

TESIS

Analisis Spasial-Temporal Daya Dukung Dan Daya Tampung Sungai Ciasem Atas Beban Limbah Cair Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang

*“A Spatial-Temporal Analysis Was Conducted To Assess The Capacity And
Support Of The Ciasem River For Bantargebang Integrated Waste
Management Liquid Waste Load”*



RUSDANI SOSIAWAN

P032222012



**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2024

**Analisis Spasial-Temporal Daya Dukung Dan Daya Tampung Sungai
Ciasem Atas Beban Limbah Cair Pengolahan Sampah Terpadu
Bantargebang**

RUSDANI SOSIAWAN

P032222012



**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

***“A Spatial-Temporal Analysis Was Conducted To Assess The Capacity
And Support Of The Ciasem River For Bantargebang Integrated Waste
Management Liquid Waste Load”***

RUSDANI SOSIAWAN

P032222012



**ENVIRONMENTAL MANAGEMENT STUDY PROGRAM
GRADUATE SCHOOL
HASANUDDIN UNIVERSITY
MAKASSAR, INDONESIA
2024**

**Analisis Spasial-Temporal Daya Dukung Dan Daya Tampung Sungai
Ciasem Atas Beban Limbah Cair Pengolahan Sampah Terpadu
Bantargebang**

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup

Disusun dan diajukan oleh

**RUSDANI SOSIAWAN
P032222012**

kepada

**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

TESIS

**Analisis Spasial-Temporal Daya Dukung Dan Daya Tampung Sungai Ciasem
Atas Beban Limbah Cair Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang**

RUSDANI SOSIAWAN

P032222012

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Magister pada tanggal 26 Juli 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

**Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup
Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin
Makassar**

Mengesahkan:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping,

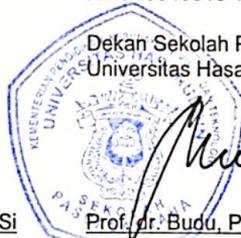
Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si
NIP. 19650810 199103 1 006

Prof. Dr. Ir. Eymal B. Demmallino, M.Si
NIP. 19640815 199002 1 001

Ketua Program Studi
Pengelolaan Lingkungan Hidup

Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si
NIP. 19650810 199103 1 006



Prof. dr. Budu, Ph.D., Sp.M(K), M.Med.Ed.
NIP. 19661231 199503 1 009

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis berjudul "Analisis Spasial-Temporal Daya Dukung dan Daya Tampung Sungai Ciasem atas Beban Limbah Cair Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang" adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing yaitu Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi., M.Si sebagai Pembimbing Utama dan Prof. Dr. Ir. Eymal B. Demmallino., M.Si sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di *Water Conservation and Management* (ISSN: 2523-5672) sebagai artikel dengan judul "*The Capacity of The Ciasem River in The Bantargebang Integrated Waste Management Site*", DOI: <http://doi.org/10.26480/wcm.04.2024.389.395>. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.



Makassar,

Rusdani Sosiawan
NIM. P032222012

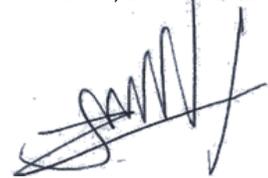
UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Bapak Dr. Ir. Muh. Farid Samawi., M.Si sebagai Pembimbing Utama dan Bapak Prof. Dr. Ir. Eymal B. Demmallino., M.Si sebagai Pembimbing Pendamping. Kepada para penguji Bapak Prof.Dr. Mahatma Lanuru.ST.M.Sc, Bapak Prof. Dr. Fahrudin.S.Si.M.Si, dan Ibu Dr. Athira Rinandha Eragradini GP.S.Pi.M.Si yang telah memberikan masukan dan saran, kami mengucapkan berlimpah terima kasih.

Penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada Bapak Agung Pujo Winarko, S.Si, M.Si selaku Kepala UPST Bantargebang dan Bapak Roy Sihombing,ST selaku pendamping lapangan TPST Bantargebang yang telah mengizinkan kami untuk melaksanakan penelitian di lapangan, dan kepada Bapak Ir. Zaherunaja, M.Si, IPM, saya mengucapkan terima kasih atas beasiswa dan dukungan perusahaan yang diberikan selama menempuh program pendidikan magister.

Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Bapak Drs. Enstya Utama Harahap, M.Sc atas kesempatan untuk menggunakan fasilitas dan peralatan di Laboratorium KBL LAB dan ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin dan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian. Akhirnya, kepada almarhum kedua orang tua tercinta saya mengucapkan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan motivasi yang pernah diberikan selama pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada isteri tercinta; Leli Lisnawati, S.Pi dan ananda Muhammad Royyan Afdhalush Sholah serta seluruh keluarga atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Makassar, 26 Juli 2024



Penulis

ABSTRAK

RUSDANI SOSIAWAN. **Analisis Spasial-Temporal Daya Dukung Dan Daya Tampung Sungai Ciasem Atas Beban Limbah Cair Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang** (dibimbing oleh Muhammad Farid Samawi dan Eymal B. Demmaliano).

Penelitian ini bertujuan mengetahui kondisi kualitas air, daya dukung, daya tampung Sungai Ciasem atas beban limbah cair TPST Bantargebang, serta rekomendasi upaya pengelolaannya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengabungan kuantitatif dan kualitatif. Parameter kualitas air Sungai Ciasem yang amati adalah pH, warna, BOD, COD, TSS, nitrogen total, kadmium, raksa, TDS, besi, kromium valensi 6, fosfat total, timbal, seng, tembaga, nikel, dan mangan serta daya dukung dan daya tampung. Pengambilan data dilakukan pada 6 Stasiun yaitu Stasiun 1 yang merupakan hulu sungai, Stasiun 2 di Outfall IPAS 3, Stasiun 3 di Outfall IPAS 2, Stasiun 4 di Outfall IPAS 1, Stasiun 5 pertemuan dengan Sungai Cikeuting, dan Stasiun 6 setelah IPAL Bersama. Hasil yang diperoleh menunjukkan baik parameter organik, fisik, dan logam berat telah melebihi baku mutu, akibat aktivitas di hulu yaitu pemukiman dan industri, lindi tidak terolah, sampah, pencucian plastik, dan masukan Sungai Cikeuting. Hasil model suksesi Frontier, menunjukkan Stasiun 1 dan Stasiun 2 pada Stadia III yang cenderung stabil. Stasiun 3 dan 4, menunjukkan Stadia II yang merupakan trasnsisi perubahan ke Stadia III. Pada Stasiun 5 dan Stasiun 6, menunjukkan Stadia I yang tidak stabil. Dengan demikian kualitas air sudah relatif tercemar, namun masih mendukung kehidupan. Rekomendasi yang ditawarkan: 1) Penambahan, pengoperasian, serta perawatan sarana dan prasarana pengolahan lindi; 2) Resirkulasi lindi; 3) Pengolahan lanjutan lindi oleh IPAL Bersama; 4) Managemen Sungai dengan penegasan GSS dan pemeliharaan kapasitas sungai ; 5) Pengembangan kapasitas sumberdaya manusia bidang pengendalian pencemaran air; 6) Penertiban dan edukasi kegiatan sekitar yang membuang air limbah ke Sungai Ciasem ; 7) Pemantauan kualitas lindi dan 8) Melakukan kajian penentuan baku mutu Sungai Ciasem sekitar TPST Bantargebang.

Kata kunci:, daya dukung, daya tampung, Bantargebang, Lindi, Sungai Ciasem

 GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa.	Paraf Ketua / Sekretaris.
Tanggal : _____	

ABSTRACT

RUSDANI SOSIAWAN. **A spatial-temporal analysis of the carrying capacity and assimilation capacity of the Ciasem River for Bantargebang Integrated Waste Management Liquid Waste Load** (supervised by Muhammad Farid Samawi and Eymal B. Demmaliano).

The objective of this research is to ascertain the condition of water quality, carrying capacity, and the capacity of the Ciasem River to accommodate the liquid waste load of Bantargebang TPST. Additionally, recommendations for management efforts will be provided. The methodology employed in this research is a combination of quantitative and qualitative. The water quality parameters of the Ciasem River were observed to be pH, colour, BOD, COD, TSS, total nitrogen, cadmium, mercury, TDS, iron, valence 6 chromium, total phosphate, lead, zinc, copper, nickel, and manganese, in addition to carrying capacity and capacity. Data collection was conducted at six stations, namely Station 1, situated at the upstream end of the river, Station 2 at IPAS Outfall 3, Station 3 at IPAS Outfall 2, Station 4 at IPAS Outfall 1, Station 5 at the confluence with the Cikeuting River, and Station 6 after the Joint WWTP. The results demonstrate that both organic, physical, and heavy metal parameters have exceeded the quality standards, due to upstream activities, namely settlements and industries, untreated leachate, garbage, plastic washing, and Cikeuting River input. The frontier succession model results indicate that Stations 1 and 2 are at Stadia III, which is considered to be stable. Stations 3 and 4 show Stadia II, which is a transition change to Stadia III. At Stations 5 and 6, the water quality is shown to be relatively polluted, yet still conducive to life. This is indicative of Stadia I, which is unstable. The following recommendations are proposed: 1) The addition, operation and maintenance of leachate treatment facilities and infrastructure; 2) The recirculation of leachate; 3) The advanced treatment of leachate by the Joint IPAL; 4) The management of the river by affirming GSS and maintaining river capacity; 5) The capacity The construction of human resources in the field of water pollution control; 6) The control and education of surrounding activities that discharge wastewater into the Ciasem River; 7) The monitoring of leachate and water river quality; 8) The conducting of a study to determine the quality standards of the Ciasem River around TPST Bantargebang.

Keywords: carrying capacity, capacity, Bantargebang, leachate, Ciasem River

 GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa.	Paraf Ketua / Sekretaris.
Tanggal : _____	

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iiiv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	4
BAB II METODE PENELITIAN	5
2.1. Pendekatan dan Metode Penelitian	5
2.2. Lokasi Penelitian (Waktu dan Tempat)	5
2.3. Instrumen Penelitian.....	7
2.4. Jenis dan Sumber Data.....	7
2.5. Teknik Pengumpulan Data	7
2.5.1. Data Primer.....	7
2.6. Teknik Analisis Data.....	15
2.6.1. Kualitas Air Sungai Ciasem	15
2.6.2. Daya Tampung dan Daya Dukung Beban Pencemaran	17
BAB 3 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
3.1. Hasil.....	22
3.1.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	22
3.1.2. Kualitas Air Sungai Ciasem.....	31
3.1.3. Daya Tampung dan Daya Dukung Beban Pencemaran	62

3.1.4. Pengelolaan Dan Pengendalian Pencemaran Sungai Ciasem Terdampak TPST Bantargebang.....	73
3.2. Pembahasan.....	74
3.2.1. Kualitas Air Sungai Ciasem	74
3.3.2. Daya Tampung dan Daya Dukung Beban Pencemaran	79
3.3.3. Pengelolaan Dan Pengendalian Pencemaran Sungai Ciasem Terdampak TPST Bantargebang.....	83
BAB 4 KESIMPULAN DAN SARAN.....	89
4.1. Kesimpulan	89
4.2. Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	90
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	109

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Alat dan Bahan yang Digunakan	7
2. Lokasi Pengambilan Sampel Kualitas Air	8
3. Indikator Lingkungan Yang Diamati	8
4. Jumlah Titik Sampel Air Sungai Berdasarkan Klasifikasi dan Debit Rata-Rata	9
5. Metode Analisis Parameter Kualitas Air Sungai Ciasem	13
6. Baku Mutu Kualitas Sungai Ciasem Sesuai Peruntukannya	13
7. Pengumpulan Data Sekunder	15
8. Penentuan Sistem Nilai untuk Menentukan Status Mutu Air	15
9. Klasifikasi Karakteristik Mutu Air Dengan Indeks STORET	16
10. Curah Hujan Bulanan Stasiun BMKG Halim Perdakusuma 2013 - 2022	29
11. Indikator Lingkungan Yang Diamati	30
12. Debit Sungai Ciasem Tahun 2019 - 2024	31
13. Kualitas Air Sungai Ciasem Tahun 2019-2023	35
14. Kualitas Air Sungai Ciasem Tahun 2024	37
15. Status Mutu Air Sungai Ciasem	55
16. Beban Pencemaran Sungai Ciasem Tahun 2019 - 2023	58
17. Beban Pencemaran Sungai Ciasem Tahun 2024	59
18. Daya Tampung Beban Pencemaran Stasiun Pengukuran Tahun 2019 - 2023	63
19. Daya Tampung Beban Pencemaran Stasiun Pengukuran Tahun 2024	63
20. Daya Tampung Sungai Ciasem Tahun 2019 - 2023	66
21. Daya Tampung Sungai Ciasem Tahun 2024	67
22. Daya Dukung Sungai Ciasem Tahun 2019-2023	69
23. Daya Dukung Sungai Ciasem Tahun 2024	70
24. Hasil pengamatan Kelimpahan Makrozoobenthos di Sungai Ciasem 2024	70
25. Nilai Parameter Fisika, Kimia, Dan Biologi Sungai Ciasem Tahun 2024	72
26. Prioritas Pengelolaan dan Pengendalian Pencemaran Sungai Ciasem	86

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Kerangka Berpikir.....	4
2. Peta Lokasi Penelitian.....	6
3. Substasiun Pada Pengambilan Sampel Makrozoobenthos.....	14
4. Model Grafik Frontier	19
5. Bagan Alir Proses Penelitian	21
6. Struktur Organisasi UPT Tempat Pengolahan Sampah Terpadu	23
7. Aktivitas Pengangkutan Sampah	24
8. Proses Penimbunan Tanah pada Landfill	25
9. Pemrosesan Akhir Sampah di TPST Bantargebang	26
10. Fasilitas Pembangkitan Listrik	26
11. Instalasi Pengolahan Air Sampah.....	27
12. Kondisi IPAS 1 dan IPAS 2.....	28
13. Dokumentasi Fasilitas di TPST Bantargebang	28
14. Curah Hujan Rata-Rata (mm) Bulanan (Tahun 2013 - 2022).....	29
15. Debit Aliran Sungai Ciasem Tahun 2019 - 2023	33
16. Debit Pada Tiap Stasiun	34
17. Nilai pH Temporal	38
18. Nilai pH Spasial.....	39
19. Konsentrasi BOD Temporal	40
20. Konsentrasi BOD Spasial	42
21. Konsentrasi COD Temporal.....	43
22. Konsentrasi COD Spasial	45
23. Konsentrasi TSS Temporal.....	46
24. Konsentrasi TSS Spasial	48
25. Konsentrasi Nitrogen Total Temporal	49
26. Konsentrasi Nitrogen Total Spasial.....	51
27. Konsentrasi Raksa Temporal.....	52
28. Konsentrasi Raksa Spasial.....	53
29. Konsentrasi Kadmium Temporal	54
30. Konsentrasi Kadmium Spasial	54
31. Peta Status Mutu Air Sungai Ciasem Tahun 2024	56
32. Grafik Model Suksesi Frontier Sungai Ciasem	71
33. Hubungan Parameter Fisika, Kimia, Dan Biologi Sungai Ciasem 2024	73

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Dokumentasi Pengambilan dan Pengujian Sampel.....	96
2. Data Sekunder Laporan Hasil Pengujian Kualitas Air Sungai Cikeuting 2022	98
3. Perhitungan Beban Pencemaran.....	99
4. Perhitungan Daya Tampung Sungai Ciasem	103
5. Penentuan Prioritas.....	107

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Populasi manusia setiap tahun di suatu daerah, memerlukan energi, lahan, dan sumber daya yang besar untuk bertahan hidup, namun di sisi lain kegiatan ini telah dan akan menghasilkan limbah atau buangan, salah satunya adalah sampah. Semakin meningkatnya pertumbuhan populasi, akan berkorelasi dengan peningkatan volume sampah dan hal ini telah dan sedang menjadi permasalahan lingkungan (Damanhuri & Padmi, 2019). Provinsi DKI Jakarta yang merupakan provinsi-kota terbesar di Indonesia dengan jumlah penduduk pada Tahun 2023 kurang lebih 10.672.100 jiwa (BPS Provinsi DKI Jakarta, 2024), juga menghadapi permasalahan tersebut, sehingga diperkirakan akan melampaui kemampuan daya dukung lingkungan untuk meregenerasi lingkungan hidup sendiri, sehingga berimbas pada kualitas hidup manusia yang makin rendah.

Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2023), melalui <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>, menyatakan bahwa sampah yang dihasilkan penduduk Provinsi DKI Jakarta Tahun 2022 telah mencapai 3.105.850,32 ton/tahun atau 8.509,18 ton/hari, dimana kurang lebih 1.000 ton/hari telah dikelola masyarakat (DLH Provinsi DKI Jakarta) serta sisanya kurang lebih 7.509,18 ton/hari diangkut ke Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantargebang yang terletak di Kecamatan Bantargebang, Kota Bekasi, Provinsi Jawa Barat. Saat ini TPST Bantargebang dikelola Unit Pengelola Sampah Terpadu (UPST) yang merupakan bagian dari DLH Provinsi DKI Jakarta berdasarkan perjanjian kerjasama dengan Pemerintah Kota Bekasi Nomor 19 Tahun 2021 dan Nomor 160 Tahun 2021 tentang Peningkatan Pemanfaatan Lahan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Menjadi TPST Bantargebang Kota Bekasi. Perjanjian ini bertujuan untuk meningkatkan fungsi TPST Bantargebang dengan penerapan teknologi pengolahan sampah yang modern dan ramah lingkungan serta dapat menangani permasalahan pengangkutan dan pembuangan sampah sampai pemrosesan akhir dari wilayah DKI Jakarta dan mengurangi tingkat pencemaran lingkungan di TPST Bantargebang dan sekitarnya. Selain TPST Bantargebang, saat ini Pemerintah Kota Bekasi juga telah mengoperasikan TPA Sumurbatu yang berlokasi di sebelah timur TPST Bantargebang untuk mengolah sampah dari penduduk Kota Bekasi.

Dalam pengolahan dan pemrosesan akhir sampah di TPST Bantargebang, telah dihasilkan air limbah antara lain; air limbah domestik, air limbah hasil pencucian ban, dan lindi dari penimbunan sampah. Air limbah domestik berupa *black water* (tinja) dialirkan ke *septic tank* dan untuk *grey water* (cuci dan dapur) akan dialirkan ke STP (*sewage treatment plant*) dengan sistem *biofilter* yang hasilnya digunakan kembali untuk pencucian truk sampah untuk selanjutnya diolah kembali di IPAS 3, sedangkan lindi diolah di instalasi pengolahan yang disebut Instalasi Pengolahan Air Sampah (IPAS).

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, (2013) melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga telah mengamanatkan bahwa pengoperasian pengolahan lindi dimaksudkan untuk menurunkan konsentrasi lindi sebagai bahan pencemar. Penurunan konsentrasi lindi TPST Bantargebang

dipengaruhi : a). proses operasional, b). curah hujan; c). desain IPAS. Dalam pengalirannya, lebih diutamakan menggunakan sistem gravitasi yang lebih efisien secara teknologi, biaya, dan perawatan. Pengolahan lindi dapat dilakukan dengan proses biologis, fisik, kimia dan/atau gabungan dari proses-proses dimaksud. Untuk pengolahan lindi dengan proses biologis, sebaiknya didahului dengan proses aklimatisasi. Efluen hasil pengolahan lindi harus sesuai baku mutu, apabila belum memenuhi baku mutu, maka akan dilakukan resirkulasi.

Berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, (2016) dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/ Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, lindi didefinisikan sebagai cairan yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk materi organik hasil proses dekomposisi secara biologi. Parameter kunci pada peraturan tersebut adalah pH, BOD₅, COD, TSS, nitrogen total, raksa, dan kadmium, namun tidak tertutup adanya parameter lain yang berpotensi mencemari perairan. Menurut Sedigul, (2011), masuknya lindi ke lingkungan dapat mencemari air sumur, air tanah, dan air sungai. Hal ini selaras dengan Satrio dan Ristin, (2017) yang menyatakan bahwa beban masukan bahan pencemar dari lindi berpotensi menurunkan kualitas air sungai. Penurunan kualitas lingkungan perairan terpengaruh tata guna lahan sekitarnya (Guo et al., 2001). Menurut Rahayu et al., (2018) pencemaran terhadap kualitas air pada suatu perairan secara terus menerus dapat menurunkan fungsi ekosistemnya, baik daya dukungnya bagi biota perairan maupun bagi manusia yang tinggal di sekitarnya, sehingga perlu dilakukan pengelolaan.

Saat ini UPST Bantargebang selaku pengelola TPST Bantargebang telah membangun empat unit IPAS, yaitu; IPAS 1 berkapasitas 200 m³, IPAS 2 berkapasitas 70 m³, IPAS 3 berkapasitas 200 m³, dan IPAS *Refused Derived Fuel* (RDF). Hasil pengolahan lindi dari IPAS 1, 2, dan 3 dialirkan menuju Sungai Ciasem sebagai badan air penerima (Kurniasari dan Aprianti, 2020), sedangkan dari IPAS RDF dialirkan ke *pond* di belakang *RDF Plant*.

Data Dinas Lingkungan Hidup Kota Bekasi (2022), menyatakan adanya masukan lindi secara langsung akibat dari tidak berfungsinya IPAS, telah mencemari Sungai Ciasem, selain longsor sampah yang masuk ke sungai dan air limbah dari kegiatan sekitar (domestik dan pencucian plastik). Dengan adanya pencemaran dari berbagai sumber tersebut di Sungai Ciasem, maka Pemerintah Kota Bekasi telah melakukan antisipasi dengan mengoperasikan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Bersama pada Tahun 2022 untuk mengolah kualitas air Sungai Ciasem dari areal TPST Bantargebang. Lokasi IPAL Bersama terletak di Jalan Pangkalan II, Kelurahan Sumur Batu, Kecamatan Bantargebang, Kota Bekasi, Provinsi Jawa Barat seluas 25.036 m². IPAL Bersama menggunakan sistem *oxydation ditch* berkapasitas 8.500 m³/hari yang terdiri dari dua unit instalasi dengan kapasitas pengolahan masing-masing sebesar 4.250 m³/hari (Dinas Perumahan Kawasan Permukiman Dan Pertanahan Kota Bekasi, 2021).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan Fadhilah dan Fitria, (2020) tingkat efektivitas IPAS 1, 2, dan 3 TPST Bantargebang pada Tahun 2018, rata rata adalah 83,7 % untuk TDS; 79,8 % untuk TSS; 97,1% untuk BOD, dan 97,2% untuk COD. Penelitian ini dilakukan ketika IPAS 1, 2, dan

3 beroperasi optimal, namun pada tahun 2023 kondisi IPA 1 dan IPAS 2 telah tertutup sampah, sedangkan IPAS 3 sedang direnovasi, sehingga lindi langsung masuk ke Sungai Ciasem tanpa diolah dan pengelolaan kualitas air Sungai Ciasem hanya mengandalkan kinerja IPAL Bersama yang terletak di sebelah utara sejauh \pm 500-meter dari TPST Bantargebang.

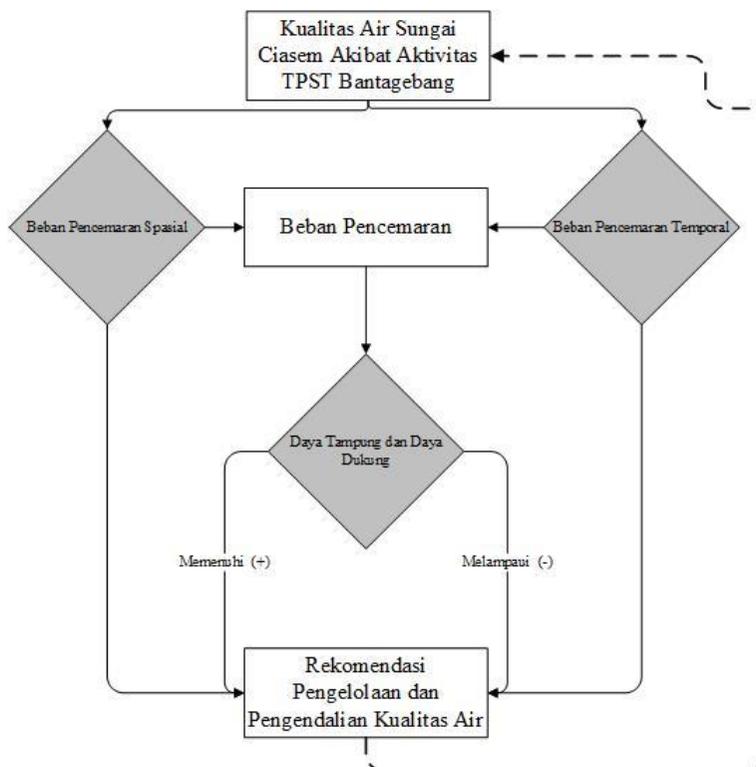
Pada saat kondisi IPAS 1, 2, dan 3 TPST Bantargebang beroperasi optimal, Kurniasari dan Aprianti (2020) telah menyatakan konsentrasi BOD dan COD Sungai Ciasem Tahun 2018 telah melebihi baku mutu dan indeks pencemaran menunjukkan status mutu cemar sedang, dan semakin ke hilir meningkat menjadi cemar berat, sehingga tidak lagi memiliki daya tampung, namun penelitian ini hanya menganalisis daya tampung pada Tahun 2018 saja dan juga tidak menganalisis daya dukung, untuk itu akan dilakukan analisis daya tampung dan daya dukung secara temporal dari Tahun 2019 - 2023 dan secara spasial berdasarkan pengaruh dari TPST Bantargebang terhadap Sungai Ciasem.

Pencemaran di Sungai Ciasem menurut Ulhaq, (2021) membutuhkan pengelolaan dan pengendalian pencemaran air sebagai cara untuk melindungi kesehatan masyarakat di sekitar bantaran Sungai Ciasem. Dari pengelolaan dan pengendalian TPST Bantargebang yang telah dilakukan, Winahyu *et al.*, (2019) merekomendasikan adanya ; 1) peningkatan anggaran dan perbaikan sistem teknologi dibidang persampahan; 2) optimalkan ketersediaan sarana transportasi; 3) memperlancar sarana pengangkutan sampah; 4) Optimalkan bisnis daur ulang; dan 5) penguatan penegakan hukum untuk mewujudkan tata ruang kota yang konsisten. Rekomendasi ini masih sangat umum, untuk itu disarankan agar melakukan penelitian mendalam untuk permasalahan TPST Bantargebang, hal ini menjadi perhatian untuk memperdalam strategi pengelolaan dan pengendalian pencemaran air.

Dengan kondisi Sungai Ciasem yang telah tercemar khususnya akibat pembuangan langsung lindi yang bertentangan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Air, yang menyatakan bahwa air merupakan sumber daya alam yang memiliki fungsi sangat penting bagi manusia serta makhluk hidup lainnya, sehingga harus dijaga kualitasnya untuk kepentingan generasi sekarang dan yang akan datang serta keseimbangan ekosistem. Untuk itu perlu diketahui kondisi kualitas airnya, daya dukung-daya tampungnya, serta rekomendasi pengelolaan dan pengendaliannya. Berdasarkan uraian di atas, pokok-pokok masalah dalam penelitian ini ialah:

- a. Bagaimana kualitas air Sungai Ciasem secara spasial dan temporal berdasarkan kondisi IPAS TPST Bantargebang?
- b. Berapa besar daya dukung dan daya tampung kualitas air Sungai Ciasem?
- c. Rekomendasi pengelolaan dan pengendalian pencemaran Sungai Ciasem apa yang dapat ditawarkan?

Berikut adalah diagram alir penelitian mengenai kualitas air Sungai Ciasem sekitar TPST Bantargebang dan rekomendasinya pengelolaannya (Gambar 1).



Gambar 1 Kerangka Berpikir

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis kualitas air Sungai Ciasem secara spasial dan temporal sekitar TPST Bantargebang.
2. Menganalisis besaran daya dukung dan daya tampung kualitas air Sungai Ciasem sekitar TPST Bantargebang
3. Menyusun rekomendasi pengelolaan dan pengendalian pencemaran Sungai Ciasem sekitar TPST Bantargebang.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kebijakan dalam pengelolaan dan pengendalian pencemaran Sungai Ciasem sebagai masukan terhadap tata cara pengawasan pencemaran air yang akan dilakukan UPST Bantargebang dan Pemerintah Kota Bekasi.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada kajian kondisi daya dukung dan daya tampung Sungai Ciasem sekitar TPST Bantargebang secara spasial dan temporal serta rekomendasi pengelolaan dan pengendaliannya.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Pendekatan dan Metode Penelitian

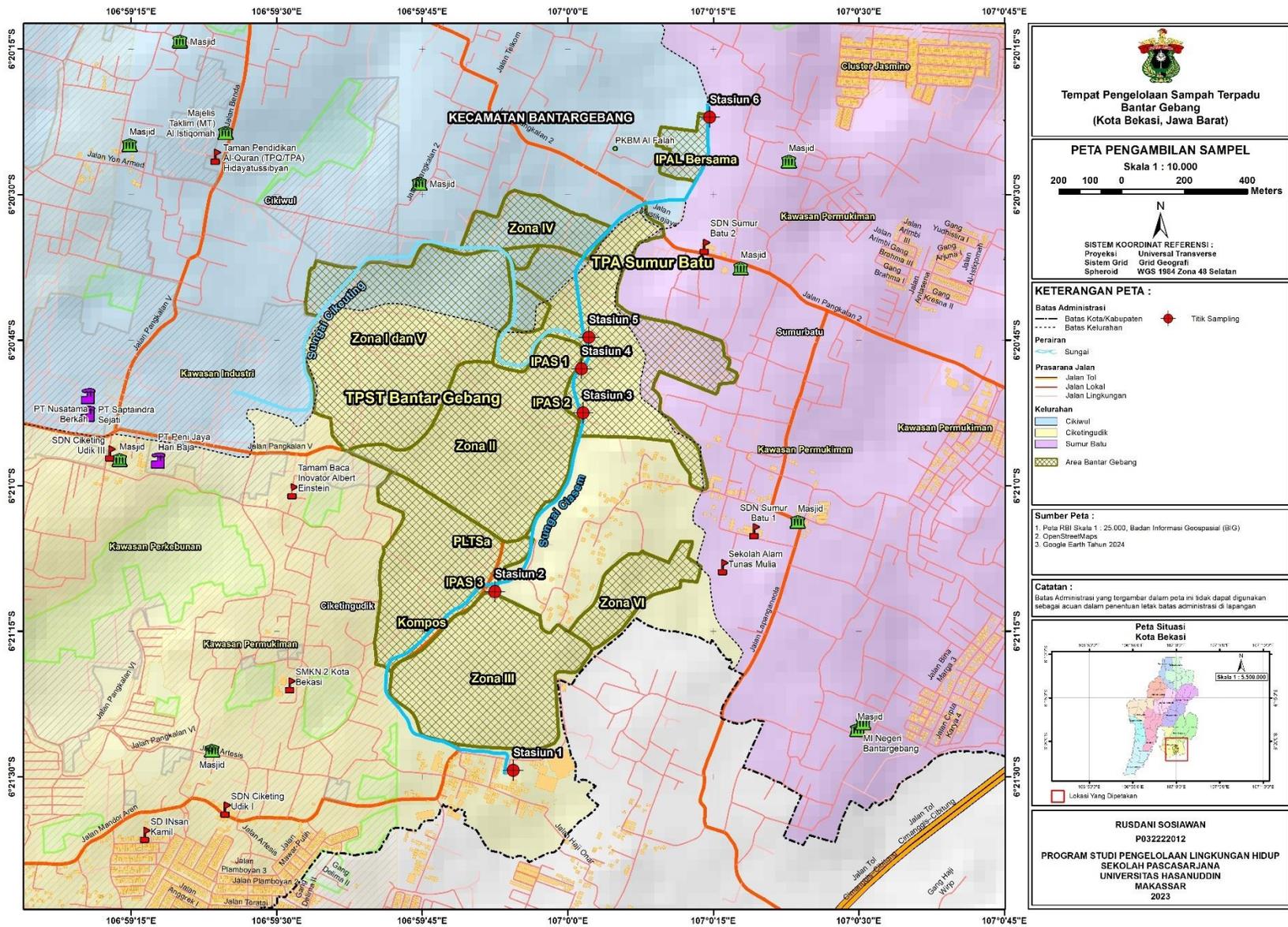
Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penggabungan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan gabungan ini digunakan untuk menjawab tujuan penelitian dengan memanfaatkan keunggulan kedua pendekatan dimaksud untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai masalah penelitian. Pendekatan kualitatif dilakukan untuk menjawab tujuan pertama yaitu analisis kualitas air Sungai Ciasem secara spasial dan temporal sekitar TPST Bantargebang dan tujuan kedua yaitu analisis besaran daya dukung dan daya tampung kualitas air Sungai Ciasem sekitar TPST Bantargebang, sedangkan pendekatan kuantitatif untuk menjawab tujuan ketiga yaitu penyusunan rekomendasi pengelolaan dan pengendalian pencemaran Sungai Ciasem sekitar TPST Bantargebang.

2.2. Lokasi Penelitian (Waktu dan Tempat)

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan Maret 2024 di Sungai Ciasem, yang melalui TPST Bantargebang. Lokasi penelitian terdiri dari enam stasiun yang ditentukan berdasarkan karakteristik masing-masing stasiun sehingga dapat mewakili kondisi Sungai Ciasem. Berikut stasiun yang diamati pada penelitian ini;

- Stasiun 1 = Merupakan hulu Sungai Ciasem;
- Stasiun 2 = Merupakan lokasi penerima lindi dari *Outfall* IPAS 3;
- Stasiun 3 = Merupakan lokasi penerima lindi dari *Outfall* IPAS 2;
- Stasiun 4 = Merupakan lokasi penerima lindi dari *Outfall* IPAS 2;
- Stasiun 5 = Merupakan lokasi pertemuan antara Sungai Ciasem dan Sungai Ciketing;
- Stasiun 6 = Merupakan lokasi Sungai Ciasem setelah pengolahan IPAL Bersama

Lokasi dan stasiun penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Peta Lokasi Penelitian

2.3. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian merupakan alat dan bahan yang digunakan untuk membantu dalam proses analisis parameter yang diamati dalam penelitian ini. Adapun alat dan perangkat yang digunakan untuk penelitian ini disampaikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan yang Digunakan

No	Alat Dan Perangkat	Fungsi
1	Global Position System (GPS)	Menunjukkan koordinat lokasi pengukuran atau pengamatan
2	<i>Drone</i> dan Kamera	Mengambil dokumentasi lokasi pengukuran atau pengamatan
3	<i>Current meter</i>	Mengukur kecepatan arus sungai
4	<i>Thermometer</i>	Mengukur suhu
5	<i>Anemometer</i>	Mengukur kecepatan dan arah angin
6	<i>Higrometer</i>	Mengukur kelembaban udara
7	pH meter	Mengukur pH (derajat keasaman)
8	DO meter	Mengukur Kandungan Oksigen Terlarut
9	pengukur jarak (meteran) dan tongkat ukur	Mengukur jarak dan atau kedalaman sungai
10	Botol DO	Menyimpan contoh air BOD
11	Spektrofotometer	Mengukur jumlah cahaya yang terserap dalam contoh air
12	Perangkat titrasi	Menentukan konsentrasi suatu larutan
13	Neraca Analitik	Menentukan berat
14	Pengering	Menghilangkan kadar air
15	Kertas Saring / Media Saring	Menyaring padatan tersuspensi dan padatan terlarut
16	<i>Kjeldahl</i>	Menentukan konsentrasi nitrogen pada contoh air
17	ICP-OES	Mengukur jumlah elemen dalam contoh air
18	Ekman Grab	Mengambil contoh makrozoobenthos

2.4. Jenis dan Sumber Data

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini terdiri data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari sumbernya. Data ini disebut juga sebagai data asli atau data baru yang memiliki sifat *up to date*, sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh dari berbagai sumber yang telah ada (Siyoto dan Sodik, 2015).

2.5. Teknik Pengumpulan Data

2.5.1. Data Primer

Pengumpulan data primer pada penelitian ini terdiri dari pengukuran kualitas air parameter fisika, kimia, dan biologi berupa makrozoobenthos yang ada di Sungai Ciasem. Lokasi, jenis dan parameter yang diamati disajikan pada Tabel 2 ;

Tabel 2 Lokasi Pengambilan Sampel Kualitas Air

NO	KODE	LOKASI	KOORDINAT	KETERANGAN
1	Stasiun 1	Hulu Sungai Ciasem	S: 06°21'27,07" E: 106°59'48,51"	Adanya pengaruh dari kegiatan di hulu Sungai Ciasem sebelum TPST Bantargebang
2	Stasiun 2	Outfall IPAS 3	S: 06°21'12,44" E: 106°59'49,53"	Adanya pengaruh pengolahan lindi dari IPAS 3
3	Stasiun 3	Outfall IPAS 2	S: 06°20'44,82" E: 107°00'01,40"	Adanya pengaruh pengolahan lindi dari IPAS 2
4	Stasiun 4	Outfall IPAS 1	S: 06°20'47,52" E: 106°59'52,76"	Adanya pengaruh pengolahan lindi dari IPAS 1
5	Stasiun 5	Lokasi pertemuan Sungai Cikeuting dan Sungai Ciasem (sebelum IPAL Bersama)	S: 06°20'45,46" E: 107°00'01,26"	Kondisi pertemuan Sungai Cikeuting dan Sungai Ciasem dan Kondisi kualitas air Sungai Ciasem sebelum pengolahan air IPAL bersama
6	Stasiun 6	Sesudah IPAL Bersama		Kondisi kualitas air Sungai Ciasem sesudah pengolahan air IPAL bersama

Lokasi pengambilan sampel pada penelitian ini menggunakan metode *purposive sampling* yang merupakan metode penentuan lokasi pengambilan sampel berdasarkan karakteristik masing-masing lokasi yang ditentukan. Kondisi sekitar lokasi pengukuran akan diamati terlebih dahulu menggunakan kamera dan/atau *drone*. Adapun hal-hal yang diamati berupa indikator lingkungan berdasarkan York & Speakman (1991) seperti yang tertuang pada Tabel 3.

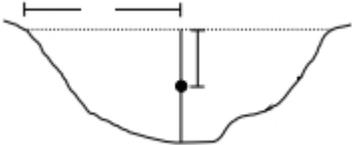
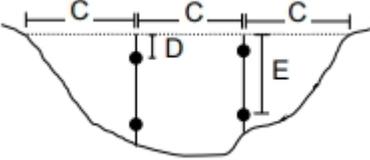
Tabel 3 Indikator Lingkungan Yang Diamati

NO	KATEGORI	INDIKATOR	PENGUKURAN/ PENGAMATAN/ALAT
1	Geofisik		
	Topografi	Ketinggian Sungai (mdpl)	GPS
	Erosi-	Lokasi berpotensi erosi	Visual / <i>drone</i>
	Sedimentasi	Lokasi berpotensi sedimentasi	Visual / <i>drone</i>
		Sampah mengapung	Visual / <i>drone</i>
		Jenis substrat	Visual / <i>drone</i>
2	Hidrologi		
	Sungai	Kedalaman aliran	SNI 8995:2021 ; <i>Current meter</i>
		Kecepatan aliran	SNI 8995:2021 ; <i>Current meter</i>
		Debit aliran	SNI 8995:2021 ; <i>Current meter</i>
		Gambaran fasilitas pengendali banjir	Visual / <i>drone</i>
	Meteorologi	Suhu	SNI 06-6989.23-2005; <i>Thermometer</i>
		Kecepatan dan arah angin	<i>Anemometer</i>
		Cuaca	Visual
		Kelembaban	<i>Higrometer</i>

NO	KATEGORI	INDIKATOR	PENGUKURAN/ PENGAMATAN/ALAT
3	Biologi Tumbuhan air	Jenis tumbuhan air	Visual / <i>drone</i>
4	Sistem pengolahan	Kondisi IPAS dan IPAL Bersama	Visual / <i>drone</i>
5	Pemanfaatan Sungai	Permasalahan operasional Pemanfaatan sungai oleh masyarakat/pemerintah/ dan lainnua	Visual / <i>drone</i>

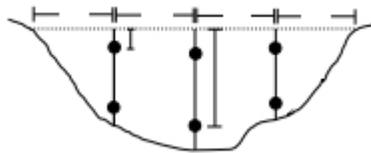
Menurut Hadi (2005), jumlah titik pengambilan sampel air sungai berdasarkan klasifikasi dan debit rata-rata disampaikan pada Tabel 4 :

Tabel 4 Jumlah Titik Pengambilan Sampel Air Sungai Berdasarkan Klasifikasi Dan Debit Rata-Rata

DEBIT RATA-RATA	TITIK PENGAMBILAN CONTOH UJI
< 5 m ³ /detik	Titik pengambilan contoh uji di tengah sungai pada kedalaman ½ kali kedalaman dari permukaan. 
5-150 m ³ /detik	Keterangan: A adalah jarak ½ kali lebar sungai; B adalah jarak ½ kali kedalaman sungai dari permukaan; Titik pengambilan contoh uji pada empat titik masing-masing pada jarak 1/3 lebar sungai dan 2/3 lebar sungai dengan kedalaman masing-masing titik 1/5 kali kedalaman dari permukaan dan 4/5 kali kedalaman dari permukaan. 
> 150 m ³ /detik	Keterangan: C adalah jarak 1/3 kali lebar sungai; D adalah jarak 1 /5 kali kedalaman sungai dari permukaan; E adalah jarak 4/5 kali kedalaman sungai dari permukaan; Titik pengambilan contoh uji pada enam titik pada jarak 1/4 lebar sungai, 1/2 lebar sungai, dan 3/4 lebar sungai dengan kedalaman masing-masing titik 1/5 kali kedalaman dari permukaan dan 4 /5 kali kedalaman dari permukaan.

DEBIT RATA-RATA

TITIK PENGAMBILAN CONTOH UJI



Keterangan:

F adalah jarak 1/4 kali lebar sungai;

G adalah jarak 1/5 kali kedalaman sungai dari permukaan;

H adalah jarak 4/5 kali kedalaman sungai dari permukaan;

Pengukuran debit dilakukan dilakukan secara langsung menggunakan berbagai peralatan, yaitu alat pengukur arus (*current meter*), pelampung, pengukur jarak, dan lain-lain. Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur parameter hidraulis sungai yaitu luas penampang basah dan kecepatan arus.

1. Pengukuran penampang basah (A) dengan satuan meter persegi (m²) dilakukan dengan cara mengukur lebar sungai dan kedalaman sungai. Pengukuran ini dapat dilakukan pada beberapa titik pada sepanjang tampang aliran sungai Ciasem. Alat-alat yang digunakan adalah pengukur jarak (meteran), tongkat ukur, *Global Position System* (GPS), dan lain-lain.
2. Pengukuran kecepatan arus (V) dengan satuan meter per detik (m/detik) menggunakan *current meter* yang dapat menghasilkan ketelitian yang cukup baik. Prinsip kerja *current meter* ini adalah mencari hubungan antara kecepatan aliran dan kecepatan putaran baling-baling *current meter* tersebut. Berdasarkan (BPSDA, 2015), mengingat distribusi kecepatan arus secara vertikal tidak merata, maka pengukuran dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut ini.
 - a. Pengukuran pada satu titik yang umumnya dilakukan jika kedalaman aliran kurang dari 1 meter. Alat ditempatkan pada kedalaman 0,6 h diukur dari muka air.
 - b. Pengukuran pada beberapa titik, dilakukan pada kedalaman 0,2 h dan 0,8 h diukur dari muka air. Kecepatan rerata dihitung sebagai berikut:

$$V = 0,5 (V_{0,2h} + V_{0,8h})$$

Keterangan :

V = kecepatan (m/s)

$V_{0,2h}$ = Kecepatan arus pada kedalaman 0,2 dari kedalaman total (m/s)

$V_{0,8h}$ = Kecepatan arus pada kedalaman 0,8 dari kedalaman total (m/s)

- c. Pengukuran dengan tiga titik dilakukan pada kedalaman 0,2 h ; 0,6 h ; dan juga pada 0,8 h. Hasilnya dirata-ratakan dengan rumus:

$$V = 1/3 (V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8})$$

Keterangan :

V = kecepatan (m/s)

$V_{0,2h}$ = Kecepatan arus pada kedalaman 0,2 dari kedalaman total (m/s)

$V_{0,6h}$ = Kecepatan arus pada kedalaman 0,6 dari kedalaman total (m/s)

$V_{0,8h}$ = Kecepatan arus pada kedalaman 0,8 dari kedalaman total (m/s)

3. Penetapan debit (Q) dilakukan dengan perkalian luas penampang basah (A) dan kecepatan arus (V) dengan satuan meter kubik per detik ($m^3/detik$);

$$Q = A \times V$$

Keterangan :

A = Luas Penampang Basah (m^2)

V = kecepatan (m/s)

2.5.1.1. Pengukuran Kualitas Air Sungai Ciasem

Prosedur pengambilan sampel kualitas air dilakukan berdasarkan SNI 8995:2021 tentang Metoda pengambilan contoh air permukaan. Parameter kualitas air yang diamati meliputi warna, bau, pH, BOD₅, COD, TSS, TDS, nitrogen total, fosfat total, dan logam berat (raksa, kadmium, timbal, besi, nikel, seng, tembaga, kromium valensi 6, dan mangan).

1. Pengukuran *in-situ* meliputi parameter bau, pH, dan BOD₅ ;

a. Bau ; menggunakan organoleptik.

b. pH ; pembacaan langsung menggunakan pH meter

c. BOD₅ ; menyiapkan dua botol DO (DO₁ dan DO₅), lalu dilakukan memasukkan air Sungai Ciasem dengan hati hati untuk menghindari terbentuknya gelembung udara. Selanjutnya dilakukan pengukuran oksigen terlarut terhadap larutan dalam botol DO₁ dengan DO meter. Hasil pengukuran, merupakan nilai oksigen terlarut nol hari (DO₁). Botol DO₅ di simpan dalam lemari inkubator 20°C ± 1°C selama 5 hari;

Pengukuran *ex-situ* ; parameter warna, BOD₅, COD, TSS, TDS, nitrogen total, fosfat total, Dan Logam Berat (raksa, kadmium, timbal, besi, nikel, seng, tembaga, kromium valensi 6, dan mangan) akan dianalisis di Laboratorium Lingkungan Hidup PT Karsa Buana Lestari (KBL Lab) yang telah terakreditasi KAN (LP-372-IDN) dan teregistrasi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (007/LPJ/LABLING-1/LRK/KLHK). Semua instrumen pengukuran akan dikalibrasi oleh larutan standar. Pengukuran sampel air dilakukan dengan dua kali pengulangan untuk memastikan tidak terjadinya kekeliruan dalam pengukuran sampel. Pengukuran sampel air secara *ex-situ* dilakukan dengan rincian berikut (Hadi, 2005):

- a. Warna; sebanyak 500 mL air sampel dan diawetkan pada wadah bersuhu ≤ 4°C dengan batas waktu penyimpanan selama 48 jam. Pengukuran menggunakan metode spektrofotometri pada panjang gelombang 450 nm sampai 465 nm dengan menggunakan larutan standar Pt-Co. Pengukuran nilai warna sebenarnya (*true color*) berdasarkan hukum *Beers*.
- b. BOD₅: sebanyak 1.000 mL air sampel dalam botol DO dan diawetkan pada wadah bersuhu ≤ 4°C dengan batas waktu penyimpanan selama 48 jam sebelum disimpan selama 5 hari. Sampel ditambahkan ke dalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambah larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu 20°C ± 1°C selama 5 hari. Nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut nol hari dan lima hari. Bahan kontrol standar dalam uji BOD ini, digunakan larutan glukosa-asam glutamat.
- c. COD: sebanyak 100 mL air sampel dan diawetkan pada kondisi pH kurang dari 2 dengan penambahan H₂SO₄ pada wadah/ruang bersuhu ≤ 4°C dengan batas waktu

penyimpanan selama 28 hari. Senyawa organik dan anorganik dioksidasi oleh $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dalam refluks tertutup menghasilkan Cr^{3+} dan sisa Cr^{6+} . Jumlah oksidan yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekuivalen oksigen (O_2 mg/L) diukur secara spektrofotometri pada panjang gelombang 420 nm sampai 600 nm.

- d. TSS; sebanyak 200 mL air sampel dan diawetkan pada wadah bersuhu $\leq 4^\circ\text{C}$ dengan batas waktu penyimpanan selama tujuh hari. Sampel disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang. Residu yang tertahan pada media penyaring dikeringkan pada kisaran suhu 103°C sampai dengan 105°C . Kenaikan berat saringan mewakili konsentrasi TSS.
- e. TDS; sebanyak 200 mL air sampel dan diawetkan pada wadah bersuhu $\leq 4^\circ\text{C}$ dengan batas waktu penyimpanan selama 48 jam. Sampel disaring dengan media penyaring. Filtrat yang lolos melalui media penyaring diuapkan dan dikeringkan pada suhu 180°C sampai mencapai berat tetap.
- f. Nitrogen total; berdasarkan SNI 8990:2021 Metode pengambilan contoh uji air limbah untuk pengujian fisika dan kimia, sampel untuk nitrogen total sebanyak 500 mL air sampel dan diawetkan pada kondisi pH kurang dari 2 dengan penambahan H_2SO_4 pada wadah/ruang bersuhu $\leq 4^\circ\text{C}$ dengan batas waktu penyimpanan selama 28 hari. Senyawa nitrogen organik dengan H_2SO_4 dan katalis, diubah menjadi garam ammonium dengan penambahan basa kuat diubah menjadi ammonia yang dibebaskan dan bereaksi dengan asam borat/ asam sulfat membentuk senyawa ammonium yang akan ditetapkan menggunakan *spectrometer*, *kjeldahl*, *titrimetric* atau secara elektrode ion selektif (BSN, 2021).
- g. Fosfat Total; sebanyak 100 mL air sampel dan diawetkan pada kondisi pH kurang dari 2 dengan penambahan H_2SO_4 pada wadah/ruang bersuhu $\leq 4^\circ\text{C}$ dengan batas waktu penyimpanan selama 48 jam. Senyawa fosfat didestruksi dengan peroksodisulfat menjadi ortofosfat, kemudian dalam suasana asam bereaksi dengan amonium molibdat dan kalium antimonil tartrat membentuk senyawa asam fosfomolibdat kemudian direduksi oleh asam askorbat menjadi kompleks biru molibden. Selanjutnya diukur dengan *spektrofotometer* pada panjang gelombang 880 nm.
- h. Logam berat (raksa, kadmium, timbal, besi, nikel, seng, tembaga, kromium, dan mangan); sebanyak 1.000 mL air sampel dan diawetkan pada kondisi pH kurang dari 2 dengan penambahan HNO_3 atau disaring untuk logam padat. Batas waktu penyimpanan selama enam bulan. Untuk analisis logam berat menggunakan metode spektrofotometri dengan prinsip penyerapan cahaya AAS oleh senyawa dalam sampel. Panjang gelombang cahaya yang diberikan bergantung pada bentuk sampel, senyawa sampel, dan jumlah sampel yang dimasukkan pada alat AAS. Hasil yang diperoleh menunjukkan kandungan logam tertentu pada air sampel dimaksud.

Metode analisis dan instrumen yang digunakan untuk pengambilan dan analisis sampel air Sungai Ciasem disajikan pada Tabel 5. Sementara baku mutu kualitas air Sungai Ciasem sesuai peruntukannya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5 Metode Analisis Parameter Kualitas Air Sungai Ciasem

PARAMETER	SATUAN	ALAT	METODE
Bau	-	-	Organoleptik
pH ^a	-	pH meter	SNI 6989.11:2019
Warna ^a	Unit Pt-Co	Spektrofotometer	SNI 6989.80:2011
<i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD ₅) ^b	mg/L	Spektrofotometer	SNI 6989.72:2009
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) ^b	mg/L	Spektrofotometer	SNI 6989.2:2019
Total padatan tersuspensi (TSS) ^b	mg/L	Neraca analitik	SNI 6989.3:2019
Total padatan terlarut (TDS) ^b	mg/L	Neraca analitik	SNI 6989.27:2019
Nitrogen Total ^b	mg/L	Kjeldahl dan Spektrofotometer	SNI 06-6989.52-2005
Fosfat Total ^b	mg/L	Spektrofotometer	SNI 6989-31:2021
Raksa (Hg) ^b	mg/L	ICP-OES	IK No: 19-67/IK (ICP-OES)
Kadmium (Cd) ^b	mg/L	ICP-OES	SM 3030B-2017; SM 3120B-2017
Timbal (Pb) ^b	mg/L	ICP-OES	SM 3030B-2017; SM 3120B-2017
Besi (Fe) ^b	mg/L	ICP-OES	SM 3030B-2017; SM 3120B-2017
Nikel (Ni) ^b	mg/L	ICP-OES	SM 3030B-2017; SM 3120B-2017
Seng (Zn) ^b	mg/L	ICP-OES	SM 3030B-2017; SM 3120B-2017
Tembaga (Cu) ^b	mg/L	ICP-OES	SM 3030B-2017; SM 3120B-2017
Kromium Valensi 6 (Cr ⁶⁺) ^b	mg/L	Spektrofotometer	SNI 6989.71:2009
Mangan (Mn) ^b	mg/L	ICP-OES	SM 3030B-2017; SM 3120B-2017

Keterangan: ^{a)} parameter yang diukur secara insitu; ^{b)} parameter yang dianalisis di laboratorium

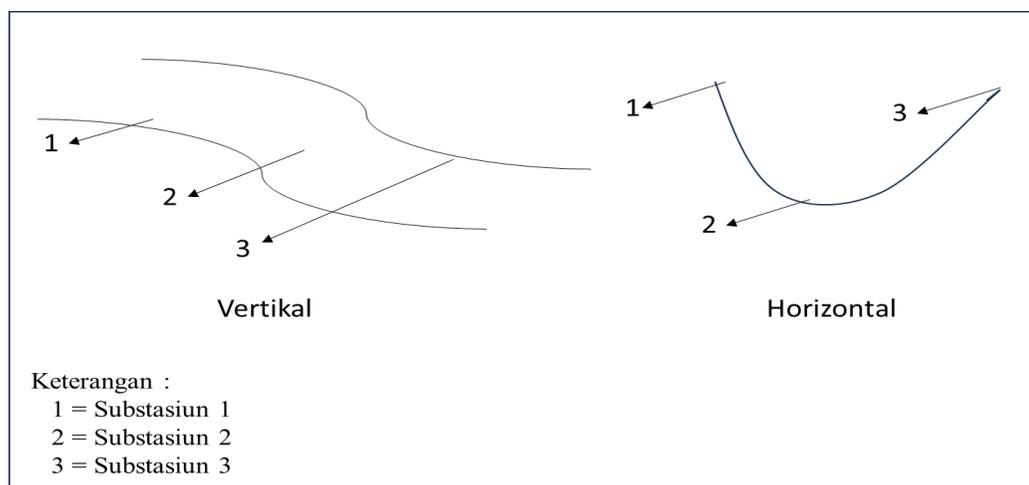
Tabel 6 Baku Mutu Kualitas Sungai Ciasem Sesuai Peruntukannya (PP No.22 Tahun 2021 Lampiran VII Kelas 2)

Parameter	Satuan	BAKU MUTU
Bau	-	Berbau
pH	-	6-9
Warna	Unit Pt-Co	50
<i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD ₅)	mg/L	3
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	mg/L	25
Total padatan tersuspensi (TSS)	mg/L	50
Total padatan terlarut (TDS)	mg/L	1.000
Nitrogen Total	mg/L	15,0
Fosfat Total	mg/L	0,2
Raksa (Hg)	mg/L	0,002
Kadmium (Cd)	mg/L	0,010
Timbal (Pb)	mg/L	0,030
Besi (Fe)	mg/L	-
Nikel (Ni)	mg/L	0,050

Parameter	Satuan	BAKU MUTU
Seng (Zn)	mg/L	0,050
Tembaga (Cu)	mg/L	0,020
Kromium Valensi 6 (Cr ⁶⁺)	mg/L	0,05
Mangan (Mn)	mg/L	-

2.5.1.2. Pengukuran Makrozoobenthos

Pengukuran makrozoobenthos diawali dengan pengambilan sampel tiap stasiun, kemudian tiap stasiun dilakukan pembagian tiga titik substasiun, tujuan pembagian sub stasiun ini adalah untuk mendapatkan makrozoobenthos yang menggambarkan lokasi penelitian. Pengambilan sampel di sub stasiun menggunakan *Ekman Grab* selanjutnya dilakukan penyaringan menggunakan saringan bertingkat dengan ukuran *mesh size* yang berbeda agar biota renek lainnya dapat tersaring. Sampel makrozoobenthos yang terperangkap akan disimpan dalam wadah yang telah diberi pengawet berupa alkohol 70% dan label penanda. Lokasi substasiun pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Substasiun Pada Pengambilan Sampel Makrozoobenthos

Sampel makrozoobenthos dibawa ke laboratorium untuk diidentifikasi sampai tingkat genus berdasarkan morfologinya berdasarkan buku identifikasi benthos Pennak, (1978), dan buku identifikasi benthos McCafferty, (1983). Identifikasi makrozoobenthos menggunakan mikroskop stereo dengan perbesaran 0,67X sampai 4,5X. Setelah diidentifikasi, makrozoobenthos dihitung kepadatannya berdasarkan jumlah individu per satuan luas (ind/m^2) (Brower et al., 1990). Persamaan yang digunakan untuk menghitung kepadatan makrozoobenthos sebagai berikut.

$$K_i = \frac{a_i}{b \times r} \times 10.000$$

Keterangan:

- K_i = Kepadatan makrozoobenthos teridentifikasi jenis ke- i (Ind/m^2)
 a_i = Jumlah individu makrozoobenthos teridentifikasi jenis ke- i
 b = Luas bukaan (cm^2)
 r = Jumlah ulangan (3 kali)
 10.000 = Konversi cm^2 ke m^2

2.5.2. Data Sekunder

Data sekunder untuk mendukung penelitian ini akan dikumpulkan dari beberapa sumber. Data sekunder yang dikumpulkan pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Pengumpulan Data Sekunder

NO	DATA SEKUNDER	SUMBER
1	Data Iklim (curah hujan)	Stasiun BMKG Halim P.K (2012-2022) *)
2	Data pemantauan kualitas air yang telah dilakukan (Sungai Ciasem dan Sungai Cikeuting)	UPTS Bantargebang dan DLH Kota Bekasi
3	Kebijakan pengelolaan kualitas air dan lindi	UPTS Bantargebang dan DLH Kota Bekasi

Keterangan:

*) Jarak Stasiun BMKG Halim Perdanakusumah dengan TPST Bantargebang adalah $\pm 28,4$ Km

2.6. Teknik Analisis Data

2.6.1. Kualitas Air Sungai Ciasem

Analisis data yang digunakan adalah membandingkan dengan baku mutu badan air sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup Lampiran VI Kelas 2. Untuk menentukan status mutu air Stasiun 1 sampai Stasiun 5 Tahun 2019 -2024, digunakan metode Indeks STORET (*Storage and Retrieval of Water Quality Data System*) berdasarkan baku mutu sesuaikan peruntukkan penggunaan perairan. Metode ini menggunakan parameter kualitas air yang memiliki baku mutu melalui sistem *scoring* (Kurniasari & Aprianti, 2020). Analisis perhitungan indeks STORET mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air yang digunakan bobot dalam penentuan status mutu kualitas air seperti pada Tabel 8.

Tabel 8 Penentuan Sistem Nilai untuk Menentukan Status Mutu Air

JUMLAH CONTOH ¹⁾	NILAI	PARAMETER		
		FISIKA	KIMIA	BIOLOGI
< 10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rata-rata	-3	-6	-9
> 10	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rata-rata	-6	-12	-18

Sumber: Canter 1977 dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 tahun 2003

Keterangan: jumlah parameter yang digunakan untuk penentuan status mutu air

Analisis status pencemaran perairan menggunakan indeks STORET dapat diperoleh dengan sistem nilai dari US-EPA (*Environmental Protection Agency*). Sistem nilai ini membagi kriteria perairan berdasarkan klasifikasi karakteristik mutu air yang terdiri dari empat kelas. Penilaian status pencemaran dengan sistem nilai tersebut disajikan Tabel 9.

Tabel 9 Klasifikasi Karakteristik Mutu Air Dengan Indeks STORET

KELAS	KRITERIA PERAIRAN	SKOR	STATUS PENCEMARAN
A	Baik Sekali	0	Sesuai baku mutu
B	Baik	-1 s.d -10	Tercemar ringan
C	Sedang	-11 s.d -30	Tercemar sedang
D	Buruk	≥ -31	Tercemar berat

Sumber: *KEPMEN LH Nomor 115 Tahun 2003 [Sistem nilai dari US-EPA]*

Untuk Stasiun 6 yang diukur pada Tahun 2024, menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP) yang merupakan metode yang sederhana dan mudah untuk diterapkan untuk melakukan penilaian terhadap kualitas air, sehingga diketahui tingkat pencemar suatu perairan terhadap baku mutu menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VI Kelas 2. Penentuan status pencemaran ini ditentukan menggunakan indeks pencemaran dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 sebagai berikut.

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

Keterangan:

L_i = Konsentrasi parameter kualitas air dalam baku mutu peruntukan air (j)

C_i = Konsentrasi parameter kualitas air hasil survei

PI_j = Indeks pencemaran bagi peruntukan (j)

$(C_i/L_{ij})_M$ = Nilai C_i/L_{ij} Maksimum

$(C_i/L_{ij})_R$ = Nilai C_i/L_{ij} Rata-rata

Adapun hubungan tingkat ketercemaran dengan kriteria indeks pencemaran berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Penetapan Status Mutu Air sebagai berikut.

- $0 \leq P_{ij} \leq 1,0$: Memenuhi baku mutu (kondisi baik)
 $1,0 < P_{ij} < 5,0$: Tercemar ringan
 $5,0 < P_{ij} \leq 10$: Tercemar sedang
 $P_{ij} > 10$: Tercemar berat

Berdasarkan Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Sumber Pencemar Air pada Lampiran 1, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 1 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air (Kementerian Lingkungan Hidup, 2010), besaran pencemar yang berasal dari sumber tertentu (*point sources*) ditentukan berdasarkan data primer dan/atau data sekunder hasil pemantauan. Penghitungan beban pencemaran dari IPAS TPST Bantargebang bertujuan untuk mengestimasi kandungan limbah yang dikeluarkan setiap satuan volume IPAS yang dikeluarkan perwaktu. Parameter limbah yang diamati berupa warna, bau, pH, BOD₅, COD, TSS, TDS, nitrogen total, fosfat total, logam berat (raksa, kadmium, timbal, besi, nikel, seng, tembaga, kromium valensi 6, dan mangan), dan debit Sungai Ciasem. Estimasi beban limbah maksimal yang diterima Sungai Ciasem dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$\mathbf{BPM = Q \times Cs}$$

Keterangan:

BPM = Beban pencemar maksimum (kg/hari)

Q = Debit terukur (m³/detik)

Cs = Baku mutu parameter air sungai terpengaruh lindi; PP No.22 /2021 Lampiran VI Kelas 2 (mg/L)

Konversi gram/detik = 86,4 kg/hari

Beban pencemar aktual adalah beban pencemaran yang terima Sungai Ciasem dari lindi TPST Bantergebang, rumus yang digunakan dalam menghitung beban pencemaran aktual adalah:

$$\mathbf{BPA = Q \times CL}$$

Keterangan:

BPA = Beban pencemar aktual (kg/hari)

Q = Debit terukur (m³/detik)

CL = Konsentrasi parameter air sungai terpengaruh lindi; (mg/L).

Konversi gram/detik = 86,4 kg/hari

2.6.2. Daya Tampung dan Daya Dukung Beban Pencemaran

Analisis yang digunakan untuk analisis daya tampung beban pencemaran ialah berikut :

$$\mathbf{DTBP = BPM - BPA}$$

Keterangan:

DTBP = Daya Tampung Beban Pencemaran (Kg/hari)

BPM = Beban pencemar maksimum (kg/hari)

BPA = Beban pencemar aktual (kg/hari)

Jika BPM lebih besar dari BPA, maka DTBP memiliki nilai positif (+), maka Sungai Ciasem masih memiliki daya tampung atas parameter yang ditetapkan sebagai beban pencemaran. Jika BPM lebih kecil dari BPA, maka DTBP memiliki nilai negatif (-) yang berarti Sungai Ciasem telah tidak memiliki daya tampung lagi atas parameter yang

ditetapkan sebagai beban pencemaran dan jika Jika BPM sama dengan BPA, maka DTBP memiliki nilai nol yang berarti beban pencemaran kualitas air pada parameter yang ditetapkan dalam kondisi kritis.

Untuk melihat daya tampung Sungai Ciasem, maka menggunakan perhitungan daya tampung beban pencemaran air sebagaimana yang tertuang dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003. Penentuan daya tampung beban pencemaran dapat ditentukan dengan cara sederhana yaitu dengan menggunakan metoda neraca massa. Model matematika yang menggunakan perhitungan neraca massa dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi rata-rata aliran hilir yang berasal dari sumber pencemar *point sources* dan *non point sources*, perhitungan ini dapat pula dipakai untuk menentukan persentase perubahan laju alir atau beban polutan. Jika beberapa aliran bertemu menghasilkan aliran akhir, atau jika kuantitas air dan massa konstituen dihitung secara terpisah, maka perlu dilakukan analisis neraca massa untuk menentukan kualitas aliran akhir dengan perhitungan.

$$C_R = (\sum C_i Q_i) / \sum Q_i = \sum M_i / \sum Q_i$$

Keterangan

C_R = konsentrasi rata-rata konstituen untuk aliran gabungan

C_i = konsentrasi konstituen pada aliran ke- i

Q_i = laju alir aliran ke- i

M_i = Massa konstituen pada aliran ke- i

Dalam penentuan daya dukung, dilakukan analisis terhadap :

1. Parameter fisik yaitu debit, yang terbagi atas debit minimal adalah di bawah 0,1 m³/detik merupakan debit yang mendukung kehidupan makrozoobenthos ; debit moderat antara 0,1-1 m³/detik yang cukup mendukung kehidupan makrozoobenthos; dan debit maksimal di atas 1 m³/detik yang tidak mendukung kehidupan makrozoobenthos (Allan & Castillo, 2007) ; Selanjutnya dilakukan penilaian dengan angka 1 untuk debit maksimal yang tidak mendukung kehidupan makrozoobenthos; 2 untuk debit moderat yang cukup mendukung kehidupan makrozoobenthos; dan 3 untuk debit minimal yang mendukung kehidupan makrozoobenthos.
2. Parameter kimia ; Jumlah limbah organik dan nutrien yang dapat ditampung oleh perairan dan kapasitas daya dukung lingkungannya dapat dihitung melalui persamaan berikut (Meade, 1989) :

$$DDP = \frac{BPA}{BPM}$$

Keterangan:

DDP = Daya Dukung Perairan

BPA = Beban pencemar aktual (kg/hari)

BPM = Beban pencemar maksimum (kg/hari)

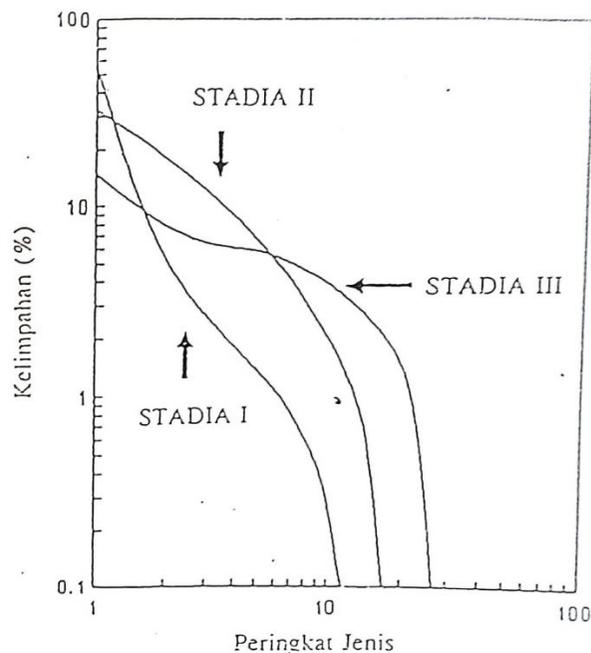
Jika BPM lebih besar dari BPA, maka DDP memiliki nilai lebih kecil dari 1 yang berarti kualitas air pada parameter yang ditetapkan masih dapat mendukung kehidupan di Sungai Ciasem dan diberi penilaian dengan angka 3. Jika BPM lebih kecil BPA, maka DDP memiliki nilai lebih besar dari 1 yang berarti kualitas air pada parameter yang ditetapkan sudah tidak dapat lagi mendukung kehidupan di Sungai Ciasem dan diberi penilaian dengan angka 3, dan jika BPM sama dengan BPA, maka DDP memiliki nilai 1 yang berarti kualitas air pada parameter yang ditetapkan dalam

kondisi kritis dalam mendukung kehidupan di Sungai Ciasem dan diberi penilaian dengan angka 2.

3. Parameter Biologi Untuk melihat pengaruh daya dukung Sungai Cisem terhadap kehidupan, maka dilakukan pengukuran kelimpahan makrobenthos yang dilakukan pada lokasi yang sama dengan pengukuran kualitas air. Pemilihan makrozoobenthos sebagai bioindikator karena makrozoobenthos sangat sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan yang terjadi (Ayu et al., 2015). Makrozoobenthos berperan sebagai parameter kunci karena kemampuannya untuk bereaksi terhadap perubahan lingkungan dengan cepat. Proses bioindikasi dilakukan untuk mengetahui informasi terhadap perubahan kualitas lingkungan yang menggunakan organisme tertentu. Organisme yang digunakan sebagai indikator perubahan lingkungan disebut sebagai bioindikator (Rochon et al., 2021).

Untuk melihat adaptasi daya dukung biota air (makrozoobenthos), maka digunakan model suksesi Grafik Frontier (Frontier, 1985). Dalam pembuatan grafik tersebut diperlukan sumbu X dan sumbu Y dengan skala logaritmik. Grafik Frontier diperoleh dengan menghubungkan antara kelimpahan relatif makrozoobenthos (%) pada sumbu Y dan peringkat jenis yaitu pada Sumbu X.

Kelimpahan relatif makrozoobenthos setiap jenis makrozoobenthos yang ditemukan harus distandarisasi terlebih dahulu sebagai persen agar diperoleh kelimpahan relatif seluruhnya dengan total persen hingga 100% (Krebs, 1999), sedangkan peringkat jenis adalah mengurutkan jumlah jenis dari yang terbesar hingga terkecil. Selanjutnya grafik yang diperoleh dibandingkan dengan grafik standar pada Gambar 4 :



Gambar 4 Model Grafik Frontier

Gambar 4 terdiri dari tiga stadia dengan karakteristik masing masing (Frontier, 1985), yaitu:

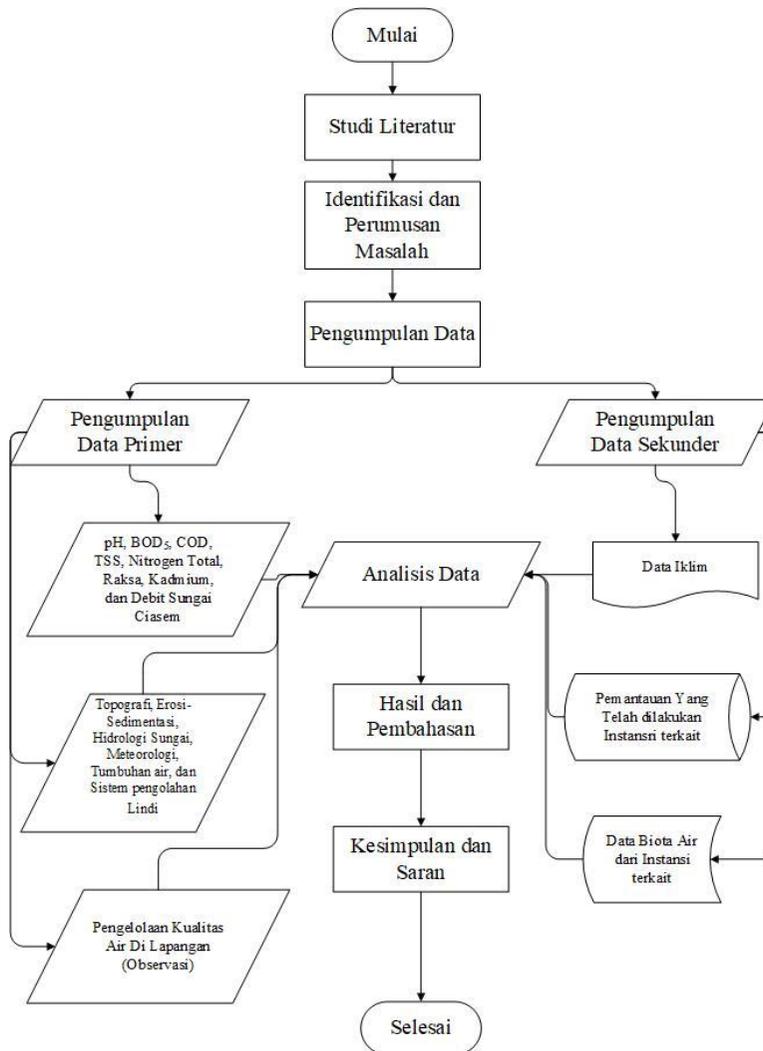
- Stadia I : Perkembangan komunitas jenis, lazimnya terdiri dari satu atau beberapa spesies, serta perkembangannya atau pertumbuhannya sangat cepat. Gangguan atau perubahan lingkungan yang cepat menyebabkan munculnya koloni baru setelah sebagian dari komunitas yang lama hilang
- Stadia II : Jaringan lebih kompleks dari interaksi spesies baru yang muncul setelah hilangnya spesies lama, serta peningkatan dari keragaman ukuran dan spesies. Stadia II ini dapat berubah menjadi Stadia III, jika terjadi perubahan kondisi lingkungan secara cepat
- Stadia III : Pada stadia ini struktur komunitas spesies, baik keragaman, keanekaragaman, maupun kompetensi berlangsung secara seimbang (sedang) dan jika kondisi tidak mendukung, maka stadia ini akan berubah menjadi Stadia II.

Penilaian masing masing stadia dilakukan dengan angka 1 untuk Stadia III; angka 2 untuk Stadia II; dan angka 3 untuk Stadia I.

Selanjutnya akan dilakukan analisis terkait daya dukung dengan mempertimbangkan parameter parameter di atas.

1.3.5 Pengelolaan Dan Pengendalian Pencemaran Sungai Ciasem Terdampak TPST Bantargebang

Untuk menyusun pengelolaan dan pengendalian pencemaran Sungai Ciasem terdampak TPST Bantargebang dilakukan pendekatan komprehensif berdasarkan hasil temuan dari tujuan pertama yaitu kualitas air Sungai Ciasem dan tujuan kedua yaitu daya tampung dan daya dukung beban pencemaran. Hasil temuan ini dievaluasi dengan pengelolaan dan atau rencana pengelolaan yang dilakukan UPST Bantargebang dan peraturan perundangan yang berlaku, selanjutnya dituangkan dalam kebijakan teknis dan sosial berupa; pengurangan atau pengelolaan pada sumber pencemaran, mitigasi di Sungai Ciasem, dan sistem pemantauan (monitoring) dengan mempertimbangkan kewenangan pengelolaan Sungai Ciasem dan TPST Bantargebang dan pendapat para profesional terkait dengan persampahan dan TPST Bantargebang dengan skala prioritas sesuai tingkat kepentingan dan tingkat urgensi menggunakan Matrix Eisenhower (Allen, 2001). Nilai untuk tingkat kepentingan adalah Sangat Penting (5); Penting (4); Cukup Penting (3); Kurang Penting (2); dan Tidak Penting (1). Nilai tingkat urgensi adalah Sangat mendesak (5); mendesak (4); Cukup mendesak (3); Kurang mendesak (2), dan Tidak mendesak (1). Selanjutnya akan dilakukan perkalian antara tingkat kepentingan dan tingkat urgensi, dimana nilai perkalian tersebut akan menjadi pertimbangan prioritas pengelolaan. Gambar 5 adalah Bagan Alir Proses Penelitian:



Gambar 5 Bagan Alir Proses Penelitian