

**KAJIAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR DI DAERAH
ALIRAN SUNGAI MESUJI, KABUPATEN MESUJI**

Oleh

ABU ROSID ISTOMI

DISERTASI



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**KAJIAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR DI DAERAH ALIRAN
SUNGAI MESUJI, KABUPATEN MESUJI**

Oleh

ABU ROSID ISTOMI

DISERTASI

**sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
DOKTOR ILMU LINGKUNGAN**

pada

**Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

KAJIAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR DI DAERAH ALIRAN SUNGAI MESUJI, KABUPATEN MESUJI

Oleh

ABU ROSID ISTOMI

Sungai Mesuji memiliki peranan penting bagi masyarakat di sekitarnya, baik sebagai sumber air minum, irigasi, maupun aktivitas domestik lainnya. Namun, peningkatan aktivitas masyarakat di sekitar sungai menyebabkan penurunan kualitas air akibat pencemaran dari limbah domestik, pertanian, serta aktivitas lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat pencemaran Sungai Mesuji berdasarkan parameter fisika, kimia, dan biologi, mengidentifikasi faktor penyebab pencemaran, serta merancang model pengendalian pencemaran yang tepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Mesuji pada periode pertama berada dalam kondisi tercemar sedang di semua stasiun pengambilan sampel. Pada periode kedua, kualitas air berkisar antara tercemar sedang hingga tercemar berat, dengan tingkat pencemaran tertinggi ditemukan di beberapa desa, seperti Keangungan Dalam, Sri Tanjung, dan Sungai Badak. Analisis faktor penyebab pencemaran mengungkapkan bahwa pencemaran air Sungai Mesuji dipengaruhi oleh faktor kimia (MBAS, Nitrogen, Nitrat, dan Amonia), fisika (*Total Suspended Solid*), biologi (*Fecal Coliform* dan *Total Coliform*), serta faktor lingkungan, perilaku, dan demografi masyarakat. Untuk mereduksi pencemaran, diperlukan langkah-langkah strategis, seperti pengelolaan limbah domestik melalui peningkatan infrastruktur sanitasi, edukasi masyarakat, serta penerapan praktik pertanian berkelanjutan. Selain itu, pemantauan berkala dan penerapan kebijakan

pengelolaan sungai yang lebih ketat juga diperlukan untuk menjaga kualitas air Sungai Mesuji. Penelitian ini merekomendasikan perlunya kajian lebih lanjut terkait model perilaku masyarakat serta pengendalian kawasan pemukiman guna meningkatkan efektivitas pengendalian pencemaran air sungai.

Kata kunci: Sungai Mesuji, Pencemaran air, Kualitas air, Pengendalian pencemaran, Model pengelolaan sungai.

ABSTRACT

STUDY OF WATER POLLUTION CONTROL IN THE MESUJI RIVER BASIN, MESUJI REGENCY

By

ABU ROSID ISTOMI

The Mesuji River plays an important role for the surrounding community, both as a source of drinking water, irrigation, and other domestic activities. However, the increase in community activities around the river has caused a decrease in water quality due to pollution from domestic waste, agriculture, and other activities. This study aims to analyze the level of pollution of the Mesuji River based on physical, chemical, and biological parameters, identify the factors causing pollution, and design an appropriate pollution control model. The results of the study showed that the water quality of the Mesuji River in the first period was in a moderately polluted condition at all sampling stations. In the second period, the water quality ranged from moderately polluted to heavily polluted, with the highest levels of pollution found in several villages, such as Keangungan Dalam, Sri Tanjung, and Sungai Badak. Analysis of pollution-causing factors revealed that water pollution in the Mesuji River was influenced by chemical factors (MBAS, Nitrogen, Nitrate, and Ammonia), physical (Total Suspended Solid), biological (Fecal Coliform and Total Coliform), as well as environmental, behavioral, and demographic factors. To reduce pollution, strategic steps are needed, such as domestic waste management through improving sanitation infrastructure, public education, and implementing sustainable agricultural practices. In addition, regular monitoring and implementing stricter river management policies are also needed to maintain the water quality of the Mesuji River. This study recommends the need

for further studies related to community behavior models and control of residential areas in order to increase the effectiveness of river water pollution control.

Keywords: Mesuji River, Water pollution, Water quality, Pollution control, River management model.

Judul Disertasi

: **KAJIAN PENGENDALIAN PENCEMARAN
AIR DI DAERAH ALIRAN SUNGAI MESUJI,
KABUPATEN MESUJI**

Nama Mahasiswa

: **Abu Rosid Istomi**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1930011006

Jurusan

: Doktor Ilmu Lingkungan

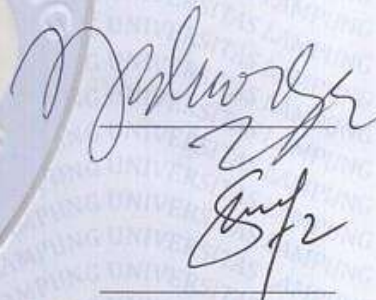
Fakultas

: Pascasarjana Multidisiplin

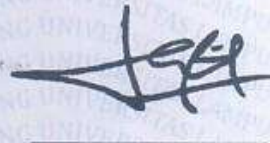
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Ir. Suharso, S. Si., Ph.D.
NIP. 196905301995121001

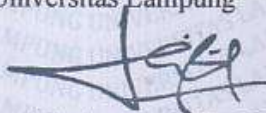


Prof. Dr. Buhani, S.Pd., M.Si
NIP. 196904161994032003



Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D.
NIP. 196411191990031001

**2. Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan
Universitas Lampung**



Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph. D
NIP. 196411191990031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Promotor : Prof. Ir. Suharso, S. Si., Ph.D.

Co-Promotor 1 : Prof. Dr. Buhani, S.Pd., M.Si

Co-Promotor 2 : Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D.

Penguji Internal : Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

Penguji Eksternal : Dr. Anang Risgiyanto, S.K.M., M.Kes.

2. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Disertasi: 17 Juni 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Disertasi dengan judul : **“KAJIAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR DI DAERAH ALIRAN SUNGAI MESUJI, KABUPATEN MESUJI** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya orang lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juni 2025

Yang membuat pernyataan,



ABU ROSID ISTOMI

NPM 1930011006

RIWAYAT HIDUP



Penulis, Abu Rosid Istomi dilahirkan di Sungai Badak Kecamatan Mesuji Kabupaten Mesuji pada tanggal 16 September 1977, anak ke-3 dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Raden dan Ibu Aniyah. Penulis menikah dengan dr. Hotmaida Verawati Situmorang tahun 2004 dan telah dikaruniai 2 orang anak yakni Izzuddin Habibie Rosid Manik dan Yasmin Elmeira Rosid Manik.

Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 02 Sungai Badak tahun 1990 dan SMPN 01 Simpang Pematang tahun 1993 lalu sekolah menengah atas di SMAN 01 Kalirejo Lampung Tengah tahun 1996. Pada tahun 1996 penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur penelusuran minat dan kemampuan akademis (PMKA). Magister Ilmu lingkungan di Universitas Lampung masuk tahun 2008 dan melanjutkan program studi Doktor ilmu Lingkungan tahun 2019.

Penulis diterima sebagai PNS di Kabupaten Tulang Bawang bulan Desember tahun 2002 dan bekerja sampai dengan tahun 2009. Kemudian, bulan Mei tahun 2009 pindah ke Kabupaten Mesuji hingga bulan Desember 2024. Akhir Desember 2024 sampai dengan sekarang alih tugas ke Kementerian Desa dan Pembangunan Daerah Tertinggal Republik Indonesia sebagai Kepala Biro Umum dan Layanan Pengadaan.

SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan judul “*Kajian Pengendalian Pencemaran Air di Daerah Aliran Sungai Mesuji, Kabupaten Mesuji*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor Ilmu Lingkungan di Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa disertasi ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM, ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Candra Perbawati, S.H., M.H., selaku wakil Direktur Pascasarjana Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Alumni Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Fitra Dharma, S.E., M.Si. selaku Wakil Direktur Bidang Umum Universitas Lampung
5. Bapak Drs. Tugiyono, M.S., Ph. D., selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung dan dosen Pembimbing Akademik, serta Co-Promotor 2 yang telah memberikan masukan, saran dan kritik atas penyempurnaan penulisan Disertasi.
6. Bapak Prof. Ir. Suharso, S. Si., Ph.D., selaku Promotor utama penulis yang telah bersedia membimbing, mengarahkan, memberikan saran, masukan, waktu, serta tenaganya dalam proses menyelesaikan disertasi ini.
7. Ibu Prof. Dr. Buhani, S.Pd., M.Si., selaku Co-Promotor 1 yang telah memberikan arahan, nasihat, dukungan, serta motivasi dalam penulisan disertasi ini.

8. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku penguji internal yang memberikan arahan, masukan, saran membangun dalam menyempurnakan disertasi ini.
9. Bapak Dr. Anang Risgiyanto, S.K.M., M.Kes., selaku penguji eksternal yang memberikan arahan, masukan, saran membangun dalam menyempurnakan disertasi ini.
10. Angkatan penulis Doktor Ilmu Lingkungan 2019.
11. Tim admin Doktor Ilmu Lingkungan dan Program Pascasarjana Universitas Lampung atas arahan, bantuan, dan segala macam keperluan penulis selama menjalani perkuliahan hingga wisuda penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan disertasi ini jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis akan menerima saran dan kritik yang bersifat membangun agar disertasi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak

Bandar Lampung, 17 Juni 2025
Penulis

Abu Rosid Istomi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Kerangka Pemikiran	6
1.6. Kebaruan (<i>Novelty</i>).....	9
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1. Keadaan Geografis dan Topografis	11
2.1.1. Kondisi Sosial Demografi.....	12
2.2. Kondisi Ekonomi.....	13
2.3. Ekosistem Daerah Aliran Sungai.....	13
2.4. Kualitas Air Sungai	15
2.5. Pencemaran Air Sungai	17
2.6. Sedimen	18
2.7. Sumber Pencemaran Air Sungai.....	20
2.8. Beban Pencemaran	22
2.9. Daya Tampung Beban Pencemaran.....	23
2.10. Indikator Fisik	24
2.10.1. Suhu/Temperatur.....	25
2.10.2. TSS (Total Suspended Solid).....	26

2.11. Indikator Kimia	27
2.11.1. Derajat Keasaman (pH).....	27
2.11.2. BOD (Biochemical Oxygen Demand)	28
2.11.3. COD (Chemical Oxygen Demand).....	29
2.11.4. DO (Dissolved Oxygen)	30
2.11.5. Fosfat (P).....	31
2.11.6. Nitrogen (N).....	33
2.11.7. Nitrat (NO ₃ -N)	34
2.11.8. Nitrit (NO ₂ -N).....	34
2.11.9. Amonia.....	35
2.11.10. Arsen (As).....	35
2.11.11. Kadmium (Cd)	36
2.11.12. Kromium (Cr)	37
2.11.13. Timbal (Pb)	39
2.11.14. Merkuri (Hg).....	39
2.11.15. Aluminium (Al).....	41
2.11.16. Tembaga (Cu)	41
2.11.17. Besi (Fe).....	42
2.11.18. MBAS	42
2.12. Indikator Biologi	43
2.12.1. Bateri <i>Coliform</i>	44
2.13. Dampak Pencemaran	44
2.14. Pengendalian Pencemaran Air Sungai	45
2.15. Pembangunan Berkelanjutan	46
2.16. Dampak Pencemaran	44
2.17. Pengendalian Pencemaran Air Sungai.....	45
2.18. Pembangunan Berkelanjutan	46
2.19. Analisis Mutivariat	47
III. METODE PENELITIAN	51
3.1. Lokasi dan Penelitian	51
3.1.1. Lokasi Penelitian	51
3.1.2. Waktu Penelitian.....	52

3.2.	Alat dan Bahan	54
3.2.1.	Alat	54
3.2.2.	Bahan	54
3.3.	Pengambilan Sampel dan Metode Analisis Data.....	54
3.3.1.	Pengambilan Sampel Air Sungai	54
3.3.2.	Pengambilan Sampel Sedimen	56
3.3.3.	Pengumpulan dan Perhitungan Data.....	57
3.3.4.	Pengambilan Data Wawancara dan Observasi	60
3.3.5.	Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Air.....	62
3.3.6.	Analisis Data.....	64
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	67
4.1.	Kualitas Air Sungai Mesuji.....	67
4.1.1.	Indikator Fisika	67
4.1.1.1.	Temperatur.....	67
4.1.1.2.	<i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	68
4.1.2.	Indikator Kimia	69
4.1.2.1.	Derajat Keasaman (pH)	69
4.1.2.2.	<i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i>	71
4.1.2.3.	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	73
4.1.2.4.	<i>Dissolved Oxygen (DO)</i>	74
4.1.2.5.	Fosfat (P)	75
4.1.2.6.	Nitrogen (N)	76
4.1.2.7.	Nitrat (NO ₃ -N)	77
4.1.2.8.	Nitrit (NO ₂ -N).....	78
4.1.2.9.	Amonia (NH ₃ -N).....	79
4.1.2.10.	Sianida (CN).....	80
4.1.2.11.	Klorin Bebas (Cl ₂)	81
4.1.2.12.	Minyak dan Lemak.....	82
4.1.2.13.	Deterjen (MBAS)	83
4.1.2.14.	Logam Berat	84
4.1.3.	Indikator Biologi.....	85
4.2.	Indeks Pencemaran Air Sungai	87

4.3. Indeks Kualitas Air (IKA)	89
4.4. Daya Tampung Beban Pencemaran Air	90
4.4.1. Kondisi Hidromorfologi Sungai Mesuji	90
4.4.2. Debit Sungai	91
4.4.3. Daya Tampung Beban Pencemaran Air Sungai Mesuji	91
4.4.4. Beban Pencemaran Sungai Mesuji	92
4.5. Kualitas Sedimen Sungai	99
4.5.1. Kontaminasi Logam pada Sedimen Sungai Mesuji	99
4.6. Karakteristik Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat sekitar Sungai Mesuji	101
4.6.1. Demografi Masyarakat Sekitar Sungai Mesuji	101
4.7. Perilaku Masyarakat Sekitar Sungai Mesuji	104
4.8. Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Air Sungai Mesuji.	108
4.9. Pengendalian Pencemaran Sungai Mesuji	112
4.10. Model Pengendalian Pencemaran Sungai Mesuji	117
V. KESIMPULAN DAN SARAN	120
5.1. Kesimpulan	120
5.2. Saran	121
DAFTAR PUSTAKA	122

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rasio Jenis Kelamin Penduduk Kabupaten Mesuji	12
2. Stasiun Pengambilan Sampel.....	52
3. Parameter kualitas air sungai dan metode analisis yang digunakan pada penelitian	55
4. Parameter kualitas sedimen dan metode analisis	56
5. Kategori nilai IP penentuan status mutu air	58
6. Nilai C Background	59
7. Kelas penilaian kualitas sedimen	60
8. Jumlah responden pada setiap stasiun lokasi penelitian	61
9. Variabel, simbol, jenis data, satuan, skoring dan metode akuisisi data	64
10. Perhitungan IKA Sungai Mesuji pengamatan pertama	89
11. Perhitungan IKA Sungai Mesuji pengamatan kedua	90
12. Daya Tampung Beban Pencemar Air Sungai Mesuji	92
13. Beban Pencemaran Aktual berdasarkan Pengukuran I	93
14. Beban Pencemaran Aktual berdasarkan Pengukuran II.....	94
15. Beban Pencemaran Maksimum berdasarkan Pengukuran I.....	95
16. Beban Pencemaran Maksimum berdasarkan pengukuran II.....	96
17. Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Mesuji berdasarkan Pengukuran I.	97
18. Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Mesuji berdasarkan Pengukuran II.....	98
19. Kandungan Logam berat pada sedimen pengukuran I	99
20. Kandungan Logam berat pada sedimen pengukuran II	99
21. Kontaminasi Logam pada Sedimen Sungai pengukuran I	100
22. Kontaminasi Logam pada Sedimen Sungai Pengukuran II	100

	Halaman
23. Nilai Outer Loading	109
24. Hasil pengujian hipotesis	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pemikiran	8
2. Lokasi Penelitian dan Persebaran Stasiun Pengambilan Sampel.....	53
3. Penampang sungai	63
4. Postulat model SEM-PLS	66
5. Grafik Hasil Pengukuran Temperatur Air Sungai Mesuji.	67
6. Grafik Hasil Pengukuran TSS Air Sungai Mesuji.	68
7. Grafik Hasil Pengukuran pH Air Sungai Mesuji.	70
8. Grafik Hasil Pengukuran BOD Air Sungai Mesuji.	71
9. Grafik Hasil Pengukuran COD Air Sungai Mesuji	73
10. Grafik Hasil Pengukuran DO Air Sungai Mesuji	74
11. Grafik Hasil Pengukuran Fosfat pada Air Sungai Mesuji.	75
12. Grafik Hasil Pengukuran Nitrogen pada Air Sungai Mesuji	76
13. Grafik Hasil Pengukuran Nitrat pada Air Sungai Mesuji.	77
14. Grafik Hasil Pengukuran Nitrit pada Air Sungai Mesuji.....	78
15. Grafik Hasil Pengukuran Amonia pada Air Sungai Mesuji.....	79
16. Grafik Hasil Pengukuran Sianida pada Air Sungai Mesuji.	80
17. Grafik Hasil Pengukuran Klorin Bebas pada Air Sungai Mesuji	81
18. Grafik Hasil Pengukuran Minyak dan Lemak pada Air Sungai Mesuji ...	82
19. Grafik Hasil Pengukuran MBAS pada Air Sungai Mesuji.	84
20. Grafik Hasil Pengukuran Logam As, Cd, Cr, Pb dan Hg pada Air Sungai Mesuji.	85
21. Grafik Hasil Pengukuran Fecal Coliform dan Total Coliform pada Air Sungai Mesuji.	86
22. Nilai Indeks Pencemaran Air Sungai Mesuji Pengukuran I	87
23. Nilai Indeks Pencemaran Air Sungai Mesuji Pengukuran II	88
24. Debit Sungai Mesuji	91

	Halaman
25. Usia masyarakat sekitar Sungai Mesuji.....	102
26. Jenis Pekerjaan Masyarakat Sekitar Sungai	102
27. Tingkat Pendidikan Masyarakat Sekitar Sungai Mesuji.....	103
28. Jarak Sungai dengan Rumah.....	105
29. Perilaku dan Sarana Sanitasi Masyarakat.....	106
30. Perilaku Pembuangan Limbah Masyarakat Sekitar Sungai Mesuji.....	108
31. Model Pengukuran Tahap 1.....	109
32. Model MSEM final setelah <i>bootstrapping</i> dengan 5.000 units sampel	110

I. PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan sungai yang cukup luas sehingga Indonesia memiliki potensi besar dalam bidang sumber daya air. Indonesia mempunyai 6% dari persediaan air dunia atau 21% persediaan air Asia Pasifik (KLHK, 2005). Sumber air dapat berupa danau, waduk, sungai air hujan, mata air, air tanah dll (Xiao *et al.*, 2019). Kondisi sungai sangat erat kaitannya dengan aktivitas masyarakat disekitar sungai. Berdasarkan data BPS (2021) kondisi Sungai di Indonesia tahun 2016-2020 ada lebih dari 50% sungai dalam kondisi tercemar, sebanyak 22 sungai yang ada di Pulau Sumatera yaitu 32% sungai masuk dalam kategori tercemar berat, 40% diantaranya tercemar sedang-berat dan 27% tercemar ringan dan berdasarkan hasil penelitian mutu air sungai di Indonesia sebagian besar tergolong dalam status tercemar (Rochmi, 2016; Handayani, 2018).

Kegiatan pembuangan limbah yang dilakukan di sungai akan berdampak pada kualitas air yang selanjutnya berpengaruh terhadap kemampuan air sebagai bahan baku air minum dan air irigasi (Han *et al.*, 2019). Kondisi tersebut seperti yang telah dilaporkan Widodo *et al.* (2019) pada hasil penelitiannya yang dilakukan di sungai Grenjeng yang ada di Boyolali, Indonesia. Sungai Grenjeng memiliki nilai indeks pencemaran pada musim kemarau pada tingkat tercemar sampai sangat tercemar dan pada musim hujan mencapai tingkat pencemaran sedang sampai tercemar hal ini diakibatkan kegiatan pembuangan sampah/limbah ke badan sungai. Air permukaan yang tercemar akan berpengaruh terhadap instalasi pengolahan air sehingga dapat penurunan efisiensi pengolahan air bersih yang akan berdampak terhadap penurunan kualitas air minum, dan peningkatan risiko kesehatan masyarakat (Wardhani *et al.*, 2017).

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, pencemaran air didefinisikan sebagai suatu kondisi masuk ataupun dimasukkannya makhluk hidup, zat, tenaga serta ataupun komponen lain ke dalam air oleh aktivitas manusia, sehingga mutu air turun hingga ke tingkatan tertentu yang menimbulkan air tidak dimanfaatkan sesuai dengan peruntukannya. Saat ini aktivitas manusia merupakan penyebab terbesar terjadinya penurunan kualitas sungai, hal ini terjadi karena aktivitas manusia yang menjadikan sungai sebagai tempat pembuangan sampah dan limbah tanpa melalui proses pengolahan limbah terlebih dulu (Ermawati dan Hartanto, 2017). Kondisi pencemaran air di suatu perairan dapat dilihat dengan beberapa parameter seperti mengetahui besar kecilnya muatan oksigen di dalam air. Penentuan status muatan oksigen di dalam air dapat diketahui dengan dilakukannya pengukuran besarnya COD (*Chemical Oxygen Demand*) atau TSS (*Total Suspended Solid*), TDS (*Total Dissolved Solid*), kekeruhan, sebagai parameter pencemaran air sungai (Putra, *et al.*, 2015).

Jumlah penduduk yang terus meningkat berakibat pada meningkatnya limbah buangan ke perairan. Kenaikan jumlah penduduk yang terjadi mendorong peningkatan seluruh sektor produksi serta meningkatkan angka konsumsi yang akan berdampak terhadap pemanfaatan air bersih dan sungai yang terancam akibat besarnya peningkatan penduduk. Urbanisasi dan pertumbuhan penduduk yang cepat sangat terkait dengan penurunan kualitas air (Luo *et al.*, 2020).

Kenaikan jumlah penduduk berbanding lurus dengan kenaikan kegiatan penduduk di dekat perairan sungai maupun danau. Pencemaran yang terjadi di perairan sungai merupakan permasalahan yang butuh mendapatkan atensi dari berbagai pihak. Kondisi pencemaran yang terjadi diakibatkan berbagai sumber bahan pencemar yang terakumulasi di sungai. Jenis bahan pencemar yang masuk ke perairan sungai terdiri dari limbah organik serta anorganik, residu pestisida, sedimen, serta bahan-bahan yang lain. Keberadaan bahan pencemar tersebut dapat menimbulkan penurunan mutu perairan sungai, sehingga tidak dapat dimanfaatkan dengan baik sesuai dengan peruntukannya selaku sumber air minum, perikanan, pariwisata serta sebagainya. Dampak negatif lain dari pencemaran perairan sungai tidak hanya menimbulkan kerugian ekologis dalam bentuk penurunan produktivitas biologi perairan, namun dapat membahayakan kesehatan yang akan

berakibat kematian pada manusia yang menggunakan perairan sungai guna memenuhi kebutuhan hidupnya (Fakhrudin *et al.*, 2001).

Kondisi status mutu kualitas sungai pada tahun 2020 di Provinsi Lampung berdasarkan data BPS (2021), Sungai Mesuji-Sekampung masuk dalam kelas kategori tercemar berat. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Ariani *et al* (2021) pada sungai Semuong Register 39 Tanggamus, Lampung, kondisi kualitas air sungai dalam kategori tingkat pencemaran tercemar ringan sampai tercemar berat dengan nilai BOD dan COD yang melampaui ambang batas baku mutu air kelas III. Penelitian yang dilakukan di Sungai Way Sekampung tahun 2013-2014 menunjukkan kualitas air sungai dalam kondisi tercemar ringan sampai sedang (Romdania *et al.*, 2018).

Di Provinsi Lampung terdapat 5 daerah aliran sungai (DAS) besar yang berperan penting dalam kehidupan individu, salah satunya adalah Sungai Mesuji. Sungai Mesuji memiliki peranan penting bagi masyarakat Kabupaten Mesuji, karena digunakan untuk berbagai aktivitas kegiatan. Aktivitas kegiatan manusia di sekitar Sungai Mesuji meliputi transportasi, industri, hortikultura, peternakan, air minum dan mandi, cuci, kakus (MCK). Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Lampung Tahun 2009- 2029 luas wilayah aliran Sungai Mesuji adalah 2.053 km². Wilayah aliran Sungai Mesuji tersebar di Kabupaten Mesuji (Kecamatan Mesuji, Kecamatan Panca Jaya, Kecamatan Rawa Jitu Utara), Kabupaten Tulang Bawang Barat serta Kabupaten Way Kanan. Sungai Mesuji memiliki panjang 220 km, dengan lebar rata- rata 180- 200 meter, kedalaman berkisar 2- 40 meter (Bappeda Lampung, 2009).

Sungai Mesuji merupakan salah satu sungai terpenting di Kabupaten Mesuji terutama untuk warga yang berdomisili di dekat Sungai Mesuji. Sungai Mesuji dimanfaatkan oleh masyarakat untuk memenuhi bermacam kebutuhan domestik sebagai sumber air minum dan MCK. Pemanfaatan penting lainnya yaitu sebagai sumber air irigasi dan keperluan industri yang lain. Mutu air sungai sangat tergantung pada jenis aktivitas yang dilakukan manusia di dekat wilayah aliran sungai. Meningkatnya beban pencemaran yang masuk ke perairan sungai diakibatkan oleh kegiatan masyarakat yang berada di dekat aliran sungai. Tingginya tingkat pemanfaatan air Sungai Mesuji oleh masyarakat dan informasi

mengenai pencemaran yang terjadi di sungai sangat penting untuk dilakukan peninjauan kualitas air sungai guna mendapatkan langkah yang tepat dalam upaya pengendalian pencemaran di sungai Mesuji.

Tindak lanjut yang dilakukan pemerintah daerah pada permasalahan pencemaran sungai yang terjadi saat ini masih terbatas pada upaya pemantauan. Belum terlihat adanya upaya strategis, semacam pengolahan limbah di wilayah permukiman, penegakkan hukum lingkungan, optimalisasi partisipasi warga dalam pengelolaan sungai, serta lain sebagainya untuk mengatasi permasalahan pengelolaan pencemaran ini.

Prinsip-prinsip ekologis daya tampung sungai terhadap limbah, belum dimengerti secara baik oleh sebagian besar warga dekat aliran sungai, pemerintah, pihak swasta serta pihak terkait yang lain. Oleh sebab itu, penilaian secara merata terhadap pengendalian pencemaran perairan sungai perlu dilakukan secara komprehensif dengan mencermati aspek ekologi, ekonomi serta sosial. Ketiga aspek tersebut merupakan komponen penting serta tiap komponen bisa saling mempengaruhi antara satu sama lain.

Riset pengendalian pencemaran perairan sungai sudah banyak dilakukan, tetapi untuk riset pengendalian pencemaran perairan Sungai Mesuji belum sebanyak wilayah aliran sungai lain. Kompleksnya permasalahan serta banyaknya variabel yang mempengaruhi dalam suatu sistem bisa ditafsirkan secara simpel serta sistematis lewat suatu model yang mencerminkan ikatan antara variabel-variabel yang mempengaruhi kondisi kualitas mutu air Sungai Mesuji. Oleh sebab itu, perlu dilakukan riset tentang pencemaran air yang terjadi di Sungai Mesuji. Penelitian analisis kualitas mutu air sungai menggunakan metode Indeks Pencemaran dengan mengaitkan bermacam aspek yang mempengaruhi, sehingga diharapkan dapat menciptakan suatu model pengendalian pencemaran yang tepat di wilayah Sungai Mesuji.

1.2.Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat berbagai permasalahan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana keterkaitan aktivitas masyarakat di sekitar Sungai Mesuji terhadap kualitas air sungai?
2. Mengidentifikasi apa saja sumber-sumber pencemar Sungai Mesuji.
3. Menentukan langkah-langkah apa saja untuk mereduksi sumber-sumber pencemaran.
4. Membuat pemodelan pengendalian pencemaran air yang tepat dengan kondisi yang ada di Sungai Mesuji.

1.3.Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui tingkat pencemaran dan daya tampung Sungai Mesuji.
2. Mengetahui faktor-faktor sumber pencemar Sungai Mesuji.
3. Menentukan langkah-langkah untuk mereduksi sumber-sumber pencemaran.
4. Menghasilkan suatu model sistem pengendalian pencemaran sungai yang tepat sesuai dengan kondisi Sungai Mesuji.

1.4.Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai sumbangan pemikiran untuk :

1. Pengembangan ilmu pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan.
2. Sumber informasi mengenai kualitas air, beban dan tingkat pencemaran serta proyeksi dampak akibat pencemaran bagi kesehatan masyarakat.
3. Bahan masukan bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Mesuji dan instansi terkait dalam melakukan perencanaan, pemantauan dan pengendalian pencemaran kualitas air Sungai Mesuji di masa yang akan datang.
4. Sumber informasi ilmiah bagi peneliti selanjutnya berkaitan dengan pengendalian pencemaran perairan Sungai Mesuji.

1.5.Kerangka Pemikiran

Sungai Mesuji mempunyai kedudukan strategis dalam mendukung pembangunan Kabupaten Mesuji, karena berguna untuk menopang kebutuhan air pertanian, perindustrian dan keperluan rumah tangga. Kedudukan strategis ini berperan penting dalam melindungi mutu air Sungai Mesuji dari pencemaran.

Pada wilayah aliran Sungai Mesuji terdapat komponen area yang berkaitan serta dapat menciptakan peristiwa yang tidak direncanakan. Komponen area tersebut merupakan area permukiman, area industri, area pertanian, serta fasilitas sosial yang lain. Kasus pencemaran air adalah hasil interaksi serta pengaruh kolektif bermacam-macam komponen area berbentuk sesuatu sistem pencemaran limbah cair menyangkut sumber, ciri, proses penindakan, pembuangan dan transformasi limbah ke aliran sungai. Perkembangan penduduk, laju urbanisasi, serta industrialisasi menimbulkan kenaikan kebutuhan serta tekanan terhadap sumber energi air secara cepat serta merangsang terbentuknya pencemaran air Sungai Mesuji.

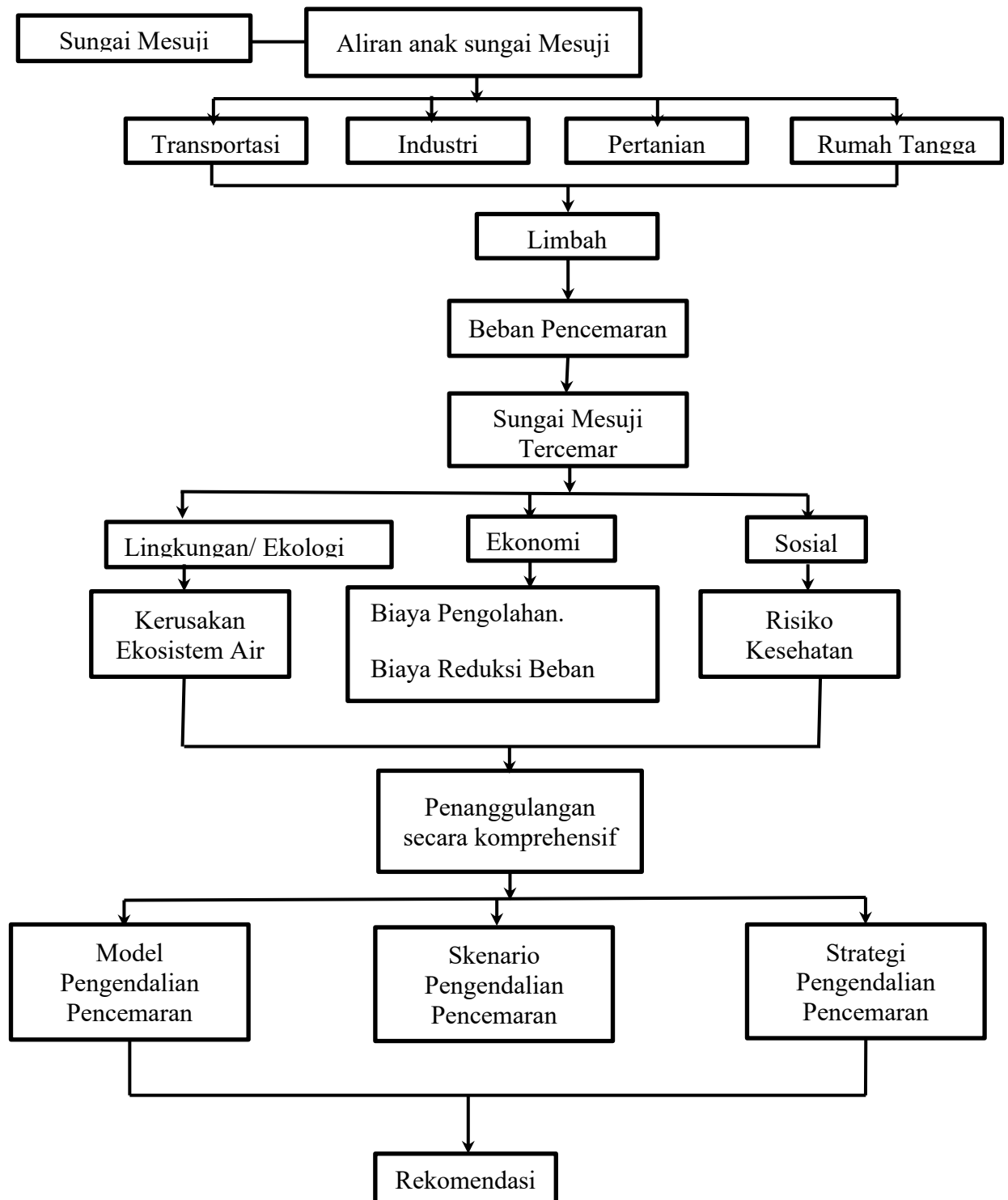
Aktivitas manusia melalui kegiatan industri (pabrik pengolahan), permukiman, pertanian, perkebunan dan transportasi dapat menghasilkan limbah yang dibuang ke media lingkungan. Pada umumnya industri akan menghasilkan limbah cair, padat dan gas. Limbah cair yang tidak diolah dengan baik sebelum dibuang ke media air dalam kurun waktu tertentu akan mencemari perairan. Pada Sungai Mesuji terdapat sejumlah laporan terkait industri yang pembuangan akhir limbahnya akan mengalir ke Sungai Mesuji (Kupas Tuntas, 2021 ; Karya Nasional, 2021; Krakatau News, 2020). Status kualitas air sungai yang sesuai dengan peruntukannya akan memberikan manfaat bagi masyarakat sekitar, terutama bagi masyarakat yang mata pencahariannya tergantung pada keberadaan sungai tersebut. Dengan kondisi demikian pengelolaan sungai secara berkelanjutan dapat diwujudkan.

Sungai Mesuji selaku sistem penerima beban pencemaran organik serta anorganik dari bermacam sumber pencemar baik *point sources* ataupun *non point sources* yang menimbulkan penurunan mutu air. Menurut Suwari (2010), dampak negatif pencemaran air akan mengganggu kehidupan ekologis biota air, penurunan nilai ekonomi air sebagai sumber baku air minum, dan risiko kesehatan

masyarakat. Pendekatan sistem dibutuhkan dalam rangka pembatasan ruang lingkup serta meminimalisir pengaruh dan *output* yang tidak dikehendaki, supaya pengendalian pencemaran berlangsung secara berkepanjangan.

Model pengendalian pencemaran yang dibentuk didasarkan pada beban limbah serta ciri pencemaran, paling utama ciri efluen serta kimia pencemar, dan faktor- faktor yang mempengaruhi dalam rangka pencapaian tujuan. Model dinamik menawarkan berbagai cara untuk menggambarkan sistem yang dikembangkan, menganalisis perilaku sistem, dan menghubungkan perilaku yang diamati dengan struktur sistem dengan suatu bentuk desain sistem dan pemodelan (Skartveit, 2003).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui : (1) status kualitas Sungai Mesuji setiap stasiun pengamatan yang telah ditentukan, dan (2) kondisi sosial ekonomi masyarakat di sepanjang Sungai Mesuji. Untuk memperoleh gambaran tentang kualitas Sungai Mesuji, perlu dilakukan pengumpulan data sekunder yang berkaitan dengan kondisi lingkungannya serta data primer hasil analisis parameter fisika, kimia dan mikrobiologi. Setelah didapat data kualitas air Sungai Mesuji, maka dapat menjadi masukan kepada Pemerintah Kabupaten Mesuji dalam mengambil kebijakan terkait yang mempengaruhi kehidupan sosial ekonomi masyarakat sekitarnya. Hal tersebut dapat dilihat pada kerangka pemikiran pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran.

1.6.Kebaruan (*Novelty*)

Penelitian pengendalian pencemaran sungai telah banyak dilaporkan antara lain penelitian Wan dan Wang (2020) melaporkan tentang pengendalian pencemaran sungai di perkotaan dilakukan dengan *software* program *Surface-water Modeling System* (SMS) pada penelitian ini digunakan parameter utama yang ditentukan berdasarkan analisis sensitivitas dengan menghitung daya dukung lingkungan air sungai perkotaan dan kualitas air sehingga diperoleh data kapasitas pencemar masing-masing anak sungai dan metode pengendalian yang sesuai berdasarkan jumlah total cemaran. Lebih lanjut, Li *et al* (2021) meneliti tentang keseimbangan pengendalian pencemaran di sungai Yang Tze, Yellow dan Pearl, China. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran tingkat polusi nitrit yang terjadi di tiap unit lahan dengan hasil nilai total N terlarut dan nilai P terlarut. Penelitian mengenai penerapan teknologi pengendalian sungai di perkotaan dalam kondisi kritis juga telah dilakukan dengan hasil penelitian pengendalian sungai yang tepat dengan melakukan pembangunan ekosistem sungai secara *bio-eco remediasi*, ditambah dengan fisika-kimia remediasi, melakukan teknologi aerasi, bio-film dan bioremediasi (Wang *et al.*, 2012).

Penelitian mengenai indeks pencemaran air dan daya tampung beban pencemaran juga telah dilakukan di Sungai Brantas, Malang dengan menggunakan model QUAL2Kw dan menentukan tingkat pencemaran dengan perhitungan indeks pencemaran (IP) hasil dari penelitian ini memberikan informasi bahwa faktor utama yang menurunkan kualitas air sungai adalah adanya banyak industri yang berada di sekitar sungai dengan menguji 5 parameter kualitas air yaitu Suhu, pH, DO, BOD, COD (Lusiana *et al.*, 2020).

Penelitian pengendalian pencemaran sungai akan diterapkan di sungai Mesuji, kabupaten Mesuji, Provinsi Lampung, Indonesia. Pemilihan sungai Mesuji karena, sungai ini memiliki peran yang cukup besar dalam mendukung kehidupan di sekitar sungai, sungai dimanfaatkan untuk bermacam kebutuhan domestik sebagai sumber air minum dan MCK. Pemanfaatan penting lainnya yaitu sebagai sumber air irigasi dan keperluan industri. Saat ini kondisi air sungai Mesuji masuk dalam kategori tercemar namun sampai saat ini belum ada penelitian terkait

pengendalian pencemaran yang terjadi, sehingga dengan melihat besarnya fungsi dan manfaat sungai Mesuji maka perlu dilakukan penelitian terkait dengan pengendalian pencemaran air sungai pada sungai Mesuji.

Kebaruan penelitian ini terletak pada kajian pengendalian pencemaran air Sungai Mesuji yang komprehensif yang melibatkan berbagai *stakeholder* dalam sistem pengendalian pencemaran dan penggambaran kondisi eksisting menggunakan parameter fisik-kimia secara *time series* dan lebih lengkap. Kebaruan lainnya adalah pada temuan tentang proporsi dan kontribusi sumber pencemar utama terhadap total beban pencemaran BOD, COD dan TSS, model pengendalian pencemaran Sungai Mesuji dan strategi kebijakan pengendalian yang akan direkomendasikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Keadaan Geografis dan Topografis

Kabupaten Mesuji merupakan daerah agraris yang mana mata pencaharian pokok penduduknya berada di sektor pertanian. Hal ini dikarenakan daerah tersebut merupakan daerah dataran yang cocok dimanfaatkan untuk pertanian. Secara geografis, Kabupaten Mesuji berbatasan dengan Kabupaten Ogan Komering Ilir Provinsi Sumatera Selatan di sebelah utara, timur dan barat serta, Kabupaten Tulang Bawang Barat dan Kabupaten Tulang Bawang di sebelah selatan dengan luas wilayah Kabupaten Mesuji sebesar 2.195,04 km² (BPS., 2020).

Secara geografis wilayah Kabupaten Mesuji terletak pada 3°43'-4°13' LS dan 105°2'-105°49' BT. Secara umum Kabupaten Mesuji memiliki iklim yang panas dan lembab, sehingga wilayah ini memiliki 2 musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Musim kemarau dan musim penghujan dipisahkan oleh cuaca yang berangin serta volume curah hujan yang turun dalam rentang waktu yang panjang. Menurut data Kabupaten Mesuji, pada tahun 2020 curah hujan paling tinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 406 mm, sedangkan curah hujan paling sedikit mencapai 59 mm yang terjadi pada bulan Agustus saat musim kemarau. (BPS., 2020).

Topografi Kabupaten Mesuji dibagi menjadi 4 Unit Topografi yaitu daerah daratan yang dimanfaatkan sebagai perkebunan, daerah rawa di sepanjang pantai timur dengan ketinggian 0-1 m, daerah *river basin* yang membentuk pola aliran sungai dan daerah aluvial yang digunakan sebagai pelabuhan. Secara umum, kondisi kemiringan lereng wilayah Kabupaten Mesuji dapat dibedakan menjadi 3 tipe wilayah yaitu, wilayah datar dengan kemiringan lereng 0-3%, wilayah agak landai dengan kemiringan lereng 3-8% dan wilayah landai dengan kemiringan lereng 8-15%. (BPS., 2020).

2.1.1. Kondisi Sosial Demografis

Berdasarkan data BPS (2020) jumlah penduduk Kabupaten Mesuji pada tahun 2020 mencapai 227.518 orang terdiri atas 117.339 jiwa penduduk laki-laki (51,6%) dan 110.119 jiwa penduduk perempuan (48,4%), dengan tingkat kepadatan 104,17 jiwa/ha dan laju pertumbuhan rata-rata sekitar 1,96 persen per tahun. Pesatnya perkembangan Kabupaten Mesuji membuat daya tarik daerah sekitarnya untuk datang ke Kabupaten Mesuji, dengan tujuan agar jumlah penduduk di Kabupaten Mesuji semakin bertambah. Jumlah penduduk menurut jenis kelamin di setiap kecamatan di Kabupaten Mesuji pada tahun 2020 ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1 Rasio Jenis Kelamin Penduduk Kabupaten Mesuji

No	Kecamatan	Laki-laki	Perempuan	Total	Rasio Jenis Kelamin
1	Way Serdang	23.496	22.040	455.036	106,61
2	Simpang Pematang	14.961	14.034	409.500	106,61
3	Panca Jaya	9.615	9.018	380.505	106,62
4	Tanjung Raya	22.409	21.019	361.872	106,61
5	Mesuji	12.138	11.385	318.444	106,61
6	Mesuji Timur	20.586	19.310	294.921	106,61
7	Rawajitu Utara	14.194	13.313	255.025	106,62
Jumlah		117.399	110.119	2.475.303	106,61

Sumber: BPS (2020).

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa jumlah penduduk laki-laki di Kabupaten Mesuji adalah 117.399 jiwa (51.6%) sedangkan jumlah penduduk perempuan sebesar 110.119 jiwa (48.4%). Sehingga mendapatkan angka perbandingan antara jumlah penduduk laki-laki dengan jumlah penduduk perempuan sebesar 106,61. Terlepas dari korelasi diatas, komponen penduduk utama yang perlu diperhatikan adalah jumlah penduduk dan kepadatan penduduk yang menempati suatu wilayah.

2.2.Kondisi Ekonomi

Keadaan ekonomi Kabupaten Mesuji secara keseluruhan dapat dilihat dari Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). PDRB Kabupaten Mesuji berdasarkan biaya saat ini pada tahun 2020 mencapai 10,43 triliun rupiah, meningkat dari tahun sebelumnya yang mencapai 10,41 triliun rupiah. Sirkulasi PDRB Kabupaten Mesuji pada tahun 2020 dengan biaya saat ini diliputi oleh lahan pertanian dengan alokasi 41,71% dengan nilai PDRB mencapai 4,3 triliun rupiah. Peruntukan terbesar kedua adalah bidang usaha penanganan dengan sebaran sebesar 24,35%, sedangkan pengangkut terkecil berada pada bidang administrasi perusahaan sebesar 0,02%.

Kondisi ekonomi Kabupaten Mesuji terus berkembang setiap tahunnya. Mengingat harga berlaku dan berdasarkan harga konstan, PDRB Kabupaten Mesuji yang bergantung pada harga berlaku pada tahun 2016 mencapai Rp. 3.558.920.000.000,- dan mengalami peningkatan pada tahun 2020 menjadi Rp. 4.352.880.000.000,- atau sama dengan 22,3%.

Perekonomian di wilayah Kabupaten Mesuji sampai saat ini masih ditopang oleh berbagai bidang pembangunan yang meliputi kawasan agraris, perkebunan dan modern. Kemajuan gerakan ini ditopang oleh karakteristik fisik wilayah yang sebenarnya memiliki ruang terbuka yang sangat luas yang belum dimanfaatkan secara optimal (BPS., 2020).

2.3.Ekosistem Daerah Aliran Sungai

Lingkungan adalah kerangka biologis yang terdiri dari bagian biotik dan abiotik yang terkoordinasi satu sama lain untuk membentuk satu kesatuan. Sistem biologi air sungai terdapat faktor biotik dan abiotik yang membentuk hubungan yang sesuai dan saling mempengaruhi. Perairan sungai merupakan salah satu sistem biologis yang berperan penting dalam iklim. Aliran sungai digunakan oleh daerah setempat untuk memenuhi kebutuhan mereka untuk air dan aset lainnya. Namun, daya dukung sungai tidak sebanding dengan pesatnya perkembangan permukiman di sepanjang bantaran sungai. Bahkan, saluran air tersebut juga

dimanfaatkan sebagai tempat pembuangan sampah dan limbah rumah tangga dari daerah setempat.

Aliran sungai terdiri dari 3 bagian, yaitu bagian hulu terletak pada suatu ruang yang agak tinggi sehingga air dapat mengalir ke bawah, bagian tengah saluran air berada pada bagian miring dari saluran air, dan bagian hilir terletak di bagian bawah. Saluran sungai dan anak sungai, hulu dan hilir mungkin memiliki keadaan yang beragam, khususnya kedalaman, panjang, lebar DAS dan luas DAS, volume aliran air, tepi, jeram, jenis dasar sungai, dan suhu air (Brotowidjoyo *et al.*, 1995). Hulu adalah zona antara lingkungan darat dan sistem biologis laut dan seringkali merupakan wilayah yang kaya akan keanekaragaman hayati. Pengalihan aliran di hulu memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi daripada di hilir, sehingga ketika banjir terjadi, material yang dihasilkan disintegrasi dikirimkan partikel residu halus serta pasir dan bebatuan. Bagian tengah merupakan wilayah antara hulu dan hilir. Kemiringan dasar sungai lebih landai sehingga kecepatan aliran umumnya lebih rendah ke hulu. Permukaan dasar bagian tengah sebagian besar berupa pasir atau lumpur. Hilir merupakan daerah aliran sungai yang akan bermuara ke laut atau aliran yang berbeda. Bagian ini pada umumnya melewati wilayah penampang dengan substrat permukaan seperti endapan pasir halus hingga kasar, lumpur, endapan alami, dan berbagai jenis endapan lainnya. Saluran air hilir memiliki bentuk yang berkelok-kelok. Keadaan bagian ini dikenal sebagai *meander* (Suwarno, 1991).

Kapasitas saluran air sebagai sumber air baku, tempat hidup berbagai biota laut, pengendali dan penyeimbang kerangka air, pengendalian banjir dan menjadi sumber kekuatan. Selain itu, saluran air juga bersifat multifungsi, khususnya pada kapasitas lingkungan, ekonomi, dan sosial. Aliran yang dapat didukung untuk menjaga, melindungi dan membangun kembali kapasitas aliran air tergantung pada standar keseimbangan sistem biologis dan batas pengangkutan alami.

Struktur sungai yang sebenarnya memberikan spesialisasi alam yang melimpah bagi makhluk hidup laut. Daerah di bawah batu di bagian bawah air adalah tempat yang redup untuk bersembunyi organisme yang berukuran kecil, sedangkan permukaan atas batu yang terpapar sinar matahari pada siang hari adalah tempat untuk bergabung pertumbuhan hijau (Goldman dan Horne, 1983). Entitas

Organik alami di perairan sungai air dapat dibedakan menjadi dua zona atau sub-lingkungan, yaitu:

- a. Sub-lingkungan riam : adalah bagian dari saluran air yang airnya dangkal namun alirannya cukup mampu menahan pengendapan dasar, sehingga dasar sungainya keras. Di ruang ini hidup bentuk kehidupan bentik atau perifiton, terutama yang dapat menempel pada substrat yang kuat dan jenis ikan yang dapat melawan arus.
- b. Sub-lingkungan arus lambat : adalah bagian yang lebih dalam dari jalur air dan momentumnya lebih rentan atau lebih lambat daripada subhabitat riam. Di daerah ini partikel akan cukup sering mengendap sebagai endapan di dasar sungai. Sehingga makhluk bentik, nekton, dan sesekali ikan kecil hidup.

2.4.Kualitas Air Sungai

Kualitas air merupakan sifat air serta kandungan makhluk hidup baik zat maupun energi, atau komponen air lainnya, semuanya dianggap sebagai komponen kualitas air. Kualitas air juga dapat merujuk pada seberapa cocok air tersebut untuk penggunaan tertentu, seperti irigasi, industri, air minum, dan penggunaan lainnya. Sejumlah pengujian dan perawatan dapat dilakukan di air untuk memastikan kualitasnya (Saputra, 2016). Air adalah molekul yang tidak dapat dipisahkan dari keberadaan manusia dan untuk peradaban manusia. Air juga merupakan komponen kedua yang paling penting untuk rutinitas sehari-hari setelah oksigen, jadi air harus selalu tersedia dalam jumlah yang cukup, mudah didapat dan memenuhi persyaratan untuk digunakan.

Air merupakan sumber daya yang tersedia di alam dan memiliki peranan penting bagi semua makhluk hidup baik manusia, hewan, maupun tumbuhan. Oleh karena itu, luas permukaan air perlu diawasi agar dapat dimanfaatkan secara efektif oleh manusia dan makhluk hidup lainnya (Nugroho, 2008). Manusia memanfaatkan air untuk memenuhi berbagai kebutuhan, seperti yang berkaitan dengan kebutuhan rumah tangga (mandi, mencuci, masak, minum), pertanian, pertambangan, dan lain-lain. Pemanfaatan atau pemanfaatan air dengan baik hendaknya dilakukan secara hati-hati, dengan mempertimbangkan kebutuhan generasi saat ini dan yang akan datang (Sulistiyorini dkk., 2016).

Kualitas air sungai merupakan keadaan kualitatif yang dinilai berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku dengan menerapkan kriteria dan metodologi tertentu. Sifat fisik, kimia, dan biologi kualitas air dapat digunakan untuk menggambarkan kualitas air sungai (Asdak, 2010). Penurunan beberapa ukuran kualitas air, khususnya indikator kimia dan fisik, merupakan indikasi penurunan kualitas air. Fakta bahwa kualitas air menurun menunjukkan bahwa air tersebut terkontaminasi. Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap penurunan ini adalah pembuangan limbah domestik, seperti urin, sampah yang dibuang di sepanjang aliran sungai, serta limbah dan air dari mesin cuci, hasil dari limbah pertambangan dan pertanian (sawah) (Setyowati, 2018).

Kualitas air dapat diklasifikasikan menjadi 4 yaitu:

- a. Kelas satu : air yang peruntukannya dapat dimanfaatkan untuk air baku, air minum, dan untuk peruntukan lain yang memerlukan mutu air yang sama.
- b. Kelas dua : air yang peruntukannya dapat digunakan untuk sarana dan prasarana rekreasi air, pengembangan ikan air tawar, peternakan, tata air agraris, serta peruntukan lain yang memerlukan kualitas air yang sama.
- c. Kelas tiga : air yang fungsinya dapat dimanfaatkan untuk pengembangan ikan air tawar, peternakan, mengairi pertanian, dan juga berbagai kegiatan lain yang membutuhkan air sebagai pemanfaatannya;
- d. Kelas empat : air peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian, atau peruntukan lain yang mensyaratkan mutu air yang sama dengan peruntukannya.

Pemantauan kualitas air sangat penting dilakukan untuk memberikan informasi faktual mengenai kondisi suatu perairan di masa sekarang, dibandingkan dengan kecenderungan di masa lalu serta prediksi perubahan di masa depan. Informasi dasar dari hasil monitoring sungai dapat dijadikan pedoman dalam menyusun evaluasi, pengawasan lingkungan, tata kelola ruang serta penentuan baku mutu pada wilayah perairan (Pranowo dan Siti, 2015). Mutu air sungai pada suatu wilayah dapat dipengaruhi oleh kegiatan manusia. Penurunan mutu dan

kualitas air sungai akan berakibat pada penurunan jumlah biota Sungai dan akan memperburuk kualitas air sungai yang berada di hilir (Ekha Yogafanny, 2015).

Penurunan mutu suatu perairan berdampak pada kebutuhan akan konsumsi air dari tahun ke tahun. Penggunaan air dalam sehari-hari mulai dari kebutuhan untuk konsumsi, untuk keperluan mencuci pakaian maupun mencuci makanan seperti sayur-sayuran dan buah-buahan yang akan berakibat menurunkan kualitas air itu sendiri. Suatu perairan dapat dikatakan tercemar apabila terdapatnya suatu bahan atau keadaan yang dapat mengakibatkan kualitas dari perairan tersebut menjadi menurun hingga ke tingkat tertentu yang menjadikan perairan tidak memenuhi baku mutu untuk digunakan pada keperluan tertentu (Agoes, 2019).

2.5.Pencemaran Air Sungai

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, disebutkan bahwa pencemaran air adalah bagian atau pertimbangan makhluk hidup, zat, energi atau bagian-bagian lain ke dalam air oleh perbuatan manusia, sehingga kualitas air menurun ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat bekerja seperti yang seharusnya. Pedoman ini menyatakan bahwa kontaminasi harus ditangani dan merupakan kewajiban untuk mempertimbangkan penanganannya.

Sumber-sumber pencemar yang dapat diketahui dengan pasti, misalnya dari air limbah dan saluran drainase dan domestik. Pencemaran masuk ke perairan melalui limpasan dari permukaan tanah kawasan hortikultura yang mengandung pestisida dan kompos, atau luapan dari wilayah permukiman dan perkotaan.

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air yang dimaksud pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Pencemaran air, menurut Istomi (2013), adalah ketika karakteristik air menyimpang dari keadaan aslinya, bukan dari kemurniannya. Ketika manusia hidup dalam lingkungan fisik, biologis, dan sosial yang sehat, polusi terjadi karena adanya material polutan yang dihasilkan oleh proses aktivitas

manusia yang berdampak negatif terhadap kehidupan manusia secara langsung dan tidak langsung.

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Sumber pencemaran air dapat digolongkan menjadi dua kategori berdasarkan jenis limbah yang dihasilkan: sumber limbah perumahan dan sumber limbah non-domestik. Sumber limbah non-domestik dapat berasal dari kegiatan industri, pertanian dan peternakan, perikanan, pertambangan, atau kegiatan yang tidak berasal dari pemukiman. Di sisi lain, sumber limbah domestik umumnya terdapat di kawasan pemukiman.

2.6. Sedimen

Sedimen merupakan fragmen material yang umumnya tersusun secara fisik dan kimia dari pecahan batuan. Ukuran partikel sedimen bervariasi, mulai dari yang besar seperti bongkahan batu hingga yang sangat halus seperti koloid, dengan bentuk beragam seperti bulat, oval, atau persegi. Pengukuran jumlah sedimen terlarut (suspended sediment) dalam sungai sering digunakan untuk menentukan hasil sedimentasi. Dengan kata lain, sedimen adalah campuran mineral dan bahan organik yang terbawa dari berbagai sumber dan diendapkan oleh udara, angin, air, atau es. Sedimen mencakup partikel tersuspensi dalam air serta mineral yang tersimpan dalam larutan kimia (Usman, 2014).

Sedimentasi sendiri merupakan proses perpindahan material menuju area pengendapan yang disebabkan oleh erosi dan pelapukan akibat air, angin, atau gletser. Seiring waktu, batuan yang terendapkan melalui proses ini akan membentuk batuan sedimen. Dalam konteks sungai, proses sedimentasi dapat berdampak pada penyempitan lembah, erosi, pengangkutan sedimen, pengendapan, serta pemadatan material sedimen. Pembentukan sedimen dimulai dari erosi tanah yang terbawa aliran air, dengan sebagian material tetap berada di daratan dan sebagian lainnya masuk ke sungai, lalu terikat dalam sistem aliran sungai (Pangestu & Haki, 2013). P

proses sedimentasi di bawah air dapat menyebabkan pendangkalan dan penurunan kualitas air. Tingginya kandungan sedimen dalam badan air tidak hanya berisiko menyebabkan pendangkalan sungai yang dapat membahayakan

ekosistem, tetapi juga menurunkan kualitas air (Solihuddin, 2015). Oleh karena itu, pengujian kualitas sedimen, terutama dalam hal kandungan logam berat, menjadi langkah penting dalam menilai kondisi lingkungan perairan.

Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk menilai pencemaran logam berat di sungai adalah sedimen. Konsentrasi logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dengan air karena logam berat memiliki kecenderungan mudah berikatan dengan bahan organik, sehingga mengendap di dasar perairan dan terperangkap dalam sedimen (Eshmat et al., 2014). Selain itu, sedimen yang mudah tersuspensi akibat pergerakan massa air dapat menyebabkan logam berat kembali larut ke dalam air. Tanaman yang tumbuh di badan air sungai dapat berfungsi sebagai indikator pencemaran logam berat, karena mereka menyerap air dan nutrisi dari tanah sekitar sungai, yang berpotensi mengandung logam berat dari sedimen.

Sedimen juga berperan sebagai parameter dalam menentukan tingkat pencemaran logam berat di sungai. Logam berat seperti merkuri, kadmium, timbal, dan seng umumnya terbawa oleh partikel sedimen dalam air sungai. Ketika sedimen terangkut oleh aliran sungai, logam berat yang terkandung di dalamnya dapat meresap ke dalam tanah di sekitar sungai atau langsung mencemari air sungai (Suparminingsih et al., 2016).

Beberapa cara sedimen tersuspensi dapat menjadi indikator pencemaran logam pada sungai:

1. Logam Terikat pada Partikel Sedimen: Logam-logam berat dapat menempel pada partikel-partikel sedimen yang terbawa oleh air sungai. Ketika sedimen ini terendapkan di dasar sungai atau di daerah berhulu, logam-logam tersebut dapat tetap ada di lingkungan tersebut.
2. Konsentrasi Logam dalam Sedimen: Analisis konsentrasi logam dalam sampel sedimen sungai dapat memberikan informasi tentang tingkat pencemaran. Jika konsentrasi logam dalam sedimen melebihi batas baku yang ditetapkan untuk melindungi lingkungan dan kesehatan manusia, itu bisa menjadi indikator pencemaran logam.
3. Biomonitoring: Organisme hidup seperti makroinvertebrata atau ikan yang hidup di dasar sungai dapat menyerap logam-logam berat dari sedimen. Studi

biomonitoring, dengan mengamati kesehatan organisme hidup, dapat memberikan petunjuk tentang tingkat pencemaran logam dalam sedimen.

4. Transportasi Logam oleh Sedimen: Sedimen yang terbawa oleh air sungai dapat membawa logam-logam dari satu lokasi ke lokasi lain, menghasilkan penyebaran pencemaran logam di seluruh sistem sungai.

Pencemaran logam dalam sungai dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk limbah industri, limbah pertambangan, dan limbah perkotaan. Monitoring sedimen mudah tersuspensi dan analisis logam dalam sedimen dapat membantu dalam penilaian kualitas air sungai dan mengidentifikasi sumber pencemaran logam yang perlu dikelola atau dikurangi. Ini penting untuk menjaga keberlanjutan ekosistem air dan melindungi kesehatan manusia yang bergantung pada air sungai (Rustiah et al., 2019).

2.7. Sumber Pencemaran Air Sungai

Sumber-sumber pencemaran yang masuk ke perairan dikenal menjadi pencemaran yang dibuat secara alami dan pencemaran akibat aktivitas manusia. Menurut Soedomo (2001) sumber pencemaran sungai diklasifikasikan ke dalam 3 kelompok, yaitu:

- a. Sumber pencemaran sungai menetap (*point source*) seperti limbah industri, limbah pertanian, limbah domestik dan sebagainya pada satu stasiun pencemaran.
- b. Sumber pencemar sungai yang tidak menetap (*diffuse source*) seperti limbah pertanian, limbah domestik, limbah industri dan sebagainya pada beberapa stasiun pencemaran atau berjarak tidak tetap.
- c. Sumber pencemar sungai campuran (*compound area source*) yang berasal dari stasiun tetap dan tidak tetap.

Limbah industri akan menjadi bahan yang terbuang percuma sebagai hasil dari proses produksi berupa benda keras, cairan atau gas yang dapat menimbulkan pencemaran. Limbah industri tersebut dapat berupa bahan rekayasa, logam, dan bahan beracun berbahaya yang sulit terurai oleh siklus organik. Kandungan zat limbah dapat bersifat organik atau anorganik, dari air kotor yang tidak berbahaya hingga logam beracun dan simpanan alami. Limbah tersebut bersifat merusak dan dapat membunuh tumbuhan dan hewan organisme air.

Limbah domestik akan menjadi bahan buangan sebagai efek samping non-industri, namun berasal dari rumah tangga, tempat kerja, tempat makan, pasar yang dapat menyebabkan pencemaran. Limbah domestik berupa sampah organik dan sampah anorganik yang kompleks dengan pengaturan yang terdiri dari air dan padatan seperti zat alami dan anorganik. Limbah organik yang dibuang ke aliran sungai dapat mengakibatkan konsumsi sejumlah oksigen terlarut dalam air sungai, karena sebagian besar oksigen akan digunakan oleh mikroba untuk menguraikan bahan alam menjadi partikel yang lebih mudah, khususnya karbon dioksida, air dan gas yang berbeda. Jika sampah anorganik diturunkan ke saluran air, cahaya matahari dapat terhalang dan menghambat interaksi fotosintesis tanaman amfibi dan pertumbuhan hijau yang menghasilkan oksigen.

Pencemaran dalam suatu ekosistem yang terjadi dalam jumlah besar dapat meracuni seluruh organisme yang hidup di dalamnya. Penurunan keanekaragaman spesies juga dapat menjadi indikator adanya pencemaran. Sumber pencemaran air dapat dikategorikan ke dalam dua jenis, yaitu:

1. Sumber tetap (point source)

Pencemaran yang berasal dari lokasi yang dapat diidentifikasi dengan jelas dan relatif mudah dikendalikan. Beberapa contoh sumber tetap meliputi:

- a) Limbah dari fasilitas pengolahan air limbah,
- b) Limpasan (runoff) dari saluran sanitasi di kawasan perkotaan,
- c) Limbah industri, dan
- d) Limbah dari tempat penyembelihan hewan.

2. Sumber tidak tetap (non-point source)

Pencemaran yang berasal dari limpasan permukaan tanah, atmosfer, atau sumber lain yang sulit diidentifikasi dan dikendalikan. Beberapa contoh pencemaran dari sumber tidak tetap mencakup:

- a) Limpasan sedimen dari daratan, baik akibat aktivitas manusia maupun proses alami,
- b) Limpasan bahan kimia seperti pupuk dan pestisida dari lahan pertanian,
- c) Sedimentasi akibat aktivitas pertambangan, serta

d) Tumpahan minyak dan bahan berbahaya lainnya (Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001).

Terdapat enam tingkatan pengaruh pencemaran air sesuai dengan tingkat bahaya yang ditimbulkannya:

1. Kelas 1: gangguan estetika (bau, rasa, pemandangan).
2. Kelas 2: gangguan atau kerusakan terhadap harta benda
3. Kelas 3: gangguan terhadap kehidupan hewan dan tumbuhan.
4. Kelas 4: gangguan terhadap kesehatan manusia.
5. Kelas 5: gangguan pada sistem reproduksi dan genetika manusia.
6. Kelas 6: kerusakan ekosistem utama (Soegianto., 2010 dalam Rahawarin. 2020).

2.8. Beban Pencemaran

Beban pencemaran adalah ukuran komponen racun yang terkandung dalam air atau air limbah. Beban pencemaran diidentifikasi dengan jumlah keseluruhan kontaminasi atau kombinasi racun yang memasuki iklim oleh industri atau pertemuan modern di wilayah tertentu dalam jangka waktu tertentu. Besaran beban pencemaran dikendalikan oleh perkiraan langsung debit air sungai dan pengelompokkan limbah di sekitar saluran air. Di lingkungan, beban pencemaran biasanya ditentukan melalui ketebalan populasi dan normal per individu setiap hari dalam membuang air limbah.

Sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, beban pencemaran mengacu pada jumlah zat pencemar yang terkandung dalam air atau air limbah. Menurut Auvria dan Munfarida (2020), beban pencemaran adalah jumlah pencemar yang dihasilkan dalam jangka waktu tertentu, dinyatakan dalam kilogram per hari. Beban pencemaran sungai dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan: (Mitsch & Gosselink, 1993).

$$BPS = (Cs)_j \times Q_s \times f$$

Keterangan:

BPS = beban pencemaran Sungai (kg/hari)

$(Cs)_j$ = konsentrasi pencemar j (mg/L)

Qs =debit air sungai ($m^3/detik$).

F =faktor konversi $\frac{1 \text{ kg}}{1.000.000 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times 86400 \text{ detik} = 86,4$

Beban pencemar mengacu pada kuantitas keseluruhan polutan, atau kombinasi polutan, yang dilepaskan oleh suatu industri atau sekelompok industri di suatu lokasi tertentu ke lingkungan (secara langsung atau tidak langsung) dalam jangka waktu tertentu. Menurut Rachmawati et al. (2020), yang dimaksud dengan “beban pencemaran” dalam konteks limbah rumah tangga dan kota adalah keseluruhan jumlah limbah yang masuk ke lingkungan, baik langsung maupun tidak langsung, dari permukiman dalam kurun waktu tertentu. Menurut Wiwoho (2005), penurunan beban cemar setiap sumber pencemar sepanjang sungai dapat dilakukan dengan:

- a. Sosialisasi kepada penduduk di sekitar wilayah sub-DAS yang sepenuhnya bertujuan untuk mengurangi berat pencemaran, antara lain dengan melakukan invasi air limbah keluarga, penggunaan pestisida yang tidak berlebihan, larangan membuang sampah ke saluran air dan pemanfaatan material yang lebih banyak tidak berbahaya bagi ekosistem lingkungan.
- b. Manajemen yang ketat pada pembuangan sampah cair, pembangunan IPAL untuk organisasi yang belum memiliki IPAL dan perbaikan IPAL.
- c. Beban pencemaran di TPA diperlukan untuk IPAL untuk penanganan lindi yang akan masuk ke sungai.
- d. Untuk mengurangi beban pencemaran di perumahan, penting untuk membangun IPAL kolektif.

2.9. Daya Tampung Beban Pencemaran

Dalam hal meningkatkan atau menghilangkan kontaminan limbah / bahan pencemar yang berasal dari alam, sisa nutrisi, tanaman, atau polutan lainnya yang disebabkan oleh aktivitas biologis di badan air sungai atau danau, sungai memiliki kapasitas untuk pemurnian (*self purification*). Banyaknya bahan pencemar yang masuk ke badan air membatasi kemampuan menjernihkan diri, sehingga tidak ada gunanya memperbaiki kondisi sungai. Pemurnian diri dikaitkan dengan oksidasi

senyawa organik oleh organisme aerobik. Derajat deoksigenasi pada air sungai disebabkan oleh proses oksidasi dan bergantung pada banyaknya air limbah yang masuk ke badan air sungai. Banyaknya pengenceran yang dihasilkan dari pencampuran air limbah dengan air sungai ditentukan oleh laju aliran sungai (Arbie et al., 2015).

Daya tampung beban pencemar yang sebagaimana ditunjukkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, batas beban pencemaran air adalah kemampuan air di suatu sumber air untuk mengakui kontribusi beban racun tanpa membuat air menjadi kotor. Mengingat Peraturan Daerah Nomor 11 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, maka yang dimaksud dengan Daya Tampung Beban Pencemaran (DTBP) atau biasa disebut juga beban penuh setiap hari adalah daya tampung air dalam suatu sumber air untuk mengakui kontribusi beban kontaminasi tanpa membuat aliran air terkontaminasi. Berdasarkan Permen LH No. 110 Tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air, setelah DTBP ditentukan, selanjutnya dapat didistribusikan untuk setiap porsi beban sampah dan peruntukan beban antara sumber stasiun dan sumber non stasiun. Sepanjang garis ini, siklus ini sangat besar baik pada sumber stasiun dan sumber non stasiun. DTBPA ini dapat dimanfaatkan untuk perizinan kawasan, pengolahan air dan sumber air, penetapan rencana tata ruang, pemberian hibah pembuangan air limbah, serta penetapan program kerja pengendalian pencemaran air dan air yang objektif.

2.10. Indikator Fisik

Sifat-sifat yang umumnya digunakan untuk menentukan kualitas air antara lain suhu, padatan terlarut, kekeruhan dan *tone* air. Suhu saluran air dipengaruhi oleh musim, ruang lingkup, ketinggian di atas permukaan laut, penyebaran udara, dan aliran serta kedalaman saluran air. Perubahan suhu mempengaruhi siklus fisik, kimia dan biologi di badan air.

2.10.1. Suhu / Temperatur

Suhu air sangat erat kaitannya dengan kualitas air. Semakin tinggi suhu air, semakin rendah kualitasnya karena kandungan oksigen yang terurai di perairan semakin rendah. Air sering digunakan sebagai media pendingin di berbagai siklus modern atau pembangkit listrik. sungai besar dan pasang surut yang solid akan benar-benar ingin membunuh air suhu tinggi dengan cepat, namun jika pelepasan air panas dalam jumlah besar akan merusak lingkungan di jalur air yang dikenal sebagai polusi termal (Darmono 2001). Sebagai aturan umum, setiap kenaikan suhu 10°C menyebabkan peningkatan pemanfaatan oleh organisme air 2-3 kali lipat. Peningkatan suhu diikuti dengan penurunan tingkat oksigen yang rusak sehingga oksigen sering tidak layak untuk memenuhi kebutuhan oksigen makhluk laut untuk melakukan siklus metabolisme dan pernapasan, sehingga biota ikan dan udara akan mati karena kekurangan oksigen.

Panas matahari mempengaruhi suhu air, baik secara langsung maupun tidak langsung. Seiring dengan variasi musim, suhu air akan berfluktuasi secara bertahap pada siang dan malam hari. Suhu air mempunyai pengaruh besar terhadap jumlah oksigen yang ada di dalam air. Hertika et al. (2022) menegaskan bahwa suhu berpengaruh terhadap laju terjadinya reaksi kimia di dalam air, baik di dalam tubuh ikan maupun di media sekitarnya. Temperatur yang lebih tinggi akan mempercepat reaksi kimia, namun juga akan menyebabkan penurunan konsentrasi molekul, seperti oksigen, di dalam air, yang akan mempengaruhi kehidupan akuatik.

Pengukuran suhu air dapat menggambarkan tren aktivitas fisik, kimia dan biologi di dalam air, termasuk tegangan permukaan, tekanan uap, tingkat pengentalan dan saturasi partikel dan gas di dalam air. Peningkatan suhu air dapat menyebabkan volatilisasi, penguapan dan reaksi kimia serta menurunkan kelarutan berbagai gas dalam air, seperti CO_2 dan O_2 . Pada perairan tropis, kehidupan akuatik membutuhkan suhu antara 25 dan 32°C untuk bertahan hidup (Effendi, 2003).

Syakti (2012) menyatakan bahwa suhu berdampak terhadap toksisitas logam berat terhadap biota perairan. Peningkatan suhu mempercepat reaksi logam berat membentuk ikatan dengan protein tubuh dan mempercepat proses masuknya logam berat ke dalam tubuh biota (Dewi, 2020). Kehidupan akuatik diatur oleh suhu air, yang mempengaruhi laju metabolisme, reproduksi, dan siklus hidup.

Aktivitas metabolik dapat meningkat, menurun, atau bahkan hilang jika suhu aliran berayun terlalu banyak ke salah satu arah. Suhu sungai dapat dipengaruhi oleh berbagai sebab. Variasi suhu air secara musiman, harian, dan bahkan setiap jam mungkin terjadi, terutama di sungai yang lebih kecil (Patil dkk., 2015).

2.10.2. TSS (*Total Suspended Solid*)

Kekeruhan air pada umumnya disebabkan oleh adanya partikel-partikel tersuspensi seperti lumpur, bahan-bahan alami yang rusak, mikroba, ikan mikroskopis, dan berbagai makhluk lainnya. Kekeruhan yang terjadi di perairan sungai, misalnya saluran air, umumnya disebabkan oleh material tersuspensi seperti koloid dan partikel halus. Kecerahan perairan sangat dipengaruhi oleh adanya padatan tersuspensi, zat terlarut, partikel dan warna air. Dampak dari kandungan lumpur yang dibawa oleh saluran air dapat menyebabkan kecerahan air sungai menjadi rendah, dengan tujuan dapat mengurangi nilai guna air.

Metrik yang dikenal sebagai konsentrasi total suspended solid (TSS) digunakan untuk menghitung jumlah konsentrasi TSS dalam cairan dengan menunjukkan laju sedimentasi. Dasar air sebagian akan mengendap menjadi bahan-bahan dari sumber kimia yang hancur dan terbawa oleh udara, dengan arus yang menahan bahan-bahan yang tersisa. Dominasi volume udara yang digunakan dalam proses produksi industri penyamakan kulit berdampak pada pasokan udara yang selanjutnya mempengaruhi tertutupnya konsentrasi total suspended solid (TSS) melalui agitasi sedimen yang disebabkan oleh aliran volume udara yang dimanfaatkan. Teknik untuk mengetahui kuantitas dan distribusi partikel tersuspensi di perairan disebut analisis TSS (Siswanto, 2010). Padatan total suspended solid (TSS) adalah berat, dinyatakan dalam mg/L, lumpur kering di air limbah setelah prosedur penyaringan membran 0,45 mikron. Kekeruhan air yang disebabkan oleh padatan tersebut tidak dapat mengendap secara langsung. Partikel yang ukuran dan beratnya lebih rendah dibandingkan sedimen, seperti tanah liat, senyawa organik tertentu, dan lain-lain, disebut sebagai padatan tersuspensi (Rozali et al. 2016).

Konsentrasi TSS diukur secara gravimetri dengan cara menimbang berat residu dalam contoh yang tertahan pada kertas saring yang berpori $0,45\ \mu\text{m}$ dan telah dikeringkan pada temperatur $103 - 105^\circ\text{C}$ hingga diperoleh berat tetap. Selisih (pertambahan) berat pada kertas saring menunjukkan padatan tersuspensi total (TSS) (Khofifah dan Utami, 2022).

2.11. Indikator Kimia

Sifat-sifat yang umumnya digunakan untuk menentukan kualitas air antara lain pH, BOD, DO, COD, kadar logam berat dan indikator kimia lainnya.

2.11.1. Derajat Keasaman (pH)

Menurut Sastrawijaya (2000) pH diisolasi menjadi sifat asam dan esensial. Keasaman adalah kapasitas untuk menghilangkan basa atau menetralkan. Asam lemah dapat memiliki tingkat keasaman yang tinggi, yang berarti mereka dapat menghasilkan hidrogen. Keasaman dibedakan menjadi keasaman bebas dan keasaman lengkap. Keasaman bebas disebabkan oleh asam padat seperti korosif klorida dan korosif sulfat. Asam bebas dapat menurunkan pH. Keasaman total terdiri dari korosif bebas di samping ketajaman yang ditimbulkan oleh korosif lemah. Sedangkan kebasaan air adalah batas air untuk menghilangkan asam. Hal ini terjadi karena adanya basa atau garam basa di dalam air. Misalnya NaOH, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dll. Garam-garam esensial yang sering dialami adalah karbonat logam natrium, kalsium, magnesium, dll. Kebasaan yang tinggi tidak berarti pH yang tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan hidup, air harus memiliki pH sekitar 6,5 - 7,5.

Tingkat keasaman (pH) air sungai merupakan salah satu unsur yang mempengaruhi kimia air. Skala pH menunjukkan jumlah ion hidrogen yang ada dalam air sungai. Jumlah ion hidrogen mempengaruhi reaksi kimia yang terjadi di lingkungan perairan dan dapat berfungsi sebagai ukuran seberapa cocok air untuk ditinggali ikan. Kebanyakan ikan yang menghuni lingkungan air tawar lebih menyukai pH 6,5-8,4 (Soewandita dan Sudiana, 2010). Derajat keasaman (pH) adalah nilai konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan atau jika dinyatakan secara matematis didefinisikan sebagai logaritma resiprokal ion hydrogen ($\text{pH} : \log 1/\text{H}$). Kemampuan air untuk mengikat atau melepaskan sejumlah ion H akan menunjukkan apakah bersifat asam atau basa. Aspek yang

diukur adalah kemampuan suatu larutan dalam memberikan ion hydrogen. Nilai pH yang lebih rendah menunjukkan keasaman yang lebih tinggi. Apabila angka pH kurang dari 7 menunjukkan air bersuasana asam, sedangkan jika lebih dari itu menunjukkan air dalam suasana basa (Zammi et al., 2018).

Salah satu yang berpengaruh jika pH air dalam kondisi tidak normal Kelangsungan hidup ikan terancam jika airnya sangat asam atau basa, dengan kisaran kurang dari 5 hingga lebih dari 9, karena hal ini akan menyebabkan kelainan metabolisme dan pernapasan pada ikan. Normalnya, pH udara yang menopang kehidupan adalah antara 6,5 dan 7,5. Keadaan ini bergantung pada pH, dan pH udara dapat bersifat asam atau basa. Jika pH atmosfer lebih rendah dari normal, maka bersifat asam, dan jika lebih tinggi, maka bersifat basa. Air limbah dan limbah industri mengubah pH udara, yang pada akhirnya menyebabkan degradasi ekosistem udara (Wardhana, 2004).

Tergantung pada seberapa rendah nilai pH-nya, udara dapat bersifat basa atau asam. Udara bersifat asam jika pH-nya kurang dari 6,5 dan bersifat basa jika pH-nya lebih dari 7,5. pH udara diubah oleh air limbah dan limbah industri, yang pada akhirnya mencegah kehidupan laut—yang sensitif terhadap fluktuasi pH—untuk tetap ada (Wardhana 2004).

2.11.2. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk memecah senyawa yang terjadi secara alami diukur dengan BOD (Wardhana, 2004). Bahan-bahan yang masuk ke dalam tubuh secara alami dari sumber-sumber umum atau dari sumber-sumber polusi lainnya meliputi protein, karbohidrat (selulosa, pati, dan gula), dan minyak berbahaya. Sementara limbah manusia, urin, pembersih, minyak, dan lemak merupakan sumber BOD dari aktivitas manusia, tanaman yang membusuk dan organisme yang mati merupakan sumber BOD yang umum di udara permukaan (Penn et al., 2011). BOD biasanya digunakan untuk menilai tingkat kontaminasi air limbah. Jumlah oksigen yang digunakan mikroorganisme untuk memanaskan bahan-bahan alami di udara diperkirakan dengan BOD. Efek tindak lanjut dari mobilitas alami, respons oksidasi selama pengujian BOD bergantung pada suhu dan ukuran populasi. Suhu

perlu dipertahankan pada 20°C, yang merupakan suhu rata-rata yang terlihat di alam. Secara teoritis, tidak ada batasan berapa lama waktu yang dibutuhkan bahan-bahan alami untuk sepenuhnya teroksidasi dan terurai menjadi CO₂ dan H₂O. Terdiri dari bahan-bahan buangan yang memerlukan banyak oksigen, apabila jumlah oksigen yang digunakan banyak, seperti jumlah oksigen hasil penguraian (Fardiaz, 1992).

Nilai BOD yang lebih besar pada suatu badan air menunjukkan bahwa badan air tersebut telah terkontaminasi, biasanya oleh limbah industri dan organisasi, maka BOD merupakan salah satu metrik yang digunakan untuk mengevaluasi pencemaran sungai (Rahmawati, 2011). Menurut Effendi (2003), suatu perairan dianggap tercemar dengan kriteria BOD jika nilai BOD-nya lebih besar dari 10 mg/L.

Semakin besar nilai BOD, maka kadar oksigen dalam air akan semakin cepat habis, nilai BOD akan berdampak langsung pada jumlah oksigen terlarut dalam air. Sisa-sisa daun, tumbuhan atau hewan yang mati, kotoran manusia atau hewan, limbah ternak atau rumah tangga, dan sumber-sumber lainnya merupakan beberapa hal yang berkontribusi terhadap peningkatan kadar BOD (US EPA, 2006). Jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba untuk menguraikan molekul organik di udara dikenal sebagai kebutuhan oksigen biologis, atau BOD. Untuk memastikan beban pencemar yang dihasilkan dari air limbah industri dan perumahan, diperlukan pengujian BOD. Penguraian bahan organik menunjukkan bahwa organisme memerlukan bahan organik untuk energi dan makanan berbasis oksidasi (Fachrurrozi, 2010).

2.11.3. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk penguraian bahan organik di kerak bumi melalui proses kimia, atau jumlah molekul oksigen yang dibutuhkan untuk memecah bahan organik menjadi CO₂ dan H₂O, dikenal sebagai Chemical Oxygen Demand (COD) atau Kebutuhan Oksigen Kimia. Salah satu metrik terpenting untuk mengidentifikasi tingkat polusi udara adalah COD. Menurut Andara et al. (2014), kualitas udara yang lebih rendah ditunjukkan oleh COD yang lebih tinggi.

COD sangat penting ketika ada zat berbahaya dan BOD tidak dapat ditetapkan. Selain itu, dibandingkan dengan pengukuran BOD, pengukuran COD lebih cepat. Namun, COD dan BOD tidak terkait karena mereka mengukur hal yang terpisah dan berbanding lurus. Temuan pengukuran COD tidak dapat membedakan komponen organik yang stabil dari yang tidak stabil. Jumlah oksigen terlarut di udara dapat dikurangi dengan mengoksidasi zat organik melalui proses mikroba, menurut teori ilmiah. Salah satu metrik polusi udara, nilai COD, digunakan untuk mengukur proses ini (Estikarini et al., 2016).

COD didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi polutan udara secara artifisial. Kalium dikromat mengoksidasi limbah alam untuk menghasilkan gas CO₂ dan H₂O, yang kemudian diubah menjadi partikel kromium. Jumlah kalium dikromat yang digunakan dalam reaksi oksidasi tersebut sama dengan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi oksidasi limbah alam (Wardhana, 2004). Pertanian dan perikanan bukanlah pemanfaatan air yang sesuai dengan kadar COD yang tinggi. Sumber udara yang tidak tercemar biasanya memiliki kadar COD kurang dari 20 mg/L (Effendi, 2003). Jumlah COD maksimum yang diperbolehkan untuk mendukung keberadaan makhluk hidup dan untuk tujuan pengelolaan udara adalah antara 10 dan 100 mg/L, berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

2.11.4. DO (*Dissolved Oxygen*)

Oksigen yang terlarut dalam air disebut oksigen terlarut (DO). Kualitas air biasanya dapat ditentukan dengan mengukur kadar oksigen. Mayoritas DO dalam air dihasilkan oleh tumbuhan air dan alga selama proses fotosintesisnya, itulah sebabnya kadar DO meningkat sepanjang hari dan menurun pada malam hari (Kibria, 2004). Menurut Prahutama (2013), kualitas air pada suatu wilayah tertentu meningkat seiring dengan semakin tingginya nilai DO. Suhu, salinitas, dan ketinggian semuanya mempengaruhi nilai DO suatu perairan; ketika variabel tersebut naik maka kemampuan air dalam melarutkan oksigen menurun (Ahmed, 2017).

DO secara tidak sengaja menunjukkan ada atau tidaknya pencemaran air. Agar fauna akuatik dan spesies aerobik dapat bertahan hidup, oksigen terlarut sangat penting. menilai apakah organisme aerobik atau anaerobik mendominasi sistem perairan, memprediksi kelangsungan hidup makhluk akuatik, dan menilai apakah proses biologis aerobik dapat terjadi untuk mengubah polutan organik yang dapat terbiodegradasi yang dibuang ke air, semuanya dapat dilakukan dengan pengukuran DO. Karena mikroba aerob membutuhkan oksigen selama pemecahan metabolisme bahan organik, DO akan turun dengan cepat pada perairan yang terdapat pelepasan senyawa organik. Kemampuan saluran air untuk membersihkan diri sangat bergantung pada jumlah oksigen terlarut. Suhu udara, garam terlarut, tekanan atmosfer, keberadaan bahan kimia pereduksi, bahan tersuspensi, dan bentuk kehidupan semuanya mempengaruhi jumlah DO yang ada dalam suatu perairan. Menurut Ibanez (2014), konsentrasi DO meningkat di sekitar air terjun dan jeram dan menurun di dekat daerah yang bergerak lambat dan arus yang membawa mikroorganisme dan bahan kimia organik. Oksigen terlarut sangat penting digunakan untuk menghancurkan atau mengoksidasi bahan alami dan anorganik dalam proses berdampak tinggi di air.

Menurut Sastrawijaya (2000), di perairan yang mengalir, biasanya oksigen bukan merupakan unsur pembatas. Dalam aliran yang jelas dan cepat, konvergensi oksigen tiba di perendaman. Kesimpulannya oksigen yang hancur harus diselesaikan secara umum, di berbagai area, kedalaman, dan di berbagai kesempatan. Jika air mengalir secara bertahap atau ada racun, oksigen yang terurai mungkin berada di bawah perendaman, jadi oksigen kembali menjadi komponen pembatas. Hal itu bergantung pada:

- (1) Suhu;
- (2) Kehadiran tumbuhan fotosintesis;
- (3) Tingkat masuknya cahaya bergantung pada kedalaman dan kekeruhan air;
- (4) Kederasan air;
- (5) Banyaknya bahan alam yang terurai dalam air seperti sampah, tumbuhan hijau yang mati, atau limbah industri.

2.11.5. Fosfat (P)

Fosfat di perairan, unsur fosfor tidak ditemukan dalam bentuk bebas sebagai elemen, melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut dan senyawa anorganik yang berupa partikulat. Fosfor total menggambarkan jumlah total fosfor, baik berupa partikulat maupun terlarut, organik maupun anorganik. Di perairan, bentuk unsur fosfor berubah secara terus menerus akibat proses dekomposisi dan sintesis antara bentuk organik dan anorganik yang dilakukan oleh mikroba (Effendi, 2003). "Perusahaan tersebut telah mengembangkan deterjen dalam industri rumah tangga dan menciptakan minat manusia terhadap deterjen." "Perusahaan tersebut telah mengembangkan deterjen dalam industri rumah tangga dan menciptakan minat manusia terhadap deterjen." "Perusahaan tersebut telah mengembangkan deterjen dalam industri rumah tangga dan menciptakan minat manusia terhadap deterjen." Menurut PP Nomor 82 tahun 2001 tentang pengendalian mutu udara dan penjurian pencemaran air, pencemaran fosfor dalam bentuk fosfat untuk kepentingan pelikan tidak lebih dari itu.

Fosfor (P) merupakan nutrisi penting yang terlibat dalam aktivitas metabolisme (Rumhayati, 2018). Fosfor ditemukan di alam ketika batuan mengalami pelapukan. Proses ini melarutkan mineral yang mengandung fosfor dan melepaskan mineral terlarut tersebut ke dalam tanah dan air (Patty et al., 2019). Senyawa fosfat, yang selanjutnya diklasifikasikan menjadi fosfat partikulat dan terlarut, adalah bentuk fosfor yang ditemukan di saluran air. Menurut Hashim et al., (2019), fosfat terlarut terdiri dari fosfat organik dan anorganik (polifosfat dan ortofosfat). Sebagai unsur penting, fosfor sering berkontribusi terhadap masalah lingkungan dalam air. Salah satu bahan yang diperlukan untuk pembentukan alga dalam air adalah fosfor (Achmad, 2004). Unsur fosfat yang terdapat pada limbah pupuk dapat merangsang pertumbuhan gulma air seperti ganggang dan eceng gondok (Baharem, 2014).

Di sisi lain, tingginya kadar fosfat dalam air akan menimbulkan sejumlah masalah lingkungan. Fosfat yang berlebihan mendorong pertumbuhan alga, suatu proses yang dikenal sebagai eutrofikasi (Anshari, 2022). Hal ini pada akhirnya dapat membatasi sinar matahari dan aliran karbon dioksida yang dibutuhkan fitoplankton untuk fotosintesis, sehingga mengakibatkan penurunan jumlah

oksigen di lingkungan perairan dan potensi kematian biota (Hamuna et al., 2018). Selain itu, pertumbuhan alga yang melimpah ini berpotensi menghasilkan zat berbahaya yang mencemari sumber air (Rumhayati, 2018). Akibatnya, kualitas suatu perairan akan menurun dan biota perairan akan terkena dampak negatif jika konsentrasi fosfat dalam air melebihi persyaratan kualitas (Hamuna et al., 2018). Istilah "eutrofikasi" mengacu pada pertumbuhan alga dan organisme lain di saluran air dengan kandungan fosfor yang tinggi. Berkurangnya oksigen terlarut akan terjadi dari kesuburan tanaman sehingga menghambat aliran alami air (Ginting, 2007 dalam Sari, 2014). Karena fitoplankton merupakan indikator yang berguna untuk menilai kesuburan dan kualitas air, fosfat sangat penting untuk pertumbuhan dan metabolisme fitoplankton (Patty et al., 2019).

Kegiatan domestik dan industri merupakan pemasok utama nutrisi di wilayah metropolitan. Penyebab utama peningkatan kadar fosfor dalam air adalah deterjen. Pertanian yang banyak menggunakan pupuk menjadi penyebab utama tingginya kadar fosfor di pedesaan. Ada dua proses yang mengakibatkan hilangnya unsur hara dari kawasan pertanian dan masuknya unsur hara ke perairan: (i) drainase, yang melarutkan tanah pertanian yang kaya akan pupuk; (ii) erosi tanah permukaan yang kaya unsur hara dan pergerakan partikel tanah berukuran halus yang mengandung unsur hara terbawa oleh sistem drainase bawah tanah (Wetzel dan Likens 1991).

2.11.6. Nitrogen (N)

Peranan Nitrogen Verpa Nitrogen organik terdapat dalam bentuk gas, seperti amonia (NH_3), amonium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrat (NO_3) dan nitrogen molekular (N_2). Nitrogen organik, protein verpa, asam amino dan urea. Sumber utama nitrogen bagi umat manusia adalah untuk meningkatkan kegiatannya di dalam negeri dengan cara meningkatkan sumber daya air yang diperoleh dari lahan pertanian dengan menggunakan pupuk sekara. Baik amonia maupun garam dapur sangat mudah larut dalam air. Pengolahan amonia melibatkan pemisahan bahan organik bernitrogen (protein urea) dan bahan organik bernitrogen yang terdapat dalam tanah dan udara yang dihasilkan dari penguraian bahan tanaman dan organisme akuatik yang telah mati oleh mikroorganisme dan jamur (Effendi, 2003).

Nitrogen total adalah gambaran nitrogen dalam bentuk organik dan amonia pada air limbah. Nitrogen total juga merupakan penjumlahan dari nitrogen anorganik yang berupa N-NO_3 , N-NO_2 dan N-NH_3 , yang bersifat larut; dan nitrogen organik yang berupa partikulat yang tidak larut dalam air (Effendi, 2003). Di dalam air, nitrogen terdapat dalam bentuk nitrogen organik, amonia, amonium, nitrit, nitrat, dan gas N_2 . Pertama, nitrogen organik di dalam air dapat berasal dari aktivitas manusia, demikian pula gas N_2 di atmosfer yang difiksasi oleh mikroorganisme seperti sianobakteri. Pada pH rendah, nitrogen organik diubah menjadi amonium, sedangkan jika lingkungan perairan memiliki pH tinggi, nitrogen organik diubah menjadi amonia. Kandungan N di dalam air dalam bentuk nitrogen total (N), nitrogen terlarut (DIN), nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), dan amonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) meningkat seiring dengan musim hujan. Curah hujan dan limpasan air merupakan faktor utama yang menentukan lepasnya N dari sumber yang tersebar dari daerah tangkapan air, sedangkan pupuk menyebabkan masuknya N dalam jumlah besar ke lingkungan dan kegiatan pertanian mempercepat transformasi N ke dalam badan air (Xia yu et al., 2011).

2.11.7. Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Nitrat berasal dari dampak kegiatan pertanian. Kadar nitrat-nitrogen di perairan alami hampir tidak pernah melebihi 0,1 mg/l (Mahyudin et al., 2015). Apabila nilai nitrat di suatu badan air tinggi atau $> 0,2$ mg/l akan menyebabkan eutrofikasi yang berakibat pada Blooming (Sepriani et al., 2016). Kadar nitrat yang tinggi di perairan disebabkan oleh limbah domestik, industri, dan pertanian. Sisa pupuk dari kegiatan pertanian yang terbawa oleh air hujan ke badan sungai yang menyebabkan kadar nitrat tinggi. Sedangkan kadar nitrat yang rendah di perairan disebabkan oleh daerah tersebut merupakan daerah pertemuan sehingga terjadi proses pencampuran dan pengangkutan ke bawah oleh arus udara yang menyebabkan kadar nitrat rendah/rendah (Arief, 2018).

2.11.8. Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$)

Nitrat terbentuk dari asam nitrat yang berasal dari amonia melalui proses oksidasi katalitik. Nitrit juga merupakan hasil metabolisme dari siklus nitrogen.

Bentuknya merupakan bentuk antara nitrifikasi dan denitrifikasi. Nitrat dan nitrit merupakan komponen yang mengandung nitrogen yang terikat pada atom oksigen, nitrat mengikat tiga atom oksigen sedangkan nitrit mengikat dua atom oksigen. Di alam, nitrat telah diubah menjadi nitrit atau bentuk lainnya (Aswadi, 2006). Gas Nitrogen (N_2) tidak mudah terlarut di udara, namun karena 78% gas di udara adalah gas N_2 , maka kadarnya di udara tetap tinggi. Pada kondisi aerobik, Nitrogen diubah menjadi Nitrat oleh mikroorganisme, sedangkan Amonia diubah menjadi Nitrit. Pada kondisi anaerob, Nitrat diubah oleh bakteri menjadi Amonia kemudian bergabung dengan udara menjadi Amonium (Mahida, 1984). Di udara, nitrit dalam konsentrasi tinggi sering ditemukan terlarut dalam bentuk molekul nitrosamin ($R_2N-N=O$). Nitrosamin terbentuk dari reaksi nitrit dengan amina/amida dengan bantuan mikroorganisme sebagai katalisator dengan kondisi konsentrasi nitrat cukup tinggi (minimal 10 ppm $N-NO_3$ dan nitrit 1 ppm $N-NO_2$) untuk memulai reaksi nitrosasi (pembentukan nitrosamin). Menurut PP 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Udara dan Pengendalian Pencemaran Udara, kadar Nitrit maksimum yang diperbolehkan untuk golongan 1 sampai 3 adalah 0,06 mg/l sedangkan untuk golongan 4 tidak dipersyaratkan. Kadar nitrit dalam air lebih kecil daripada nitrat. Hal ini dikarenakan nitrit langsung teroksidasi menjadi nitrat. Nitrit berasal dari limbah industri dan limbah domestik (Mahyudin dkk., 2015).

2.11.9. Amonia

Amonia berasal dari feses, urin, dan hasil penguraian mikrobiologis bahan organik dari udara alami atau air limbah industri dan domestik (Hidayat et al., 2019). Kadar amonia di perairan alami adalah $<0,1$ mg/l. Kadar amonia yang tinggi disebabkan oleh pencemaran bahan organik dari limbah industri, limbah domestik, dan limpasan pupuk pertanian (Mahyudin et al., 2015). Pembuangan limbah industri tahu akan mengakibatkan tingginya kadar amonia di dalam air. Limbah industri tahu menghasilkan bahan organik yang mudah dioksidasi oleh mikroorganisme akuatik sehingga membentuk amonia. Kadar amonia yang tinggi di dalam air dapat mengganggu pertumbuhan ikan dan biota akuatik lainnya (Sepriani et al., 2016).

2.11.10. Arsen (As)

Arsen (As) adalah salah satu logam berat yang bersifat rapuh, memiliki warna keperakan, dan sangat beracun (Hazimah et al., 2018). Meskipun keberadaannya di alam terbatas, arsen memiliki tingkat toksisitas yang sangat tinggi. Unsur ini sering ditemukan dalam air tanah dalam dua bentuk utama: arsenit (bentuk tereduksi) dan arsenat (bentuk teroksidasi yang terjadi dalam kondisi aerobik) (Adhani, 2017). Arsen merupakan salah satu unsur paling beracun yang dapat ditemukan di tanah, air, dan udara. Secara alami, arsen dilepaskan ke lingkungan melalui aktivitas vulkanik, dengan perkiraan sekitar 300 ton arsen dikeluarkan dari letusan gunung setiap tahunnya. Namun, aktivitas manusia berkontribusi lebih besar terhadap pelepasan arsen, dengan jumlah mencapai 80.000 ton per tahun, terutama akibat pembakaran bahan bakar fosil dan berbagai proses industri.

Secara fisik, arsen memiliki warna keperakan dan tergolong sebagai logam anorganik dengan tingkat kelarutan yang sangat rendah dalam air. Unsur ini merupakan hasil sampingan dari pengolahan bijih logam non-besi dan dikenal sebagai zat yang sangat beracun serta berpotensi merusak lingkungan (Adhani, 2017). Jika kandungan arsen di lingkungan mencapai kadar yang tinggi, dampaknya bisa sangat berbahaya bagi kesehatan, termasuk risiko keracunan dan kerusakan organ tubuh. Zhuang et al. (2005) dalam Adhani (2017) menyatakan bahwa paparan arsen terhadap sistem pernapasan dapat menyebabkan infeksi pada laring dan bronkus, serta meningkatkan risiko kanker paru-paru. Selain itu, arsen juga dapat menyebabkan kelainan bawaan pada bayi, menurunkan daya tahan tubuh, dan memicu infeksi kulit. Sementara itu, dampaknya terhadap sistem pencernaan meliputi mual, muntah, serta nyeri pada perut (Sitorus, 2011 dalam Adhani, 2017).

2.11.11. Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang dapat mencemari lingkungan, khususnya badan air, yang berasal dari sumber alami maupun aktivitas manusia. Sumber utama kontaminasi kadmium di perairan umumnya berasal dari kawasan industri, di mana pencemaran ini berkaitan dengan pembuangan limbah industri serta limbah rumah tangga (Paramita et al., 2017).

Secara kimia, kadmium memiliki nomor atom 48 dengan berat atom 112,40. Logam ini memiliki titik leleh 321°C dan titik didih 765°C . Kadmium bersifat lunak, berwarna putih keperakan, dan mudah teroksidasi di udara bebas maupun dalam keberadaan gas amonia (NH_3) (Palar, 2004). Di dalam air, kadmium umumnya ditemukan dalam bentuk ion divalen Cd^{2+} . Bentuk senyawanya bervariasi tergantung pada jenis perairan; di air laut, kadmium cenderung membentuk senyawa klorida (CdCl_2), sementara di air tawar lebih dominan dalam bentuk karbonat (CdCO_3) (Darmono, 2006). Jika keberadaannya dalam perairan mencapai konsentrasi tertentu, logam ini dapat membahayakan kehidupan akuatik. Misalnya, pada konsentrasi $200\text{ }\mu\text{g/L}$, kadmium telah terbukti beracun bagi ikan. Selain itu, logam ini dapat mengalami biotransformasi serta terakumulasi dalam tubuh organisme hidup, termasuk tumbuhan, hewan, dan manusia.

Kadmium dikenal sebagai logam berat dengan tingkat toksisitas yang tinggi dan bersifat karsinogenik. Jika terpapar dalam jumlah berlebih, baik pada manusia maupun hewan, dapat menyebabkan gangguan pada berbagai organ, seperti paru-paru, hati, dan ginjal. Selain itu, paparan kadmium juga dapat menghambat fungsi reproduksi dengan membunuh sel sperma, serta mempengaruhi kerja sistem kardiovaskular (Mamoribo et al., 2019). Batas toleransi terhadap logam ini bervariasi pada setiap organisme. Pada tumbuhan, jika kadar kadmium melampaui ambang batas, proses fotosintesis dapat terganggu, yang pada akhirnya berdampak pada pertumbuhan dan perkembangbiakan tumbuhan (Fahrudin, 2018).

Ketika kandungan logam berat dalam perairan melebihi ambang batas yang diperbolehkan, keseimbangan ekosistem dapat terganggu. Tumbuhan air dapat mengalami gangguan fotosintesis dan pertumbuhan, sementara ikan serta biota perairan lainnya dapat mengalami penurunan tingkat reproduksi (Purnomo, 2018). Salah satu strategi yang dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran logam berat di perairan adalah dengan memanfaatkan tumbuhan air. Tumbuhan ini memiliki kemampuan dalam menyerap dan menjerap polutan yang terdapat dalam lingkungan perairan, sehingga dapat berperan sebagai agen fitoremediasi dalam mengatasi pencemaran logam berat, termasuk kadmium (Najihah dan Rachmadiarti, 2023).

2.11.12. Kromium (Cr)

Kromium (Cr) merupakan logam berat dengan berat atom 51,996 g/mol; tahan terhadap oksidasi meskipun pada suhu tinggi; memiliki titik cair 1.857°C dan titik didih 2.6722°C bersifat paramagnetik. Kromium bisa membentuk berbagai macam ion kompleks yang berfungsi sebagai katalisator (Widowati, 2008).

Sifat-sifat kromium yaitu sifat fisika dan kimia kromium yaitu :

1. Titik didih 2672°C .
2. Titik lebur $1837\text{-}1877^{\circ}\text{C}$.
3. Berat jenis 7, 20 mg/l pada 28°C .
4. Energi ionisasi 652 kg/mol.
5. Kromium tidak larut dalam asam sulfat encer dan asam klorida.
6. Kromium tidak dapat bercampur dengan basa oksidator, halogen peroksida dan logam-logam lain (Nurwati 2009).

Keberadaan kromium dalam air terdapat dalam 2 bentuk, yaitu kromium valensi III (Cr^{3+}) dan kromium valensi VI (Cr^{6+}). Kromium valensi VI (Cr^{6+}) lebih bersifat toksik dibandingkan dengan kromium valensi III (Cr^{3+}) karena ion ini sulit terurai, tidak mengendap, stabil, dan bersifat toksik. Sedangkan kromium valensi III memiliki sifat yang mirip dengan besi III, yaitu sulit larut pada pH di atas 5 dan mudah teroksidasi. Keberadaan kromium dalam air dapat menyebabkan penurunan kualitas udara dan membahayakan lingkungan serta organisme perairan (Susanti dan Henny 2008).

Kromium merupakan salah satu logam berat yang berpotensi menjadi polutan akibat kegiatan pewarnaan kain pada industri tekstil, cat, penyamakan, pelapisan logam, dan baterai (Ackerley et al., 2004). Dalam air, kromium (Cr) dapat masuk melalui 2 cara, yaitu secara alami dan non alami. Secara alamiah, kromium disebabkan oleh faktor fisika antara lain erosi atau pengikisan yang terjadi pada batuan mineral, selain itu debu dan partikel di udara akan terbawa oleh air hujan. Secara non alamiah, kromium (Cr) dari kegiatan manusia biasanya dihasilkan oleh limbah industri, selain limbah rumah tangga (Palar 2004). Keberadaan kromium (Cr) di lingkungan perlu mendapat perhatian mengingat batas konsentrasi yang diizinkan sangat kecil. Berdasarkan Peraturan Pemerintah

Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, kadar maksimum yang diizinkan untuk logam kromium (Cr) adalah 0,5 mg/L.

2.11.13. Timbal (Pb)

Timbal merupakan padatan logam putih abu-abu keperakan-putih yang lembut dengan titik leleh 327,43°C dan titik didih 1740°C. Warna timbal dapat memudar ketika terkena paparan udara. Timbal sangat lunak dan mudah ditempa, mudah dicairkan, dicetak, digulung dan diekstrusi (NPI AU, 2018). Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang tersebar di alam dalam jumlah yang sangat sedikit (Adhani dan Husaini, 2017). Timbal (Pb) yang termasuk logam berat non-esensial, dimana logam berat tersebut beracun dan juga sangat berbahaya bagi makhluk hidup (Diliarosta, S. 2018,). Logam berat Timbal (Pb) ini sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena termasuk zat yang beracun yang tidak bisa dihancurkan dan juga diubah bentuknya (Widowati, et al., 2008 dalam Pane, 2020).

Timbal (Pb) merupakan logam berat yang sangat beracun bagi tubuh, dapat dideteksi secara praktis pada semua benda mati di lingkungan dan semua sistem biologis (Suhendrayatna, 2001). Timbal (Pb) merupakan jenis logam lunak, berwarna coklat kehitaman, dan mudah dimurnikan dari hasil penambangan. Dalam penambangan, logam ini dalam bentuk logam sulfida (PbS) yang sering disebut galena. Di perairan alami, Timbal (Pb) berasal dari batu kapur dan galena (Saeni, 1989 & Manik, 2007).

Penyebaran timbal di lingkungan sebagian besar disebabkan oleh aktivitas antropogenik. Sumber timbal antropogenik meliputi penambangan dan peleburan, pembuatan produk yang mengandung timbal, pembakaran batu bara dan minyak, serta pembakaran limbah. Senyawa timbal di lingkungan dapat diubah menjadi senyawa timbal lainnya. Namun, timbal merupakan unsur kimia yang tidak dapat dihancurkan. Karena timbal tidak terdegradasi, penggunaan timbal sebelumnya dapat mempengaruhi konsentrasi timbal yang lebih tinggi di lingkungan (ATSDR, 2007).

2.11.14. Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) merupakan logam berat yang dapat mencemari lingkungan, khususnya perairan seperti sungai, dan memberikan dampak negatif bagi makhluk hidup. Ketika merkuri masuk ke dalam ekosistem perairan, logam ini dapat tenggelam dan terakumulasi dalam sedimen di dasar sungai (Kitong et al., 2012). Sedimen berperan penting dalam proses transformasi merkuri, menjadi tempat utama pembentukan metil merkuri, serta mempengaruhi proses biomagnifikasi dalam rantai makanan (Portela et al., 2020; Zhu et al., 2018). Pencemaran merkuri di perairan dapat berdampak signifikan terhadap komunitas biota yang hidup di sungai (Yoga et al., 2014).

Merkuri secara alami dapat ditemukan di berbagai ekosistem, termasuk pegunungan, batuan, bijih tambang, tanah, dan udara dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik. Umumnya, kadar merkuri dalam tanah, air, dan udara cenderung rendah. Namun, aktivitas manusia, seperti pertambangan tradisional yang dilakukan di sekitar sungai, menyebabkan pencemaran merkuri dalam jumlah yang lebih tinggi. Limbah yang mengandung merkuri sering kali langsung dialirkan ke sungai, mengakibatkan kerusakan lingkungan dan membahayakan makhluk hidup. Manusia yang menggunakan air sungai untuk kebutuhan sehari-hari dapat terpapar merkuri, sementara biota perairan berisiko mengalami keracunan (Inswiasary, 2010).

Sifat merkuri yang stabil dalam sedimen, kelarutannya yang rendah dalam air, serta kemampuannya untuk terserap dan terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme air membuatnya berbahaya bagi ekosistem. Logam berat ini dapat masuk ke dalam rantai makanan melalui proses biokumulasi dan biomagnifikasi, yang akhirnya berdampak pada organisme di tingkat trofik yang lebih tinggi. Dalam sedimen perairan, aktivitas bakteri dapat mengubah merkuri menjadi ion Hg^{2+} atau bentuk elemental Hg^0 . Faktor fisik lingkungan memungkinkan logam ini menguap ke udara, tetapi kemudian akan kembali ke badan air melalui presipitasi hujan (Lestaris, 2010).

Selain di sektor pertambangan, merkuri juga banyak digunakan dalam bidang pertanian. Senyawa ini sering dimanfaatkan sebagai fungisida untuk melindungi hasil pertanian dari serangan jamur. Merkuri organik juga digunakan sebagai

pestisida untuk tanaman seperti apel, tomat, dan kentang, serta untuk melindungi padi dari hama (Alfean, 2015). Penggunaan merkuri dalam sektor pertanian dapat meningkatkan risiko pencemaran lingkungan dan bioakumulasi dalam produk pangan, sehingga berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan ekosistem.

2.11.15. Aluminum (Al)

Aluminium berasal dari kata alum yang berarti senyawa garam rangkap. Kata alum sendiri berasal dari bahasa latin alumen yang berarti garam pahit. Aluminium banyak terdapat di alam, dan merupakan logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi (Suyanti, 2010). Aluminium memiliki titik leleh 659 oC. Aluminium membentuk garam yang tidak berwarna dengan anion yang berwarna (Basset, 2013). Logam Al terdapat dalam air minum. Konsentrasi aluminium yang tinggi akan mengendap di udara membentuk aluminium hidroksida (Singh, 2006). Paparan logam aluminium masuk ke dalam tubuh manusia melalui mulut, inhalasi, dan kulit. Aluminium yang bersentuhan dengan kulit dapat menyebabkan pori-pori tersumbat, sehingga kulit tidak dapat mengeluarkan zat-zat toksik dalam tubuh secara alami. Sedangkan kontak dengan aluminium dalam konsentrasi tinggi dan dalam jangka waktu lama akan menimbulkan gangguan kesehatan yang serius, seperti gemetar, kelelahan terus-menerus, hilangnya fungsi sistem saraf pusat (Tumanggor, 2017).

2.11.16. Tembaga (Cu)

Nomor atom tembaga (Cu) adalah 29, massa atomnya 63.546, titik leleh dan titik didihnya masing-masing 1083 dan 2310 derajat Celcius. Logam transisi berwarna kemerahan 1B, yang mudah diregangkan dan dibentuk, mengandung tembaga. Organisme hidup dapat diracuni oleh tembaga (Kundari et al. 2008).

Tembaga dapat meresap ke udara, tanah, dan semua lapisan ekosistem lainnya, menurut Pamekasari (2016). Berbagai sumber, termasuk rumah, bahan bakar, dan industri pembakaran, dapat melepaskan tembaga ke lingkungan. Baik sampah alami maupun buatan manusia dapat melepaskan tembaga ke saluran air. Secara alami, hujan membawa logam tembaga ke saluran air dari udara atau dari erosi batuan.

Populasi spesies akuatik tumbuh ketika konsentrasi tembaga meningkat dan melampaui ambang batas kualitas. Penumpukan Cu pada makhluk akuatik ini merupakan indikasi biomagnifikasi. Ketika kadar tembaga dalam tubuh terlalu tinggi, terjadi akumulasi, sehingga tubuh tidak dapat melakukan fungsi metabolisme. Pada beberapa konsentrasi, tembaga dapat berbahaya bagi tubuh. Masalah kesehatan akut dan jangka panjang dapat terjadi akibat hal ini. Kejang, mual, muntah, ketidaknyamanan perut, neutrofilia, hemofisis, dan bahkan kematian merupakan tanda-tanda keracunan akut. Di sisi lain, akumulasi Cu yang terus-menerus di hati dapat mengakibatkan hemolisis. Anemia dan pertumbuhan yang terhambat merupakan akibat dari hemolisis (Adhani et al., 2017).

2.11.17. Besi (Fe)

Dengan nomor atom 26, besi (Fe) merupakan logam transisi yang menempati peringkat sepuluh besar dari sekian banyak unsur di Bumi. Inti bumi memiliki zat besi terbanyak, sedangkan lapisan terluar kerak bumi hanya mengandung sedikit zat besi (Widowati et al., 2008). Sebagian besar zat besi ini hadir sebagai oksida besi, yang meliputi mineral taconite, magnetite, dan hematite. Dikatakan bahwa paduan besi-nikel membentuk sebagian besar inti bumi (Kamble et al., 2013). Untuk mencegah efek negatif dari kekurangan zat besi, semua organisme—terutama kaum muda dan wanita yang sedang menstruasi—membutuhkan zat besi. Jumlah zat besi yang terlalu rendah dalam tubuh dapat mengindikasikan suatu kondisi medis. Untuk mengganti zat besi yang hilang oleh tubuh melalui kulit, urin, dan saluran pencernaan, orang dewasa membutuhkan sekitar 1 mg zat besi per hari (Yang et al, 2005).

Zat besi memiliki beberapa manfaat kesehatan, tetapi jika dikonsumsi secara berlebihan, zat besi juga dapat sangat berbahaya (Kamble et al., 2013). Kelebihan zat besi dapat dengan cepat merusak dinding usus dan mengakibatkan kematian. Menurut Yang et al. (2005), paparan zat besi melalui sistem pernapasan akan menumpuk di alveoli paru-paru.

2.11.18. MBAS

Sampah dari kegiatan rumah tangga rutin, seperti mencuci pakaian dengan deterjen dan pewangi, disebut sebagai sampah domestik. Penggunaan sabun, sampo, dan deterjen berkontribusi terhadap limbah kimia di rumah. Salah satu bahan deterjen adalah methyl blue active benzene (MBAS) (Larasati et al., 2021). Deterjen sintetis memiliki kemampuan untuk membersihkan secara efektif dan menghindari penumpukan ion. Meskipun demikian, deterjen mengandung senyawa aktif yang dikenal sebagai surfaktan yang memiliki kemampuan untuk menurunkan kualitas air (Situmorang, 2017).

Surfaktan sintetis atau petrokimia ditemukan dalam deterjen, yang merupakan bahan pembersih buatan. Deterjen dapat mencemari air karena konsentrasi surfaktannya. Karena mikroba di lingkungan sekarang dapat memecah surfaktan menjadi molekul yang lebih sederhana, penerapannya sekarang berbeda dari beberapa tahun yang lalu (Fardiaz, 1992). Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap eutrofikasi adalah tingginya konsentrasi surfaktan deterjen dan air yang melebihi batas MBAS deterjen. Pencemaran air yang disebabkan oleh masuknya unsur hara secara berlebihan ke dalam lingkungan perairan disebut eutrofikasi. Deterjen yang mengandung fosfat merupakan sumber eutrofikasi di lingkungan perairan. Ledakan alga dan perkembangbiakan eceng gondok merupakan dua contoh eutrofikasi ini (Setianto, 2019).

2.12. Indikator Biologi

Sifat biologi air limbah rumahan harus diketahui untuk menentukan kualitas air dan estimasi level sebelum dibuang ke air. Atribut alami dapat digunakan sebagai batas dalam menentukan ada atau tidaknya kontaminasi air dan sumber infeksi yang dibawa oleh entitas organik patogen dalam air. Makhluk hidup patogen yang ditemukan dalam air limbah rumahan dapat berupa organisme mikroskopis, protozoa, dan infeksi. Protozoa dapat menjadi kuat, anaerob atau fakultatif. Sumber makanan protozoa adalah organisme mikroskopis, karena itu dengan mengurangi jumlah mikroba dalam air limbah, protozoa akan mengubah proporsi makanan atau massanya untuk meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme dan penyesuaian air limbah. Infeksi merupakan salah satu

mikroorganisme penyebab penyakit pada air limbah. Reovirus dan adenovirus yang telah dipisahkan dalam air limbah dapat menyebabkan penyakit pernafasan, gastroenteritis dan penyakit mata. Pada umumnya, untuk menentukan ada tidaknya makhluk patogen di dalam air, digunakan penunjuk yang sering disebut sebagai penanda bentuk kehidupan. Istilah ini mengacu pada sejenis makhluk hidup yang kehadirannya di dalam air menjadi bukti bahwa air tersebut tercemar oleh kotoran manusia atau makhluk berdarah panas. Secara keseluruhan, ada celah untuk berbagai jenis bentuk kehidupan patogen, untuk memasuki wilayah air.

2.12.1. Bakteri *Coliform*

Coliform adalah kategori bakteri yang luas yang dapat ditemukan di berbagai habitat. Saluran pencernaan hewan, termasuk manusia, secara terus-menerus menjadi rumah bagi bakteri coliform, yang juga terdapat dalam kotoran manusia. Coliform juga dapat ditemukan di tanah dan bahan tanaman (Zucker, 2017). Bakteri ini dapat ditemukan pada kulit manusia dan biasanya ditemukan di tanah dan air permukaan. Beberapa bentuk *E. coli* juga dapat ditemukan dalam konsentrasi tinggi dalam kotoran manusia dan hewan. Meskipun sebagian besar strain *E. coli* aman bagi manusia, beberapa dapat menyebabkan penyakit ringan, sementara yang lain dapat mengakibatkan infeksi akuatik yang berbahaya (Swistock et al., 2016).

Mikroorganisme yang dikenal sebagai coliform sering digunakan sebagai penanda untuk menilai apakah air mengandung bakteri berbahaya (Adrianto, 2018). Intinya, *E. Coli* digunakan untuk menilai kontaminasi air. Di sisi lain, total coliform adalah jumlah bakteri di tanah dan air yang telah terdampak oleh limbah manusia (Yohannes et al., 2019).

E. coli tinja, yang merupakan anggota famili Enterobacteriaceae, dapat bertahan selama berbulan-bulan di tanah dan air. Di sisi lain, pemanasan hingga 60°C selama 20 menit dapat membunuh *E. coli*. *E. coli* biasanya menghuni usus, tetapi ketika berkembang biak, dapat menyebabkan penyakit seperti infeksi saluran kemih dan infeksi luka lambung. Lebih jauh lagi, dapat mengakibatkan penyakit seperti pneumonia (Lutfiando, 2020).

2.13. Dampak Pencemaran

Air sebagai bagian dari iklim akan mempengaruhi dan dipengaruhi oleh bagian yang berbeda. Kualitas air yang rendah akan membawa kondisi ekologi yang buruk, sehingga akan mempengaruhi kesejahteraan dan keamanan manusia dan makhluk hidup lainnya. Penurunan kualitas air akan menurunkan kegunaan, batas angkut, dan batas aset air, yang dengan demikian akan mengurangi kekayaan sumber daya alam.

Sejak berkembangnya industri hulu dan hilir, isu alam telah menjadi isu penting yang tercipta di semua daerah. Misalnya, industri kertas yang setiap tahun membuang sejumlah besar limbah galon air juga berperan dalam mencemari iklim air. Pencemaran saluran air oleh limbah industri dan limbah rumah tangga hanya karena aktivitas manusia, terjadi karena adanya racun di dalam air yang dengan demikian menyebabkan dampak mencemari lingkungan sungai. Aliran sungai yang tercemar oleh air limbah akan menyebabkan berkurangnya kadar oksigen yang ada di sungai. Hal ini menyebabkan keberadaan bentuk kehidupan laut yang membutuhkan oksigen terganggu dan mengurangi pergantian peristiwanya. Selain disebabkan oleh ketiadaan oksigen, kematian dan kehidupan di dalam air juga dapat disebabkan oleh adanya zat-zat beracun. Selain matinya ikan, dampak lainnya adalah kerusakan pada tanaman air. Penurunan kualitas sungai akibat terjadinya pencemaran air ditandai dengan perubahan warna air dan bau (Pohan *et al.*, 2016)

Kerusakan lingkungan akan meningkat dengan meningkatnya penghasilan, namun setelah mencapai stasiun tertentu, kerusakan ekologis akan berkurang meskipun faktanya pendapatan meningkat. Hal ini membuat keinginan untuk mengurangi pencemaran menjadi tinggi, sehingga kerusakan ekologis mulai berkurang. Kontaminasi ekologis juga akan diidentifikasi dengan populasi, pembangunan keuangan dan aset normal, di mana populasi harus didukung oleh persediaan tenaga kerja dan produk yang lebih penting. Peningkatan tenaga kerja dan produk akan membangun penciptaan. Jika kenaikan yang sedang berlangsung tidak terkendali, itu akan meningkatkan pencemaran, jadi pencemaran adalah keanehan yang selalu merupakan konsekuensi dari kegiatan ekonomi.

2.14. Pengendalian Pencemaran Air Sungai

Pencemaran perairan yang luas, misalnya, saluran air oleh limbah rumahan dan limbah industri adalah masalah utama yang dapat merusak keberadaan sumber daya organisme air dan merusak iklim. Oleh karena itu, upaya pengendalian diharapkan dapat dilakukan untuk membatasi dampak tersebut. Pengendalian pencemaran air dicirikan sebagai pekerjaan untuk mencegah dan mengendalikan pencemaran dan membangun kembali kualitas air untuk menjamin kualitas air sesuai dengan peruntukannya.

Kesulitan pengendalian pencemaran sungai berpusat di sekitar eutrofikasi yang disebabkan oleh komponen nitrogen dan fosfor yang berlebihan, jika masalah ini tidak dikendalikan, itu akan mempengaruhi pasokan air bersih, berkurangnya penciptaan spesies komersial dan rekreasi. Untuk mengurangi beban pencemar dapat dilakukan dengan cara:

- a. Meningkatkan pemahaman dan informasi publik tentang dampak pencemaran air sungai
- b. Mengurangi tingkat pengembangan beban racun
- c. Mengurangi laju pembangunan penduduk
- d. Membuat Instalasi pengelolaan Air Limbah (IPAL) keluarga di sekitar aliran sungai

2.15. Pembangunan Berkelanjutan

Menurut (Soemarwoto 2004) pembangunan adalah upaya untuk lebih mungkin memenuhi kebutuhan dasar individu. Persyaratan penting ini terdiri dari alam, daya tahan manusia dan tingkat kesempatan untuk memilih. Pembangunan bermaksud untuk bekerja pada kepuasan pribadi individu. Menurut Salim (2010), pembangunan berkelanjutan terdapat 3 aspek jalur pembangunan ekonomi, yaitu:

- a. Jalur pembangunan ekonomi meningkatkan penghasilan
- b. Jalur pembangunan sosial memusnahkan, mengembangkan lebih lanjut pengajaran dan kesejahteraan untuk membantu kualitas diri manusia
- c. Jalur pengembangan lingkungan untuk memperluas batas penyampaian sistem biologis untuk melanjutkan dengan kapasitas iklim kemajuan untuk bekerja pada sifat keberadaan manusia dan masyarakat.

Tiga cara pembangunan ekonomi, sosial dan lingkungan berjalan sepanjang waktu dan fokus pada pengaturan seluruh individu.

2.16. Analisis Multivariat

Analisis multivariat merupakan salah satu teknik statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan banyak variabel sekaligus. Dalam metode ini, baik variabel bebas (independen) maupun variabel terikat (dependen) diolah secara simultan untuk memahami pola hubungan yang kompleks dalam suatu fenomena. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi bagaimana berbagai variabel saling berinteraksi dan mempengaruhi hasil penelitian secara keseluruhan.

Dalam analisis multivariat, terdapat dua kategori utama, yaitu analisis dependensi dan analisis interdependensi. Analisis dependensi digunakan ketika terdapat perbedaan antara variabel bebas dan variabel terikat, di mana satu atau lebih variabel bebas berperan sebagai faktor yang mempengaruhi variabel terikat. Sementara itu, analisis interdependensi tidak membedakan peran variabel, melainkan melihat keterkaitan antar variabel secara keseluruhan tanpa menetapkan hubungan sebab akibat secara eksplisit.

Metode analisis multivariat sering diterapkan dalam berbagai bidang penelitian, seperti ekonomi, sosial, lingkungan, psikologi, dan kedokteran. Teknik ini sangat berguna dalam situasi di mana hubungan antara variabel tidak dapat dijelaskan hanya dengan satu faktor saja, tetapi melibatkan interaksi yang lebih kompleks. Beberapa metode analisis multivariat yang umum digunakan meliputi regresi linier berganda, regresi logistik, analisis faktor, analisis kluster, multidimensional scaling, serta correspondence analysis. Masing-masing metode memiliki kegunaan spesifik tergantung pada tujuan penelitian dan jenis data yang dianalisis.

2.16.1. *Structural Equation Modeling* (SEM) dan PLS

Dalam penelitian ini, metode multivariat yang digunakan adalah *Structural Equation Modeling – Partial Least Square* (SEM-PLS). *Structural Equation Modeling* (SEM) merupakan teknik analisis multivariat yang memungkinkan

pengujian hubungan antara variabel dalam suatu model yang kompleks. SEM menggabungkan analisis faktor dan regresi dalam satu model untuk mengevaluasi keterkaitan antara variabel laten dan indikatornya, serta hubungan antar variabel laten dalam suatu sistem.

Salah satu keunggulan SEM adalah kemampuannya untuk menguji hubungan antar variabel yang sulit diukur secara langsung. Dalam model SEM, variabel laten merupakan konsep abstrak yang tidak dapat diukur secara langsung, tetapi direpresentasikan melalui beberapa indikator yang dapat diobservasi. Misalnya, konsep kepuasan pelanggan tidak dapat diukur secara langsung, tetapi dapat diwakili oleh beberapa indikator seperti tingkat loyalitas, ulasan pelanggan, dan rekomendasi terhadap produk atau layanan tertentu.

Partial Least Square (PLS) merupakan salah satu pendekatan dalam SEM yang berbasis komponen atau varian. Berbeda dengan SEM berbasis kovarian yang lebih cocok untuk pengujian teori dengan jumlah sampel besar dan distribusi data normal, PLS lebih fleksibel karena dapat digunakan untuk model yang memiliki sampel kecil dan data yang tidak berdistribusi normal. Pendekatan ini memungkinkan analisis model struktural yang lebih adaptif dan sering digunakan dalam penelitian eksploratif atau ketika model teori masih dalam tahap pengembangan.

2.16.2. Keunggulan dan Justifikasi Penggunaan SEM

Metode SEM memiliki beberapa keunggulan dibandingkan teknik analisis statistik lainnya. Menurut Dillala (2000), terdapat beberapa alasan utama mengapa SEM banyak digunakan dalam penelitian, yaitu:

1. Mampu menganalisis model yang kompleks

Model dengan hubungan antar variabel yang kompleks sulit diselesaikan menggunakan metode regresi linier biasa. SEM memungkinkan peneliti untuk menguji hubungan antar variabel secara simultan dalam satu sistem, memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap fenomena yang diteliti.

2. Dapat mengestimasi hubungan antar variabel dalam bentuk *multiple relationships*

Dalam banyak kasus, hubungan antar variabel tidak hanya bersifat satu arah, tetapi juga melibatkan interaksi yang saling mempengaruhi. SEM memungkinkan analisis hubungan timbal balik antara variabel secara lebih akurat dibandingkan dengan metode analisis jalur atau regresi konvensional.

3. Mempertimbangkan kesalahan dalam observasi

Berbeda dengan metode regresi yang sering mengabaikan kesalahan dalam pengukuran, SEM tetap mempertimbangkan kesalahan observasi dalam analisisnya. Hal ini membuat SEM lebih akurat dalam mengukur hubungan antar variabel yang melibatkan data survei atau kuesioner yang bersifat subjektif.

4. Kemampuan untuk memodifikasi model

Salah satu keunggulan SEM adalah fleksibilitasnya dalam memodifikasi model. Jika model awal tidak sesuai dengan data yang diperoleh, peneliti dapat melakukan modifikasi berdasarkan uji kelayakan model agar lebih sesuai secara statistik.

5. Menganalisis hubungan timbal balik secara simultan

SEM memungkinkan analisis hubungan timbal balik antara variabel yang berbeda dalam satu model penelitian. Ini sangat berguna dalam studi yang melibatkan hubungan kausal yang kompleks, seperti dalam penelitian perilaku konsumen, pengaruh kebijakan pemerintah, atau hubungan antara faktor ekonomi dan sosial.

PLS (*Partial Least Squares*): PLS adalah teknik alternatif untuk SEM yang biasanya digunakan ketika data memiliki struktur yang kompleks atau ketika sampelnya relatif kecil. PLS dapat digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabel-variabel laten dan teramati, serta untuk melakukan prediksi (Hair et al., 2019). PLS adalah metode lunak atau soft model yang di dalam perhitungannya tidak memerlukan asumsi yang ketat, baik mengenai sebaran dari variabel pengamatan maupun dari ukuran contoh, yang tidak harus besar. Joreskog dan Wold menyampaikan PLS dikembangkan sebagai metode umum untuk pendugaan

model laten (variabel-variabel laten) yang diukur secara tidak langsung oleh variabel penjelas (Ghozali, 2014).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi dan waktu penelitian tentang pengendalian pencemaran sungai Mesuji dapat dilihat sebagai berikut.

3.1.1. Lokasi Penelitian

Penentuan stasiun posisi pengambilan contoh air sungai untuk memastikan parameter fisik serta kimia air dengan pertimbangan bahwa posisi tersebut berada pada kawasan industri, kawasan permukiman dan aktivitas manusia lainnya. Tujuan dari pengambilan informasi ini adalah untuk memperoleh gambaran tentang fisik, kimia serta mikrobiologi perairan sungai. Pengambilan contoh air lebih ditujukan pada pusat-pusat aktivitas penduduk dan berdasarkan kondisi penggunaan lahan yang ada di sekitar sungai yang merupakan sumber aliran limbah yang masuk ke perairan sungai seperti permukiman, industri, perkebunan serta irigasi pertanian. Berdasarkan pada hal itu, hingga pengambilan contoh air ditetapkan pada 7 stasiun pengamatan yaitu:

1. Stasiun 1: Sungai Mesuji, Lokasi: Desa Keagungan Dalam (SP-01).
2. Stasiun 2: Sungai Mesuji, Lokasi: Desa Sri Tanjung (SP-02).
3. Stasiun 3: Sungai Mesuji, Lokasi: Desa Sungai Badak Nipah Kuning (SP-03).
4. Stasiun 4: Sungai Mesuji, Lokasi: Desa Wiralaga (SP-04).
5. Stasiun 5: Sungai Mesuji, Lokasi: Desa Gajah Mati (SP-05).
6. Stasiun 6: Sungai Mesuji, Lokasi: Sungai Gebang (SP-06).
7. Stasiun 7: Pertemuan Sungai Gebang dan Sungai Mesuji (SP-07).

Sungai Mesuji memiliki panjang sekitar 200 km mulai dari hulu ke hilir. Lebar sungai mesuji rata-rata 180-200 m. Sungai Mesuji mempunyai anak sungai utama, yaitu Sungai Tepok, Sungai Burung dan Sungai Buaya. Anak sungai tersebut merupakan penyumbang pencemaran tersebar yang berasal dari limbah industri, limbah domestik dan limbah pertanian.

Pada 7 stasiun pengamatan memiliki jenis penggunaan lahan yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Stasiun Pengambilan Sampel

Stasiun Pengambilan Sampel	Lokasi Penelitian	Penggunaan Lahan
SP-01	Sungai Desa Keagungan Dalam	Rawa, pemukiman
SP-02	Sungai Desa Sri Tanjung	Pemukiman, perkebunan
SP-03	Sungai Desa Sungai Badak	Pemukiman, sawah dan perkebunan
SP-04	Sungai Desa Wiralaga II	Pemukiman
SP-05	Sungai Desa Gajah Mati	Pertanian, pemukiman
SP-06	Sungai Gebang	Pertanian dan perkebunan
SP-07	Sungai Pertemuan Sungai Gebang dan Mesuji	Perkebunan

Sumber: Citra Satelit (2023).

3.1.2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan dengan pengambilan sampel sebanyak 2 kali pada Bulan September tahun 2022 dan Bulan Februari tahun 2023. Tempat penelitian adalah Sungai Mesuji, Kabupaten Mesuji Provinsi Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang dipakai dalam penelitian sebagai berikut.

3.2.1. Alat

Alat dan bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah alat dan bahan yang digunakan untuk mengukur parameter temperatur, TSS, pH, BOD, COD, DO, total phospat, total nitrogen, nitrat, amonia, arsen, kadmium, kromium, timbal, air raksa, sianida, nitrit, klorin bebas, minyak dan lemak, deterjen (MBAS), fecal coliform dan coliform. Adapun alat yang digunakan adalah botol sampel, cawan Gooch atau alat penyaring yang dilengkapi penghisap atau penekan, kertas saring, alat pendingin (termos es), oven pemanas, desikator, neraca analitik kapasitas 200 gram ketelitian 0,1 mg, penjepit, Spektrofotometer, pH meter, labu ukur 1 liter, termometer, DO meter, botol BOD 300 mg, pengaduk otomatis, lemari pengering BOD, aerator, gelas ukur 100 mL dan 1000 mL, labu ukur 100 mL dan 1000 mL, gelas piala 100 mL dan 2000 mL, tabung COD, buret, pipet 10 mL, labu erlenmeyer 100 mL, tabung reaksi, kapas dan pembakar bunsen.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan yaitu sampel air sungai, air suling, larutan buffer pH, larutan campuran kalium dikromat-merkuri sulfat, larutan campuran asam sulfat-perak sulfat, larutan indikator ferroin, serbuk fero amonium sulfat, larutan baku kalium dikromat, asam sulfat pekat, serbuk asam sulfat, serbuk asam sulfat dan merkuri sulfat, natrium tiosulfat dan kaldu laktosa.

3.3. Pengambilan Sampel dan Metode Analisis Data

Pengambilan sampel air dilakukan selama 6 bulan pada bulan September tahun 2022 dan bulan Februari 2023.

3.3.1. Pengambilan Sampel Air Sungai

- a) Pengambilan sampel air yang akan dianalisis dilakukan sesuai dengan stasiun-stasiun sampling yang telah ditetapkan pada badan sungai dengan menggunakan botol sampel dan dimasukkan ke dalam *box ice*. Pengambilan

- sampel ini dilakukan pada tiga lapisan yaitu permukaan, tengah dan dasar sungai. Sampel dari ketiga lapisan tersebut digabung agar menjadi homogen.
- b) Sampel air yang dihomogenkan dimasukan ke dalam botol polietilen atau botol kaca atau jerigen ukuran 5 L sampai penuh, dan ditambah larutan H_2SO_4 1 N, kemudian ditutup rapat dan khusus sampel untuk pemeriksaan coliform tinja, maka ditambah $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,01 N. Selanjutnya dimasukan ke dalam kotak yang diisi es (*ice box*) dan siap dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.
 - c) Analisis sampel air dilakukan di Laboratorium Seameo Biotrop. Untuk beberapa parameter seperti suhu, pH, daya hantar listrik dan kekeruhan dilakukan di lapangan (*in situ*). Pada penelitian ini metode analisis yang digunakan disesuaikan dengan parameter yang akan diteliti.

Tabel 3. Parameter kualitas air sungai dan metode analisis yang digunakan pada penelitian

No	Parameter	Satuan	Metode
1.	Temperatur	°C	Elektrometri
2.	TSS	mg/L	Gravimetri
3.	pH	-	Elektrometri
4.	BOD	mg/L	Titrimetri
5.	COD	mg/L	Titrimetri
6.	DO	mg/L	Elektrometri
7.	Total Fosfat	mg/L	spektrofotometri
8.	Total Nitrogen	mg/L	spektrofotometri
9.	Nitrat	mg/L	spektrofotometri
10.	Amonia	mg/L	spektrofotometri
11.	Arsen	mg/L	spektrofotometri
12.	Kadmium	mg/L	Spektrofotometri
13.	Kromium	mg/L	Spektrofotometri
14.	Timbal	mg/L	Spektrofotometri
15.	Air Raksa	mg/L	Spektrofotometri
16.	Sianida	mg/L	Spektrofotometri
17.	Nitrit	mg/L	spektrofotometri

No	Parameter	Satuan	Metode
18.	Klorin Bebas	mg/L	Spektrofotometri
19.	Minyak dan Lemak	mg/L	Spektrofotometri
20.	Deterjen (MBAS)	mg/L	Spektrofotometri
21	Fecal Coli	MPN/100 mL	MPN (<i>Most Probable Number</i>)
22	Total Coli	MPN/100 mL	MPN (<i>Most Probable Number</i>)

3.3.2. Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan di 7 stasiun pengambilan sampel pada Sungai Mesuji sebanyak 2 kali periode pengukuran yaitu pada musim hujan dan musim kemarau. Pengambilan sampel ini dilakukan pada musim kemarau dan musim hujan bertujuan untuk melihat variasi kualitas sedimen antar waktu dan kondisi cuaca.

Teknis pengambilan sampel sedimen mengacu pada cara pengambilan sampel yang telah dilaporkan Awal *et al.*, (2019).

1. Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada kedalam sekitar 5-10 cm pada bagian tepi sungai dengan menggunakan spatula baja dengan sampel sedimen sebanyak 2 kg (Vidmar *et al*, 2016). Pada sungai yang dalam dapat menggunakan Sedimen Grabber dan tali.
2. Sedimen yang telah diambil, disaring untuk mengurangi kadar air yang ada pada sedimen.
3. Kemudian sedimen dimasukkan ke dalam plastik ziplock dan diberi label agar tidak tertukar antara satu sampel dengan sampel yang lainnya.
4. Sampel sedimen di bawa ke laboratorium untuk proses pengawetan pada lemari pendingin yang selanjutnya sampel sedimen akan dilakukan preparasi sampel.

Tabel 4. Parameter kualitas sedimen dan metode analisis

No	Parameter	Simbol	Satuan
1.	Kadmium	Cd	ppm
2.	Timbal	Pb	ppm

No	Parameter	Simbol	Satuan
3.	Kromium	Cr	ppm
4.	Air Raksa	Hg	ppm
5.	Arsen	As	ppm

3.3.2.1. Preparasi Sampel

1. Pengeringan Sampel sedimen dikeringkan menggunakan oven *Memmert UN Series* dengan suhu 105-120 °C hingga kering,
2. Penggerusan dengan menggunakan mortal dan alu.
3. Pengayakan dengan ayakan ukuran 200 mesh menggunakan *shaker* untuk mendapatkan butiran yang seragam dan homogen.
4. sebanyak ± 3 gr sampel sedimen yang telah diayak, ditambahkan 25 ml aquades dan 5 ml HNO₃. dipanaskan hingga berkurang dengan volume 10 ml diatas penangas listrik (*hot plate*) dengan suhu 120 °C. Setelah volume larutan menjadi 10 ml, angkat dan dinginkan ditambah dengan 5 ml HNO₃ dan 2 ml HClO₄, larutan dipanaskan kembali hingga timbul asap putih dan larutan menjadi jernih.
5. Ukur volume sampel ± 10 ml dengan gelas ukur, saring dengan kertas saring *whatman 40* (pore 8,0 μ m).
6. Sampel uji ditempatkan pada labu ukur 100 ml dan ditambahkan aquades sampai batas.
7. Sampel uji siap diukur ke dalam *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).
8. Pengujian Sampel.

3.3.3. Pengumpulan dan Perhitungan Data

a. Penentuan Kualitas Air Sungai

Analisis kualitas air dilaksanakan dengan membandingkan kualitas air sungai Mesuji hasil pengukuran dengan baku mutu kualitas air sungai sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Menurut peraturan tersebut sungai berdasarkan peruntukannya dibagi menjadi 4 kelas kategori dengan baku mutu air

sesuai kelas kategori. Berdasarkan peraturan tersebut sumber air yang berada dalam dua atau lebih wilayah kabupaten/kota masuk dalam kategori kelas 2 dimana Sungai Mesuji terletak di Provinsi Lampung dan Sumatera Selatan sehingga Sungai Mesuji menggunakan baku mutu air kelas 2. Pada penelitian ini penentuan kualitas mutu air menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP) yang mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan No. 27 tahun 2021 tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai Indeks Pencemaran (IP) berdasarkan baku mutu air kelas 2:

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

Keterangan:

IP_j : Indeks Pencemaran

C_i : Konsentrasi parameter kualitas air i

L_{ij} : Konsentrasi parameter kualitas air i yang tercantum dalam baku peruntukan air j.

M : Nilai maksimum

R : Nilai rata-rata

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus Indeks Pencemaran dalam penentuan status mutu air yang akan terbagi menjadi 4 kelas kategori yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kategori nilai IP penentuan status mutu air

Indeks Pencemaran (IP)	Mutu Perairan
$0 \leq PI_j \leq 1,0$	Memenuhi Baku Mutu (Kondisi Baik)
$1,0 < PI_j \leq 5,0$	Cemar Ringan
$5,0 < PI_j \leq 10$	Cemar Sedang
$PI_j > 10$	Cemar Berat

Sumber: KepmenLH No. 115 (2003).

b. Penentuan Kualitas Sedimen

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan data dengan berbagai metode untuk menggambarkan kualitas sedimen Sungai Mesuji. Berdasarkan pengambilan sampel perhitungan dapat diketahui Distribusi konsentrasi logam berat di setiap stasiun sampling.

Penilaian Kualitas sedimen di Sungai Mesuji dilakukan dengan menggunakan metode faktor *contaminasi/contamination factor* (CF) (Taweel *et al.*, 2013). CF merupakan metode penilaian kualitas sedimen tunggal untuk satu lokasi sampling dengan persamaan:

$$CF = \frac{C \text{ Metal}}{C \text{ Background}}$$

Keterangan

C metal : konsentrasi logam berat dalam sampel sedimen (ppm atau mg/kg)

Background : konsentrasi logam latar belakang (ppm atau mg/kg)

Metode ini membandingkan konsentrasi satu jenis logam berat di lokasi sampling dengan logam berat latar belakang dan membandingkan konsentrasi setiap stasiun dengan standar baku mutu yang ada. Saat ini Indonesia belum memiliki standar baku mutu untuk sedimen, maka yang menjadi acuan adalah standar baku mutu dari negara lain. Selain menggunakan perhitungan CF pada penelitian ini juga menggunakan baku mutu sedimen *United State Environmental Protection Agency* (USEPA, 2004).

Tabel 6. Nilai C Background

No	Logam	Background (mg/kg)
1	Cd	0,3
2	Pb	20
3	Cr	26
4	Hg	0,02
5	As	2

Sumber: US EPA (2004).

Nilai acuan/ baku mutu kualitas sedimen yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 7. Kelas penilaian kualitas sedimen

No	Nilai CF	Tingkat Pencemaran
1	$CF < 1$	Rendah
2	$1 \leq CF \leq 3$	Sedang
3	$3 \leq CF \leq 6$	Tinggi
4	$CF > 6$	Sangat Tinggi

Sumber: Hakanson (1980).

3.3.4. Pengambilan Data Wawancara dan Observasi

Dalam pengambilan data wawancara responden dilakukan dengan teknik *Purposive sampling*. Menurut Sugiyono (2012), *purposive sampling* adalah teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu. Alasan menggunakan teknik *purposive sampling* karena tidak semua sampel memiliki kriteria yang sesuai dengan kriteria yang diteliti, dengan menetapkan pertimbangan atau kriteria yang harus dipenuhi oleh sampel yang digunakan dalam penelitian ini.

Pada metode *purposive sampling* elemen populasi dikelompokkan pada tingkatan-tingkatan tertentu dengan tujuan pengambilan sampel akan merata pada seluruh tingkatan dan sampel mewakili karakter seluruh elemen populasi yang heterogen. pertimbangan responden yang akan dilakukan wawancara adalah masyarakat yang ada di sekitar stasiun pantau dengan radius 500 meter ke arah hulu sungai.

penelitian ini menggunakan rumus Slovin (1960), dalam penarikan sampel, jumlahnya harus representative agar hasil penelitian dapat digeneralisasikan. Penentuan jumlah sampel yang dibutuhkan dihitung menggunakan rumus Slovin sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{N \cdot e^2 + 1}$$

Keterangan:

n = jumlah sampel

N = jumlah populasi

e = Nilai kritis yang diinginkan, yaitu sebesar 10 %

3.3.4. 1. Responden

Pada penelitian yang dilakukan di Sungai Mesuji dengan 7 stasiun pengambilan sampel dengan populasi merupakan masyarakat yang tinggal di sekitar stasiun pengambilan sampel kualitas air dengan jarak 500 meter ke arah hulu dan radius 100 meter dari sungai. Berdasarkan jumlah penduduk tiap stasiun pengambilan sampel pada penelitian ini maka jumlah responden pada setiap stasiun penelitian berdasarkan rumus Slovin adalah sebagai berikut.

Tabel 8. Jumlah responden pada setiap stasiun lokasi penelitian

No	Lokasi Penelitian	Stasiun	Jumlah Responden
1	Desa Keagungan Dalam	SP-01	33
2	Desa Sri Tanjung	SP-02	41
3	Desa Sungai Badak	SP-03	54
4	Desa Wiralaga II	SP-04	71
5	Desa Gajah Mati	SP-05	67
6	Sungai Gebang	SP-06	-
7	Pertemuan Sungai Gebang dan Mesuji	SP-07	-
Jumlah Total			266

3.3.4.2. Metode Kuesioner dan wawancara

Merupakan suatu cara pendataan dengan membuat daftar pertanyaan secara tertulis yang kemudian diisi oleh masyarakat baik secara lisan maupun tulisan. Kuesioner yang disebarkan ditujukan pada masyarakat yang berada disekitar Sungai Mesuji. Data sosial demografi Masyarakat disekitar Sungai Mesuji. Data biofisik dan sosial masyarakat dalam penelitian ini diperoleh melalui kuesioner dan wawancara yang diprediksi dapat mempengaruhi status mutu air sungai dan daya tampung beban cemaran antara lain:

jarak sungai dengan tempat tinggal, pembuangan limbah rumah tangga, aktivitas masyarakat di sungai, kondisi MCK masyarakat, sedangkan data sosial demografi masyarakat sekitar sungai Mesuji (responden) antara lain yaitu: jenis kelamin, pendidikan, jenis pekerjaan, jumlah anggota keluarga.

3.3.5. Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Air

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 110 Tahun 2003, daya tampung beban pencemaran air merupakan kemampuan air pada suatu sumber air, untuk mampu menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar. Penentuan daya tampung beban pencemaran air sungai dilakukan dengan menggunakan metode neraca massa. Metoda Neraca Massa adalah metoda penetapan daya tampung beban pencemaran air dengan menggunakan perhitungan neraca massa komponen-komponen sumber pencemaran. Perhitungan daya tampung menggunakan metode neraca massa dengan persamaan sebagai berikut.

$$Cr = \frac{\sum Ci Qi}{\sum Qi} = \frac{\sum Mi}{\sum Qi}$$

Diketahui:

Cr: konsentrasi rata-rata konstituen untuk aliran gabungan

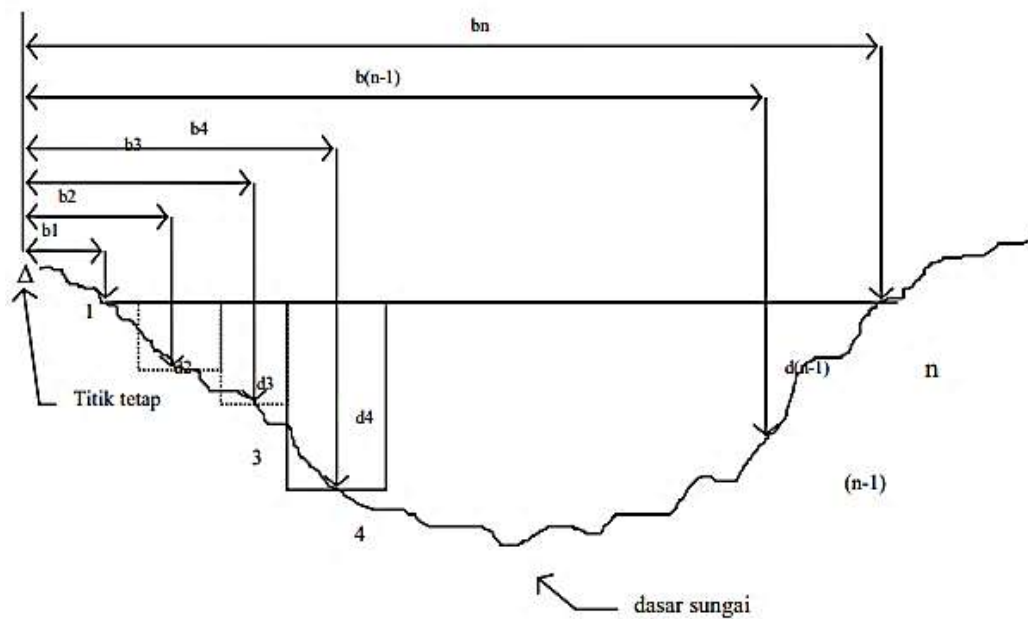
Ci: konsentrasi konstituen pada aliran ke-i

Qi : laju alir aliran ke-i

Mi : massa konstituen pada aliran ke-i

3.3.5.2. Perhitungan Debit Sungai

Pada penelitian ini digunakan analisis metode interval tengah, pada metode ini kecepatan aliran pada setiap vertikal dianggap sebagai kecepatan aliran rata-rata dari luas segi empat yang dibatasi oleh dua garis vertikal yang berurutan. Penampang melintang dapat diperoleh dengan menghubungkan stasiun-stasiun kedalaman (1, 2, 3, ...n) yang berurutan. Untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Penampang sungai.

Penyebaran kecepatan rata-ratanya ke arah vertikal setiap garis kedalaman dapat diukur dengan alat ukur arus (*current meter*). Secara matematis debit pada setiap bagian tampang basah dapat dinyatakan sebagai persamaan berikut.

$$q_x = V_x \frac{b_x - b_{(x-1)}}{2} + \frac{b_{(x+1)} - b_x}{2} d_x$$

$$q_x = V_x d_x \frac{b_{(x+1)} - b_{(x-1)}}{2} .$$

Diketahui:

q_x = debit pada bagian penampang x

v_x = kecepatan rata-rata pada garis kedalaman vertikal x

b_x = jarak vertikal x dari stasiun tetap

$b_{(x-1)}$ = jarak vertikal sebelum stasiun x dari stasiun tetap

$b_{(x+1)}$ = jarak vertikal sesudah stasiun x dari stasiun tetap

d_x = kedalaman aliran pada vertikal x

Sumber: BSNI.

3.3.6. Analisis Data

Analisis data penelitian ini menggunakan analisis multivariat dengan menghubungkan beberapa variabel *independent* dan variabel *dependent* dalam waktu bersamaan sehingga dapat variabel *dependent* manakah yang paling dominan pengaruhnya terhadap variabel *dependent*. Variabel terikat (*dependent variable*) yang diuji adalah Status mutu air dan daya tampung beban cemaran. Variable bebas (*independent variable*) adalah sifat biofisik lingkungan yang meliputi temperatur, TSS, pH, BOD, COD, DO, total fosfat, total nitrogen, nitrat, amonia, arsen, kadmium, kromium, timbal, air raksa, sianida, nitrit, klorin bebas, minyak dan lemak, deterjen (MBAS), fecal coliform dan coliform. Jarak sungai dengan tempat tinggal, pembuangan limbah rumah tangga, aktivitas masyarakat di sungai, kondisi MCK masyarakat, jenis kelamin, pendidikan, jumlah anggota keluarga.

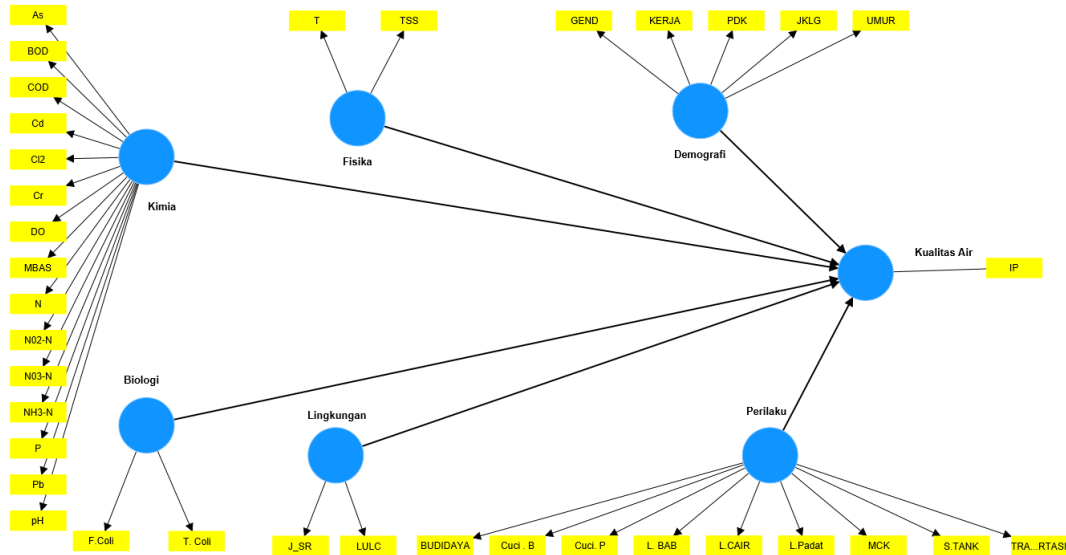
Penelitian ini menggunakan analisis korelasi antar variabel dan analisis SEM PLS untuk melihat variabel *independent* yang paling berpengaruh terhadap variabel *dependent* yang dalam penelitian ini adalah Kualitas Air.

Tabel 9. Variabel, simbol, jenis data, satuan, skoring dan metode akuisisi data

No	Variabel	Simbol	Jenis Data	Satuan	Skoring	Metode Akuisisi
1	Temperatur	T	Rasio		Data Mentah	Spektrofotometri
2	TSS	TSS	Rasio	°C	Data Mentah	Spektrofotometri
3	pH	pH	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
4	BOD	BOD	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
5	COD	COD	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
6	DO	DO	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
7	Total Fosfat	P	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
8	Total Nitrogen	N	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
9	Nitrat	NO ₂	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
10	Amonia	NH ₃ -N	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
11	Arsen	As	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
12	Kadmium	Cd	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
13	Kromium	Cr	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
14	Timbal	Pb	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
15	Air Raksa	Hg	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri

No	Variabel	Simbol	Jenis Data	Satuan	Skoring	Metode Akuisisi
16	Sianida	CN	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
17	Nitrit	NO ₃	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
18	Klorin Bebas	Cl ₂	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
19	Minyak dan Lemak	M-Lmk	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
20	Deterjen (MBAS)	MBAS	Rasio	mg/L	Data Mentah	Spektrofotometri
21	Fecal Coli	F.Coli	Rasio	Ind/100 mL	Data Mentah	MPN (<i>Most Probable Number</i>)
22	Total Coli	T. Coli	Rasio	Ind/100 mL	Data Mentah	MPN (<i>Most Probable Number</i>)
23	Jumlah Penduduk	PDD	Rasio	Jiwa	Data Mentah	Observasi Langsung
24	Jumlah anggota keluarga	JLKLK	Biner	Jiwa	=1 jika <4, 0 lainnya	Observasi Langsung
25	Jenis Kelamin	GEND	Biner	-	= 1 jika Perempuan, 0 jika lain	Observasi Langsung
26	Pendidikan	Pdik	Rasio	-	Data Mentah	Observasi Langsung
27	Jarak sungai-rumah	J_SR	Biner	Meter	=1 jika <10m, 0 jika >10m	Observasi Langsung
28	Ketersediaan MCK	MCK	Biner	-	=1 jika ada, 0 jika ODR.	Observasi Langsung
29	Buang Limbah	L	Biner	-	= 1 jika ya, 0 lainnya	Observasi Langsung
30	Penggunaan Air Bersih	AB	Biner	-	=1 jika ya, 0 lainnya	Observasi Langsung
31	Mencuci di Sungai	CUCI	Biner	-	=1 jika ya, 0 liannya	Observasi Langsung
32	Penggunaan Lahan	PL	Biner	-	=1 jika Perkebunan, 0 jika lainnya	Analisis Penggunaan Lahan

Berdasarkan Tabel 9 Postulat model yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Postulat model SEM-PLS.

$$[IP] = \beta_0 + \beta_1[T] + \beta_2[TSS] + \beta_3[pH] + \beta_4[BOD] + \beta_5[COD] + \beta_6[DO] + \beta_7[P] + \beta_8[N] + \beta_9[NO_2] + \beta_{10}[NH_3-N] + \beta_{11}[As] + \beta_{12}[Cd] + \beta_{13}[Cr] + \beta_{14}[Pb] + \beta_{15}[Hg] + \beta_{16}[CN] + \beta_{17}[NO_3] + \beta_{18}[Cl_2] + \beta_{19}[M-Lmk] + \beta_{20}[MBAS] + \beta_{21}[F.Coli] + \beta_{22}[T.Coli] + \beta_{23}[PDD] + \beta_{24}[JLKLK] + \beta_{25}[GEND] + \beta_{26}[Pdik] + \beta_{27}[J_SR] + \beta_{28}[MCK] + \beta_{29}[L] + \beta_{30}[AB] + \beta_{31}[CUCI] + \beta_{32}[PL] + e_i$$

Keterangan:

[IP] = Kualitas Air

$\beta_0 - \beta_n$ = Variabel Pencemaran

Simbol lain = Sama seperti Tabel 9.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.Simpulan

1. Tingkat pencemaran Sungai Mesuji berdasarkan pengukuran parameter fisika, kimia dan biologi yang dilakukan pada 2 periode pengukuran, diketahui bahwa pada pengukuran periode I kualitas air sungai Mesuji dalam kondisi tercemar sedang pada semua stasiun pengambilan sampel (stasiun 1-7). Kualitas air sungai pada periode pengukuran II dalam kondisi tercemar sedang sampai tercemar berat, kualitas air tercemar sedang pada stasiun pengambilan sampel 4,5,6 dan 7 yang berlokasi di Desa Wiralaga II, Desa Gajah Mati, Desa Gebang dan lokasi pertemuan antara Gebang dan Mesuji, sedangkan kualitas air dalam kondisi tercemar berat pada stasiun pengambilan sampel 1,2 dan 3 yang berlokasi di Desa Keangungan Dalam, Desa Sri Tanjung dan Desa Sungai Badak.
2. Faktor Penyebab menurunnya kualitas air Sungai Mesuji berdasarkan analisis Statistik dari 6 Variabel Laten eksogen yaitu Variabel Kimia (15 Indikator), Fisika (2 indikator), Biologi (2 Indikator), Lingkungan (2 Indikator), Perilaku (9 indikator), Demografi (5 Indikator) yang memiliki pengaruh terhadap Kualitas Air Sungai Mesuji adalah
 - A. Kimia: MBAS, Nitrogen [N], Nitrat [N03-N], dan Amonia [NH3-N]
 - B. Fisika : total suspended solid [TSS]
 - C. Biologi : fecal coliform [F.Coli] dan total coliform [T.Coli]
 - D. Lingkungan: Jarak sungai dan rumah [J_SR]
 - E. Perilaku: cuci baju di Sungai [Cuci. B], cuci piring di sungai [Cuci.P], lokasi BAB [L.BAB], Pembuangan Limbah padat(sampah) [L.Padat] dan Kepemilikan Septic Tank [S.TANK].
 - F. Demografi : Pendidikan [PDK].

3. Mereduksi sumber pencemaran air sungai melibatkan langkah-langkah yang menyeluruh dan berkelanjutan. Beberapa langkah yang dapat diambil untuk mengurangi pencemaran air sungai:

A. Pengelolaan Limbah Domestik

- a) Meningkatkan infrastruktur sanitasi dan penyediaan fasilitas pengolahan air limbah.
- b) Edukasi masyarakat tentang praktik sanitasi yang baik dan pengelolaan limbah domestik.

B. Pengendalian Limbah Pertanian

- a) Menerapkan praktik pertanian berkelanjutan yang mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida kimia.
- b) Meningkatkan teknik pengolahan limbah pertanian dan mempromosikan pertanian organik.

C. Pemantauan dan Pengelolaan Sungai

- a) Meningkatkan sistem pemantauan kualitas air dan memastikan pemantauan yang teratur.
- b) Menyusun dan melaksanakan rencana pengelolaan sungai untuk melibatkan komunitas dan pemangku kepentingan.

5.2.Saran

Saran pada penelitian ini adalah

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai model perilaku yang mempengaruhi pencemaran Sungai Mesuji untuk meningkatkan kualitas air sungai.
2. Perlu dilakukan pengendalian perkembangan kawasan permukiman dan kajian dampak lingkungan pada Sungai Mesuji bila adanya aktivitas masyarakat sekitar Sungai Mesuji.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. 2004. Kimia Lingkungan. Buku. Penerbit Andi. Yogyakarta. 171 hlm.
- Adhani, Rosihan dan Husaini. 2017. Logam Berat Sekitar Manusia. Buku. Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin.
- Adrianto, R. (2018). Pemantauan Jumlah Bakteri Coliform Di Perairan Sungai Provinsi Lampung. *Majalah Teknologi Agro Industri (Tegi)*. 10(1). 1-6.
- Agoes, Hera 2019.” Identifikasi Makrozoobentos Sebagai Indikator Tingkat Pencemaran Air Sungai Way Morotai Bandar Lampung.” Skripsi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiah dan Keguruan Universitas Islam Negeri (UIN) Radien Intan Lampung 2019.
- Ahmed, A. A. M. 2017. Prediction of dissolved oxygen in Surma River by biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand using the artificial neural networks (ANNs). *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. 29(2): 151–158.
- Alaert, G dan S.S Santika. 1984. Metode Penelitian air. Usaha Nasional. Surabaya.
- Alfean, Edaniati 2015. Analisis Prilaku Masyarakat Terhadap Dampak Merkuri Untuk Kesehatan Di Gampong Cot Trap Kecamatan Teunom Kabupaten Aceh Jaya Tahun 2014. *Jurnal Kesehatan*. 11(2).
- Andara, D. R., Haeruddin dan Suryanto, A. 2014. Kandungan Total Padatan Tersuspensi, Biochemical Oxygen Demand dan Chemical Oxygen Demand Serta Indeks Pencemaran Sungai Klampisan di Kawasan Industri Candi, Semarang. *Diponegoro Journal of Maquares*. 3(3), 177–187.
- Anshari, I. A. L. (2022). Analisis Distribusi Nitrat, Fosfat, dan Silikat Di Perairan Pesisir Tompotana, Kecamatan Kepulauan Tanakeke, Kabupaten Takalar Menggunakan Indikator Fitoplankton= Analysis of Nitrate, Phosphate, and Silicate Distribution in Coastal Waters of Tompotana, Tanakeke Islands Subdistrict, Takalar Regency Using Phytoplankton Indicator (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).

- Arbie, R. R., Nugraha, W. D., Sudarno. (2015). Studi kemampuan self Purification pada Sungai progo ditinjau dari parameter organik DO dan BOD (point source: limbah sentra tahu desa tuksono, kecamatan sentolo, kabupaten kulon progo, provinsi D.I. Yogyakarta). *Jurnal teknik lingkungan*.4(03):1-15.
- Ariani, Y. W., Damai, A. A. dan Kartini, N. 2021. Pemantauan Kualitas Air Sungai Perairan Sungai Semuondalam Hutan Lindung Register 39, Desa Gunung Doh, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*. 26 (1): 7-12.
- Arief, R., Sumiarsih, E. dan Fajri, N. E. 2018. Penentuan Status Mutu Air Dengan Metode Storet Di Hulu Sungai Siak Desa Bencah Kelubi Kecamatan Tapung Kabupaten Kampar Provinsi Riau.
- Auvaria, S.W. dan Munfarida, I. 2020. Analisis Daya Tampung Lingkungan (Beban Pencemaran Air) di Kawasan Porong Kabupaten Sidoarjo ex Penambangan Lapindo. *Jurnal Presipitasi*.17(2): 1-9.
- Awal, R., Sapkota, P., Chitrakar, S., Thapa, B. S., Neopane, H.P. dan Thapa, B. A General Review on Methods of Sediment Sampling and Mineral Content Analysis. *Journal of Physics*. 1266 (2019): 1-11.
- Badan Pusat Statistik. 2021. Statistik Lingkungan Hidup Indonesia Energi dan Lingkungan 2021. Buku. BPS Indonesia katalog 3305001,2021. Jakarta. 253 hlm.
- Badan Pusat Statistika. 2020. Mesuji dalam angka. Kabupaten Mesuji.
- Baherem. 2014. Strategi Pengelolaan Sungai Berdasarkan Daya Tampung Beban Pencemaran dan Kapasitas Asimilasi, Studi Kasus: Sungai Cibanten Provinsi Banten. Tesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Basset, J. 2013. Buku Ajar Vogel Kimia Analisa Kualitatif Anorganik. Edisi Empat. EGC. Jakarta.
- Brotowidjoyo, M.D., E, Mubyarto. dan D, Tribowo. (1995). Pengantar lingkungan perairan dan budidaya air. Yogyakarta: Liberty.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran, Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. Jakarta: Penerbit UI-Press.
- Dewi, E.R.S. 2020. BIOREMEDIASI Mikroorganisme sebagai Fungsi Bioremediasi pada Perairan Tercemar. Buku. UNIVERSITAS PGRI Semarang Press. Semarang. 74 hlm.
- Dinas Dukcapilnakertrans. 2010. Data Kependudukan. Kabupaten Mesuji.
- Dinas P3K. 2010. Laporan Kondisi Klimatologi. Kabupaten Mesuji.

- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumberdaya Air dan Lingkungan Perairan. Kanisius. Yogyakarta. 258 hlm.
- Eshmat, M.E., G.Mahasri dan B.S. Rahardja. 2014. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna Viridis* L.) di Perairan Ngemboh Kabupaten Gresik Jawa Timur. Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan. 6(1).
- Estikarini, H., Hadiwidodo, M., dan Luvita, V. 2016. Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Tekstil dengan Metode Ozonasi. Jurnal Teknik Lingkungan. 5(1): 1–11.
- Fachrurrozi, M. (2010). Pengaruh Variasi Biomassa *Pistia Stratiotes* L. terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. Jurnal KES MAS UAD. 4(1), 1–16
- Fahrudin A, 2018. Pengaruh Jenis Bioaktivator terhadap Laju Dekomposisi Serasah Daun Jati (*Tectona granis* L) di Wilayah Kampus UNHAS. Jurnal Biologi Makassar. 3(2): 31-42.
- Fakhrudin, M., H. Wibowo, L. Subehi, dan I. Ridwansyah. 2001. Karakterisasi hidrologi Danau Maninjau Sumatera Barat. Limnotek VIII (1): 65-75.
- Fardiaz, S. 1992. Mikrobiologi Pangan I. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Fardiaz, S. 1992. Polusi Air dan Udara. Buku. Kanisius. Yogyakarta. 190 hlm.
- Ghozali, I. (2014). Structural Equation Modeling: Metode Alternatif dengan Partial Least Square (PLS). Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Ginting, R.C.B., R. Saraswati dan E.Husen. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati, Mikroorganisme Pelarut Fosfat. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan dan Pertanian. Bogor. Hal 141-157.
- Goldman, C.R and A.S. Horne. 1983. Study State Growth of Phytoplankton in Continous Culture: Comparison of Internal and External Nutrien Equation. 251-351 hlm.
- Gwaski A. Peter, Et All. 2013. Modeling Parameters Of Oxygen Demand In The Aquatic Environment Of Lake Chad For Depletion Estimation. Arpn Journal Of Science And Technology. 3 (1).
- Hair, Joseph F., Christian M. Ringle, Siegfried P. Gudergan, Andreas Fischer, Christian Nitzl, and Con Menictas. 2019. “Partial Least Squares Structural Equation Modeling-Based Discrete Choice Modeling: An Illustration in Modeling Retailer Choice.” Business Research 12 (1): 115–42. <https://doi.org/10.1007/s40685-018-0072-4>.

- Hakanson L., 1980. Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control. A Sedimentological Approach. *Water Res.* 14 (5): 975-1001
- Hamuna, B., Tanjung, R. H., Suwito, S., & Maury, H. K. (2018). Konsentrasi amoniak, nitrat dan fosfat di perairan distrik depapre, kabupaten jayapura. *EnviroScienceae*, 14(1), 8-15.
- Han, S., Hu, Q., Yang, Y., Yang, Y., Zhou, X. dan Li, H. (2019). Response of surface water quantity and quality to agricultural water use intensity in upstream Hutuo River Basin, China. *Agricultural Water Management*. 212: 378–387.
- Handayani, Cok I M 2011. Identifikasi Sumber Pencemar Dan Tingkat Pencemaran Air Di Danau Batur Kabupaten Bangli. *Ecotrophic*, Vol.6 No.1, hal 37-43.
- Hashim, K. S., Al Khaddar, R., Jasim, N., Shaw, A., Phipps, D., Kot, P., ... & Alawsh, R. (2019). Electrocoagulation as a green technology for phosphate removal from River water. *Separation and Purification Technology*. 210: 135-144.
- Hertika, A. M. S., Putra, R. B. D. S. dan Arsad, S. 2022. Kualitas Air dan Pengelolaannya. Buku. Universitas Brawijaya Press. Malang. 148 hlm.
- Hidayat, M. Y., Fauzi, R., dan Suoth, A. E. (2019). Efektivitas Multimedia Dalam Biofilter Pada Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. 3:111-126.
- Ibanez, J. G. 2014. Experiment 2: Dissolved Oxygen in Water. *OTE*. 4(6): 16-27.
- Inswiarsi. 2010. Paradikma Kejadian Pajanan Merkuri. *Jurnal Ekologi Kesehatan*. Vol 7 No. 2.2008.775-785. Diakses Tanggal 02 Januari 2015
- Jaya. 1994. Pedoman Analisis Kualitas Air dan Tanah Sedimen Perairan Payau Balai Budidaya Air Payau. Jepara.
- Kamble, R. K., Thakare, M.G. dan Ingle, A.B. 2013. Iron in the Environment. *Indian Journal of Environment Protection*. 33(11): 881-888.
- Karl, K dan Karl Hans Wedepohl. 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. Germany: Dept. Geology, Yale University.
- Karya Nasional. 2021. Diduga, PT. CRV Buang Limbah Sembarangan, Kepala DLH Angkat Bicara. <https://karyanasional.com/2021/03/27/diduga-pt-crv-buang-limbah-sembarangan-kepala-dlh-angkat-bicara/>. Diakses pada Hari Minggu 15 Mei 2022 Pukul 14:28.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air.

- Kementerian Lingkungan Hidup. 2005. Jakarta: Penerbit Kementerian Negara Lingkungan Hidup.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2009. Status Lingkungan Hidup Indonesia. 2008. Jakarta: Penerbit Kementerian Negara Lingkungan Hidup.
- Khofifah dan Utami, M. 2022. Analisis kadar Total Dissolved Solid (TDS) dan Total Suspended Solid (TSS). *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*. 7(1): 43-49.
- Kibria G. 2004. Environmental update – dissolved oxygen: The facts. *Outlet*. Iss. 162 hlm.
- Kitong, M. T., Abidjulu, J., & Koleangan, H. S. (2012). Analisis Merkuri (Hg) dan Arsen (As) di Sedimen Sungai Ranoyapo Kecamatan Amurang Sulawesi Utara. *Jurnal MIPA*. 1(1):16-19.
- Krakatau News. 2020. Warga Mesuji Keluhkan Limbah yang Diduga Berasal dari PT. BDPA, PT. BTLA dan PT. PNS. <https://krakataunews.com/warga-mesuji-keluhkan-limbah-yang-diduga-berasal-dari-pt-bdpa-pt-btla-dan-pt-pns/>. Diakses pada Hari Minggu 15 Mei 2022 Pukul 14:30.
- Kundari, N. A dan Wiyuniati, S. 2008. Tinjauan Keseimbangan Adsorpsi Tembaga Dalam Limbah Pencuci PCB Dengan Zeolit. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN. Yogyakarta.
- Kupas Tuntas. 2021. Ditjen SDA Terima Laporan Pencemaran Limbah PT BSSW dan Lapak Karet Darmadi. <https://www.kupastuntas.co/2021/08/25/ditjen-sda-terima-laporan-pencemaran-limbah-pt-bssw-dan-lapak-karet-darmadi>. Diakses pada Minggu 15 Mei 2022 Pukul 14:20.
- Kurniasih, Lumaela Asih. 2013. Pemodelan Chemical Oxygen Demand(Cod) Di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. 2(1): 100-105.
- Larasati, N.N., Wulandari, S.Y., Maslukah, L., Zainuri, M. Dan Kunarso. 2021. Kandungan Pencemar Detejen Dan Kualitas Air Di Perairan Muara Sungai TapakSemarang. *Indonesian Journal of Oceanography*. 3(1): 1-13.
- Lestaris, T. 2010 . Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Keracunan Merkuri (Hg) Pada Penambang Emas Tanpa Ijin (PETI) di Kecamatan Kurun, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah, PS MKL, PPS Undip, Semarang
- Luo, P., Sun, Y., Wang, S., Wang, S., Lyu, J., Zhou, M., Nakagami., K., Takara., K. dan Nover, D. 2020. Historical assessment and future sustainability

- challenges of Egyptian water resources management,” *Journal of Cleaner Production*. 263 (2020): 1-11.
- Lutfiando, M. F. 2020. Analisis Potensi Beban Pencemaran Fecal Coliform Dari Tinja Manusia Dan Tinja Hewan Ternak Terhadap Kualitas Air Permukaan Dan Air Tanah Di Kabupaten Bantul.
- Mahida, U.N. 1984. Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri. Buku. Rajawali. Jakarta. 543 hlm.
- Mahyudin, Soemarno, dan Prayogo, T. B. 2015. Analisis Kualitas Air Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro Di Kota Kepanjen Kabupaten Malang. *J-PAL*. 6(2): 105-114.
- Mamoribo H, Rompas RJ, dan Kalesaran OJ, 2019. Determinasi Kandungan Kadmium (Cd) di Perairan Pantai Malalayang Sekitar Rumah Sakit Prof. Kandou Manado. *E-journal Budidaya Perairan*; 3(1).
- Mitsch W., J. Gosselink, 1993. *Wetlands*. In *Water Quality Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 1993. *Wetlands* 2nd edition. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Muhammadi, Aminullah E, Soesilo B. 2001. Analisis Sistem Dinamis: Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen. Buku. Penerbit UMJ Press. Jakarta. 403 hlm.
- Najihah, N. dan Rachmadiarti, F. 2023. Analisis Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tumbuhan Air di Sungai Brantas Mojokerto. *Lentera Bio*. 12(2): 239-247.
- Nugroho. 2008. Evaluasi Kualitas Air Sungai Ciliwung DKI Jakarta Melalui Pendekatan Indeks Kualitas Air National Sanitation Foundation. IPB.
- Pamekasari, V. E. 2016. Efektivitas Bungkil Biji Jarak Pagar Dalam Menurunkan Logam Berat Tembaga. *UAJY*. Yogyakarta.
- Patil, K., Patil, S., Patil, S., and Patil, V. 2015. Monitoring of Turbidity, PH & Temperature of Water Based on GSM. *International Journal for Research in Emerging Science and Technology*. 2(3): 16-21.
- Patty, S. I., & Akbar, N. (2019). Sebaran Horizontal Fosfat, Nitrat dan Oksige Terlarut di Perairan Pantai Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 2(1).

- Peraturan Daerah Nomor 11 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air
- Pohan, D. A., Budiyo dan Syafrudin. 2016. Analisis Kualitas Air Sungai Guna Menentukan Peruntukan Ditinjau dari Aspek Lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 14 (2): 63-71.
- Portela, J. F., Sebuah, J., Souza, R. De, Sousa, M. De, & Sebuah, T. (2020). Evaluation of Total Mercury in Sediments of the Descoberto River Environmental Protection Area—Brazil. *Environmental Research and Public Health*. 17(154): 1–15.
- Prahutama, A. 2013. Estimasi Kandungan DO (Dissolved Oxygen) di Kali Surabaya dengan Metode Kriging. *Jurnal Statistika*, 1 (2): 9-14.
- Pranowo A, Siti NH, 2015. Pemantauan Kualitas Air. Retrieved March 7, 2023, from <http://itjen.menlhk.go.id>
- Putra, D.H., Amaliyah, G., Kholifah, S dan Kusandi, D. 2015. Identifikasi Tingkat Pencemaran Air Permukaan di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Way Kandis Hulu. *TekTan Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian*. 7(2): 77-144.
- Rachmawati, I.P., Riani E. dan Riadi A. 2020. Status mutu air dan beban pencemaran Sungai Krukut, DKI Jakarta. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*. 10(2): 220-233.
- Rahawarin, F. 2020. Pengelolaan Kualitas Air Sungai Batu Merah Ambon (Perspektif Hukum Lingkungan). *Jurnal Thakim*. 16(2): 178-196.
- Rahayu S, Widodo RH, Van Noordwijk M, Suryadi I dan Verbist B. 2009. Monitoring air di daerah aliran sungai. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre – Southeast Asia Regional Office. 104 hlm.
- Rahmawati, D., 2011. Pengaruh Kegiatan Industri Terhadap Kualitas Air Sungai Diwak di Bergas Kabupaten Semarang dan upaya pengendalian pencemaran air sungai. Tesis. MIL Universitas Diponegoro.
- Rinawati, Hidayta, D., Suprianto, R dan Dewi, P. S. 2016. Penentuan Kandungan Zat Padat (Total Dissolve Solid Dan Total Suspended Solid) Di Perairan Teluk Lampung. *Analytical and Environmental Chemistry*. 1(1): 36-45.
- Rochmi, MN. (2016). Akses air bersih masih jauh dari target. Diakses dari <https://beritagar.id/artikel/editorial/hapuskan-perda-penyebab-ekonomi-biaya-tinggi>.

- Romdania, Y., Herison, A., Susilo, G. E. dan Novilyansa, E. 2018. Kajian Penggunaan Metode IP, STORET, Dan CCME WQI Dalam Menentukan Status Kualitas Air Spatial. *Journal of Geographical Studies*. 18(1):1 –13.
- Rozali, Mubarak, dan Nurrachmi, I. 2016. Pola Sebaran Total Suspended Solid (TSS) di Muara Sungai Kampar Kabupaten Pelalawan. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 5(1): 1-13.
- Rumhayati, B. 2018. Studi senyawa fosfat dalam sedimen dan air menggunakan teknik diffusive gradient in thin films (DGT). *Jurnal Ilmu Dasar*, 11(2), 160-166.
- Rustiah, W., Noor, A., Maming, Lukman, M. dan Nurfadilah. 2019. ANALISIS Distribusi Logam Berat Timbal dan Cadmium dalam Sedimen Sepanjang Muara Sungai Dan Laut Perairan Spermonde, Sulawesi Selatan, Indonesia. *Indo. J. Chem.*7(1): 1-8.
- Said N.I. 1999. kesehatan Masyarakat dan teknologi Peningkatan Kualitas Air. Direktorat Teknologi Lingkungan. BPPT. Jakarta. 293 hlm.
- Salim H. 2010. Beban Pencemaran Limbah Domestik dan Pertanian di DAS Citarum Hulu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 2(3):107-111.
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (Do) Dan Kebutuhan Oksigen Biologi (Bod) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oceana*. 30(3): 21 – 26.
- Saputra, A. R. 2016. Strategi Pengendalian Kualitas Air Kuin Banjarmasin Berdasarkan Daya Tampung Beban Pencemar. Universitas Institut Teknologi Nasional Malang. Banjarmasin.
- Sastrawijaya, A. T. 2000. Pencemaran Lingkungan. Buku. Rineke Cipta. Jakarta. 274 hlm.
- Sepriani, Abidjulu, J., & Kolengan, H. S. 2016. Pengaruh Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Kualitas Air Sungai Paal 4 Kecamatan Tikala Kota Manado. 9 (1): 35-39.
- Setianto, H dan Fahritsani, H. 2019. Faktor Determinan Yang Berpengaruh Pencemaran Sungai Musi Kota Palembang. *Media Komunikasi Geografi*. 20(2): 186-198.
- Setyowati, R. D. N. 2018. Status Kualitas Air DAS Cisanggarung, Jawa Barat. *Jurnal Teknik Lingkungan.*, 1(1), 37–45.
- Siswanto, A. D. 2010. Analisa Sebaran Total Suspended Solid (TSS) di Perairan Pantai Kabupaten Bangkalan Pasca Jembatan Suramadu. *Jurnal Kelautan*. 3(2): 91-96.

- Skartveit HL, Goodnow K, Viste M. 2003. Visualized System Dynamics Models as Information and Planning Tools. Informing Science InSITE. University of Bergen Norway.
- Slovin, M.J., 1960. Sampling, Simon and Schuster Inc. New York
- Soedomo, M. 2001. Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Soegianto, A. 2010. Ekologi Perairan Tawar. Surabaya: Airlangga University Press. 175 hlm.
- Soemarwoto O. 2004. Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan. Buku. Djambatan. Jakarta 381 hlm.
- Soewandita, H dan Sudiana, N. 2010. Studi Dinamika Kualitas Air Das Ciliwung. JAI. 6(1): 24-33.
- Sugiyono. 2012. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Buku. Alfabeta. Bandung. 334 hlm.
- Sulistyorini, I. S., Edwin, M., & Arung, A. S. 2016. Analisis Kualitas Air Pada Sumber Mata Air Di Kecamatan Quality Analysis of Springs in Karangan and Kaliorang Districts , East Kutai. Jurnal Hutan Tropis, 4(1), 64–76.
- Sumarwoto, O., D. Silalahi, dan S. Sukimin. 2004. Menanganinya Harus Ada Langkah Nyata; Waduk & Danau Kini Terancam Punah. <http://www.kompas.com> [12 Desember 2021].
- Suparminingsih, Yulianti, D., Dwijananti, P. dan Widarto. 2016. IDENTIFIKASI LOGAM Berat pada Cuplikan Sedimen serta Tumbuhan Di Sungai Kaligarang Dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron (Aan). Unnes Physics Journal. 5(1): 46-54.
- Suriani Br. Surbakti. 2011. Biologi Dan Ekologi Thiaridae (Moluska: Gastropoda) Di Danau Sentani Papua. Jurnal Biologi Papua. 3(2): 59–66.
- Suwari. 2010. Model Pengendalian Pencemaran Air Pada Wilayah Kali Surabaya. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Suwarno. 1991. Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri). Buku. Nova. Bandung. 824 hlm.
- Swistock, B.R., S. Clemens, and W. Sharpe. 2016. Coliform Bacteria. Artikel. PennState Extension. 1-5. <https://extension.psu.edu/coliform-bacteria>
- Syakti, D. A., N. V. Hidayati, dan A.S. Siregar. 2012. Agen Pencemar Laut. Buku. IPB Press. Bogor. 150 hlm.

- Tatangindatu, Frits , Kalesaran, Ockstan, Rompas dan Robert. 2013. Studi Parameter Fisika Kimia Air pada Areal Budidaya Ikan di Danau Tondano, Desa Paleloan, Kabupaten Minahasa. *Jurnal Budidaya Perairan*. 1(2): 8-19.
- Taweel, A., Shuhaimi Othman, M., dan Ahmad, A.K., 2013, Assessment of Heavy Metals in Tilapia Fish (*Oreochromis niloticus*) from The Langat River and Engineering Lake in Bangi, Malaysia, and Evaluation of the Health Risk from Tilapia Consumption. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 93: 45-51.
- Tumanggor, Ersauli. 2017. Analisa Kadar Aluminium (Al) dan Besi (Fe) pada Air Baku dan Air Reservoir dengan Metode Kolorimetri pada Instalasi Pengolahan Air Minum PDAM Tirtanadi Sunggal. USU. Medan.
- Tugiyono, Setiawan, A., Suharso., Risgiyanto, A., Huda, M.N., dan Hadi, S. 2023. Evaluation of the Water Quality Status and Pollution Load Carrying Capacity of Way Umpu River, Way Kanan District, Lampung Province, Indonesia, Based on Land Use. *Hindawi International Journal of Ecology*. 2023: 1-10.
- USEPA, 2006. Voluntary Estuary Monitoring Manual Chapter 9: Dissolved Oxygen and biochemical Oxygen Demand. United States Environment Protection Agency: Washington
- USEPA. 2004. The Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of United States, National Sediment Quality Survey (2nd ed.). Washington D.C: U. S. Environmental Protection Agency.
- Vidmar, J., Zuliani, T., Novak, P., Drinčić, A., Ščančar, J. dan Milačič, R. 2016. Elements in water, suspended particulate matter, and sediments of the Sava River. *Jurnal Soils Sediments*. 1 (1): 1-11.
- Wadhana, W.A. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Buku. Penerbit Andi. Yogyakarta. 462 hlm.
- Wardhani, E. Dan Susilowati, L. A. 2018. Analisis Kualitas Sedimen Sungai Segah Kabupaten Berau Provinsi Kalimantan Utara. *Jurnal Rekayasa Hujau*. 2 (2): 137-146.
- Wardhani, E., Notodarmojo, S. dan Roosmini, D. 2017. Heavy metal speciation in sediments in saguling lake west java Indonesia. *International Journal of Geomate*. 12 (34):146-151.
- Watzel, R. G. dan Likens, G. E. 1991. Limnological Analyses 2nd ed. Buku. Springer New York. New York. 391 hlm.
- Wibowo, M. 2017. Kajian Kualitas Air Dan Sedimen Dasar Sungai Kutai Lama-Kab. Kutai Kartanegara Sebagai Pertimbangan Awal Rencana Pengerukan. *Jurnal PRESIPITASI*. 14 (1): 24-29.

- Widowati, W., Astiana, S dan Raymond J. 2008. Efek Toksik Logam. Buku. Andi Offset. Yogyakarta. 412 hlm.
- Wijaya, T dan Budiman S. 2016. Analisis Multivariat Untuk Penelitian Manajemen. Buku. Penerbit Pohon Cahaya. Yogyakarta. 116 hlm.
- Wiwoho, 2005. Model identifikasi Daya Tampung Beban Cemar Sungai Dengan QUAL2E – Study kasus Sungai Babon. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Xia Yu, Lingguang, H dan Ligang, X. 2011. Characteristics of Diffuse Source N Pollution in Lean River Catchment. *Procedia Environmental Sciences*. 10 (3): 2437 – 2443.
- Xiao, J., Wang, L., Deng, L., & Jin, Z. (2019). Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau. *Science of the Total Environment*. 650: 2004–2012.
- Yang, X., Feng, Y., He, Z. dan Stoffella, P.J. 2005. Molecular Mechanisms of Heavy Metal Hyperaccumulation and Phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 18(4): 339-353.
- Yoga, G.P., Lumbanbatu, R.E. dan Wardiatno, Y. 2014. Pengaruh Pencemaran Merkuri Di Sungai Cikaniki Terhadap Biota Trichoptera (Insekta). *Jurnal LIMNOTEK*. 21(1): 11-20.
- Yohannes, B. Y., Utomo, S. W. dan Agustina, H. 2019. Kajian Kualitas Air Sungai dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *IJEEM - Indonesian Journal of Environmental Education and Management*. 4(2), pp. 136–155.
- Zammi, M., Rahmawati, A. dan Nirwana, R.R. 2018. Analisis Dampak Limbah Buangan Limbah Pabrik Batik di Sungai Simbangkulon Kab. Pekalongan. *Walisongo Journal of Chemistry*. 1(1): 1-5.
- Zhu, S., Zhang, Z., & Žagar, D. (2018). Mercury transport and fate models in aquatic systems: A review and synthesis. *Science of The Total Environment*. 639: 538–549.
- Zucker, H. M.D., 2017. Coliform Bacteria in Drinking Water Supplies. New York State Department of Health, Center for Environmental Health. https://www.health.ny.gov/environmental/water/drinking/coliform_bacteria.htm