

**CEMARAN LOGAM BERAT MERKURI (Hg) TERLARUT DI
PERAIRAN KALIANDA (LAMPUNG) DAN
ANYER-PANIMBANG (BANTEN)**

(Skripsi)

Oleh

**INDAH TERESIA BR TARIGAN
1914221021**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2023**

ABSTRAK

CEMARAN LOGAM BERAT MERKURI (Hg) TERLARUT DI PERAIRAN KALIANDA (LAMPUNG) DAN ANYER-PANIMBANG (BANTEN)

Oleh

INDAH TERESIA BR TARIGAN

Wilayah pesisir Kalianda dan Anyer-Panimbang merupakan salah satu destinasi wisata pantai unggulan di Indonesia yang dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi daerah. Seiring berkembangnya zaman, pertumbuhan manusia semakin meningkat dan aktivitas manusia juga semakin padat. Aktivitas manusia ini tentunya menghasilkan limbah, seperti limbah industri dan limbah pertanian yang masuk ke dalam perairan laut. Salah satu limbah yang dihasilkan berupa logam berat merkuri terlarut yang sangat berbahaya (toksik) keberadaannya bagi manusia maupun biota yang ada di laut. Penelitian ini dilakukan pada bulan September–Oktober 2022. Tujuan dari penelitian ini yaitu memetakan sebaran konsentrasi logam berat merkuri terlarut dan mengkaji tingkat pencemaran di perairan Kalianda dan perairan sekitar kawasan wisata Anyer-Panimbang. Sampel uji adalah air laut untuk diuji konsentrasi merkuri terlarut dengan 13 stasiun pengamatan di perairan Kalianda, 12 stasiun pengamatan di perairan Anyer-Panimbang, dan 1 stasiun pengamatan di perairan Pulau Pasaran menggunakan metode AAS (*atomic absorption spectrophotometry*). Pengukuran secara *in situ* dilakukan dengan mengukur parameter kualitas air, yaitu, suhu, salinitas, pH, dan DO. Hasil penelitian ini menunjukkan 5 stasiun pada perairan Kalianda sudah terkontaminasi merkuri dan 4 di antaranya melebihi baku mutu peruntukan biota laut, sedangkan 1 dari 5 stasiun tersebut sudah melebihi baku mutu peruntukan wisata bahari. Sementara itu, 12 stasiun pengamatan pada perairan Anyer-Panimbang sudah melebihi baku mutu peruntukan biota laut, sedangkan 1 stasiun lainnya sudah melebihi baku mutu peruntukan wisata bahari. Tingkat pencemaran di perairan Kalianda tergolong tercemar ringan untuk wisata bahari, namun tergolong tercemar sedang untuk biota laut. Demikian juga perairan Anyer-Panimbang, tingkat pencemarannya tergolong ringan untuk wisata bahari dan tercemar sedang untuk biota laut. Sementara itu, tingkat pencemaran di Pulau Pasaran sudah tergolong tercemar sedang untuk wisata bahari dan untuk biota laut.

Kata kunci: limbah, AAS, toksik, merkuri, pencemaran.

ABSTRACT

THE CONTAMINATION OF THE DISSOLVED MERCURY (Hg) HEAVY METAL AT KALIANDA (LAMPUNG) AND ANYER-PANIMBANG (BANTEN) WATERS

By

INDAH TERESIA BR TARIGAN

Coastal areas in Kalianda and Anyer-Panimbang are one of the beach tourism destinations in Indonesia that can increase regional economic growth. Along with the times, human growth is increasing, and human activities are also getting denser. This human activity certainly produces waste, such as industrial waste and agricultural waste that enters marine waters. One of the wastes produced is in the form of heavy metal mercury (Hg) which is very dangerous for humans and marine biota. This research was conducted in September–October 2022. The purpose of this study is to map the distribution of dissolved heavy metal concentrations of mercury (Hg) and examine the level of pollution in Kalianda waters and the waters around the Anyer-Panimbang tourist area. The test samples were seawater to be tested for the concentration of dissolved mercury (Hg) heavy metals with 13 observation stations in Kalianda Waters, 12 observation stations in Anyer-Panimbang waters, and 1 observation station in Pasaran Island waters tested using the AAS (*atomic absorption spectrophotometry*) method. In situ measurement is carried out by measuring water quality parameters, namely, temperature, salinity, pH, and DO. The results of this study showed that 5 stations in Kalianda waters had been contaminated with dissolved mercury (Hg) heavy metals and 4 of them exceeded the quality standards for marine life designation, while 1 of the 5 stations had exceeded the quality standards for marine tourism designation. Meanwhile, 12 observation stations in Anyer-Panimbang waters have exceeded the quality standards for marine life designation, while 1 other station has exceeded the quality standards for marine tourism designation. The level of pollution in Kalianda waters is classified as lightly polluted for marine tourism but classified as moderately polluted for marine life. Likewise, Anyer-Panimbang waters, the level of pollution is relatively light for marine tourism and moderately polluted for marine life. Meanwhile, the level of pollution on Pasaran Island is classified as moderately polluted for marine tourism and marine life designation.

Keywords: waste, AAS, toxic, mercury, pollution

**CEMARAN LOGAM BERAT MERKURI (Hg) TERLARUT DI
PERAIRAN KALIANDA (LAMPUNG) DAN
ANYER-PANIMBANG (BANTEN)**

Oleh

INDAH TERESIA BR TARIGAN

(Skripsi)

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

: **CEMARAN LOGAM BERAT MERKURI (Hg)
TERLARUT DI PERAIRAN KALIANDA
(LAMPUNG) DAN ANYER-PANIMBANG
(BANTEN)**

Nama Mahasiswa

: **Indah Teresia Br Tarigan**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1914221021**

Jurusan/Program Studi

: **Perikanan dan Kelautan/Ilmue Kelautan**

Fakultas

: **Pertanian**



Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.
NIP 197505152002121007

Sofian Ansori, S.Si., M.Si.
NIP 199101042015031001

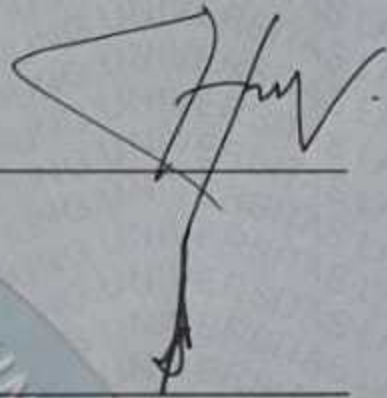
2. **Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan
Universitas Lampung**

Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.
NIP 197008151999031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.



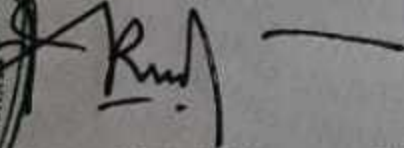
Sekretaris : Sofian Ansori, S.Si., M.Si.



Anggota : Eko Efendi, S.T., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 196110201986031002

Tanggal lulus ujian skripsi: 11 Mei 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana baik di Universitas Lampung maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan tim pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan naskah, dengan naskah disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 14 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan



Indah Teresia Br Tarigan

NPM. 1914221021

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Indah Teresia Br Tarigan, lahir di Sumatera Utara pada tanggal 07 Januari 2001, merupakan anak pertama dari empat bersaudara, buah kasih dari pasangan suami istri Bapak Drs. Joni Tarigan dan Ibu Pinta Lit Br Purba. Penulis pertama kali menempuh pendidikan pada umur 6 tahun di Sekolah Dasar Negeri (SDN) 040461 Berastagi pada tahun 2007 dan lulus pada tahun 2013, lalu melanjutkan ke pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 01 Berastagi dan lulus pada tahun 2016, kemudian melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 01 Berastagi dengan mengambil jurusan IPA dan selesai pada tahun 2019. Tahun 2019 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi pada tahun 2019 di Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Universitas Lampung. Penulis pernah aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) sebagai anggota pada periode 2020-2021. Penulis pernah mengikuti kuliah kerja nyata (KKN) di Desa Karang Anyar, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung selama 40 hari kerja pada bulan Januari-Februari 2022. Penulis pernah mengikuti kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) yang mencakup penelitian skripsi di Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang pada Juni-Desember 2022 dan menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan dengan judul “Analisis Kadar Amonia, Logam Berat Kadmium (Cd), dan Identifikasi Keanekaragaman Jenis Fitoplankton di Perairan Laut Pasauran, Desa Umbul Tanjung, Kecamatan Cinangka, Kabupaten Serang, Provinsi Banten”. Penulis juga aktif di kepengurusan muda-mudi gereja GBKP Runggun

Bandar Lampung. Penulis menjabat sebagai bendahara Permata (Persadan Man Anak Gereja-nta) selama 2 tahun. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti organisasi daerah yang bernama Imka (Ikatan Mahasiswa Karo) Rudang Mayang, Lampung sebagai anggota.

Berkat petunjuk dan pertolongan Tuhan Yang Maha Esa, usaha dan disertai doa kedua orang tua dalam menjalani aktivitas akademik di Universitas Lampung, puji Tuhan penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan skripsi yang berjudul “Cemaran Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut di Perairan Kalianda (Lampung Selatan dan Anyer-Panimbang (Banten))”.

PERSEMBAHAN

Puji Tuhan, segala syukur bagi Tuhan Yesus Kristus dengan kemurahan dan kasih setia-Nya, sehingga skripsi ini dapat ditulis dengan baik dan lancar hingga selesai.

Dengan ini, akan kupersembahkan skripsi ini kepada:

Kedua orang tuaku tersayang, Bapak Drs. Joni Tarigan dan Ibu Pinta Lit Br Purba, yang selalu setia mendoakanku, memberiku kasih sayang, memberi motivasi, memberiku kenyamanan, serta tanpa lelah mendukung semua keputusan dan pilihan dalam hidupku tanpa menuntut banyak hal.

Ketiga adikku, Iren Agresia Br Tarigan, Iyan Yosafat Tarigan, dan Icha Pricillia Br Tarigan yang selalu memberiku semangat, doa, serta dukungannya tanpa pernah memberikan tekanan kepadaku.

Bapak dan ibu dosen yang telah memberikan ilmu dengan tulus dan ikhlas serta teman-teman Program Studi Ilmu Kelautan 2019.

Serta

Almamaterku tercinta, Universitas Lampung

MOTTO

“Janganlah takut, sebab Aku menyertai engkau, janganlah bimbang, sebab Aku ini Allahmu; Aku akan meneguhkan, bahkan akan menolong engkau; Aku akan memegang engkau dengan tangan kanan-Ku yang membawa kemenangan”

(Yesaya 41: 10)

Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar. Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha.

(BJ. Habibie)

Jika kamu bekerja keras, kamu akan mendapatkan apa yang kamu inginkan.

Jangan mudah menyerah.

(Indah Teresia Br Tarigan)

SANWACANA

Puji syukur selalu terpanjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, atas berkat, kesehatan, kemudahan, kekuatan dan kasih-Nya sehingga penulis mampu menyusun dan menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Analisis Cemar Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut di Perairan Kalianda, Lampung Selatan dan Anyer-Panimbang, Banten” sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa di Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung agar lulus menjadi sarjana.

Penyusunan skripsi ini dapat terlaksana dengan baik tidak terlepas dari bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Drs. Joni Tarigan dan Ibu Pinta Lit Br Purba selaku orang tua penulis yang terhormat dan terkasih, yang selalu berjuang memberikan yang terbaik kepada penulis, memberikan kasih sayang, semangat, dukungan, motivasi, serta iringan doa yang tak ada putusnya dan kepada adik-adik penulis terkasih yang senantiasa memberikan semangat;
2. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si., selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan;
4. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan, selaku Dosen Pembimbing Akademik, dan selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan banyak bantuan, arahan, motivasi, dan bimbingan dari awal sampai akhir dalam penyusunan skripsi;

5. Sofian Ansori, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing 2 dari BPKIL Serang, yang telah memberi arahan serta bimbingan selama proses pengujian sampel penelitian dan penulisan skripsi;
6. Eko Efendi, S.T., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberi arahan dan masukan selama pengerjaan skripsi;
7. drh. Toha Tusihadi, selaku Kepala Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang;
8. Elis Mursitroini, S.Pi., Isnawaty, A.Md., Hendro Sulistiono, S.Si., Yeni Apriliani, A.Md., dan Jiji Suraji selaku analis dan laboran di Laboratorium Kualitas Air BPKIL Serang yang telah berbagi banyak ilmu selama melakukan penelitian;
9. Epran Pratama Ginting yang selalu mendukung, memberi semangat, membantu, dan memberi motivasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi ketika penulis mengalami kelelahan secara fisik maupun mental;
10. Teman seperjuangan dan sahabatku, Eka Novita Sari Sirait, Nenchy Anugrah Br Tarigan, Cova Selly Br Purba, dan Debora Patricia Sebayang, selaku teman dari Sumatera Utara dan saling kenal ketika di Bandar Lampung yang selalu setia menjadi tempat berkeluh kesah, menemani, dan membantu selama masa perkuliahan dan selama proses penulisan skripsi ini; dan
11. Teman seperjuangan dan sahabatku Annisa Novri Yanti, Dewi Alfya Rahmadita, Sheva Aryatama, serta teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu per satu yang telah bersedia membantu dalam kegiatan pengambilan sampel hingga berakhirnya penulisan skripsi ini.

Karena kebaikan semua pihak yang telah penulis sebutkan maupun yang tidak disebutkan, maka penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu penulis selalu mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kelengkapan dalam penyusunan skripsi ini agar menjadi lebih baik lagi.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi teman-teman mahasiswa dan pembaca untuk menambah pengetahuan dan wawasan mengenai skripsi ini.

Bandar Lampung, 11 Mei 2023



Indah Teresia Br Tarigan
NPM.1914221021

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
1.4 Kerangka Pemikiran	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Logam Berat	7
2.2 Karakteristik Logam Berat Merkuri (Hg).....	9
2.3 Pencemaran dan Toksisitas Logam Berat Merkuri di Perairan	12
2.4 Sumber-Sumber Bahan Pencemaran Logam Berat Merkuri ...	14
2.5 Merkuri (Hg) pada Lingkungan Perairan	15
2.6 Dampak Pencemaran Logam Berat Hg pada Lingkungan Laut	17
2.7 Dampak Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Manusia	19
2.8 Baku Mutu Merkuri (Hg) pada Lingkungan Perairan.....	20
2.9 <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS)	21
III. METODE PENELITIAN	25
3.1 Waktu dan Tempat.....	25
3.2 Penentuan Lokasi Sampling	27
3.3 Alat dan Bahan	29

3.4 Teknik Pengambilan Sampel.....	33
3.5 Prosedur Pengujian Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut	33
3.6 Analisis Data Kadar Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut.....	35
3.7 Analisis Distribusi Spasial Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut di Perairan	36
3.8 Analisis Status Mutu Air Laut Metode Indeks Pencemaran	36
3.9 Analisis Principal Component Analysis (PCA).....	39
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut pada Perairan Kalianda	40
4.1.1 Kadar Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut di Perairan	40
4.1.2 Dampak Keberadaan Merkuri (Hg) Terlarut di Perairan terhadap Pariwisata Pantai di Kalianda.....	45
4.2 Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut pada Perairan Anyer-Panimbang	51
4.2.1 Kadar Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut di Perairan	51
4.2.2 Dampak Keberadaan Merkuri (Hg) Terlarut di Perairan terhadap Pariwisata Pantai di Anyer-Panimbang	57
4.3 Indeks Pencemaran	59
4.3.1 Indeks Pencemaran pada Perairan Kalianda	59
4.3.2 Indeks Pencemaran pada Perairan Anyer-Panimbang ..	65
4.3.3 Indeks Pencemaran pada Perairan Pulau Pasaran.....	69
4.4 Parameter Kualitas Air.....	73
4.4.1 Derajat Keasaman (pH).....	73
4.4.2 Suhu	74
4.4.3 Salinitas	75
4.4.4 Oksigen Terlarut (DO)	76
4.5 Analisis Hubungan antara Konsentrasi Merkuri (Hg) terlarut dengan Parameter Fisika dan Kimia.....	77
V. KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	88

LAMPIRAN..... 99

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Baku mutu logam berat merkuri (Hg) terlarut pada perairan	21
2. Alat dan bahan yang digunakan pada pengambilan sampel di lapang .	30
3. Alat yang digunakan pada saat pengujian sampel di laboratorium	31
4. Bahan yang digunakan pada saat pengujian sampel di laboratorium ...	32
5. Hasil pengukuran parameter fisika, kimia, dan logam berat merkuri (Hg) terlarut pada perairan Kalianda	40
6. Hasil pengukuran parameter fisika, kimia, dan logam berat merkuri (Hg) terlarut pada perairan Anyer-Panimbang	52
7. Nilai dan evaluasi indeks pencemaran pada stasiun sampling perairan Kalianda	60
8. Nilai dan evaluasi indeks pencemaran pada stasiun sampling perairan Anyer-Panimbang	66
9. Hasil pengukuran parameter fisika, kimia, dan logam berat merkuri (Hg) terlarut pada perairan Pulau Pasaran	70
10. Nilai dan evaluasi indeks pencemaran pada stasiun sampling perairan Pulau Pasaran	70
11. Nilai analisis komponen utama eigenvalue Kalianda	79
12. Nilai analisis komponen utama eigenvectors Kalianda	79
13. Nilai analisis komponen utama eigenvalue Anyer-Panimbang	81
14. Nilai analisis komponen utama eigenvectors Anyer-Panimbang.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian	6
2. Logam merkuri (Hg).....	9
3. Lokasi pengambilan sampel	27
4. Peta lokasi penelitian I.....	28
5. Peta lokasi penelitian II	28
6. Peta lokasi penelitian III	29
7. Peta sebaran logam berat merkuri terlarut di perairan Kalianda	44
8. Peta lokasi wisata di sekitar lokasi sampling stasiun 2.....	46
9. Peta lokasi wisata di sekitar lokasi sampling stasiun 12.....	47
10. Peta lokasi di sekitar lokasi sampling stasiun 13	48
11. Peta sebaran logam berat merkuri terlarut di perairan Anyer- Panimbang.....	56
12. Peta lokasi wisata di sekitar lokasi sampling stasiun 5.....	58
13. Peta sebaran indeks pencemaran peruntukan wisata bahari perairan Kalianda	61
14. Peta sebaran indeks pencemaran peruntukan biota laut perairan Kalianda	63
15. Peta sebaran indeks pencemaran peruntukan wisata bahari perairan Anyer-Panimbang	67
16. Peta sebaran indeks pencemaran peruntukan biota laut perairan Anyer-Panimbang	68
17. Lokasi perairan Pulau Pasaran	72

18. Analisis hubungan antara konsentrasi merkuri terlarut dengan parameter fisika, kimia, dan nitrogen anorganik di perairan Kalianda.	78
19. Analisis hubungan antara konsentrasi merkuri terlarut dengan parameter fisika, kimia, dan nitrogen anorganik di perairan Kalianda.	80
20. Pengambilan sampel di perairan Kalianda	113
21. Pengambilan sampel di perairan Anyer-Panimbang	113
22. Pengujian konsentrasi merkuri terlarut di Laboratorium Kualitas Air BPKIL Serang	113
23. <i>Waterbath</i>	114
24. Hot plate dan stirrer	114
25. Reagen uji hidroksilamin hidroklorida	114
26. Reagen uji H ₂ SO ₄	114
27. Reagen uji K ₂ S ₂ O ₈	114
28. Reagen uji KMnO ₄	114
29. Alat penyaring sampel	115
30. Mikropipet	115
31. Kertas saring	115
32. Sampel uji	115
33. Akuades	115
34. Reagen uji HNO ₃ pekat	115

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Perhitungan nilai IP peruntukan wisata bahari pada perairan Kalianda .	100
2. Perhitungan nilai IP peruntukan biota laut pada perairan Kalianda.....	102
3. Perhitungan nilai IP peruntukan wisata bahari pada perairan Anyer- Panimbang.....	104
4. Perhitungan nilai IP peruntukan biota laut pada perairan Anyer- Panimbang.....	108
5. Perhitungan nilai IP peruntukan wisata bahari pada perairan Pulau Pasaran	112
6. Perhitungan nilai IP peruntukan biota laut pada perairan Pulau Pasaran	112
7. Dokumentasi pengambilan sampel	113
8. Dokumentasi pengujian sampel	113
9. Alat dan bahan pengujian pada laboratorium	114

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang sangat kaya akan sumber daya alam, terutama sumber daya laut. Laut Indonesia sebagai aset nasional memiliki banyak manfaat bagi manusia, khususnya sebagai penunjang perekonomian negara Indonesia. Indonesia memiliki wilayah perairan yang lebih luas dibandingkan daratannya. Diperkirakan dua per tiga dari wilayah Indonesia adalah perairan laut yang terdiri dari perairan pesisir (*continental shelf*), teluk, selat, dan laut lepas. Laut merupakan tempat bermuaranya sungai-sungai yang membawa berbagai macam bahan pencemar yang berasal dari daratan. Pencemaran laut mengakibatkan perubahan pada biodiversitas laut dan mengakibatkan berkurangnya estetika pada laut (Darmawan *et al.*, 2014).

Kekayaan dan potensi wilayah pesisir ini dapat memberikan manfaat kepada masyarakat luas. Wilayah pesisir dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan dan kepentingan manusia, seperti kegiatan rekreasi pantai atau wisata bahari, kegiatan transportasi laut, daerah penangkapan ikan oleh nelayan, pelabuhan, industri, pertanian, budi daya perikanan, dan permukiman penduduk (Azizah *et al.*, 2014).

Akibatnya wilayah pesisir pun cenderung dieksploitasi secara besar-besaran tanpa memperhatikan dampak buruk terhadap lingkungan sekitarnya, sehingga semakin berkembangnya pertumbuhan industri, kegiatan pelabuhan, serta semakin padatnya aktivitas penduduk secara langsung meningkatkan berbagai macam kegiatan yang dapat menghasilkan limbah industri dan limbah pertanian. Perairan laut merupakan kawasan yang sangat kompleks, dipengaruhi oleh proses tanpa akhir yang membuatnya selalu berubah dan bergerak dinamis dan mengakibatkan sebagian besar manusia tidak peduli dengan adanya pencemaran laut dan menganggap laut

adalah sebagai tempat pembuangan akhir. Selanjutnya, jika limbah dibuang secara terus-menerus ke laut dalam jumlah yang besar dan dengan tingkat konsentrasi yang tinggi, maka akan menyebabkan terjadinya pencemaran laut.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut, pencemaran laut adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan laut tidak sesuai lagi dengan baku mutu dan/atau fungsinya. Pencemaran laut dari kegiatan manusia memiliki kontribusi yang sangat besar, terlebih lagi setiap tahun angka pertumbuhan populasi manusia semakin meningkat. Pencemaran laut tidak dapat dipandang hanya sebagai permasalahan yang terjadi di laut, karena lautan dan daratan merupakan satu kesatuan ekosistem yang tidak dapat dipisahkan dan terpengaruh satu dengan yang lainnya. Kegiatan manusia yang sebagian besar dilakukan di daratan secara langsung maupun tidak langsung berdampak terhadap ekosistem di lautan.

Dinamika perkembangan wilayah yang sangat cepat mendorong peningkatan Masuknya zat pencemar ke perairan laut. Perkembangan wilayah ini juga terlihat di sekitar Selat Sunda, baik di Provinsi Lampung maupun di Provinsi Banten. Kota Bandar Lampung dan Kabupaten Lampung Selatan merupakan wilayah yang memiliki potensi sangat besar dalam menunjang ekonomi daerah. Peraturan Daerah Kabupaten Lampung Selatan Nomor 8 Tahun 2013 menyatakan bahwa wilayah pesisir Kalianda diproyeksikan sebagai pusat pertumbuhan wilayah pesisir Kecamatan Kalianda dengan kegiatan utama perikanan tangkap dan wisata bahari. Tidak jauh berbeda dengan Pulau Pasaran yang kerap dijadikan tempat destinasi wisata khusus sebagai pemanfaatan kawasan wisata produksi perikanan dan kelautan. Sama halnya dengan wilayah pesisir Anyer-Panimbang, Banten juga merupakan tempat yang menjadi tujuan banyak wisatawan karena wilayah ini memiliki destinasi pantai yang indah. Lokasi pesisir Anyer-Panimbang cukup strategis untuk dijadikan tujuan wisata bahari oleh masyarakat, yang mana lokasi nya tidak terlalu jauh dari Jakarta. Kelestarian lingkungan seperti keberadaan ekosistem

terumbu karang, ekosistem lamun, ikan-ikan kecil, dan lain sebagainya menjadi daya tarik wisatawan untuk melakukan kegiatan wisata bahari di wilayah ini.

Kegiatan rekreasi pantai ataupun wisata bahari yang ada di perairan Kalianda dan perairan Anyer-Panimbang dapat memberikan kontribusi yang besar dalam peningkatan pendapatan masyarakat yang tentunya akan berdampak besar terhadap perekonomian negara. Jika dimanfaatkan secara optimal, ini merupakan sumber devisa negara yang sangat besar dan akan membantu dalam merangsang pembangunan dan peningkatan kualitas sumber daya manusia (SDM) di pelosok-pelosok daerah. Adapun kegiatan-kegiatan wisata bahari yang sering dilakukan antara lain, wisata pantai, *snorkling*, *diving*, mancing, *jet ski*, berjemur, dan bere-nang. Wisata bahari secara umum memiliki tujuan untuk memperoleh manfaat ekonomi bagi masyarakat lokal, pemangku kepentingan wisata, dan pemerintah daerah.

Seiring dengan berkembangnya zaman, wilayah pesisir Kalianda, Pulau Pasaran dan Anyer-Panimbang mengalami pengembangan untuk berbagai macam kepentingan seperti, kegiatan transportasi laut dan kegiatan pelabuhan, kegiatan pertanian, kegiatan industri, kegiatan permukiman dan maritim, serta pengembangan budi daya laut dan perikanan. Kegiatan-kegiatan ini berpotensi menimbulkan permasalahan bagi lingkungan perairan Kalianda, lingkungan laut Pulau Pasaran, dan perairan Anyer-Panimbang, dimana kemungkinan besar berpotensi menghasilkan limbah yang tentunya berpotensi menurunkan kualitas perairan tersebut. Salah satu limbah yang masuk ke perairan adalah limbah logam berat. Salah satu jenis logam berat yang terdapat pada perairan adalah logam berat merkuri yang merupakan logam yang paling berbahaya keberadaannya ataupun bersifat toksik terhadap suatu perairan. Logam berat tersebut dapat bersumber dari masuknya limbah yang mengalir dari sungai, dibawa oleh arus maupun pembuangan limbah secara langsung ke perairan dari perusahaan industri tanpa pengelolaan yang baik dan benar terlebih dahulu. Masuknya limbah ke dalam laut ini, terutama limbah yang mengandung logam berat merkuri (Hg) dapat menyebabkan penurunan mutu dan kualitas air laut yang akan berdampak kepada orang-orang yang melakukan wisata bahari di daerah perairan tersebut.

Logam berat merkuri terlarut yang mencemari perairan kawasan wisata bahari memiliki dampak yang sangat berbahaya terhadap wisatawan yang melakukan rekreasi di daerah tersebut karena merkuri mudah diserap ke dalam tubuh dan dapat menghambat fungsi dari berbagai enzim bahkan dapat menimbulkan kerusakan sel. Maka dari itu, peneliti tertarik melakukan penelitian mengenai cemaran logam berat merkuri (Hg) terlarut pada perairan Kalianda (Lampung) dan Anyer-Panimbang (Banten).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memetakan sebaran konsentrasi logam berat merkuri terlarut pada perairan Kalianda (Lampung) dan perairan Anyer-Panimbang (Banten).
2. Mengkaji tingkat pencemaran di perairan Kalianda (Lampung), perairan Anyer-Panimbang (Banten), dan perairan Pulau Pasaran (Lampung) berdasarkan konsentrasi kandungan logam berat merkuri terlarut dan parameter kualitas air pendukung dengan menilai indeks pencemaran yang digunakan untuk kepentingan wisata bahari dan biota laut.

1.3 Manfaat Penelitian

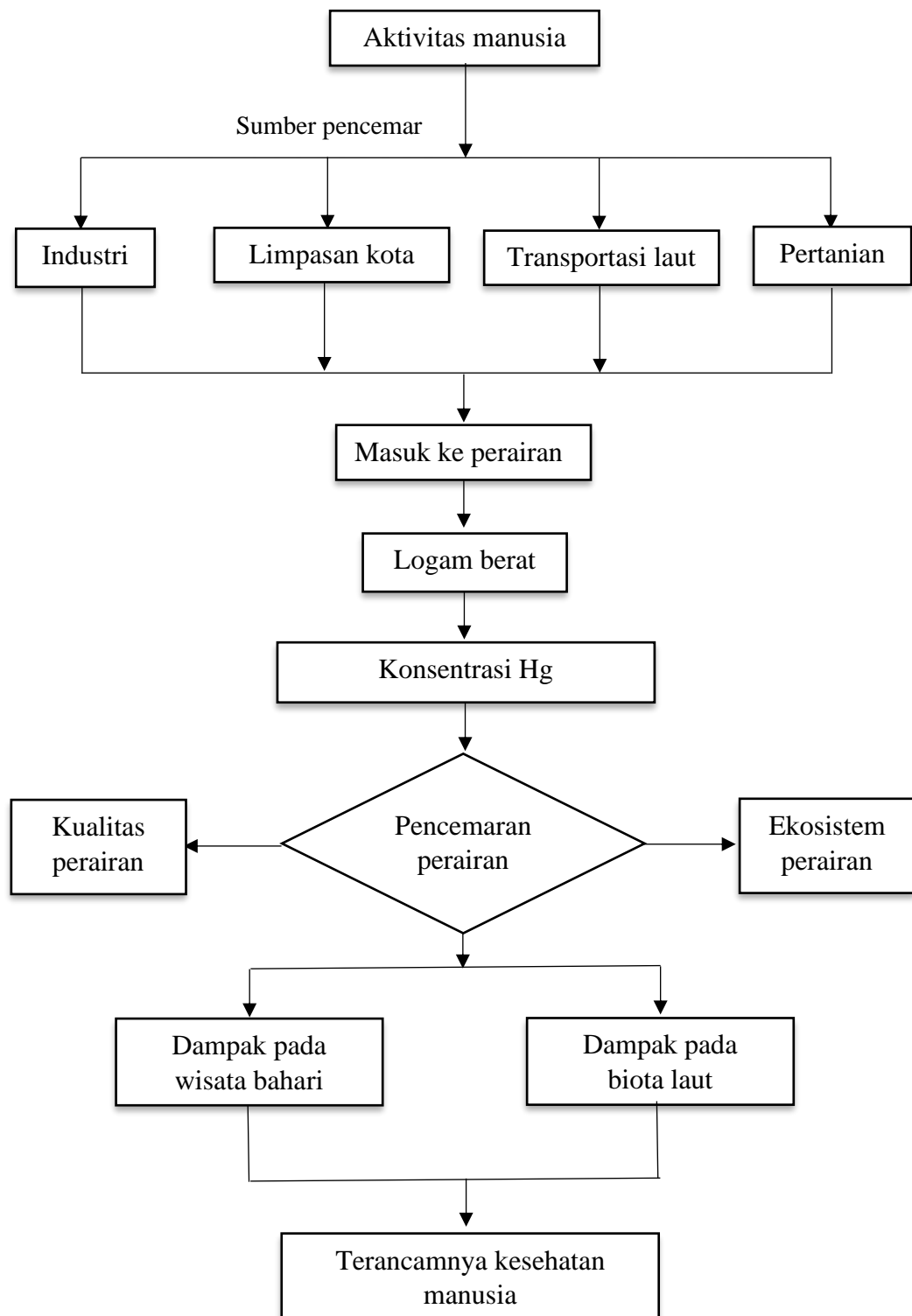
Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat memberikan informasi kepada Pemerintah Kabupaten Lampung Selatan dan Pemerintah Kabupaten Serang-Pandeglang mengenai kandungan logam berat merkuri terlarut di kawasan wisata perairan Kalianda di Lampung, perairan Anyer-Panimbang di Banten, dan perairan Pulau Pasaran di Lampung, khususnya dalam rangka peningkatan upaya pencegahan pencemaran air laut pada perairan Kalianda, perairan Anyer-Panimbang, dan perairan Pulau Pasaran.
2. Penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam perumusan kebijakan pengelolaan perairan Kalianda, Lampung dan perairan Anyer-Panimbang, Banten baik untuk kegiatan pariwisata, budi daya, dan kegiatan penangkapan dalam rangka mewujudkan sumber daya perikanan bebas logam berat.

3. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada masyarakat setempat terkait seberapa tercemarnya perairan yang ada di sekitar mereka.
4. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam pemanfaatan sumber daya laut serta dapat digunakan sebagai acuan dan relevansi untuk penelitian selanjutnya.

1.4 Kerangka Pemikiran

Kegiatan dan aktivitas manusia tidak terlepas dari limbah sisa yang dihasilkan. Limbah-limbah ini biasanya berasal dari kegiatan industri, transportasi laut, dan kegiatan pertanian. Adapun tempat pembuangan akhir dari limbah-limbah sisa tersebut tidak lain adalah ke dalam laut. Salah satu jenis limbah sisa yang dihasilkan diantaranya adalah limbah logam berat merkuri yang sangat berbahaya keberadaannya di perairan ataupun toksik. Keberadaan limbah logam berat jenis merkuri ini akan berpotensi menimbulkan dampak pencemaran bagi ekosistem perairan. Pencemaran ekosistem perairan ini akan menyebabkan penurunan kualitas perairan, yang tentunya akan berdampak pada wisata bahari di sekitar perairan Kalianda di Lampung dan perairan Anyer-Panimbang di Banten. Jika pembuangan limbah dilakukan secara terus menerus dan mungkin tanpa adanya pengelolaan yang baik dan benar terlebih dahulu dapat menyebabkan peningkatan bahan pencemar di perairan. Hal ini tentunya berdampak pada kesehatan manusia yang sedang melakukan rekreasi atau kegiatan wisata bahari pada perairan tersebut. Berikut tertera kerangka pikir penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Manusia dalam kehidupan sehari-hari tidak dapat terpisah dari benda-benda yang bersifat logam. Benda-benda logam ini digunakan sebagai alat perlengkapan rumah tangga, seperti sendok, garpu, pisau, sampai pada tingkat perhiasan mewah yang tidak dapat dimiliki semua orang, seperti emas dan perak. Secara langsung, dalam konotasi keseharian kita beranggapan bahwa logam diidentikkan dengan besi yang padat, berat, keras dan sulit dibentuk (Palar, 2012).

Logam merupakan unsur alam yang dapat diperoleh dari laut, erosi batuan tambang, vulkanisme, dan lain sebagainya (Clark, 1986). Menurut Palar (2012) dalam Risanti (2006), umumnya logam-logam di alam ditemukan pada elemen tunggal. Dalam penyebarannya logam-logam jarang dalam lapisan bumi, lebih banyak ditemukan dalam batuan.

Logam merupakan bahan pertama dikenal oleh manusia dan digunakan sebagai alat-alat yang berperan penting dalam sejarah peradaban manusia. Logam mula-mula diambil dari pertambangan di bawah tanah (kerak bumi), yang kemudian dicairkan dan dimurnikan dalam pabrik menjadi logam-logam murni. Logam kemudian dibentuk sesuai dengan keinginan misalnya, sebagai perhiasan emas, perak, dan peralatan pertanian (Darmono, 1995).

Pada dasarnya logam sangat diperlukan dalam proses produksi dari suatu pabrik, seperti pabrik cat, aki, sampai pada produksi alat-alat listrik. Pabrik biasanya menggunakan bahan berbentuk logam murni, bahan anorganik maupun bahan organik. Setiap pabrik menggunakan jumlah, bentuk, dan jenis logam yang bervariasi, bergantung pada jenis periodiknya. Unsur-unsur yang terdapat dalam tabel

periodik hampir 75% merupakan unsur logam. Unsur logam tersebut, ditemukan hampir pada setiap golongan kecuali pada golongan VII-A dan golongan VIII-A dari tabel periodik unsur kimia. Unsur-unsur logam tersebut dikelompokkan pula atas golongan-golongan sesuai dengan karakteristiknya (Palar, 2012).

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Misalnya, bila unsur logam besi (Fe) masuk ke dalam tubuh, meski dalam jumlah agak berlebihan, biasanya tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh, karena unsur logam besi (Fe) dibutuhkan untuk mengikat oksigen dalam darah (Palar, 2012).

Menurut Effendi (2000) *dalam* Satmoko (2006), logam berat merupakan unsur logam yang mempunyai densitas lebih besar dari 5 g/cm^3 pada air laut. Pada dasarnya, logam berat mencemari tanah, air, dan udara. Logam berat terdapat dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Dalam kondisi alami, logam berat juga diperlukan oleh organisme untuk melakukan pertumbuhan dan perkembangan hidupnya.

Sifat toksisitas logam berat dapat dibagi atas 3 kelompok, yaitu logam berat yang mempunyai tingkat toksisitas yang tinggi, sedang, dan rendah. Logam berat yang mempunyai tingkat toksisitas tinggi terdiri dari unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Logam berat yang mempunyai tingkat toksisitas sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co. Logam berat yang memiliki tingkat toksisitas rendah terdiri dari unsur Mn dan Fe. Keberadaan logam berat di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme perairan maupun dampaknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia (Rangkuti, 2009).

Khasanah (2009) *dalam* Tahril *et al.*, (2012) menyatakan bahwa berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dibagi menjadi dua jenis, yaitu logam berat esensial dan logam berat non esensial. Logam berat esensial keberadaannya sangat dibutuhkan oleh organisme hidup dalam jumlah tertentu, namun dapat menjadi racun dalam jumlah yang berlebihan. Adapun contoh logam berat esensial adalah Fe, Zn, Cu, Co, Mn dan Se. Logam berat non esensial merupakan logam berat

yang belum diketahui manfaatnya bahkan bersifat berbahaya dan beracun atau toksik (Irhamni *et al.*, 2017 dalam Syaifullah *et al.*, 2018). Karena sifatnya yang beracun maka logam yang termasuk dalam golongan ini memberikan efek yang negatif bagi kesehatan manusia. Adapun contoh dari logam non esensial ini adalah Hg, Pb, Cd, Sn, Cr (VI) dan As (Direktorat Pengawasan Produk dan Bahan Berbahaya BPOM RI, 2010).

2.2 Karakteristik Logam Berat Merkuri (Hg)

Merkuri adalah metal cair yang ditemukan pada natural deposit yang terdiri dari unsur-unsur lain. Logam berat jenis merkuri ini dihasilkan dari biji sinabar (HgS) yang mengandung unsur merkuri antara 0,1% - 4%. Sinabar (HgS) merupakan biji yang paling umum, namun demikian merkuri deposit terjadi dalam banyak bentuk, seperti gunung berapi, sedimen, dan batuan metamorf (Palar, 2012). Berikut tertera gambar logam berat merkuri di bawah ini (Gambar 2).



Gambar 2. Logam merkuri (Hg)

Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Pouring_liquid_mercury_bionerd.jpg

Merkuri dari biji sinambar, HgS, yang mengandung unsur merkuri antara 0,1% sampai dengan 4%. Berikut adalah reaksi kimia dari Hg.



Merkuri yang telah dilepaskan kemudian dikondensasi, sehingga diperoleh logam cair murni. Logam cair inilah yang kemudian digunakan oleh manusia untuk bermacam-macam keperluan (Palar, 2012).

Logam merkuri atau air raksa mempunyai nama kimia *hydragyrum* yang berarti perak cair. Logam merkuri dilambangkan dengan Hg. Pada tabel periodek unsur-unsur kimia, logam Hg mempunyai nomor atom 80 dengan berat atom 200,59 (Palar, 2012). Menurut Darmono (1995) dalam (Risanti 2006), bentuk fisik dan kimianya sangat menguntungkan untuk digunakan dalam industri dan penelitian. Dikatakan menguntungkan adalah karena beberapa hal, yaitu:

- Satu-satunya logam yang berbentuk cair dalam suhu kamar (25°C).
- Logam Hg mempunyai titik beku paling rendah yaitu senilai -39°C.
- Mempunyai kecenderungan menguap lebih besar.
- Logam Hg mudah dicampur dengan logam lain menjadi logam campuran (*amalgam/alloy*).
- Logam Hg mudah mengalirkan arus listrik sehingga baik digunakan sebagai konduktor.

Logam berat merkuri memiliki beberapa keuntungan, namun logam ini merupakan unsur yang sangat beracun bagi semua makhluk hidup, baik itu dalam bentuk unsur tunggal (logam) ataupun dalam bentuk persenyawaan. Logam ini dapat dengan cepat mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan. Hal ini memiliki dampak yang cukup buruk bagi organisme yang hidup di sekitar perairan tersebut.

Merkuri merupakan logam murni berwarna keperakan/putih keabu-abuan, cairan tak berbau, dan mengkilap. Bila dipanaskan sampai suhu 357°C, Hg akan menguap. Walaupun Hg hanya terdapat dalam konsentrasi 0,08 mg/kg kerak bumi, logam ini banyak tertimbun di daerah pertambangan. Merkuri dianggap logam berat paling beracun di lingkungan. Keracunan merkuri disebut sebagai *acrodynia* atau penyakit *pink*. Merkuri dilepaskan ke lingkungan oleh kegiatan industri seperti farmasi, kertas dan pengawet pulp, industri pertanian, dan klorin serta industri produksi soda kaustik (Morais *et al.*, 2012). Merkuri memiliki kemampuan

untuk menggabungkan diri dengan unsur-unsur lain dan membentuk merkuri organik dan anorganik. Paparan peningkatan kadar logam, merkuri organik dan anorganik dapat merusak otak, ginjal dan janin yang sedang berkembang (Alina *et al.*, 2012).

Merkuri hadir di sebagian besar makanan dan minuman di kisaran < 1 sampai 50 mg/kg. Dalam makanan laut sering terlihat di tingkat yang lebih tinggi. Merkuri organik dapat dengan mudah menyerap ke seluruh biomembran, karena bersifat lipofilik di alam. Merkuri hadir dalam konsentrasi yang lebih tinggi di sebagian besar spesies ikan berlemak dan dalam hati ikan berukuran kecil (Reilly *et al.*, 2007).

Mikroorganisme mengkonversi merkuri di dalam tanah dan air menjadi metil merkuri, racun yang dapat terakumulasi dengan usia ikan dan dengan meningkatnya tingkat tropik. Environmental Protection Agency (EPA) telah menyatakan merkuri klorida dan metil merkuri menjadi sangat karsinogenik. Sistem saraf sangat sensitif terhadap semua jenis merkuri. Peningkatan paparan merkuri dapat mengubah fungsi otak dan menyebabkan rasa malu, tremor, masalah memori, mudah marah, dan perubahan dalam penglihatan atau pendengaran (Martin dan Griswold, 2009).

Penggunaan bahan merkuri (Hg) dalam keseharian sudah berkembang menyebar luas. Merkuri digunakan dalam bermacam-macam perindustrian, untuk peralatan-peralatan listrik, digunakan untuk alat-alat ukur, dalam dunia pertanian sebagai pembasmi jamur dan keperluan-keperluan lainnya (Risanti, 2006). Dalam dunia medis, merkuri digunakan sebagai amalgam gigi atau bahan pengisi yang umum digunakan untuk menambal.

Merkuri memiliki batas atau kadar konsentrasi dalam air yang dikeluarkan oleh Pemerintah Indonesia dengan tujuan untuk mengetahui batas aman apakah suatu perairan sudah tercemar ataupun tidak. Baku mutu ini dapat digunakan dalam sarana rekreasi/wisata, biota laut, dan dalam pelabuhan. Hal ini memiliki tujuan untuk menjaga kualitas lingkungan perairan dan ekosistemnya agar secara berkelanjutan tetap dapat mendukung kehidupan manusia.

2.3 Pencemaran dan Toksisitas Logam Berat Merkuri (Hg) di Perairan

Logam berat merkuri di perairan diketahui dapat memberikan dampak negatif bagi kehidupan organisme, baik organisme air maupun darat dalam tingkat individu hingga pada struktur komunitas. Pencemaran perairan laut memiliki pengaruh yang membahayakan bagi kehidupan biota, sumber daya, dan kenyamanan ekosistem laut, baik disebabkan secara langsung maupun tidak langsung oleh pembuangan bahan-bahan atau limbah ke dalam laut yang berasal dari kegiatan dan aktivitas manusia (Dahuri, 2003 *dalam* Rangkuti, 2009). Logam berat merkuri yang berasal dari kegiatan dan aktivitas manusia yaitu biasanya berasal dari pertambangan, cairan limbah rumah tangga, dan limbah buangan industri. (Purwanto *et al.*, 2012). Menurut Group of Expert on Scientific Aspect on Marine Pollution (GES-AMP) *dalam* Rangkuti (2009) pencemaran laut merupakan masuknya zat-zat (substansi) atau energi ke dalam lingkungan laut dan estuari baik langsung maupun tidak langsung akibat adanya kegiatan manusia yang menimbulkan kerusakan pada lingkungan laut, kehidupan di laut, kesehatan manusia, mengganggu aktivitas di laut (usaha penangkapan, budi daya, alur pelayaran) serta secara visual mereduksi keindahan (estetika). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 1999, pencemaran laut didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu sehingga membuat lingkungan laut tidak sesuai lagi dengan baku mutu dan/atau fungsinya. Bahan pencemar atau limbah mempunyai karakteristik fisik dan kimia yang dapat menentukan sifat toksik dan persistensinya yang mudah ataupun sulit terurai dalam perairan laut. Pencemaran logam berat terhadap lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia. Pada awal digunakannya logam sebagai alat, belum diketahui pengaruh pencemaran pada lingkungan. Tahun demi tahun ilmu kimia berkembang dengan cepat dan dengan mulai ditemukannya garam logam (HgNO_3 , PbNO_3 , HgCl , CdCl_2), karena diperjualbelikannya garam tersebut untuk industri, maka tanda-tanda pencemaran lingkungan mulai timbul (Darmono, 1995 *dalam* Supriadi, 2016).

Manusia mempunyai banyak aktivitas yang dapat meningkatkan konsentrasi logam menjadi lebih tinggi. Pertambangan dan pengolahan biji, limbah air, limpahan air hujan dan pembuangan limbah industri adalah sumber utama pencemaran logam berat merkuri. Dalam beberapa kasus, logam berat terdapat secara alami dalam badan air pada tingkat di bawah ambang batas beracun, namun sifat logam yang tidak dapat didegradasi walaupun dalam konsentrasi rendah masih mungkin menimbulkan resiko kerusakan melalui penyerapan dan bioakumulasi oleh biota. (Savendra, 2004 *dalam* Supriadi, 2016).

Toksisitas logam berat di lingkungan laut menjadi perhatian utama karena berpotensi terhadap resiko sejumlah flora dan spesies fauna, termasuk manusia melalui rantai makanan ataupun terkena paparan secara langsung melalui kegiatan wisata bahari di laut. Selain itu, ada peningkatan bukti bahwa keberadaan logam berat terkait dengan beberapa penyakit mikroba dalam organisme air. Pada konsentrasi yang cukup tinggi, logam berat muncul menjadi racun bagi organisme sehingga sangat penting mengetahui seberapa banyak konsentrasi logam berat sebelum berespek pada organisme laut karena kemungkinan akan semakin meningkat dan melewati batas normal (Mohammed dan Ilhan, 2010).

Menurut Sastrawijaya (1991) *dalam* Bridiatama dan Masduki (2014), logam disebutkan polutan atau pencemar yang sangat toksik atau berbahaya karena logam bersifat tidak mudah terurai, salah satunya adalah logam berat merkuri. Darmono (1995) *dalam* Aryo (2009) mengklasifikasikan sumber pencemaran logam berat berdasarkan lokasinya, yaitu sebagai berikut:

1. Pada perairan estuaria, pencemaran memiliki hubungan yang erat dengan penggunaan logam oleh manusia.
2. Pada perairan laut lepas, kontaminasi logam berat biasanya terjadi secara langsung dari atmosfer atau terjadi karena adanya tumpahan minyak dari kapal-kapal tanker yang melaluinya.
3. Perairan sekitar pantai, kontaminasi logam kebanyakan berasal dari muara yang terkontaminasi oleh limbah buangan industri atau pertambangan.

2.4 Sumber-Sumber Bahan Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg)

Laut merupakan tempat bermuaranya berbagai saluran sungai. Dengan demikian laut menjadi tempat berkumpulnya zat-zat pencemar yang dibawa aliran air. Banyak industri atau pabrik yang membuang limbah industrinya ke sungai tanpa penanganan atau mengolah limbah terlebih dahulu, juga kegiatan dan aktivitas rumah tangga yang membuang limbahnya ke sungai. Limbah-limbah ini terbawa ke laut dan selanjutnya mencemari laut (Yanney, 1990 *dalam* Rinda, 2007). Pencemaran terhadap lingkungan laut dan tanah memiliki potensi yang sama. Laut dijadikan persinggahan kapal-kapal besar dan membuang sisa pembakaran yang tidak terpakai lagi. Berbagai sampah dan tumpahan limbah minyak dari kapal bercampur dengan air laut dan sedimen yang pada akhirnya memberikan dampak yang buruk pada lingkungan pesisir dan keragaman hayati.

Menurut Rahmawati (2011) *dalam* Supriadi (2016) bahan pencemar atau polutan merupakan bahan-bahan yang bersifat asing bagi alam atau bahan yang datang dari alam dan memasuki suatu tatanan ekosistem sehingga mengganggu ekosistem tersebut. Ada 2 sumber pencemaran yang masuk ke dalam perairan, yaitu pencemaran yang disebabkan oleh alam (alamiah) dan pencemaran karena kegiatan manusia yang umumnya disebut sebagai polutan antropogenik.

Logam berat bisa masuk ke lingkungan laut secara alami melalui pelapukan, erosi batuan dan tanah, atau melalui limpasan perkotaan dari kota, air hujan, limbah industri, operasi pertambangan, atmosfer deposisi dan aktivitas pertanian (Batley dan Stoker 1996 *dalam* Govindasamy C *et al.*, 2011). Menurut Cornwell (1991) *dalam* Rahmawati (2011), sumber bahan pencemar yang masuk ke perairan dapat berasal dari buangan yang diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Point source discharges* (sumber titik), yaitu sumber titik yang dapat diketahui secara pasti dapat berupa suatu lokasi seperti air limbah industri maupun saluran drainase. Air limbah merupakan hasil sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair (PP No.82 Tahun 2001).
2. *Non point source* (sebaran menyebar), dimana bahan pencemar tidak diketahui secara pasti bersumber dari mana. Biasanya pencemar masuk ke perairan

melalui *run off* (limpasan) dari wilayah pertanian, permukiman, dan perkotaan.

Proses geologi dan biologi adalah salah satu kegiatan yang dapat menjadi sumber pencemaran merkuri, akan tetapi tidak sebanding dengan pencemaran yang bersumber dari kegiatan manusia seperti, pembakaran batu bara, jenis-jenis produk minyak bumi, penggunaan fungisida, katalisator merkuri, dan penambangan emas yang menggunakan merkuri sebagai bahan pengekstraksi emas (Fatimawali *et al.*, 2011).

2.5 Merkuri (Hg) pada Lingkungan Perairan

Merkuri (Hg) merupakan salah satu dari bahan pencemaran logam berat yang sangat penting untuk diperhatikan. Selain dapat masuk secara langsung ke dalam perairan alami dari buangan limbah industri juga dapat masuk melalui air hujan dan pencucian tanah (Achmad, 2004). Selain itu, merkuri masuk ke perairan dapat disebabkan juga oleh aliran sungai.

Merkuri yang terbawa oleh air sungai dapat mengalami absorpsi dan transportasi. Absorpsi adalah salah satu kemampuan suatu zat menempel pada permukaan sedangkan transportasi adalah salah satu pergerakan suatu zat yang memasuki kompartemen yang ada di lingkungan dan dengan cepat zat akan terdistribusi ke kompartemen terdekat (Soemirat dan Ariesyady, 2015). Merkuri di alam merkuri (air raksa) ditemukan dalam bentuk elemen merkuri (Hg₀), merkuri monovalen (HgI), dan bivalen (HgII). Merkuri yang terbawa dan masuk ke perairan laut mudah berikatan dengan klor di air laut, reaksi kimianya akan membentuk ikatan HgCl (senyawa merkuri anorganik), pada bentuk ini Hg akan mudah masuk ke dalam plankton dan dapat berpindah ke biota air lainnya (Diliyana, 2008). Merkuri anorganik (HgCl) akan tertransformasi menjadi merkuri organik (merkuri metil) oleh peran mikroorganisme yang terjadi di sedimen di dasar perairan (Santosa, 2013).

Metil merkuri dalam jumlah 99% terdapat di dalam jaringan daging ikan. Merkuri merupakan zat yang lipofilik di mana dengan sifat ini merkuri mudah berdifusi melewati membran kulit kemudian masuk ke dalam jaringan tubuh (Palar, 2012

dalam Akhadi, 2014). Paparan merkuri pada ikan dapat merusak sistem saraf dan apabila ikan tersebut dikonsumsi oleh manusia dengan kadar yang tinggi bisa membahayakan sistem kekebalan tubuh, otak, paru-paru, jantung, dan ginjal.

Di lingkungan perairan, merkuri terdapat dalam berbagai bentuk yang bergantung pada kondisi oksidasi-reduksi. Bentuk HgCl_4^{2-} dan HgOH^- mendominasi dalam kondisi oksidasi yang baik, sedangkan bentuk terkait belerang (HgS^{2-} dan CH_3HgS^-) berlaku dalam kondisi reduksi. Pada kondisi menengah, bentuk alkil merkuri, MeHgCl dan EtHgCl , paling sering ditemukan (Kabata dan Mukherjee 2007; Kabata 2011; Tyler 1992). Bentuk-bentuk merkuri yang larut, seperti $[\text{HgOH}]^+$, $[\text{HgCl}]^+$, $[\text{HgCl}_2]$, $[\text{HgCl}_3]^-$, $[\text{HgCl}]^{2-}$, dan $[\text{HgS}_2]^{2-}$, sering dijumpai. Konsentrasi ion Cl^- yang lebih tinggi, yang membentuk kompleks stabil dengan merkuri, seperti HgCl_3^- , HgCl_2^- , HgCl_4^{2-} , atau HgBrCl^- , menyebabkan peningkatan pelarutan fase padat merkuri (Grassia dan Nettib, 2000).

Di lingkungan akuatik, merkuri mengalami berbagai proses kimia dan biokimia yang mengkonduksikan spesiasi dan transpornya antara fase padat dan fase air (Fitzgerald *et al.*, 2007; Morel *et al.*, 1998). Pada lingkungan akuatik (air, sedimen, fauna akuatik, dan flora), sebagian besar merkuri terdapat dalam bentuk organik dan anorganik dari merkuri divalen dan $\text{Hg}(0)$, sebagai bentuk merkuri yang larut dalam fase air (Ullrich *et al.*, 2001). Proses adsorpsi dan desorpsi merkuri di lingkungan perairan memainkan peran yang mendominasi dalam distribusi berbagai bentuk merkuri dalam unsur-unsur tertentu di lingkungan perairan. Di perairan, proses ini juga bertanggung jawab atas jalannya transportasi, transformasi, dan penyerapan merkuri oleh organisme hidup, dan mereka juga mengkonduksikan toksisitas unsur ini.

Di perairan laut, merkuri terutama terdapat dalam bentuk Hg^0 , Hg^{2+} , MeHg , dan diMeHg dan dalam bentuk koloid (Morel *et al.*, 1998). Di perairan laut, merkuri membentuk senyawa dengan klorin (HgCl_3^- dan HgCl_4^{2-}) lebih banyak daripada oksida, seperti yang terjadi di air tawar (Mason dan Fitzgerald, 1993). Telah dibuktikan bahwa di air asin, Hg^{2+} membentuk kompleks dengan halida, seperti klorin, dan kompleks ini tidak mengalami proses reduksi dan metilasi (Gardfeldt *et al.*, 2003; Whalin *et al.*, 2007) secepat Hg^{2+} lainnya. Merkuri gas terlarut (DGM)

muncul sebagai hasil dari transformasi Hg^0 dan Me_2Hg (Lamborg *et al.*, 1999; Mason *et al.*, 1995), dengan bentuk Hg^0 mendominasi di lapisan atas lautan (Gardfeldt *et al.*, 2003; Laurier *et al.*, 2003).

Sebagai hasil dari fiksasi merkuri yang intensif oleh sedimen dasar, terdapat risiko akumulasi merkuri dalam organisme akuatik (Wilken dan Hintelmann, 1991). Survei pada spesies ikan air laut dan air tawar yang berbeda telah menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri dalam jaringan mereka meningkat seiring bertambahnya massa tubuh dan usia (Squadrone *et al.*, 2013). Kandungan merkuri dalam biota laut tidak hanya bergantung pada spesiesnya. Survei yang dilakukan oleh Monteiro *et al.*, (1996) pada delapan spesies ikan Atlantik Utara menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri pada ikan bervariasi bergantung pada kedalaman tempat tinggal mereka. Konsentrasi merkuri rata-rata pada spesies ikan yang dicakup oleh survei bervariasi antara 57 dan 377 ppb dalam jaringan segar dan empat kali lebih tinggi pada spesies mesopelagik (kedalaman lebih dari 300 m) dibandingkan dengan spesies epipelagik (kedalaman kurang dari 200 m). Nasib spesies Hg organik dalam ekosistem laut juga bergantung pada suhu air permukaan, pasokan nutrisi, dan kelimpahan fitoplankton dan komposisi spesiesnya (Szefer, 2002).

2.6 Dampak Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Lingkungan Laut

Kegiatan manusia merupakan sumber utama pemasok logam merkuri ke lingkungan. Kegiatan itu seperti kegiatan pertambangan, kegiatan rumah tangga dan perkotaan, kegiatan industri, dan kegiatan lainnya yang menjadikan logam berat merkuri sebagai bahan baku maupun bahan pelengkap, sehingga limbahnya merupakan sumber pencemaran Hg. Beberapa penelitian mencatat bahwa setiap ton Hg dapat melepas sekitar 150-200 g merkuri ke atmosfer dan air buangan (Edaniati, 2015).

Tingkat racun atau toksisitas logam berat pada biota perairan dipengaruhi oleh jenis logam, spesies biota, daya permeabilitas biota, dan mekanisme detoksikasi (Darmono, 2011 *dalam* Supriadi, 2016). Logam berat merkuri dapat mengumpul dan terakumulasi di dalam suatu biota dan tetap tinggal di dalam tubuh dalam

waktu yang cukup lama sebagai racun (Ferdiaz, 2005). Dalam batas dan konsentrasi tertentu, merkuri dapat menimbulkan pengaruh yang negatif terhadap biota yang ada di perairan dan pada manusia yang terkena paparannya melalui kegiatan wisata bahari di laut.

Logam berat merkuri memiliki daya racun yang dapat bekerja sebagai penghalang kerja enzim dalam proses fisiologis atau metabolisme tubuh yang dapat menyebabkan proses metabolisme terputus. Selain itu, bahan beracun senyawa kimia dari logam berat dapat terakumulasi dan menumpuk di dalam tubuh sehingga menimbulkan problema keracunan kronis (Palar, 2012). Kontaminasi pada wilayah pesisir dan lingkungan laut dapat bersumber dari permukiman dan limbah industri yang biasanya mengandung logam berat seperti seng, mangan, besi, tembaga, dan elemen lainnya. Logam berat secara terus-menerus akan terkontaminasi pada lingkungan pesisir dan laut sehingga akan menimbulkan akibat yang buruk, seperti terjadi kerusakan pada lamun yang tumbuh di habitat pantai yang dangkal. Selain itu, adanya aktivitas laut seperti lalu lintas kapal air dan tumpahan limbah yang mengandung logam berat akan berpotensi menurunkan kualitas perairan itu sendiri (Govindasamy C, *et al.*, 2011).

Tubuh tidak dapat menghancurkan ataupun mengubah logam berat yang diserap menjadi senyawa yang tidak berbahaya karena sifat logam berat yang tidak dapat tersuspensi. Namun, logam berat dapat dikeluarkan melalui ekskresi yang dilakukan oleh tubuh. Sama halnya juga dengan lingkungan perairan, dimana logam berat yang tercemar ataupun mencemari perairan akan sulit dan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk didegradasi sehingga jenjang waktu pencemaran akan lama dan sangat berpengaruh terhadap organisme akuatik (Nordberg, 1986) *dalam* (Satmoko, 2006).

Kehidupan air akan sangat terancam apabila logam berat tercemar di sungai, danau, dan sampai di laut. Terutama terhadap ikan-ikan yang hidup di perairan yang tercemar logam berat. Hal yang sama dijelaskan oleh Bridiatama dan Masduki (2014) bahwa, selain itu sifat toksik dari logam berat tidak hanya terakumulasi dalam sedimen, akan tetapi juga terakumulasi pada biota laut melalui beberapa

proses yaitu, proses biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi. Logam berat yang terakumulasi oleh hewan tidak dapat lagi dikeluarkan dan dampaknya berkepanjangan karena logam berat ini akan terbawa dalam rantai makanan.

2.7 Dampak Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Manusia

Logam berat merkuri yang terlepas di lingkungan akan sangat berbahaya. Menurut Sartono (2002) menyatakan bahwa efek logam berat merkuri sangat besar pengaruhnya pada kesehatan manusia yang berkaitan dengan sistem saraf yang sangat peka terhadap toksikan. Gejala pertama yang ditimbulkan dari keracunan logam berat merkuri biasanya parastesia atau bidang penglihatan yang mengecil. Tingkat yang lebih tinggi yang terjadi adalah ataksia, ketulian, dan menyebabkan kematian.

Penyerapan merkuri mempunyai variasi yang besar bergantung pada bentuk senyawa kimia logam tersebut. Senyawa alkil merkuri organik dapat menguap dan secara potensial sangat berbahaya lewat pernafasan dan juga pencernaan. Setelah penyerapan logam berat merkuri didistribusikan ke jaringan dengan konsentrasi tertinggi di ginjal, selain itu logam berat merkuri (Hg) diserap ke dalam darah kemudian memasuki sistem saraf tubuh. Merkuri dikeluarkan terutama melalui urin tetapi sebagian tertinggal di kedua ginjal dan otak selama bertahun-tahun. Merkuri berkaitan dengan kelompok sulfur mengakibatkan aktivitas enzim terhambat sehingga metabolisme dan fungsi sel terganggu.

Masuknya merkuri ke dalam tubuh dapat melalui inhalasi dan kulit. Keracunan merkuri karena termakan dapat menyebabkan rasa haus, kejang perut, muntah, diare berdarah, penyempitan esofagus, usus dan lambung, kerusakan ginjal dan dapat berkembang menjadi gagal ginjal. Keracunan uap merkuri melalui inhalasi dapat segera menimbulkan batuk, demam, mual, muntah, diare, stomatitis dan dapat berkembang menjadi pneumonia, *bronchitis*, dan uidem paru. Absorpsi merkuri dalam waktu lama melalui kulit dapat menyebabkan merkurialisme dengan gejala yang timbul bervariasi seperti tremor, insomnia, pikun, gangguan penglihatan, ataksia, gangguan emosi, dan depresi.

Toksisitas merkuri pada manusia dibedakan menurut bentuk senyawa Hg yaitu anorganik dan organik. Keracunan anorganik Hg sudah dikenal sejak abad ke-18 dan ke-19 dengan gejala tremor pada orang dewasa gejala tremor disebut “*hatter shakes*” (topi bergoyang), karena pada saat itu banyak pekerja di pabrik topi dan wol menderita gejala tersebut. Apabila keracunan berlanjut, tremor terjadi pada lidah, berbicara terbata-bata, berjalan terlihat kaku, dan hilang keseimbangan. Perubahan pada hilangnya daya ingatan dapat juga terjadi pada toksisitas Hg dan keracunan kronis akan menyebabkan kematian.

Selain toksisitas Hg anorganik, bentuk Hg organik juga menimbulkan toksisitas yang sangat berbahaya. Kasus toksisitas metil merkuri pada orang, baik anak maupun orang dewasa, diberitakan besar-besaran pasca Perang Dunia ke-2 di Jepang, yang disebut “Minamata Disease”. Tragedi ini dikenal dengan tragedi penyakit minamata. Berdasarkan penelitian ditemukan penduduk di sekitar kawasan tersebut memakan ikan yang berasal dari laut sekitar Teluk Minamata yang mengandung merkuri yang berasal dari buangan sisa industri plastik (Industri Kimia Chisso) (Parvaneh, 1979). Gejala keanehan mental dan cacat saraf mulai tampak terutama pada anak-anak serta kematian. Industri Kimia Chisso menggunakan merkuri klorida (HgCl_2) sebagai katalisator dalam memproduksi asetaldehida sintesis di mana setiap memproduksi satu ton asetaldehida menghasilkan limbah antara 30-100 g merkuri dalam bentuk metil merkuri (CH_3Hg) yang dibuang ke laut Teluk Minamata, sehingga ikan di Minamata mengandung merkuri antara 27-102 ppm berat kering.

2.8 Baku Mutu Merkuri (Hg) pada Lingkungan Perairan

Baku mutu merupakan batas kadar yang diperkenankan bagi zat atau bahan pencemar terdapat pada lingkungan perairan dengan tidak menimbulkan gangguan terhadap makhluk hidup, tumbuhan, atau benda lainnya. Untuk mencegah terjadinya pencemaran terhadap lingkungan karena berbagai aktivitas industri dan aktivitas manusia, maka diperlukan pengendalian terhadap pencemaran lingkungan perairan dengan menetapkan baku mutu lingkungan perairan. Berikut tertera menge-

nai baku mutu logam berat merkuri (Hg) pada lingkungan perairan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Baku mutu logam berat merkuri (Hg) terlarut pada perairan

No.	Parameter	Satuan	Pelabuhan	Wisata bahari	Biota laut
1	Merkuri (Hg)	mg/l	0,003	0,002	0,001

Sumber: Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

2.9 Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

Atomic absorption spectrophotometry (AAS) adalah suatu alat yang digunakan pada metode analisis kuantitatif yang pengukurannya untuk menentukan unsur-unsur logam berdasarkan cahaya yang diserap oleh spesi atom atau molekul analit dan dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog *et al.*, 2000). Analisis serapan atom menggunakan prinsip penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu oleh logam yang telah teratomkan (Beatty & Kerber, 1993). Metode ini dikembangkan oleh Alan Wals yang merupakan seorang ilmuwan Australia pada tahun 1995.

Bagian-bagian AAS adalah sebagai berikut:

a. Lampu Katoda

Sumber cahaya pada AAS yaitu lampu katoda, yang bersumber dari elemen yang sedang diukur yang dimana dilewatkan ke dalam nyala api yang berisi sampel yang telah teratomisasi. Lampu katoda mempunyai masa pakai ataupun umur dalam pemakaian adalah selama 1.000 jam. Lampu katoda yang digunakan pada saat pengujian berbeda-beda bergantung pada unsur yang akan diuji. Misalnya lampu katoda Pb, hanya dapat digunakan untuk pengukuran unsur Pb. Lampu katoda berfungsi sebagai sumber cahaya untuk memberikan energi sehingga unsur logam yang akan diuji lebih mudah tereksitasi.

b. Tabung Gas

Tabung gas pada AAS yang digunakan adalah tabung gas yang berisi gas asetilen. Gas asetilen pada AAS mempunyai kisaran suhu ± 20.000 K dan ada juga tabung gas yang berisi gas N_2O yang mempunyai panas lebih besar dari gas asetilen dengan kisaran suhu ± 30.000 K. Regulator pada tabung gas asetilen memiliki kegunaan yaitu untuk mengatur banyaknya gas yang akan dikeluarkan dan gas yang berada di dalam tabung. Spedometer pada bagian kanan regulator berfungsi sebagai pengatur tekanan yang berada di dalam tabung (Nindita, 2011).

c. *Ducting*

Ducting adalah bagian cerobong asap yang berfungsi untuk menyedot asap atau sisa pembakaran pada AAS yang langsung dihubungkan pada cerobong asap bagian luar pada atap bangunan, yang fungsinya agar asap yang dikeluarkan oleh pembakaran pada AAS tidak berbahaya bagi lingkungan sekitar. Asap yang dihasilkan dari pembakaran pada AAS diolah di dalam *ducting* agar polusi yang dihasilkan tidak berbahaya (Nindita, 2011).

d. Kompresor

Kompresor adalah alat yang terpisah dengan unit utama. Alat ini berfungsi untuk menyuplai kebutuhan udara yang akan digunakan oleh AAS sewaktu pembakaran atom. Kompresor memiliki tiga tombol pengatur tekanan, yaitu pada bagian kotak hitam yang merupakan tombol *on-off*. Spedo pada bagian tengah merupakan besar kecilnya udara yang akan dikeluarkan atau memiliki fungsi sebagai pengatur tekanan, sedangkan tombol yang kanan merupakan tombol pengaturan yang mengatur banyak atau sedikit udara yang akan disemprotkan ke *burner* (Nindita, 2011). Alat ini berfungsi untuk menyaring udara dari luar agar tetap bersih.

e. *Burner*

Burner merupakan bagian yang cukup penting pada AAS, karena *burner* berfungsi sebagai tempat pencampuran gas asetilen dan akuabides agar tercampur merata sehingga dapat terbakar pada pemantik api secara baik dan merata. Lubang yang berada pada burner merupakan lubang pemantik api, yang dimana pada lubang ini adalah awal dari proses pengatomisasian nyala api (Nindita, 2011).

f. Buangan pada AAS

Buangan pada AAS disimpan di dalam drigen dan diletakkan terpisah pada AAS. Buangan ini dihubungkan dengan selang buangan, agar sisa buangan sebelumnya tidak naik lagi ke atas. Bila sisa pembuangan naik lagi ke atas dapat mematikan proses pengatomisasian nyala api pada saat pengukuran sampel, sehingga kurva yang dihasilkan akan terlihat buruk (Nindita, 2011).

g. Monokromator

Monokromator berfungsi sebagai pengisolir sebuah resonansi atau radiasi dari sekian banyak spektrum yang dihasilkan oleh lampu katoda atau untuk merubah sinar yang dibutuhkan oleh pengukuran (Nindita, 2011).

h. Detektor

Detektor pada AAS berfungsi sebagai pengubah energi radiasi yang jatuh pada detektor menjadi sinyal elektrik/perubahan panas. Hasil pengukuran detektor dilakukan penguatan dan dicatat oleh alat pencatat yang berupa printer dan pengamat angka (Nindita, 2011).

i. Kalibrasi AAS

Kalibrasi, pemeliharaan instrumen, dan verifikasi alat ukur atau alat uji merupakan bagian dari standard sistem mutu yang mengacu pada SNI 17025-2008. Setiap alat ukur atau alat uji yang digunakan sebagai instrumen pengukuran suatu laboratorium harus dikalibrasi atau diverifikasi terhadap pembanding yang memiliki ketelusuran. Hal ini bertujuan agar hasil uji dari suatu laboratorium terakreditasi tidak akan berbeda dengan hasil uji laboratorium lainnya.

Kalibrasi merupakan suatu proses pengukuran alat ukur untuk memastikan kebenaran nilai-nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur atau sistem pengukuran. Nilai-nilai yang ditetapkan pada suatu bahan ukur dibandingkan dengan nilai kebenaran konvensional yang diwakili oleh standar ukur, yang memiliki kemampuan telusur ke standar nasional ataupun internasional (Balai Besar Industri Agro, 2002).

Kalibrasi AAS harus dilakukan dalam jangka waktu tertentu untuk menjamin kualitas pengukuran parameter Hg. Cara kalibrasi AAS adalah dengan membaca logam Cu sebagai acuan. Logam Cu atau tembaga memiliki panjang gelombang sebesar 248,3 nm sehingga logam Cu digunakan sebagai pembanding nilai

optimasi. Biasanya alat AAS dikalibrasi sekali dalam satu tahun ataupun dikalibrasi sebelum alat digunakan untuk pertama kalinya. Kalibrasi AAS biasanya dilakukan oleh distributor (*supplier*) resmi alat yang bersangkutan.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada 3 lokasi yang berbeda. Lokasi pertama pada wilayah sekitar kawasan wisata perairan Kalianda, lokasi kedua pada wilayah sekitar kawasan perairan Anyer-Panimbang di Banten dan lokasi ketiga pada perairan Pulau Pasaran, Bandar Lampung. Adapun kegiatan pengambilan data lapangan dilaksanakan pada bulan September-Oktober 2022.

Perairan Kalianda secara administratif terletak di Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Wilayah Kabupaten Lampung Selatan terletak antara 105° - $105^{\circ}45'$ bujur timur dan $5^{\circ}15'$ - 6° lintang selatan. Sementara itu perairan Anyer-Panimbang berada di wilayah barat Provinsi Banten tepatnya pada Kabupaten Serang. Secara geografis wilayah Kabupaten Serang terletak pada koordinat $5^{\circ}50'$ - $6^{\circ}21'$ lintang selatan dan $105^{\circ}0'$ - $106^{\circ}22'$ bujur timur. Pulau Pasaran berada pada Kecamatan Teluk Betung Selatan, Kota Bandar Lampung dengan koordinat pulau terletak antara $5^{\circ}27'50.000''$ lintang selatan dan $105^{\circ}15'55.000''$ bujur timur.

Titik koordinat lokasi sampling pada perairan Kalianda pada 13 stasiun pengamatan secara berturut-turut, yaitu:

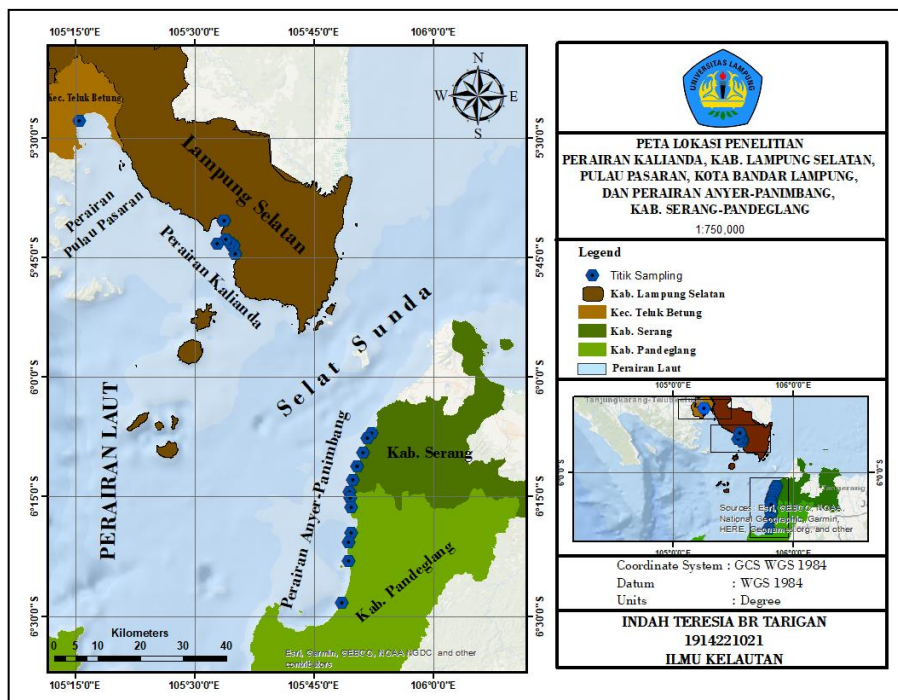
- Stasiun 1: $105^{\circ}35'7,65''$ BT dan $5^{\circ}44'28,182''$ LS;
- Stasiun 2: $105^{\circ}34'38,604''$ BT dan $5^{\circ}43'36,684''$ LS;
- Stasiun 3: $105^{\circ}34'31,716''$ BT dan $5^{\circ}43'28,86''$ LS;
- Stasiun 4: $105^{\circ}34'20,184''$ BT dan $5^{\circ}43'8,736''$ LS;
- Stasiun 5: $105^{\circ}33'40,374''$ BT dan $5^{\circ}42'40,89''$ LS; .

- Stasiun 6: $105^{\circ}33'32,376''$ BT dan $5^{\circ}43'12,858''$ LS;
- Stasiun 7: $105^{\circ}33'21,57''$ BT dan $5^{\circ}40'21,75''$ LS;
- Stasiun 8: $105^{\circ}33'42,23''$ BT dan $5^{\circ}40'21,90''$ LS;
- Stasiun 9: $105^{\circ}31'51,00''$ BT dan $5^{\circ}41'9,00''$ LS;
- Stasiun 10: $105^{\circ}32'28,00''$ BT dan $5^{\circ}40'0,00''$ LS;
- Stasiun 11: $105^{\circ}34'2,00''$ BT dan $5^{\circ}42'37,00''$ LS;
- Stasiun 12: $105^{\circ}34'0,59''$ BT dan $5^{\circ}42'34,34''$ LS;
- Stasiun 13: $105^{\circ}35'14''$ BT dan $5^{\circ}44'37,99''$ LS.

Sementara itu, titik koordinat lokasi sampling pada perairan Anyer-Panimbang pada 12 stasiun pengamatan secara berturut-turut adalah:

- Stasiun 1: $105^{\circ}52'16,452''$ BT dan $6^{\circ}7'2,118''$ LS;
- Stasiun 2: $105^{\circ}51'46,734''$ BT dan $6^{\circ}7'41,502''$ LS;
- Stasiun 3: $6^{\circ}9'26,646''$ BT dan $105^{\circ}51'11,262''$ LS;
- Stasiun 4: $105^{\circ}50'30,6''$ BT dan $6^{\circ}11'9,756''$ LS;
- Stasiun 5: $105^{\circ}49'54,522''$ BT dan $6^{\circ}12'54,198''$ LS;
- Stasiun 6: $105^{\circ}49'30,174''$ BT dan $6^{\circ}14'21,408''$ LS;
- Stasiun 7: $105^{\circ}49'39,06''$ BT dan $6^{\circ}15'8,292''$ LS;
- Stasiun 8: $105^{\circ}49'44,994''$ BT dan $6^{\circ}16'18,282''$ LS;
- Stasiun 9: $105^{\circ}49'44,928''$ BT dan $6^{\circ}19'33,906''$ LS;
- Stasiun 10: $105^{\circ}49'24,912''$ BT dan $6^{\circ}20'42,438''$ LS;
- Stasiun 11: $105^{\circ}49'23,748''$ BT dan $6^{\circ}23'2,448''$ LS;
- Stasiun 12: $105^{\circ}48'30,624''$ BT dan $6^{\circ}28'17,646''$ LS.

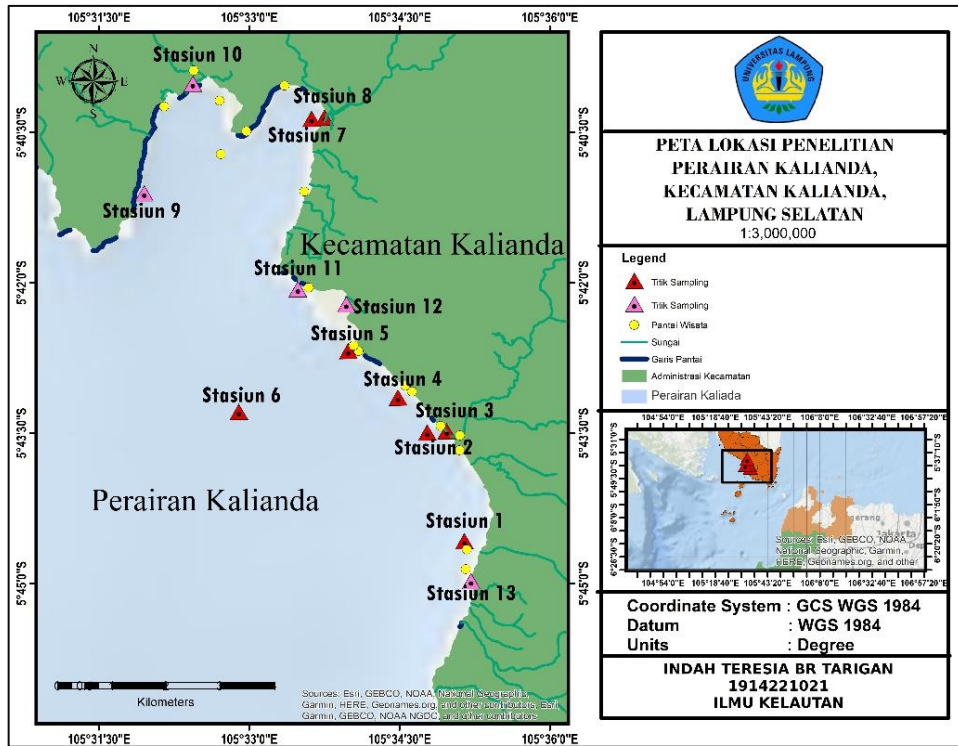
Adapun titik koordinat sampling pada perairan Pulau Pasaran adalah $105^{\circ}15' 35,04''$ BT dan $5^{\circ}27'48,21''$ LS. Berikut peta lokasi penelitian tertera pada Gambar 3.



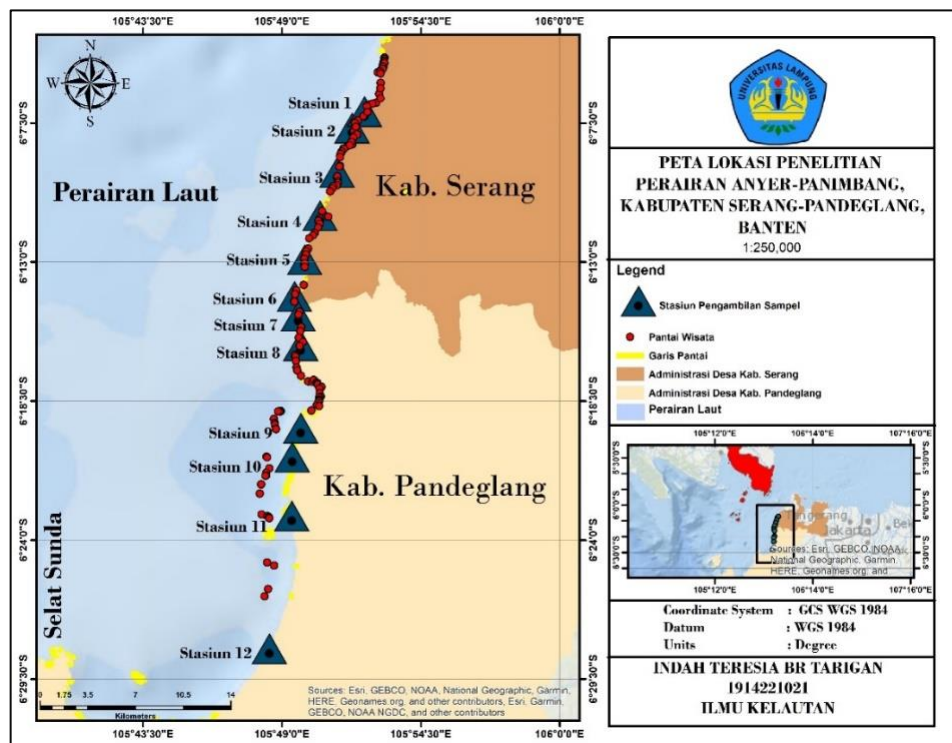
Gambar 3. Lokasi pengambilan sampel

3.2 Penentuan Lokasi Sampling

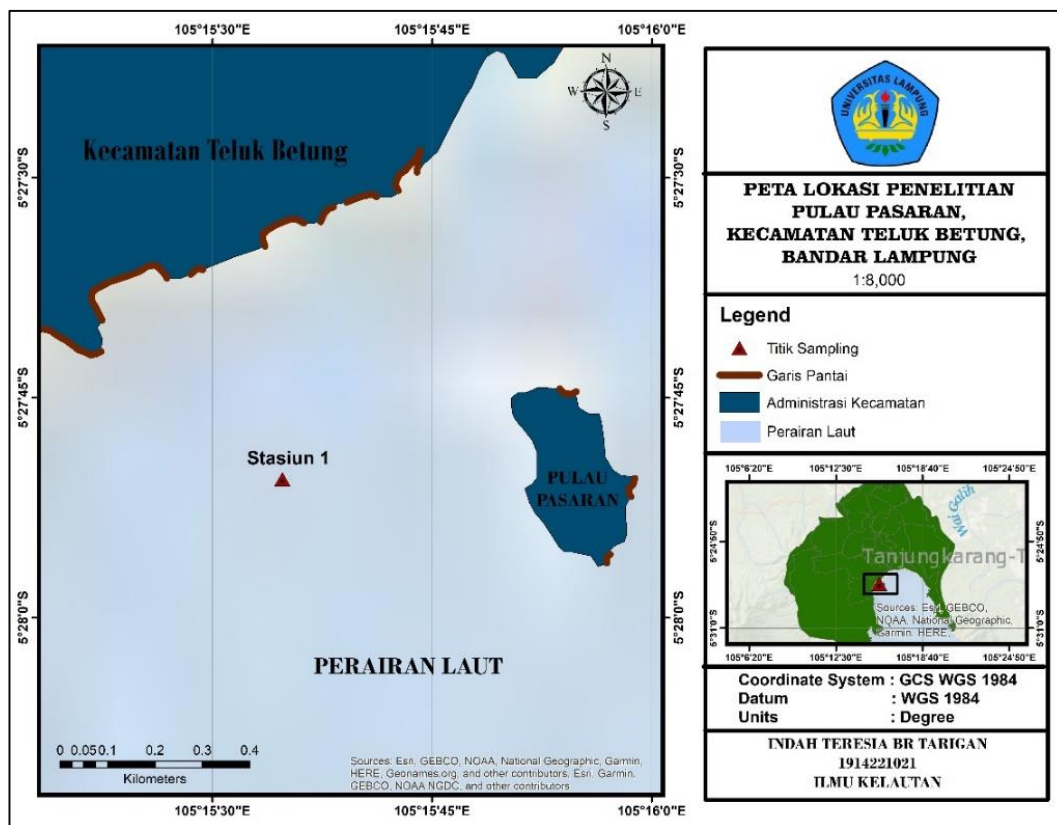
Pengambilan sampel pada penelitian ini ditentukan secara *purposive/selective sampling*, dimana peneliti menentukan dengan pengamatan dan penilaian tertentu berdasarkan ciri-ciri dan karakteristik lokasi penelitian, yang didasarkan pada lokasi yang berpotensi sebagai sumber masukan limbah pencemar ke dalam air laut. Lokasi pengambilan sampel terdiri dari 3 perairan, yaitu perairan Kalianda di Lampung, perairan Anyer-Panimbang di Banten, dan perairan Pulau Pasaran di Lampung. Perairan Kalianda dan perairan Anyer-Panimbang merupakan kawasan perairan yang juga diperuntukkan sebagai kawasan wisata pantai. Sementara itu perairan Pulau Pasaran adalah perairan yang cukup tercemar oleh sampah dan limbah Kota Bandar Lampung. Perairan Pulau Pasaran ini menjadi lokasi pembandingan tingkat pencemaran. Masing-masing lokasi pengambilan sampel air laut secara berturut-turut terdiri dari 13 stasiun pada perairan Kalianda, 12 stasiun pada perairan Anyer-Panimbang, dan 1 stasiun pada perairan Pulau Pasaran. Peta lokasi penelitian I, II, dan III tertera pada Gambar 4, 5, dan 6 berikut.



Gambar 4. Peta lokasi penelitian I



Gambar 5. Peta lokasi penelitian II



Gambar 6. Peta lokasi penelitian III

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam melaksanakan penelitian ini terdiri dari 2 bagian, yaitu alat dan bahan yang digunakan pada saat pengambilan sampel di lapang dan alat bahan yang digunakan pada saat melakukan pengujian di laboratorium. Alat dan bahan yang dimaksud tertera pada Tabel 2, 3, dan 4 berikut ini.

Tabel 2. Alat dan bahan yang digunakan pada saat pengambilan sampel di lapang

No.	Alat	Kegunaan
1.	Botol <i>polyethylene</i>	Botol <i>polyethylene</i> digunakan sebagai tempat penyimpanan sampel yang diambil.
2.	Kertas anti air dan alat tulis	Kertas anti air digunakan untuk menulis hal-hal yang dibutuhkan pada saat pengambilan sampel di laut.
3.	<i>Coolbox</i>	<i>Coolbox</i> berfungsi sebagai alat penyimpanan sampel setelah diambil dari lapang yang bertujuan untuk menjaga kestabilan suhu sampel uji.
4.	Refraktometer	Refraktometer digunakan untuk mengukur salinitas air laut pada saat pengambilan sampel.
5.	DO meter	DO meter digunakan untuk mengukur kadar oksigen terlarut dalam air, suhu, dan pH air laut pada pengambilan sampel.
6.	Label	Label digunakan untuk melabeli botol sampel agar tidak tertukar.
7.	Kertas tisu	Kertas tisu digunakan untuk membersihkan alat yang telah selesai digunakan.
8.	HNO ₃	Sebagai pengawet sampel uji air laut untuk pengujian kadar logam berat merkuri.

Tabel 3. Alat yang digunakan pada saat pengujian sampel di laboratorium

No.	Alat	Kegunaan
1.	Ruang asam	Ruang asam berfungsi untuk memastikan keamanan bagi analis dari paparan asam yang berbahaya dari suatu bahan atau reagent kimia.
2.	Seperangkat alat pompa kompresor + kertas saring	Penyaring sampel.
3.	<i>Atomic absorption spectrophotometry</i> (AAS)	Untuk mengukur dan menguji kadar konsentrasi logam berat.
4.	<i>Waterbath</i>	Fungsi dari <i>waterbath</i> adalah untuk memanaskan sampel uji merkuri (Hg).
5.	<i>Hotplate magnetic stirrer</i>	<i>Hotplate magnetic stirrer</i> adalah sebuah alat laboratorium yang digunakan untuk memanaskan atau menghangatkan sekaligus mencampurkan atau menghomogenkan larutan kimia.
6.	Penjepit	Penjepit berbahan besi dengan pegangan berbahan kayu atau plastik, alat laboratorium ini digunakan untuk menjepit tabung reaksi ketika suatu bahan dipanaskan.
7.	Labu ukur	Wadah untuk menguji sampel.
8.	Erlenmeyer	Wadah untuk menguji sampel.
9.	Gelas ukur	Wadah untuk mengukur larutan dalam volume tertentu sesuai yang dibutuhkan.
10.	Gelas piala	Wadah larutan.
11.	Gelas piala plastik	Sebagai tempat buangan sisa larutan kimia dan sampel uji.
12.	Mikropipet dan tip	Mengambil larutan dengan volume tertentu dengan tingkat ketelitian lebih tinggi.
13.	Pipet tetes	Memindahkan larutan dari satu wadah ke wadah yang lainnya dalam jumlah yang sangat kecil.
14.	Nampan	Untuk membawa sampel-sampel uji ke dalam ruang asam.
15.	Alat tulis	Menulis seluruh hasil selama pengujian.

Tabel 3 Alat yang digunakan pada saat pengujian sampel di laboratorium
(lanjutan)

No.	Alat	Kegunaan
16.	Kertas label	Penandaan sampel uji agar tidak tertukar.
17.	Kertas <i>parafilm</i>	Plastik penutup larutan pada erlenmeyer.
19.	Masker	Mencegah masuknya uap dari larutan-larutan kimia ke dalam mulut dan hidung.
20.	Sarung tangan	Melindungi tangan dari tumpahan bahan-bahan dari larutan.

Tabel 4. Bahan yang digunakan pada saat pengujian sampel di laboratorium

No.	Bahan	Kegunaan
1.	Sampel uji	Contoh sampel yang akan di uji.
2.	HNO ₃ pekat 65%	Reagen uji untuk Hg.
3.	H ₂ SO ₄ 97%	Reagen uji untuk Hg.
4.	KMNO ₄ 5%	Reagen uji untuk Hg.
5.	K ₂ S ₂ O ₈ 5%	Reagen uji untuk Hg.
6.	(NH ₂ OH)Cl (hidroksilamin hidroklorida) 10%	Reagen uji untuk Hg.
7.	Larutan standar baku Hg 100 µg/l	Larutan yang digunakan untuk membuat spike standar kerja.
8.	Akuades	Reagen untuk membuat <i>spike matriks</i> akuades dan blanko.

3.4 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air laut untuk uji logam berat merkuri terlarut diambil menggunakan gayung dan dimasukkan ke dalam botol *polyethylene* yang berukuran 1.000 ml. Setelah itu tambahkan larutan HNO_3 hingga $\text{pH} < 2$ yang berfungsi sebagai pengawet sampel uji air laut untuk pengujian kadar logam berat merkuri. Pengawetan sampel air laut ini berfungsi untuk menjaga kualitasnya sampai pada proses pengujian di laboratorium. Selanjutnya, botol ditutup rapat, diberi label dan langsung dimasukkan ke dalam *coolbox* agar suhu sampel uji tetap stabil dan tetap terjaga.

Pengukuran parameter kualitas air laut dilakukan secara *in-situ* dan *ex-situ*. Parameter kualitas air yang dilakukan secara *in-situ* adalah salinitas, suhu, pH, dan oksigen terlarut dalam air. Adapun pengukuran parameter *ex-situ* adalah nilai konsentrasi cemaran limbah logam berat jenis merkuri yang diuji di Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang pada Laboratorium Kualitas Air menggunakan alat *atomic absorption spectrophotometry* (AAS). Data akhir hasil dari pengujian tersebut akan dibandingkan dengan nilai baku mutu air laut akan logam berat yang dikeluarkan/ditetapkan oleh pemerintah/lembaga yang berwenang.

3.5 Prosedur Pengujian Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut

Pengujian kadar logam berat merkuri terlarut mengacu pada SNI 19-6964.2-2003 “Cara uji merkuri (Hg) secara *cold vapour* dengan spektrofotometer serapan atom”. Metode ini menggunakan alat yang bernama *atomic absorption spectrophotometry* (AAS). Pengujian kadar logam berat merkuri terlarut terlebih dahulu disaring menggunakan alat penyaring dengan ukuran kertas saring $0,45\mu\text{m}$ dengan tujuan memisahkan partikel tersuspensi dan partikel terlarut. Selanjutnya pada pengujian logam berat merkuri terlarut ditambahkan HNO_3 pekat yang berfungsi sebagai pengeskrak logam Hg dari air, kemudian ditambahkan H_2SO_4 yang berfungsi sebagai pemberi suasana asam dalam reaksi. Selanjutnya ditambahkan KMNO_4 yang berfungsi sebagai agen pengoksidasi senyawa organik dalam air yang berikatan dengan Hg. Setelah itu ditambahkan lagi $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ yang berfungsi

sebagai penghilang gas dari reaksi oksidasi permanganat. Kemudian dilanjutkan larutan dipanaskan dalam *water bath* dengan suhu 90°C selama 2 jam. Kemudian ditambahkan larutan (NH₂OH)Cl (hidroksilamin hidroklorida) untuk mereduksi hasil reaksi permanganat sehingga larutan kembali tak berwarna.

Setelah preparasi sampel selesai, kemudian dilanjutkan pengujian menggunakan AAS. Sebelum melakukan pengujian atau pembacaan hasil pada alat, terlebih dahulu alat harus dioptimasi. Optimasi alat dilakukan dengan 2 tahap, yaitu optimasi lampu dan optimasi signal. Optimasi lampu dilakukan untuk mengatur cahaya yang keluar dari lampu sehingga lampu tersebut memancarkan cahaya yang cukup optimal untuk pengujian. Adapun optimasi signal bertujuan untuk menentukan besarnya signal yang diterima dalam proses penyerapan (absorbansi) sampel terhadap detektor. AAS mempunyai prinsip kerja, dimana pada AAS terjadi penyerapan energi oleh atom. Atom-atom akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu bergantung pada sifat unsurnya (Khopkar, 1990). Panjang gelombang pada pengujian konsentrasi merkuri biasanya adalah 253,7 nm. Cahaya pada panjang gelombang tersebut mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom. AAS bekerja berdasar pada penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung di dalamnya diubah menjadi atom bebas. AAS akan menguapkan atau melepaskan HNO₃ ataupun asam-asam lain sehingga yang terserap di AAS hanya atom logam berat saja, kemudian dapat dibaca hasilnya pada komputer yang terhubung dengan AAS.

Prosedur pengujian kadar logam berat merkuri terlarut adalah sebagai berikut:

- 1) Alat dan bahan yang dibutuhkan disiapkan pada meja pengujian.
- 2) Sampel air laut yang telah diambil, disaring menggunakan alat kompresor penyaring.
- 3) Erlenmeyer ukuran 100 ml disiapkan dan diberi label sebagai wadah sampel, blanko, *spike* akuades, dan *spike matriks* standar Hg.
- 4) Sampel uji yang sudah disaring dimasukkan ke dalam erlenmeyer sebanyak 50 ml.
- 5) H₂SO₄ pekat sebanyak 2 ml ditambahkan ke dalam masing-masing erlenmeyer.

- 6) HNO_3 pekat ditambahkan sebanyak 2 ml sambil dikocok perlahan-lahan.
- 7) KMnO_4 5% ditambahkan sebanyak 10 ml (sampai warna KMnO_4 tidak hilang).
- 8) $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 5% ditambahkan sebanyak 2 ml.
- 9) Sampel dan larutan yang sudah ditambahkan, kemudian dipanaskan dalam pemanas air (*water bath*) pada suhu 90°C selama 2 jam.
- 10) Sampel yang telah selesai dipanaskan diangkat dan didinginkan. Kemudian ditambahkan hidrosilamin hidroklorida sampai warna KMnO_4 hilang di atas *hotplate stirrer magnetic* sambil diaduk.
- 11) Air suling bebas merkuri ditambahkan ke dalam wadah erlenmeyer hingga tepat sampai sama dengan volume akhir deret standar.
- 12) Contoh uji siap diukur.
- 13) Pengukuran blanko: 50 ml air suling bebas merkuri, kemudian dilakukan langkah 5 sampai dengan 12.
- 14) Analisis dilakukan secara duplo.
- 15) Pembuatan spike matriks:
 - 48 ml contoh uji ditambahkan 2,0 ml larutan baku $100 \mu\text{g/l}$. Dilakukan langkah 5 sampai dengan 12.
 - 48 ml contoh uji ditambahkan 2,0 ml air suling bebas merkuri. Dilakukan langkah 5 sampai dengan 12.
- 16) Dilakukan uji AAS untuk membaca absorbansinya.
- 17) Analisis data hasil pengujian dilakukan.

3.6 Analisis Data Kadar Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut

Metode analisis logam berat merkuri terlarut yang digunakan adalah metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* sistem *cold vapour* yang sesuai dengan SNI 19-6964.2 tahun 2003 tentang cara uji merkuri secara *cold vapour* dengan spektrofotometer serapan atom. Sebelum sampel air permukaan di analisis kandungan merkurnya menggunakan AAS, sampel dipreparasi terlebih dahulu. Sampel air laut dari setiap stasiun sampling yang telah diketahui nilai absorbansi, selanjutnya diinterpolasikan ke dalam kurva kalibrasi yang telah disiapkan, kemudian hasilnya dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia

Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Setelah diketahui kandungan merkuri pada setiap stasiun sampling, maka dibuat peta persebaran logam berat merkuri berdasarkan tingkat konsentrasinya.

3.7 Analisis Distribusi Spasial Logam Berat Merkuri (Hg) Terlarut di Perairan

Analisis distribusi spasial logam berat merkuri terlarut menggunakan *software* ArcGis 10.3. Data hasil pengukuran konsentrasi logam berat merkuri terlarut yang telah didapatkan dari perhitungan dan koordinat pada setiap stasiun pengamatan akan dikonversi ke dalam bentuk ekstensi data spasial sehingga dapat dilakukan interpolasi untuk memetakan data hasil pengujian logam berat merkuri tersebut. Tahapan interpolasi ini merupakan tahapan pendugaan persebaran parameter Hg di wilayah sekitar kawasan wisata perairan Kalianda dan perairan Anyer-Panimbang berdasarkan data sampel air laut yang telah diukur pada 13 titik sampling pada perairan Kalianda dan 12 titik sampling pada perairan Anyer-Panimbang. Teknik interpolasi yang digunakan adalah IDW (*inverse distance weighted*) untuk melihat sebaran merkuri secara horizontal yang dipetakan.

3.8 Analisis Status Mutu Air Laut Metode Indeks Pencemaran

Nilai konsentrasi logam berat merkuri yang telah didapatkan melalui pengujian pada alat AAS, kemudian ditentukan status mutu air lautnya. Penentuan indeks pencemaran dilakukan perhitungan yang mengacu pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air yang dimana mengacu pada metode indeks pencemaran yang terdapat dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tersebut. Indeks ini dinyatakan sebagai indeks pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan (Nemerow, 1974). Pengelolaan kualitas air atas dasar indeks pencemaran (IP) ini dapat memberi masukan pada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta

melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa pencemar.

Data hasil pengukuran di lapangan dan hasil analisa laboratorium kemudian dihitung nilai indeks pencemarannya, selanjutnya dievaluasi secara deskriptif berdasarkan kriteria indeks pencemaran dengan membandingkan baku mutu kualitas air laut untuk peruntukan wisata bahari dan peruntukan biota laut menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kemudian penentuan status pencemaran ditentukan dengan menggunakan indeks pencemaran menurut Nemerow dan Sumitomo (1970) dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air sebagai berikut:

$$P_{ij} = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}} \dots\dots\dots(1)$$

Dalam menentukan nilai IP diperlukan beberapa bagian, di antaranya yaitu:

- L_{ij} : konsentrasi parameter kualitas air yang terdapat dalam baku mutu.
- C_i : konsentrasi parameter air yang diperoleh dari hasil pengambilan sampel uji.
- C_i/L_{ij} : nilai pencemaran relatif yang diakibatkan oleh parameter kualitas air.
- C_i/L_{ij} baru : nilai yang digunakan apabila C_i/L_{ij} awal lebih dari 1
- P_{ij} : nilai indeks pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi dari C_i/L_{ij} .

Dalam penggunaan metode indeks pencemaran ini, ada beberapa peraturan yang harus diketahui, di antaranya yaitu:

1. Jika nilai konsentrasi parameter yang menurun menyatakan tingkat pencemaran meningkat, misal DO maka ditentukan nilai teoritik atau nilai maksimum C_{im} (misal untuk DO, maka C_{im} merupakan DO jenuh). Dalam kasus

ini nilai C_i/L_{ij} hasil pengukuran digantikan oleh nilai C_i/L_{ij} hasil perhitungan, yaitu:

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_{\text{im}} - C_i (\text{hasil pengukuran})}{C_{\text{im}} - L_{ij}} \dots\dots\dots(2)$$

2. Jika nilai baku mutu L_{ij} memiliki rentang, maka digunakan:

- untuk $C_i \leq L_{ij}$ rata-rata

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_i - (L_{ij})_{\text{rata-rata}}}{\{(L_{ij})_{\text{minimum}} - (L_{ij})_{\text{rata-rata}}\}} \dots\dots\dots(3)$$

- untuk $C_i > L_{ij}$ rata-rata

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_i - (L_{ij})_{\text{rata-rata}}}{\{(L_{ij})_{\text{maksimum}} - (L_{ij})_{\text{rata-rata}}\}} \dots\dots\dots(4)$$

3. Keraguan timbul jika dua nilai (C_i/L_{ij}) berdekatan dengan nilai acuan 1,0, misal $C_1/L_{1j} = 0,9$ dan $C_2/L_{2j} = 1,1$ atau perbedaan yang sangat besar, misal $C_3/L_{3j} = 5,0$ dan $C_4/L_{4j} = 10,0$. Dalam contoh ini tingkat kerusakan badan air sulit ditentukan. Cara untuk mengatasi kesulitan ini adalah:

- Penggunaan nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran kalau nilai ini lebih kecil dari 1,0.
- Penggunaan nilai (C_i/L_{ij}) baru jika nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran lebih besar dari 1,0.

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = 1,0 + P \cdot \log (C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}} \dots\dots\dots(5)$$

P adalah konstanta dan nilainya ditentukan dengan bebas dan disesuaikan dengan hasil pengamatan lingkungan dan atau persyaratan yang dikehendaki untuk suatu peruntukan (biasanya digunakan nilai 5).

Hasil dari indeks pencemaran ini dapat digunakan sebagai masukan kepada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta dapat memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa-senyawa pencemar. Evaluasi terhadap nilai indeks pencemaran menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air, yaitu:

$0 \leq IP \leq 1,0$: memenuhi baku mutu
$1,0 < IP \leq 5,0$: tercemar ringan
$5,0 < IP \leq 10$: tercemar sedang
$IP > 10$: tercemar berat

Penentuan nilai indeks pencemaran ini tidak hanya menggunakan parameter logam berat merkuri saja, namun parameter tambahan lain seperti suhu, salinitas, oksigen terlarut, pH, nitrat, dan amonia juga digunakan dalam perhitungan indeks pencemaran guna menentukan status pencemaran air lautnya.

3.9 Analisis Principal Component Analysis (PCA)

Konsentrasi logam berat merkuri, pH, suhu, salinitas, dan oksigen terlarut (DO) dianalisis menggunakan metode analisis komponen utama atau *principal component analysis*. Menurut Santosa (2007), PCA merupakan suatu teknik handal untuk mengekstraksi struktur dari suatu set data dengan dimensi yang cukup banyak. PCA atau analisis komponen utama merupakan metode statistik deskriptif untuk memudahkan dan menginterpretasikan data dalam bentuk grafik serta informasi maksimum yang terdapat dalam suatu matriks data (stasiun pengamatan dan parameter fisika kimia air). Tujuannya adalah untuk mempelajari keterkaitan antara parameter lingkungan dengan variabel yang diukur (Bengen, 2000). Oleh karena itu, metode PCA digunakan dalam penelitian ini untuk melihat hubungan atau keterkaitan antara konsentrasi logam berat merkuri, pH, suhu, salinitas, dan oksigen terlarut (DO) di perairan Kalianda dan perairan Anyer-Panimbang dari hasil data yang sudah didapatkan pada metode sebelumnya. Kemudian, diolah dengan metode PCA menggunakan *software XLSTAT 2016*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di perairan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung dan perairan Anyer-Panimbang, Provinsi Banten dapat disimpulkan bahwa:

1. Sebaran konsentrasi merkuri terlarut di perairan Kalianda dari 13 stasiun sampling, 5 stasiun yang sudah terkontaminasi merkuri terlarut. 3 dari 5 stasiun yang sudah terkontaminasi merkuri terlarut ini sudah melebihi ambang batas baku mutu peruntukan wisata bahari dan biota laut, 1 dari 5 stasiun lainnya sudah melebihi ambang batas baku mutu peruntukan biota laut saja, sedangkan 1 stasiun berikutnya belum melebihi ambang batas baku mutu. Sementara itu, sebaran konsentrasi merkuri terlarut pada perairan Anyer-Panimbang dari 12 stasiun sampling, terdapat 1 stasiun sudah melebihi ambang batas baku mutu ke dua peruntukan, yaitu, wisata bahari dan peruntukan biota laut, sedangkan 11 stasiun lainnya sudah melebihi ambang batas baku mutu hanya peruntukan biota laut saja.
2. Perairan Kalianda dikategorikan tercemar ringan untuk kepentingan wisata bahari dan 5 stasiun yang tercemar sedang untuk biota laut. Perairan Anyer-Panimbang masuk dalam kategori tercemar ringan untuk wisata bahari dan terdapat 4 stasiun yang sudah tergolong tercemar sedang untuk biota laut. Selanjutnya, perairan Pulau Pasaran tercemar sedang untuk wisata bahari dan biota laut.

5.2 Saran

Penelitian ini masih terdapat beberapa kekurangan. Untuk menyempurnakan penelitian ini, ada beberapa hal yang perlu ditambahkan, yaitu:

1. Perlu dilakukan dan ditambahkan pengukuran parameter TSS (*total suspended solid*) agar dapat diketahui padatan terendap dalam air sehingga dapat digunakan sebagai data pendukung tambahan dalam menentukan tingkat pencemaran guna mengetahui kualitas air pada perairan Kalianda dan perairan Anyer-Panimbang.
2. Pemerintah perlu melakukan pengawasan dan monitoring secara berkala terhadap tingkat pencemaran di perairan Kalianda dan perairan Anyer-Panimbang agar tetap bisa dan aman digunakan untuk kegiatan wisata pantai.
3. Khusus pada perairan yang sudah melebihi ambang batas baku mutu logam berat merkuri perlu dilakukan pengawasan dan pemantauan terhadap sumber-sumber masukan logam berat merkuri untuk menghindari peningkatan kandungan logam berat merkuri yang berlebihan di perairan pantai. Setelah dilakukannya monitoring dan kontroling, pemerintah dapat memperketat regulasi dan menetapkan aturan penggunaan Hg dalam industri dan aktivitas lainnya untuk mengurangi masukan Hg ke perairan laut.
4. Menghimbau dan mengedukasi masyarakat untuk meningkatkan kesadaran akan bahaya keberadaan logam berat merkuri terlarut di perairan dan mengajak masyarakat untuk berpartisipasi aktif dalam menjaga kelestarian lingkungan perairan.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, H. 2007. Singular value decomposition (SVD) and principal component analysis (PCA). *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*. 22(2): 16058-16064.
- Achmad R. 2004. *Kimia Lingkungan*. Andi Yogyakarta. Jakarta. 216 hlm.
- Akhadi, M. 2014. *Isu Lingkungan Hidup*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 133 hlm.
- Alina, M., Azrina, A., Yunus, M. A. S., Zakiuddin, M. S., Effendi, M. I. H., dan Rizal, M. R. 2012. Heavy metals (mercury, arsenic, cadmium, plumbum) in selected marine fish and shellfish along the Straits of Malacca. *International Food Research Journal*. (19)1: 135-140.
- Andara, D.R., Haerudin., dan Suryanto, A. 2014. Kandungan total padatan tersuspensi, serta indeks pencemaran Sungai Klampiasan di kawasan industri candi Semarang. *Management of Aquatic Resources*. 3(3): 177-187.
- Arifin, Z., Rohman, A., Suyono, E. A., dan Rukmini, D. 2015. Korelasi antara suhu dengan kandungan logam berat merkuri pada air laut di Perairan Semarang. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 2(1): 54-61.
- Aryo, S. 2009. *Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb, dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara, Jakarta Utara*. (Skripsi). Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. 98 hlm.
- Asuhadi, S. dan Manan, A. 2018. Status mutu air Pelabuhan Panggulubelo berdasarkan indeks storet dan indeks pencemaran. *Jurnal Kelautan Nasional*. 12(2): 109-119.
- Azizah, Siti, dan Sari, S.W. P. 2014. *Pengaturan Kawasan (the Area) dalam Hukum Laut Internasional*. Justice Publisher. Bandar Lampung. 24 hlm.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (BPOM RI). 2010. *Penetapan Batas Maksimum Cemarkan Mikroba dan Kimia dalam Makanan*. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. Jakarta.

- Badan Standarisasi Nasional. 2003. SNI 19-6964.2-2003 Cara uji merkuri (Hg) secara *cold vapour* dengan spektrofotometer serapan atom. Badan Standarisasi Nasional. 15 hlm.
- Balai Besar Industri Agro. 2002. Kalibrasi. Balai Besar Industri Agro. Bogor.
- Batley, R. dan Stoker, G. 1991. *Local Government in Europe*. Macmillan education LTD. London. 179 hlm.
- Beaty, R. D. dan Kerber. J. D. 1993. *Concepts, Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry*, Second Edition. The Perkin-Elmer Corporation Northwalk. US. 96 hlm.
- Beby., Mahmud. M., Lihawa. F., Desei. F., dan Saleh. Y. 2016. Pengaruh suhu dan pH terhadap konsentrasi merkuri di air dan sedimen. *Prosiding Seminar Nasional*. 3(2): 1-4.
- Bengen, D. G. 2000. *Teknik Pengambilan Contoh dan Analisa Biofisik Sumber Daya Pesisir*. PKSPL IPB. Bogor. 49 hlm.
- Mohammet, B. dan Ilhan, A. 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.
- Bridiatama, D. dan Masduqi, A. 2014. Indeks pencemaran air laut Pantai Utara-Kabupaten Tuban dengan parameter logam. *Jurnal Teknik Pomits*. 3(1): 1-4.
- Chakraborty, P. 2019. Spatial and temporal distribution of mercury in water, sediment, and fish from the Bay of Bengal. *Environmental Science and Pollution Research*. 26(18):18401–18415.
- Chistina M., M. Yusuf., dan Maslukah, L. 2014. Sebaran kualitas perairan ditinjau dari zat hara, oksigen terlarut dan pH di Perairan Selatan Bali bagian selatan. *Jurnal Oseanografi*. (3): 142-150.
- Clark, R. B., 1986. *Marine Pollution*. Claredon Press. Oxford. 215 hlm.
- David, A. Cornwell., dan Davis, Mackenzie L. 1991. *Introduction to Environmental Engineering*. McGraw-Hill, Inc. New York. 109 hlm.
- Dahuri, R. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut; Aset Pembangunan Berkelanjutan*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 30 hlm.

- Darmawan, Hafiz, dan Masduqi, A. 2014. Indeks pencemaran air laut Pantai Selatan Bantul dengan parameter TSS dan kimia non-logam. *Jurnal Teknis Pomits R.* 3(1): 2301–9271.
- Darmawati, I. A. dan Nugroho, S. P. 2018. Asidifikasi laut dan dampaknya pada kehidupan laut. *Journal of Marine Fisheries Technology and Management.* 9(1): 67-76.
- Darmayanti, E., Setyono, P., dan Putra, A. M. 2019. The impact of Hg pollution on sustainability of marine ecosystems in Kalianda, South Lampung. *AIP Conference Proceedings.* 2108(1): 002-008.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup.* UI Press. Jakarta. 80 hlm.
- Dewi, R. A., Sari, Y. W., dan Iryani, D. 2016. Bioaccumulation of heavy metals in sediments and marine organisms from coastal area of Anyer-Panimbang, Banten Province, Indonesia. *Journal of Engineering and Technological Sciences.* 48(3): 292-303.
- Diliyana, Y. F. 2008. *Studi Kandungan Merkuri (Hg) pada Ikan Bandeng (Chanos chanos) di Tambak sekitar Perairan Rejoso Kabupaten Pasuruan.* (Skripsi). Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri (UIN). Malang. 86 hlm.
- Edaniati. 2015. Analisis perilaku masyarakat terhadap dampak merkuri untuk kesehatan di Gampong Cot Trap Kecamatan Teunom Kabupaten Aceh Jaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan.* 11(2): 62-98
- Fatmawali., Payung, W. T., dan Kojong, N. S. 2011. Identifikasi secara biomolekuler dan uji daya reduksi bakteri resisten merkuri yang diisolasi dari air di wilayah bekas tambang emas rakyat Desa Tanoyan Utara. *Jurnal ilmiah farmasi.* 7(2): 28-40.
- Fauziah, N., Widita, C. N., Ramdani, A., dan Marti, R. 2020. Assessing mercury contamination in seawater and biota in Anyer Panimbang Beach, Banten Province, Indonesia, and its potential impacts on tourism. *Jurnal: Marine Pollution Bulletin.* 159: 111-519.
- Ferdiaz, S. 2005. *Polusi air dan Udara.* Kanisius. Yogyakarta. 158 hlm.
- Fitzgerald, W. F., Lamborg, C. H., dan Hammerschmidt, C. R. 2007. Marine biogeochemical cycling of mercury. *Chemical Reviews.* 107: 641–662.

- Gardfeldt, K., Sommar, J., Ferrara, R., Ceccarini, C., Lanzillotta, E., Munthe, J., Wangberg, I., Lindqvist, O., Pirrone, N., Sprovieri, F., Pesenti, E., dan Stromberg, D. 2003. Evasion of mercury from coastal and open waters of the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea. *Atmospheric Environment*. 37: S73–S84.
- Grassia, S. dan Nettib, R. 2000. Sea water intrusion and mercury pollution of some coastal aquifers in the province of Grosseto (southern Tuscany, Italy). *Journal of Hydrology*. 237: 198–211.
- Govindasamy, C., Arulpriya, M., Ruban, P., Jenifer, L. F., dan Ilayaraja, A. 2011. Concentration of heavy metals in seagrasses tissue of the Palk Strait, Bay of Bengal. *International Journal of Environmental Sciens*. 2(1): 145-153.
- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Suwito., dan Maury, H. K. 2018. Konsentrasi amoniak, nitrat dan fosfat di Perairan Distrik Depapre, Kabupaten Jayapura. *EnviroSciencieae*. 14(1): 8-15.
- Hamzah, F. dan Trenggono, M. 2014. Oksigen terlarut di Selat Lombok. *Jurnal Kelautan Nasional*. 9(1): 21-35.
- Hasan, B. A., Kabir, S., Reza, S. M. H. A., Zaman, N. M., Ahsan, A. M., Akbor, A. M., dan Rashid, M. M. 2013. Trace metals pollution in seawater and groundwater in the ship breaking area of Sitakund Upazila, Chittagong Bangladesh. *Marine Pollution Bulletin*. 71(2): 317-324.
- Jiang, L. Q., Carter, B. R., Feely, R. A., Lauvset, S. K., dan Olsen, A. 2019. Surface ocean pH and buffer capacity: Past, present, and future. *Scientific reports*. 9(1): 1-11.
- Kabata, P. A. 2011. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press. Prancis. 82 hlm.
- Kabata, P. A. dan Mukherjee, A. B. 2007. *Trace Elements from Soil to Human*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York. 112 hlm.
- Khasanah, N. 2009. Adsorpsi logam berat. *Jurnal Oseana*. 34(4): 1-7.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas Indonesia Press. Jakarta. 85 hlm.
- Kim, H. S., Kim, Y. J., dan Seo, Y. R. 2018. An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention. *Journal of Cancer Prevention*. 20(4): 232-240

- Kumar, P. dan Yadav, S. 2018. Heavy metal pollution and its effects on plants and soil microbiological parameters in rural areas. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 15(5): 1039-1054.
- Kurniawan, H., Putra, A. S., dan Gusmardi, S. 2018. Distribusi spasial logam berat merkuri (Hg) di perairan pantai Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*. 11(2): 121-130.
- Lamborg, C. H., Rolffhus, K. R., Fitzgerald, W. F., dan Kim, G. 1999. The atmospheric cycling and air sea exchange of mercury species in the south and equatorial Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 46(5): 957-977.
- Laurier, F. J. G., Mason, R. P., Whalin, L., dan Kato, S. 2003. Reactive gaseous mercury formation in the North Pacific Ocean's marine boundary layer: A potential role of halogen chemistry. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 108(17): 1-12.
- Leleury, Z. A. dan Wokanubun, A. E. 2015. Analisis biplot pada pemetaan karakteristik kemiskinan di Provinsi Maluku. *Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*. 9(1): 21-31.
- Mahmud. M. 2012. *Model Sebaran Spasial Temporal Konsentrasi Merkuri akibat Penambangan Emas Tradisional sebagai Dasar Monitoring dan Evaluasi Pencemaran di Ekosistem Sungai Tulabolo Provinsi Gorontalo*. (Disertasi). Fakultas Geografi. Universitas Gajah Mada. 97 hlm.
- Manik, M., Restuhadi, F., dan Rossi, E. 2016. Analisis pemetaan kesukaan konsumen terhadap lempuk di kalangan mahasiswa Universitas Riau. *Jurnal Online Mahasiswa Faperta*. 3(2): 1-15.
- Martin, S. dan Griswold, W. 2009. Human health effects of heavy metals. *Center for Hazardous Substance Research*. 2009(15): 1-6
- Morais, S., Costa, F. G., dan Pereira, M. L., 2012, Heavy metals and human health in environmental health emerging issues, and practice. *Oosthuizen J. ed.* 227-246 pp.
- Savendra. 2004. Use of probiotics in pediatrics: rationale mechanism of action and practical aspects. *Nutrition in clinical practice*. 2007(22): 351-365.
- Suseno, H. 2011. *Bioakumulasi Merkuri dan Metil Merkuri oleh Oreochromis mossambicus Menggunakan Aplikasi Perunut Radioaktif: Pengaruh Konsentrasi, Salinitas, Partikulat, Ukuran Ikan dan Kontribusi Jalur Pakan*. (Disertasi). Program Studi Ilmu Kimia. FMIPA. Universitas Indonesia. 147 hlm.

- Mason, R. P., dan Fitzgerald, W. F. 1993. The distribution and biogeochemical cycling of mercury in the equatorial Pacific Ocean. *Deep Sea Res Part I, Oceanography Research Papers*.40: 1897–1924.
- Mason, R., Morel, F., dan Egmond, H. 1995. The role of microorganisms in elemental mercury formation in natural waters. *Water, Air, and Soil Pollution*. 80: 775–787.
- Meirinawati, H. dan Iskandar M. R. 2019. Karakter fisika dan kimia perairan di Laut Jawa-Ambang Dekawang. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 4(1): 41-52.
- Monteiro, L. R., Costa, V., Furness, R. W., dan Santos, R. S. 1996. Mercury concentrations in prey fish indicate enhanced bioaccumulation in mesopelagic environments. *Marine Ecology Progress Series*. 141: 21–25.
- Morel, F., Kraepiel, A. M. L., dan Amyot, M. 1998. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annual Review of Ecological Systems*. 29: 543–566.
- Mubarak, A. 2018. *Analisis Kadar Logam Merkuri (Hg) pada Rumput Laut (Eucheumacottonii) dan Sedimen di Perairan Laut Bulukumba*. (Skripsi). Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Alauddin Makassar. 77 hlm.
- Nainggolan, D., Insaniah, R., Rosmasita., dan Ariani, F. 2021. Analisis kesesuaian dan daya dukung ekowisata bahari untuk wisata rekreasi pantai dan wisata renang di Pantai Muara Nauli Kecamatan Sorkam Kabupaten Tapanuli Tengah. *Berkala Perikanan Terubuk*. 49(3): 41167–1177
- Najamudin. 2017. Variasi musiman parameter fisika kimia di sekitar perairan estuaria Jeneberang, Sulawesi Selatan. *Prosiding Seminar Nasional KSP2K II*. 1(2): 1-15.
- Nemerow, N. L. dan Sumitomo, H. 1970. Benefits of Water Quality Enhancement. *National Service Center for Environmental Publications*. 12(70): 1-193.
- Nemerow, N. L. 1974. *Scientific Stream Pollution Analysis*. McGraw-Hill Book Co. Washington, D.C. 129 hlm.
- Nindita, L. D. 2011. *Spektroskopi Serapan Atom (AAS)*. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.
- Nordberg J. F., Parizek J., Pershagen G., dan Gerhardsson L. 1986. *Factor Influencing Effect and Dose-Response Relationships of Metals*. In: Freiberg L.

- Nordberg G.F., and Vouk V.B (Eds). Handbook on the Toxicology of Metals. Elsevier. New York. 116 hlm.
- Nurdin, M., Mulyani, E., dan Hanif, N. F. 2016. Hubungan konsentrasi merkuri terlarut dengan pH di Perairan Teluk Tomini, Sulawesi Tengah. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 8(2): 175-182.
- Nurhasanah., Salwa, N. dan Amelia, N. 2016. Penentuan karakteristik parawisata dan model jumlah wisatawan untuk Kabupaten/Kota di Provinsi Aceh. *Jurnal Natural*. 16(1): 43-50.
- Palar, H. 2012. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta. 142 hlm.
- Paramita, T. A., Arifin, Z., dan Anggoro, S. 2018. Konsentrasi merkuri terlarut pada air laut dan sedimen di perairan pesisir Gunungkidul, Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 10(1): 1-8.
- Parawita, D. I. dan Nugraha, A. W. 2009. Analisis konsentrasi logam berat timbal (Pb) di muara sungai Porong. *Jurnal Kelautan*. 2(2): 34-41.
- Parvaneh, V. 1979. An investigation on the mercury contamination of persian gulf fish. *Environ Contam. Toxicol*. 23: 357-359.
- Pemerintah Kota Bandar Lampung. 2019. Laporan Status Lingkungan Hidup Kota Bandar Lampung Tahun 2019. Pemerintah Kota Bandar Lampung.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2021. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Pirrone, N. S., Cinnirella, X., Feng, R. B., Finkelman, H. R., Friedli, J. L., R. Mason, A. B., Mukherjee, G. B., Stracher, D. G., Streets., dan K. Telmer. 2010. Global mercury emission to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. *Atoms Chem. Phys.*, 10: 5951-5964.
- Poppo, A., Mahendra, M. S., dan Sundra, I. K. 2008. Studi kualitas perairan pantai di kawasan industri perikanan, Desa Pengambengan, Kecamatan Negara, Kabupaten Jembrana. *Journal of Environmental Science*. 3(2): 98-103.

- Purwanto., Agung., Gagah H. B., dan Prabowo. 2012. Pengolahan limbah cair yang mengandung minyak dengan proses elektrokoagulasi dengan elektroda besi. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 1(1): 352-355.
- Rahmawati, 2011. *Pengaruh Kegiatan Industri terhadap Kualitas Air Sungai Diwak di Bergas Kabupaten Semarang dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai*. (Tesis). Program Studi Magister Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang. 103 hlm.
- Rangkuti, A. M. 2009. *Analisis Kandungan Logam Berat Hg, Cd, dan Pb pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Panggang Pramuka Kepulauan Seribu*, (Skripsi). Jurusan Manajemen Sumber Daya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. 102 hlm.
- Raven, P. H., L. R. Berg., dan G. B. Johnson. 1998. *Environment*. 2nd edition. Saunders College Publishing. New York. 43 hlm.
- Reilly, S., Schierl, R., Nowak, D., Siebert, U., William, J. F., Owi, F. T., dan Ir, Y. I. 2007. A preliminary study on health effects in villagers exposed to mercury in a small scale artisanal gold mining area in Indonesia. *Environmental research*. (149): 274-281. DOI: org/10.1016/j.en-vres.2016.04.007.
- Rezania, S., Taib, S. M., Din, M. F. M., Dahalan, F. A., dan Songip, A. R. 2018. Mercury pollution in Malaysia: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(10): 9159-9171.
- Rinda, F. K. 2007. *Studi Pencemaran Logam Berat Cadmium (Cd), Merkuri (Hg), dan Timbal (Pb) pada Air Laut, Sedimen dan Kerang Bulu (Anadara antiquata) di Perairan Pantai Lekok Pasuruan*. (Skripsi). Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Malang. 101 hlm.
- Risanti, F. D. O. 2006. *Tingkat Pencemaran Teluk Lampung berdasarkan Kandungan Logam Berat Hg dan Pb Terlarut dalam Badan Air dan Sedimen*. (Skripsi). Jurusan Manajemen Sumber Daya Perairan. IPB. 58 hlm.
- Santosa, B. 2007. *Data Mining Teknik Pemanfaatan Data untuk Keperluan Bisnis*. Graha Ilmu. Yogyakarta, Indonesia. 140 hlm.
- Santosa. 2013. Characteristics of extrudate from four varieties of corn with aquadest addition. *Indonesian Journal of Agriculture*. 1(2): 85-94
- Sari, Y. W., Dewi, R. A., dan Iryani, D. 2018. Heavy metal contamination in coastal waters of Anyer-Panimbang, Banten Province, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*. 2022(1): 030-048.
- Sartono. 2002. *Racun dan Keracunan*. Widya Medika. Jakarta. 169 hlm.
- Sastrawijaya, A. T. 1991. *Pencemaran Lingkungan Surabaya*. Rhineka Cipta. Jakarta. 144 hlm.

- Satmoko, Y. 2006. Kondisi pencemaran logam berat di Perairan Sungai DKI Jakarta. *JAI*. 2(1): 1-15
- Simanjuntak, M. 2012. Oksigen terlarut dan apparent oxygen utilization di Perairan Teluk Klabat Pulau Bangka. *Ilmu Kelautan*. 12(2): 59–66.
- Skoog, D. A., Donald, M., West, F., James, H., dan Stanley R. C. 2000. *Fundamentals of Analytical Chemistry*. Brooks Cole. 992 hlm.
- Soemirat, J. dan Ariesyady, H. D. 2015. *Toksikologi Lingkungan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 144 hlm.
- Sunderland, E. M. 2007. Mercury exposure from domestic and imported estuarine and marine fish in the US seafood market. *Environmental Health Perspectives*. 115(2): 235-242.
- Supangat, A., Adi, T. R., Pranowo, W. S., dan Ningsih, N. S. 2015. Predicting movement of the warm pool, the salinity front, and the convergence zone in the Western and central part of Equatorial Pacific using a coupled hydrodynamical ecological model. *Proceeding The Twelfth OMISAR Workshop on Ocean Models*. 11(1): 11-11
- Supranto, J. 2004. *Analisis Multivariat: Arti and Interpretasi*. Rineka Cipta. Jakarta. 359 hlm.
- Supriadi. 2016. *Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Merkuri (Hg) pada Air Laut di Wisata Pantai Akkarena dan Tanjung Bayang Makassar*. (Skripsi). Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Alauddin. 93 hlm.
- Surya, W. P. 2018. *Indeks Pencemaran Air Laut Pantai Selatan Bantul dengan Parameter Tss dan Kimia Non-Logam*. Fakultas Teknik Sipil. (Skripsi). Program Studi Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. 108 hlm.
- Susilo, E., Islamy, F., Saputra, A. J., Hidayat, J. J., Zaky, A. R. dan Suniada, K. I. 2015. Pengaruh dinamika oseanografi terhadap hasil tangkapan ikan pelagis PPN Kejawan dari data satelit oseanografi. *Seminar Perikanan dan Kelautan V. Universitas Brawijaya*. 299-304 pp.
- Squadrone, S., Prearo, M., Brizio, P., Gavinelli, S., Pellegrino, M., Scanzio, T., Guarise, S., Benedetto, A., dan Abete, M. C. 2013. Heavy metals distribution in muscle, liver, kidney, and gill of European catfish (*Silurus glanis*) from Italian Rivers. *Chemosphere*. 90: 358–365.
- Syaifullah., Candra, Y. A., Soegianto A., dan Irawan, B. 2018. Kandungan logam non esensial (Pb, Cd, dan Hg) dan logam esensial (Cu, Cr, dan Zn) pada sedimen di Perairan Tuban Gresik dan Sampang Jawa Timur. *Jurnal Kelautan Indonesian*. 11(1): 69.
- Syarifin, A. 2017. Kajian kualitas perairan pantai Pulau Pasaran Bandar Lampung.

Jurnal Ilmu Lingkungan, 15(1) :35-42.

- Syofyan, I., Usman., dan Nasution., P. 2011. Studi kualitas air untuk kesehatan ikan dalam budi daya perikanan pada aliran Sungai Kampar Kiri. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 16(1): 64-70.
- Szefer. 2002. P. Metal pollutants and radionuclides in the Baltic Sea overview. *Oceanologia*. 44(2): 129–178.
- Tahril., Ika., dan Said, I. 2012. Analisis logam timbal (Pb) dan besi (Fe) dalam air laut di wilayah pesisir pelabuhan ferry taipa Kecamatan Palu Utara. *J. Akad. Kim.* 1(4): 181-186.
- Tyler, G. 1992. *Mercury In Soil Distribution, Speciation and Biological Effect*. Nordic Council of Ministers. Copenhagen. 382 hlm.
- Udi, P. N. S. S. 2011. *Manajemen Kualitas Air pada Kegiatan Perikanan Budi Daya*. Departemen Kelautan dan Perikanan Direktorat Jendral Perikanan Budi Daya. Balai Budi Daya Air Payau. Takalar. 25 hlm.
- Ullrich, S. M., Tanton, T. W., dan Abdrashitova, S. A. 2001. Mercury in the aquatic environment: A review of factors affecting methylation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 31(3): 241–293.
- Wahab, A. W. 2005. Analisis kandungan logam berat timbal dan seng di sekitar perairan Pelabuhan Pare-Pare dengan metode adisi standar. *Marina Chemica Acta*. 5(1) 21-24.
- Whalin, L., Kim, E. H., dan Mason, R. P. 2007. Factors influencing the oxidation, reduction, methylation, and demethylation of mercury species in coastal waters. *Marine Chemistry*. 107: 278–294.
- Wibowo., Mardi., dan Rachman, R. A. 2020. Kajian kualitas perairan laut sekitar muara Sungai Jelitik Kecamatan Sungailiat Kabupaten Bangka. *Jurnal Presipitasi Media Komunikasi Pengembangan Teknik Lingkungan*. 17(1): 29-37.
- Wilken, R. D. dan Hintelmann, H. 1991. Mercury and methylmercury in sediments and suspended particles from the River Elbe, North Germany. *Water, Air, and Soil Pollution*. 56: 427–437.
- Yanney. 1990. *Pengantar Ekologi Tropika*. Penerbit ITB. Bandung. 73 hlm.
- Yu, L., Jin, X., Josey, S. A., Lee, T., Kumar, A., Wen, C. dan Xue, Y. 2017. The global ocean water cycle in atmospheric reanalysis, satellite, and ocean salinity. *Journal of Climate* 30(10): 3829–3852.

Zahir, F., Rahman, M. M., dan Afridi, H. I. 2005. Low level mercury exposure and human health. *Environmental Toksikology and Pharmacology*, 20(2): 351-360.