



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PROGRAM PASCASARJANA

Jalan Padang Selasa Nomor 524, Bukit Besar Palembang Kode Pos 30139
Telepon (0711) 378776, 354222 Faksimili (0711) 317202, 320310
Homepage: www.pps.unsri.ac.id Email: pps@unsri.ac.id

**KEPUTUSAN
DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA
NOMOR : 469/UN9.2/DT/2022**

tentang

**REVISI PENETAPAN PROMOTOR DAN CO-PROMOTOR MAHASISWA
PROGRAM DOKTOR (S-3) ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA
DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

- Menimbang :**
- bahwa sehubungan dengan surat Koordinator Program Studi Doktor (S-3) Ilmu Lingkungan PPs Unsri nomor: 273/UN9.2.2/KM/2022 tanggal 27 Oktober 2022, tentang Permohonan Revisi SK Pembimbing Disertasi, maka perlu dilakukan revisi pada keputusan Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya nomor: 039/UN9.2/DT/2022 tanggal 12 Januari 2022;
 - bahwa dalam rangka penyusunan tugas akhir berupa kegiatan pembelajaran dan pembimbingan mahasiswa perlu dibimbing dan diarahkan sesuai dengan bidang ilmu, sehubungan dengan itu maka perlu ditetapkan dan ditugaskan dosen untuk pembimbingnya;
 - bahwa sehubungan dengan butir a dan b diatas perlu diterbitkan keputusan sebagai pedoman dan landasan hukumnya.
- Mengingat :**
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
 - Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
 - Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
 - Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2012 tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia;
 - Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia nomor 03 Tahun 2020 tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi;
 - Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia nomor 32031/M/KP/2019 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Rektor Universitas Sriwijaya Periode 2019-2023;
 - Surat Dirjen Dikti Nomor 720/D/T/2007 tentang Ijin Penyelenggaraan Program Studi Ilmu Lingkungan (S3) pada Universitas Sriwijaya;
 - Keputusan Rektor Unsri Nomor 0927/UN9/SK.BUK.KP/2020 tentang Pengangkatan Kembali Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya Masa Jabatan Tahun 2020-2024.

MEMUTUSKAN

- Menetapkan :** **KEPUTUSAN DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA TENTANG REVISI PENGANGKATAN PROMOTOR DAN CO-PROMOTOR MAHASISWA PROGRAM DOKTOR (S-3) ILMU LINGKUNGAN PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA**
- KESATU :** Melakukan revisi terhadap keputusan Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya nomor 039/UN9.2/DT/2022 tanggal 12 Januari 2022;
- KEDUA :** Menunjuk tenaga akademik berikut sebagai pembimbing bagi mahasiswa di bawah ini dalam mempersiapkan rencana dan pelaksanaan segala bentuk kegiatan yang berkaitan dengan penyusunan disertasi mahasiswa yang bersangkutan

NAMA/NIM	NAMA DOSEN	
Izromaita 20013682126009	Promotor	: Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S.
	Co-Promotor I	: Dr. Suheryanto, M.Si.
	Co-Promotor II	: Prof. Dr. Ir. Elisa Wildayana, M.Si.

- KETIGA :** Segala biaya yang mungkin timbul sebagai akibat dari penetapan keputusan ini, dibebankan kepada anggaran yang disediakan oleh PPs Unsri.
- KEEMPAT :** Dengan diterbitkannya ketetapan ini, maka ketetapan Direktur PPs Unsri nomor: 039/UN9.2/DT/2022 tanggal 12 Januari 2022 dinyatakan tidak berlaku lagi.
- KELIMA :** Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan segala sesuatu akan diubah dan/atau diperbaiki sebagaimana mestinya apabila ternyata terdapat kekeliruan dalam penetapan ini.

Ditetapkan di : Palembang
Pada tanggal : 01 November 2022



Prof. Dr. Ir. H. Amin Rejo, M.P.
NIP 19610114 199001 1 001

Tembusan :

- Rektor (sebagai laporan)
- Koordinator Program Doktor (S-3) Ilmu Lingkungan
- Promotor dan Co-Promotor
- Yang bersangkutan



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PROGRAM PASCASARJANA**

Jalan Padang Selasa 524 Bukit Besar Palembang 30139
Telepon (0711) 352132, 354222 Faksimili (0711) 320310, 317202
Homepage: www.pps.unsri.ac.id Email: pps@unsri.ac.id

Nomor : 282/UN9.2.2/KM/2022

Palembang, 18 November 2022

Lampiran : -

Hal : Undangan Rapat Komisi Promotor & Co-Promotor
Mahasiswa Program Studi Ilmu Lingkungan PPs Unsri
an. Izromaita

Kepada Yth. **Bapak/ Ibu Promotor & Co-Promotor**

- 1. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S.**
- 2. Dr. Suheryanto, M.Si.**
- 3. Prof. Dr. Ir. Elisa Wildayana, M.Si.**

Dengan hormat, bersama ini kami mengundang Bapak/ Ibu untuk dapat berkenan hadir pada :

Hari/ Tanggal : Jum'at/ 25 November 2022

Pukul : 10.00 WIB s.d 11.30 WIB

Acara : Rapat Komisi Promotor & Co-Promotor mahasiswa
PS Doktor Ilmu Lingkungan PPs Unsri
a.n. Izromaita (NIM. 20013682126009)

Tempat : Ruang Komisi, Program Studi Ilmu Lingkungan PPs Unsri
Jln. Padang Selasa No.524, Bukit Besar Palembang.

Mengingat pentingnya acara tersebut kami sangat mengharapkan kiranya Bapak/ Ibu dapat hadir memenuhi undangan ini.

Demikianlah, atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami ucapkan terima kasih.

Koordinator Program Studi S3
Ilmu Lingkungan PPs Unsri,

Prof. Dr. Ir. Nurhayati, M.Si.
NIP. 196202021991032001



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PROGRAM PASCASARJANA**

Jalan Padang Selasa 524 Bukit Besar Palembang 30139
Telepon (0711) 352132, 354222 Faksimili (0711) 320310, 317202
Homepage: www.pps.unsri.ac.id Email: pps@unsri.ac.id

Nomor : 010/UN9.2.2/KM/2023
Lampiran : 1 (satu) berkas
Hal : Undangan & SK Seminar Proposal Penelitian
Mahasiswa an. Izromaita

Palembang, 9 Januari 2023

Yth. Bapak/ Ibu Promotor/Co-Promotor/ Penguji

- 1. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU.**
- 2. Dr. Suheryanto, M.Si.**
- 3. Prof. Dr. Ir. Elisa Wildayana, M.Si.**
- 4. Prof. Dr. Ir. H. Amin Rejo, M.P.**
- 5. Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Faizal, DEA.**

Dengan hormat,

Kami sangat mengharapkan kehadiran Bapak/ Ibu pada Seminar Proposal Penelitian mahasiswa Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya:

Nama : Izromaita
NIM : 20013682126009
Program Studi : Ilmu Lingkungan
BKU : Lahan Basah
Judul Disertasi : Permodelan Sebaran Logam Berat pada Ikan dan Kerang dan Hubungannya dengan Kandungan Logam Berat di Air dan Sedimen di sekitar Hutan Lindung Air Telang, Banyuasin.
Promotor : Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU.
Co-Promotor I : Dr. Suheryanto, M.Si.
Co-Promotor II : Prof. Dr. Ir. Elisa Wildayana, M.Si.

yang akan diadakan pada:

Hari/ Tanggal : Selasa, 17 Januari 2023
Pukul : 09.00 WIB s.d 10.30 WIB
Tempat : - Ruang Seminar 1 Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya
- zoom.us/join, Meeting ID: 830 3478 8583, Passcode: seminar

Demikianlah, atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami ucapkan terima kasih.

Koordinator Program Studi S3
Ilmu Lingkungan PPs Unsri,

Prof. Dr. Ir. Nurhayati, M.Si.
NIP. 196202021991032001

Tembusan :

1. Direktur PPs Unsri
2. Wakil Direktur Bidang Akademik dan Kemahasiswaan PPs Unsri
3. Wakil Direktur Bidang Umum, Kepegawaian dan Keuangan PPs Unsri



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PROGRAM PASCASARJANA**

Jalan Padang Selasa Nomor 524, Bukit Besar Palembang Kode Pos 30139
Telepon (0711) 352132, 354222 Faksimili (0711) 317202, 320310
Homepage: www.pps.unsri.ac.id Email: pps@unsri.ac.id

**KEPUTUSAN
DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA
NOMOR: 016/UN9.2/DT/2023**

tentang

**TIM PENGUJI SEMINAR PROPOSAL PENELITIAN MAHASISWA
PADA PROGRAM DOKTOR (S-3) ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA
DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

- Menimbang** :
- bahwa sehubungan dengan surat Koordinator Program Doktor (S-3) Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya nomor 006/UN9.2.2/KM/2023 tanggal 6 Januari 2023 hal permohonan izin pelaksanaan seminar proposal dan penerbitan SK, dinyatakan bahwa **Sdr. Izromaita, NIM 20013682126009** telah memenuhi syarat akademik untuk melakukan penyusunan tugas akhir;
 - bahwa mahasiswa Pendidikan Doktor (S-3) Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya yang sedang melakukan penyusunan tugas akhir, harus menempuh seminar proposal penelitian;
 - bahwa untuk seminar tersebut perlu ditetapkan dan diangkat tim penguji seminar proposal penelitian mahasiswa Program Pendidikan Doktor (S-3) Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya;
 - bahwa sehubungan dengan butir a, b dan c di atas perlu diterbitkan keputusan sebagai pedoman dan landasan hukumnya.
- Mengingat** :
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
 - Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
 - Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
 - Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2012 tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia;
 - Keputusan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 03 Tahun 2020 tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi;
 - Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 32031/M/KP/2019 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Rektor Universitas Sriwijaya periode 2019-2023;
 - Surat Dirjen Dikti Nomor 720/D/T/2007 tentang Ijin Penyelenggaraan Program Studi Ilmu Lingkungan (S-3) pada Universitas Sriwijaya;
 - Keputusan Rektor Unsri Nomor 0927/UN9/SK.BUK.KP/2020, tentang Pengangkatan Kembali Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya Masa Jabatan Tahun 2020-2024.

MEMUTUSKAN

Menetapkan : **KEPUTUSAN DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA TENTANG TIM PENGUJI SEMINAR PROPOSAL PENELITIAN MAHASISWA PADA PROGRAM DOKTOR (S-3) ILMU LINGKUNGAN PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

KESATU : Membentuk tim penguji seminar proposal penelitian mahasiswa Program Pendidikan Doktor (S-3) Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya dan menetapkan personalianya sebagai berikut:

Promotor : Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU.
Co-Promotor I : Dr. Suheryanto, M.Si.
Co-Promotor II : Prof. Dr. Ir. Elisa Wildayana, M.Si.
Anggota : 1. Prof. Dr. Ir. H. Amin Rejo, M.P.
2. Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Faizal, DEA.

Untuk menguji mahasiswa

Nama : Izromaita
NIM : 20013682126009
BKU : Lahan Basah

Judul Disertasi : Permodelan Sebaran Logam Berat pada Ikan dan Kerang dan Hubungannya dengan Kandungan Logam Berat di Air dan Sedimen di sekitar Hutan Lindung Air Telang, Banyuasin.

Tanggal Seminar : 17 Januari 2023

KEDUA : Tim penguji yg tersebut pada butir pertama bertanggung jawab kepada Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.

KETIGA : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan segala sesuatu akan diubah dan/atau diperbaiki sebagaimana mestinya apabila ternyata terdapat kekeliruan dalam penetapan ini.

Ditetapkan di : Palembang
Pada tanggal : 9 Januari 2023

Direktur

Prof. Dr. Ir. H. Amin Rejo, M.P.
NIP 19610114 199001 1 001

Tembusan:

- Rektor (sebagai laporan)
- Wadir 2
- KPS Doktor Ilmu Lingkungan
- Tim Penguji
- yang bersangkutan

PROPOSAL DISERTASI

**PERMODELAN SEBARAN LOGAM BERAT PADA IKAN
DAN KERANG DAN HUBUNGANNYA DENGAN
KANDUNGAN LOGAM BERAT DI AIR DAN SEDIMEN DI
SEKITAR HUTAN LINDUNG AIR TELANG, BANYUASIN**



**IZROMAITA
2001368126009**

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

PROPOSAL

PERMODELAN SEBARAN LOGAM BERAT PADA IKAN DAN KERANG DAN HUBUNGANNYA DENGAN KANDUNGAN LOGAM BERAT DI AIR DAN SEDIMEN DI SEKITAR HUTAN LINDUNG AIR TELANG, BANYUASIN

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Doktor Ilmu Lingkungan pada UNIVERSITAS SRIWIJAYA**



**IZROMAITA
2001368126009**

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

PERMODELAN SEBARAN LOGAM BERAT PADA IKAN DAN KERANG DAN HUBUNGANNYA DENGAN KANDUNGAN LOGAM BERAT DI AIR DAN SEDIMEN DI SEKITAR HUTAN LINDUNG AIR TELANG, BANYUASIN

Promotor

**Prof. Dr. Moh. Edy Ibrahim, MS., CP., IPU
NIP. 196905011995031002**

Co Promotor 1

Co Promotor 2

Dr. Suheryanto, M.Si.

Prof. Dr. Ir. Elisa Wildayana, M.Si

**Koordinator Program Studi
Doktor Ilmu Lingkungan**

Prof. Dr. Nurhayati, M.Si

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan Puji dan Syukur Kehadirat Allah SWT yang telah Memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya Sehingga Penulis dapat Menyelesaikan Proposal Penelitian Dengan Judul **“Permodelan Sebaran Logam Berat Pada Ikan dan Kerang dan Hubungannya dengan Kandungan Logam Berat di Air dan Sedimen di Sekitar Hutan Lindung Air Telang, Banyuasin.”**

Pada kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. H. Amin Rejo, M.P sebagai Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
2. Prod. Dr. Ir. Nurhayati, M.Si sebagai Koordinator Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Sriwijaya.
3. Prof. Dr. Moh. Edy Ibrahim, MS., CP.,IPU sebagai Promotor, Dr. Suheryanto, M.Si, dan Dr. Ir. Elisa Wildayana, M.Si sebagai co Promotor yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan proposal ini.
4. Bapak Rektor dan Civitas Akademika Universitas Sriwijaya
5. Bapak dan Ibu Dosen Tim Penguji
6. Seluruh keluarga, yang telah memberikan dukungan, semangat, doa, dan motivasi yang sangat berharga
7. Staf administrasi dan seluruh teman-teman Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sriwijaya yang telah memberikan dukungan.

Akhirnya penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari sempurna sehingga kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang.

Palembang, Desember 2022

Penulis

DAFTAR ISI

PROPOSAL DISERTASI.....	i
PROPOSAL	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Tujuan umum.....	5
1.3.2 Tujuan khusus	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Hipotesis	5
1.6 Kerangka teori	6
1.7 Kebaruan (Novelty).....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Karakteristik Perairan Sekitar Muara Sungai Musi dan Sungai Banyuasin .	7
2.2 Keanekaragaman Ikan dan Kerang di Perairan Sungai Musi dan Sungai Banyuasin.	8
2.3 Produksi Perikanan di sungai Musi dan sungai Banyuasin	9
2.4 Sebaran Logam Berat di Perairan Sekitar Muara Sungai Musi dan Sungai Banyuasin	10
2.5 Logam Berat	13
2.5.1 Pengertian Logam Berat	13
2.5.2 Dampak Adanya Logam Berat Pada Perairan	13
2.5.3 Logam Berat Pada Perairan	14
2.6 Sebaran Logam Berat di Sekitar Muara Sungai Musi dan Sungai Banyuasin	18
2.7 Logam Berat di Dalam Tubuh Ikan dan Kerang	20
2.8 Permodelan Lingkungan Logam Berat.....	23
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	26
3.2 Kerangka Konsep	27
3.3 Tahapan Penelitian	27
3.3.1 Tahap Pertama	27

3.3.2 Tahap Kedua.....	27
3.3.3 Tahap Ketiga.....	27
3.4 Alur penelitian	28
3.5 Metode Sampling dan Analisis Sampel.....	29
3.5.1 Metode Sampling dan Analisis Sampel Air Permukaan dan Air Dasar Untuk Kondisi Logam Berat.....	29
3.5.2 Metode Sampling dan Analisis Sampel Lumpur Untuk Kondisi Logam Berat.....	30
3.5.3 Metode Sampling dan Analisis Sampel untuk Analisis Logam Berat Pada Kerang.....	31
3.5.4 Metode Sampling dan Analisis Sampel Untuk Analisis Logam Berat Pada Ikan	31
3.6 Teknik Pengumpulan Data	32
3.6.1 Kualitas air	32
3.6.2 Logam Berat	34
3.6.3 Sedimen	37
3.7 Jenis dan Sumber Data	38
3.8 Analisis Data	38
3.8.1 Tahap 1 analisis pencemar perairan.....	38
3.8.2 Tahap 2 Model Dinamika Pengelolaan Kualitas Sungai	41
3.8.3 Tahap 3 Teknik permodelan perencanaan kebijakan Strategis.....	43
DAFTAR PUSTAKA	28

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tiap-tiap warga negara Indonesia mempunyai hak untuk Lingkungan hidup yang baik dan sehat. Lingkungan hidup merupakan kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup (Kemenkumham, 2009). Salah satu benda tersebut adalah air. Air merupakan senyawa penting bagi kehidupan dan proses alam. Air juga merupakan komponen kunci dalam pertukaran zat dan energi dalam siklus hidrologi (Crişan et al., 2021). Akhir-akhir ini, ekosistem air telah berubah. Hal ini disebabkan oleh perkembangan pertanian dan industry serta peningkatan populasi penduduk, akibatnya, air mengalami pencemaran. Pencemaran air merupakan masalah lingkungan yang utama dan menjadi lebih buruk di masa depan (Divya & Soloman, 2021).

Sumber daya air terdiri dari air permukaan, sungai, danau (90%), dan air tanah (10%) (Sur et al., 2022). Di sebagian besar dunia, ketersediaan air untuk keperluan minum dan pertanian semakin berkurang (Dhanasekarapandian et al., 2016). Selain itu, negara-negara berkembang berusaha untuk melindungi kualitas air dan negara-negara maju berusaha untuk mempertahankan atau meningkatkan status kualitas air (Uddin et al., 2021). Di Indonesia, sebagian sungai telah tercemar seperti Sungai Brantas (Arum, Harisuseno, et al., 2019) dan Sungai Musi (Sari et al., 2019).

Kualitas air sungai di pengaruhi oleh faktor hidrologi, atmosfer, iklim, topografi, perubahan penggunaan lahan, kepadatan penduduk, dan litologi (Mainali & Chang, 2021; Uddin et al., 2018). Kegiatan-kegiatan yang berdampak buruk terhadap kualitas air adalah pertambangan, peternakan, produksi dan pembuangan limbah (industri, perkotaan dan pertanian), peningkatan limpasan sedimen atau erosi tanah akibat perubahan penggunaan lahan dan polusi logam berat (Uddin et al., 2021). Di seluruh dunia akan mengalami krisis air bersih, jika pengelolaan dan konservasi badan air yang tidak tepat (Nhapi et al., 2011), termasuk di perairan Hutan Lindung Air Telang.

Negara wajib hadir dan bersinergi agar guna memastikan lingkungan hidup di sekitar perairan Hutan Lindung Air Telang dalam keadaan baik dan sehat. Kawasan perairan Hutan Lindung Air Telang terletak pada muara dari 2 sungai utama di Provinsi Sumatera Selatan yaitu Sungai Musi dan Sungai Banyuasin. Posisi ini merupakan posisi yang sangat strategis. Kedua sungai ini memiliki anak-anak sungai yang tersebar di 17 Kabupaten dan Kota, sehingga sangat berpotensi berdampak terhadap beban pencemaran yang mengalir ke kawasan perairan tersebut.

Aktivitas masyarakat, pemerintah maupun perusahaan baik dari hulu maupun pada Kawasan HLAT dan sekitarnya akan berdampak terhadap kelangsungan kawasan ini. Kondisi ini juga dapat memicu percepatan degradasi dan rawan menimbulkan konflik pemilikan lahan. Kawasan HLAT ini merupakan kawasan hutan lindung yang seharusnya dikonservasi. Nyatanya, Kawasan ini telah terdegradasi akibat berbagai kegiatan antropogenik, dampaknya terjadi dinamika perubahan tutupan lahan secara periodik (Eddy & Mutiara, 2018).

Beban pencemaran ini diperkirakan terkait dengan pemanfaatan lahan disepanjang kedua sungai dan anak sungai tersebut. Seperti masyarakat membangun rumah di pinggir sungai (Trisnaini, Idris, & Purba, 2019). Masyarakat juga memanfaatkan air sungai untuk memenuhi kebutuhan air untuk aktivitas sehari-hari. (Windusari & Sari, 2015). Di bantaran Sungai Musi terdapat industri pengolahan kayu, karet (Oktriyedi et al., 2021), pupuk, keramik, dok kapal, detergen, minyak, gas, *cold storage*, *electroplating* dan industri minuman ringan serta aktivitas transportasi air (Putri, Bengen, Prartono, & Etty Riani, 2015). Limbah padat atau cair yang dibuang ke badan sungai dapat mengakibatkan toksisitas air, eutrofikasi, dan kerusakan kehidupan akuatik (Chen et al., 2019).

Konsentrasi logam berat dari sedimen dan organisme bentik pengaruhnya terhadap biota (Aljahdali & Alhassan, 2020). Tiga fitur karakteristik yang digunakan untuk prosedur identifikasi bahaya kontaminan kimiawi di lingkungan akuatik yaitu persistensi, bioakumulasi, dan toksisitas. Zat beracun yang persisten dan bioakumulatif lebih berbahaya (DeForest, Brix, & Adams, 2007).

Sebagai habitat biota perairan seperti ikan dan kerang, tercemarnya perairan akan berakibat tercemarnya ikan dan kerang dan biota lainnya yang hidup

di Kawasan tersebut antara lain kandungan logam berat pada dagingnya. Proses pencemarannya terjadi di perairan umum dan mencakup wilayah yang sangat luas seperti ini tanpa kita sadari biasanya terjadi secara terus menerus dan kadarnya pada awalnya tidak begitu signifikan tetapi seiring berjalannya waktu apabila tidak dilakukan pengendalian bias saja akan semakin meningkat seiring semakin meningkatnya beban pencemaran di kawasan tersebut, artinya lama kelamaan kandungan logam berat tadi akan semakin meningkat yang bias membahayakan masyarakat yang mengkonsumsinya.

Hal tersebut sehingga berpotensi terjadinya pencemaran yang dapat menyebabkan perubahan kualitas lingkungan dan terancamnya kelestarian biota. Kelimpahan dan distribusi organisme dipengaruhi oleh faktor abiotik dan biotik. Kondisi lingkungan, pemangsa oleh predator, persaingan, dan ketersediaan makanan dapat memengaruhi keberadaan dan keanekaragaman suatu organisme (Subagio dan Muliadi, 2014).

Logam berat yang masuk kedalam perairan melalui tahap pengkristalan di udara dengan bantuan air hujan dan melalui jalur perairan sungai kemudian terbawa ke lautan. Pencemaran ini terjadi dikarenakan banyaknya industri yang membuang limbah B3 ke sungai-sungai serta adanya aliran air buangan limbah domestik, limbah perumahan sekitar yang mengandung bahan-bahan toksik, sehingga berpotensi terjadinya akumulasi logam berat yang kemudian akan tersuspensi dan mengendap pada sedimen atau substrat (Wulansari dan Sunu, 2018).

Sesuai dengan Rencana Proyek Strategis Nasional (PSN) pemerintah akan membangun Pelabuhan Internasional di Tanjung Carat yang berlokasi di Kawasan perairan Hutan Lindung Air Telang yaitu New Palembang Port. Hal ini guna mengakomodir kebutuhan jasa ke pelabuhan pengganti Pelabuhan Bom Baru Palembang yang tidak bias lagi menampung arus bongkar muat kapal, disamping permasalahan darat alur pelayaran disepanjang Sungai Musi yang semakin dangkal. Pemabangunan Pelabuhan selain ternasional ini sudah tentu akan membawa efek ganda yaitu akan berkembangnya Kawasan tersebut menjadi Kawasan perekonomian yang semakin ramai, yang membutuhkan sarana dan prasarana penunjang dari segala aspek, terutama Kawasan insutri, pergudangan dari

permukiman, perdagangan, keehatan, Pendidikan, pariwisata, transportasi dan lain lain yang berarti akan menambah beban pencemaran di perairan tersebut.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, sudah ditemukan dugaan logam berat pada ikan hasil tangkapan nelayan pada ikan dan kerang disekitar perairan telang. Walaupun kandungan logam berat tersebut belum melampaui Nilai Ambang Batas yang ditetapkan, akan tetapi karena proses pencemarannya terus berlangsung dan masyarakat juga mengkonsumsi ikan secara terus menerus sampai bertahun tahun, maka akan logam berat tersebut akan terakumulasi di tubuh manusia dan lama kelamaan akan memperngaruhi organ tubuh dan sistem metabolisme didalam tubuh dan pada akhirnya akan mengakibatkan penyakit yang membahayakan.

1.2 Rumusan Masalah

Sebagai habitat biota perairan seperti ikan dan kerang, tercemarnya perairan akan berakibat tercemarnya ikan dan kerang dan biota lainnya yang hidup di Kawasan tersebut antara lain kandungan logam berat pada dagingnya. Proses pencemarannya terjadi di perairan umum dan mencakup wilayah yang sangat luas seperti ini tanpa kita sadari biasanya terjadi secara terus menerus dan kadarnya pada awalnya tidak begitu signifikan tetapi seiring berjalannya waktu apabila tidak dilakukan pengendalian bias saja akan semakin meningkat seiring semakin meningkatnya beban pencemaran di kawasan tersebut, artinya lama kelamaan kandungan logam berat tadi akan semakin meningkat yang bias membahayakan masyarakat yang mengkonsumsinya.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Sudah terjadi pencemaran logam berat pada air, ikan dan kerang dan belum di ketahui penyebabnya di perairan Hutan Lindung Air Telang (HLAT).
- b. Belum adanya model yang menggambarkan sistem pengendalian pencemaran perairan di perairan Hutan Lindung Air Telang (HLAT).
- c. Belum adanya alternatif atau rancangan kebijakan pengendalian pencemaran perairan di perairan Hutan Lindung Air Telang (HLAT)

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan umum

Menganalisis sebaran logam berat pada ikan dan kerang serta hubungannya dengan kandungan logam berat di air dan sedimen dengan pendekatan permodelan di perairan sekitar hutan lindung air telang.

1.3.2 Tujuan khusus

- a. Menganalisis kualitas perairan dan tingkat pencemaran perairan di perairan Hutan Lindung Air Telang (HLAT)
- b. Membangun model yang menggambarkan sistem pengendalian pencemaran perairan di perairan Hutan Lindung Air Telang (HLAT)
- c. Merumuskan alternatif atau rancangan kebijakan pengendalian pencemaran perairan di perairan Hutan Lindung Air Telang (HLAT)

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis:

1. Manfaat teoritis, hasil penelitian ini nantinya dapat diergunakan sebagai dasar penelitian lanjutan (*evidence based*) sehingga dapat melakukan pengendalian pencemaran lingkungan perairan
2. Manfaat praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi landasan ilmiah dan bahan informasi Sebagai sumbangan pemikiran dan informasi bagi pengambil keputusan suatu instansi/institusi dalam menentukan kebijakan dalam hal pengelolaan lingkungan.

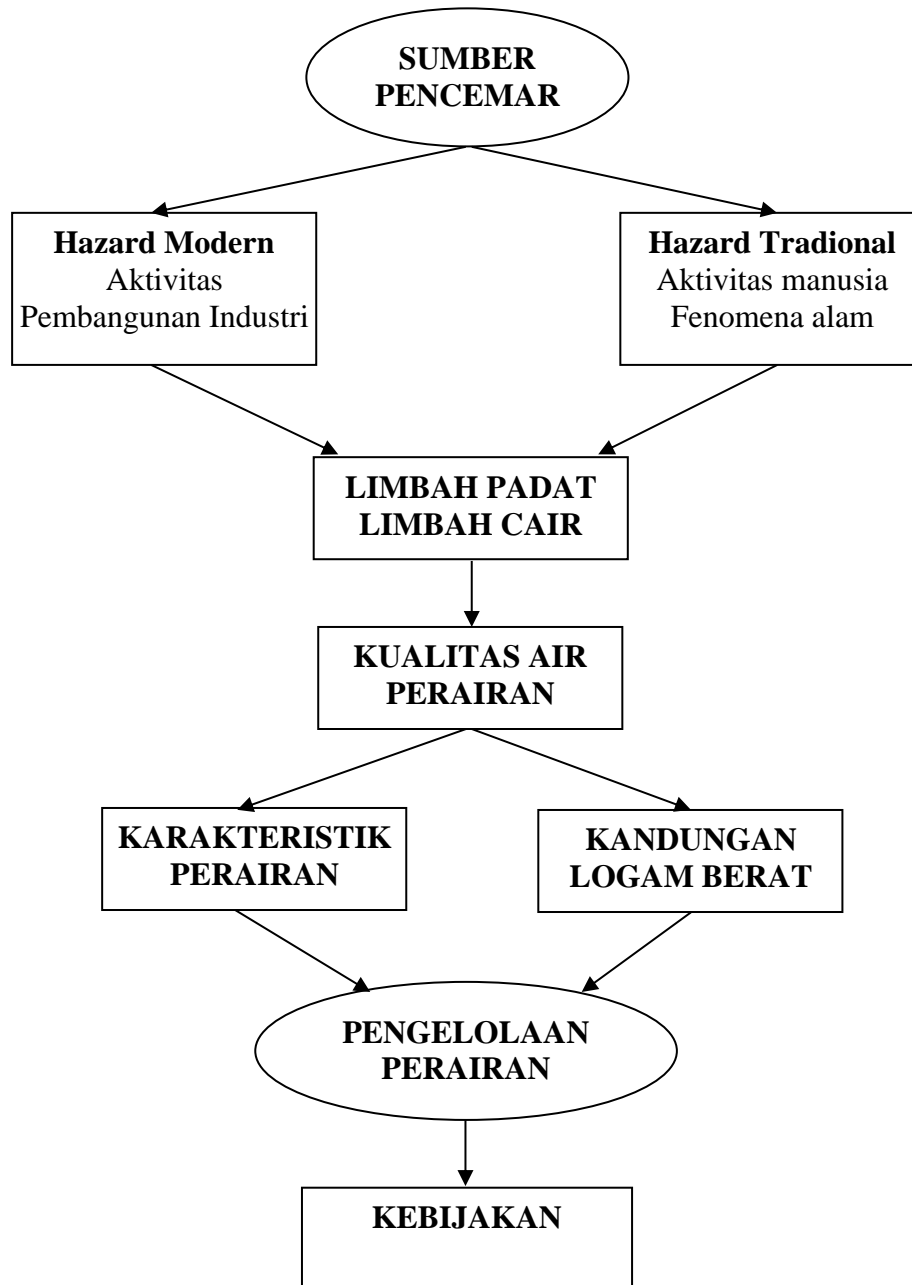
1.5 Hipotesis

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka hipotesis dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

- a. Telah terjadi penurunan kualitas perairan dan meningkatnya pencemaran perairan di perairan Hutan Lindung Air Telang (HLAT)
- b. Didapatkan model yang menggambarkan sistem pengendalian pencemaran perairan di perairan Hutan Lindung Air Telang (HLAT)

- c. Didapatkan alternatif atau rancangan kebijakan pengendalian pencemaran perairan di perairan Hutan Lingdung Air Telang (HLAT)

1.6 Kerangka teori



Sumber : (Eddy & Mutiara, 2018; Mainali & Chang, 2021; Oktriyedi et al., 2021; Uddin et al., 2018)

1.7 Kebaruan (Novelty)

- a. Model yang menggambarkan sistem pengendalian pencemaran perairan di perairan Hutan Lindung Air Telang (HLAT)
- b. Rancangan kebijakan pengendalian pencemaran perairan di perairan Hutan Lindung Air Telang (HLAT).

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Perairan Sekitar Muara Sungai Musi dan Sungai Banyuasin

Wilayah pesisir Pantai Timur Sumatera Selatan yang terletak di Kabupaten Banyuasin sebagian merupakan daerah muara sungai atau daerah estuaria semi tertutup yang sangat dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Secara geografis Kabupaten Banyuasin terletak antara $1,30^{\circ}$ - $4,0^{\circ}$ Lintang Selatan dan $104^{\circ} 00'$ - $105^{\circ} 35'$ Bujur Timur yang terbentang mulai dari bagian tengah sampai dengan bagian Timur Provinsi Sumatera Selatan dengan luas wilayah seluruhnya $11.832,99 \text{ Km}^2$ atau $1.183.299 \text{ Ha}$. Beberapa muara sungai, salah satunya yaitu muara sungai Banyuasin yang terdapat di Pantai Timur Kabupaten Banyuasin bermuara di Selat Bangka dan kini telah menjadi daerah lalu lintas transportasi air atau daerah alur lintasan kapal, baik kapal yang digunakan penduduk maupun kapal-kapal nelayan (PemKab Banyuasin, 2011).

Sungai Musi merupakan salah satu sungai terbesar di Provinsi Sumatera Selatan yang membentang sejauh 670 km, melewati dua Provinsi yaitu Provinsi Bengkulu dan Provinsi Sumatera Selatan. Ragam kegiatan pemanfaatan kawasan dapat kita jumpai di sepanjang aliran sungai, mulai dari kegiatan pertanian dan perkebunan di daerah hulu. Kegiatan penambangan emas dan pasir di bagian tengah hingga aktivitas industri, pelabuhan transportasi, dan pemukiman yang memadati kawasan hilir terutama Kota Palembang hingga daerah muara. Ragam aktivitas tersebut dikhawatirkan memberikan dampak terhadap penurunan kualitas lingkungan yang pada akhirnya akan mempengaruhi kehidupan organisme didalamnya (Putri dan Melki, 2020).

Sungai Banyuasin di Sumatera Selatan saat ini telah menjadi pusat kegiatan masyarakat di sekitarnya, di antaranya kegiatan perikanan (penangkapan dan tambak udang), transportasi perkebunan, pemukiman, dan industri. Meningkatnya intensitas kegiatan ini telah memberikan dampak yang cukup besar terhadap keseimbangan ekosistem Sungai Banyuasin. Permasalahan lain yang mengancam kelestarian sumber daya perairan adalah aktivitas di wilayah hulu sungai seperti pertanian, perkebunan, industri, dan pemukiman yang secara terus-menerus

memberikan dampak yang cukup besar terhadap ekosistem sungai. Bahan pencemar yang dihasilkan setiap kegiatan akan dibawa arus sungai menuju wilayah hilir, di wilayah ini bahan tersebut akan terakumulasi sehingga wilayah hilir mengandung cemaran yang cukup tinggi (Prianto *et al.*, 2010).

Kawasan Hutan Lindung Air Telang (HLAT) merupakan hutan lindung pantai dengan didominasi oleh vegetasi mangrove yang berada di pesisir timur pulau Sumatera. Kawasan ini secara administratif berada di Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. Menurut SK.822/Menhut-II/2013 tentang Penetapan Kawasan Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan, HLAT mempunyai luas sekitar 12.660,87 hektar. Beberapa bagian dari kawasan ini telah dikonversi menjadi lahan perkebunan kelapa dan kelapa sawit, tambak ikan dan udang, pertanian dan pemukiman, sehingga hutan primer yang tersisa sampai dengan tahun 2013 hanya sekitar 52% dari luas keseluruhan tersebut (Eddy *et al.*, 2018).

Wilayah Tanjung Api-api yang berdekatan dengan hutan lindung ini juga akan dijadikan Kawasan Ekonomi Khusus (KEK). Berbagai aktivitas baik oleh masyarakat, pemerintah maupun perusahaan di Kawasan HLAT dan sekitarnya akan berdampak terhadap kelangsungan kawasan ini, karena disamping dapat memicu percepatan degradasi juga rawan menimbulkan konflik pemilikan lahan (Eddy dan Dian, 2018).

2.2 Keanekaragaman Ikan dan Kerang di Perairan Sungai Musi dan Sungai Banyuasin.

Banyuasin merupakan sentra perikanan tangkap yang cukup potensial, hasil tangkapan terdiri dari ikan dan udang yang berasal dari air awar, air payau dan laut, dan 90% masyarakat daerah ini bermata pencarian sebagai nelayan. Jenis ikan dan udang ditangkap dengan menggunakan alat seperti pancing, rawa, jaring tangsi, belad, dan sebagainya. Keanekaragaman ikan yang tertangkap di sekitar sungai musu, pesisir kabupaten banyuasin sebesar 2,304 dan 2,561 dengan kategori indeks keanekaragaman jenis sedang dengan jenis ikan yang didapatkan antara lain *Arius venosus*, *Tachyleus sp*, *Trichiurus savala cuvier*, *Polynemus longipectoralis*, *Synaptura commersoniana*, *Himantura signifer*, *Liza melioptera*, *Coilia lindmoni*, *Paraplotosus* (Ridho dan Patriono, 2017).

Hasil penelitian dari Prianto dan Ni, (2010), menyatakan bahwa ikan yang dominan didapatkan di muara sungai banyuasin dan sungsang yaitu jenis-jenis ikan duri (*Hemipimelodus borneensis*) dan gulamo (*Johnius* sp.). Di perairan Muara Upang untuk ikan sungai yaitu ikan sepengkah (*Parambassis* sp.) dan lais (*Kryptopterus cryptopterus*). Menurut Prianto *et al.*, (2012), Jenis ikan yang dominan tertangkap adalah dari suku Ariidae (manyung), Sciaenidae (gulamah), Polynemidae (kuro), Stromateidae (bawal), Mugillidae (belanak), Latidae (kakap putih), Lobotidae (kakap batu), Plotossidae (sembilang) dan Serranidae (kerapu). Selain itu terdapat dua suku ikan buntal beracun yaitu Lagocephalidae dan Tetraodontidae.

Ikan yang dominan didapatkan di estuaria Sungai Banyuasin dan perairan Sungsang menurut Prianto dan Solekha, (2012), yaitu jenis-jenis ikan Duri (*Hemipimelodus borneensis*) dan Gulamo (*Johnius trachycephalus*). Di perairan estuaria Upang untuk ikan sungai yaitu ikan Sepengkah (*Ambassis gymnocephalus*) dan Lais (*Kryptopterus* sp) sedangkan ikan air asin yaitu ikan Bilis (*Clupeoides borneensis*) dan Bulu Ayam (*Coilia lindmani*).

2.3 Produksi Perikanan di sungai Musi dan sungai Banyuasin

Muara Sungai Musi Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan berperan sebagai area penangkapan ikan, pemukiman penduduk, dan sarana transportasi. Aktivitas penangkapan ikan oleh nelayan mayoritas dilakukan pada perairan ini. Seiring perjalanan waktu, aktivitas ini berdampak pada organisme perairan, khususnya ikan. Menurut Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) (2009-2013) *in* Nurhayati *et al.*, 2016, menyatakan dalam kurun waktu 4 tahun, sebesar 50% peningkatan jumlah unit alat tangkap (4000-6000) yang dioperasikan di perairan Kabupaten Banyuasin. Peningkatan jumlah unit alat tangkap ini tidak sejalan dengan peningkatan produksi perikanan yang tertangkap. Dalam kurun 4 tahun, peningkatan jumlah produksi perikanan hanya berkisar < 10% (27400-30.000 ton). Semakin meningkatnya penggunaan alat tangkap tidak sejalan dengan ketersediaan jumlah ikan sehingga menyebabkan keberlangsungan ikan terganggu. Mulanya ikan yang tertangkap hanya ikan dewasa, tetapi lama-kelamaan ikan kecil juga ikut tertangkap.

Produksi perikanan di kabupaten Banyuasin sebesar 97.618,87 ton pada tahun 2019, daya konsumsi perikanan banyuasin pada tahun 2018 mencapai 36,48 kg/kapita/tahun dan pada tahun 2019 mencapai 56,21 kg/kapita/tahun, pada tahun 2020 mencapai 45,54 kg/kapita/tahun data konsumsi yang terus meningkat, sehingga jika daya konsumsi ikan meningkat dan permintaan masyarakat terhadap ikan semakin banyak maka produksi perikanan juga ikut meningkat. Meningkatnya data konsumsi masyarakat terhadap ikan dapat membuat populasi ikan menjadi menurun (Pemerintah Kabupaten Banyuasin, 2020).

2.4 Sebaran Logam Berat di Perairan Sekitar Muara Sungai Musi dan Sungai Banyuasin

Perairan sekitar muara sungai Musi dan sungai Banyuasin merupakan kawasan yang dekat dengan pelabuhan tanjung Api-api yang telah difungsikan sebagai pelabuhan penumpang dan pelabuhan barang. Penambahan fungsi yang dilakukan kawasan ini, sedikit banyak akan mengakibatkan terjadinya perubahan pada perairan di sekitar pelabuhan. Mengingat lalu lintas pelayaran akan semakin sibuk. Salah satu perubahan pada perairan yang paling menonjol adalah meningkatkan konsentrasi logam berat di perairan.

Pergerakan kapal yang meningkat tentu akan meningkatkan frekuensi dan volume pembuangan air limbah kapal, salah satunya adalah air ballast. Sistem ballast pada kapal sesungguhnya adalah sistem yang penting dan berfungsi untuk menjaga kestabilan kapal. Sistem ini menggunakan air laut yang dipompa untuk masuk ke dalam tangki-tangki ballast maupun keluar dari pipa overboard. Air laut yang keluar dari sistem ballast ini memiliki berbagai macam kandungan, baik mikroorganisme maupun bahan-bahan kimia yang seluruhnya dapat membahayakan lingkungan perairan khususnya di sekitar muara sungai Musi dan sungai banyuasin (Agustriani *et al.*, 2016).

Perairan muara sungai Musi dan sungai Banyuasin merupakan salah satu ekosistem estuaria yang memiliki peranan ekologis bagi ekosistem lainnya. Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi organisme yang hidup di dalamnya. Banyaknya kegiatan yang ada di perairan muara sungai Musi maupun sungai Banyuasin

mengakibatkan munculnya konsentrasi limbah logam berat, diantaranya logam berat Pb dan Cu (Prasetio *et al.*, 2016).

Saat ini ekosistem Sungai Banyuasin telah mengalami degradasi lingkungan (terrestrial dan sungai) yang cukup tinggi akibat aktifitas manusia. Pemerintah propinsi Sumatera Selatan, telah melaksanakan pembangunan pelabuhan internasional seluas ± 40.000 ha dan perumahan mewah di kawasan ini. Di samping itu, untuk menghubungkan antara pelabuhan dan kota Palembang dibangun rel kereta api dan jalan raya. Aktifitas ini dapat menyebabkan erosi dan pencemaran perairan yang dikhawatirkan berakibat terhadap penurunan sumber daya ikan di kawasan sungai (Prianto dan Solekha, 2012).

Logam Pb, Cu dan Fe ditemukan dalam perairan muara sungai Banyuasin. Logam Pb dan Cu pada perairan muara sungai Banyuasin telah melebihi nilai ambang batas. Logam berat yang berada di muara sungai Banyuasin dapat memberikan dampak negatif bagi kepiting, kerang dan biota air lainnya karena dapat menghambat pertumbuhan hingga kematian (Sandro *et al.*, 2013).

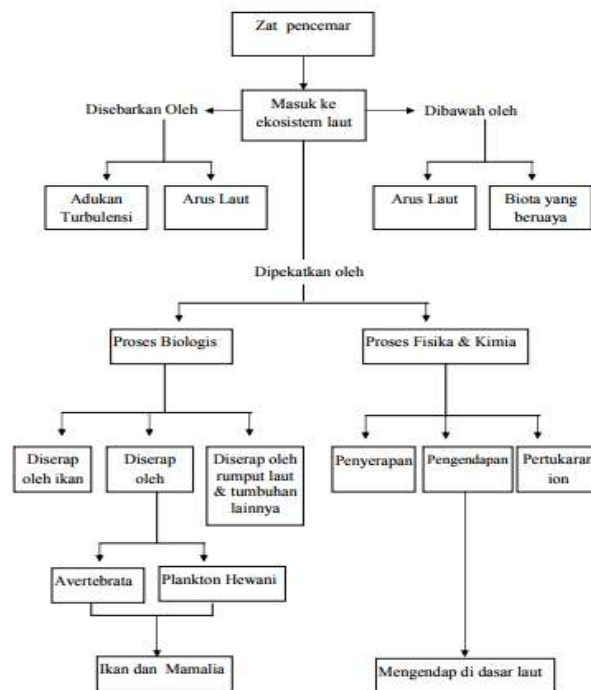
Logam berat Cu dan Pb secara alami berasal dari proses weathering tanah dan batuan serta aktivitas vulkanik. Sumber logam di dalam tanah berasal dari bahan induk pembentuk tanah itu sendiri. Batuan jenis granit mengandung Pb sebesar 24 mg/l, basal 3-6 mg/l, liat 20-23 mg/l dan pasir 10-12 mg/l. Aliran induk Sungai Musi berasal dari Bukit Barisan sekitar Bukit Kelam dan Bukit Daun di daerah Bengkulu pada ketinggian 875 dpl dan terbentuk dari batuan vulkanik (Basuki dan Putro, 2013). Aliran ini melalui lapisan andesit vulkanis di wilayah pegunungan dan berbelok ke arah timur laut sampai ke titik pertemuan dengan Air Rawas di daerah Babat Toman yang juga terdiri dari bahan vulkanik, kemudian mengarah ke timur melewati Kota Palembang menuju ke Selat Bangka (BRPPU, 2010 in Putri *et al.*, 2015).

Logam berat Pb dan Hg yang masuk ke dalam lingkungan perairan muara sungai Banyuasin pada umumnya berasal dari kegiatan antropogenik yaitu dari kegiatan industri, bahan bakar, rumah tangga (domestik) dan pertanian. Diduga kandungan logam berat di muara sungai Banyuasin telah melebihi batas aman. Logam berat ini selain mempengaruhi kualitas air sehingga mengakibatkan kondisi lingkungan tidak sesuai lagi dengan peruntukannya, juga akan berpengaruh pada

sumberdaya hayati perairan, karena sifat logam berat yang akumulatif pada tubuh biota (Barus, 2017).

Konsentrasi logam berat dapat meningkat karena masukan limbah dari kegiatan antropogenik di sekitar Daerah Aliran Sungai (DAS) serta sepanjang aliran Sungai Musi. Limbah yang diperkirakan berpotensi mengandung Cu adalah pupuk yang berasal dari kegiatan pertanian dan perkebunan. Di bagian hulu Sungai Musi (sub DAS Komerling dan Lematang) terdapat kegiatan pertanian dan perkebunan yang menghasilkan limbah sisa-sisa pupuk dan pestisida. Selain itu juga terdapat aktivitas pengolahan minyak bumi dan kelapa sawit yang menghasilkan logam berat. serta penambangan emas di sub DAS Rawas yang menyebabkan logam-logam ikutan seperti Cd dan Hg lepas ke perairan. Pada bagian hilir, aktivitas yang diperkirakan berpotensi menghasilkan limbah mengandung Pb adalah transportasi dan pelabuhan. Proses pencucian dan pemeliharaan kapal-kapal nelayan serta ceceran bahan bakar minyak yang digunakan dalam kegiatan transportasi diduga berkontribusi terhadap konsentrasi logam Pb di perairan (BRPPU, 2010 in Putri *et al.*, 2015).

Berikut proses yang terjadi bila logam berat masuk ke lingkungan laut :



Gambar 1. Proses yang terjadi bila logam berat masuk ke lingkungan laut (Hutagulung, 1990 in Asni, 2013).

2.5 Logam Berat

2.5.1 Pengertian Logam Berat

Logam berat merupakan bahan pencemar yang dapat merugikan kesehatan manusia dalam rentang waktu lama, karena efek selanjutnya dapat mempengaruhi sistem saraf, penyebab mutasi gen, menghambat sistem metabolisme sel dan dapat menyebabkan kanker. Logam berat yang masuk ke perairan akan mengalami berbagai proses mencakup transport oleh arus pasang surut, pengenceran, berasosiasi dengan bahan tersuspensi, koagulasi dan sedimentasi ke dasar, diserap oleh plankton dan biota air lainnya (Siregar dan Jhon, 2010).

Logam berat secara alami ditemukan dalam lingkungan perairan. Keberadaannya di kolom air dan sedimen dapat berasal dari aktivitas manusia di daratan seperti industri, transportasi, pertambangan, dan pemukiman. Logam berat di suatu perairan dapat digunakan sebagai salah satu parameter penting untuk melihat tingkat pencemaran suatu perairan. Keberadaan logam berat di perairan terdapat dalam fase terlarut dan tersuspensi. Seiring berjalannya waktu logam berat yang ada di kolom air akan jatuh ke dasar perairan dan akhirnya mengendap di sedimen. Sedimen yang terkontaminasi logam berat dapat membahayakan organisme yang hidup di dalamnya. Selain berbahaya bagi organisme akuatik, logam berat dapat membahayakan jika sampai pada manusia karena bersifat toksik dan dapat mengakibatkan gangguan kesehatan (Maddusa *et al.*, 2017).

Salah satu pencemaran pada lingkungan air, tanah dan udara adalah logam berat karena logam berat termasuk zat pencemar yang memiliki sifat stabil, sulit terurai dan beracun terhadap makhluk hidup, walaupun beberapa di antaranya diperlukan dalam jumlah kecil. Logam berat dapat terakumulasi ke dalam tubuh melalui beberapa jalur, di antaranya melalui makanan yang dikonsumsi baik yang berasal dari tanaman dan hewan, polusi udara dari kendaraan bermotor dan asap pabrik. Jika akumulasi logam berat ini berlangsung terus menerus dalam jangka waktu yang lama dapat membahayakan kesehatan manusia (Marganof, 2003 *in* Kristianto *et al.*, 2021).

2.5.2 Dampak Adanya Logam Berat Pada Perairan

Dampak yang ditimbulkan dari adanya logam berat dalam perairan tergantung dari keberadaan logam berat dalam air dan lumpur/sedimen. Daya toksik

dan konsentrasinya dalam lingkungan. Logam berat jika masuk dalam tubuh makhluk hidup akan mengalami biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi. Biokonsentrasi merupakan masuknya bahan pencemar secara langsung dari air oleh makhluk hidup melalui jaringan seperti insang atau kulit, bioakumulasi merupakan masuknya bahan pencemar oleh makhluk hidup dari suatu lingkungan melalui suatu mekanisme atau lintasan, dan biomagnifikasi merupakan proses dimana bahan pencemar konsentrasinya semakin meningkat dengan meningkatnya posisi makhluk hidup pada suatu rantai makanan (Hidayah *et al.*, 2014).

2.5.3 Logam Berat Pada Perairan

Sumber logam berat di perairan bersumber dari alam (debu vulkanik, pengikisan bebatuan, dan lainnya) dan aktivitas manusia (limbah domestik, limbah industri, dan lainnya). Logam berat memiliki sifat akumulatif di lingkungan. Keberadaan logam berat Timbal (Pb), merkuri (Hg), Besi (Fe), kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan Arsen (As) yang menumpuk pada air dan sedimen akan masuk ke dalam kehidupan organisme di dalamnya, logam berat pada konsentrasi tertentu akan terakumulasi ke dalam air, biota, serta sedimen ada perairan tersebut. Dan dapat menimbulkan efek toksik terhadap organisme di dalamnya (Maddusa *et al.*, 2017).

2.5.3.1 Timbal (Pb)

Logam berat Timbal (Pb) termasuk mineral Mikroelemen, salah satu jenis logam berat dan berpotensi menjadi bahan toksik jika terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup. Masuknya unsur Pb ke dalam tubuh makhluk hidup dapat melalui saluran pencernaan, saluran pernafasan (inhalasi), dan penetrasi melalui kulit (Sandro *et al.*, 2013).

Toksisitas logam berat Timbal (Pb) dapat memberikan pengaruh terhadap laju pertumbuhan makhluk hidup seperti ikan dan biota air lainnya. Semakin lama pemaparan Pb dan semakin tinggi konsentrasi Pb akan menurunkan laju pertumbuhan. Pb dalam tubuh dengan konsentrasi yang tinggi akan menghambat aktivitas enzim. Penghambatan aktivitas enzim akan terjadi melalui pembentukan senyawa antara logam berat dengan gugus sulfhidril (S-H). Enzim-enzim yang memiliki gugus S-H merupakan kelompok enzim yang paling mudah terhalang

kerjanya. Hal tersebut disebabkan karena gugus S-H mudah berikatan dengan ion-ion logam berat yang masuk ke dalam tubuh, akibat dari ikatan yang terbentuk antara gugus S-H dan logam berat, daya kerja yang dimiliki oleh enzim menjadi sangat berkurang atau sama sekali tidak bekerja. Keadaan seperti ini yang akan merusak dari sistem metabolisme tubuh (Yulaipi dan Annurohim, 2013).

2.5.3.2 Tembaga (Cu)

Logam berat Tembaga(Cu), walau dibutuhkan dalam jumlah kecil untuk aktivitas metabolisme tubuh namun dapat terakumulasi dalam tubuh organisme jika konsentrasi di perairan tinggi. Hal ini membahayakan manusia yang mengkonsumsi organisme (ikan) yang terkontaminasi mengingat logam berat bersifat teratogenik, serta dapat mengakibatkan kerusakan berbagai organ tubuh (Putri *et al.*, 2015).

Logam berat Tembaga (Cu) termasuk kedalam kelompok logam esensial. Dilihat dari kepentingan biota perairan, dalam kadar yang rendah dibutuhkan oleh organisme untuk reproduksi dan sebagai koenzim dalam proses metabolisme tubuh. Pada manusia Cu diperlukan dalam proses fisiologis tubuh. Namun bila terjadi kekurangan Cu dalam darah dapat menyebabkan anemia, pertumbuhan terhambat dan kerusakan pada tulang. Selain itu, terdapat logam berat Besi (Fe) sebagai elemen esensial untuk nutrisi tubuh. Fe dibutuhkan oleh organisme perairan untuk mengangkut oksigen keseluruh jaringan tubuh dan dalam sel (Sandro *et al.*, 2013).

Tembaga Cu termasuk mineral mikro dikarenakan keberadaanya dalam tubuh sangat sedikit namun diperlukan dalam proses fisiologis, di alam tembaga ditemukan dalam bentuk senyawa sulfida jika kelebihan dapat mengganggu kesehatan dan menyebabkan keracunan (Mulyani *et al.*, 2016). Logam berat tembaga memiliki warna kemerah-merahan yang berikatan dengan ion-ion lain seperti sulfat sehingga memiliki warna yang berbeda dari logam tembaga yang murni. Penggunaan tembaga yang semakin meluas akan meningkatkan kadarnya di lingkungan. Sedimen di laut dan teluk akan mendepositokan lumpur yang terbawa dari berbagai sungai sehingga sedimen dan air laut akan terkontaminasi dengan tembaga dikarenakan pembuangan air limbah yang mengandung tembaga (Khairuddin *et al.*, 2021).

2.5.3.3 Merkuri (Hg)

Logam merkuri atau Hg (Hydrargyrum) merupakan satu-satunya unsur logam yang memiliki bentuk fase cair pada suhu kamar (25⁰C) dan sangat mudah menguap. Logam Hg selama ini dikenal dengan logam yang sangat berbahaya, karena tingginya toksisitas yang ditimbulkan bila masuk ke dalam tubuh organisme. Secara alami, semua logam berat termasuk Hg bersifat mudah berikatan dengan dan mengendap di perairan, sehingga dengan mudah masuk ke tubuh organisme dan berasosiasi dengan rantai makanan. Logam Hg yang terbuang ke perairan akan mengalami transformasi bentuk kimia akibat aktivitas mikroorganisme yang kemudian dengan mudah terserap ke dalam tubuh organisme (Suteja *et al.*, 2019).

Merkuri (Hg) merupakan satu-satunya logam yang berada dalam bentuk cairan pada suhu normal. Merkuri terdapat di alam dalam bentuk logam, garam anorganik dan garam organik. Dalam bentuk garam anorganik merkuri dapat menyebabkan kerusakan hati dan ginjal, karena timbunan Hg yang paling tinggi dalam “organ dalam” manusia terjadi di hati dan ginjal. Komponen merkuri yang paling berbahaya adalah metil-merkuri (merkuri organik), yang dapat menyebabkan kematian kelainan saraf yang tidak dapat diperbaiki dan kelainan genetika.

Jenis logam berat merkuri (Hg) tidak termasuk yang dibutuhkan dalam proses metabolisme, peranannya belum diketahui dengan jelas pada makhluk hidup. Mereka merupakan bahan pencemar yang berbahaya akibat dari pembuangan sampah-sampah ke sungai secara berlebihan. Hal ini dapat terjadi melalui tiga cara. Pertama, akibat dari pembuangan sisa industri yang tidak terkontrol. Kedua, berasal dari lumpur minyak yang kadang-kadang juga mengandung logam berat dengan konsentrasi yang tinggi. Ketiga, berasal dari pembakaran minyak (hidrokarbon) dan batubara di daratan (Yudo, 2006).

2.5.3.4 Kadmium (Cd)

Logam kadmiun (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena logam ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Logam kadmiun berdampak langsung terhadap organisme, karena dapat terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup melalui tingkatan rantai makanan sampai tingkat tropik tertinggi seperti manusia. Sumber kadmiun di perairan berasal dari pupuk fosfat, endapan sampah, dan campuran seng (0,2% Cd sebagai bahan impurity). Industri

tekstil juga merupakan sumber pencemar logam Cd yang dihasilkan dari proses pencelupan dan pewarnaan. Selain itu, logam Cd di perairan juga berasal dari tumpahan solar dari perahu nelayan (Emilia *et al.*, 2013).

Pencemaran logam berat kadmium akan menyebabkan ikan yang hidup dan berkembang biak akan ikut mengakumulasi logam berat, dimana logam tersebut akan terserap oleh tubuh ikan, yang diikat oleh protein tionein yang disintesis di dalam hati kemudian disebar ke seluruh tubuh melalui mekanisme peredaran darah (Prabowo *et al.*, 2016).

2.5.3.5 . Besi (Fe)

Di dalam air, besi dalam bentuk terlarut sebagai senyawa garam ferri (Fe^{3+}) atau garam ferro (Fe^{2+}), tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter <1 mm) atau lebih besar seperti $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan bergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik seperti tanah liat dan partikel halus terdispersi. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ memiliki nilai kelarutan yang rendah yaitu 4×10^{-38} . Besi (Fe) merupakan mikroelemen yang esensial bagi tubuh, terutama diperlukan dalam *hematopoesis* (pembentukan darah) yang ada dalam sintesa haemoglobin. Selain itu, Fe juga dapat terakumulasi dalam alveoli sehingga menyebabkan berkurangnya fungsi paru-paru (Murray *et al.*, 2018).

Buangan industri yang mengandung persenyawaan logam berat Fe bukan hanya bersifat toksik terhadap tumbuhan tetapi juga terhadap hewan dan manusia. Logam berat Besi (Fe) merupakan logam esensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup. Namun dalam jumlah berlebih dapat menimbulkan efek racun. Tingginya kandungan logam Fe akan berdampak terhadap kesehatan manusia diantaranya bisa menyebabkan keracunan (muntah), kerusakan usus, penuaan dini hingga kematian mendadak, radang seni, cacat lahir, gusi berdarah, kanker sirosis ginjal, dan lain sebagainya (Supriyantini dan Hadi, 2015).

2.5.3.6 Arsen (As)

Arsen (As) merupakan salah satu logam berat yang menjadi bahan pencemar yang dapat merusak lingkungan dan mengganggu kesehatan manusia. Masuknya As ke dalam lingkungan dapat di sebabkan secara alami maupun dari

aktifitas manusia. Aktivitas manusia memiliki peran yang sangat besar dengan masuknya As ke dalam lingkungan, seperti produksi dan penggunaan As di dalam kegiatan industri, baik itu industri pengolahan biji logam, industri pestisida, serta industri pertambangan, serta dapat berasal dari aktivitas pertanian yang menggunakan pupuk atau pestisida. Logan As juga bisa masuk kedalam lingkungan melalui buangan limbah rumah tangga (Mabuat *et al.*, 2017).

Arsen dalam air tanah terbagi dalam dua bentuk yaitu bentuk tereduksi terbentuk dalam kondisi anaerobik, sering disebut arsenit. Bentuk lainnya adalah bentuk teroksidasi, terjadi pada kondisi aerobik, umum disebut sebagai arsenat. Arsen ditemukan dalam 200 bentuk mineral, diantaranya arsenat (60%), sulfida dan sulfosalts (20%), dan kelompok kecil berupa arsenida, arsenat, oksida silikat, dan arsen murni. Dalam lingkungan perairan, kondisi dalam tekanan oksidasi arsen membentuk pentavalent arsenat (As(V)), dimana dalam kondisi sebaliknya saat tereduksi membentuk trivalent arsenit (As(III)), dan mobilitas serta penyerapan oleh sedimen, tanah lempung, dan mineral tanah bergantung pada bentuk arsennya (Istarani dan Ellina, 2014).

2.6 Sebaran Logam Berat di Sekitar Muara Sungai Musi dan Sungai Banyuasin

Sungai Musi sebagai salah satu sungai yang memiliki peran penting dalam kehidupan masyarakat sekitar Sumatera Selatan. pemanfaatan sungai dalam berbagai sektor kehidupan seperti transportasi, industri dan pemukiman yang memadati sungai Musi bagian hilir. Beberapa kegiatan industri yang terdapat di sungai Musi yang berpotensi meningkatkan konsentrasi logam berat dalam perairan adalah pabrik PT. Pusri, Pertamina, galangan kapal, transportasi dan penggerukan pasir (Sari *et al.*, 2019).

Bapedalda Provinsi Sumatera Selatan (2006) mencatat ada kurang lebih 20 industri terdapat di bagian hilir sungai Musi diantaranya industri pengelolaan kayu, karet, pupuk, keramik, dok kapal, detergen, minyak, gas, *cold storage*, *electroplating* dan industri minuman ringan. Sebagian besar industri Pengelolaan Air Limbah (IPAL) yang optimal. Beberapa penelitian di sungai Musi telah membeikan informasi adanya kontaminasi bahan pencemar yang dapat menurunkan kualitas perairan (Putri *et al.*, 2015).

Sungai Musi salah satu sungai yang ada di Provinsi Sumatera Selatan. Aliran air sungai Musi melalui beberapa tata guna lahan. Pada bagian hulu dan tengah sungai Musi, ditemukan aktivitas pemanfaatan pertanian padi, hortikultura, perkebunan kopi dan coklat serta karet, sedangkan pada bagian pinggir perairan dijumpai usaha perikanan dan pertambangan pasir dan batubara. Pemanfaatan lahan di sungai Musi bagian hilir lebih banyak dan bervariasi antara lain pemukiman penduduk, transportasi dan lainnya. Namun didominasi dengan kegiatan pengilangan minyak, kayu lapis, pabrik pupuk, dan lainnya. Semua aktivitas tersebut dapat berkontribusi terhadap peningkatan komponen logam berat di perairan seperti logam berat Pb, Cu, Cd, Hg, dan lainnya (Putri dan Ana, 2016).

Cemaran kadmium (Cd) di perairan sungai Musi kemungkinan berasal dari tumpahan solar dari perahu nelayan. Selain itu, cemaran Cd dapat juga berasal dari korosifnya bagian bawah kapal yang terbuat dari seng (Zn). Adanya industri rumah tangga yang bergerak dibidang tenun songket di daerah tersebut secara tidak langsung menyumbang cemaran logam Cd melalui kegiatan pencelupan benang yang mengandung pigmen warna. Fluktuasi konsentrasi logam Cd dalam sedimen di beberapa lokasi di Sungai Musi dipengaruhi antara lain oleh arus sungai dan tipe sedimen. Sebab besarnya kandungan logam berat yang mengendap di dasar perairan pada daerah yang memiliki arus tenang akan jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan perairan berarus kuat atau deras (Emilia *et al.*, 2013).

Muara sungai Banyuasin sebagai salah satu rute pelayaran mendapatkan masukan air dari dua sungai yang berbeda yaitu sungai Lalan dan sungai Banyuasin. Muara ini tidak hanya sebagai pusat aktivitas penangkapan ikan di Sumatera Selatan, melainkan juga menjadi daerah pelabuhan penumpang yang menghubungkan Palembang dan Bangka. Wilayah disepanjang kedua hulu sungai banyak digunakan sebagai lahan pertanian dan industri. Kegiatan industri pada hulu sungai Banyuasin dapat memberi dampak buruk pencemaran logam pada lingkungan perairan, terutama biota perairan.

Bagian hilir sungai banyak digunakan oleh sebagian besar penduduk sebagai tempat penangkapan ikan dan usaha keramba jaring apung atau bagan. Banyaknya kapal-kapal nelayan yang berada di bagian hilir serta kapal-kapal industri dibagian hulu yang melintasi muara sungai Banyuasin dapat

mengakibatkan cemaran logam dari masukan bahan bakar kapal yang mencemari perairan (Barus, 2017).

Muara sungai Banyuasin merupakan muara dari dua sungai yaitu sungai Banyuasin dan sungai lalan. Sungai ini secara umum melewati Kabupaten Banyuasin dan Musi Banyuasin. Sumber pencemaran logam berat seperti merkuri (Hg) pada sungai Banyuasin diduga berasal dari berbagai aktifitas seperti pertanian dan perkebunan. Sebab menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Sumatera Selatan (2016), Kabupaten Banyuasin dan Musi Banyuasin memiliki luas total lahan pertanian padi dan perkebunan masing-masing 298.231 ha dan 500.212 ha. Sumber pencemaran lainnya berasal dari aktifitas penambangan batubara (Suteja *et al.*, 2019).

2.7 Logam Berat di Dalam Tubuh Ikan dan Kerang

Masuknya logam berat di perairan laut dan kegiatan yang dapat memicu terjadinya pencemaran di pesisir dan laut diantaranya adalah perkapalan dumping laut, pertambangan, eksplorasi dan eksploitasi minyak, budidaya laut dan perikanan. Keberadaan logam berat sangat membahayakan sebuah ekosistem di perairan karena adanya logam berat yang terendapkan dalam sedimen akan memberikan dampak negatif bagi organisme yang hidup di dasar perairan (Kristianto *et al.*, 2021).

Ikan termasuk salah satu biota perairan yang sering dipakai sebagai bioindikator logam berat di perairan dikarenakan ikan sebagai sumber protein manusia serta termasuk ke dalam trofik level tertinggi. Jika ikan yang terakumulasi logam berat dikonsumsi oleh manusia maka logam berat ini akan terakumulasi di dalam tubuh manusia. Logam berat yang nilai ambang batasnya melebihi yang telah ditetapkan maka dapat membahayakan kehidupan manusia (Cahyani *et al.*, 2016).

Beberapa penelitian terkait akumulasi logam berat pada organisme berupa ikan di sekitar sungai Musi dan sungai Banyuasin. Hasil penelitian Kaban, (2015) menyatakan bahwa menemukan kandungan logam berat Pb pada daging ikan bawal putih yang tertangkap di sekitar Perairan Banyuasin sebesar tidak terdeteksi 2,52mg/kg dan logam Berat Cu berkisar 0,04 –2,72 mg/kg. Selanjutnya hasil penelitian Putri dan Purwiyanto (2016) menemukan konsentrasi rata-rata Cu dan Pb pada daging ikan Juaro (*P.polyuranodon*) adalah 0,298 mg/kg

Cu dan 0,147 mg/kg Pb sedangkan konsentrasi pada ikan sembilang (*P.albilabris*) sebesar 0,171 mg/kg Cu dan 0,2 mg/kg Pb.

Penelitian oleh Putri *et al.*, (2022) menyatakan logam berat Pb ditemukan pada ketiga jenis ikan yang dominan tertangkap di Perairan Tanjung Api-Api antara lain bawal putih (*Pampus argenteus*), puput (*Ilisha elongata*) dan senangin (*Eleutheronema tetradactylum*). Konsentrasi logam Pb yang ditemukan pada daging ikan bawal putih berkisar antara 0,89–5,84 mg/kg (rata-rata 2,28 mg/kg), pada ikan puput berkisar antara 1,61–4,80 mg/kg (rata-rata 3,28 mg/kg) dan ikan senangin berkisar antara 1,37–3,48 mg/kg (rata-rata 2,93 mg/kg). Konsentrasi logam Cu yang ditemukan pada bagian daging ikan jenis bawal putih berkisar 0,15–0,37 mg/kg (rata-rata 0,27 mg/kg). Selanjutnya pada ikan puput, konsentrasi Cu yang ditemukan berkisar 0,06–0,32 (rata-rata 0,20 mg/kg) dan terakhir pada ikan senangin Cu ditemukan berkisar 0,25–1,28 mg/kg (rata-rata 0,78 mg/kg).

Ketika sumber pencemar logam berat masuk atau dimasukkan ke dalam badan air sungai maka sangat mungkin bisa mencemari perairan sungai tersebut, dan terakumulasi ke dalam biota yang berada dalam perairan sungai. Jika masyarakat pesisir sungai mengkonsumsi biota seperti ikan dan kerang yang telah terkontaminasi logam berat secara terus-menerus maka hal itu dapat membahayakan kesehatan masyarakat tersebut. Resiko kesehatan yang mungkin bisa terjadi apabila telah terkontaminasi kandungan logam berat dan terakumulasi dalam tubuh dalam waktu yang lama antara lain, iritasi usus dan lambung, penurunan produktivitas sel darah putih dan darah merah, perubahan kulit dan iritasi paru-paru (Maddusa *et al.*, 2017).

Selain ikan terdapat juga kelompok crustasea seperti kerang yang dapat terkena logam berat. Kerang sebagai sumber bahan makanan cukup digemari oleh masyarakat Indonesia. Bagian kerang yang dimakan adalah dagingnya termasuk alat pencernaannya. Kerang dimanfaatkan sebagai pengganti daging, telur, dan lain-lain. Apabila manusia mengkonsumsi kerang yang mengandung logam berat dalam jumlah yang cukup tinggi akan berdampak negatif terhadap kesehatan. Beberapa logam berat yang umum ditemukan dalam kerang adalah logam berat Timbal (Pb), Tembaga (Cu), dan (Zn) Seng (Wardani *et al.*, 2018).

Salah satu bioindikator pencemaran di lingkungan perairan adalah kandungan logam berat yang terakumulasi di dalam biota air, seperti ikan dan kerang di perairan tersebut. Kerang dapat digunakan sebagai indikator yang baik karena sifatnya menetap dalam suatu habitat tertentu sepanjang hidupnya. Banyaknya logam berat tergantung pada bentuk senyawa dan konsentrasi logam berat. Akumulasi logam berat Pb sering terjadi pada kerang dan menyebabkan keracunan bagi masyarakat yang mengkonsumsinya (Trisyani, 2020).

Logam berat yang berasosiasi dengan biota air dan sedimen, pada gilirannya akan memasuki rantai makanan yang selanjutnya mengalami akumulasi pada ikan. Ikan laut pada hierarki rantai makanan tingkat atas, secara langsung akan menyerap pencemaran dari badan air, atau secara tidak langsung akan terjadi biomagnifikasi melalui rantai makanan. Proses transport Pb, Cd, Cu, Ni, dan Zn ke dalam tubuh ikan dapat melalui passif (*passive transport*) karena adanya gradient konsentrasi. Dan melalui transport aktif (*facilitated transport*) yang dimediasi molekul makro (Siregar dan Jhon, 2010).

Ikan sebagai pemangsa puncak (*top predator*) di perairan akan mendapatkan pencemar secara aktif dari rantai makanan dan terserap secara passif melalui lingkungan dengan proses pengaturan tekanan osmose cairan tubuh (osmoregulasi). Ikan yang berada di kolom air yang tercemar logam berat akan menyerap secara passif ion positif (kation) dari lingkungannya melalui berbagai tahapan sistem organ. Perjalanan pencemar tersebut melalui diffuse ke kulit, melalui peredaran darah ke ginjal, melalui saluran pencernaan ke daging, hati dan empedu. Secara fisiologis ikan memiliki sistem eliminasi pencemar dari dalam tubuhnya.

Namun pencemar yang masuk aktif melalui rantai makanan (*feeding*) akan mengalami perubahan bentuk secara biologi (*biotransformation*) dan terakumulasi dalam sistem daging sesuai dengan pertumbuhan biomassa ikan (daging, tulang, usus, kulit, dan sirip). Proses akumulasi pada biomassa ikan bersifat tidak dapat berbalik (*irreversible*) dan bila dikonsumsi oleh manusia akan tertimbun dalam biomassa manusia (Siregar dan Jhon, 2010).

Kandungan logam berat pada ikan berbeda-beda pada tiap bagiannya. Konsentrasi akumulasi logam berat pada ikan lebih tinggi pada organ seperti gonad, tulang, dan kepala. Pada bagian daging ikan konsentrasi logam berat yang

terakumulasi lebih kecil tetapi pada bagian ini yang lebih sering dikonsumsi oleh manusia. Selain itu, logam berat juga dapat menghambat laju pertumbuhan dari ikan (Yulaipi dan Annurohim, 2013).

Logam berat termasuk zat pencemar karena sifatnya yang stabil dan sulit untuk diuraikan. Banyaknya sumber logam berat di alam, meningkatkan pencemaran logam berat khususnya pada perairan yang akan terakumulasi pada rantai makanan hingga biota di perairan tersebut. Biota perairan yang telah tercemar logam berat akan mengalami gangguan pertumbuhan hingga kematian. Biota perairan yang mempunyai peranan paling tinggi dalam penyerapan logam berat dalam perairan adalah jenis krustasea seperti kerang, kepiting, dan beberapa jenis udang serta ikan (Sandroet *al.*, 2013).

Salah satu komunitas biologis atau organisme yang merasakan langsung pengaruh adanya bahan pencemar dan dapat digunakan sebagai bioindikator pencemaran suatu perairan yaitu dari Filum Moluska, karena Moluska hidup pada dasar perairan, tidak dapat bergerak cepat serta memiliki tingkat toleransi yang luas terhadap suatu perairan dan dapat menunjukkan hubungan antara kandungan bahan pencemar di dalam air dan dalam tubuhnya. Filum Moluska ini yang memiliki habitat pada daerah pasang surut (zona intertidal). Filum Moluska dapat dijadikan monitoring lingkungan dan bioindikator suatu perairan apabila diindikasikan adanya pencemaran logam berat, karena Filum Moluska memiliki sifat pergerakannya yang lambat, habitat di dasar perairan, pola makan detritus dan kemampuannya untuk mengakumulasi senyawa- senyawa kimia dalam jaringan tubuhnya (Wulansari dan Sunu, 2018).

2.8 Permodelan Lingkungan Logam Berat

Pemodelan adalah suatu teknik untuk membantu menyederhanakan suatu sistem dari yang lebih kompleks, dimana hasil pemodelan tersebut dapat disebut juga dengan model. Model yang lengkap akan menggambarkan dengan baik dari segi tertentu yang penting dari perilaku dunia nyata sehingga dapat mewakili berbagai aspek dari realitas yang sedang dikaji. Model memperlihatkan atau menyatakan hubungan langsung maupun tidak langsung interaksi antara satu unsur dengan lainnya yang membentuk suatu sistem (Wiyanto, 2021).

Gambaran besar kecilnya beban (entropi) logam berat yang masuk ke badan sungai, lumpur/sedimen dan pengaruhnya terhadap biota perairan dapat menggunakan inovasi permodelan. Permodelan yang digunakan antara lain permodelan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mempresentasikan secara spasial distribusi bahan pencemaran yang masuk di areal sungai tersebut. Permodelan Sistem Informasi Geografis digunakan untuk mendistribusikan sebaran spasial dari hasil penelitian logam berat, parameter plankton, dan parameter kualitas air.

Data point logam berat, plankton dan data parameter kualitas air dengan menggunakan metode *Geostatistical* metode interpolasi *Universal Kriging* yang mendistribusikan dalam dua model yaitu *semivariogram/Covariance Model* dan *Inverse Distance Model (IDW)*. Manfaat dari *semivariogram/Covariance Model* dapat digunakan untuk mengestimasi nilai atribut yang diambil pada lokasi penelitian, dapat memprediksi nilai spasial pada lokasi yang belum tersampling/tidak tersampling. Sedangkan manfaat dari model *Inverse Distance Model (IDW)*, metode ini digunakan untuk memodelkan secara spasial dari sampel logam berat pada biota dan parameter kualitas air, karena model ini merupakan interpolator dengan bobot kebalikan jarak yang bersifat akurat serta dapat menggambarkan sebaran sampel berupa titik-titik seperti sebaran parameter biota dan kualitas air (Sofarini *et al.*, 2012).

Permodelan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah suatu sistem basis data yang berupa data yang bereferensi keruangan (spasial) secara geografis. Disamping itu, SIG juga berperan pada yang digabungkan, mengatur data dari beberapa data yang ada, dan analisis data dilakukan sehingga menciptakan output yang dapat digunakan sebagai referensi dalam pengambilan keputusan pada masalah yang berhubungan dengan geografi. Permodelan pemetaan secara SIG dalam penerapan penelitian pada bidang lingkungan, metode yang dimaksud yaitu interpolasi *Invers Distance Weighted (IDW)*. Proses interpolasi untuk mendapatkan nilai titik sampel dalam penyajian pemetaan.

Analisa spasial merupakan analisa dan beberapa data yang dibentuk secara geografis berdasarkan faktor-faktor lingkungan serta hubungan antar variabel di lingkungan. Kegiatan proses pengolahan data dan analisis data secara spasial

tersebut digunakan pada salah satu metode interpolasi dari SIG. Interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah maupun daerah yang tidak terukur, sehingga membentuk sebaran nilai pada seluruh bagian wilayah (Fitriana dan Agus, 2021).

Selain permodelan berbasis SIG dan IDW terdapat juga permodelan dengan menggunakan sistem dinamik. Sistem dinamik merupakan metode yang dapat menggambarkan proses, perilaku, dan kompleksitas dalam sistem. Model dinamik merupakan suatu metode pendekatan eks- perimental yang mendasari kenyataan-kenyataan yang ada dalam suatu sistem untuk mengamati tingkah laku sistem tersebut. Tujuan metodologi sistem dinamik berdasarkan filosofi sebab-akibat adalah mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang cara kerja suatu sistem. Sistem dinamik dapat diaplikasikan ke dalam perangkat lunak seperti Vensim, Dyna- mo, Simile, Powersim, I-think, dan lain-lain. Permodelan dinamik terdiri dari variabel-variabel yang saling berhubungan. Dengan perangkat lunak tersebut, model dibuat secara grafis dengan simbol-simbol atas variabel dan hubungannya yang meliputi dua hal, yaitu struktur dan perilaku (Sa'adah *et al.*, 2017).

Sistem dinamik merupakan suatu metodologi untuk memahami adanya permasalahan yang kompleks dengan melibatkan berbagai komponen dan variabel yang saling berinteraksi serta mempunyai sifat dinamis (berubah terhadap waktu). Untuk menyelesaikan permasalahan sistem dinamik yang menghasilkan skenario kebijakan perlu dilakukan pembuatan model. Berikut menurut tahapan dalam pembangunan model sebagai berikut:

- a. Pembuatan konsep dalam diagram sebab akibat (Causal Loop Diagram).
- b. Pembuatan model diagram sistem dinamik (Stock and Flow Diagram/ SFD).
- c. Formulasi matematis
- d. Simulasi.
- e. Verifikasi dan Validasi.
- f. Penyusunan skenario kebijakan.

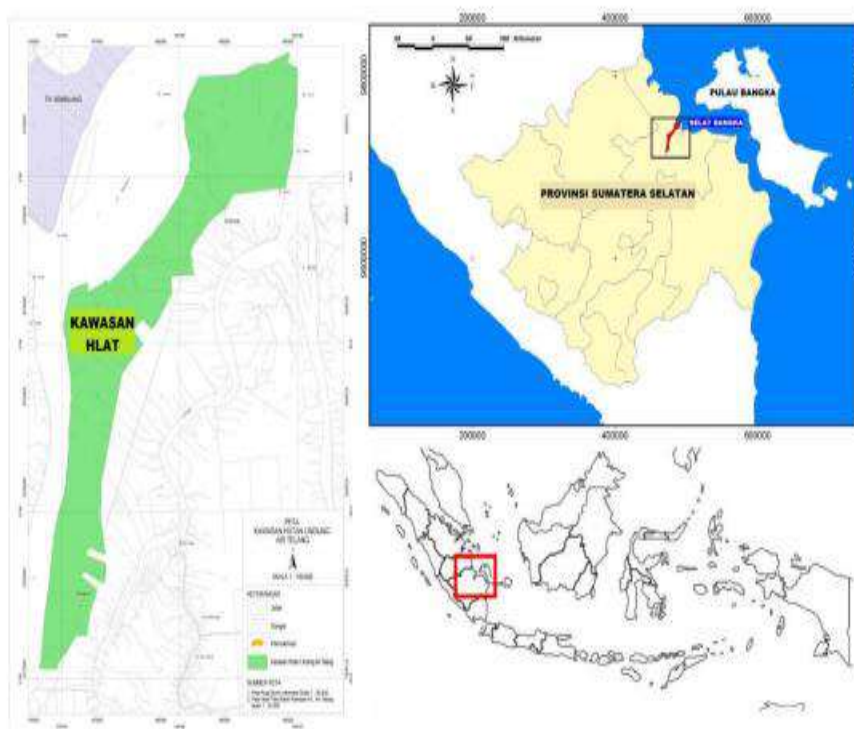
Model dinamik pada permodelan kualitas air sungai ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah tingkat pertumbuhan penduduk, curah hujan, debit aliran sungai, luas daerah aliran sungai, suhu sungai, *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan (COD) *Chemical Oxygen Demand* (Ngatilah dan Ony, 2014).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

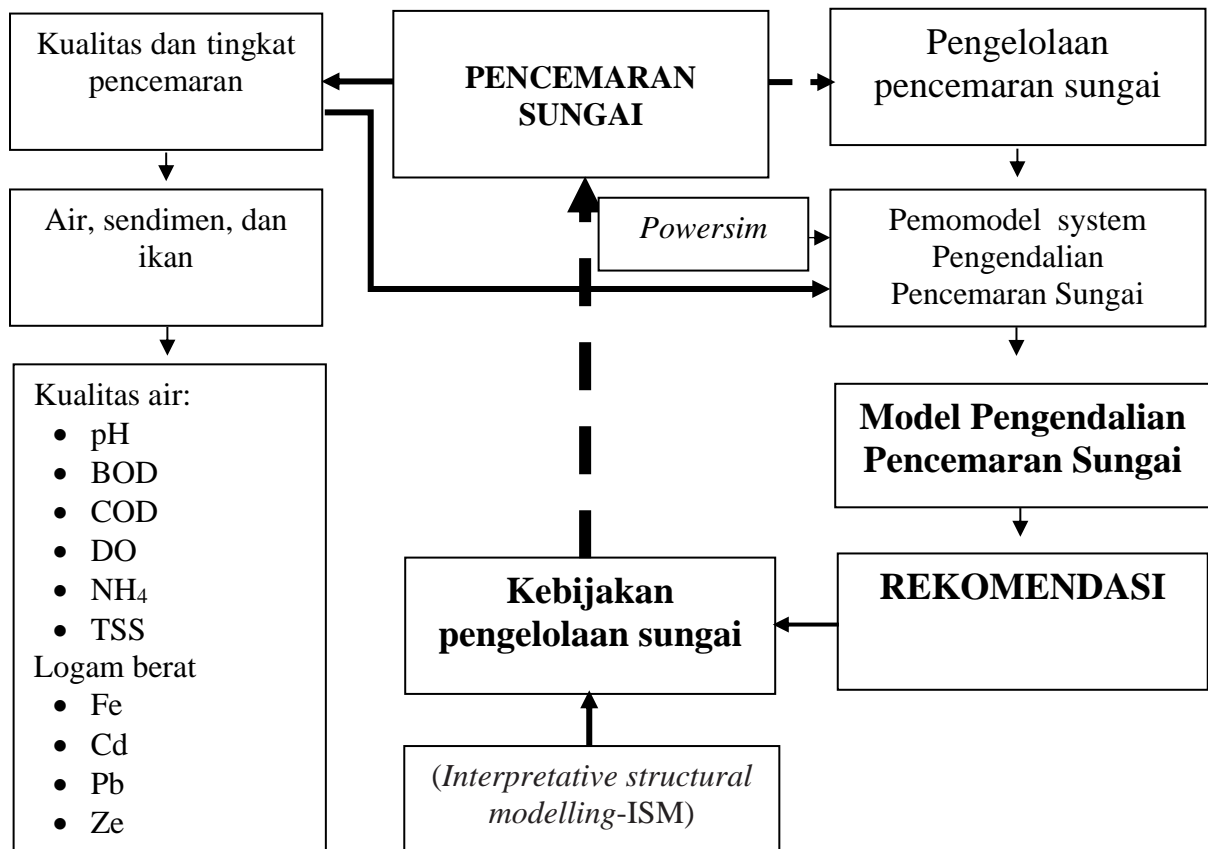
Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Januari - Maret 2023, bertempat di sekitar muara sungai Musi dan sungai Banyuasin di perairan hutan lindung air telang, Provinsi Sumatera Selatan, serta dilakukan identifikasi di Laboratorium Biosistemika, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Indralaya. Analisis logam berat sampel dilakukan di UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan hidup dan Pertanahan Provinsi Sumatera Selatan. Peta lokasi sampling dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 : Peta lokasi kawasan Hutan Lindung Air Telang (HLAT).
(Sumber : Eddy *et al.*, 2017); Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan (2014).

3.2 Kerangka Konsep

Kerangka konsep penelitian ini adalah sebagai berikut:



Digram 3.1 Kerangka Konsep

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Tahap Pertama

Tahap pertama peneliti akan mengukur pencemar Menganalisis kualitas perairan dan tingkat pencemaran perairan di HLAT.

3.3.2 Tahap Kedua

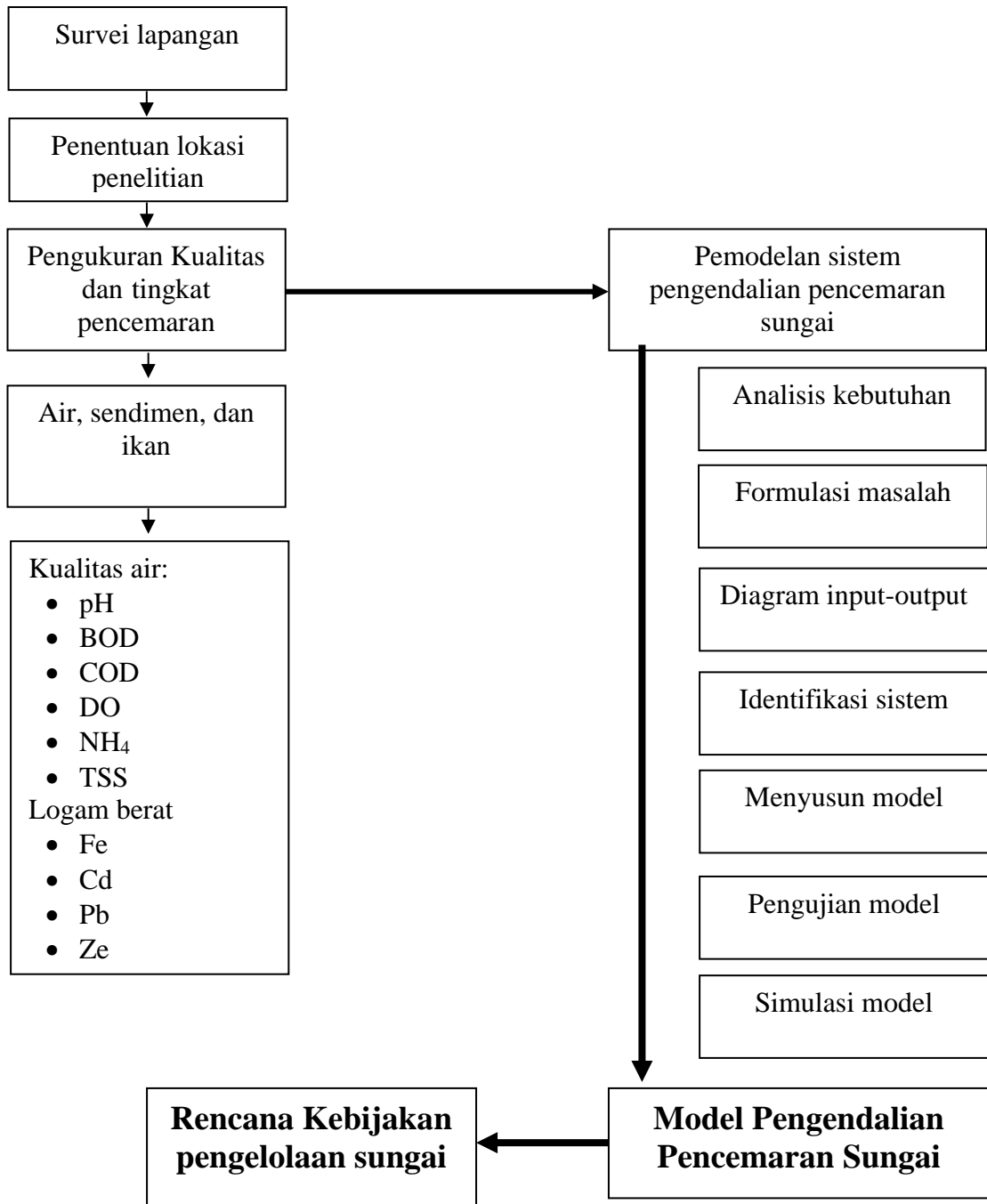
Tahap kedua peneliti akan membangun model yang menggambarkan sistem pengendalian pencemaran perairan di HLAT.

3.3.3 Tahap Ketiga

Tahap ketiga peneliti akan merumuskan alternatif atau rancangan kebijakan pengendalian pencemaran perairan di HLAT.

3.4 Alur penelitian

Alur dalam penelitian ini, terdapat pada diagram di bawah ini:



Digram 3.2 Alur Penelitian

3.5 Metode Sampling dan Analisis Sampel

Penelitian ini dilakukan di sekitar muara sungai Musi dan sungai Banyuasin di perairan hutan lindung air telang, Provinsi Sumatera Selatan. lokasi penelitian ini dipilih karena ingin mengetahui seberapa besar kadar logam berat yang terkandung dalam daging ikan dan daging kerang tersebut. Pengambilan sampel dilakukan dengan membagi tiga stasiun dan setiap stasiun dibagi menjadi tiga titik untuk mewakili satu stasiun (Tabel 1). Hal ini dilakukan agar setiap stasiun dapat mewakili kadar logam berat yang terkandung di suatu perairan. Stasiun pertama berada di sekitar daerah Purwokerto Palembang (kontrol), stasiun kedua di tengah Desa Sungsang (padat penduduk). dan stasiun ketiga di hulu Desa Sungsang.

Tabel 1. Pengambilan sampel dengan tiga stasiun dan tiga titik sampling

Stasiun A	Stasiun B	Stasiun C
Titik 1	Titik 1	Titik 1
Titik 2	Titik 2	Titik 2
Titik 3	Titik 3	Titik 3

3.5.1 Metode Sampling dan Analisis Sampel Air Permukaan dan Air Dasar Untuk Kondisi Logam Berat

Pengambilan air pertama yang dilakukan dengan cara memasukkan botol *nansen* kedalam perairan hal ini digunakan agar mempermudah dan tidak terkena sentuhan langsung oleh tangan, pengambilan sampel pertama pada pengulangan 1, 2, 3 dilakukan pengambilan air sampel sebanyak 2 liter di masing-masing titik (tidak dicampur). Kemudian pengambilan sampel ke dua atau pengulangan ke 4 metodenya sama dengan pengulangan 1, 2, 3 yaitu air di ambil dengan menyesuaikan kedalaman contohnya yaitu 20 meter kemudian di bagi 3 titik yaitu 1 meter (permukaan), 10 meter (tengah), dan 20 meter (dasar) secara vertikal. Pengambilan sampel air pada pengulangan ke 4 dari setiap titik sebanyak satu liter untuk dilakukan pencampuran, yang kemudian air sampel dimasukkan ke dalam botol sampel yang berukuran 2 liter, kemudian ditambahkan asam nitrat (HNO_3) hingga memiliki kadar $\text{pH} < 2$, agar kandungan logam berat dalam air terikat dengan baik, setelah itu botol sampel ditutup. Selanjutnya sampel masing-masing stasiun diberi tanda titik sampling dan stasiun agar tidak tertukar dan dimasukkan kedalam *box sampel* (Marwah, 2015 in Triantoro *et al.*, (2017).

Analisis kandungan logam berat untuk sampel air dilakukan dengan mengambil 250 ml sampel air laut/sungai kedalam corong pemisah polyetilen yang sudah disaring dengan menggunakan kertas saring berukuran 0,45 μm dengan menambahkan amonium pirolidin ditokarbonat (APDC) dan metil isobutil keton (MIBK) sampai fase organik dan fase cair terpisah. Fase organik digunakan untuk membuat larutan standar dan kemudian ditambahkan HNO_3 pekat dan air suling bebas ion (aquadest) sampai kedua fase terpisah. Fase air ditampung untuk diaspirasikan pada *Atomic Absorption Spectrophotometer* atau AAS (Supriyantini dan Hadi, 2015).

3.5.2 Metode Sampling dan Analisis Sampel Lumpur Untuk Kondisi Logam Berat

Sampel sedimen (lumpur) diambil dari setiap stasiun, proses yang dilakukan untuk mengambil sedimen yaitu dengan menggunakan *ekman grab* yang sudah sering digunakan para peneliti dahulu, dengan cara *ekman grab* di ikat dengan tali kemudian *ekman grab* dijatuhkan dari atas permukaan air hingga *ekman grab* jatuh di dasar, lalu *ekman grab* di tarik sampai atas, kemudian sedimen dimasukkan ke dalam plastik. Sampel yang dibutuhkan berkisar 250 gr. Sedimen dasar diambil sebanyak ± 250 gr dari tiap stasiun. Kemudian sampel tersebut dimasukan ke dalam kantong plastik dan selanjutnya diukur kandungan logam berat (Dandy, 2005 in Triantoro *et al.*, (2017).

Setelah itu, sedimen (lumpur) di uji di laboratorium dengan cara dimasukkan ke dalam teflon dan dikeringkan dalam tanur pada suhu 105°C . Selanjutnya sampel sedimen di destruksi secara tertutup dengan cara sebagai berikut : lima gram sampel sedimen yang telah kering dimasukkan dalam labu leher tiga, lalu ditambah dengan 10 ml aqua regia (1:3 untuk HNO_3 dan HCl pekat), kemudian direfluk pada suhu 60°C selama 30 menit. Pemanasan ditingkatkan sampai suhu $120\text{-}150^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam sampai terjadi perubahan warna. Setelah sampel berubah warna menjadi warna coklat, sampel itu diberi 30% H_2O_2 tetes demi tetes sampai warna larutan hilang. Larutan sampel disaring dengan kertas saring, lalu diencerkan dengan aquadest sampai volume akhir 50 ml. Larutan sampel siap dianalisis dengan alat AAS (*Atomic Absorption Spectrometer*) pada kondisi optimum analisis (Emilia *et al.*, 2013).

3.5.3 Metode Sampling dan Analisis Sampel untuk Analisis Logam Berat Pada Kerang

Adapun untuk sampel kerang, terlebih dahulu diambil sampel dagingnya. Sampel daging tersebut kemudian dipanaskan kedalam *hot plate* sampai berbentuk arang, kemudian diabukan dalam tanur dan ditambahkan HNO_3 dan aquadest. Sampel kemudian disaring dan siap untuk diaspirasikan pada AAS (Supriyantini dan Hadi, 2015).

Dilakukan juga pengukuran panjang, lebar, dan tebal cangkang kerang dengan menggunakan jangka sorong untuk mengetahui kisaran panjang cangkang yang berada disekitar stasiun.

3.5.4 Metode Sampling dan Analisis Sampel Untuk Analisis Logam Berat Pada Ikan

Ikan di ambil dari nelayan di sekitar muara sungai Musi dan sungai Banyuasin di perairan hutan lindung air telang, Provinsi Sumatera Selatan. Kemudian ikan hasil nelayan tadi di masukkan ke dalam kantong plastik dan diberi alkohol 70% serta di beri keterangan di setiap titik pengambilan sampel ikannya lalu di masukkan ke dalam Box sampel untuk di analisis di laboratorium.

Analisis logam berat terdiri atas beberapa tahapan diantaranya tahap destruksi basah dan tahap pengukuran konsentrasi logam berat menggunakan AAS atau *Atomic Absorbtion Spectrofotometer*. Sampel daging ikan akan dioksidasi oleh asam sehingga logam dalam keadaan terlarut. Metode destruksi tersebut mengacu pada petunjuk teknis UPTD Laboratorium Lingkungan, Dinas Lingkungan Hidup dan Pertanahan Provinsi Sumatera Selatan.

Sampel daging ikan sebanyak 3 gr dihomogenkan terlebih dahulu dan dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer, selanjutnya ditambahkan 25 ml aquadest dan diaduk dengan menggunakan batang pengaduk. Kemudian ditambahkan 5 mL sampai dengan 10 ml asam nitrat (HNO_3) pekat dan diaduk hingga bercampur rata. Setelah itu ditambahkan 3 sampai 5 butir batu didih dan ditutup dengan kaca arloji. Sampel tersebut kemudian dipanaskan pada suhu 100°C selama 1,5 jam. Pemanasan ditingkatkan pada suhu 130°C selama 1 jam, kemudian ditingkatkan lagi sebesar 150°C selama 2,5 jam sampai pada kondisi uap kuning habis, setelah

uap kuning habis suhu ditingkatkan lagi menjadi 170°C selama 1 jam, suhu dinaikkan lagi sebesar 200°C selama 1 jam sampai terbentuk uap putih. Pada kondisi terbentuk endapan putih, maka tahap destruksi ini dinyatakan selesai. Ekstrak tersebut didinginkan dan diencerkan dengan air bebas ion (aquadest) menjadi 10 mL selanjutnya dilakukan pengocokan (Sulistiono *et al.*, 2018).

3.6 Teknik Pengumpulan Data

3.6.1 Kualitas air

3.6.1.1 Derajat keasaman (pH)

Derajat keasaman adalah ukuran untuk menentukan sifat asam dan basa suatu perairan. Perubahan pH di suatu air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi dari organisme yang hidup di dalamnya. Nilai pH air digunakan untuk mengekspresikan kondisi keasaman (konsentrasi ion hidrogen) air limbah (Putra & Yulia, 2019).

Keasaman adalah tingkat asam dan basa air yang sering pula dikenal dengan istilah potensial Hidrogen (pH). pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau tingkat kebasaan yang dimiliki suatu larutan. Total skala pH berkisar dari 1 sampai 14, dengan 7 dianggap netral. Sebuah pH kurang dari 7 dikatakan asam dan larutan dengan pH lebih dari 7 dasar atau alkali. Asam dan basa adalah besaran yang sering digunakan untuk pengolahan suatu zat, baik di industri maupun kehidupan sehari-hari. Pada industri kimia, keasaman merupakan variabel yang menentukan, mulai dari pengolahan bahan baku, menentukan kualitas produksi yang diharapkan sampai pengendalian limbah industri agar mencegah pencemaran pada lingkungan (Karangan, Sugeng, & Sulardi, 2019).

3.6.1.2 BOD

Kandungan BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik untuk menguraikan hampir semua zat organik terlarut maupun yang tersuspensi dalam air. Nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya tetapi hanya mengukur secara relative jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan buangan tersebut. Jika konsumsi oksigen tinggi maka semakin kecil sisa oksigen terlarut maka kandungan bahan

buangan yang membutuhkan oksigen juga tinggi. Kadar BOD merupakan salah satu parameter yang dapat dijadikan tolak ukur terjadinya pencemaran suatu perairan. Analisis kandungan BOD dalam suatu perairan penting dilakukan untuk menelusuri aliran pencemaran karena dapat menentukan beban pencemaran akibat air buangan dan mendesain sistem pembuangan secara biologis bagi air tercemar tersebut (Putra & Yulia, 2019).

3.6.1.3 COD

Nilai COD merupakan jumlah oksigen (mg O₂) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter air, dimana pengoksidasi zat organik yang ada dalam 1 liter air. Pada pengukuran kadar COD bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat sehingga segala jenis bahan organik yang mudah terurai maupun yang kompleks dan sulit terurai akan teroksidasi. Maka selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit terurai yang ada diperairan (Putra & Yulia, 2019).

3.6.1.4 Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen terlarut (Dissolved Oxygen/DO) adalah total jumlah oksigen yang ada (terlarut) di air. DO dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Umumnya oksigen dijumpai pada lapisan permukaan karena oksigen dari udara di dekatnya dapat secara langsung larut berdifusi ke dalam air laut. Kebutuhan organisme terhadap oksigen terlarut relatif bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktifitasnya (Hamuna, Tanjung, Suwito, Maury, & Alianto, 2018).

3.6.1.5 Amoniak Total

Salah satu bahan kimia yang umum terkandung dalam limbah adalah ammonia (NH₃). Kadar ammonia dalam air laut sangat bervariasi dan dapat berubah secara cepat. Ammonia dapat bersifat toksik bagi biota jika kadarnya melebihi ambang batas maksimum. Tingginya konsentrasi ammonia total di perairan Depapre sebagian besar diduga berasal dari limbah pemukiman dan

pembuangan manusia dan hewan dalam bentuk urin, dimana pemukiman penduduk sebagian besar berada di wilayah pesisir dan laut. Selain itu, secara alami senyawa ammonia di perairan juga dapat berasal dari hasil metabolisme hewan dan hasil proses dekomposisi bahan organik oleh bakteri. Kadar ammonia yang tinggi dapat diindikasikan adanya pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik, limbah industri, maupun limpasan pupuk pertanian. Sumber ammonia di perairan adalah hasil pemecahan nitrogen organik (protein dan urea) dan nitrogen anorganik yang terdapat dalam air, juga berasal dari dekomposisi bahan organik (tumbuhan dan biota akuatik yang telah mati) yang dilakukan oleh mikroba dan jamur. Meningkatnya kadar ammonia di laut berkaitan erat dengan masuknya bahan organik yang mudah terurai (baik yang mengandung unsur nitrogen maupun tidak) (Hamuna et al., 2018).

3.6.1.6 TSS

Total Suspended Solid (TSS) atau muatan padatan tersuspensi adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter $> 1 \mu\text{m}$) yang tertahan pada saringan miliopore dengan diameter pori $0.45 \mu\text{m}$. TSS terdiri dari lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik. Penyebab TSS di perairan yang utama adalah kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air. Konsentrasi TSM apabila terlalu tinggi akan menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis (Jiyah, Sudarsono, & Sukmono, 2017).

3.6.2 Logam Berat

Logam berat masuk ke lingkungan terutama melalui tiga rute: (i) pengendapan partikulat atmosfer, (ii) pembuangan lumpur limbah yang diperkaya logam dan limbah limbah dan (iii) pelepasan produk sampingan dari proses penambangan logam. Logam berat yang dipindahkan ke lingkungan ini sangat beracun dan dapat terakumulasi dalam tubuh manusia, kehidupan akuatik, dan badan air alami dan kemungkinan terperangkap di dalam tanah. Logam berat hadir sebagai kotoran dalam pewarna atau merupakan bagian dari molekul pewarna. Dalam pewarna kompleks logam, logam membentuk ikatan kimia dengan molekul pewarna organik dan mengatur kecepatan bahan menyerap warna; dengan demikian, logam berat merupakan unsur penting pewarna (Syuhadah, Muslim, & Rohasliney, 2015).

Kimia lingkungan perannya dalam sistem biologis, logam berat diklasifikasikan sebagai esensial dan nonesensial. Logam berat esensial penting bagi organisme hidup dan mungkin dibutuhkan dalam tubuh dalam konsentrasi yang sangat rendah. Logam berat nonesensial tidak diketahui peran biologisnya dalam organisme hidup. Contoh logam berat esensial adalah Mn, Fe, Cu, dan Zn, sedangkan logam berat Cd, Pb, dan Hg bersifat toksik dan dianggap tidak penting secara biologis. Logam berat Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, dan Mo adalah mikronutrien atau elemen jejak untuk tumbuhan. EY penting untuk pertumbuhan dan ketahanan stres serta untuk biosintesis dan fungsi biomolekul yang berbeda seperti karbohidrat, klorofil, asam nukleat, bahan kimia pertumbuhan, dan metabolit sekunder. Kekurangan atau kelebihan logam berat esensial dapat menyebabkan penyakit atau kondisi abnormal. Namun, daftar logam berat esensial mungkin berbeda untuk kelompok organisme yang berbeda seperti tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Ini berarti logam berat mungkin penting untuk kelompok organisme tertentu tetapi tidak penting untuk kelompok lain. * Interaksi logam berat dengan kelompok organisme yang berbeda jauh lebih kompleks (Ali, Khan, & Ilahi, 2019).

3.6.2.1 Besi (Fe)

Besi (Fe) adalah salah satu dari banyak logam berat yang tahan korosif, padat, dan rendah titik lebur. Besi banyak ditemukan dalam makanan yang jumlahnya bervariasi dari jumlah yang rendah (dalam sayuran) dan yang tinggi (dalam daging). Besi (Fe) pada perairan dapat terakumulasi ke dalam tubuh organisme melalui permukaan tubuh, terserap insang dan rantai makanan. Logam berat yang masuk ke dalam tubuh ikan tidak dapat dikeluarkan lagi dari tubuh, karena logam berat cenderung menumpuk dalam tubuh ikan. Akibatnya besi (Fe) akan terus ada disepanjang rantai makanan. Logam besi (Fe) bukan hanya bersifat toksik terhadap tumbuhan, tetapi juga terhadap hewan dan manusia. Tingginya kandungan logam besi (Fe) akan berdampak terhadap kesehatan manusia diantaranya bisa menyebabkan keracunan (muntah), kerusakan usus, gangguan penyerapan vitamin dan mineral, serta hemokromatis (Ainiyah, Lestri, & Andini, 2018).

3.6.2.2 Kadmium

Logam berat secara alami merupakan komponen yang terdapat pada lapisan bumi dan dapat memasuki perairan melalui rangkaian proses geokimia dan aktivitas manusia (antropogenik). Cadmium (Cd) merupakan hasil sampingan dari pengolahan bijih logam seng (Zn), yang digunakan sebagai pengganti seng. Unsur ini bersifat lentur, tahan terhadap tekanan, memiliki titik lebur rendah serta dapat dimanfaatkan untuk pencampur logam lain seperti nikel, perak, tembaga, dan besi. Senyawa Cadmium juga digunakan sebagai bahan kimia dalam fotografi, pembuatan bahan kimia, bahan fotografi, pembuatan tabung TV, cat, karet, sabun, kembang api, percetakan tekstil dan pigmen untuk gelas dan email gigi. Mineral – mineral bijih yang mengandung cadmium diantaranya adalah sulfida greenockite (xanthochroite), karbonat otavite, dan oksida cadmium. Mineral - mineral tersebut terbentuk berasosiasi dengan bijih sfalerit dan oksidanya, atau diperoleh dari debu sisa pengolahan dan lumpur elektrolitik. Cadmium mempunyai titik didih rendah dan mudah terkonsentrasi ketika memasuki atmosfer. Air dapat juga tercemar apabila dimasuki oleh sedimen dan limbah pertambangan mengandung Cd, sementara ketika bercampur dengan asap akan membentuk pencemaran terhadap udara (Triwuri, 2017).

3.6.2.3 Timbal

Timbal adalah racun yang bersifat kumulatif yang mempengaruhi banyak sistem tubuh manusia, sistem saraf, hematologis, gastrointestinal, kardiovaskular, dan ginjal. Gangguan keracunan timbal ialah anemia hingga infertilitas pada wanita. Timbal memiliki dua efek yang agak berbeda pada manusia, secara fisiologis dan neurologis. Timbal (Pb) masuk ke dalam tubuh manusia melalui proses absorpsi kulit, rantai makanan dan saluran pernapasan. Cemarannya dan toksisitas logam berat menjadi salah satu prioritas permasalahan kesehatan masyarakat secara global karena memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dan menyebar dilingkungan secara cepat sejak dipublikasikan pertama kali dalam sejarah dunia kesehatan di tahun 1848 sebagai penyebab penyakit (Sidjabat, Alwi, & Puspitasari, 2020).

3.6.2.4 Seng

Seng (Zn) merupakan logam berat yang esensial dengan sejumlah fungsi bagi sistem biologis. Ion seng (Zn^{2+}) berperan penting pada aktivitas enzimatik sebagai ko-faktor maupun terdapat pada gugus aktif (activator) berbagai enzim (Lehninger 1982). Defisiensi seng mengakibatkan substitusi logam lain untuk menggantikan fungsi seng, terutama pada sistem kerja enzim. Masuknya ion-ion logam lain pada gugus logam yang seharusnya ditempati seng, dapat menyebabkan gangguan aktivitas hingga kerusakan struktur enzim (Palar 2008). Demikian pula pada aktivitas kompleks Zn-thionein terkait metabolisme seng. Keberadaan logam lain, terutama logam berat, sedikit banyak akan memperlihatkan pengaruh terhadap regulasi Zn-thionein (Dewi, Perdhana, & Yuniastuti, 2013).

3.6.3 Sedimen

Sedimen. Kontaminasi sedimen dengan logam berat merupakan masalah lingkungan yang penting dengan konsekuensi bagi organisme akuatik dan kesehatan manusia. Sedimen bertindak sebagai kumpulan utama logam di lingkungan akuatik. Kualitas mereka dapat menunjukkan status pencemaran air. Sedimen berfungsi sebagai penampung dan sumber logam berat, melepaskannya ke kolom air. Melanjutkan pengendapan logam berat dalam sedimen juga dapat menyebabkan kontaminasi air tanah dengan polutan ini. Adsorpsi, desorpsi, dan konsentrasi logam berat berikutnya dalam sedimen dipengaruhi oleh banyak faktor fisikokimia seperti suhu, kondisi hidrodinamik, keadaan redoks, kandungan bahan organik dan mikroba, salinitas, dan ukuran partikel. Distribusi logam berat dalam sedimen dipengaruhi oleh komposisi kimiawi sedimen, ukuran butir, dan kandungan bahan organik total. Penentu penting ketersediaan hayati logam dalam sedimen adalah pH. Penurunan pH meningkatkan persaingan antara ion logam dan H^+ untuk situs pengikatan dalam sedimen dan dapat mengakibatkan pelarutan kompleks logam, sehingga melepaskan ion logam bebas ke dalam kolom air. Konsentrasi yang lebih tinggi dari logam berat beracun dalam sedimen sungai dapat menimbulkan risiko ekologis terhadap benthos (organisme penghuni dasar).

3.7 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer yang berupa pengukuran kondisi kawasan HLAT diperoleh di lapangan dan sebagian dari hasil analisis di laboratorium. Data persepsi masyarakat di sekitar kawasan HLAT diperoleh dengan cara pengisian kuesioner oleh responden penduduk. Data primertentang prospek pengendalian pencemaran dimasa depan diperoleh dari hasil kuesioner dari seluruh pelaku dan para pakar. Data sekunder diperoleh dari berbagai sumber seperti hasil penelitian terdahulu, hasil studi pustaka, laporan serta dokumen dari berbagai instansi yang berhubungan dengan topik yang dikaji.

3.8 Analisis Data

3.8.1 Tahap 1: Analisis pencemar perairan

3.8.1.1 Analisis kualitas Perairan

Analisis parameter fisika, kimia dan mikrobiologi Perairan dilakukan berdasarkan *standard methods* 1995 dan memperbandingkan dengan PP Nomor 82 tahun 2001 tentang baku mutu air kelas 1 (KLH, 2004). Analisis dilaksanakan di Laboratorium. Selanjutnya analisis indeks mutu lingkungan perairan (IMLP) berdasarkan metode *National Sanitation Foundation Water Quality Indeks* (NSF-WQI) (Ott, 1978 dan Mahbud, 1990), dengan persamaan:

$$IPML = \sum_{i=1}^n (W_i \cdot I_i)$$

Keterangan:

IMLP = Indeks mutu lingkungan perairan, skala 0 – 100

W_i = Konstanta pembobotan ke-i, skala 0 – 1

I_i = Nilai dari kurva baku subindeks ke-i, skala 0 - 100

Tabel 11. Kriteria indeks mutu lingkungan perairan

Skor (nilai)	Keterangan
91-100	Sangat baik
71-90	Baik
51-70	Sedang

26-50	Buruk
0-25	Sangat buruk

3.8.1.2 Analisis Beban Pencemar

a. Analisis beban pencemaran yang berasal dari hulu sungai

Analisis beban pencemaran yang berasal dari hulu sungai dilakukan dengan perhitungan secara langsung di muara-muara sungai. Cara penghitungan beban pencemaran ini didasarkan atas pengukuran debit sungai dan konsentrasi limbah di muara sungai berdasarkan persamaan (Mitsch & Goesselink, 1993):

$$BP = Q \times C$$

Keterangan:

BP = beban pencemaran (ton/tahun)

Q = debit sungai (m³/detik)

C = konsentrasi limbah (mg/liter)

Total beban pencemaran dari seluruh sungai yang bermuara di Perairan dihitung dengan persamaan:

$$TBP = \sum_{i=1}^n BP$$

Keterangan :

TBP = Total beban pencemaran

n = Jumlah sungai

i = Beban limbah sungai ke-i

Untuk mengkonversi beban limbah ke dalam ton/tahun dikalikan dengan $10^{-6} \times 3600 \times 24 \times 360$.

b. Estimasi besarnya beban pencemaran yang berasal dari aktivitas penduduk

Untuk estimasi besarnya beban pencemaran yang berasal dari aktivitas penduduk di sekitar Perairan dilakukan berdasarkan pendekatan

Rapid Assesment (Kositranata *et al.*, 1989; WHO, 1993) dengan persamaan:

$$BP = a \times f$$

Keterangan:

BP = beban pencemaran dinyatakan dalam ton/tahun

a = jumlah unit penghasil limbah

f = faktor konstanta beban limbah organik

c. Untuk menghitung besarnya beban limbah

Untuk menghitung besarnya beban limbah dilakukan dengan metode pendugaan total bahan organik (Iwana, 1991 *dalam* Barg, 1992) dengan persamaan :

$$O = TU + TFW$$

Keterangan :

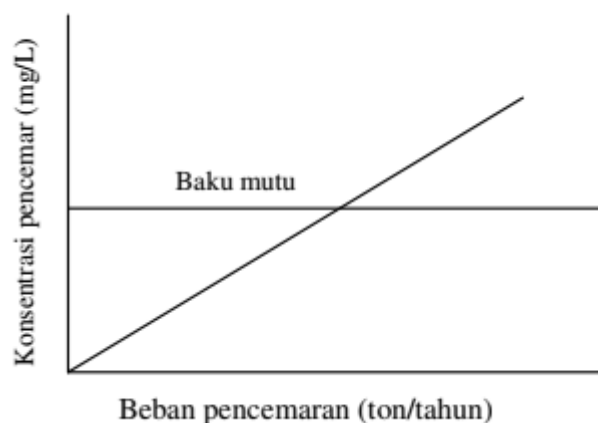
O = total output bahan organik partikel

TU = total pakan yang tidak dikonsumsi

TFW = total limbah feses

d. Untuk menghitung kapasitas asimilasi perairan

Untuk menghitung kapasitas asimilasi perairan terhadap beban pencemaran dilakukan dengan menggunakan metode hubungan antara konsentrasi parameter limbah di perairan dengan total beban limbah tersebut di muara sungai. Nilai kapasitas asimilasi didapatkan dengan cara membuat grafik hubungan antara nilai konsentrasi masing-masing parameter limbah di Perairan dengan parameter limbah tersebut di muara sungai. Selanjutnya dianalisis dengan memotongkan dengan garis nilai baku mutu air kelas 1 seperti diperlihatkan pada (Gambar 5).



Gambar 5. Hubungan antara beban pencemaran dan konsentrasi pencemar.

3.8.1.3 Validasi Model

Validasi merupakan usaha untuk menyimpulkan model apakah model sistem yang dibangun merupakan perwakilan yang sah dari realitas yang dikaji, yang dapat menghasilkan kesimpulan yang menyakinkan (Eriyatno, 1999). Validasi yang dilakukan adalah terhadap struktur model dan keluaran model (*output model*). Validasi struktur dilakukan melalui studi pustaka, sedangkan validasi output dilakukan dengan membandingkan dengan data empirik. Untuk memverifikasi penyimpangan keluaran model dengan data empirik dilakukan dengan uji KF (Kalman Filter). Tingkat kecocokan hasil simulasi model dengan nilai aktual adalah 47,25-52,3% dengan menggunakan perasamaan:

3.8.1.4 Analisis Persepsi Masyarakat

Data karakteristik masyarakat di sekitar Perairan dianalisis dengan menggunakan distribusi frekuensi. Untuk mengetahui persepsi atau pandangan masyarakat di sekitar Perairan terhadap pengendalian pencemaran dilakukan melalui analisis deskriptif menggunakan tabel.

3.8.2 Tahap 2 Model Dinamika Pengelolaan Kualitas Sungai

3.8.2.1 Analisis Kebutuhan

Tahap awal yang harus dilakukan dalam pengkajian menggunakan pendekatan sistem adalah analisis kebutuhan. Analisis ini dinyatakan dalam kebutuhan *stakeholder* yang berpengaruh terhadap sistem yang dikaji. Secara umum *stakeholder* yang terlibat dalam pengelolaan kawasan HLAT terdiri atas

berbagai instansi pemerintah daerah administratif di wilayah penelitian, pengusaha serta masyarakat.

3.8.2.2 Formulasi Masalah

Pengendalian pertumbuhan kawasan HLAT membutuhkan konsistensi dalam pelaksanaan dengan arahan rencana dan peraturan yang terkait serta koordinasi dan kerjasama antar instansi mengingat perkembangan kawasan HLAT akan tumbuh dengan pesat melampaui batas wilayah administratif beberapa kabupaten/kota yang saling berbatasan. Melalui pengendalian juga diharapkan tercipta lingkungan kawasan permukiman berkelanjutan yang akan memperbaiki kondisi sosial, ekonomi dan kualitas lingkungan, selanjutnya akan meningkatkan kualitas hidup masyarakat secara berkelanjutan.

3.8.2.3 Digram Input-Output

Sistem pengelolaan kawasan permukiman berkelanjutan di kawasan HLAT digambarkan dalam diagram *input-output*, yang terdiri dari *input* terkontrol, *input* tidak terkontrol, *output* dikehendaki dan *output* tidak dikehendaki. Melalui mekanisme pengelolaan kawasan permukiman *output* yang tidak dikehendaki dirubah menjadi *input* terkontrol yang masuk ke dalam sistem pengelolaan kawasan HLAT berkelanjutan.

3.8.2.4 Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem menggambarkan kejadian dalam bentuk diagram lingkaran sebab akibat (*causal loop*). Dalam melakukan identifikasi dan deskripsi tentang apa yang ada di dalam batas sistem, dilakukan dengan bantuan *sign diagraph* berupa penghubung dalam *causal loop* dan melambangkan arah *feed back*. *Sign diagraph* ini menyatakan bagaimana suatu elemen mempengaruhi dan berinteraksi dengan elemen lainnya.

3.8.2.5 Menyusun Model

Model dinamik dibangun dengan menggunakan perangkat lunak Powersim Studio 2005. Dalam rangka membangun model dinamik pengelolaan kawasan HLAT yang berkelanjutan maka disusun 4 (empat) sub-model yang dapat merepresentasikan permasalahan pengelolaan kawasan permukiman tersebut pada wilayah penelitian, yaitu sub-model kependudukan, sub-model lahan kawasan permukiman, submodel lingkungan fisik dan sub-model institusi. Penyusunan

model dinamis kawasan HLAT menggunakan beberapa asumsi dengan tujuan untuk menyederhanakan dan memudahkan dalam proses analisisnya.

3.8.2.6 Pengujian Model (Validasi)

Pengujian model dimaksudkan untuk memvalidasi apakah model yang dirancang dapat merefleksikan atau merepresentasikan keadaan sebenarnya. Rancangan model harus memenuhi syarat kecukupan struktur model oleh karena itu perlu dilakukan uji validasi terhadap perilaku yang dihasilkan oleh struktur model tersebut. Uji validitas model dilakukan dengan cara membandingkan *output* model dengan data empiris, menggunakan teknik statistik (Muhamadi *et al* 2001). Uji validitas selain menguji kesesuaian antara perilaku *output* model dengan perilaku data empirik, juga untuk menghindari terjadinya kesalahan dalam struktur model yang dibangun.

3.8.2.7 Simulasi Model

Simulasi model digunakan untuk membuat skenario pengelolaan kawasan HLAT kawasan HLAT yang berkelanjutan. Simulasi dilakukan untuk jangka waktu 20 tahun yang akan datang yaitu dari tahun 2010 sampai tahun 2030. Simulasi dilakukan melalui model tetap dan nilai parameter yang diintervensi. Selanjutnya hasil simulasi terhadap parameter akan ditafsirkan dalam suatu kebijakan.

3.8.3 Tahap 3 Teknik permodelan perencanaan kebijakan Strategis

Teknik permodelan yang digunakan untuk perencanaan kebijakan Strategis adalah Teknik Permodelan Interpretasi Struktural (*Interpretative structural modelling-ISM*). Menurut Eriyatno (1998), ISM merupakan proses pengkajian kelompok (*group learning process*) dimana modelmodel struktural dihasilkan untuk memotret perihwal yang kompleks dari suatu sistem, melalui pola yang dirancang secara seksama dengan menggunakan grafis serta kalimat.

Secara garis besar tahapan metode ISM adalah sebagai berikut :

- a. Penguraian setiap elemen menjadi beberapa sub elemen.
- b. Penetapan hubungan konstektual antar sub-elemen pada setiap elemen yang menunjukkan perbandingan berpasangan ada/tidak ada hubungan konstektual digunakan pendapat pakar.

c. Penyusunan *Structural Self Interaction Matrix* (SSIM) menggunakan simbol V,A,X dan O. Matriks Interkasi Tunggal Terstruktur (*structural self interaction matrix/SSIM*). Matriks ini mewakili elemen persepsi responden terhadap elemen hubungan yang dituju. Empat symbol yang digunakan untuk mewakili tipe hubungan yang ada antara dua elemen dari sistem yang dipertimbangkan adalah:

V ... hubungan dari elemen E terhadap E tidak sebaliknya.

A ... hubungan dari elemen E terhadap E tidak sebaliknya.

X ... hubungan interrelasi antara E dan E tidak sebaliknya.

O ... menunjukkan bahwa E dan E tidak berkaitan.

d. Pembuatan tabel *Reachability Matrix* (RM), mengganti simbol V, A, X dan O dengan bilangan 1 atau 0.

1) Jika hubungan E terhadap E = V dalam SSIM, maka elemen E = 1 dan E= 0 dalam RM

2) Jika hubungan E terhadap E = V dalam SSIM, maka elemen E = 0 dan E= 1 dalam RM

3) Jika hubungan E terhadap E = V dalam SSIM, maka elemen E = 1 dan E= 1 dalam RM

4) Jika hubungan E terhadap E = V dalam SSIM, maka elemen E = 0 dan E= 0 dalam RM. RM awal dimodifikasi untuk menunjukkan seluruh *direct* dan *indirect reachability*, yaitu E =1, E = 1, maka E = 1.

Tabel 14. Pedoman penilaian keterkaitan antar faktor

Skor (nilai)	Keterangan
0	Tidak berpengaruh
1	Berpengaruh kecil
2	Berpengaruh sedang
3	Berpengaruh sangat kuat

Tabel 15. Matriks pengaruh langsung antar faktor dalam analisis prospektif

Dari ↓ Terhadap →	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A											

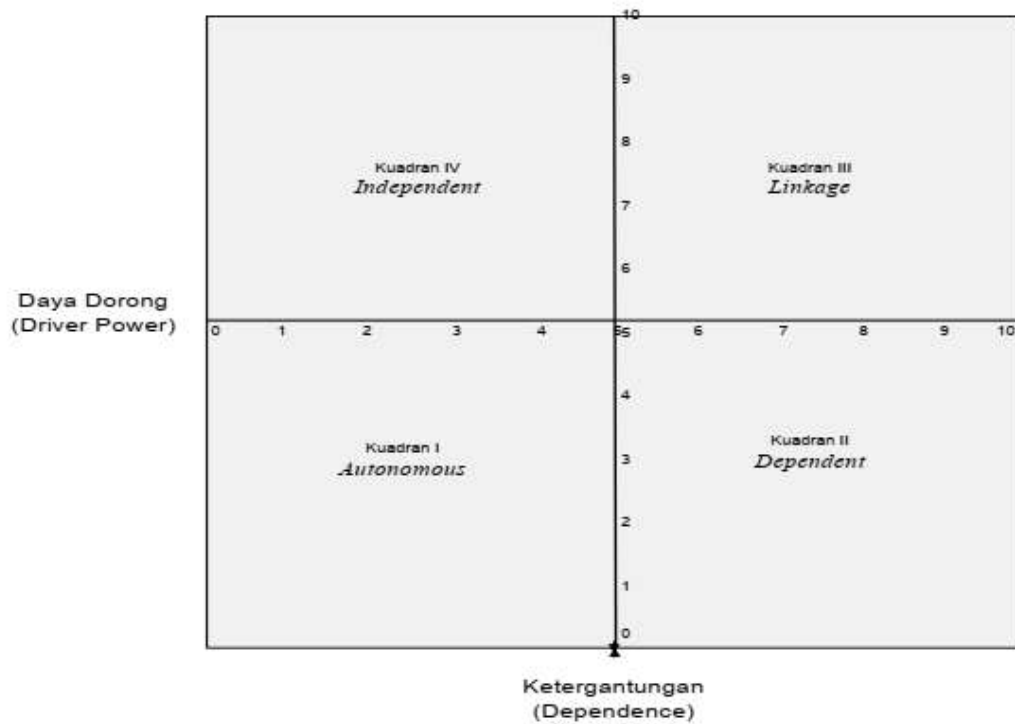
B		■									
C			■								
D				■							
E					■						
F						■					
G							■				
H								■			
I									■		
J										■	
K											■

Keterangan: A – K merupakan faktor penting atau kunci dalam sistem

- e. Penentuan *driver power*, *dependency*, dan *ranking* dari masing-masing elemen.
- f. Melakukan perhitungan berdasarkan aturan *transivity* dimana matrik SSIM dikoreksi sampai terjadi matrik tertutup.
- g. Melakukan level sub elemen pada setiap elemen menurut jenjang vertikal maupun horisontal.
- h. Penyusunan matriks *Driver Power Dependence* (DPD) untuk setiap sub elemen. Klasifikasi elemen dibagi menjadi empat yaitu:
 - 1) Kuadran I : Tidak berkaitan (*Autonomous*) terdiri dari sub elemen yang mempunyai nilai *driver power* (DP) $\leq 0.5 X$ dan nilai *dependence* (D) $\leq 0.5 X$. Dimana X adalah jumlah sub elemen pada setiap elemen. Sub elemen yang berada pada kuadran I umumnya tidak berkaitan/hubungannya kecil dengan sistem.
 - 2) Kuadran II : Tidak bebas (*Dependent*) terdiri dari sub elemen yang mempunyai nilai *driver power* (DP) $\leq 0.5 X$ dan nilai *dependence* (D) $\geq 0.5 X$. Dimana X adalah jumlah sub elemen pada setiap elemen. Sub elemen yang berada pada kuadran II ini merupakan sub elemen yang tergantung pada elemen di kuadran III.
 - 3) Kuadran III : Pengait (*Linkage*) terdiri dari sub elemen yang mempunyai nilai *driver power* (DP) $\geq 0.5 X$ dan nilai *dependence* (D) $\geq 0.5 X$. Dimana X adalah jumlah sub elemen pada setiap elemen. Sub elemen yang masuk pada kuadran III ini perlu dikaji secara hati-hati, karena setiap tindakan

pada satu sub elemen akan berpengaruh pada sub elemen lain yang berada pada kuadran II dan IV.

- 4) Kuadran IV : Penggerak (*Independent*) terdiri dari sub elemen yang mempunyai nilai *driver power* (DP) $\geq 0.5 X$ dan nilai *dependence* (D) $\leq 0.5 X$. Dimana X adalah jumlah sub elemen pada setiap elemen.



DAFTAR PUSTAKA

- Crișan, O. A., Bîrleanu, C., Crișan, H. G., Pustan, M., Merie, V., & Șerdean, F. (2021). Eco-innovation analyses in the management of drinking water provided by the main suppliers in romania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph18126232>
- Dhanasekarapandian, M., Chandran, S., Devi, D. S., & Kumar, V. (2016). Spatial and temporal variation of groundwater quality and its suitability for irrigation and drinking purpose using GIS and WQI in an urban fringe. *Journal of African Earth Sciences*, 124, 270–288. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.08.015>
- Divya, A. H., & Soloman, P. A. (2021). Assessment of river water quality indices based on various fuzzy models and arithmetic indexing method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1114(1), 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1114/1/012092>
- Eddy, S., & Mutiara, D. (2018). Dinamika Tutupan Lahan Kawasan Hutan Lindung Air Telang Menggunakan Teknik Overlay Multitemporal. *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 15(2). <https://doi.org/10.31851/sainmatika/v15i2/2179>
- Kemenkumham. (2009). *Undang-undang Republik Indonesia No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Mainali, J., & Chang, H. (2021). Environmental and spatial factors affecting surface water quality in a Himalayan watershed, Central Nepal. *Environmental and Sustainability Indicators*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100096>
- Nhapi, I., Wali, U. G., Uwonkunda, B. K., Nsengimana, H., Banadda, N., & Kimwaga, R. (2011). Assessment of Water Pollution Levels in the Nyabugogo Catchment, Rwanda. In *The Open Environmental Engineering Journal* (Vol. 4).
- Oktriyedi, F., Dahlan, M. H., Irfannuddin, & Ngudiantoro. (2021). Impact of latex coagulant various from rubber industry in South Sumatera. *AIP Conference Proceedings*, 2344. <https://doi.org/10.1063/5.0049189>

- Arum, S. I., Harisuseno, D., & Soemarno. (2019). Domestic Wastewater Contribution to Water Quality of Brantas River at Dinoyo Urban Village, Malang City. *J-PAL*, 10(2), 2087–3522. <https://doi.org/10.21776/ub.jpal.2019.010.02.02>
- Sari, A. B., Putri, W. A. E., & Diansyah, G. (2019). Logam Berat Cu Dan Pb Dalam Sedimen Di Perairan Muara Upang. *Journal of Tropical Marine Science*, 2(2), 71–75. <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v2i2.948>
- Sur, I. M., Moldovan, A., Micle, V., & Polyak, E. T. (2022). Assessment of Surface Water Quality in the Baia Mare Area, Romania. *Water (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/w14193118>
- Uddin, M. G., Moniruzzaman, M., Quader, M. A., & Hasan, M. A. (2018). Spatial variability in the distribution of trace metals in groundwater around the Rooppur nuclear power plant in Ishwardi, Bangladesh. *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 220–231. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.06.002>
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. In *Ecological Indicators* (Vol. 122). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>