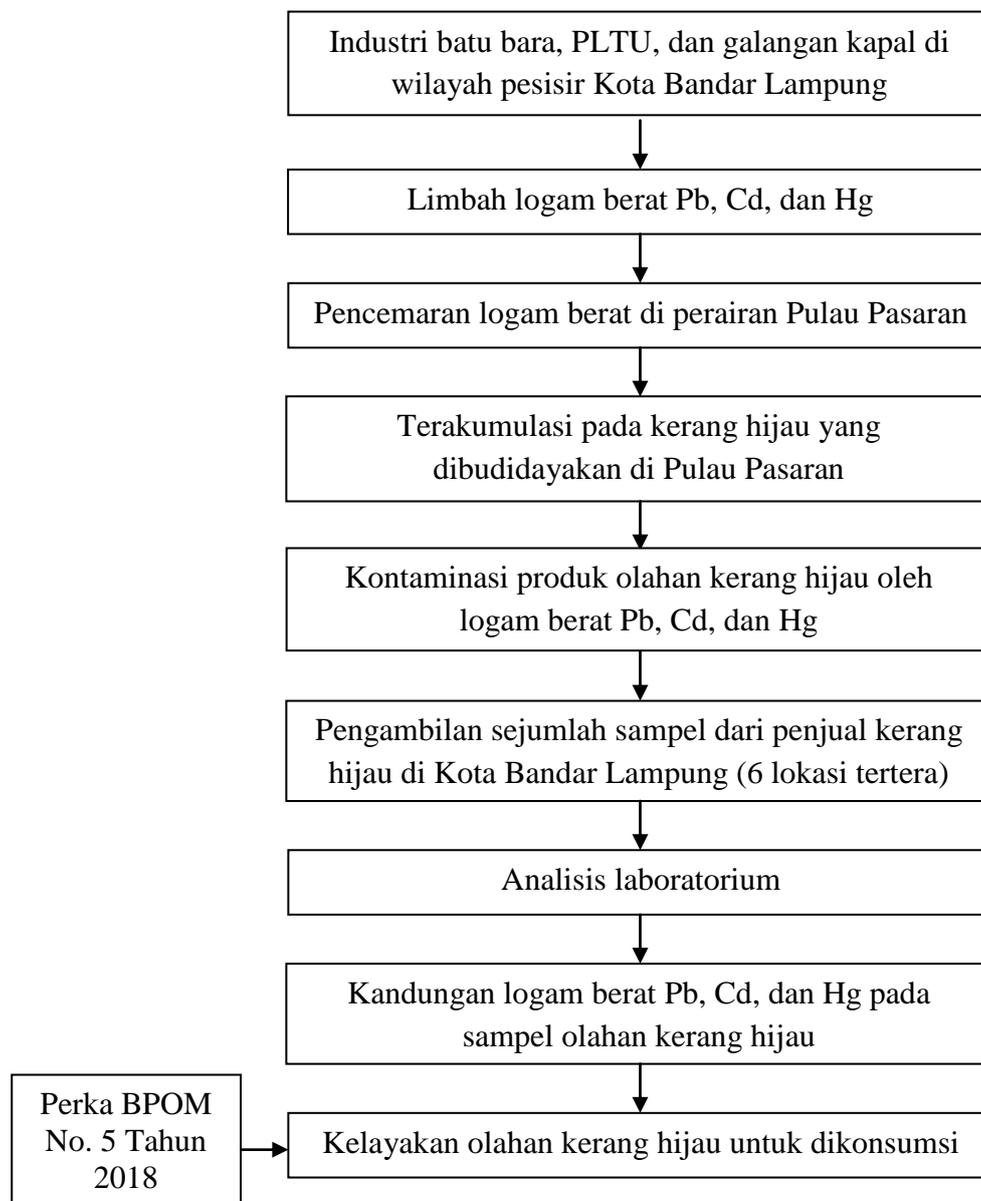
Sembel (2012) melakukan pengukuran cemaran logam berat di muara sungai Way Belau yang mengarah ke wilayah pesisir Kota Bandar Lampung. Dihasilkan data kadar logam berat dimana kandungan logam berat (Pb) yang melebihi baku mutu. Sembel (2012) menyimpulkan bahwa kandungan timbal yang tinggi disebabkan limbah industri yang dialirkan langsung ke Sungai Way Belau dan berakumulasi di wilayah muara dan pesisir menyebabkan kadar timbal yang meningkat seiring memburuknya kondisi sungai yang diperparah dengan limbah padat dan limbah cair. Akumulasi timbal juga diakibatkan adanya proses sedimentasi yang dihasilkan dari lumpur sungai, menyebabkan peningkatan kadar timbal (Sembel, 2012).

Diketahui bahwa sedimentasi dalam jangka waktu lama mempengaruhi kadar logam berat yang dapat diidentifikasi dalam lingkungan perairan. Hal ini didasarkan pada penelitian Marcus (2013) bahwa adanya peningkatan kadar logam berat, terutama merkuri, pada Delta Niger yang dialiri oleh Sungai Bonny dengan panjang 56 kilometer yang terbentang dari Benin hingga Delta Nigeria. Kadar merkuri yang tinggi diakibatkan pembuangan limbah industri yang tidak terkendali di sepanjang Sungai Bonny. Pengawasan pemerintah dan penegakkan hukum yang lemah menyebabkan bioakumulasi terhadap sedimentasi yang memerangkap merkuri dalam jumlah yang tinggi. Jejak logam berat dimulai dari wilayah Benin hingga muara sungai Bonny dengan pelacakan terhadap sedimen organik di dasar sungai. Selain jejak cemaran merkuri di dasar perairan, cemaran merkuri dapat diketahui melayang pada permukaan sungai yang mana dihasilkan dari galangan kapal dan transportasi laut yang menumpahkan limbah berupa oli dan bahan bakar di sepanjang aliran sungai Bonny.

Penelitian yang dilakukan di berbagai negara telah dilakukan dalam rangka menentukan pengaruh cemaran merkuri pada produk perikanan terhadap gejala pada manusia yang mengkonsumsinya. Penelitian pertama dilakukan di Selandia Baru. Penelitian berikutnya dilaksanakan di Republik Seychellez, yang terletak di Samudera Hindia berdekatan dengan Afrika Timur. Penelitian utama lainnya berlokasi di Kepulauan Faroe, Denmark yang terletak di Laut Utara antara Skotlandia dan Islandia. Populasi dari Republik Seychellez, Kepulauan Faroe, dan Selandia Baru dipilih karena umumnya masyarakat di sana mengonsumsi produk perikanan tangkap dan budidaya yang memiliki resiko tinggi terhadap cemaran metil merkuri (MeHg) buangan limbah industri dan galangan kapal di sekitar pelabuhan (Debnath *et al*, 2019 ; Kragulj, 2018 ; dan Rottling, 2014).

Kerang hijau bersifat bottom feeder yang mampu menyerap berbagai senyawa di sekitar perairannya, termasuk logam berat, seperti kadmium (Cd), air raksa (Hg), dan timbal (Pb). Kerang hijau yang mengakumulasi logam berat berpotensi menjadi suatu bahaya dan resiko keamanan pangan yang mengancam bagi yang mengkonsumsinya. Akumulasi yang berlebih dapat menyebabkan resiko *food intoxication* yang ditandai dengan gejala mual, muntah, pusing, dan dalam dosis tertentu dapat menyebabkan kematian.

Pengolahan kerang hijau menjadi kerang hijau rebus diyakini dapat mengurangi sejumlah kadar logam berat yang terakumulasi di dalamnya. Penambahan sejumlah bahan tambahan pangan seperti rempah dapat mengurangi kadar logam berat sehingga aman untuk dikonsumsi. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan pengkajian mengenai cemaran logam berat (Cd, Hg, dan Pb) pada produk olahan kerang hijau rebus di wilayah Kota Bandar Lampung. Selain itu, dengan adanya penelitian ini dapat diketahui hasil cemaran logam berat yang terdapat pada produk olahan tersebut sehingga aman untuk dikonsumsi. Diagram alir kerangka pikir penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir kerangka pikir penelitian
 Sumber : Marcus (2013) dan Sembel (2012), dimodifikasi

1.5. Hipotesis

Jika kerang hijau yang dibudidayakan di Pulau Pasaran telah terindikasi tercemar logam berat, maka produk olahan pangan kerang hijau yang berasal dari lokasi tersebut diduga juga tercemar oleh logam berat sehingga membahayakan kesehatan jika dikonsumsi oleh masyarakat.

1.6 Batasan Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada pengujian kandungan logam berat Cd, Pb, dan Hg pada sampel kerang hijau yang telah dimasak dan dijual oleh pedagang bergerobak, pedagang *sea food* tenda, dan rumah makan di beberapa kecamatan, seperti Way Halim Permai, Gulak Galik, Tanjung Karang Pusat, Kedamaian, Rajabasa, dan Tanjung Karang Timur. Sampel yang diuji hanya diambil pada bulan Januari hingga Februari 2022

II. TINJAUAN PUSTAKA

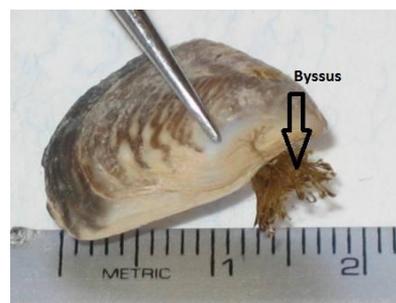
2.1. Kerang Hijau (*Perna viridis*).

Kerang hijau (*Perna viridis*) adalah spesies kerang yang termasuk ke dalam binatang lunak (*Molusca*) yang hidup di daerah litoral (sepanjang estuaria, muara sungai, dan pesisir pantai), memiliki sepasang cangkang dengan warna hijau agak kebiruan. Kerang hijau termasuk kedalam bottom feeder serta dapat berpindah-pindah dengan menggunakan kaki dan benang *byssus*. Umumnya, kerang hijau ditemukan pada perairan dengan kedalaman sekitar 1 – 7 meter di bawah permukaan laut, dengan tingkat toleransi perubahan salinitas 27-35 per mil (Pratiwi dkk., 2016).

Persebaran kerang hijau (green muscles) tersebar merata dari perairan barat India hingga Samudera Pasifik bagian barat, dari Teluk Persia hingga perairan Filipina, bagian utara dan timur Laut China, Taiwan, hingga perairan Indonesia (Safitri dkk., 2018). Kerang hijau termasuk ke dalam jenis kerang yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Umumnya jenis kerang ini ditemukan di lingkungan perairan pesisir, muara sungai, dan hutan mangrove. Di Indonesia, kerang hijau ditemukan melimpah pada bulan Maret hingga Juli pada area surut dan subtidal. Kerang hijau hidup secara bergerombol dan menempel pada substrat padat seperti kayu, bambu, dan batu dengan menggunakan benang *byssus* nya. Gambar *byssus* disajikan pada Gambar 2.

Safitri (2018) menyatakan bahwa kerang hijau (*Perna viridis*) termasuk ke dalam kelas bivalvia atau *pelecypoda*. Penyebutan *pelecypoda* didasarkan atas bentuk kakinya yang pipih lateral seperti kapak kecil dan merupakan pelebaran dari

bentuk tubuhnya. Memiliki cangkang simetris yang tipis dan dapat dibuka tutup, dan pelengkungan umbo ke arah depan. *Pelecypoda* memiliki persendian yang halus dengan otot aduktor pada bagian anterior yang berukuran kecil bahkan tidak ada. Cangkang *Perna viridis* memiliki bentuk segitiga yang lonjong dengan garis guratan yang terlihat jelas pada bagian luar. *Perna viridis* dewasa memiliki benang byssus yang kuat dan mampu menempel pada substrat padat (Safitri, 2018). Penyebutan kerang hijau (*P. viridis*) di beberapa wilayah berbeda, yang disesuaikan dengan local common name, seperti di Riau dikenal dengan nama “kemudi kapal”, di Banten dikenal dengan nama “kedaung”. Malaysia dikenal dengan nama “siput Sudu”, di Filipina dikenal dengan “tahong”, dan di Singapura dikenal dengan nama “tam cay” atau “chay luan”. (Emawati, 2015). Byssus pada kerang disajikan pada Gambar 2

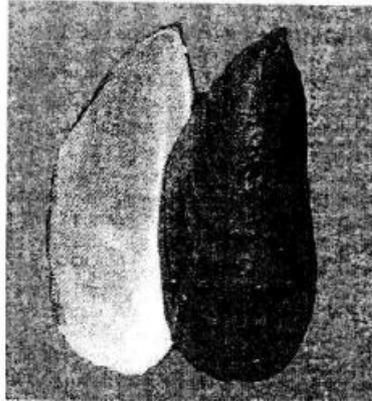


Gambar 2. *Byssus* pada kerang

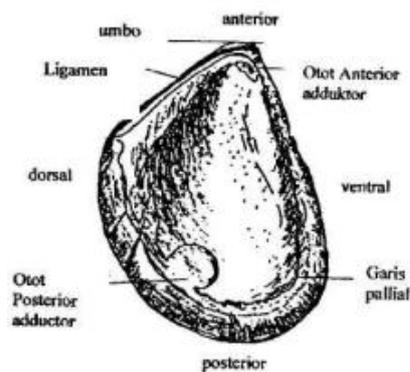
Sumber : Gosling (2004) dalam Suprpti (2012)

Warna cangkang kerang hijau berbeda berdasarkan bagiannya. Pada bagian luar tepi cangkang berwarna hijau, bagian tengah cangkang berwarna coklat, dan bagian sisi dalam cangkang berwarna putih mutiara. Umumnya, ukuran kerang hijau yang ditemukan berukuran panjang 8 cm, namun ukuran panjang maksimum dari kerang hijau adalah 16,5 cm (Suprpti, 2012). Stancheva *et al.* (2013) menyatakan bahwa bentuk cangkang kerang hijau meruncing pada bagian belakangnya, agak memipih pada bagian ujung tengah yang dilapisi oleh periostrakum. Perubahan warna menandakan fase dari kerang hijau tersebut. Pada fase juvenil, cangkang kerang berwarna hijau cerah dan pada fase dewasa warna cangkang kerang mulai memudar menjadi coklat pada bagian tengah dengan bagian tepi cangkang yang berwarna hijau. Gambar cangkang kerang hijau (*Perna*

viridis) dan anatomi cangkang kerang hijau (*Perna viridis*) disajikan pada Gambar 3 dan 4.



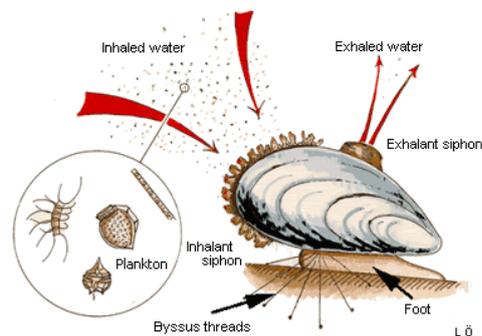
Gambar 3. Cangkang bagian dalam dan luar
Sumber : Suprapti (2012)



Gambar 4. Bagian-Bagian cangkang kerang hijau
Sumber : Suprapti (2012)

Kerang hijau bersifat suspension feeder, artinya cara mengkonsumsi makanannya seperti fitoplankton, detritus, diatom, dan bahan organik lainnya yang tersuspensi di dalam air dengan cara menyaring air tersebut (Safitri, 2018). Kerang hijau dinilai memiliki sifat selektif dalam memilih makanannya. Dalam Selpiani dkk. (2015) menyatakan bahwa makanan utama dari kerang hijau adalah diatom dan detritus, sementara Komari (2013) menyatakan bahwa kerang hijau lebih menyukai diatom dibandingkan dengan dinoflagellata sebagai makanannya.. Kerang hijau aktif selama 24 jam secara terus menerus menyaring makanannya, hal ini dikuatkan oleh Triana dkk. (2012) yang menyatakan bahwa makanan yang tersuspensi di dalam perairan dimanfaatkan oleh kerang dengan jalan menyaring

air tersebut. Selain itu, terdapat jenis kerang lain yang dapat memilih (menyeleksi) antara fitoplankton dengan partikel lumpur yang bukan merupakan makanannya. Selain itu, hewan bottom feeder merupakan hewan yang menyeleksi makanan yang didasarkan dari bentuk, ukuran, dan kelimpahannya, bukan didasarkan atas nilai gizi atau kualitasnya. Pada Gambar 5 berikut, disajikan alur proses respirasi dan penyerapan nutrisi kerang.



Gambar 5. Proses respirasi dan penyerapan nutrisi kerang
Sumber : Emawati (2015).

2.2. Keamanan Pangan

Pangan merupakan hak dasar dan wajib dipenuhi oleh setiap manusia. Pangan menjadi kebutuhan hakiki agar manusia dapat hidup dan melaksanakan aktivitas sehari-harinya dengan baik. Kesehatan dan kualitas manusia ditentukan dari pangan yang dikonsumsi, meliputi pangan yang sehat, bergizi, dan halal. Makanan dan minuman yang bergizi dan sehat mengandung karbohidrat, lemak, protein, vitamin, mineral, dan air. Selain itu, pangan tidak mengandung bahan yang membahayakan bagi kesehatan tubuh (Nugraheni, dkk. 2018). Pemenuhan tersebut menjadi tanggung jawab bersama, mulai dari awal rantai pasok di perkebunan, pengolahan pangan, hingga sampai di tangan konsumen. Hal tersebut merupakan salah satu faktor penting dalam penyelenggaraan sistem pangan nasional.

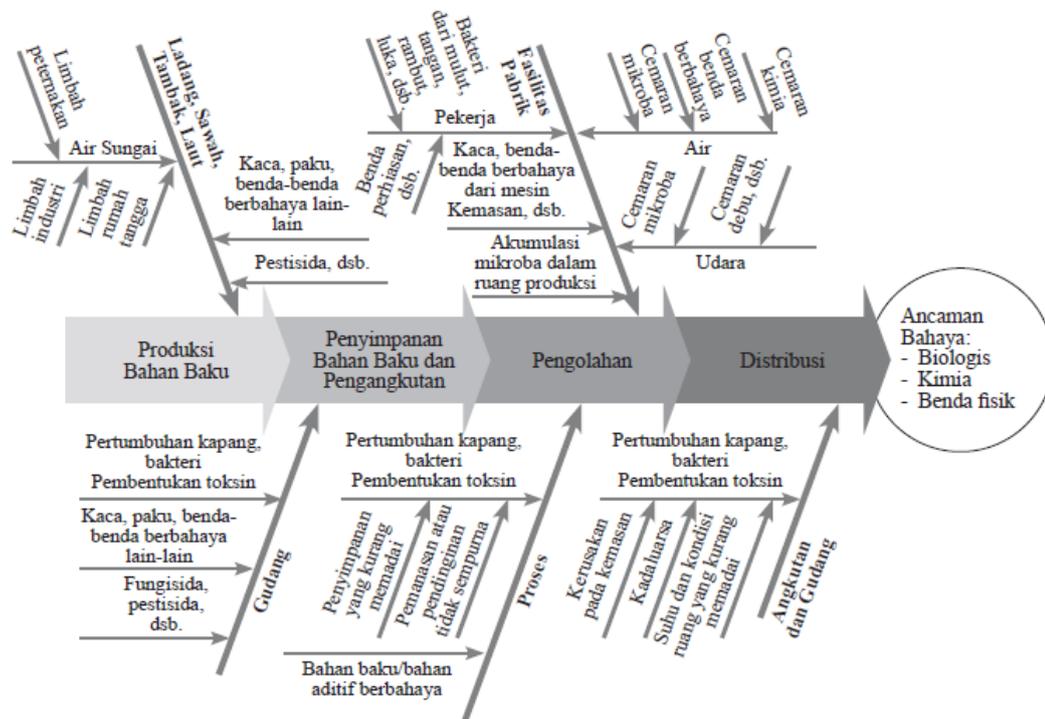
Faktor penting dalam penyelenggaraan sistem pangan nasional adalah faktor keamanan pangan. Hal ini secara jelas dan gamblang tertera dalam Undang-

Undang Dasar (UUD) 1945 pasal 27 ayat (2) yang intinya setiap warga negara berhak memperoleh penghidupan yang layak, dimana salah satu faktor penghidupan yang layak meliputi pemenuhan pangan yang aman dan sehat. Perlindungan masyarakat dari peredaran pangan yang tidak aman merupakan jaminan yang harus didapat sebagai konsumen. Hal ini secara legal telah diatur dalam peraturan pemerintah dalam bentuk Undang-Undang (UU) terkait keamanan makanan dan minuman, seperti pada UU pangan No 18 Tahun 2012 beserta peraturan pelaksanaannya. Pada ketentuan di Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 86 Tahun 2019 tentang keamanan pangan, penyelenggaraan pangan ditujukan agar negara dapat memberikan perlindungan kepada rakyat untuk mengkonsumsi pangan yang aman bagi kesehatan dan keselamatan jiwa.

Berbagai upaya penyelenggaraan keamanan pangan secara nasional dilakukan, dimulai dari pengawasan rantai pangan dari tahap produksi hingga sampai di tangan konsumen. Tahapan keamanan pangan dibebankan pada industri pengolah bahan baku hingga menjadi produk jadi. Pada tahapan tersebut, semua kegiatan atau proses produksi dengan bahan baku nasional dan impor dari luar negeri harus melalui penerapan persyaratan keamanan pangan. Persyaratan keamanan pangan seperti yang diatur oleh World Health Organization (WHO) meliputi persiapan bahan baku, penanganan, dan penyimpanan makanan dan minuman agar terhindar dari kontaminasi secara fisik, kimia, dan biologi.

Pencegahan kontaminasi bahan pangan dari zat asing baik secara fisik, kimia, dan biologi adalah tujuan dari keamanan pangan. Kontaminasi fisik adalah kontaminasi atau cemaran pangan yang disebabkan oleh benda asing meliputi rambut, kuku, kotoran, debu, kerikil, pecahan logam, dan lain sebagainya. Kontaminasi biologi meliputi cemaran produk pangan yang berasal dari zat yang dihasilkan dari makhluk hidup seperti manusia, tikus, kecoa, dan serangga lainnya yang masuk dan mencemari bahan pangan. Kontaminasi kimia meliputi cemaran bahan pangan oleh herbisida, pestisida, dan obat-obatan kimia lainnya. Kontaminasi kimia bersumber dari lingkungan meliputi kontaminasi air, tanah, dan udara. Kontaminasi kimia lainnya meliputi migrasi dari bahan pengemas,

penggunaan zat aditif, racun alami bahan pangan, dan kontaminasi silang selama pangan diproses (Knechtges, 2014).



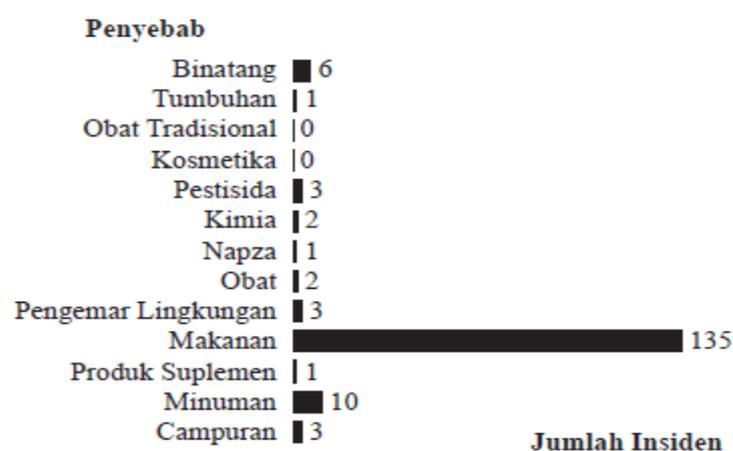
Gambar 6. Asal-usul berbagai bahaya yang mungkin terjadi dalam proses produksi produk makanan
Sumber : Surono, dkk. (2018).

Penelusuran ancaman bahaya keamanan pangan dapat ditelusuri sejak produk dibudidayakan dan erat kaitannya dengan bidang pertanian, perikanan, peternakan, dan perkebunan. Kemudian kegiatan pasca-panen terkait dengan pemanenan, pengangkutan, penyimpanan penggudangan, dan distribusi. Pengolahan produk hingga menjadi pangan siap edar dan konsumsi. Penelusuran dilakukan secara menyeluruh terhadap berbagai aspek yang memungkinkan adanya kontaminasi terhadap produk pangan. Rancangan penelusuran disajikan pada Gambar 6.

Sistem keamanan pangan sangat luas cakupannya, yang meliputi berbagai disiplin keilmuan, seperti teknologi pangan, mikrobiologi, toksikologi, higiene sanitasi, gizi, dan lain sebagainya. Pada tingkat makro, keamanan pangan mencakup aspek yang luas dan rumit, meliputi analisis resiko, sistem pengawasan dan pengendalian (surveilans), serta regulasi yang meliputi regulasi nasional

(pemerintah melalui Kementerian Kesehatan) dan regulasi internasional melalui lembaga seperti WHO dan FAO. Pada tingkatan mikro, keamanan pangan melingkupi aplikasi industri pengolahan pangan. Sistem tersebut terbilang rumit karena adanya keragaman bahan baku yang diolah, seperti misalnya produk olahan hasil perikanan seperti olahan sarden dengan industri skala besar dan industri skala kecil seperti olahan kerupuk ikan, kemplang, dan lainnya yang termasuk ke dalam Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) dimana penerapan keamanan pangan tergolong relatif sempit karena bahan baku yang digunakan lebih sederhana dan sedikit (Surono, dkk. 2018).

Indonesia masih dihadapkan dengan masalah klasik mengenai ancaman keamanan pangan, seperti terjadinya banyak kasus mengenai pangan yang tidak aman karena mengandung toksin atau racun. Sejak 2004, kasus keracunan pangan di Indonesia mengalami peningkatan (Noor, 2016). Pada tahun tersebut, ditetapkan status Kejadian Luar Biasa (KLB) atas kasus keracunan pangan. Insiden keracunan di Indonesia pada tahun 2016 terbanyak disebabkan karena makanan sebanyak 135 orang, disusul dengan keracunan atas minuman sebanyak 10 orang, binatang sejumlah 6 orang, serta pestisida dan pencemaran lingkungan sejumlah 3 orang. Data kasus keracunan pangan di Indonesia tahun 2016 disajikan pada Gambar 7

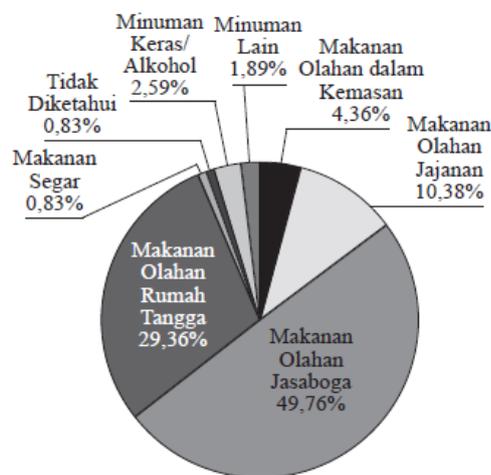


Gambar 7. Jumlah insidensi kasus keracunan di Indonesia berdasarkan penyebab pada tahun 2016

Sumber : BPOM (2016).

Berdasarkan pemaparan dan data dari Sentra Informasi Keracunan Nasional (Sikernas) dari bulan Juli hingga September tahun 2017 yang dikumpulkan dari 15

media massa yang berbeda, terdapat setidaknya 39 insiden yang menyebabkan korban jiwa sebanyak 29 orang dan jumlah korban yang perlu perawatan dan tindakan di instalasi kesehatan sejumlah 908 orang. Berdasarkan penyebabnya, jumlah korban keracunan pangan tertinggi disebabkan olahan jasa boga sebesar 49,76% dan disusul dengan makanan olahan rumah tangga sebesar 29,36% dan makanan olahan jajanan 10,38% (Lestari, 2020). Persentase insidensi atas keracunan pangan disajikan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Insiden keracunan pangan berdasarkan data dari Sikernas.
Sumber : BPOM (2018).

Terkait gejala keracunan pada pangan, terdapat dua klasifikasi mengenai intoksikasi yang ditularkan yaitu menimbulkan gejala secara akut (kronis) dimana menimbulkan gejala klinis dalam waktu singkat atau sesaat setelah mengkonsumsi pangan tersebut dan gejala subkronis, dimana menimbulkan gejala dengan jeda waktu hitungan jam, hari, atau minggu dan ditandai dengan adanya penumpukan toksin atau kandungan sejumlah racun dari bahan pangan di dalam jaringan tubuh manusia. Perbedaan mendasar atas klasifikasi intoksikasi tersebut didasarkan pada jenis dan jumlah toksin yang berada di dalam bahan pangan. Apabila kadar toksin cukup tinggi, maka efek atau gejala yang ditimbulkan terjadi dalam waktu yang singkat sesaat setelah mengkonsumsi bahan pangan tersebut. Namun, apabila dosis berada di bawah ambang batas (lethality dose), maka gejala yang

ditimbulkan akan tampak dalam waktu hitungan jam, hari, bahkan dalam jangka waktu beberapa tahun. Umumnya, gejala subkronik diakibatkan karena pola konsumsi bahan pangan yang mengandung toksin secara berulang dan dalam dosis yang rendah sehingga menimbulkan akumulasi toksin di dalam jaringan tubuh (Lestari, 2020).

Secara umum, penyebutan istilah keracunan pangan digunakan untuk menyebutkan semua penyakit yang dibawa dan ditularkan oleh bahan pangan. Padahal, istilah penggunaan keracunan pangan yang tepat adalah mewakili satu kemungkinan dari kategori penyakit yang ditularkan melalui pangan. Keracunan atau intoksikasi terjadi sebagai akibat dari mengkonsumsi bahan pangan yang mengandung bahan kimia, toksin, alergen, atau radioaktif. Racun mewakili jenis khusus dari zat racun karena diproduksi secara biokimia oleh makhluk hidup. Sejumlah variasi racun terdapat secara alami di ekosistem makhluk hidup, namun konsentrasi racun buatan lebih banyak apabila dibandingkan dengan racun alami. Sejumlah variasi racun buatan terdapat di dalam ekosistem makhluk hidup seperti ekosistem perairan. Racun jenis ini masuk ke dalam siklus rantai makanan baik dengan perantara hewani (hewan itu sendiri) atau dengan perantara nabati (sumber pangan tumbuhan yang telah tercemar zat toksikan). Zat kimia yang tergolong dalam zat sintetis dan non biologis dapat menghasilkan racun, dalam jumlah tertentu dapat merugikan kesehatan apabila dikonsumsi dalam dosis yang banyak. Beberapa jenis racun dan zat kimia tergolong ke dalam enterotoksin yang berpengaruh terhadap sistem saluran pencernaan, dan beberapa racun termasuk ke dalam neurotoksin yang mempengaruhi kerja sistem saraf dan organ tubuh manusia (Lestari, 2020).

2.3. Cemaran Logam Berat

Laut merupakan suatu ekosistem akuatik dimana tempat bermuaranya sungai besar maupun sungai kecil. Secara umum, sungai merupakan tempat tangkapan air (catchment area) dimana limbah cair domestik dan industri dapat terkumpul dan bermuara di lautan. Akumulasi zat-zat pencemar yang terbawa dari sungai menuju lautan, terutama wilayah pesisir, menyebabkan cemaran lingkungan. Salah satu

cemaran lingkungan yang berbahaya adalah cemaran terhadap logam berat. Cemaran logam berat bersifat berbahaya karena dapat menimbulkan efek racun bagi manusia (Wulan, dkk. 2013). Cemaran logam berat yang masuk ke dalam badan sungai menyebabkan pencemaran akibat tercampurnya limbah logam berat dengan air dan akan terakumulasi dengan membentuk sedimentasi di dasar perairan yang akan bertambah konsentrasinya seiring berjalannya waktu, bergantung pada kondisi lingkungan tersebut dan banyaknya penambahan kadar cemaran logam berat pada suatu perairan. Cemaran logam berat dapat berpindah dari lingkungan menuju organisme, dan dari organisme satu menuju organisme lainnya melalui rantai makanan (Astawan, dkk. 2015).

Kandungan logam berat yang berada di perairan suatu saat akan turun dan mengendap pada dasar perairan membentuk suatu sedimentasi yang dapat menyebabkan biota laut yang mencari makan di dasar perairan seperti udang, kepiting, dan kerang memiliki peluang yang sangat besar untuk terkontaminasi dengan logam berat tersebut (Setiawan, 2013). Logam berat tersebut dapat masuk ke dalam tubuh biota laut melalui beberapa jalan yaitu saluran pernafasan (insang), saluran pencernaan (usus, hati, dan ginjal) serta penetrasi melalui kulit (Wulan, dkk. 2013). Apabila biota laut yang telah tercemar oleh logam berat tersebut dikonsumsi oleh manusia, maka akan berpengaruh terhadap kesehatan dalam jangka waktu tertentu.

Menurut Undang-Undang No. 1 Tahun 2014, yang merupakan pembaharuan atas Undang-Undang no 27 tahun 2007 mengenai Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, wilayah pesisir didefinisikan sebagai daerah peralihan antara darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan di laut. Adapun perairan pesisir adalah laut yang berbatasan dengan daratan meliputi perairan sejauh 12 mil laut diukur dari garis pantai. Melihat definisi perairan pesisir tersebut, maka wilayah pesisir memiliki resiko yang tinggi akan cemaran berbagai logam berat karena berbatasan langsung dengan wilayah daratan yang nota bene membuang limbah logam berat di wilayah perairan. Akumulasi logam berat pada wilayah pesisir disebabkan muara sungai yang berhadapan langsung dengan wilayah pesisir dengan membawa sejumlah kandungan logam berat, menjadikan

wilayah pesisir sebagai penampungan terakhir berbagai limbah, termasuk limbah logam berat. Kondisi ini membahayakan masyarakat sekitar yang mengkonsumsi hewan laut yang dibudidayakan di daerah pesisir yang telah tercemar logam berat (Setiawan, 2013).

Pada umumnya, cemaran logam berat yang teridentifikasi pada wilayah pesisir meliputi kadmium (Cd), timbal, (Pb), dan merkuri (Hg). Sifat-sifat dari logam ini adalah memiliki afinitas yang lebih besar dibandingkan dengan sulfur (belerang). Logam-logam ini menyerang ikatan sulfida pada molekul-molekul penting sel, misalnya protein (enzim), yang menyebabkan enzim tidak berfungsi. Selain itu, ion-ion logam berat bisa terikat pada molekul penting membran sel yang menyebabkan terganggunya proses transpor melalui membran sel. Sumber cemaran dapat diidentifikasi berdasarkan jenis logam beratnya masing-masing.

2.4. Analisis Logam Berat pada Perairan Teluk Lampung

Pola persebaran logam berat pada perairan umumnya dapat diketahui dan dikenali dengan analisis laboratorium. Sebagai salah satu wilayah pesisir, Teluk Lampung yang berdekatan dengan wilayah Kota Bandar Lampung yang terletak pada posisi 5°20'LS - 5°30'LS dan 105°28'BT-105°37'BT memiliki dampak resiko atas cemaran logam berat yang terjadi pada wilayah pesisir dan laut. Salah satu sumber terbesar yang menjadi cemaran di wilayah Teluk Lampung adalah limbah industri. Limbah industri tersebut mencemari berbagai produk perikanan budidaya, salah satu contohnya adalah kerang hijau (*Perna viridis*) yang dibudidayakan di Pulau Pasaran. Pengujian kadar logam dilakukan melalui pengambilan sampel kerang hijau yang telah diolah berupa bagian daging kerang hijau

Penelitian yang dilakukan oleh Safitri dkk (2018) mengenai konsentrasi logam pada perairan di Teluk Lampung, termasuk di Pulau Pasaran menunjukkan bahwa terdeteksinya konsentrasi logam berat Pb dan Cu pada air laut yang melebihi ambang batas mutu menurut Kepmen LH No. 51/2014. Lokasi dengan titik cemaran logam Pb yang tertinggi berada di sekitar muara Sungai Way Belau dengan nilai sebesar 0,63 mg/l. Hal ini diakibatkan karena Sungai Way Belau yang termasuk

ke dalam jalur sarana transportasi kapal laut yang dipakai nelayan (Riena, 2012). Pelayaran kapal seringkali tanpa sengaja atau disengaja membuang limbah Pb yang berasal dari campuran bahan bakar kapal yang mengandung TEL (tetra ethyl lead). TEL adalah bahan kimia yang tersusun atas atom karbon (C) dan atom timbal (Pb) yang umumnya ditambahkan pada bensin untuk meningkatkan nilai oktan sehingga penggunaan bahan bakar selama pelayaran menjadi lebih efisien (Hafizullah, 2016).

Konsentrasi logam Pb yang berada di badan perairan juga dipengaruhi oleh adanya oksigen terlarut. Hal ini didasarkan atas penelitian Bafih (2017) yang menyatakan bahwa semakin rendah kadar oksigen terlarut maka konsentrasi logam Pb akan rendah. Hal ini menjelaskan bahwa adanya perbedaan pada pengukuran kadar logam Pb di badan perairan yang berbeda-beda yang diakibatkan adanya perbedaan kadar oksigen terlarut di dasar perairan. Salah satu contohnya adalah arus lalu lintas pelayaran yang tinggi di muara Sungai Way Belau, kenaikan kadar oksigen terlarut dapat disebabkan oleh gelombang dan arus dari kapal yang lalu lalang, sehingga adanya kenaikan oksigen terlarut dapat menyebabkan Pb meningkat di muara Sungai Way Belau. Namun, untuk daerah dengan arus lalu lintas yang tenang dan jarang dilalui oleh kapal, maka oksigen terlarut akan rendah, menyebabkan terjadinya proses sedimentasi pada dasar perairan disertai logam Pb yang akan mengendap dan terkumpul di dasar sedimen tersebut, sehingga kadar logam Pb pada perairan akan rendah. Penambahan sedimen organik yang berlangsung selama bertahun-tahun juga mengakibatkan perairan tersebut akan menyerap oksigen terlarut sebagai bahan untuk dekomposisi, menjadikan kadar oksigen dan kadar logam Pb menjadi rendah. Hasil analisis Safitri dkk (2018) menunjukkan bahwa konsentrasi logam Pb di perairan sekitar Pulau Pasaran telah melebihi ambang baku mutu yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 51/2014 yakni kadar maksimal sebesar 0,08 mg/l. Hasil pengukuran kandungan Pb dan Cu di badan air disajikan pada Tabel 1 berikut

Pencemaran yang terjadi akibat limbah industri tersebut tergolong ke dalam limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) meliputi jenis logam berat yang apabila

masuk ke dalam ekosistem perairan, dapat menimbulkan dampak yang fatal dan merugikan pada makhluk hidup yang dibudidayakan dan konsumen yang mengkonsumsinya. Dampak akumulatif yang fatal pada konsumen yang mengkonsumsi produk perikanan dengan kandungan logam berat meliputi keracunan, kelainan genetik, kelumpuhan, dan dalam jangka waktu yang lama serta dosis yang besar, dapat menyebabkan kematian. Lokasi Teluk Lampung disajikan pada Gambar 9 berikut

Tabel 1. Rata-rata kandungan Pb dan Cu di badan air

Parameter	Stasiun			Baku Mutu (mg/L)
	I	II	III	
Pb	0,4	0,6	0,63	0,08*
Cu	0,1	0,14	0,12	0,08*

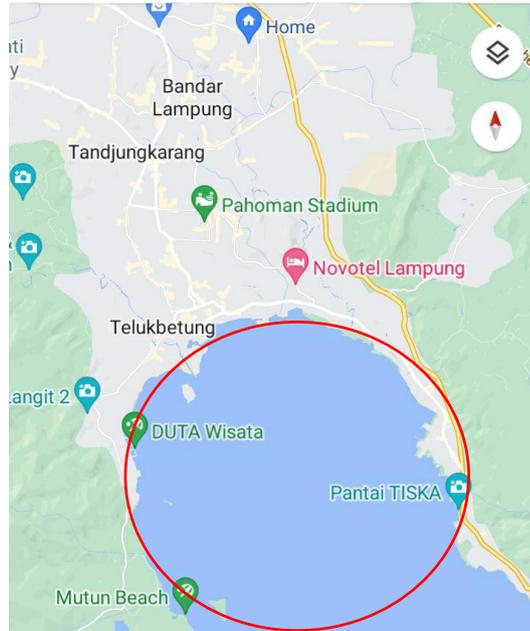
Keterangan *Kepmen LH No. 51/2014
Sumber : Safitri dkk. (2018).

Pulau Pasaran yang menjadi sentra budidaya produk perikanan di Kota Bandar Lampung memiliki tingkat cemaran logam berat yang tinggi, melihat Pulau Pasaran berada dalam ruang lingkup muara sungai dan dikelilingi oleh industri besar serta lalu lintas pelayaran kapal baik kapal nelayan hingga kapal kargo internasional, memberikan dampak yang sangat berbahaya terhadap cemaran logam berat, khususnya kerang hijau (*Perna viridis*) yang dibudidayakan di Pulau Pasaran dengan lokasi yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil penelitian Safitri dkk (2018), dampak atas tercemarnya perairan di sekitar Pulau Pasaran berdampak pada cemaran logam berat yang terkandung pada daging kerang hijau (*Perna viridis*) yang belum diolah (masih mentah). Data pengukuran kadar logam berat Pb dan Cu berdasarkan hasil penelitian Safitri dkk (2018) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata kandungan Pb dan Cu pada jaringan Tubuh Kerang Hijau

Parameter	Stasiun			Baku Mutu (mg/L)
	I	II	III	
Pb	6,59±1,41	8,45±0,55	7,1±1,01	1,5*
Cu	0,1	0,14	0,12	0,08*

Keterangan *Kepmen LH No. 51/2014
Sumber : Safitri dkk (2018).



Gambar 9. Lokasi Teluk Lampung.
Sumber : Google Earth, 2021

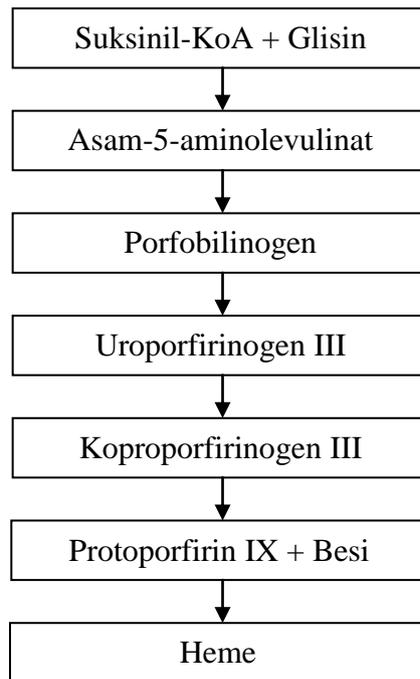
Pulau Pasaran adalah salah satu pulau yang berada di wilayah Teluk Lampung. Pulau Pasaran merupakan tempat budidaya perikanan yang dijalankan oleh nelayan-nelayan sekitar. Pulau Pasaran juga menjadi tempat budidaya kerang hijau (*Perna viridis*). Berdasarkan data Noor dkk. (2016) jumlah unit budidaya kerang hijau yakni sebanyak 77 unit dengan capaian hasil kerang hijau sebesar 8 ton/tahun. Kerang hijau tersebut kemudian dijadikan sebagai komoditas oleh nelayan lokal yang dijual kembali baik sebagai produk mentah (belum diolah) yang tersedia di pasar tradisional dan produk yang telah diolah (direbus dan ditumis) oleh para pedagang makanan yang ada di sekitaran Kota Bandar Lampung.

2.5. Timbal (Pb)

Logam berat timbal (Pb) bersumber secara alami dan buatan. Sumber logam berat timbal (Pb) dengan sumber buatan atau non-alam dapat ditemukan secara luas, mulai dari penggunaannya di bahan bakar minyak dengan jenis Pb tetraetil yang berfungsi sebagai *anti knock* (mengurangi bunyi berisik pada mesin), pada cat dinding dan besi, batu bara yang digunakan dalam industri berat, galangan kapal dengan limbah buangan oli, dan sebagainya. Apabila ditemukan di dalam air

minum, maka timbal bersumber dari pipa PVC dengan pelapis timbal sebagai pewarna bagian dalam dan luar pipa sebagai pencegah timbulnya lumut (Sidjabat dkk. 2020).

Timbal merupakan racun dengan sifat kumulatif dan mempengaruhi sistem tubuh manusia seperti sistem saraf, hemotologis, gastrointestinal, kardiovaskular, dan ginjal (Kragulj *et al.*, 2018). Timbal yang terinfiltrasi ke dalam tubuh melalui tiga jalan, meliputi proses absorpsi pada kulit, melalui rantai makanan, dan saluran pernapasan (Rötting *et al.*, 2014). Pada wanita, dampak gejala keracunan dari timbal yakni anemia dan infertilitas. Hal ini didasarkan atas sifat timbal yang mempengaruhi manusia secara psikologis dan neurologis (Debnath *et al.*, 2019). Gangguan umum yang terjadi pada manusia yang diakibatkan oleh timbal meliputi : (1) Penghambatan pembentukan sel darah merah mengakibatkan terjadinya anemia yang disintesa melalui tiga cara, yakni dengan menghambat enzim hemesintase memproduksi heme, terhambatnya perubahan protoporfirin IX menjadi heme, dan terakumulasinya protoporfirin yang meningkatkan akumulasi koproporfirin III; (2) gangguan pada sistem saraf pusat yang ditandai dengan gelisah, hiperaktif, kebingungan, kehilangan ingatan, keterbelakangan mental. Gejala yang terjadi pada anak umumnya bersifat irreversible; (3) gejala *encephalopathy* yakni gejala neurologis berat yang ditandai kerusakan pada sel saraf otak yang berujung pada kematian; (4) Gangguan pada janin ibu hamil dengan kadar Pb yang bervariasi. Kadar Pb 10 µg/dl mengakibatkan gangguan pertumbuhan, 30 µg/dl mengakibatkan cacat prematur, 60 µg/dl menyebabkan komplikasi kehamilan dan penyakit penyerta lain meliputi anoreksia, gangguan reproduksi, insomnia, gangguan pendengaran, kehilangan koordinasi (Alsuhendra dan Ridawati, 2013; Debnath *et al.*, 2019; Kragulj *et al.*, 2018; dan Wani dkk., 2015). Proses sintesis heme yang disebabkan oleh timbal disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Sintesis Haemoglobin

Sumber : Goldfrank (2002) dalam Alsuhendra dan Ridawati (2013)

2.6. Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat dengan nomor atom 48 dan massa atom 112,41. Cd dapat ditemukan baik secara alami di alam yang bersumber dari pelapukan batuan mineral, bahan tambang sumber batu baterai, dan letusan lava gunung berapi. Pemanfaatan kadmium buatan secara umum disebabkan aktivitas manusia dan pengolahan dari industri dengan limbah kadmium yang dibuang melalui aliran sungai dalam limbah cair dan/atau limbah bubuk mengakibatkan sejumlah konsentrasi Cd yang meningkat di sepanjang daerah aliran sungai dan terutama muara wilayah pesisir atau teluk.

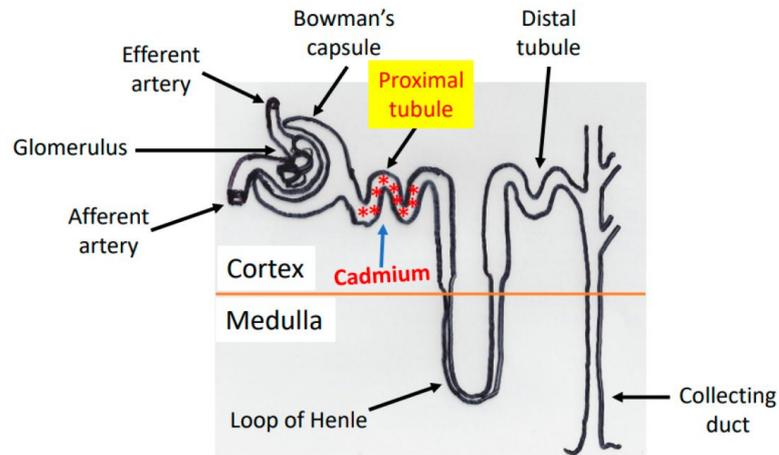
Cd dikenal sebagai logam berat yang mengkontaminasi lingkungan baik air dan udara. Studi yang dilakukan oleh Sutrisno dan Kuntastyuti (2015) menemukan sebagian besar sumur yang digunakan warga di daerah Driyo, Gresik, tercemar oleh logam berat Cd. Pencemaran terhadap sumur ini berakibat meningkatnya kadar Cd dalam darah pada warga di Driyo. Penelitian yang dilakukan oleh Mehrnia (2013) menemukan adanya jejak Cd pada beras yang dijual di Iran. Kadar Cd yang ditemukan dalam beras tersebut yakni melebihi kadar 0,2 mg/kg

yang mana merupakan ambang batas yang telah ditentukan oleh World Health Organization (WHO).

Logam Cd terbentuk dari proses ekstraksi dan pembentukan seng (Zn) dan timbal (Pb), umumnya dilakukan oleh industri berat seperti pengolahan bijih besi, bauksit, hingga industri baterai dan aki. Cd dapat dihasilkan dari bahan bakar batu bara dan bahan bakar fosil lainnya yang melepaskan sejumlah Cd ke udara. Pemanfaatan yang luas dari Cd disebabkan sifat kimiawinya, sehingga digunakan dalam industri pembuatan cat, electroplating, dan industri plastik. Industri lain yang memanfaatkan Cd yakni industri rokok, insinerasi, dan industri pupuk (Hamzah dkk., 2013).

Cd memiliki sifat sukar diabsorpsi pada saluran cerna manusia, namun akumulasi Cd ditemukan di dalam peredaran darah manusia dan sepanjang saluran pernapasan. Penelitian epidemiolog menemukan kadar Cd di dalam darah maupun di dalam urin yang berkaitan dengan paparan terhadap Cd dalam waktu yang lama. Paparan bersumber dari gas buang industri dan cemaran terhadap pangan yang dikonsumsi. Konsentrasi kadmium 2,28 µg/l meningkatkan resiko terhadap kanker payudara pada perempuan. (Wulan dkk. 2013). Kadar toksisitas dari kadmium ditentukan dari masuknya ke dalam tubuh. Efek toksik dari Cd dapat ditemukan pada organ paru, ginjal, hati, dan tulang. Kerusakan ginjal akibat Cd ditemukan akibat masuknya senyawa Cd dari saluran pernapasan dan saluran cerna yang bersumber dari bahan pangan yang telah terkontaminasi oleh sejumlah kadar Cd. Kadar toleransi maksimal pada ginjal dalam mengabsorpsi kadar Cd adalah sebesar 300 µg/g. Dampak dalam jangka waktu yang panjang ialah kerusakan pada ginjal terutama di bagian tubulus proksimal. Kerusakan pada tubulus proksimal akibat kadar Cd yang melebihi ambang batas diketahui dengan adanya penyakit proteinuria. Cd yang masuk ke dalam sistem pencernaan terikat oleh protein dalam gugus melationin menuju ginjal dan kemudian difiltrasi oleh glomerulus ginjal. Kadmium melationin (CdMT) diabsorpsi oleh tubulus proksimal dan terakumulasi di lisosom. CdMT kemudian terurai menjadi Cd²⁺ dan menghambat fungsi lisosom sehingga menyebabkan cedera pada tubulus

proksimal. (Endrinaldi, 2010). Cedera pada tubulus proksimal yang disebabkan akumulasi kadmium disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Akumulasi senyawa Cd pada tubulus proksimal
Sumber : Edrinaldi (2010).

2.7. Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) merupakan salah satu logam berat dengan tingkat toksisitas yang tertinggi apabila dibandingkan dengan unsur logam berat lainnya seperti Cd, Pb, Cu, dan Zn (Setiyono, dkk., 2012). Senyawa Hg bersifat tidak bisa dihancurkan atau diserap secara alami oleh makhluk hidup, sehingga senyawa Hg ini akan terakumulasi di badan perairan dan mengendap di dasar sedimentasi dan dalam kurun waktu tertentu akan menyebabkan efek toksisitas yang cukup tinggi. Kontaminasi Hg pada manusia bisa diakibatkan oleh faktor bahan pangan yang tercemar, inhalasi dalam saluran napas, dan infiltrasi melalui kulit (Kasari, 2016).

Sumber cemaran Hg dalam badan perairan disebabkan oleh manusia, salah satunya adalah penambangan emas tradisional dengan metode amalgamasi. Pada proses amalgamasi yang dilakukan secara tradisional, Hg dapat terlepas menuju lingkungan dan badan perairan dalam proses pencucian dan penggarangan emas. Pada proses pencucian (pendulangan) emas, larutan Hg yang digunakan dibuang langsung ke dalam badan air seperti sungai dan sumber mata air lainnya karena umumnya lokasi penambangan berada di daerah dekat dengan sumber mata air

atau daerah hulu sungai (Setiyono dkk., 2012). Limbah Hg yang dialirkan menuju badan sungai dalam jangka waktu tertentu konsentrasinya akan meningkat dan mengendap, sehingga sepanjang aliran sungai dan sumber mata air akan tercemar limbah Hg dalam jumlah yang melebihi ambang batas aman.

Kasus akibat cemaran limbah Hg terjadi di Jepang dikenal sebagai Minamata disease. Berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa gejala keracunan limbah Hg diakibatkan karena pola konsumsi produk perikanan oleh penduduk yang hidup di Teluk Minamata. Diketahui bahwa di sepanjang pesisir wilayah Teluk Minamata terdapat industri plastik yang menggunakan senyawa Hg yang dialirkan menuju Teluk Minamata, menyebabkan gejala keracunan pada penduduk sekitar. Gejala keracunan Hg muncul dalam kurun waktu 25 tahun yang ditandai dengan adanya cacat mental dan sistem syaraf pada anak-anak yang beranjak dewasa. Diketahui bahwa akumulasi dari Hg dari produk perikanan dalam jumlah yang sedikit sehingga reaksi toksisitas akibat Hg muncul dalam kurun waktu puluhan tahun kemudian (Setiyono dkk., 2012).

Kasus lain yang terjadi di Indonesia yakni di Teluk Buyat, Provinsi Sulawesi Utara pada tahun 1996 dimana industri pengolahan biji emas mengolah emas dengan cara amalgamasi. Limbah cair yang dialirkan menuju Teluk Buyat mengakibatkan cemaran terhadap produk perikanan tangkap yang dikonsumsi oleh masyarakat sekitar yang hidup dari perairan Teluk Buyat. Umumnya, masyarakat yang terkena cemaran limbah Hg mengalami gangguan kesehatan terutama penyakit kulit (Widowati, dkk. 2017). Diketahui bahwa kandungan Hg yang dilepaskan dari tungku pemijaran emas yakni sebesar $15.499 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cemaran Hg yang ditemukan bersumber dari air limbah pendulangan emas dengan metode amalgamasi dan gas buang dari tungku pemijaran. (Kim, 2011).

Kehadiran Hg dan turunannya dalam lingkungan terutama badan air sangat berbahaya dan merugikan ekosistem karena sifat dari Hg yang sukar larut dalam air dan terikat dalam jaringan tubuh organisme air. Cemaran terhadap mikroorganisme air disebabkan Hg memiliki sifat yang stabil dalam sedimentasi dan kemudahan diserap dan terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme perairan, baik melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi melalui rantai

makanan (Deswati, dkk. 2013). Toksisitas yang dialami oleh organisme air yang disebabkan biomagnifikasi terjadi karena organisme air yang umumnya memakan fitoplankton yang tumbuh di dasar perairan dan sedimentasi. Adanya akumulasi Hg dalam jumlah yang tinggi menyebabkan fitoplankton tercemar Hg. Efek toksik dari Hg terbawa masuk ke dalam saluran cerna produk perikanan terutama organisme air dengan sifat bottom feeder seperti kerang.

Efek dari cemaran Hg mengakibatkan saluran cerna terutama di bagian mukosa usus mengalami penyakit hematochezia yang ditandai dengan lepasnya sel mukosa ke dalam tinja. Efek sistemik dan berakibat fatal umumnya terjadi karena Hg anorganik yang bersifat nefrotoksikan menyerang sel-sel tubular proksimal. Hg yang berada di tubular proksimal kemudian berikatan dengan gugus sulfidril (SH) dari protein membran sehingga mempengaruhi integritas membran dan menyebabkan nekrosis tubuli ginjal yang disebabkan karena oliguria, anuria, dan uremia lebih menonjol kerusakannya pada glomerular (Cope *et al.*, 2004 ; Hasheck, 2002 ; dan Sjamsudin, 1987 dalam Sari, 2017).

2.8. Kadar Maksimal Cemaran Logam Berat Menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM)

Penetapan atas kadar cemaran logam berat ditentukan atas ketetapan dari Badan Pengawas Obat dan Makanan. Berdasarkan data dari BPOM tahun 2018, kadar cemaran logam dibedakan atas 4 bahan jenis pencemar, meliputi arsenik (As), Timbal (Pb), Raksa (Hg), dan Kadmium (Cd). Data disajikan pada Tabel 3. BPOM (2018) mengklasifikasikan ikan dan produk perikanan lainnya termasuk moluska meliputi kerang hijau (*Perna viridis*) sebagai satu kesatuan dalam menentukan batas cemaran maksimum logam berat. Hal ini disebabkan kesamaan lokasi budidaya yakni berada di perairan air laut.

Tabel 3. Data cemaran maksimal pada produk perikanan

No	Nama Sampel	Batas Cemaran Maksimum (mg/kg)			
		As	Pb	Hg	Cd
1.	Ikan dan produk perikanan termasuk moluska, krustase, dan ekinodermata serta amfibi dan reptil	0,25	0,20 (kecuali untuk ikan predator olahan seperti cucut, tuna, marlin 0,40)	0,50 (kecuali untuk ikan predator olahan seperti cucut, tuna, marlin 1,0)	0,10 (kecuali untuk ikan predator olahan seperti cucut, tuna, marlin 0,30)

Sumber : BPOM (2018)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2022 sampai dengan Maret 2022 dengan sampel yang berasal dari Jl. Sumpah pemuda, Kel. Way Halim Permai; jl. Sriwijaya, Kel. Enggal; Jl. R.A. Kartini, Kel. Palapa; Jl. Z.A. Pagaralam, Kel. Gedong Meneng; Jl. Dr. Susilo, Kel. Sumur Batu; Jl. Pangeran Antasari, Kel. Tanjung Baru. Lokasi pengujian bertempat di LTSIT (Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi, Universitas Lampung) serta Laboratorium Analisa Air, Balai Besar Perikanan dan Budidaya Laut Lampung, Kabupaten Pesawaran. Provinsi Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi seperangkat alat atomic absorption spectrophotometry (AAS) dengan graphite furnace, microwave plasma atomic emission spectrophotometry (MP-AES) type Agilent 4100, autosampler SPS 3 for ICP, alat destruksi heavy metal digester, gelas beaker (Pyrex® 25 ml, 100 ml dan 250 ml), gelas ukur (Pyrex® 50 ml), pipet tetes, labu ukur (Pyrex® 10 ml, 50 ml, dan 100 ml), mikropipet, botol polypropylene, corong kaca (Pyrex®), oven (Mettler® UN 55 53L), mug keramik, penjepit, desikator, timbangan analitik (Sartorius® ENTRIS153-1S), dan mortar.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 6 sampel olahan daging kerang hijau dari tempat yang berbeda-beda dari wilayah Kota Bandar Lampung dengan berat masing-masing sebesar 2 gram berat kering, larutan HCl 37% (1:1) (Merck®), HNO₃ 65% (1:1) (Merck®), aquapure (ultrapure water) type 1, larutan

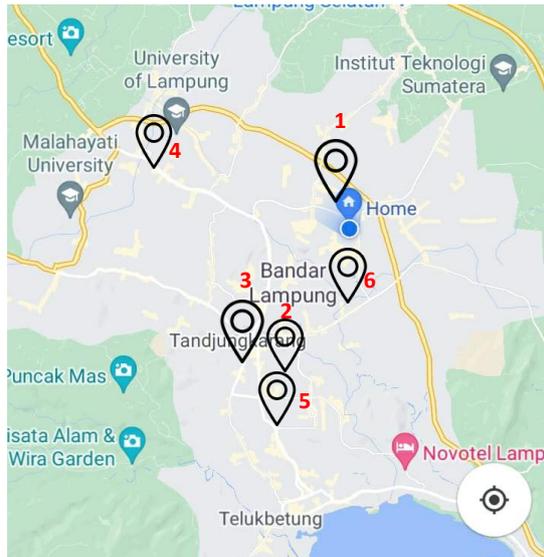
standard ICP multielement 1000 ppm (23 element dilute nitric acid Merck ®), akuades, vanadium oxide (Merck ®) 20 mg, asam sulfat (95-97 % Emsure ®) 10 ml, asam nitrat (65% Emsure ®) 10 ml, aquabidest (Ikapharmindo®) 50 ml, hidrogen peroksida (Emsure®) 2ml, larutan standar

3.3. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan metode acak sederhana (simple random sampling), setiap pengujian dilakukan pengulangan sebanyak dua kali. Pengambilan sampel dilakukan secara random dari berbagai lokasi tempat kuliner di seputaran Kota Bandar Lampung. Data yang diperoleh diuji dengan cara deskriptif dan dibandingkan dengan data yang disajikan oleh BPOM. Perincian kode sampel dan wilayah pengambilan sampel disajikan pada Tabel 4, sedangkan lokasi pengambilan sampel dapat disajikan pada Gambar 12 :

Tabel 4. Kode sampel dan pembagian wilayah pengambilan sampel

No.	Kode Sampel	Wilayah	Koordinat Lokasi Vendor
1	217	Jl. Sumpah Pemuda, Kel. Way Halim Permai.	-5.381149150197926, 105.27810662984848
2	632	Jl. Sriwijaya, Kel. Enggal	-5.4218151289295164, 105.25950014591217
3	418	Jl. R.A. Kartini, Kel. Palapa	-5.415518075782624 105.25469932705164
4	793	Jl. Z.A., Pagaralam, Kel. Gedong Meneng	-5.373593907540661 105.24109147489072
5	523	Jl. Dr. Susilo, Kel. Sumur Batu	-5.428835401264369 105.26147928088903
6	386	Jl. Pangeran Antasari Kel. Tanjung Baru	-5.404422472485289 105.27918621897696



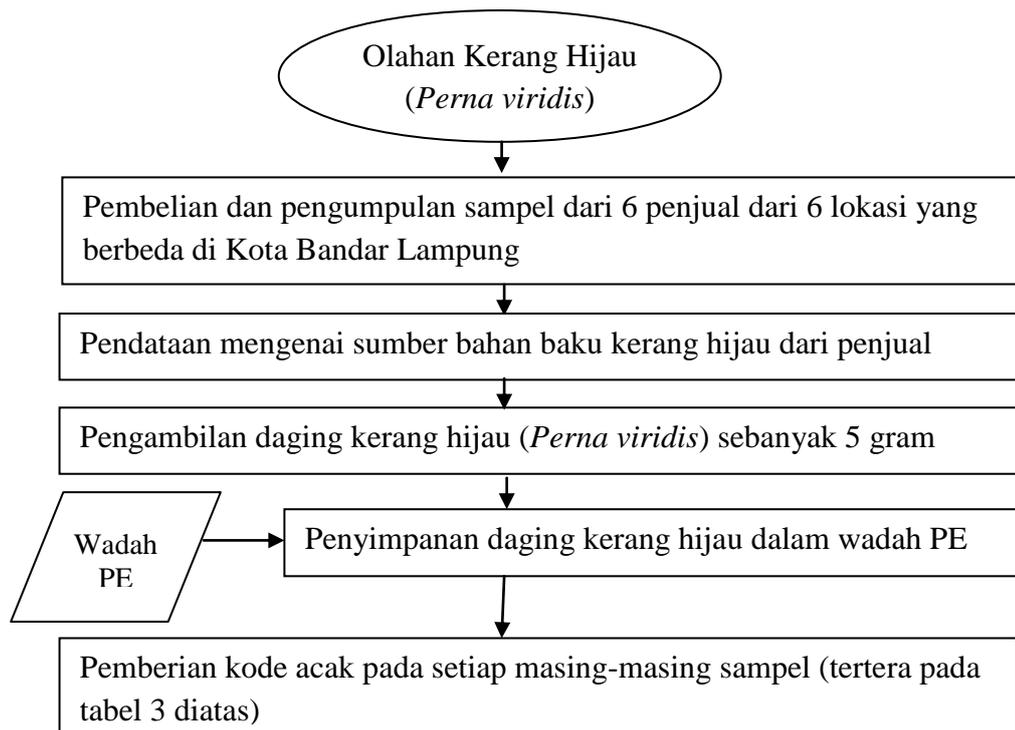
Gambar 12. Lokasi pengambilan sampel olahan kerang hijau (*Perna viridis*) di wilayah Kota Bandar Lampung.
Sumber : Google Maps (2022).

- Keterangan :
1. Jl. Sumpah Pemuda, Kel. Way Halim Permai
 2. Jl. Sriwijaya, Kel. Enggal
 3. Jl. R.A. Kartini, Kel. Palapa
 4. Jl. Z.A. Pagaralam, Kel. Gedong Meneng
 5. Jl. Dr. Susilo, Kel. Sumur Batu
 6. Jl. Pangeran Antasari, Kel. Tanjung Baru

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Pengambilan Sampel

Sampel olahan kerang hijau (*Perna viridis*) yang dijual dari 6 penjual olahan pangan di seputaran Kota Bandar Lampung dikumpulkan dan didata mengenai asal bahan baku mentahnya untuk kemudian diketahui sumber dan lokasi pembudidayaanya. Masing-masing sampel diambil sebanyak 100 gram daging bagian dalam kerang hijau, kemudian dilakukan penyimpanan dalam plastik PE yang telah diberi nomor kode acak berdasarkan pada Tabel 4 sebelumnya. Diagram alir proses pengambilan sampel disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram alir proses pengambilan sampel.
Sumber : Raharjo, dkk. (2018) dimodifikasi

3.4.2. Pengujian Kadar Logam Berat (Pb, Cd, dan Hg)

Prosedur pengujian kadar logam berat meliputi kadar timbal dan kadmium didasarkan pada US. EPA Method 200.7 (Determination of metal and trace elements in water and wastes by ICP-AES, 1994). Metode pengujian dengan ICP-AES yakni : 20 gram sampel basah dipotong kecil-kecil dengan bantuan pisau dan tempatkan sampel dalam wadah alumunium foil yang bersih. Sampel tersebut diidentifikasi sebagai sampel basah. Sampel basah kemudian dioven selama 1 jam pada suhu 100°C. Sampel yang telah kering tersebut kemudian dihaluskan dengan cara melumat sampel tersebut dengan bantuan alu dan mortar. Sampel yang telah halus tersebut kemudian dioven kembali pada suhu 100°C selama 30 menit. Pengujian dilanjutkan dengan penghalusan sampel kembali dengan alu dan mortar, kemudian dimasukkan ke dalam labu destruksi dengan penambahan HCl (1:1) dan HNO₃ (1:1) masing-masing sebanyak 5 ml. Sampel tersebut kemudian didestruksi dengan menggunakan heavy metal digester dengan suhu 95°C dalam

waktu 30 menit. Sampel kemudian didinginkan dalam suhu ruang dan disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman® no. 41. Hasil ekstrak kemudian diencerkan dengan Ultrapure dengan volume 20-25 ml.

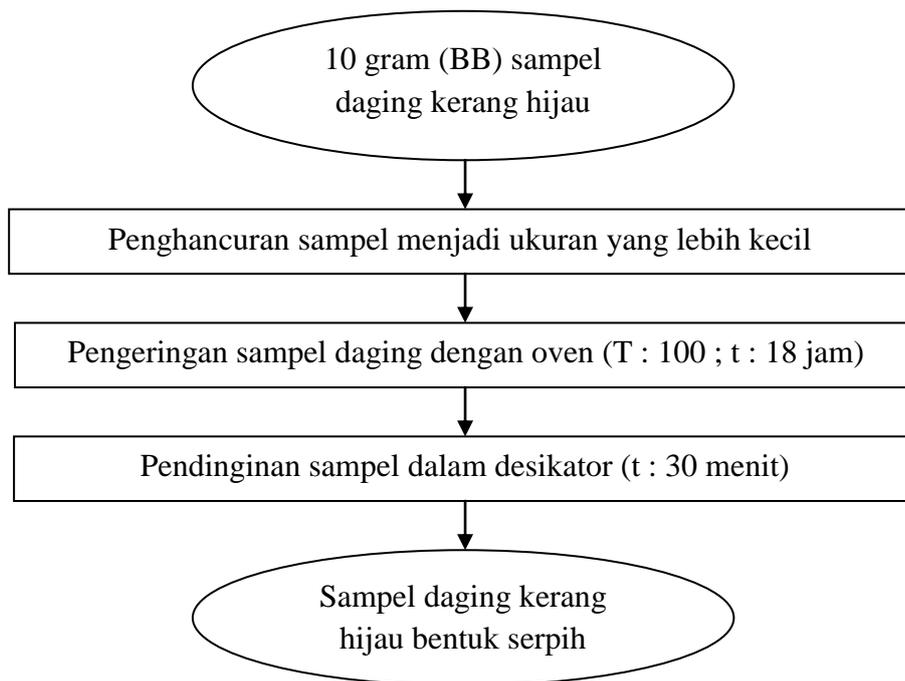
Prosedur pengujian merkuri yang didasarkan pada SNI nomor 01-2354.6 : 2006 (terbitan revisi 2015) mengenai cara uji kimia pada produk perikanan yakni dengan pemotongan sampel daging kerang sebanyak 5 gram yang kemudian ditimbang berat kering cawan dan berat basah sampel pada timbangan analitik. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu 100°C dalam waktu 18 jam. Sampel yang sudah kering kemudian dikeluarkan dari oven dan didinginkan di dalam desikator selama 30 menit, selanjutnya ditimbang dengan timbangan analitik untuk diketahui berat keringnya. Sampel kemudian diambil sebanyak 0,2 gram dan dimasukkan dalam labu didih yang ditambahkan vanadium oxide sebanyak 20 mg, asam sulfat sebanyak 10 ml, dan asam nitrat sebanyak 10 ml. Sampel kemudian dipanaskan dengan sistem refluks berupa heat mantle dan labu tegak pada suhu 50°C yang ditandai dengan mendidihnya larutan dalam labu didih. Selanjutnya, dilakukan kenaikan suhu 100°C selama 6 menit yang ditandai dengan keluarnya uap berwarna amber dari ujung lubang labu tegak. Pemanasan dilanjutkan dengan suhu 250°C selama 4 menit. Sampel yang telah dipanaskan tersebut kemudian didinginkan pada suhu ruang 28°C selama 45 menit. Sampel yang telah didinginkan kemudian dilakukan penambahan akuabidest dan H₂O₂ secara berurutan melalui lubang labu tegak, meliputi akuabidest 15 ml, kemudian H₂O₂ 2 tetes, dan terakhir penambahan akuabidest 15 mL. Sampel tersebut kemudian dilakukan pengadukan dan dituang pada labu ukur bervolume 100 ml. Agar mencapai garis tera, ditambahkan akuabidest hingga sampai batas tera. Rangkaian alat uji spektrofotometer serapan atom (SSA) dalam pengujian kadar logam berat disajikan pada Gambar 14



Gambar 14. Rangkaian alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).
Sumber : Dokumentasi penulis

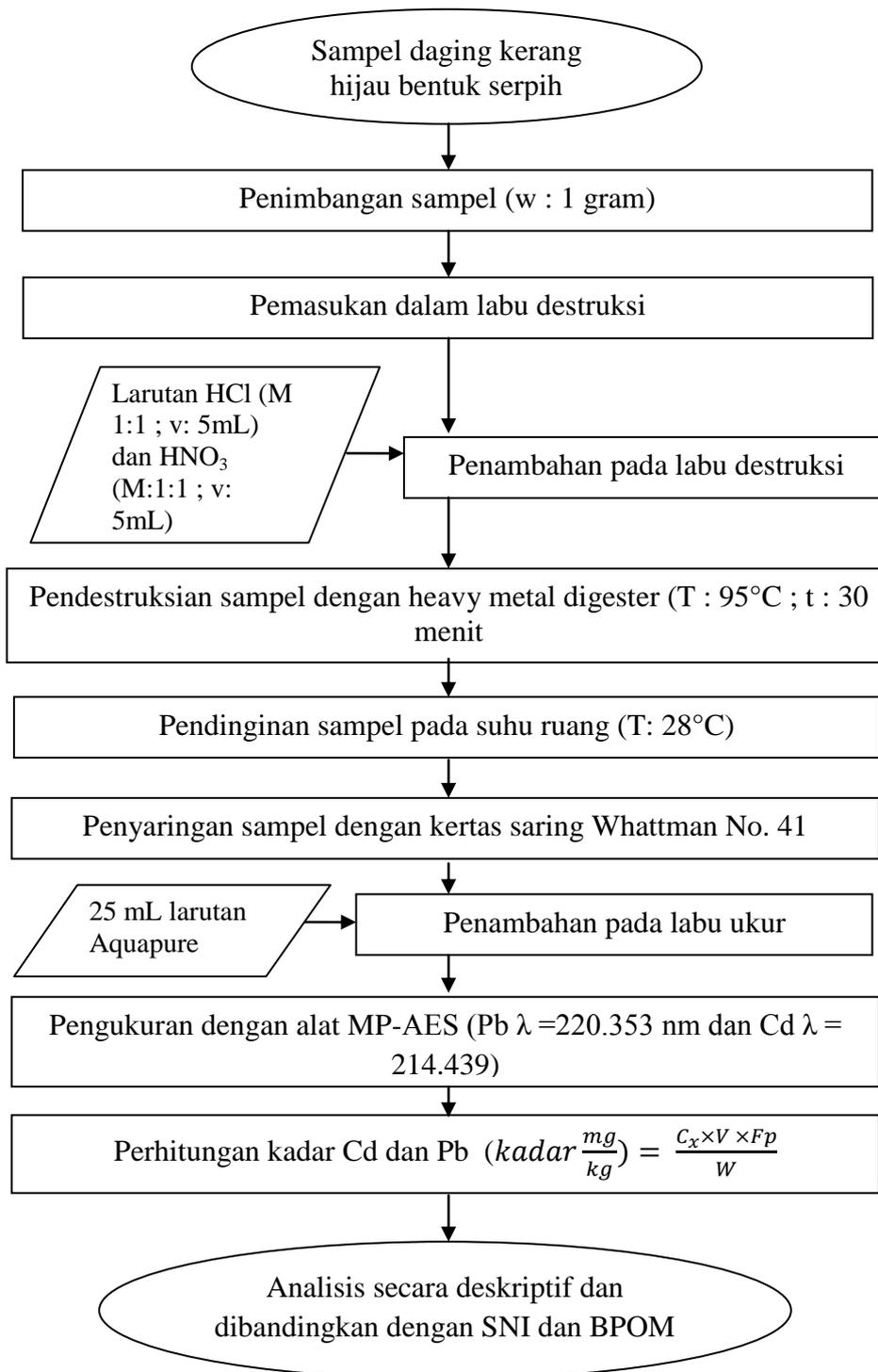
A. Preparasi Sampel untuk Pengukuran Kadar Cd dan Pb (US. EPA Method 200.7 Rev. 4.4)

Sampel berupa daging kerang hijau yang telah diolah, disiapkan (dipreparasi) yakni dengan mengambil 10 gram daging sampel kerang hijau. Berat sampel tersebut merupakan berat basah (BB). Dilakukan penghancuran sampel menjadi ukuran yang lebih kecil dengan bantuan alu dan mortar sehingga didapatkan luas permukaan sampel yang lebih besar dan mempermudah proses pengeringan di oven. Sampel tersebut kemudian dikeringkan di dalam oven dengan suhu 100°C dalam waktu 18 jam. Setelah sampel dikeringkan, selanjutnya sampel didinginkan dalam desikator selama 30 menit untuk mengurangi serapan kadar air yang terdapat di udara sekitar. Preparasi sampel Cd, Hg, Pb, dan skema alur pengukuran sampel dapat dilihat pada Gambar 15, 16, dan 17.



Gambar 15. Preparasi sampel untuk pengukuran kadar Cd dan Pb.
Sumber : US. EPA Method (2007).

B. Pengukuran Kadar Cd dan Pb dengan Alat Microwave Plasma Atomic Emmision Spectrophotometry (MP-AES) (US. EPA Method 200.7)



Gambar 16. Skema alir pengukuran sampel atas kadar Cd dan Pb pada olahan daging kerang hijau (*Perna viridis*).

Sumber : US. EPA Method 200.7 rev. 4.4 (2021).

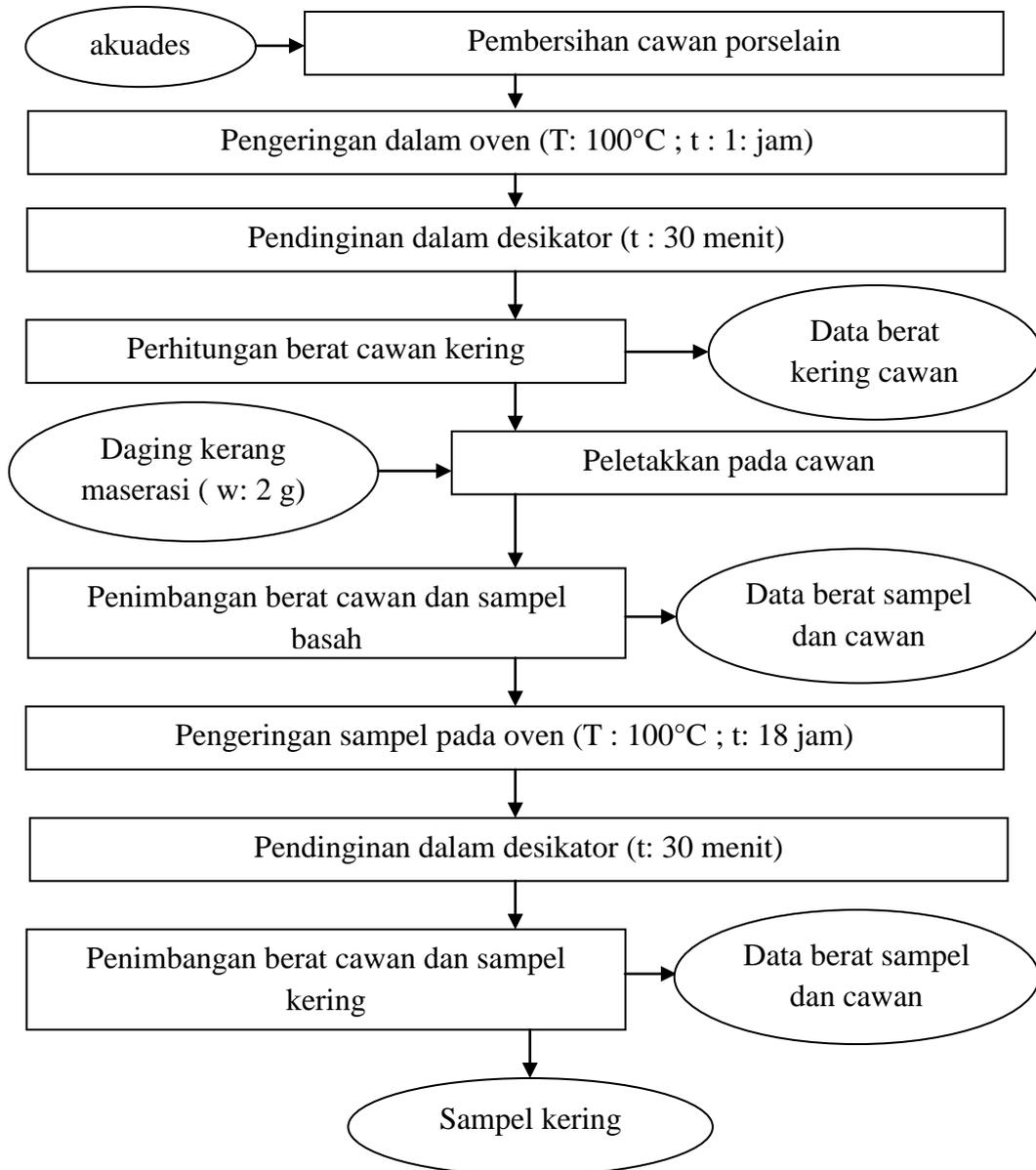
Proses pengukuran kadar Cd dan Pb dilakukan dengan menimbang sampel dalam bentuk serpih sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke dalam labu destruksi untuk selanjutnya dilakukan destruksi dengan metode heavy metal digester. Dilakukan penambahan larutan asam klorida (HCl 37%) 1:1 sebanyak 5ml dan larutan asam nitrat (HNO₃ 65%) 1:1 sebanyak 5 ml pada labu destruksi. Larutan kemudian dipanaskan dengan seperangkat alat *heavy metal digester* dalam waktu 30 menit dan suhu 95°C. Sampel kemudian didinginkan dalam suhu ruang selama 2 jam dan kemudian dituang dalam labu takar dan disaring dengan kertas saring Whatman no. 41. Ekstrak kemudian diencerkan dengan akuapure hingga garis tera pada labu ukur. Sampel tersebut kemudian dilakukan pengujian kadar logam berat Cd dan Pb dengan alat microwave plasma atomic emission spectrofotometry (MP-AES) Agilent® type 4100, dengan panjang gelombang (λ) sebesar 214.439 nm untuk Cd dan 220.353 untuk Pb. Data yang dihasilkan dari alat MP-AES kemudian dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\left(\text{kadar} \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{C_x \times V \times Fp}{W}$$

Keterangan :

- C_x : konsentrasi terukur (mg/l)
 V : Volume ekstrak sampel (ml)
 Fp : faktor pengenceran
 W : berat sampel (g)

C. Preparasi Sampel untuk Pengukuran Kadar Hg (SNI 01-2354.6 : 2006)

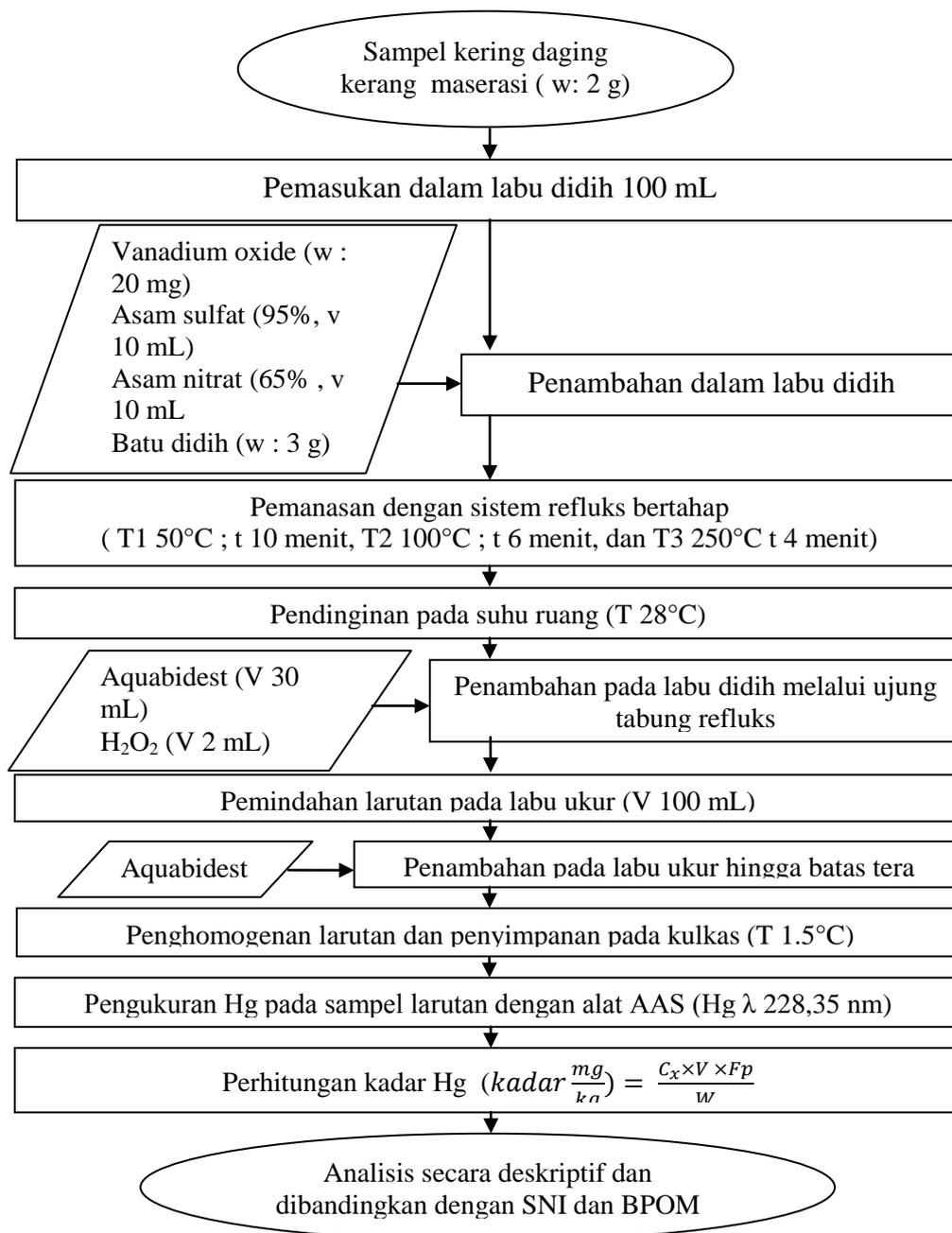


Gambar 17. Preparasi sampel untuk pengukuran kadar Hg .
Sumber : SNI 01-2354.6 (2006),dimodifikasi.

Pengukuran kadar Hg pada daging kerang olahan didasarkan pada SNI 01-2354.6 tahun 2006 mengenai pengukuran kadar Hg pada sampel produk perikanan. Cawan porselain yang hendak dipakai dibersihkan dan dicuci dengan akuades yang kemudian dikeringkan pada oven dengan suhu 100°C selama 1 jam.

Kemudian cawan tersebut didinginkan pada desikator untuk mencegah penyerapan uap air pada udara sekitar selama 30 menit. Berat cawan kering ditimbang dan didata. Selanjutnya, daging kerang hijau sebanyak 2 gram yang telah dimaserasi kemudian diletakkan pada cawan porselain tersebut. Cawan beserta sampel basah ditimbang untuk diketahui beratnya dan didata. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 100°C selama 18 jam. Sampel yang telah dikeringkan kembali didinginkan di dalam desikator dan dilanjutkan dengan penimbangan berat cawan beserta sampel kering. Untuk pengukuran Hg dengan alat atomic absorbance spectrophotometry serta lanjutannya disajikan pada Gambar 18 dan 19.

D. Pengukuran Kadar Hg dengan alat Atomic Absorbance Spectrophotometry (AAS) (SNI 01-2354.6 : 2006)



Gambar 18. Pengukuran Kadar Hg dengan alat Atomic Absorbance Spectrophotometry (AAS) .

Sumber :SNI 2354 : 2011 (BSN, 2021), dimodifikasi.

Proses pengujian kadar Hg pada sampel kerang hijau dilakukan dengan memasukkan sampel kerang hijau kering yang telah dimaserasi sebanyak 2 gram pada labu didih. Selanjutnya ditambahkan larutan asam sulfat 95% sebanyak 10

ml, asam nitrat 65% sebanyak 10 ml, dan vanadium oxide sebanyak 20 mg. Larutan tersebut kemudian diaduk hingga homogen di dalam lemari asam sehingga uap kimia tidak menyebar dan membahayakan laboratorium. Pengukuran kadar logam berat Hg dilanjutkan dengan perakitan seperangkat alat sistem refluks berupa alat labu tegak, heat mantle, dan kondensor. Proses pemanasan dilakukan secara bertahap dimulai dari T1, T2, dan T3 dengan rincian T1 dengan suhu 50°C selama 10 menit, T2 dengan suhu 100°C selama 6 menit, dan T3 dengan suhu 250°C selama 4 menit. Visual yang dapat dilihat berupa adanya uap berwarna amber yang keluar dari mulut labu tegak. Sistem dimatikan sehingga larutan dibiarkan dingin pada suhu ruang yakni 28°C. Selanjutnya ditambahkan akuabidest sebanyak 30 ml yang dimasukkan ke dalam labu didih melalui ujung labu tegak secara perlahan. Dilakukan penghomogenan larutan agar larutan terlarut, kemudian dilakukan penambahan H₂O₂ sebanyak 2 ml yang ditambahkan pada ujung labu tegak. Larutan kembali didinginkan pada suhu ruang 28°C. Setelah dingin, dilakukan pelepasan sistem refluks, dan pemindahan larutan dari labu didih menuju labu takar dengan ukuran 100 ml. Apabila larutan belum mencapai garis tera labu takar, maka ditambahkan akuabidest hingga garis batas tera. Larutan dihomogenkan secara perlahan dan kemudian disimpan pada kulkas dengan suhu 1,5°C. Pengukuran dengan alat atomic absorbance spectrophotometry (AAS) dengan λ 217,35 nm. Setelah dilakukan pengukuran dengan alat AAS, maka dilakukan penghitungan kadar Hg dengan rumus sebagai berikut :

$$\left(\text{kadar} \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{C_x \times V \times Fp}{W}$$

Keterangan :

C_x : konsentrasi terukur (mg/l)

V : Volume ekstrak sampel (ml)

Fp : faktor pengenceran

W : berat sampel (g)

Hasil yang didapat dari proses perhitungan kemudian akan dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan data menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM)

3.5. Prosedur Pengamatan

Prosedur pengamatan meliputi perbandingan data yang diperoleh dari hasil pembacaan kadar logam berat Cd, Pb, dan Hg yang didapat dari masing-masing sampel. Data-data tersebut kemudian dibandingkan dengan dengan batas standar maksimum total cemaran logam berat baik dari Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 5 tahun 2018 tentang batas maksimum cemaran kimia dalam pangan olahan serta Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 7387:2009 mengenai batas maksimum cemaran logam berat pada pangan.

Acuan yang dipakai merupakan acuan resmi dan sah yang berlaku di Indonesia, seperti badan pengawas obat dan makanan (BPOM) , yang merupakan badan yang mengatur dan memberikan izin pada produk-produk baik pangan dan non-pangan yang beredar di Indonesia sehingga pangan yang ada dikategorikan sebagai pangan yang aman untuk dikonsumsi baik dalam jangka waktu singkat atau jangka waktu panjang. Berdasarkan peraturan badan pengawas obat dan makanan No. 5 Tahun 2018, kadar maksimum cemaran kimia pada produk pangan olahan disajikan pada Tabel 5 :

Tabel 5. Data cemaran maksimal pada produk perikanan.

No	Nama Sampel	Batas Cemaran Maksimum (mg/kg)			
		As	Pb	Hg	Cd
1.	Ikan dan Produk Perikanan Termasuk Moluska, Krustase, dan Ekinodermata serta Amfibi dan Reptil	0,25	0,20 (kecuali untuk ikan predator olahan seperti cucut, tuna, marlin 0,40)	0,50 (kecuali untuk ikan predator olahan seperti cucut, tuna, marlin 1,0)	0,10 (kecuali untuk ikan predator olahan seperti cucut, tuna, marlin 0,30)

Sumber : BPOM (2018).

Selain dari BPOM, data cemaran logam maksimum juga akan dibandingkan dengan data yang terdapat pada Badan Standarisasi Nasional Republik Indonesia. mengenai batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan (SNI 7387:2009) yang masuk pada ruang lingkup yakni ditetapkannya persyaratan cemaran logam berat pada pangan dan batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan. Batas maksimum pada SNI 7387:2009 adalah konsentrasi maksimum emaran logam berat yang diizinkan atau direkomendasikan dapat diterima dalam pangan. SNI 7387:2009 merupakan pengembangan dan acuan normatif dari SNI yang telah ada sebelumnya, yakni SNI 01-2896-1998, cara uji cemaran logam berat dalam makanan dan SNI 01-4866-1998, cara uji cemaran arsen dalam makanan. Pada SNI 7387:2009, batas cemaran maksimal logam berat yang diatur meliputi arsen (As), kadmium (Cd), merkuri (Hg), Timah (Sn), dan timbal (Pb). Keempat logam berat tersebut secara umum dapat terdeteksi di dalam bahan pangan olahan secara tidak sengaja. Data cemaran maksimum disajikan pada Tabel 6 berikut

Tabel 6. Batas maksimal cemaran logam berat pada produk pangan olahan

No. Kategori Pangan	Kategori Pangan	Batas Maksimum
09.0	Ikan dan produk perikanan termasuk ekinodermata serta amfibi dan reptil	moluska, krustase, dan
	Ikan dan hasil olahannya	1,0 mg/kg
	Kekerangan (bivalve) moluska dan teripang	1,0 mg/kg
	Udang dan krustase lainnya	1,0 mg/kg

Sumber : SNI 7387 (2009).

Prosedur pengamatan meliputi perhitungan kadar logam berat yang dihasilkan dari pembacaan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Sampel yang sebelumnya telah didestruksi dan dilakukan pembacaan dengan *spiked* yang muncul yang menandakan adanya jejak kadar logam berat yang diidentifikasi meliputi timbal (Pb), kadmium (Cd), dan raksa (Hg). Hasil pada alat spektrofotometer serapan atom (SSA) dibaca meliputi larutan standar kerja, spiked, dan sampel pada panjang gelombang 283,3 nm untuk Pb; 228,8 untuk Cd. Kadar Cd, Pb dan Hg (mg/kg) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi (mg/kg)} = \frac{(D-E) \times Fp \times V}{W}$$

Keterangan :

- D : konsentrasi sampel ($\mu\text{g/l}$) dari hasil pembacaan alat spektrofotometer serapan atom (SSA)
- E : konsentrasi blanko sampel ($\mu\text{g/l}$) dari hasil pembacaan alat spektrofotometer serapan atom (SSA)
- Fp : Faktor pengenceran
- V : Volume akhir sampel larutan yang disiapkan (ml)
- W : Berat sampel (g)

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Disimpulkan bahwa produk olahan makanan kerang hijau (*Perna viridis*) yang dijual oleh pedagang di enam kecamatan di Kota Bandar Lampung mengandung logam berat Cd sebesar 1,75 mg/kg ; Pb sebesar 5,90 mg/kg ; dan Hg sebesar 0,0021 mg/kg. Kandungan Cd dan Pb sudah melebihi ambang baku mutu keamanan pangan berdasarkan Perka BPOM No. 5 Tahun 2018, dengan nilai maksimum yakni sebesar 0,10 mg/kg untuk Cd dan 0,20 mg/kg untuk Pb. Akan tetapi kandungan logam timbal (Hg) pada setiap sampel yang dijual di enam kecamatan di Kota Bandar Lampung berada di bawah ambang baku mutu berdasarkan Perka BPOM No. 5 Tahun 2018, yakni sebesar 0,50 mg/kg.

5.2. Saran

Atas dasar hasil penelitian, maka dapat disarankan sebagai berikut :

1. Masyarakat disarankan untuk tidak mengonsumsi produk olahan kerang hijau yang dijual di wilayah Jl. Z.A. Pagaralam, Kelurahan Gedong Meneng; Jl. Sriwijaya, Kelurahan Enggal; Jl. R.A. Kartini, Kelurahan Palapa; Jl. Sumpah Pemuda, Kelurahan Way Halim Permai; Jl. Dr. Susilo, Kelurahan Sumur Batu; dan Jl. Pangeran Antasari, Kelurahan Tanjung Baru. Mengingat kadar logam berat jenis kadmium (Cd) dan timbal (Pb) melebihi ambang batas mutu yang ditetapkan oleh BPOM.
2. Perlu diperluasnya wilayah pengambilan sampel olahan kerang hijau sehingga diketahui faktor resiko keamanan pangan yang luas atas cemaran logam berat pada produk kerang hijau olahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsuhendra dan Ridawati. 2013. *Bahan Toksik dalam Makanan*. PT. Remaja Rosdakarya. Bandung. 284 hal.
- Astawan, M. Wresdiyati, T., dan Sirait, T. 2015. Pengaruh konsumsi tempe kedelai Grobogan terhadap profil serum, hematologi, dan antioksidan tikus. *Jurnal Teknol dan Industri Pangan*, 26 (2) : 155-162.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. Cara uji kimia – bagian 6 : penentuan kadar logam berat merkuri (Hg) pada produk perikanan. SNI No 01-2354.6 : 2006. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2016. Sentra Informasi Keracunan Nasional. Artikel BPOM edisi Januari 2016. 20 hal.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2018. Berita Keracunan Bulan Juli–September 2017, Informasi Kejadian Keracunan yang Diberitakan Oleh 138 Media Massa Online Pada Bulan Juli–September 2017. Artikel BPOM edisi Juli 2018.
- Badan Pertanahan Nasional. 2020. Laporan Pilot Project Pulau Pasaran Sebagai Kampung Agraria. Kantor Wilayah Badan Pertanahan Nasional Provinsi Lampung. 21 hal.
- Bafihi, E. L. 2017. Pengaruh Salinitas Terhadap Toksisitas Logam Timbal (Pb) Pada Perkembangan Embrio Ikan Nila Jatimbulan (*Oreochromis niloticus*). Tesis. Universitas Airlangga. 177 hal.
- Boran, M. dan Altinok, I. 2010. A Review of Heavy Metals in Water, Sediment and Living Organisms in the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 10 : 565-572.
- Debnath, B., Singh, W., dan Manna, K. 2019. Sources and toxicological effects of lead on human health. *Indian Journal of Medical Specialities*. 10(2):66-74.
- Deswati, Suyani, H., dan Chairini, N. 2013. Studi optimasi penentuan seng secara voltametri stripping adsorptive (AdSV). *Jurnal Kimia Unand*. 2 (1) : 98-106.
- Emawati, E. 2015. Analisis timbale dalam kerang hijau, kerang bulu, dan sedimen di Teluk Jakarta. *IJPST Vol. 2(3)* : 105-111.

- Endrinaldi. 2010. Logam-logam berat pencemar lingkungan dan efek terhadap manusia. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. September 2009 - Maret 2010, Vol. 4, No. 1.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1997. *Mercury Study for Congress. Volume V: Health Effects of Mercury and Mercury Compounds. EPA-452/R-97-007*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development. 349 hal.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2021. *Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Rev. 4.4*. Revision 4.4. US. EPA. Cincinnati, Ohio.
- Hafizzullah, I. 2016. *Kajian Eksperimental Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Premium, Pertalite Dan Pertamina Terhadap Unjuk Kerja Motor 2 Langkah 135 CC*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta. 67 hal.
- Hamzah, F., dan Saputro, P. D. 2013. Pola sebaran logam berat dan nutrient pada musim kemarau di estuary Perancak Bali. *Jurnal Segara*. 9 (2) : 85-165.
- Ismi, L. I., Dewi, E., Riris, L. P., dan Irawan, S. 2019. Kandungan 10 jenis logam berat pada daging Ikan Sapu-Sapu (*Pterygoplichthys pardalis*) asal Sungai Ciliwung wilayah Jakarta. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, Vol. 5 (2) : 56-59.
- Kasari, A. F. 2016. Status pencemaran berdasarkan logam berat Pb, Hg, Cd, Cu, dan Ag dalam air dan sedimen di estuary Sungai Donan, Segara Anakan Timur (Skripsi). Bogor. 110 hal.
- Kim, Nam-Soo. 2011. National estimates of blood lead, cadmium, and mercury level in the Korean general adult population. *In. Arch. Occup. Environ. Health*, 84: 53-63.
- Knechtges, P. L. 2014. *Keamanan Pangan, Teori dan Praktik*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta. 538 hal.
- Komari, N., Utami, I., dan Etty, N. 2013. Kandungan Kadmium dan Seng pada Ikan Baung (*Hemibagrus nemurus*) di Perairan Trisakti, Banjarmasin, Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmiah Berkala Sains dan Terapan Kimia* 7 no 1 (2013) : 42-49.

- Kragulj, T. 2018. Lead contamination of fish and water from coastal sea of bar region (Montenegro). *Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management (JATEM)*, 1 (1): 124–129.
- Kurniawan, J. I. dan Aunurohim. 2013. Biosorpsi logam Zn^{2+} dan Pb^{2+} oleh mikroalga *Chlorella* sp. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 3(1): 2337-3520.
- Lestari, T.R.P. 2020. Penyelenggaraan keamanan pangan sebagai salah satu upaya perlindungan hak masyarakat sebagai konsumen. *Jurnal Masalah-Masalah Sosial*. 11 (1): 57-72.
- Marcus, A.C., Okoye, C.O.B. dan Ibeto, C.N. 2013. Bioaccumulation of trace metals in shellfish and fish of bonny river and creeks around Okrika in Rivers State, Nigeria. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 90(6) : 708-713.
- Nasution, S. B. 2014. Analisa Kadar Timbal Pada Sayur Kubis (*Brassica oleracea* L. var. capitata L) Yang Ditanam di Pinggir Jalan Tanah Karo Berastagi. *Jurnal Ilmiah PANNMED (Pharmacist, Analyst, Nurse, Nutrition, Midwivory, Environment, Dentist)*. 8(3), 291-289.
- Naully, P.G. dan Mathilda, F. 2018. Pencegahan penyakit akibat jajanan sekolah dengan edukasi kesehatan dan undang-undang perlindungan konsumen. *Gemassika: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 2(2), 80-90.
- Noor, N.M., Astuti, A.D. dan Efendi, E. 2016. Performance of green mussel (*Perna viridis*) in monoculture and polyculture system within sea bass (*Lates calcarifer*). *Jurnal Aquasains*. 4(2), 389-400.
- Nugraheni, H., Wiyatini, T., dan Wiradona, I. 2018. Kesehatan Masyarakat dalam Determinan Sosial Budaya. Penerbit Deepublish. Yogyakarta. 254 hal.
- Pemerintah Indonesia. Undang-Undang Pangan No. 18 Tahun 2012. Lembaran Negara RI Tahun 2012 Nomor 227, Tambahan Lembaran Negara RI Nomor 5360. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Pemerintah Indonesia. Peraturan Pemerintah No. 86 Tahun 2019. Lembaran Negara RI Tahun 2019 Nomor 249 , Tambahan Lembaran Negara RI Nomor 6442. Sekretariat Kabinet. Jakarta.
- Pemerintah Indonesia. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2014. Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Jakarta.

- Pemerintah Indonesia. Undang-Undang No. 1 Tahun 2014. Lembaran Negara RI Tahun 2014 Nomor 2, Tambahan Lembaran Negara RI Nomor 5490. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Pratiwi, D.F., Hidayat, D. dan Pratama, D.S. 2016. Tingkat Pencemaran Logam Kadmium (Cd) dan Kobalt (Co) pada Sedimen di Sekitar Pesisir Bandar Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 1(1) : 61-68.
- Purwiyanto, A.I.S. 2013. Daya serap akar dan daun Mangrove terhadap logam tembaga (Cu) di Tanjung Api-Api, Sumatera Selatan. *Maspari Journal* 5(1) : 1-5.
- Raharjo, P., Mursid, R., dan Onny, S. 2018. Analisis risiko kesehatan dan kadar timbal dalam darah: (studi pada masyarakat yang mengkonsumsi Tiram Bakau (*Crassostrea gigas*) di Sungai Tapak Kecamatan Tugu Kota Semarang). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, Vol 17 (1), 9-15.
- Rahmadani, T., Sabang, S.M. dan Said, I. 2015. Analisis kandungan logam zink (Zn) dan timbal (Pb) dalam air laut pesisir pantai Mamboro Kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akademika Kimia*, 4(4): 197-203.
- Rötting, T.S. 2014. Environmental distribution and health impacts of Asand Pb in crops and soils near Vinto smelter, Oruro, Bolivia, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(4) : 935–948.
- Riena, N. N., Putri, W. A. E., dan Agustriani, F. 2012. Analisis Kualitas Perairan Muara Sungai Way Belau Bandar Lampung. *Maspari Journal*, 4(1), 116-121.
- Risalatuzain, E., Yosephin, B. dan Okfrianti, Y. 2018. Identifikasi cemaran logam berat pada tempe di pengrajin tempe X dan Y Kota Bengkulu. *Jurnal Media Kesehatan*, 11(2) : 9-16.
- Rismansyah, E., Budianta D., dan Pambayun, R. 2015. Analisis kandungan timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dari beberapa tempat jajanan di Kota Palembang, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*. Vol. 17 No. 2 : 59-65.
- Safitri, S. S., Efendi, E., dan Yudha, I. G. 2018. Pencemaran Pb dan Cu pada Kerang Hijau di Pulau Pasaran, Lampung. *Jurnal Pengelolaan Perairan*. 1(2) : 10-18.
- Sari, A., Hidayat, D. dan Juliasih, N.L.G.R.. 2017. Kajian kandungan logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd), dan tembaga (Cu) pada Ikan Teri kering (*Stolephorus Sp.*) di Pesisir Teluk Lampung secara spektrofotometri

- serapan atom. *Journal Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 2(2).
- Sembel, L. 2012. Analisis beban pencemar dan kapasitas asimilasi di estuari Sungai Belau Teluk Lampung. *Maspatri Journal: Marine Science Research*,4(2), 178-183.
- Selpiani, L. dan Rosalina, D. 2015. Konsentrasi logam berat (Pb, Cu) pada kerang darah (*Anadara granosa*) di kawasan Pantai Keranji Bangka Tengah dan Pantai Teluk Kelabat Bangka Barat. *Oseatek*, 9(01).
- Setiawan, H. 2013. Akumulasi dan distribusi logam berat pada vegetasi mangrove di perairan pesisir Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 7 : 12-24.
- Setiyono, A., dan Annisa, D. 2012. Konsumsi ikan dan hasil pertanian terhadap kadar Hg darah. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 7 (2) :110-116.
- Sidjabat, Vichy A., Mahmudi, dan Yuli, P. 2020. Pengukuran timbal pada air sungai dan bioindikator lokal di Sungai Brantas Kota Kediri, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Ekologi Kesehatan*. Vol. 19 (3): 161-173
- Stancheva, Makedonski, dan Petrova. 2013. Determination of heavy metal (Pb, Cd, As, and Hg) in Black Sea grey mullet (*Mugil cephalus*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. Vol 19 (1) : 30-34
- Suprapti, N. H., Sya'rani, L., dan Anggoro, S. 2012. The chromium (Cr) content in water and in the tissue of mud crab (*Scylla serrata forskal*) in the brackishwater ponds around Babon River estuary of Semarang coastal area in Central Java Indonesia. *Journal of Coastal Development* 16 (1) : 62-67.
- Surono, S., Sudibyo, A., dan Waspodo, P. 2018. *Pengantar Keamanan Pangan Untuk Industri Pangan*. Penerbit Deepublish. Yogyakarta. 105 hal.
- Sutrisno dan Henny, K. 2015. Pengelolaan Cemaran Kadmium pada Lahan Pertanian Indonesia. *Buletin Palawija* Vol. 13 No. 1 : 83-91.
- Triana, L., Nurjazuli, dan Nur, E.W. 2012. Analisis cemaran logam berat merkuri pada air dan udang di Sungai Mandor Kecamatan Mandor Kabupaten Lebak. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. Vol. 11 (2) : 144-152.
- Tuloly, Z. 2013. *Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Jajanan Pinggiran Jalan Kecamatan Kota Tengah Kota Gorontalo*. (Skripsi). Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo. 87 hal.

- Umar, R. R., Jootje, M.L.U., dan Rahayu, H.A. 2021. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Makanan Jajanan Gorengan di Pinggiran Jalan Raya Kota Bitung Tahun 2021. *Jurnal Kesmas* Vol. 10 No. 5. 84-93.
- United States Environmental Protection Agency. 2021. Exposure Factors Handbook 1997, Final Report. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. 95 hal.
- University of California. 2014. *Byssal Threads, in Water Agency Eurasian Mussel Action Program*. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California. California. 89 hal.
- Wardani, D. A. K., Nur, K. D., dan Nur R. U. Akumulasi logam berat timbal (Pb) pada daging kerang hijau (*Perna viridis*) di muara sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Unnes Journal of Life Science*. Vol 3 (1) : 1-8.
- Widowati, H., Sulistianti, W.S., dan Susanto, A. 2017. Pengaruh proses pengolahan terhadap kadar logam berat dan kadar gizi pada kacang panjang. *Jurnal Pendidikan Biologi Universitas Muhammadiyah Metro*, 8(2) : 171-175.
- Wulan S.P., Thamrin ,dan Amin B. 2013. *Konsentrasi, Distribusi dan Korelasi Logam Berat Pb, Cr dan Zn pada Air dan Sedimen di Perairan Sungai Siak sekitar Dermaga PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang-Provinsi Riau*. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Riau. Hal 72-92